

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 444 776**

51 Int. Cl.:

H05H 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.04.2010 E 10719447 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2013 EP 2428103**

54 Título: **Sistema de producción de isótopos y ciclotrón dotado de culata del electroimán con una cavidad receptora de una bomba**

30 Prioridad:

05.05.2009 US 435949

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

26.02.2014

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**NORLING, JANAS y
ERIKSSON, TOMAS**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 444 776 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

Sistema de producción de isótopos y ciclotrón dotado de culata del electroimán con una cavidad receptora de una bomba

5 Las realizaciones de la presente invención versan en general acerca de ciclotrones y, más en particular, acerca de ciclotrones usados para producir radioisótopos.

10 Los radioisótopos (también denominados radionúclidos) tienen varias aplicaciones en la terapia, la formación de imágenes y en la investigación médica, así como en otras aplicaciones que no están relacionadas con la medicina. Los sistemas que producen radioisótopos incluyen normalmente un acelerador de partículas, tal como un ciclotrón, que acelera un haz de partículas cargadas y dirige el haz contra un material diana para generar los isótopos. El ciclotrón usa campos eléctricos y magnéticos para acelerar y guiar las partículas a lo largo de una órbita de tipo espiral dentro de una cámara de aceleración. Cuando el ciclotrón está en uso, se evacua la cámara de aceleración para eliminar cualquier partícula de gas no deseable que pueda interactuar con las partículas aceleradas. Por ejemplo, cuando las partículas aceleradas son iones negativos de hidrógeno (H^-), las moléculas de gas hidrógeno (H_2) o las moléculas de agua dentro de la cámara de aceleración pueden despojar al ion de hidrógeno del electrón débilmente unido. Cuando el ion es despojado de este electrón, se convierte en una partícula neutra que ya no es afectada por los campos eléctrico y magnético que hay dentro de la cámara de aceleración. La partícula neutra se pierde irremediablemente y también puede causar otras reacciones no deseables dentro de la cámara de aceleración.

20 Para mantener el estado evacuado de la cámara de aceleración, los ciclotrones usan sistemas de vacío que están acoplados en comunicación de fluido con la cámara. Sin embargo, los sistemas convencionales de vacío pueden tener cualidades o propiedades poco deseables. Por ejemplo, los sistemas convencionales de vacío pueden ser grandes y requerir mucho espacio. Esto puede resultar problemático, especialmente cuando el ciclotrón y el sistema de vacío deben ser usados en una habitación de hospital que no se diseñó en origen para el uso de grandes sistemas. Además, los sistemas existentes de vacío, normalmente, tienen varios componentes interconectados, tales como varias bombas (incluyendo diferentes tipos de bombas), válvulas, tubos y abrazaderas. Para operar de forma efectiva el sistema de vacío, puede ser necesario monitorizar cada componente (por ejemplo, mediante sensores e indicadores) y controlar individualmente algunos de estos componentes. Además, con varios componentes interconectados puede haber más superficies o zonas de contacto en las que puedan producirse fugas debido a partes dañadas o gastadas. Esto puede llevar a un mantenimiento del sistema de vacío costoso y que lleva mucho tiempo.

Se describen diversos sistemas y diversas técnicas conocidos, por ejemplo, en las siguientes publicaciones:

W02006/012467 A2 (Still River Systems Inc. (US); Sliski Alan (US); Gall Kenneth (US)) 2 de febrero de 2006 (2006-02-02)

35 Hartwig E: "The AEG compact cyclotron", Proceedings of the Fifth International Cyclotron Conference, Butterworths, Londres 1971, 1 de enero de 1971 (1971-01-01), páginas 564-572, XP002599602,

40 "Commercial Cyclotrons. Part I: Commercial Cyclotrons in the Energy Range 10-30 MeV for Isotope Production", Physics of Particles and Nuclei 2008, vol. 39, nº 4, 2008, páginas 597-631, XP002599603, y

US 5 646 488 A (Warburton William K (US)) 8 de julio de 1997 (1997-07-08).

45 Además de lo anterior, los sistemas complejos de vacío pueden requerir un subsistema de refrigeración. Por ejemplo, en un sistema conocido de vacío, varias bombas de difusión están acopladas en comunicación de fluido a la cámara de aceleración. Las bombas de difusión usan un fluido de trabajo (por ejemplo, aceite) para generar un vacío haciendo que el aceite hierva hasta convertirse en un vapor y dirigiendo el vapor por medio de un conjunto de chorro. Sin embargo, la gran cantidad de calor generada en el proceso debe ser eliminada del sistema de vacío para condensar y recuperar el aceite. El subsistema de refrigeración añade mayor complejidad al sistema de vacío.

50 En consecuencia, existe la necesidad de mejores sistemas de vacío que eliminen de la cámara de aceleración las partículas de gas, poco deseables. También existe la necesidad de sistemas de vacío que requieran menos espacio, requieran menor mantenimiento, sean menos complejos o sean menos costosos que los sistemas de vacío conocidos.

Las reivindicaciones adjuntas definen diversos aspectos y diversas realizaciones de la presente invención.

La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema de producción de isótopos formado según una realización.

La Figura 2 es una vista lateral de un ciclotrón formado según una realización.

55 La Figura 3 es una vista lateral de una porción inferior del ciclotrón mostrado en la Figura 2.

La Figura 4 es una vista lateral de una bomba turbomolecular que puede ser usada con el ciclotrón mostrado en la Figura 2.

La Figura 5 es una vista en perspectiva de una porción de un cuerpo de culata que puede ser usado con el ciclotrón mostrado en la Figura 2.

- 5 La Figura 6 es una vista en planta de un conjunto de imán y culata que puede ser usado con el ciclotrón mostrado en la Figura 2.

La Figura 7 es una vista en perspectiva de un sistema de producción de isótopos formado según otra realización.

La Figura 8 es una vista lateral de un ciclotrón formado según otra realización que puede ser usado con el sistema de producción de isótopos mostrado en la Figura 6.

- 10 La Figura 1 es un diagrama de bloques de un sistema 100 de producción de isótopos formado según una realización. El sistema 100 incluye un ciclotrón 102 que tiene varios subsistemas, incluyendo un sistema 104 fuente de iones, un sistema 106 de campo eléctrico, un sistema 108 de campo magnético y un sistema 110 de vacío. Durante el uso del ciclotrón 102, se colocan dentro del ciclotrón 102, o se inyectan en el mismo, a través del sistema 104 de fuente de iones, partículas cargadas. El sistema 108 de campo magnético y el sistema 106 de campo
15 eléctrico generan campos respectivos que cooperan entre sí para producir un haz 112 de partículas cargadas. Las partículas cargadas son aceleradas y guiadas dentro del ciclotrón 102 a lo largo de una trayectoria predeterminada. El sistema 100 también tiene un sistema 115 de extracción y un sistema 114 de dianas que incluye un material diana 116.

- 20 Para generar isótopos, el haz 112 de partículas es dirigido por el ciclotrón 102 a través del sistema 115 de extracción a lo largo de una trayectoria 117 de transporte del haz y al interior del sistema 114 de dianas, de modo que el haz 112 de partículas incida sobre el material diana 116 situado en una correspondiente zona diana 120. El sistema 100 puede tener múltiples zonas diana 120A-C en las que se sitúen materiales diana 116A-C separados. Puede usarse un dispositivo o sistema de desplazamiento (no mostrado) para desplazar las zonas diana 120A-C con respecto al haz 112 de partículas, de modo que el haz 112 de partículas incida en un material diana diferente 116. También
25 puede mantenerse el vacío durante el procedimiento de desplazamiento. Alternativamente, el ciclotrón 102 y el sistema 115 de extracción pueden no dirigir el haz 112 de partículas a lo largo de una única trayectoria, sino que pueden dirigir el haz 112 de partículas a lo largo de una trayectoria única para cada zona diana 120A-C diferente.

- 30 Las patentes estadounidenses n^{os} 6.392.246, 6.417.634, 6.433.495 y 7.122.966 y la publicación de solicitud de patente estadounidense n^o 2005/0283199 describen ejemplos de sistemas y/o ciclotrones de producción de isótopos que tienen uno o más de los subsistemas descritos en lo que antecede. También se proporcionan ejemplos adicionales en las patentes estadounidenses n^{os} 5.521.469, 6.057.655 y las publicaciones de solicitud de patente estadounidense n^{os} 2008/0067413 y 2008/0258653.

- 35 El sistema 100 está configurado para producir radioisótopos (también denominados radionúclidos) que pueden ser usados en formación de imágenes, investigación y terapia médicas, pero también para otras aplicaciones que no están relacionadas con la medicina, tales como investigación o análisis científicos. Cuando se usan para fines médicos, tal como en formación de imágenes en medicina nuclear (NM) o en formación de imágenes de tomografía de emisión positrónica (PET), los radioisótopos también pueden denominarse trazadores. A título de ejemplo, el sistema 100 puede generar protones para formar isótopos ¹⁸F en forma líquida, isótopos ¹¹C como CO₂ e isótopos ¹³N como NH₃. El material diana 116 usado para formar estos isótopos puede ser agua enriquecida con ¹⁸O, gas ¹⁴N₂ natural y agua de ¹⁸O. El sistema 100 también puede generar deuterones para producir gases con ¹⁵O (oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono) y agua marcada con ¹⁵O.
40

- 45 En algunas realizaciones, el sistema 100 usa tecnología ¹H⁻ y lleva la partículas cargadas a un estado de baja energía (por ejemplo, de aproximadamente 7,8 MeV) con una corriente de haz de aproximadamente 10-30 μ A. En tales realizaciones, los iones negativos de hidrógeno son acelerados y guiados a través del ciclotrón 102 y al interior del sistema 115 de extracción. Los iones negativos de hidrógeno pueden hacer impacto entonces en una hoja despojadora (no mostrada) del sistema 115 de extracción, quitando con ello el par de electrones y convirtiendo la partícula en un ion positivo, ¹H⁺. Sin embargo, en realizaciones alternativas, las partículas cargadas pueden ser iones positivos, tales como ¹H⁺, ²H⁺ y ³He⁺. En reales realizaciones alternativas, el sistema 115 de extracción puede incluir un deflector electrostático que cree un campo eléctrico que guíe al haz de partículas hacia el material diana
50 116.

- 55 El sistema 100 puede incluir un sistema 122 de refrigeración que transporte un fluido de refrigeración o de trabajo a diversos componentes de los diferentes sistemas para absorber el calor generado por los respectivos componentes. El sistema 100 también puede incluir un sistema 118 de control que puede ser usado por un técnico para controlar el funcionamiento de los diversos sistemas y componentes. El sistema 118 de control puede incluir una o más interfaces de usuario que estén situadas de forma proximal o remota con respecto al ciclotrón 102 y al sistema 114 de dianas. Aunque no se muestra en la Figura 1, el sistema 100 también puede incluir uno o más blindajes contra la radiación para el ciclotrón 102 y el sistema 114 de dianas.

El sistema 100 puede producir los isótopos en cantidades o tandas predeterminadas, tales como dosis individuales para el uso en la formación de imágenes o la terapia médicas. Una capacidad de producción para el sistema 100 para las formas ejemplares de isótopos enumeradas en lo que antecede puede ser de 1,85 MBq en menos de aproximadamente diez minutos a 20 μA para $^{18}\text{F}^-$; 11,1 MBq en aproximadamente treinta minutos a 30 μA para $^{11}\text{CO}_2$; y 3,7 MBq en menos de aproximadamente diez minutos a 20 μA para $^{13}\text{NH}_3$.

Además, el sistema 100 puede usar una cantidad reducida de espacio con respecto a sistemas conocidos de producción de isótopos, de modo que el sistema 100 tenga un tamaño, una forma y un peso que permitan que el sistema 100 se mantenga dentro de un espacio limitado. Por ejemplo, el sistema 100 puede caber dentro de habitaciones ya existentes que no se construyeron en origen para aceleradores de partículas, tal como en un entorno hospitalario o clínico. Como tales, el ciclotrón 102, el sistema 115 de extracción, el sistema 114 de dianas y uno o más componentes del sistema 122 de refrigeración pueden mantenerse dentro de un alojamiento común que esté dimensionado y conformado para caber en un espacio limitado. Por ejemplo, el volumen total usado por el alojamiento 124 puede ser de 2 m^3 . Las dimensiones posibles del alojamiento 124 pueden incluir una anchura máxima de 2,2 m, una altura máxima de 1,7 m y una profundidad máxima de 1,2 m. El peso combinado del alojamiento y los sistemas en el interior del mismo puede ser de aproximadamente 10000 kg. El alojamiento 124 puede fabricarse de polietileno (PE) y plomo y tener un grosor configurado para atenuar el flujo de neutrones y de rayos gamma procedentes del ciclotrón 102. Por ejemplo, el alojamiento 124 puede tener un grosor (medido entre una superficie interior que rodea el ciclotrón y una superficie exterior del alojamiento 124) de al menos aproximadamente 100 mm a lo largo de porciones predeterminadas del alojamiento 124 que atenúen el flujo de neutrones.

El sistema 100 puede ser configurado para que acelere las partículas cargadas hasta un nivel predeterminado de energía. Por ejemplo, algunas realizaciones descritas en el presente documento aceleran las partículas cargadas hasta una energía de aproximadamente 18 MeV o menos. En otras realizaciones, el sistema 100 acelera las partículas cargadas hasta una energía de aproximadamente 16,5 MeV o menos. En realizaciones particulares, el sistema 100 acelera las partículas cargadas hasta una energía de aproximadamente 9,6 MeV o menos. En realizaciones más particulares, el sistema 100 acelera las partículas cargadas hasta una energía de aproximadamente 7,8 MeV o menos.

La Figura 2 es una vista lateral de un ciclotrón 200 formado según una realización. El ciclotrón 200 incluye una culata del electroimán 202 que tiene un cuerpo 204 de culata que rodea una cámara 206 de aceleración. El cuerpo 204 de culata tiene caras laterales opuestas 208 y 210, extendiéndose un grosor T_1 entre las mismas, y también tiene extremos superior e inferior 212 y 214, extendiéndose una longitud L entre los mismos. El cuerpo 204 de culata puede incluir zonas o esquinas 216-219 de transición que unen las caras laterales 208 y 210 con los extremos superior e inferior 212 y 214. Más específicamente, el extremo superior 212 se une a las caras laterales 210 y 208 mediante las esquinas 216 y 217, respectivamente, y el extremo inferior se une a las caras laterales 210 y 208 mediante las esquinas 219 y 218, respectivamente. En la realización ejemplar, el cuerpo 204 de culata tiene una sección transversal sustancialmente circular y, como tal, la longitud L puede representar un diámetro del cuerpo 204 de culata. El cuerpo 204 de culata puede fabricarse de hierro y estar dimensionado y conformado para producir un campo magnético deseado cuando el ciclotrón está en funcionamiento.

Según se muestra en la Figura 2, el cuerpo 204 de culata puede dividirse en secciones opuestas 228 y 230 de culata que definen la cámara 206 de aceleración entre las mismas. Las secciones 228 y 230 de culata están configuradas para estar situadas adyacentes entre sí a lo largo de un plano central 232 de la culata del electroimán 202. Según se muestra, el ciclotrón 200 puede estar orientado verticalmente (con respecto a la gravedad), de modo que el plano central 232 se extienda perpendicular a una plataforma horizontal 220. La plataforma horizontal 220 está configurada para soportar el peso del ciclotrón 200 y puede ser, por ejemplo, el suelo de una habitación o un bloque de cemento. El ciclotrón 200 tiene un eje central 236 que se extiende horizontalmente y a través de las secciones 228 y 230 de culata (y de las correspondientes caras laterales 210 y 208, respectivamente). El eje central 236 se extiende perpendicular al plano central 232 a través del centro del cuerpo 204 de culata. La cámara 206 de aceleración tiene una zona central 238 situada en la intersección del plano central 232 y el eje central 236. En algunas realizaciones, la zona central 238 está en el centro geométrico de la cámara 206 de aceleración. Según se muestra también, la culata del electroimán 202 incluye una porción superior 231 que se extiende por encima del eje central 236 y una porción inferior 233 que se extiende por debajo del eje central 236.

Las secciones 228 y 230 de culata incluyen polos 248 y 250, respectivamente, que se oponen entre sí a ambos lados del plano central 232 dentro de la cámara 206 de aceleración. Los polos 248 y 250 pueden estar separados entre sí por un espacio G entre polos. El polo 248 incluye un cubrepolo 252 y el polo 250 incluye un cubrepolo 254 que está orientado hacia el cubrepolo 252. Los polos 248 y 250 y el espacio G entre polos están dimensionados y conformados para producir un campo magnético deseado cuando el ciclotrón 200 está en funcionamiento. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el espacio G entre polos puede ser de 3 cm.

El ciclotrón 200 también incluye un conjunto de electroimán 260 situado dentro de la cámara 206 de aceleración o próximo a la misma. El conjunto de electroimán 260 está configurado para facilitar la producción del campo magnético con los polos 248 y 250 para dirigir las partículas cargadas a lo largo de una trayectoria deseada. El

- conjunto de electroimán 260 incluye un par enfrentado de bobinas de electroimán 264 y 266 que están separadas entre sí a ambos lados del plano central 232 una distancia D_1 . Las bobinas de electroimán 264 y 266 pueden ser, por ejemplo, bobinas resistivas de aleación de cobre. Alternativamente, las bobinas de electroimán 264 y 266 pueden ser de una aleación de aluminio. Las bobinas de electroimán pueden ser sustancialmente circulares y extenderse en torno al eje central 236. Las secciones 228 y 230 de culata pueden formar, respectivamente, cavidades 268 y 270 de bobinas de electroimán que están dimensionadas y conformadas para recibir, respectivamente, las correspondientes bobinas de electroimán 264 y 266. Según se muestra también en la Figura 2, el ciclotrón 2 puede incluir paredes 272 y 274 de la cámara que separan las bobinas de electroimán 264 y 266 de la cámara 206 de aceleración y facilitan el mantenimiento de las bobinas de electroimán 264 y 266 en su posición.
- La cámara 206 de aceleración está configurada para permitir que las partículas cargadas, tales como los iones $^1\text{H}^+$, sean aceleradas en su interior a lo largo de una trayectoria curvada predeterminada que discurre de manera espiral en torno al eje central 236 y permanece sustancialmente a lo largo del plano central 232. Las partículas cargadas son situadas inicialmente próximas a la zona central 238. Cuando se activa el ciclotrón 200, la trayectoria de las partículas cargadas puede orbitar en torno al eje central 236. En la realización ilustrada, el ciclotrón 200 es un ciclotrón isócrono y, como tal, la órbita de las partículas cargadas tiene porciones que se curvan en torno al eje central 236 y porciones que son más lineales. Sin embargo, las realizaciones descritas en el presente documento no están limitadas a los ciclotrones isócronos, sino que también incluyen otros tipos de ciclotrones y aceleradores de partículas. Según se muestra en la Figura 2, cuando las partículas cargadas orbitan en torno al eje central 236, las partículas cargadas pueden prolongarse fuera de la página en la porción superior 231 de la cámara 206 de aceleración y extenderse al interior de la página en la porción inferior 233 de la cámara 206 de aceleración. A medida que las partículas cargadas orbitan en torno al eje central 236, aumenta el radio R que se extiende entre la órbita de las partículas cargadas y la zona central 238. Cuando las partículas cargadas alcanzan una ubicación predeterminada a lo largo de la órbita, las partículas cargadas son dirigidas al sistema de extracción (no mostrado), o a través del mismo, y fuera del ciclotrón 200.
- La cámara 206 de aceleración puede estar en el estado evacuado antes y durante la formación del haz 112 de partículas. Por ejemplo, antes de que se cree el haz de partículas, la presión de la cámara 206 de aceleración puede ser de aproximadamente 1×10^{-5} Pa. Cuando se activa el haz de partículas y fluye gas H_2 a través de una fuente de iones (no mostrada) situada en la zona central 238, la presión de la cámara 206 de aceleración puede ser de aproximadamente 2×10^{-3} Pa. Como tal, el ciclotrón 200 puede incluir una bomba 276 de vacío que puede estar próxima al plano central 232. La bomba 276 de vacío puede incluir una porción que se prolongue radialmente hacia fuera desde el extremo 214 del cuerpo 204 de culata. Según se describirá con mayor detalle en lo que sigue, la bomba 276 de vacío puede incluir una bomba que esté configurada para evacuar la cámara 206 de aceleración.
- En algunas realizaciones, las secciones 228 y 230 de culata pueden ser amovibles acercándose y alejándose entre sí, de modo que se pueda acceder a la cámara 206 de aceleración (por ejemplo, para su reparación o mantenimiento). Por ejemplo, las secciones 228 y 230 de culata pueden estar unidas por una bisagra (no mostrada) que se extienda a lo largo de las secciones 228 y 230 de culata. Cualquiera de las dos secciones 228 y 230 de culata o ambas pueden ser abiertas pivotando la o las secciones correspondientes en torno al eje de la bisagra. Como ejemplo adicional, las secciones 228 y 230 de culata pueden separarse entre sí moviendo lateralmente una de las secciones de culata linealmente alejándola de la otra. Sin embargo, en realizaciones alternativas, las secciones 228 y 230 de culata pueden estar formadas integralmente o permanecer selladas entre sí cuando se accede a la cámara 206 de aceleración (por ejemplo, a través de un agujero o abertura de la culata del electroimán 202 que conduzca al interior de la cámara 206 de aceleración). En realizaciones alternativas, el cuerpo 204 de culata puede tener secciones que no estén divididas por igual y/o pueden incluir más de dos secciones. Por ejemplo, el cuerpo de culata puede tener tres secciones, según se muestra en la Figura 8, con respecto a la culata del electroimán 504.
- La cámara 206 de aceleración puede tener una forma que se extienda a lo largo del plano central 232 y sea sustancialmente simétrica con respecto a él. Por ejemplo, la cámara 206 de aceleración puede ser sustancialmente discoidal e incluir una zona espacial interior 241 definida entre los cubrepolos 252 y 254 y una región espacial exterior 243 definida entre las paredes 272 y 274 de la cámara. La órbita de las partículas durante el funcionamiento del ciclotrón 200 puede estar dentro de la zona espacial 241. La cámara 206 de aceleración también puede incluir pasadizos que lleven radialmente hacia fuera alejándose de la zona espacial 243, tal como un pasadizo P_1 (mostrado en la Figura 3) que lleva hacia la bomba 276 de vacío.
- Según se muestra también en la Figura 2, el cuerpo 204 de culata tiene una superficie exterior 205 que define una envoltura 207 del cuerpo 204 de culata. La envoltura 207 tiene una forma que es aproximadamente equivalente a la forma general del cuerpo 204 de culata definido por la superficie exterior 205 sin pequeñas cavidades, recortes ni entrantes. Por ejemplo, una porción de la envoltura 207 está indicada por una línea discontinua que se extiende a lo largo de un plano definido por la superficie exterior 205 del extremo 214. Según se muestra en la Figura 2, la sección transversal de la envoltura 207 es un polígono de ocho caras definido por la superficie exterior 205 de las caras laterales 208 y 210, los extremos 212 y 214 y las esquinas 216-219. Según se expondrá con detalle adicional en lo que sigue, el cuerpo 204 de culata puede formar pasadizos, recortes, entrantes, cavidades y similares que penetren en la envoltura 207.

Además, los polos 248 y 250 (o, más específicamente, los cubrepolos 252 y 254) pueden estar separados entre sí por la zona espacial 241, en la que las partículas cargadas son dirigidas a lo largo de la trayectoria deseada. Las bobinas de electroimán 264 y 266 también pueden estar separadas por la zona espacial 243. En particular, las paredes 272 y 274 de la cámara pueden tener entre las mismas a la zona espacial 243. Además, la periferia de la zona espacial 243 puede estar definida por una superficie 354 de pared que también defina la periferia de la cámara 206 de aceleración. La superficie 354 de pared puede extenderse circunferencialmente en torno al eje central 236. Según se muestra, la zona espacial 241 se extiende una distancia igual hasta el espacio G entre polos (Figura 3) a lo largo del eje central 236, y la zona espacial 243 se extiende la distancia D_1 a lo largo del eje central 236.

Según se muestra en la Figura 2, la zona espacial 243 rodea la zona espacial 241 en torno al eje central 236. Las zonas espaciales 241 y 243 pueden formar colectivamente la cámara 206 de aceleración. En consecuencia, en la realización ilustrada, el ciclotrón 200 no incluye una pared o depósito separado que rodee únicamente la zona espacial 241, definiendo con ello a la zona espacial 241 como la cámara de aceleración del ciclotrón. Más específicamente, la bomba 276 de vacío está acoplada en comunicación de fluido con la zona espacial 241 a través de la zona espacial 243. El gas que entre en la zona espacial 241 puede ser evacuado de la zona espacial 241 a través de la zona espacial 243. En la realización ilustrada, la bomba 276 de vacío está acoplada en comunicación de fluido con la zona espacial 243 y está situada adyacente a la misma.

La Figura 3 es una sección transversal lateral ampliada del ciclotrón 200 y, más específicamente, la porción inferior 233. El cuerpo 204 de culata puede definir un orificio 278 de vacío que se abre directamente a la cámara 206 de aceleración. La bomba 276 de vacío puede estar directamente acoplada al cuerpo 204 de culata en el orificio 278. El orificio 278 proporciona una entrada o abertura al interior de la bomba 276 de vacío para que fluyan a través de la misma partículas de gas no deseables. El orificio 278 puede estar conformado (junto con otros factores y otras dimensiones del ciclotrón 200) para proporcionar una conducción deseada de las partículas de gas a través del orificio 278. Por ejemplo, el orificio 278 puede ser circular, cuadrangular o tener otra forma geométrica.

La bomba 276 de vacío se coloca dentro de una cavidad 282 receptora de una bomba (PA) formada por el cuerpo 204 de culata. La cavidad 282 PA está acoplada en comunicación de fluido con la cámara 206 de aceleración y se abre a la zona espacial 243 de la cámara 206 de aceleración y puede incluir un pasadizo P_1 . Cuando está colocada dentro de la cavidad 282 PA, la menos una porción de la bomba 276 de vacío está dentro de la envoltura 207 del cuerpo 204 de culata (Figura 2). La bomba 276 de vacío puede prolongarse radialmente hacia fuera alejándose de la zona central 238 o del eje central 236 a lo largo del plano central 232. La bomba 276 de vacío puede prolongarse o no más allá de la envoltura 207 del cuerpo 204 de culata. A título de ejemplo, la bomba 276 de vacío puede situarse entre la cámara 206 de aceleración y la plataforma 220 (es decir, la bomba 276 de vacío está ubicada directamente debajo de la cámara 206 de aceleración). En otras realizaciones, la bomba 276 de vacío también puede prolongarse radialmente hacia fuera alejándose de la zona central 238 a lo largo del plano central 232 en otra ubicación. Por ejemplo, la bomba 276 de vacío puede estar encima o detrás de la cámara 206 de aceleración en la Figura 2. En realizaciones alternativas, la bomba 276 de vacío puede prolongarse alejándose de una de las caras laterales 208 o 210 en una dirección que sea paralela al eje central 236. Además, aunque en la Figura 3 solo se muestra una bomba 276 de vacío, realizaciones alternativas pueden incluir múltiples bombas de vacío. Además, el cuerpo 204 de culata puede tener cavidades PA adicionales.

La bomba 276 de vacío incluye una pared 280 de depósito y un conjunto 283 de vacío o de bomba mantenido en su interior. La pared 280 de depósito está dimensionada y conformada para que quepa en la cavidad 282 PA y mantenga en la misma al conjunto 283 de bomba. Por ejemplo, la pared 280 de depósito puede tener una sección transversal sustancialmente circular cuando la pared 280 de depósito se extiende desde el ciclotrón 200 hasta la plataforma 220. Alternativamente, la pared 280 de depósito puede tener otras formas de sección transversal. La pared 280 de depósito puede proporcionar suficiente espacio en la misma para que el conjunto 283 de bomba opere de manera efectiva. La superficie 354 de pared puede definir una abertura 356 y las secciones 228 y 230 de culata pueden formar correspondientes porciones 286 y 288 de reborde que están próximas al orificio 278. Las porciones 286 y 288 de reborde pueden definir el pasadizo P_1 , que se extiende desde la abertura 356 hasta el orificio 278. El orificio 278 se abre al pasadizo P_1 y a la cámara 206 de aceleración y tiene un diámetro D_2 . La abertura 356 tiene un diámetro D_5 . Los diámetros D_2 y D_5 pueden configurarse para que el ciclotrón 200 funcione con una eficiencia deseada en la producción de los radioisótopos. Por ejemplo, los diámetros D_2 y D_5 pueden basarse en el tamaño y la forma de la cámara 206 de aceleración, incluyendo el espacio G entre polos, y en una conductancia operativa del conjunto 283 de bomba. Como ejemplo específico, el diámetro D_2 puede estar entre aproximadamente 250mm y aproximadamente 300mm.

El conjunto 283 de bomba puede incluir uno o más dispositivos 284 de bombeo que evacuen de forma efectiva la cámara 206 de aceleración para que el ciclotrón 200 tenga una eficiencia operativa deseada en la producción de los radioisótopos. El conjunto 283 de bomba puede incluir una o más bombas del tipo de transferencia de momento, bombas volumétricas y/u otros tipos de bombas. Por ejemplo, el conjunto 283 de bomba puede incluir una bomba de difusión, una bomba de iones, una bomba criogénica, una bomba de paletas rotatorias o de vacío preliminar y/o una bomba turbomolecular. El conjunto 283 de bomba también puede incluir varias bombas de un tipo o una combinación de bombas que usen diferentes tipos. El conjunto 283 de bomba también puede tener una bomba híbrida que use diferentes características o subsistemas de las bombas anteriormente mencionadas. Según se

muestra en la Figura 3, el conjunto 283 de bomba también puede estar acoplada en serie en comunicación de fluido con una bomba 285 de paletas rotatorias o de vacío preliminar que pueda soltar el aire en la atmósfera circundante.

Además, el conjunto 283 de bomba puede incluir otros componentes para eliminar las partículas de gas, tales como bombas adicionales, depósitos o cámaras, conductos, revestimientos, válvulas, incluyendo válvulas de ventilación, indicadores, sellos, aceite y tuberías de escape. Además, el conjunto 283 de bomba puede incluir un sistema de refrigeración o estar conectado al mismo. Además, todo el conjunto 283 de bomba puede caber en la cavidad 282 PA (es decir, dentro de la envoltura 207) o, alternamente, solo uno o más de los componentes pueden estar ubicados dentro de la cavidad 282 PA. En la realización ejemplar, el conjunto 283 de bomba incluye al menos una bomba de vacío del tipo de transferencia de momento (por ejemplo, una bomba de difusión o una bomba turbomolecular) que está situada, al menos parcialmente, en la cavidad 282 PA.

También mostrada, la bomba 276 de vacío puede estar acoplada en comunicación con un sensor 312 de presión dentro de la cámara 206 de aceleración. Cuando la cámara 206 de aceleración alcanza una presión predeterminada, el dispositivo 284 de bombeo puede activarse automáticamente o desconectarse automáticamente. Aunque no se muestran, puede haber sensores adicionales dentro de la cámara 206 de aceleración o de la cavidad 282 PA.

La Figura 4 ilustra una vista lateral de una bomba turbomolecular 376 formada según una realización que puede ser usada como bomba 276 de vacío (Figura 2). La bomba turbomolecular 376 puede estar acoplada directamente con el cuerpo 204 de culata en el orificio 278 (es decir, no acoplada con el cuerpo 204 de culata a través de una conducción o conducto que se extienda alejándose del cuerpo 204 de culata fuera de la cavidad PA). La bomba turbomolecular 376 puede extenderse a lo largo del eje central 290 entre el orificio 378 de la culata del electroimán y la plataforma 375. La bomba turbomolecular 376 incluye un motor 302 que está acoplado operativamente a un ventilador giratorio 305. El ventilador giratorio 305 puede incluir una o más etapas de palas 304 del rotor y de palas 306 del estátor. Cada pala 304 del rotor y cada pala 306 del estátor se prolongan radialmente hacia fuera desde un árbol 291 que se extiende a lo largo del eje central 290. En uso, la bomba turbomolecular 376 opera de forma similar a un compresor. Las palas 304 del rotor, las palas 306 del estátor y el árbol 291 giran en torno al eje central 290. Las partículas de gas que fluyen por un pasadizo P_2 entran en la bomba turbomolecular 376 a través del orificio 378 y son golpeadas inicialmente por un conjunto de palas 304 del rotor. Las palas 304 del rotor están conformadas para empujar las partículas de gas alejándolas de la cámara de aceleración del ciclotrón, tal como la cámara 206 de aceleración (Figura 3). Las palas 306 del estátor están situadas adyacentes a las correspondientes palas 304 del rotor y también empujan las partículas de gas alejándolas de la cámara de aceleración. Este procedimiento continúa en las etapas restantes de palas 304 y 306 del rotor y el estátor del ventilador 305, de modo que el flujo de aire se mueva en una dirección que se aleja de la cámara de aceleración hacia una zona inferior 392 de la bomba turbomolecular 376 (las flechas F indican la dirección del flujo). Cuando las partículas de gas alcanzan la zona inferior 392 de la bomba turbomolecular 376, puede obligarse a las partículas de gas a salir de la bomba turbomolecular 376 a través de un escape o conducto 308. El escape 308 dirige el aire eliminado de la cámara de aceleración a través de una salida 310 que se proyecta desde una pared 380 de depósito. La salida 310 puede estar acoplada en conducción de fluido con una bomba de paletas rotatorias o de vacío preliminar (no mostrada).

La Figura 5 es una vista aislada en perspectiva de la sección 228 de culata e ilustra con mayor detalle el polo 248, la cavidad 268 de la bobina y el pasadizo P_1 que conduce al orificio 278 (Figura 2) de la bomba 276 de vacío (Figura 2). La sección 228 de culata tiene un cuerpo sustancialmente circular que incluye un diámetro D_3 que es igual a la longitud L mostrada en la Figura 2. La sección 228 de culata incluye una cavidad 320 abierta lateralmente definida dentro de una porción anular 321. La porción anular 321 tiene una superficie interior 322 que se extiende alrededor del eje central 236 y define una periferia de la cavidad 320 abierta lateralmente. La sección 228 de culata también tiene una superficie exterior 326 que se extiende alrededor de la porción anular 321. Se define un grosor radial T_2 de la porción anular 321 entre las superficies interior y exterior 322 y 326.

Según se muestra, el polo 248 está situado en la cavidad 320 abierta lateralmente. La porción anular 321 y el polo 248 son mutuamente concéntricos y tienen el eje central 236 extendiéndose a través de los mismos. El polo 248 y la superficie interior 322 definen entre los mismos al menos una porción de la cavidad 268 de bobina. En algunas realizaciones, la sección 228 de culata incluye una superficie coincidente 324 que se extiende a lo largo de la porción anular 321 y es paralela al plano definido por las líneas radiales 237 y 239. La superficie coincidente 324 está configurada para que coincida con una superficie coincidente opuesta (no mostrada) de la sección 230 de culata cuando las secciones 228 y 230 de culata están emparejadas entre sí a lo largo del plano central 232 (Figura 2).

También mostrada, la sección 228 de culata puede incluir un entrante 330 de la culata que define parcialmente el pasadizo P_1 y la cavidad 282 PA (Figura 3). La sección 230 de culata puede tener un entrante 340 de la culata de forma similar (mostrado en la Figura 6), de modo que el cuerpo 204 de culata (Figura 2) forme el pasadizo P_1 y la cavidad 282 PA. El entrante 330 de la culata está conformado para recibir la bomba 276 de vacío cuando el cuerpo 204 de culata está formado por entero. Por ejemplo, el entrante 330 de la culata puede tener un recorte 341, que puede ser de forma rectangular y extenderse una profundidad D_4 dentro de la sección 228 de culata hacia el eje central 236. El recorte 341 también puede tener una anchura W_1 que se extienda a lo largo de una porción de arco de la sección 228 de culata. La sección 228 de culata también puede formar una porción 349 de repisa que define el

orificio 278 (Figura 3) o el pasadizo P₁. El entrante 330, que incluye la porción 349 de repisa y el recorte 341, puede estar dimensionado y conformado para que tenga un efecto mínimo, o ninguno, en los campos magnéticos durante el funcionamiento del ciclotrón 200 (Figura 2). Cuando el cuerpo 204 de culata está formado del todo, el recorte 341 de la sección 228 de culata y el recorte 345 de la sección 230 de culata se combinan para formar la cavidad 282 PA, el orificio 278 y el pasadizo P₁. Como tal, la cavidad 282 PA puede tener forma de cubo o de caja, de modo que la bomba 276 de vacío pueda caber en la misma y el orificio 278 pueda ser circular. Sin embargo, en realizaciones alternativas, la cavidad 282 PA y el orificio 278 pueden tener otras formas.

En una realización, la totalidad o una porción de la superficie 322 y cualquier otra superficie que pueda interactuar con las partículas se recubren de cobre. Las superficies recubiertas de cobre están configuradas para reducir la influencia de una superficie porosa de hierro. En una realización, las superficies interiores de la bomba 276 de vacío pueden incluir un recubrimiento de cobre. Las superficies interiores recubiertas de cobre también pueden estar configuradas para reducir la resistividad de la superficie.

Aunque no se muestran, puede haber agujeros, aberturas o pasadizos adicionales que se extiendan a través del grosor radial T₂ de la sección 228 de culata. Por ejemplo, puede haber un taladro pasante de RF y otras conexiones eléctricas que se extiendan atravesando el grosor radial T₂. También puede haber un canal de salida del haz en el que el haz de partículas sale del ciclotrón 200 (Figura 2). Además, un sistema de refrigeración (no mostrado) puede tener conductos que se extiendan atravesando el grosor radial T₂ para componentes de refrigeración dentro de la cámara 206 de aceleración.

En la realización ilustrada, el ciclotrón 200 es un ciclotrón isócrono en el que el cubrepolo 252 del polo magnético 248 forma una disposición de sectores que incluyen colinas 331-334 y valles 336-339. Según se expondrá con mayor detalle en lo que sigue, las colinas 331-334 y los valles 336-339 interactúan con las colinas y los valles correspondientes del polo 250 (Figura 2) para producir un campo magnético para concentrar la trayectoria de las partículas cargadas.

La Figura 6 es una vista en planta de la sección 230 de culata. La sección 230 de culata puede tener componentes y características similares a los descritos con respecto a la sección 228 de culata (Figura 2). Por ejemplo, la sección 230 de culata incluye una porción anular 421 que define una cavidad 420 abierta lateralmente que tiene el polo magnético 250 situado en la misma. La porción anular 421 puede incluir una superficie coincidente 424 que esté configurada para coincidir con la superficie coincidente 324 (Figura 5) de la sección 228 de culata. También mostrada, la sección 230 de culata incluye el entrante 340 de la culata.

El cubrepolo 254 del polo 250 incluye colinas 431-434 y valles 436-439. La sección 230 de culata también incluye electrodos 440 y 442 de radiofrecuencia (RF) que se extienden radialmente hacia el interior acercándose entre sí y hacia un centro 444 del polo 250. Los electrodos 440 y 442 de RF incluyen des huecas 441 y 443, respectivamente, que se extienden desde los vástagos 445 y 447, respectivamente. Las des 441 y 443 están situadas dentro de los valles 436 y 438, respectivamente. Los vástagos 445 y 447 pueden estar acoplados en una superficie interior 422 de la porción anular 421. También mostrada, la sección 230 de culata puede incluir varios paneles 471-474 de interceptación dispuestos alrededor del polo 250 y de la superficie interior 422. Los paneles 471-474 de interceptación están colocados para interceptar partículas perdidas dentro de la cámara 206 de aceleración. Los paneles 471-474 de interceptación pueden comprender aluminio. La sección 230 de culata también puede incluir raspadores 481-484 de haces que también pueden comprender aluminio.

Los electrodos 440 y 442 de RF pueden formar un sistema de electrodos de RF, tal como el sistema 106 de campo eléctrico descrito con referencia a la Figura 1, en el que los electrodos 440 y 442 de RF aceleran las partículas cargadas dentro de la cámara 206 de aceleración (Figura 2). Los electrodos 440 y 442 de RF cooperan entre sí y forman un sistema resonante que incluye elementos inductivos y capacitivos sintonizados a una frecuencia predeterminada (por ejemplo, 100 MHz). El sistema de electrodos de RF puede tener un generador de potencia de alta frecuencia (no mostrado) que puede incluir un oscilador de frecuencia en comunicación con uno o más amplificadores. El sistema de electrodos de RF crea un potencial eléctrico alternante entre los electrodos 440 y 442 de RF, acelerando con ello las partículas cargadas.

La Figura 7 es una vista en perspectiva de un sistema de producción de isótopos formado según una realización. El sistema 500 está configurado para ser usado en un entorno hospitalario o clínico y puede incluir componentes y sistemas similares usados con el sistema 100 (Figura 1) y el ciclotrón 200 (Figuras 2-6). El sistema 500 puede incluir un ciclotrón 502 y un sistema 514 de dianas en los que se generan radioisótopos para su uso con un paciente. El ciclotrón 502 define una cámara 533 de aceleración en la que se mueven partículas cargadas a lo largo de una trayectoria predeterminada cuando el ciclotrón 502 se activa. Cuando está en uso, el ciclotrón 502 acelera las partículas cargadas a lo largo de una trayectoria 536 predeterminada o deseada del haz y dirige las partículas a un conjunto 532 de dianas del sistema 514 de dianas. La trayectoria 536 del haz se extiende desde la cámara 533 de aceleración al sistema 514 de dianas y está indicada como una línea discontinua.

La Figura 8 es una sección transversal del ciclotrón 502. Según se muestra, el ciclotrón 502 tiene características y componentes similares a los del ciclotrón 200 (Figura 2). Sin embargo, el ciclotrón 502 incluye una culata del electroimán 504 que puede comprender tres secciones 528-530 mutuamente encajonadas. Más específicamente, el

ciclotrón 502 incluye una sección anular 529 que está situada entre las secciones 528 y 530 de culata. Cuando las secciones 528-530 anular y de culata están apiladas entre sí según se muestra, las secciones 528 y 530 de culata están orientadas la una hacia la otra a ambos lados de un plano central 534 y definen una cámara 506 de aceleración de la culata del electroimán 504 en el interior de las mismas. Según se muestra, la sección anular 529 puede definir un pasadizo P_3 que conduzca a un orificio 578 de una bomba 576 de vacío. La bomba 576 de vacío puede tener características y componentes similares a los de la bomba 276 de vacío (Figura 2) y puede ser una bomba turbomolecular, tal como la bomba turbomolecular 376 (Figura 4).

Volviendo a la Figura 7, el sistema 500 puede incluir una envuelta o alojamiento 524 que incluya particiones amovibles 552 y 554 que se abran orientándose la una hacia la otra. Según se muestra en la Figura 7, ambas particiones 552 y 554 están en una posición abierta. El alojamiento 524 puede comprender un material que facilite el blindaje contra la radiación. Por ejemplo, el alojamiento puede comprender polietileno y, opcionalmente, plomo. Cuando se cierra, la partición 554 puede cubrir el conjunto 532 de dianas y una interfaz 558 de usuario del sistema 514 de dianas. La partición 552 puede cubrir el ciclotrón 502 cuando está cerrado.

También mostrada, la sección 528 de culata la sección 528 de culata del ciclotrón 502 puede ser amovible entre posiciones abierta y cerrada. (La Figura 7 ilustra una posición abierta y la Figura 8 ilustra una posición cerrada). La sección 528 de culata puede estar unida a una bisagra (no mostrada) que permita que la sección 528 de culata se abra como una puerta o una tapa y proporcione acceso a la cámara 533 de aceleración. La sección 530 de culata (Figura 8) también puede ser amovible entre posiciones abierta y cerrada o puede ser sellada o estar formada integralmente con la sección anular 529 (Figura 8).

Además, la bomba 576 de vacío puede estar situada dentro de una cámara 562 de bomba de la sección anular 529 y del alojamiento 524. La cámara 562 de la bomba puede ser objeto de acceso cuando la partición 552 y la sección 528 de culata están en la posición abierta. Según se muestra, la bomba 576 de vacío está situada debajo de una zona central 538 de la cámara 533 de aceleración, de modo que el eje vertical que se extiende a través del centro del orificio 578 desde un soporte horizontal 520 cruzaría la zona central 538. También mostrada, la sección 528 de culata y la sección anular 529 pueden tener un entrante 560 de blindaje. La trayectoria 536 del haz se extiende a través del entrante 560 de blindaje.

Las realizaciones descritas en el presente documento no están concebidas para que estén limitadas a la generación de radioisótopos para usos médicos, sino que también pueden generar otros isótopos y usar otros materiales diana. Además, en la realización ilustrada, el ciclotrón 200 es un ciclotrón isócrono de orientación vertical. Sin embargo, realizaciones alternativas pueden incluir otros tipos de ciclotrones y otras orientaciones (por ejemplo, horizontal).

Ha de entenderse que se pretende que la anterior descripción sea ilustrativa y no restrictiva. Por ejemplo, las realizaciones descritas en lo que antecede (y/o aspectos de las mismas) pueden ser usadas en combinación mutua. Además, pueden efectuarse muchas modificaciones para adaptar una situación o un material particulares a las enseñanzas de la invención sin apartarse de su alcance. Aunque se pretende que las dimensiones y los tipos de materiales descritos en el presente documento definan los parámetros de la invención, no son en modo alguno limitantes y son realizaciones ejemplares. Muchas otras realizaciones resultarán evidentes para los expertos en la técnica tras repasar la descripción anterior. Por lo tanto, el alcance de la invención debería determinarse con referencia a las reivindicaciones adjuntas, junto con la gama total de equivalentes a los que tales reivindicaciones tienen derecho. En las reivindicaciones adjuntas, las expresiones "incluyendo" y "en los cuales" se usan como equivalentes en español normal de las expresiones respectivas "que comprende" y "en los que". Además, en las reivindicaciones siguientes, los términos "primero", "segundo" y "tercero", etc., se usan meramente como etiquetas, y no se pretende imponer requisitos numéricos a sus objetos.

El alcance de la invención está definido por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un ciclotrón (200), que comprende:
 - un conjunto de electroimán (260) para producir un campo magnético para dirigir partículas cargadas a lo largo de una trayectoria deseada;
 - 5 una culata del electroimán (202) que tiene un cuerpo (204) de culata que rodea una cámara (206) de aceleración, estando situado el conjunto de electroimán en el cuerpo de culata, formando el cuerpo de culata una cavidad (282) receptora de una bomba (PA) que está acoplada en comunicación de fluido con la cámara (206) de aceleración; y
 - 10 una bomba (276) de vacío configurada para inducir un vacío en la cámara (206) de aceleración, **caracterizado porque** la bomba (276) de vacío está situada en la cavidad (282) PA.
2. El ciclotrón (200) de la reivindicación 1 en el que la cámara (206) de aceleración tiene una forma de disco que está orientado a lo largo de un plano central de la culata del electroimán, extendiéndose el plano central a través de la cavidad (282) PA.
3. El ciclotrón (200) de la reivindicación 1 en el que el cuerpo (204) de culata incluye cavidades de bobinas de electroimán configuradas para recibir unas bobinas de electroimán primera y segunda (264, 266), estando situadas las bobinas de electroimán primera y segunda y separadas entre sí a ambos lados de un plano central de la culata del electroimán, incluyendo la cavidad (282) PA un pasadizo entre las bobinas de electroimán primera y segunda.
4. El ciclotrón (200) de la reivindicación 1 en el que la cavidad (282) PA está acoplada en comunicación de fluido con la cámara (206) de aceleración a través de un orificio de vacío, estando dimensionado el orificio de vacío para facilitar la conducción de las partículas de la cámara (206) de aceleración a la cavidad (282) PA.
5. El ciclotrón (200) de la reivindicación 1 en el que:
 - 25 el cuerpo (204) de culata comprende un par de polos (248, 250) situados uno frente al otro a ambos lados de un plano central del cuerpo (204) de culata, teniendo los polos (248, 250) una primera zona espacial entre los mismos en la que las partículas cargadas son dirigidas a lo largo de una trayectoria deseada; y
 - 30 el conjunto de electroimán (260) comprende un par de bobinas de electroimán (264, 266) situadas dentro del cuerpo (204) de culata la una frente a la otra a ambos lados del plano central, rodeando cada bobina de electroimán un correspondiente polo, teniendo las bobinas de electroimán una segunda zona espacial entre las mismas que rodea a la primera zona espacial, formando colectivamente las zonas espaciales primera y segunda la cámara de aceleración de la culata del electroimán, estando configurada la bomba (276) de vacío para mantener un vacío entre las zonas espaciales primera y segunda.
6. El ciclotrón (200) de la reivindicación 5 que, además, comprende un par de paredes (272, 274) de cámara enfrentadas entre sí a ambos lados de la segunda zona espacial, extendiéndose cada pared de la cámara en torno a un correspondiente polo y separando una correspondiente bobina de electroimán (264, 266) de la cámara (206) de aceleración.
7. El ciclotrón (200) de la reivindicación 5 en el que el cuerpo (204) de culata está orientado con respecto a un eje central que es perpendicular al plano central, extendiéndose el eje central a través de los centros de los polos y extendiéndose el plano central a través de la bomba (276) de vacío.
8. Un sistema de producción de isótopos que comprende:
 - 40 un ciclotrón (200) según se define en cualquier reivindicación precedente; y
 - un sistema de dianas colocado para recibir las partículas cargadas para generar isótopos.

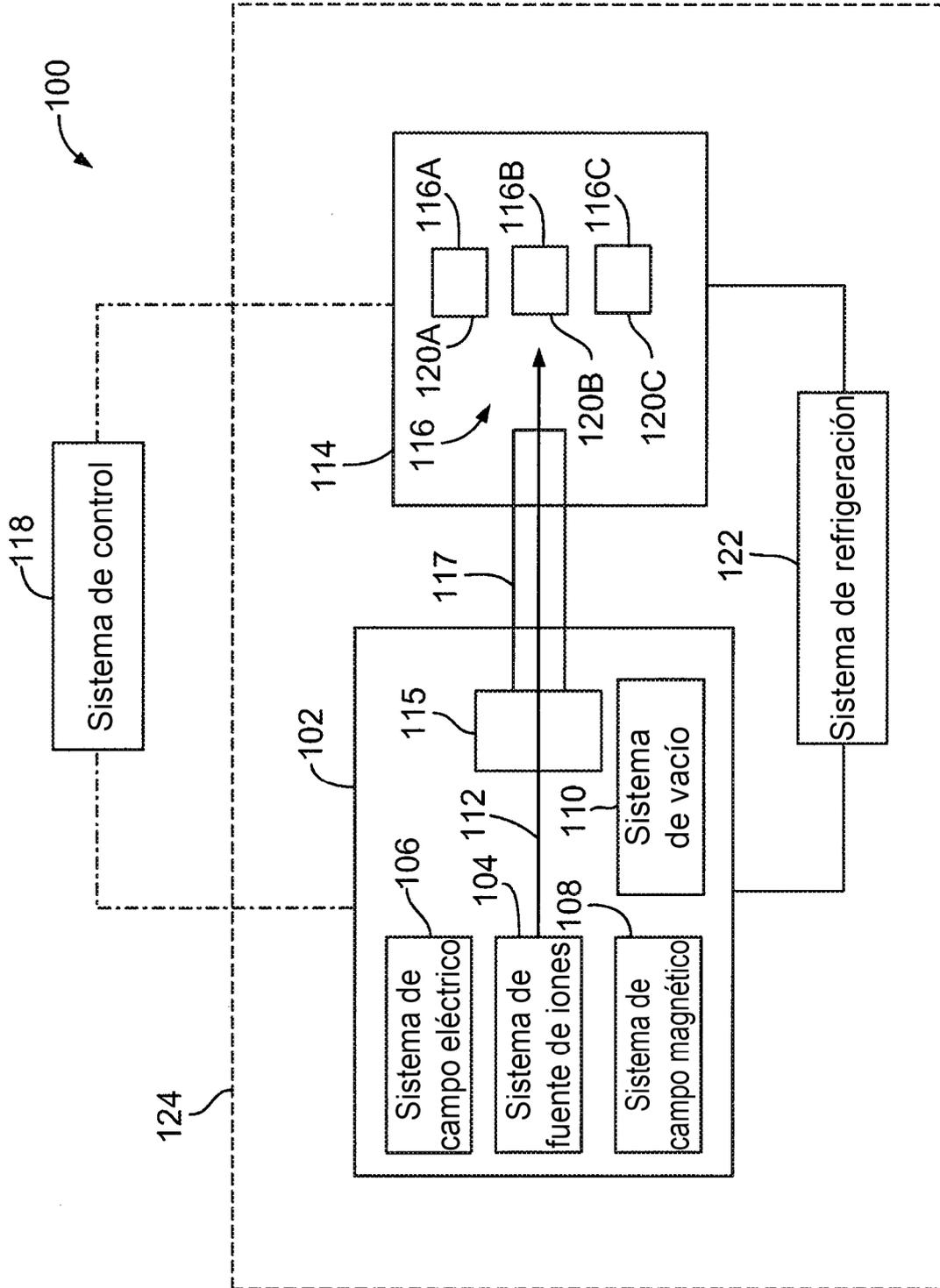


FIG. 1

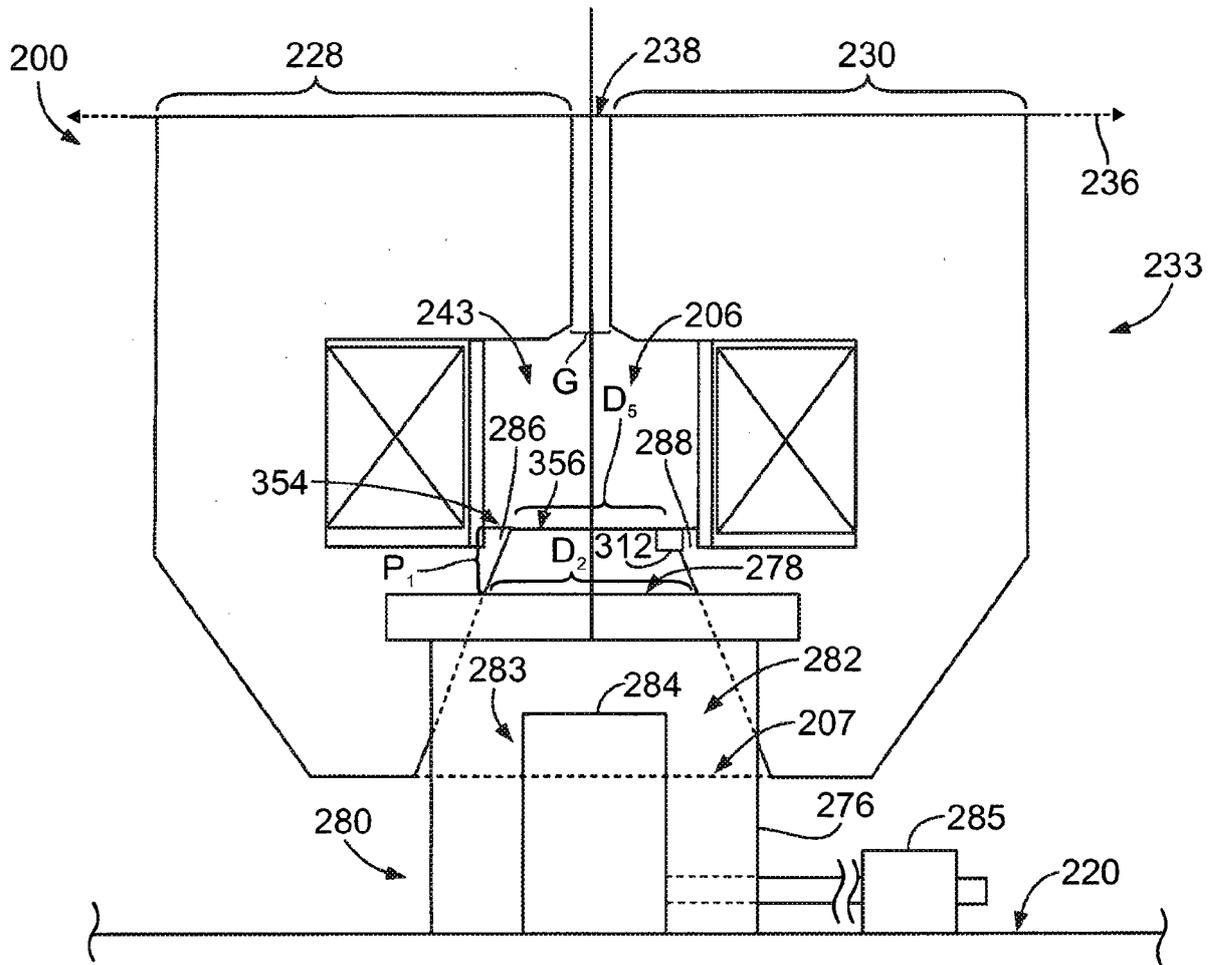


FIG. 3

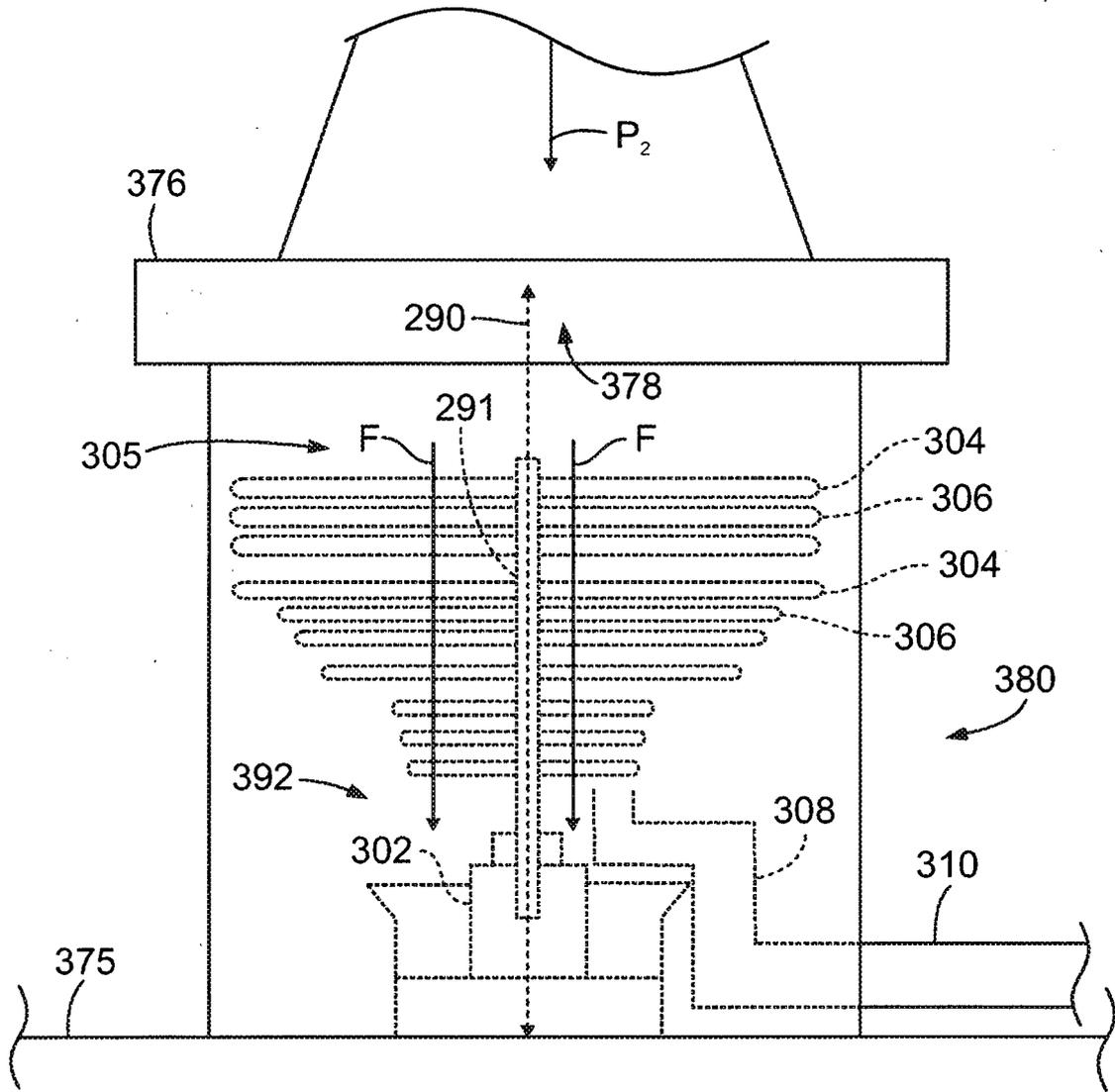


FIG. 4

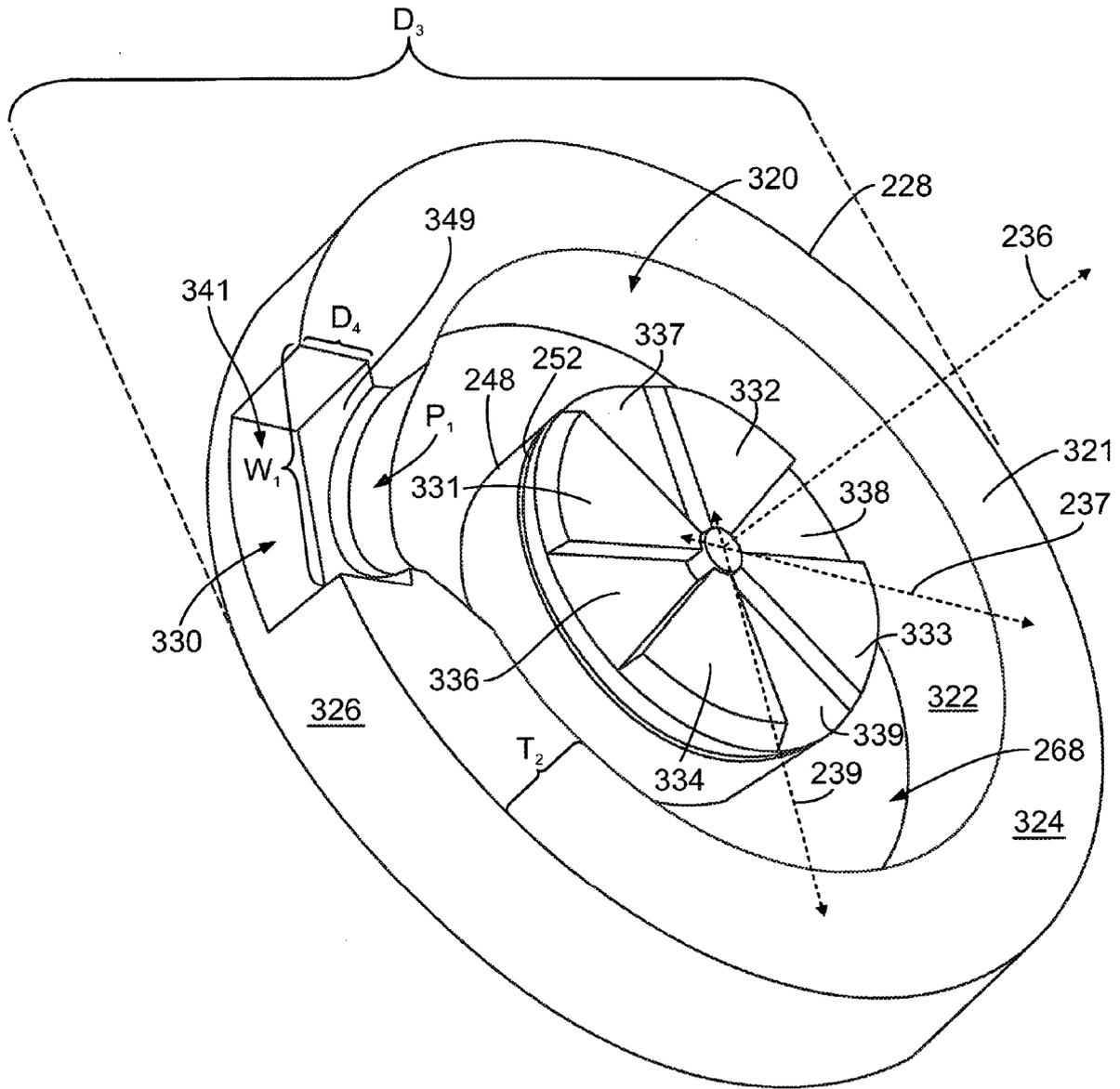


FIG. 5

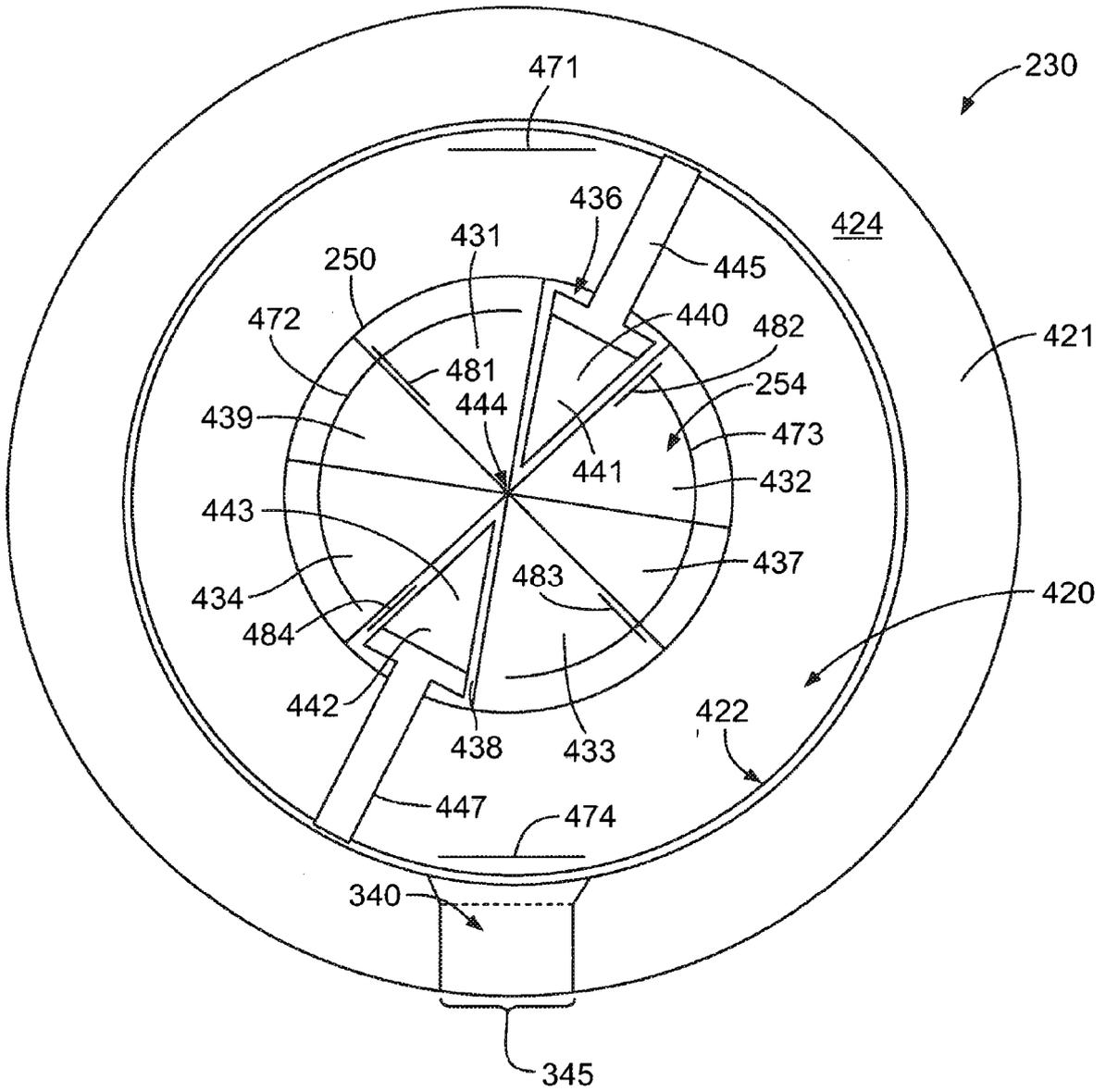


FIG. 6

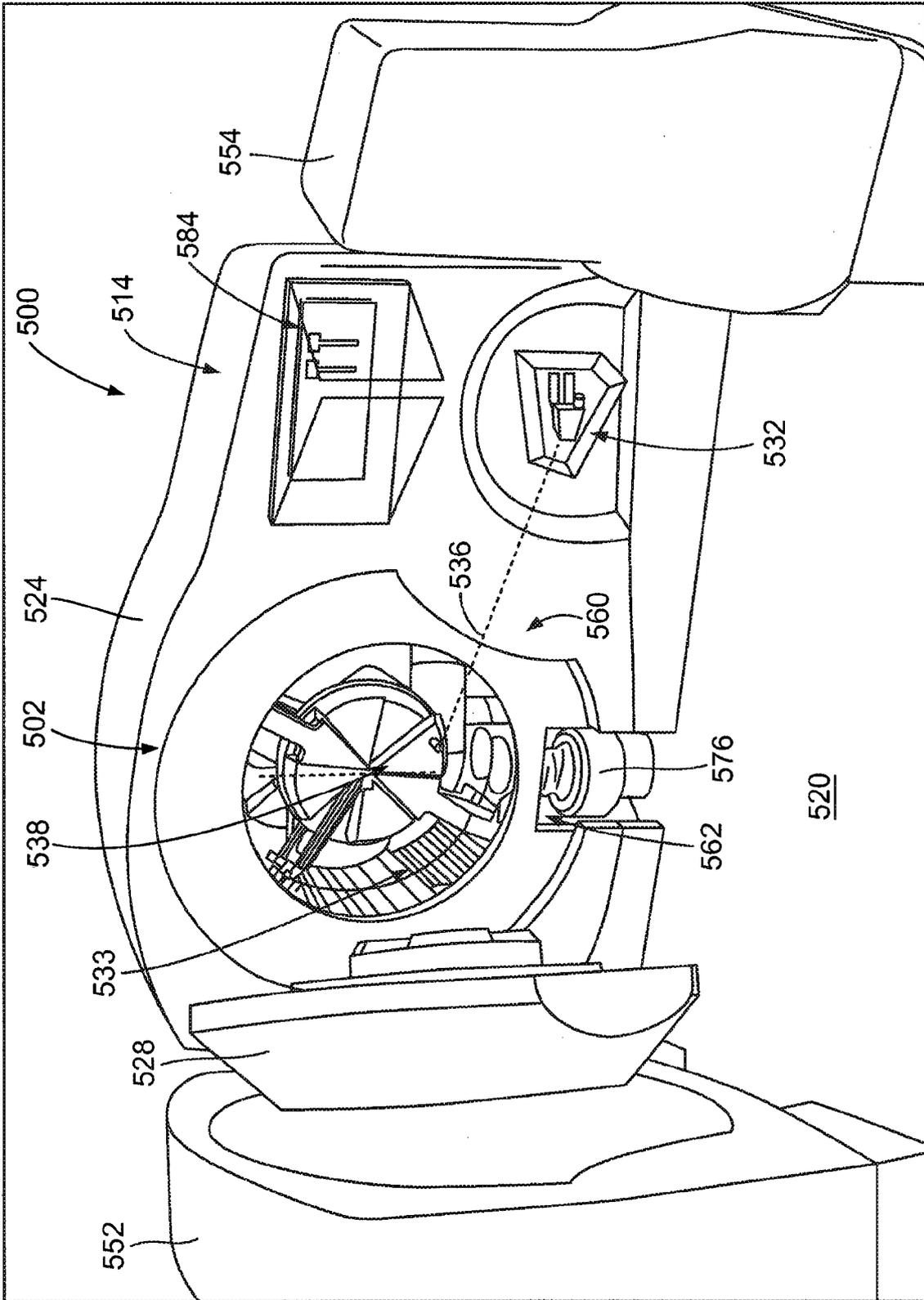


FIG. 7

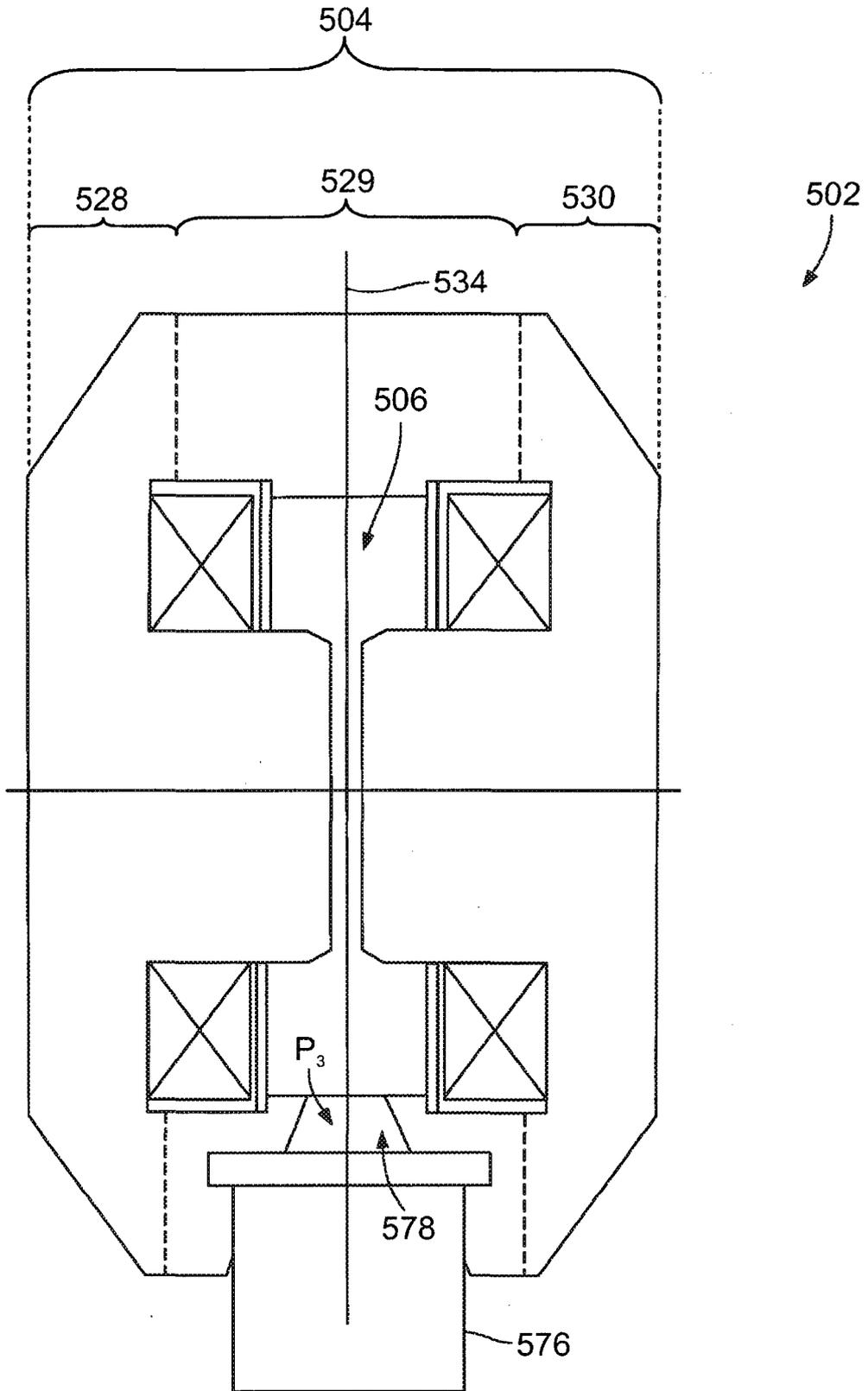


FIG. 8