



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1007576-3 B1



(22) Data do Depósito: 16/04/2010

(45) Data de Concessão: 03/12/2019

(54) Título: CÍCLOTRON E SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ISÓTOPO

(51) Int.Cl.: H05H 13/00; H05H 7/00; H05H 13/02; H05H 7/14.

(30) Prioridade Unionista: 05/05/2009 US 12/435,949.

(73) Titular(es): GENERAL ELECTRIC COMPANY.

(72) Inventor(es): JONAS NORLING; TOMAS ERIKSSON.

(86) Pedido PCT: PCT US2010031394 de 16/04/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/129157 de 11/11/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 04/11/2011

(57) Resumo: CÍCLOTRON E SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ISÓTOPO As realizações da invenção se referem geralmente a cíclotrons (102, 200, 502) e, mais particularmente, a cíclotrons utilizados para produzir radioisótopos. O cíclotron (102, 200, 502) compreende um conjunto de ímã (260) para produzir um campo magnético para direcionar as partículas carregadas ao longo de um trajeto desejado; uma culatra de ímã (202, 504) que tem um corpo de culatra (204) que circunda uma câmara de aceleração (206, 506, 533), sendo que o conjunto de ímã (260) é posicionado no corpo de culatra (204), em que o corpo de culatra (204) forma uma cavidade de aceitação de bomba (282) que é acoplada de forma fluida à câmara de aceleração (206, 506, 533); e uma bomba de vácuo (276, 376, 576) configurada para introduzir um vácuo no interior da câmara de aceleração (206, 506, 533), sendo que a bomba de vácuo (276, 376, 576) é posicionada na cavidade de aceitação de bomba (282).

“CÍCLOTRON E SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ISÓTOPO”

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] As realizações da invenção se referem geralmente a cíclotrons e, mais particularmente, a cíclotrons utilizados para produzir radioisótopos.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[002] Os radioisótopos (também chamados de radionuclídeos) têm diversas aplicações em terapia médica, formação de imagens e pesquisa, assim como outras aplicações que não são relacionados à medicina. Os sistemas que produzem radioisótopos tipicamente incluem um acelerador de partículas, tal como um cíclotron, que acelera um feixe de partículas carregadas e direciona o feixe para um material alvo para gerar os isótopos. O cíclotron utiliza campos magnético e elétrico para acelerar e guia as partículas ao longo de uma órbita do tipo espiral dentro uma câmara de aceleração. Quando o cíclotron está em uso, a câmara de aceleração é evacuada para remover partículas de gás indesejadas que podem interagir com as partículas aceleradas. Por exemplo, quando as partículas aceleradas são íons negativos de hidrogênio (H^-), as moléculas de gás hidrogênio (H_2) ou moléculas de água dentro da câmara de aceleração podem tirar o elétron fracamente ligado do íon de hidrogênio. Quando o íon é tirado deste elétron o mesmo se torna uma partícula neutra que não mais é afetada pelos campos magnético e elétrico dentro da câmara de aceleração. A partícula neutra é perdida de maneira irreparável e pode também causar outras reações indesejáveis dentro da câmara de aceleração.

[003] Para manter o estado evacuado da câmara de aceleração, os cíclotrons utilizam sistemas de vácuo que são acoplados de maneira fluida à câmara. Entretanto, os sistemas de vácuo convencionais podem ter propriedades ou qualidades indesejáveis. Por exemplo, os sistemas de vácuo

convencionais podem ser grandes e exigirem espaço extenso. Isto pode ser problemático, especialmente quando o ciclotron e o sistema de vácuo devem ser utilizados em um quarto de hospital que não foi originalmente projetado para utilizar sistemas grandes. Além disto, os sistemas de vácuo existentes tipicamente têm diversos componentes interconectados, tais como inúmeras bombas (incluindo diferentes tipos de bombas), válvulas, canos, e braçadeiras. A fim de operar de modo efetivo o sistema de vácuo, pode ser necessário monitorar cada componente (por exemplo, através de sensores e verificadores) e controlar individualmente alguns destes componentes. Além disto, com diversos componentes interconectados pode haver mais interfaces ou regiões onde baixas podem ocorrer devido às partes gastas ou danificadas. Isto pode levar a manutenção demorada e custosa do sistema de vácuo.

[004] Além do que foi acima mencionado, os sistemas de vácuo complexos podem exigir um subsistema de resfriamento. Por exemplo, em um conhecido sistema de vácuo, diversas bombas de difusão são acopladas de maneira fluida à câmara de aceleração. As bombas de difusão utilizam um fluido de trabalho (por exemplo, óleo) gerar um vácuo fervendo-se o óleo a um vapor e dirigindo-se o vapor através de um conjunto de jato. No entanto, a grande quantidade de calor gerado no processo pode ser removida do sistema de vácuo a fim de condensar e recuperar o óleo. O subsistema de resfriamento adiciona uma complexidade adicional ao sistema de vácuo.

[005] Consequentemente, existe uma necessidade de sistemas de vácuo melhorados que removem partículas de gás indesejadas da câmara de aceleração. Existe também uma necessidade de sistemas de vácuo que exijam menos espaço, que exijam menos manutenção, que sejam menos complexos ou que sejam menos custosos do que os sistemas de vácuo conhecidos.

DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[006] De acordo com uma realização, prevê-se que um ciclotron

inclui um conjunto de ímã para produzir um campo magnético para direcionar partículas carregadas ao longo de um trajeto desejado. O ciclotron também inclui uma culatra de ímã que tem um corpo de culatra que circunda uma câmara de aceleração. O conjunto de ímã é localizado no corpo da culatra. O corpo da culatra forma uma cavidade de aceitação de bomba (PA) que é acoplada de modo fluido à câmara de aceleração. O ciclotron também inclui uma bomba de vácuo que é configurada para introduzir um vácuo no interior da câmara de aceleração. A bomba de vácuo é posicionada na cavidade PA.

[007] De acordo com outra realização, uma produção de isótopo é fornecida. O sistema inclui um conjunto de ímã para produzir um campo magnético para direcionar partículas carregadas ao longo de um trajeto desejado. O sistema também inclui uma culatra de ímã que tem um corpo de culatra que circunda uma câmara de aceleração. O conjunto de ímã é localizado no corpo da culatra. O corpo da culatra forma uma cavidade de aceitação de bomba (PA) que é acoplada de modo fluido à cavidade PA no corpo da culatra. A bomba de vácuo é configurada para introduzir um vácuo no interior da câmara de aceleração. Além disso, o sistema inclui um sistema alvo que é posicionado para receber as partículas carregadas para gerar isótopos.

[008] De acordo com ainda outra realização, um ciclotron é fornecido de modo que inclua uma culatra de ímã dotada de um corpo de culatra. O corpo de culatra inclui um par de polos que são localizados de modo oposto entre si através de um plano médio do corpo de culatra. Os polos têm uma primeira região espacial entre os mesmos, na qual as partículas carregadas são direcionadas ao longo de um trajeto desejado. O ciclotron também inclui um par de bobinas de ímã que é localizado no interior do corpo da culatra opostas entre si através do plano médio. Cada bobina de ímã circunda um polo correspondente. As bobinas de ímã têm uma segunda região espacial entre as mesmas, a qual circunda a primeira região espacial. A

primeira e a segunda regiões espaciais formam coletivamente uma câmara de aceleração de culatra de ímã. Ademais, o ciclotron inclui uma bomba de vácuo que é acoplada de modo fluido à câmara de aceleração e é configurada para manter um vácuo no interior da primeira e da segunda regiões espaciais.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[009] A Figura 1 é um diagrama de blocos de um sistema de produção de isótopo formado de acordo com uma realização.

[0010] A Figura 2 é uma vista lateral de um ciclotron formado de acordo com uma realização.

[0011] A Figura 3 é uma vista lateral de uma parcela de fundo do ciclotron mostrado na Figura 2.

[0012] A Figura 4 é uma vista lateral de bomba turbomolecular que podem ser utilizadas com o ciclotron mostrado na Figura 2.

[0013] A Figura 5 é uma vista em perspectiva de uma parcela de um corpo de culatra que pode ser utilizado com o ciclotron mostrado na Figura 2.

[0014] A Figura 6 é uma vista plana de um conjunto de culatra e ímã que pode ser utilizada com o ciclotron mostrado na Figura 2.

[0015] A Figura 7 é uma vista em perspectiva de um sistema de produção de isótopo formado de acordo com outra realização.

[0016] A Figura 8 é uma vista lateral de um ciclotron formado de acordo com outra realização, o qual pode ser usado com o sistema de produção de isótopo mostrado na Figura 6.

DESCRIÇÃO DE REALIZAÇÕES DA INVENÇÃO

[0017] A Figura 1 é um diagrama de blocos de um sistema de produção de isótopo 100 formado de acordo com uma realização. O sistema 100 inclui um ciclotron 102 que tem diversos subsistemas incluindo um sistema de fonte de íon 104, um sistema de campo elétrico 106, um sistema de campo

magnético 108, e um sistema de vácuo 110. Durante a utilização do cíclotron 102, partículas carregadas são colocadas dentro ou injetadas no cíclotron 102 através do sistema de fonte de íon 104. O sistema de campo magnético 108 e o sistema de campo elétrico 106 geram campos respectivos que cooperam um com o outro na produção de um feixe de partículas 112 das partículas carregadas. As partículas carregadas são aceleradas e guiadas dentro do cíclotron 102 ao longo de uma trajetória predeterminada. O sistema 100 também tem um sistema de extração 115 e um sistema alvo 114 que inclui um material alvo 116.

[0018] Para gerar isótopos, o feixe de partículas 112 é direcionado pelo cíclotron 102 através do sistema de extração 115 ao longo de uma trajetória de transporte de feixe 117 e para o sistema alvo 114 para que o feixe de partículas 112 incida sobre o material alvo 116 localizado em uma área do alvo correspondente 120. O sistema 100 pode ter múltiplas áreas do alvo 120 de A a C onde materiais alvo separados 116 de A a C ficam localizados. Um sistema ou dispositivo cambiante (não mostrado) pode ser utilizado para cambiar as áreas do alvo 120 de A a C em relação ao feixe de partículas 112 para que o feixe de partículas 112 incida sobre um material alvo diferente 116. Um vácuo pode ser mantido durante o processo de comutação também. De forma alternativa, o cíclotron 102 e o sistema de extração 115 podem não dirigir o feixe de partículas 112 ao longo de somente uma trajetória, mas pode dirigir o feixe de partículas 112 ao longo de uma trajetória única para cada área do alvo diferente 120 A-C.

[0019] Exemplos de sistemas de produção de isótopo e/ou cíclotrons que têm um ou mais dos subsistemas descritos acima são descritos nas Patentes N^{os} U.S. 6.392.246; 6.417.634; 6.433.495; e 7.122.966 e na Publicação de Pedido de Patente N^o U.S. 2005/0283199, todas as quais são incorporadas por referência na sua totalidade. Exemplos adicionais são

também fornecidos nas Patentes N^{os} U.S. 5.521.469; 6.057.655; e na Publicação de Pedido de Patente N^{os} U.S. 2008/0067413 e 2008/0258653, todas as quais são incorporadas por referência na sua totalidade.

[0020] O sistema 100 é configurado para produzir radioisótopos (também chamados radionuclídeos) que podem ser utilizados em formação de imagens médicas, pesquisa e terapia, mas também para outras aplicações que não sejam relacionadas sob um ponto de vista médico, tais como análise ou pesquisa científica. Quando utilizados para fins médicos, tais como em formação de imagens de Medicina Nuclear (NM) ou formação de imagens de Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET), os radioisótopos podem também ser chamados rastreadores. A título de exemplo, o sistema 100 pode gerar prótons para criar isótopos $^{18}\text{F}^-$ em forma líquida, isótopos ^{11}C , como o CO_2 , e isótopos ^{13}N , como o NH_3 . O material alvo 116 utilizado para criar estes isótopos pode ser água ^{18}O enriquecida, gás $^{14}\text{N}_2$ natural, e ^{16}O -água. O sistema 100 pode também gerar deutérios a fim de produzir gases ^{15}O (oxigênio, dióxido de carbono, e monóxido de carbono) e água marcada ^{15}O .

[0021] Em algumas realizações, o sistema 100 utiliza tecnologia $^1\text{H}^-$ e traz as partículas carregadas a uma baixa energia (por exemplo, cerca de 7,8 MeV) com uma corrente de feixe de aproximadamente 10 a 30 μA . Em tais realizações, os íons negativos de hidrogênio são acelerados e guiados através do ciclotron 102 e em direção ao sistema de extração 115. Os íons negativos de hidrogênio podem então atingir uma folha metálica removedora (não mostrada) do sistema de extração 115, desse modo removendo o par de elétrons e fazendo da partícula um íon positivo, $^1\text{H}^+$. Entretanto, em realizações alternativas, as partículas carregadas podem ser íons positivos, tais como $^1\text{H}^+$, $^2\text{H}^+$, e $^3\text{He}^+$. Em tais realizações alternativas, o sistema de extração 115 pode incluir um defletor eletrostático que cria um campo elétrico que guia o feixe de partículas em direção ao material alvo 116.

[0022] O sistema 100 pode incluir um sistema de resfriamento 122 que transporta um fluido de trabalho ou de resfriamento para vários componentes dos diferentes sistemas a fim de absorver o calor gerado pelos respectivos componentes. O sistema 100 pode também incluir um sistema de controle 118 que pode ser utilizado por um técnico para controlar a operação dos vários sistemas e componentes. O sistema de controle 118 pode incluir uma ou mais interfaces de usuário que ficam localizadas próximo ou longe do cíclotron 102 e do sistema alvo 114. Embora não mostrado na Figura 1, o sistema 100 pode também incluir uma ou mais blindagens contra radiação para o cíclotron 102 e o sistema alvo 114.

[0023] O sistema 100 pode produzir os isótopos em porções ou quantidades predeterminadas, tais como doses individuais para uso na terapia ou formação de imagens médicas. Uma capacidade de produção para o sistema 100 para as formas de isótopo exemplares listadas acima pode ser 50 mCi em menos de cerca de dez minutos a 20 μ A para $^{18}\text{F}^-$; 300 mCi em cerca de trinta minutos a 30 μ A para $^{11}\text{CO}_2$; e 100 mCi em menos de cerca de dez minutos a 20 μ A for $^{13}\text{NH}_3$.

[0024] Além disso, o sistema 100 pode utilizar uma reduzida quantidade de espaço em relação a sistemas de produção de isótopo conhecidos de tal forma que o sistema 100 tem tamanho, forma e peso que permitiria que o sistema 100 fosse fixado dentro de um espaço confinado. Por exemplo, o sistema 100 pode caber dentro de acomodações pré-existentes que não foram originalmente construídos para aceleradores de partículas, tais como em um ambiente hospitalar ou clínico. Como tal, o cíclotron 102, o sistema de extração 115, o sistema alvo 114, e um ou mais componentes do sistema de resfriamento 122 podem ser fixados dentro de um alojamento comum 124 que é dimensionado e formado para caber em um espaço confinado. Como um exemplo, o volume total utilizado pelo alojamento 124 pode ser 2 m³. As

possíveis dimensões do alojamento 124 podem incluir uma largura máxima de 2,2 m, uma altura máxima de 1,7 m e uma profundidade máxima de 1,2 m. O peso combinado do alojamento e sistema nisto pode ser de aproximadamente 10.000 kg. O alojamento 124 pode ser fabricado a partir do polietileno (PE) e chumbo e ter uma espessura configurada para atenuar o fluxo de nêutrons e raios gama a partir do cíclotron 102. Por exemplo, o alojamento 124 pode ter uma espessura (medida entre uma superfície interior que circunda o cíclotron 102 e uma superfície exterior do alojamento 124) de, pelo menos, cerca de 100 mm ao longo de parcelas do alojamento predeterminadas 124 que atenuam o fluxo de nêutrons.

[0025] O sistema 100 pode ser configurado para acelerar as partículas carregadas para um nível de energia predeterminado. Por exemplo, algumas realizações descritas no presente documento aceleram as partículas carregadas a uma energia de aproximadamente 18 MeV ou menos. Em outras realizações, o sistema 100 acelera as partículas carregadas a uma energia de aproximadamente 16,5 MeV ou menos. Em realizações particulares, o sistema 100 acelera as partículas carregadas a uma energia de aproximadamente 9,6 MeV ou menos. Em realizações mais particulares, o sistema 100 acelera as partículas carregadas a uma energia de aproximadamente 7,8 MeV ou menos.

[0026] A figura 2 é uma vista lateral de um cíclotron 200 formado de acordo com uma realização. O cíclotron 200 inclui uma culatra de ímã 202 que tem um corpo de culatra 204 que circunda uma câmara de aceleração 206. O corpo de culatra 204 tem faces laterais opostas 208 e 210 com uma espessura t_1 que se estende entre as mesmas e também tem extremidades de fundo e topo 212 e 214 com uma extensão l que se estende entre as mesmas. O corpo de culatra 204 pode incluir cantos ou regiões de transição de 216 a 219 que unem as faces laterais 208 e 210 às extremidades de fundo e topo 212 e 214. Mais especificamente, a extremidade de topo 212 é unida às faces

laterais 210 e 208 pelos cantos 216 e 217, respectivamente, e a extremidade de fundo é unida às faces laterais 210 e 208 pelos cantos 219 e 218, respectivamente. Na realização exemplar, o corpo de culatra 204 tem uma seção transversal substancialmente circular e, como tal, a extensão I pode representar um diâmetro do corpo de culatra 204. O corpo de culatra 204 pode ser manufaturado a partir do ferro e ser dimensionado e formado para produzir um campo magnético desejado quando o cíclotron 200 está em operação.

[0027] Conforme mostrado na figura 2, o corpo de culatra 204 pode ser dividido em seções de culatra opostas 228 e 230 que definem a câmara de aceleração 206 entre as mesmas. As seções de culatra 228 e 230 são configuradas para serem posicionadas adjacentes uma à outra ao longo de um plano médio 232 da culatra de ímã 202. Como mostrado, o cíclotron 200 pode ser orientado verticalmente (em relação à gravidade) de tal forma que o plano médio 232 se estende perpendicular a uma plataforma horizontal 220. A plataforma 220 é configurada para suportar o peso do cíclotron 200 e pode der, por exemplo, um piso de uma acomodação ou uma laje de cimento. O cíclotron 200 tem um eixo geométrico central 236 que se estende horizontalmente entre e através das seções de culatra 228 e 230 (e as faces laterais correspondentes 210 e 208, respectivamente). O eixo geométrico central 236 se estende perpendicular ao plano médio 232 através de um centro do corpo de culatra 204. A câmara de aceleração 206 tem uma região central 238 localizada em uma interseção do plano médio 232 e o eixo geométrico central 236. Em algumas realizações, a região central 238 está em um centro geométrico da câmara de aceleração 206. Também mostrado, a culatra de ímã 202 inclui uma parcela superior 231 que se estende acima do eixo geométrico central 236 e uma parcela inferior 233 que se estende abaixo do eixo geométrico central 236.

[0028] As seções de culatra 228 e 230 incluem polos 248 e 250, respectivamente, que se opõem um ao outro através do plano médio 232

dentro da câmara de aceleração 206. Os polos 248 e 250 podem ser separados um do outro por um vão entre polos G. O polo 248 inclui um topo de polo 252 e o polo 250 inclui um topo de polo 254 que fica diante do topo de polo 252. Os polos 248 e 250 e o vão entre polos G são dimensionados e formados para produzir um campo magnético desejado quando o cíclotron 200 está em operação. Por exemplo, em algumas realizações, o vão entre polos G pode ser de 3 cm.

[0029] O cíclotron 200 também inclui um conjunto de ímã 260 localizado dentro ou próximo da câmara de aceleração 206. O conjunto de ímã 260 é configurado para facilitar a produção do campo magnético com os polos 248 e 250 para direcionar as partículas carregadas ao longo de uma trajetória desejada. O conjunto de ímã 260 inclui um par de bobinas de ímã opostas 264 e 266 que são espaçadas uma da outra através do plano médio 232 a uma distância d_1 . As bobinas de ímã 264 e 266 podem ser, por exemplo, bobinas resistentes de liga de cobre. De forma alternativa, as bobinas de ímã 264 e 266 podem ser uma liga de alumínio. As bobinas de ímã podem ser substancialmente circulares e se estender em torno do eixo geométrico central 236. As seções de culatra 228 e 230 podem formar cavidades de bobina de ímã 268 e 270, respectivamente, que são dimensionadas e formadas para receber as bobinas de ímã correspondentes 264 e 266, respectivamente. Também mostrado na figura 2, o cíclotron 200 pode incluir as paredes de câmara 272 e 274 que separam as bobinas de ímã 264 e 266 a partir da câmara de aceleração 206 e facilitam a fixação das bobinas de ímã 264 e 266 na posição.

[0030] A câmara de aceleração 206 é configurada para permitir que partículas carregadas, tais como íons de $^1\text{H}^+$, sejam aceleradas nisto ao longo de uma trajetória curvada predeterminada que envolve de uma maneira em espiral em torno do eixo geométrico central 236 e permanece

substancialmente ao longo do plano médio 232. As partículas carregadas são inicialmente posicionadas próximas a uma região central 238. Quando o ciclotron 200 é ativado, a trajetória das partículas carregadas pode orbitar ao redor do eixo geométrico central 236. Na realização ilustrada, o ciclotron 200 é um ciclotron isócrona e, como tal, a órbita das partículas carregadas tem parcelas que se curvam em torno do eixo geométrico central 236 e parcelas que são mais lineares. Entretanto, as realizações descritas no presente documento não são limitadas a ciclotrons isócronos, mas também incluem outros tipos de ciclotrons e aceleradores de partículas. Como mostrado na figura 2, quando as partículas carregadas orbitam ao redor do eixo geométrico central 236, as partículas carregadas podem se projetar para fora da página na parcela superior 231 da câmara de aceleração 206 e se estender em direção à página na parcela inferior 233 da câmara de aceleração 206. À medida que as partículas carregadas orbitam ao redor do eixo geométrico central 236, um raio r que se estende entre a órbita das partículas carregadas e a região central 238 aumenta. Quando as partículas carregadas alcançam uma localização predeterminada ao longo da órbita, as partículas carregadas são direcionadas em direção ou através de um sistema de extração (não mostrado) e para fora do ciclotron 200.

[0031] A câmara de aceleração 206 pode estar em um estado evacuado antes e durante a formação do feixe de partículas 112. Por exemplo, antes de o feixe de partículas ser criado, uma pressão da câmara de aceleração 206 pode ser de aproximadamente 1×10^{-7} millibar. Quando o feixe de partículas é ativado e o gás de H_2 está fluindo através de uma fonte de íons (não mostrada) localizada na região central 238, a pressão da câmara de aceleração 206 pode ser de aproximadamente 2×10^{-5} millibar. Como tal, o ciclotron 200 pode incluir uma bomba de vácuo 276 que pode estar próxima ao plano médio 232. A bomba de vácuo 276 pode incluir uma parcela que se

projeta de forma radial para fora da extremidade 214 do corpo de culatra 204. Como será discutido em maior detalhe abaixo, a bomba de vácuo 276 pode incluir uma bomba que é configurada para evacuar a câmara de aceleração 206.

[0032] Em algumas realizações, as seções de culatra 228 e 230 podem ser móveis uma em direção à outra e afastadas uma da outra para que a câmara de aceleração 206 possa ser acessada (por exemplo, para reparo ou manutenção). Por exemplo, as seções de culatra 228 e 230 podem ser unidas por uma dobradiça (não mostrada) que se estende ao longo das seções de culatra 228 e 230. Uma ou ambas as seções de culatra 228 e 230 podem ser abertas mediante a colocação da(s) seção(ões) de culatra correspondente(s) em torno de um eixo geométrico da dobradiça. Como outro exemplo, as seções de culatra 228 e 230 podem ser separadas uma da outra se movendo lateralmente uma das seções de culatra linearmente para longe da outra. Entretanto, em realizações alternativas, as seções de culatra 228 e 230 podem formar uma peça única ou permanecerem vedadas quando a câmara de aceleração 206 é acessada (por exemplo, através de um orifício ou abertura da culatra de ímã 202 que leva para dentro da câmara de aceleração 206). Em realizações alternativas, o corpo de culatra 204 pode ter seções que não são igualmente divididas e/ou pode incluir mais do que duas seções. Por exemplo, o corpo de culatra pode ter três seções como mostrado na figura 8 em relação à culatra de ímã 504.

[0033] A câmara de aceleração 206 pode ter um formato que se estende ao longo e é substancialmente simétrica em torno do plano médio 232. Por exemplo, a câmara de aceleração 206 pode ser substancialmente em formato de disco e inclui uma região espacial interna 241 definida entre os topos de polo 252 e 254 e uma região espacial externa 243 definida entre as paredes da câmara 272 e 274. A órbita das partículas durante operação do

cíclotron 200 pode ser dentro da região espacial 241. A câmara de aceleração 206 pode também incluir passagens que levam radialmente para fora e para longe da região espacial 243, como uma passagem P_1 (mostrada na figura 3) que leva em direção à bomba de vácuo 276.

Também mostrado na figura 2, o corpo da culatra 204 tem uma superfície externa 205 que define um envelope 207 do o corpo da culatra 204. O envelope 207 tem um formato que é cerca de equivalente a um formato geral do o corpo da culatra 204 definido pela superfície externa 205 sem cavidades pequenas, recortes, ou recessos. Por exemplo, uma porção do envelope 207 é indicada através de uma linha tracejada que se estende ao longo de um plano definido pela superfície externa 205 da extremidade 214. Conforme mostrado na figura 2, uma seção transversal do envelope 207 é um polígono de oito lados definido pela superfície externa 205 das faces laterais 208 e 210, extremidades 212 e 214, e cantos 216-219. Conforme será discutido em maiores detalhes abaixo, o corpo da culatra 204 pode formar passagens, recortes, recessos, cavidades, e similares que penetram no envelope 207.

[0034] Além disso, os polos 248 e 250 (ou, mais especificamente, os topos de polo 252 e 254) podem ser separados pela região espacial 241 entre os mesmos onde as partículas carregadas são direcionadas ao longo da trajetória desejada. As bobinas de ímã 264 e 266 podem também serem separadas pela região espacial 243. Em particular, as paredes da câmara 272 e 274 podem ter a região espacial 243 entre as mesmas. Além disso, uma periferia da região espacial 243 pode ser definida por uma superfície de parede 354 que também define uma periferia da câmara de aceleração 206. A superfície de parede 354 pode estender-se circunferencialmente em torno do eixo geométrico central 236. Conforme mostrado, a região espacial 241 estende uma distância igual a um vão do polo G (figura 3) ao longo do eixo geométrico central 236, e a região espacial 243 estende a distância D_i ao longo

do eixo geométrico central 236.

[0035] Conforme mostrado na figura 2, a região espacial 243 circunda a região espacial 241 em torno do eixo geométrico central 236. As regiões espaciais 241 e 243 podem formar coletivamente a câmara de aceleração 206. Consequentemente, na realização ilustrada, o cíclotron 200 não inclui um tanque ou parede separada que somente circunda a região espacial 241, portanto definindo a região espacial 241 como a câmara de aceleração do cíclotron. Mais especificamente, a bomba de vácuo 276 é acoplada de forma fluida à região espacial 241 através da região espacial 243. Um gás entrando na região espacial 241 pode ser evacuado da região espacial 241 através da região espacial 243. Na realização ilustrada, a bomba de vácuo 276 é acoplada de forma fluida na e alocada adjacente à região espacial 243.

[0036] A figura 3 é uma seção transversal lateral aumentada do cíclotron 200 e, mais especificamente, a porção inferior 233. O corpo da culatra 204 pode definir uma porta de vácuo 278 que abre diretamente para a câmara de aceleração 206. A bomba de vácuo 276 pode ser diretamente acoplada no corpo da culatra 204 na porta 278. A porta 278 proporciona uma entrada ou abertura na bomba de vácuo 276 para que partículas de gás indesejáveis fluam através da mesma. A porta 278 pode ter um formato (juntamente com outros fatores e dimensões do cíclotron 200) para proporcionar uma condução desejada das partículas de gás através da porta 278. Por exemplo, a porta 278 pode ter um formato circular, similar a um quadrado, ou outro formato geométrico.

[0037] A bomba de vácuo 276 é posicionada dentro de uma cavidade de aceitação de bomba (PA) 282 formada pelo corpo da culatra 204. A cavidade PA 282 é acoplada de forma fluida em uma câmara de aceleração 206 e abre para a região espacial 243 da câmara de aceleração 206 e pode incluir uma passagem P₁. Quando posicionada dentro da cavidade PA 282,

pelo menos uma porção da bomba de vácuo 276 está dentro do envelope 207 do corpo da culatra 204 (figura 2). A bomba de vácuo 276 pode projetar radialmente para fora e para longe da região central 238 ou eixo geométrico central 236 ao longo do plano médio 232. A bomba de vácuo 276 pode ou não projetar para além do envelope 207 do corpo da culatra 204. Para fins de exemplo, a bomba de vácuo 276 pode ser alocada entre a câmara de aceleração 206 e a plataforma 220 (isto é, a bomba de vácuo 276 é alocada diretamente abaixo da câmara de aceleração 206). Em outras realizações, a bomba de vácuo 276 pode também projetar radialmente para fora e para longe da região central 238 ao longo do plano médio 232 em outra localização. Por exemplo, a bomba de vácuo 276 pode estar acima ou atrás da câmara de aceleração 206 na figura 2. Em realizações alternativas, a bomba de vácuo 276 pode se projetar para longe a partir de uma das faces laterais 208 ou 210 em uma direção que é paralela ao eixo geométrico central 236. Além disso, embora somente uma bomba de vácuo 276 seja mostrada na figura 3, realizações alternativas podem incluir múltiplas bombas de vácuo. Além disso, o corpo da culatra 204 pode ter cavidades PA adicionais.

[0038] A bomba de vácuo 276 inclui uma parede de tanque 280 e um conjunto de bomba ou de vácuo 283 mantido na mesma. A parede do tanque 280 é dimensionada e formatada para caber dentro da cavidade PA 282 e retém o conjunto da bomba 283 da mesma. Por exemplo, a parede do tanque 280 pode ter uma seção transversal substancialmente circular conforme a parede do tanque 280 se estende a partir do cíclotron 200 para a plataforma 220. Alternativamente, a parede do tanque 280 pode ter outros formatos em seção transversal. A parede do tanque 280 pode proporcionar espaço o suficiente na mesma para o conjunto da bomba 283 para operar eficazmente. A superfície de parede 354 pode definir uma abertura 356 e as seções de culatra 228 e 230 podem formar porções de aba correspondentes 286 e 288 que estão

próximas à porta 278. As porções de aba 286 e 288 podem definir a passagem P_1 que se estende a partir da abertura 356 para a porta 278. A porta 278 abre em direção à passagem P_1 e a câmara de aceleração 206 e tem um diâmetro D2. A abertura 356 tem um diâmetro D5. Os diâmetros D2 e D5 podem ser configurados de forma que o ciclotron 200 opera em uma eficácia desejada na produção dos radioisótopos. Por exemplo, os diâmetros D2 e D5 podem ter base em um tamanho e formato da câmara de aceleração 206, incluindo o vão do polo G, e uma condutância operante do conjunto da bomba 283. Como um exemplo específico, o diâmetro D2 pode ser de cerca 250 mm a cerca de 300 mm.

[0039] O conjunto da bomba 283 pode incluir um ou mais dispositivos de bombeamento 284 que efetivamente evacua a câmara de aceleração 206 de forma que o ciclotron 200 tenha uma eficácia operacional desejada na produção dos radioisótopos. O conjunto da bomba 283 pode incluir um ou mais bombas do tipo transferência de impulso, bombas do tipo deslocamento positivo, e/ou outros tipos de bombas. Por exemplo, o conjunto da bomba 283 pode incluir uma bomba de difusão, uma bomba de íons, uma bomba criogênica, uma pá de hélice rotatória ou bomba grosseira, e/ou uma bomba turbomolecular. O conjunto da bomba 283 pode, além disso, incluir uma pluralidade de um tipo de bomba ou uma combinação de bombas que utiliza tipos diferentes. O conjunto da bomba 283 pode, além disso, ter uma bomba híbrida que utiliza diferentes atributos ou subsistemas das bombas mencionadas acima. Conforme mostrado na figura 3, o conjunto da bomba 283 pode, além disso, ser acoplado de forma fluida em série em uma pá de hélice rotatória ou bomba grosseira 285 que pode liberar o ar na atmosfera ao redor.

[0040] Além disso, o conjunto da bomba 283 pode incluir outros componentes para remover as partículas de gás, como bombas, tanques ou câmaras, condutos, alinhadores, válvulas adicionais, válvulas de ventilação,

medidores, seladores, tubos de petróleo e de exaustão. Em adição, o conjunto da bomba 283 pode incluir ou ser conectado a um sistema de resfriamento. Além disso, todo o conjunto de bombas 283 pode caber dentro da cavidade PA 282 (isto é, dentro do envelope 207) ou, alternativamente, somente um ou mais dos componentes pode ser alocado dentro da cavidade PA 282. Na realização exemplificativa, o conjunto da bomba 283 inclui pelo menos uma bomba de vácuo do tipo transferência de impulso (por exemplo, bomba de difusão, ou bomba turbomolecular) que é alocada pelo menos parcialmente dentro da cavidade PA 282.

[0041] Também mostrado, a bomba de vácuo 276 pode ser acoplada comunicavelmente a um sensor de pressão 312 dentro da câmara de aceleração 206. Quando a câmara de aceleração 206 atinge uma pressão predeterminada, o dispositivo de bombeamento 284 pode ser automaticamente ativado ou automaticamente interrompido. Embora não mostrado, pode-se ter sensores adicionais dentro da câmara de aceleração 206 ou cavidade PA 282.

[0042] A figura 4 ilustra uma vista lateral da bomba turbomolecular 376 formada de acordo com uma realização que pode ser usada como a bomba de vácuo 276 (figura 2). A bomba turbomolecular 376 pode ser diretamente acoplada no corpo da culatra 204 na porta 278 (isto é, não acoplada ao corpo da culatra 204 através de um conduto ou duto que se estende para longo do corpo da culatra 204 e para fora da cavidade PA.) A bomba turbomolecular 376 pode se estender ao longo de um eixo geométrico central 290 entre uma porta 378 de uma culatra de ímã e uma plataforma 375. A bomba turbomolecular 376 inclui um motor 302 que é operativamente acoplado em um ventilador giratório 305. O ventilador giratório 305 pode incluir um ou mais estágios das lâminas do rotor 304 e lâminas do estator 306. Cada lâmina do rotor 304 e lâmina do estator 306 projeta-se radialmente para fora a partir de um eixo 291 que se estende ao longo do eixo geométrico central 290.

Em uso, a bomba turbomolecular 376 opera similarmente a um compressor. As lâminas do rotor 304, lâminas do estator 306, e eixo 291 giram em torno do eixo geométrico central 290. Partículas de gás fluindo ao longo de uma passagem P_2 entram na bomba turbomolecular 376 através da porta 378 e são inicialmente atingidas por um grupo de lâminas do rotor 304. As lâminas do rotor 304 são formatadas para pressionar as partículas de gás para longe da câmara de aceleração do ciclotron, como a câmara de aceleração 206 (figura 3). As lâminas do estator 306 são posicionadas adjacentes às lâminas do rotor 304 correspondentes e, além disso, pressionam as partículas de gás para longe da câmara de aceleração. Este processo continua através dos estágios remanescentes do rotor e lâminas do estator 304 e 306 do ventilador 305 de forma que o fluxo de ar mova-se em uma direção para longe da câmara de aceleração em direção a uma região de fundo 392 da bomba turbomolecular 376 (as setas F indicam a direção do fluxo). Quando as partículas de gás atingem a região de fundo 392 da bomba turbomolecular 376, as partículas de gás podem ser forçadas para fora da bomba turbomolecular 376 através de um exaustor ou conduto 308. O exaustor 308 direciona o ar removido da câmara de aceleração através de uma saída 310 que se projeta de uma parede de tanque 380. A saída 210 pode ser acoplada de forma fluida a uma pá de hélice rotatória ou bomba grosseira (não mostrado).

[0043] A figura 5 é uma vista em perspectiva isolada da seção da culatra 228 e ilustra em maiores detalhes o polo 248, a cavidade da bobina 268, e a passagem P_1 que leva à porta 278 (figura 2) da bomba de vácuo 276 (figura 2). A seção da culatra 228 tem um corpo substancialmente circular que inclui um diâmetro D_3 que é igual ao comprimento L mostrado na figura 2. A seção da culatra 228 inclui uma cavidade de lateral aberta 320 definida dentro de uma porção anular 321. A porção anular 321 tem uma superfície interna 322 que se estende em torno do eixo geométrico central 236 e define uma periferia

da cavidade de lateral aberta 320. A seção da culatra 228, além disso, tem uma superfície externa 326 que se estende em torno da porção anular 321. Uma espessura radial T2 da porção anular 321 é definida entre as superfícies interna e externa 322 e 326.

Conforme mostrado, o polo 248 é alocado dentro da cavidade de lateral aberta 320. A porção anular 321 e o polo 248 são concêntricos entre si e tem o eixo geométrico central 236 se estendendo através do mesmo. O polo 248 e a superfície interna 322 definem pelo menos uma porção da cavidade da bobina 268 entre os mesmos. Em algumas realizações, a seção da culatra 228 inclui uma superfície de acoplamento 324 que se estende ao longo da porção anular 321 e paralela ao plano definido através das linhas radiais 237 e 239. A superfície de acoplamento 324 é configurada para combinar com uma superfície de acoplamento oposta (não mostrado) da seção da culatra 230 quando as seções de culatra 228 e 230 são combinadas juntamente ao longo do plano médio 232 (figura 2).

[0044] Também mostrado, a seção da culatra 228 pode incluir um recesso de culatra 330 que parcialmente define a passagem P₁ e a cavidade PA 282 (figura 3). A seção da culatra 230 pode ter um recesso de culatra similarmente formatado 340 (mostrado na figura 6) de forma que o corpo da culatra 204 (figura 2) forme a passagem P₁ e a cavidade PA 282. O recesso de culatra 330 é formatada para receber a bomba de vácuo 276 quando o corpo da culatra 204 é totalmente formado. Por exemplo, o recesso de culatra 330 pode ter um recorte 341 que pode ter formato retangular e se estender uma profundidade D4 na seção da culatra 228 em direção ao eixo geométrico central 236. O recorte 341 pode, além disso, ter uma largura W1 que se estende ao longo de uma porção de arco da seção da culatra 228. A seção da culatra 228 pode, além disso, formar uma porção de saliência 349 que define parcialmente a porta 278 (figura 3) ou a passagem P₁. O recesso 330, incluindo

a porção de saliência 349 e o recorte 341, pode ser dimensionado e formatada para ter efeito mínimo ou nulo nos campos magnéticos durante a operação do cíclotron 200 (figura 2). Quando o corpo da culatra 204 é totalmente formado, o recorte 341 da seção da culatra 228 e o recorte 345 da seção da culatra 230 são combinados para formar a cavidade PA 282, a porta 278, e a passagem P₁. Como tal, a cavidade PA 282 pode ter formato de cubo ou caixa de forma que a bomba de vácuo 276 possa caber na mesma e a porta 278 pode ser circular. Entretanto, em realizações alternativas, a cavidade PA 282 e a porta 278 podem ter outros formatos.

[0045] Em uma realização, todas ou uma porção da superfície 322 e qualquer outra superfície que possa interagir com as partículas é folheada com cobre. As superfícies folheadas com cobre são configuradas para reduzir a influência de uma superfície de ferro porosa. Em uma realização, superfícies interiores da bomba de vácuo 276 podem incluir folheamento com cobre. Os interiores das superfícies folheadas com cobre podem, além disso, ser configurados para reduzir a resistividade da superfície.

[0046] Embora não mostrado, pode-se ter orifícios, aberturas ou passagens adicionais estendendo-se através da espessura radial T2 da seção da culatra 228. Por exemplo, pode-se ter uma conexão de alimentação através de RP e outras conexões elétricas que se estendem através da espessura radial T2. Pode-se, além disso, ter um canal de saída de feixe onde o feixe de partícula saia do cíclotron 200 (figura 2). Além disso, um sistema de resfriamento (não mostrado) pode ter condutos estendendo-se através da espessura radial T2 para resfriar componentes dentro da câmara de aceleração 206.

[0047] Na realização ilustrada, o cíclotron 200 é um cíclotron isócrona em que o topo do polo 252 do polo do ímã 248 forma um arranjo de setores incluindo subidas 331 a 334 e baixadas 336 a 339. Conforme será

discutido em maiores detalhes abaixo, as subidas 331 a 334 e as baixadas 336 a 339 interagem com as subidas e baixadas correspondentes do polo 250 (figura 2) para produzir um campo magnético para focalizar a trajetória das partículas carregadas.

A figura 6 é uma vista plana da seção de culatra 230. A seção de culatra 230 pode ter componentes e atributos semelhantes como descrito em relação à seção de culatra 228 (figura 2). Por exemplo, a seção de culatra 230 inclui uma parcela anular 421 que define uma cavidade de lateral aberta 420 que tem o polo de ímã 250 alocado no mesmo. A parcela anular 421 pode incluir uma superfície conjugada 424 que é configurada para engatar na superfície conjugada 324 (figura 5) da seção de culatra 228. Também mostrado, a seção de culatra 230 inclui o recesso de culatra 340.

[0048] O topo de polo 254 do polo 250 inclui as subidas de 431 a 434 e as baixadas de 436 a 439. A seção de culatra 230 também inclui os eletrodos de radiofrequência (RF) 440 e 442 que se estendem de forma radial para dentro um em direção ao outro e em direção a um centro 444 do polo 250. Os eletrodos de RF 440 e 442 incluem os dêes (dees) ocos 441 e 443, respectivamente, que se estendem a partir de hastes 445 e 447, respectivamente. Os dêes 441 e 443 ficam localizados dentro das baixadas 436 e 438, respectivamente. As hastes 445 e 447 podem ser acopladas a uma superfície interior 422 da parcela anular 421. Também mostrado, a seção de culatra 230 pode incluir uma pluralidade de painéis de interceptação de 471 a 474 dispostos em torno do polo 250 e da superfície interior 422. Os painéis de interceptação de 471 a 474 são posicionados para interceptar partículas perdidas dentro da câmara de aceleração 206. Os painéis de interceptação de 471 a 474 podem compreender alumínio. A seção de culatra 230 pode também incluir raspadores de feixe de 481 a 484 que podem também compreender alumínio.

[0049] Os eletrodos de RF 440 e 442 podem formar um sistema de eletrodos de RF, tal como o sistema de campo elétrico 106 descrito em relação à figura 1, no qual os eletrodos de RF 440 e 442 aceleram as partículas carregadas dentro da câmara de aceleração 206 (figura 2). Os eletrodos de RF 440 e 442 cooperam um com o outro e formam um sistema ressonante que inclui elementos indutivos e capacitivos ajustados a uma frequência predeterminada (por exemplo, 100 MHz). O sistema de eletrodos de RF pode ter um gerador de energia de alta frequência (não mostrado) que pode incluir um oscilador de frequência em comunicação com um ou mais amplificadores. O sistema de eletrodos de RF cria um potencial elétrico alternado entre os eletrodos de RF 440 e 442, desse modo acelerando as partículas carregadas.

[0050] A figura 7 é uma vista em perspectiva de um sistema de produção de isótopo formado de acordo com uma realização. O sistema 500 é configurado para ser utilizado dentro de um hospital ou ambiente clínico e pode incluir componentes e sistemas semelhantes aos utilizados com o sistema 100 (figura 1) e o cíclotron 200 (figuras de 2 a 6). O sistema 500 pode incluir um cíclotron 502 e um sistema alvo 514 onde radioisótopos são gerados para uso com um paciente. O cíclotron 502 define uma câmara de aceleração 533 onde partículas carregadas se movem ao longo de uma trajetória predeterminada quando o cíclotron 502 é ativado. Quando em uso, o cíclotron 502 acelera partículas carregadas ao longo de uma trajetória de feixe 536 predeterminada ou desejada e direciona as partículas para um arranjo alvo 532 do sistema alvo 514. A trajetória de feixe 536 se estende a partir da câmara de aceleração 533 para o sistema alvo 514 e é indicada como uma linha hachurada.

[0051] A figura 8 é uma seção transversal do cíclotron 502. Conforme mostrado, o cíclotron 502 tem atributos e componentes semelhantes ao cíclotron 200 (figura 2). Entretanto, o cíclotron 502 inclui uma culatra de ímã 504 que pode compreender três seções de 528 a 530 ensanduichadas. Mais

especificamente, o cíclotron 502 inclui uma seção anular 529 que fica localizada entre as seções de culatra 528 e 530. Quando as seções de culatra e anular de 528 a 530 são empilhadas conforme mostrado, as seções de culatra 528 e 530 ficam uma de frente para a outra através de um plano médio 534 e definem uma câmara de aceleração 506 da culatra de ímã 504 na mesma. Conforme mostrado, a seção anular 529 pode definir uma passagem p_3 que leva a uma porta 578 de uma bomba de vácuo 576. A bomba de vácuo 576 pode ter atributos e componentes semelhantes aos de uma bomba de vácuo 276 (figura 2) e pode ser uma bomba turbomolecular, tal como a bomba turbomolecular 376 (figura 4).

[0052] Retornando à figura 7, o sistema 500 pode incluir uma capa ou alojamento 524 que inclui as partições móveis 552 e 554 que se abrem para ficar uma de frente para a outra. Conforme mostrado na figura 7, ambas as partições 552 e 554 estão em posição aberta. O alojamento 524 pode compreender um material que facilita a blindagem da radiação. Por exemplo, o alojamento pode compreender polietileno e, opcionalmente, chumbo. Quando fechada, a partição 554 pode cobrir o arranjo alvo 532 e uma interface de usuário 558 do sistema alvo 514. A partição 552 pode cobrir o cíclotron 502 quando fechada.

[0053] Também mostrado, a seção de culatra 528 do cíclotron 502 pode ser móvel entre posições aberta e fechada. (a figura 7 ilustra um posição aberta e a figura 8 ilustra uma posição fechada.) A seção de culatra 528 pode ser fixada a uma dobradiça (não mostrada) que permite que a seção de culatra 528 oscile aberta como uma porta ou uma tampa e forneça acesso à câmara de aceleração 533. A seção de culatra 530 (figura 8) pode também ser móvel entre posições aberta e fechada ou pode ser vedada ou integralmente formada com a seção anular 529 (figura 8).

[0054] Além disto, a bomba de vácuo 576 pode estar alocada

dentro de uma câmara de bomba 562 da seção anular 529 e o alojamento 524. A câmara de bomba 562 pode ser acessada quando a partição 552 e a seção de culatra 528 estão na posição aberta. Como mostrado, a bomba de vácuo 576 fica localizada abaixo de uma região central 538 da câmara de aceleração 533 de tal forma que um eixo geométrico vertical que se estende através de um centro da porta 578 a partir de um suporte horizontal 520 cruzaria com a região central 538. Também mostrado, a seção de culatra 528 e a seção anular 529 podem ter um recesso de blindagem 560. A trajetória de feixe 536 se estende através do recesso de blindagem 560.

[0055] As realizações descritas no presente documento não se destinam a serem limitadas à geração de radioisótopos para usos médicos, mas podem também gerar outros isótopos e utilizar outros materiais alvo. Além disto, na realização ilustrada, o ciclotron 200 é um ciclotron isócrono verticalmente orientado. Entretanto, as realizações alternativas podem incluir outros tipos de ciclotrons e outras orientações (por exemplo, horizontal).

[0056] Deve-se entender que a descrição acima se destina a ser ilustrativa, e não restritiva. Por exemplo, as realizações acima descritas (e/ou aspectos disso) podem ser utilizadas em combinação uma com a outra. Além disso, muitas modificações podem ser feitas para adaptar uma situação ou material em particular às instruções da invenção sem desviar de seu escopo. Embora as dimensões e tipos de materiais descritos no presente documento se destinam a definir os parâmetros da invenção, os mesmos não são de modo algum limitadores e são realizações exemplares. Muitas outras realizações serão aparentes àqueles versados na técnica mediante a revisão da descrição acima. O escopo da invenção seria, portanto, determinado em relação às reivindicações anexas, junto com o escopo inteiro de equivalentes aos quais tais reivindicações são intituladas. Nas reivindicações anexas, os termos "incluindo" e "nos(as) quais" são utilizados como os equivalentes de linguagem

clara dos respectivos termos "que compreende(em)" e "em que." além do mais, nas seguintes reivindicações, os termos "primeiro," "segundo" e "terceiro," etc. São utilizados puramente como rótulos e não se destinam a impor exigências numéricas sobre seus objetivos. Além disso, as limitações das reivindicações a seguir não estão escritas em formato de meio associado à função e não se destinam a serem interpretadas com base no título 35, artigo 112, parágrafo sexto do U.S.C., a menos e até que tais limitações de reivindicação utilizem expressamente a expressão "meio para" seguida por uma declaração de função vazia de outra estrutura.

[0057] Esta descrição por escrito utiliza exemplos para revelar a invenção, incluindo o melhor modo, e também para permitir que qualquer pessoa versada na técnica ponha a invenção em prática, incluindo fazer e utilizar quaisquer dispositivos ou sistemas e executar quaisquer métodos incorporados. O escopo patenteável da invenção é definido pelas reivindicações, e pode incluir outros exemplos que ocorrem àqueles versados na técnica. Tais outros exemplos são destinados a estar dentro do escopo das reivindicações caso os mesmos tenham elementos estruturais que não difiram da linguagem literal das reivindicações, ou caso os mesmos incluam elementos estruturais equivalentes com diferenças insubstanciais das linguagens literais das reivindicações.

REIVINDICAÇÕES

1. CÍCLOTRON (102, 200, 502), compreendendo:

um conjunto de ímã (260) para produzir um campo magnético para direcionar partículas carregadas ao longo de um trajeto desejado;

uma culatra de ímã (202, 504) que tem um corpo de culatra (204) que circunda uma câmara de aceleração (206, 506, 533), sendo que o conjunto de ímã (260) é posicionado no corpo de culatra (204), em que o corpo de culatra (204) forma uma cavidade de aceitação de bomba (282) que é acoplada de forma fluida à câmara de aceleração (206, 506, 533); e

uma bomba de vácuo (276, 376, 576) configurada para introduzir um vácuo no interior da câmara de aceleração (206, 506, 533);

caracterizado pelo fato de que a bomba de vácuo (276, 376, 576) é posicionada na cavidade de aceitação de bomba (282).

2. CÍCLOTRON (102, 200, 502), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a câmara de aceleração (206, 506, 533) tem um formato de disco que é orientado ao longo de um plano médio (232, 534) da culatra de ímã (202, 504), sendo que o plano médio (232, 534) se estende através da cavidade de aceitação de bomba (282).

3. CÍCLOTRON (102, 200, 502), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o corpo de culatra (204) inclui cavidades de bobina de ímã (268, 270) configuradas para receber as primeira e segunda bobinas de ímã (264, 266), sendo que a primeira e a segunda bobinas de ímã (264, 266) são posicionadas de modo oposto, e espaçadas, uma da outra através de um plano médio (232, 534) da culatra de ímã (202, 504), sendo que a cavidade de aceitação de bomba (282) inclui uma passagem entre a primeira e a segunda bobinas de ímã (264, 266).

4. CÍCLOTRON (102, 200, 502), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a cavidade de aceitação de

bomba (282) é acoplada de forma fluida à câmara de aceleração (206, 506, 533) através de uma porta de vácuo (278, 578), sendo que a porta de vácuo (278, 578) é dimensionada para facilitar a condutância de partículas a partir da câmara de aceleração (206, 506, 533) para o interior da cavidade de aceitação de bomba (282).

5. CÍCLOTRON (102, 200, 502), de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que:

o corpo de culatra (204) compreende um par de polos (248, 250) posicionado de modo oposto entre si através de um plano médio (232, 534) do corpo de culatra (204), sendo que os polos (248, 250) têm uma primeira região espacial (241) entre os mesmos, na qual as partículas carregadas são direcionadas ao longo de um trajeto desejado; e

o conjunto de ímã (260) compreende um par de bobinas de ímã (264, 266) posicionado no interior do corpo de culatra (204) de modo oposto entre si através do plano médio (232, 534), sendo que cada bobina de ímã (264, 266) circunda um polo (248, 250) correspondente, em que as bobinas de ímã (264, 266) têm uma segunda região espacial (243) entre as mesmas que circunda a primeira região espacial (241), sendo que a primeira e a segunda regiões espaciais (241, 243) formam coletivamente a câmara de aceleração (206, 506, 533) da culatra de ímã (202, 504), em que a bomba de vácuo (276, 376, 576) é configurada para manter um vácuo no interior da primeira e da segunda regiões espaciais (241, 243).

6. CÍCLOTRON (102, 200, 502), de acordo com a reivindicação 5, caracterizado por compreender adicionalmente um par de paredes de câmara (272, 274) que são opostas entre si através da segunda região espacial (243), sendo que cada parede de câmara (272, 274) se estende ao redor de um polo (248, 250) correspondente e separa uma bobina de ímã (264, 266) correspondente da câmara de aceleração (206, 506, 533).

7. CÍCLOTRON (102, 200, 502), de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que o corpo de culatra (204) é orientado em relação a um eixo geométrico central (236) que é perpendicular ao plano médio (232, 534), sendo que o eixo geométrico central (236) se estende através de centros dos polos (248, 250) e o plano médio (232, 534) se estende através da bomba de vácuo (276, 376, 576).

8. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ISÓTOPO (100, 500), caracterizado pelo fato de que compreende:

o cíclotron (102, 200, 502), conforme definido por qualquer uma das reivindicações 1 a 7; e

um sistema alvo (114, 514) posicionado para receber as partículas carregadas para gerar isótopos.

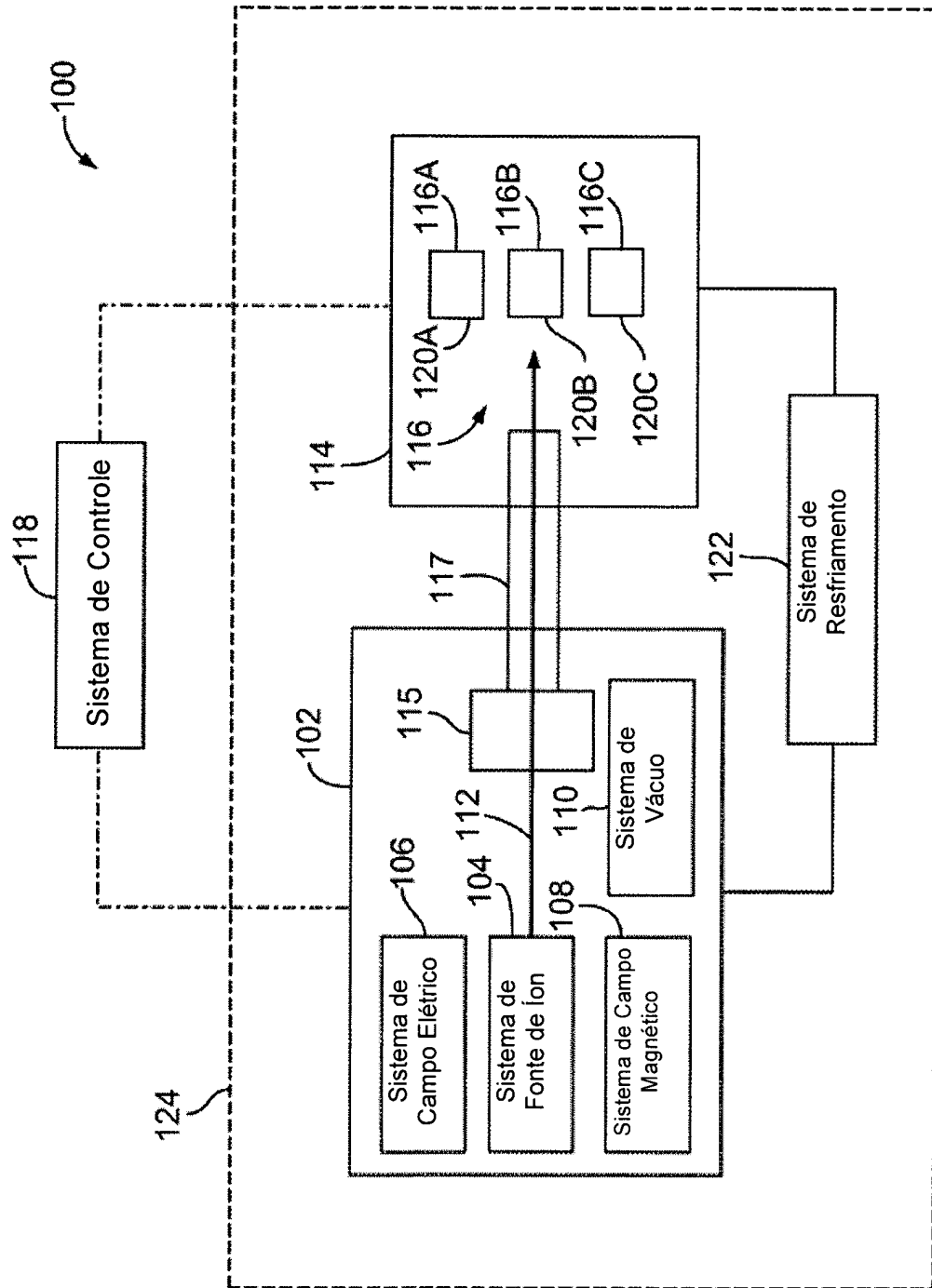


Fig. 1

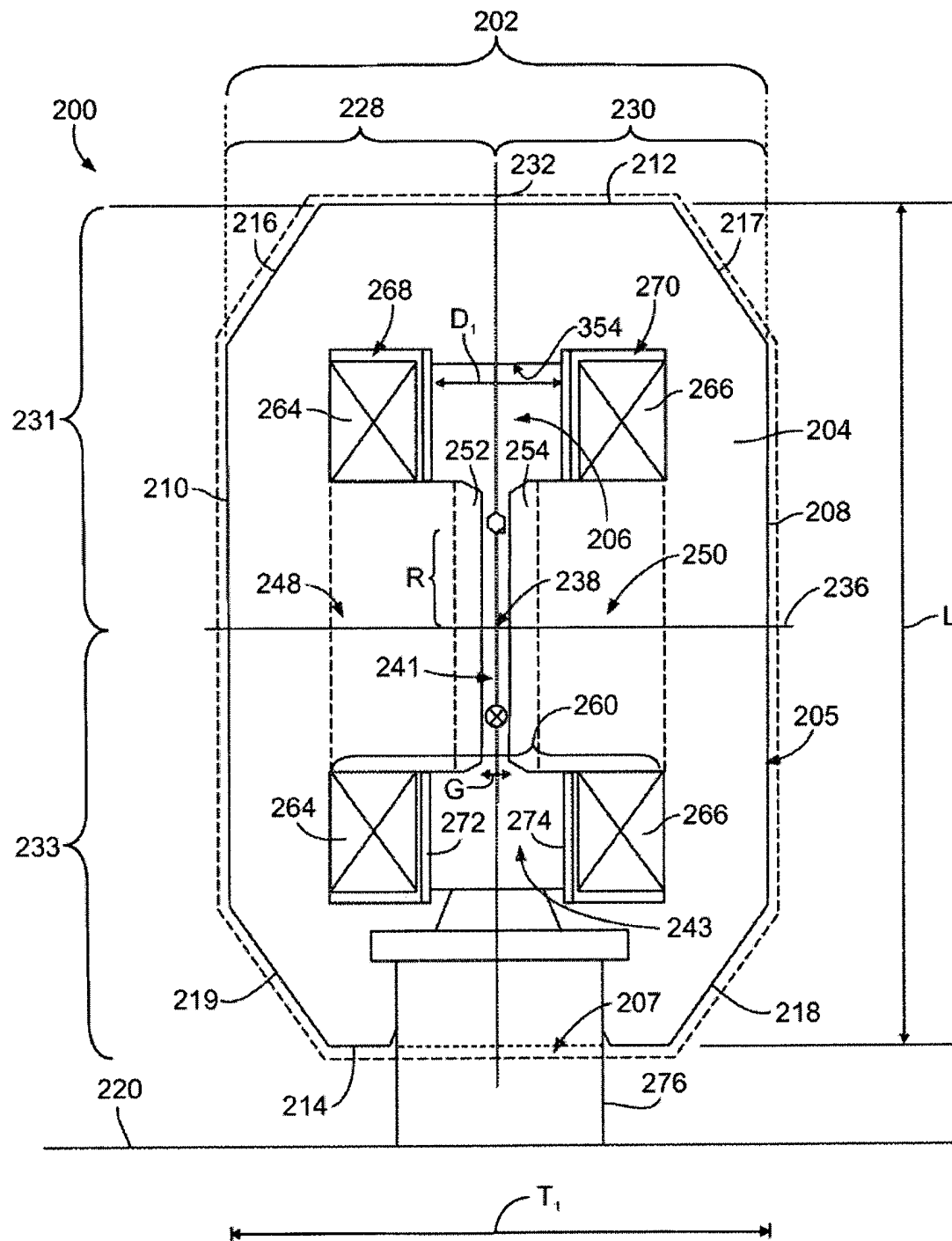
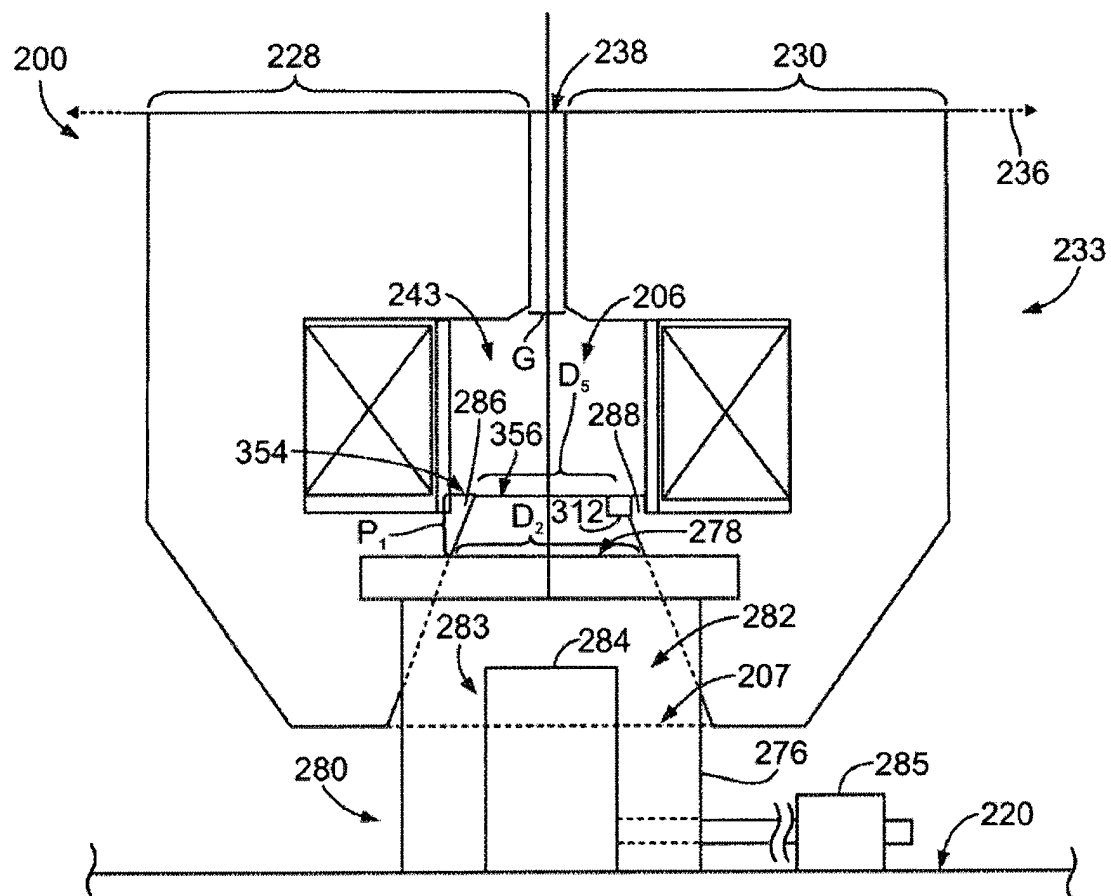
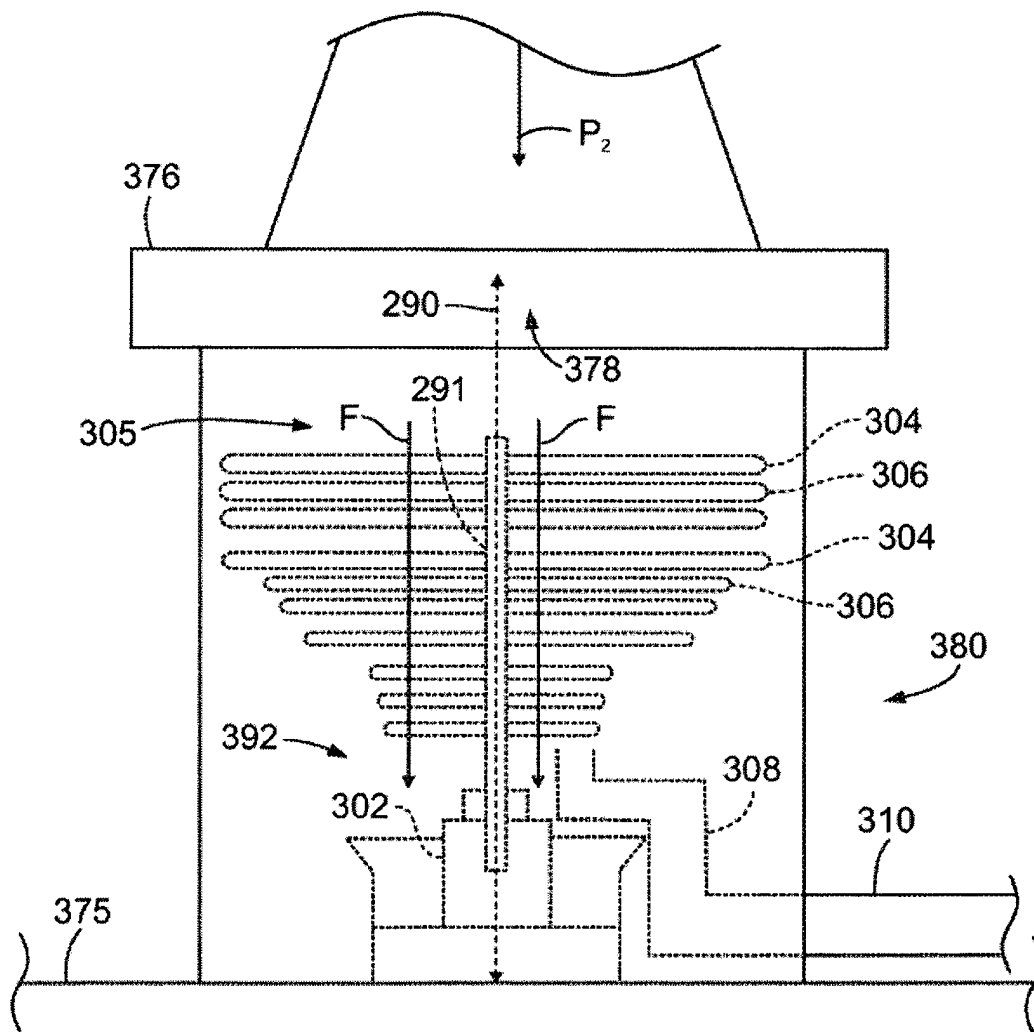


Fig. 2

**Fig. 3**

**Fig. 4**

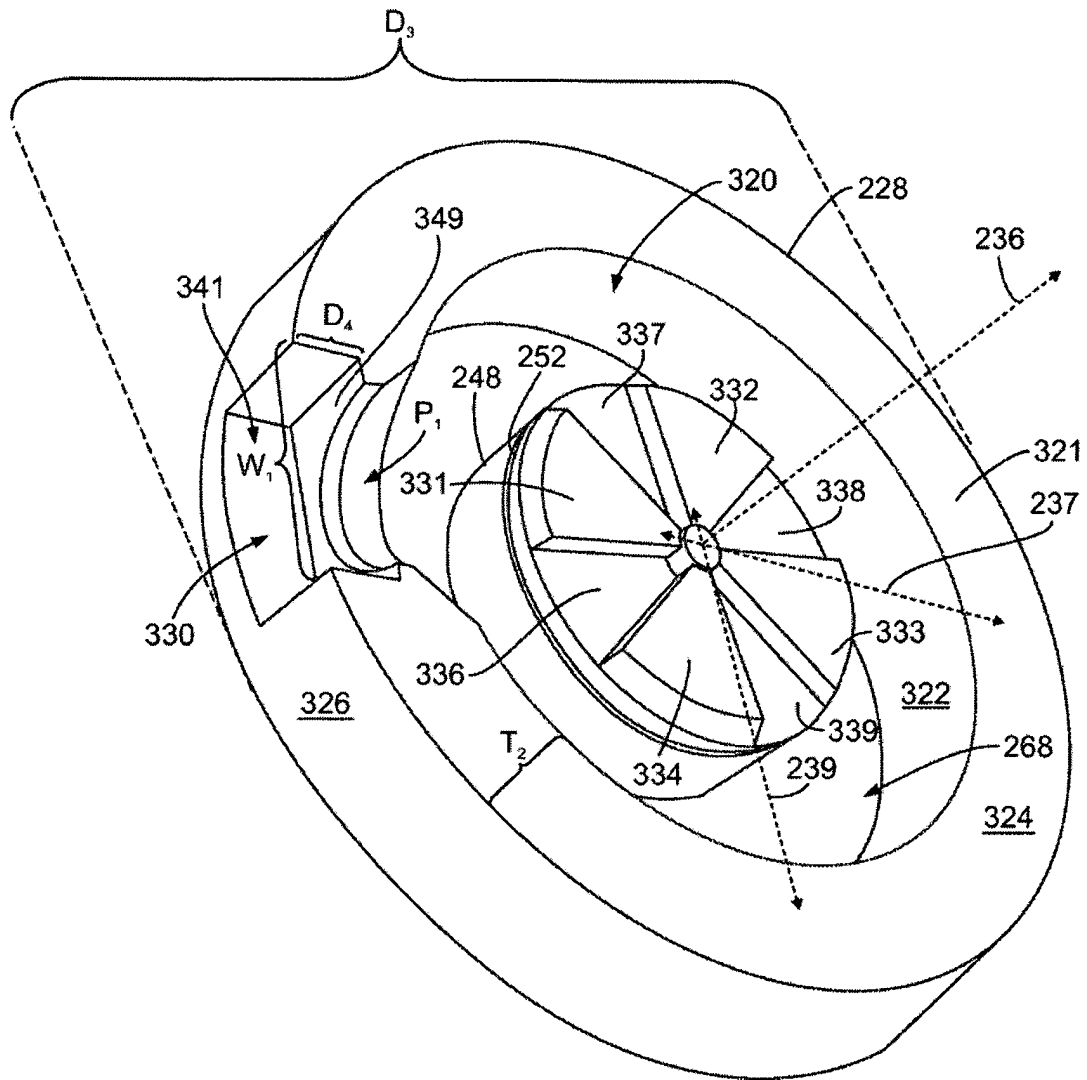


Fig. 5

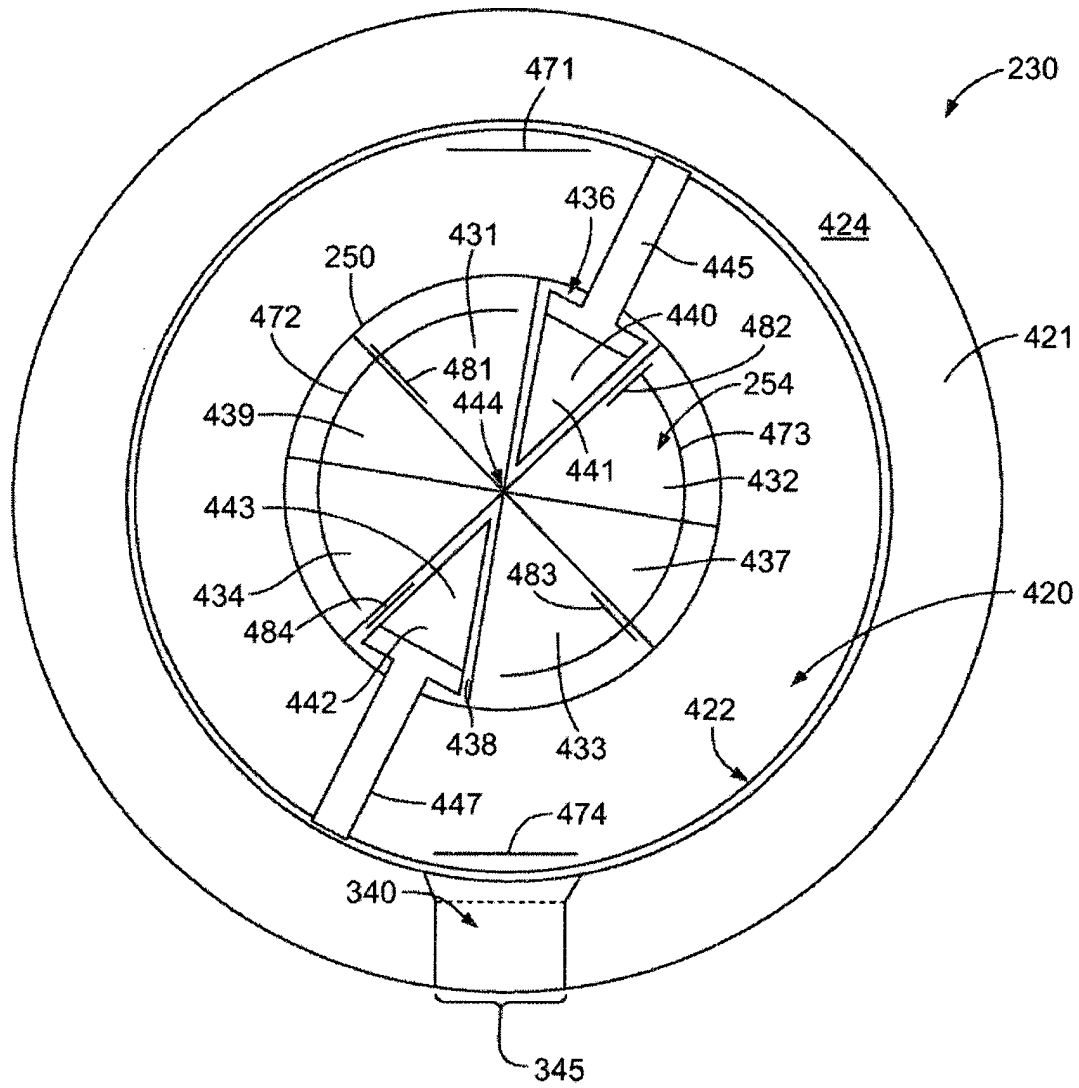
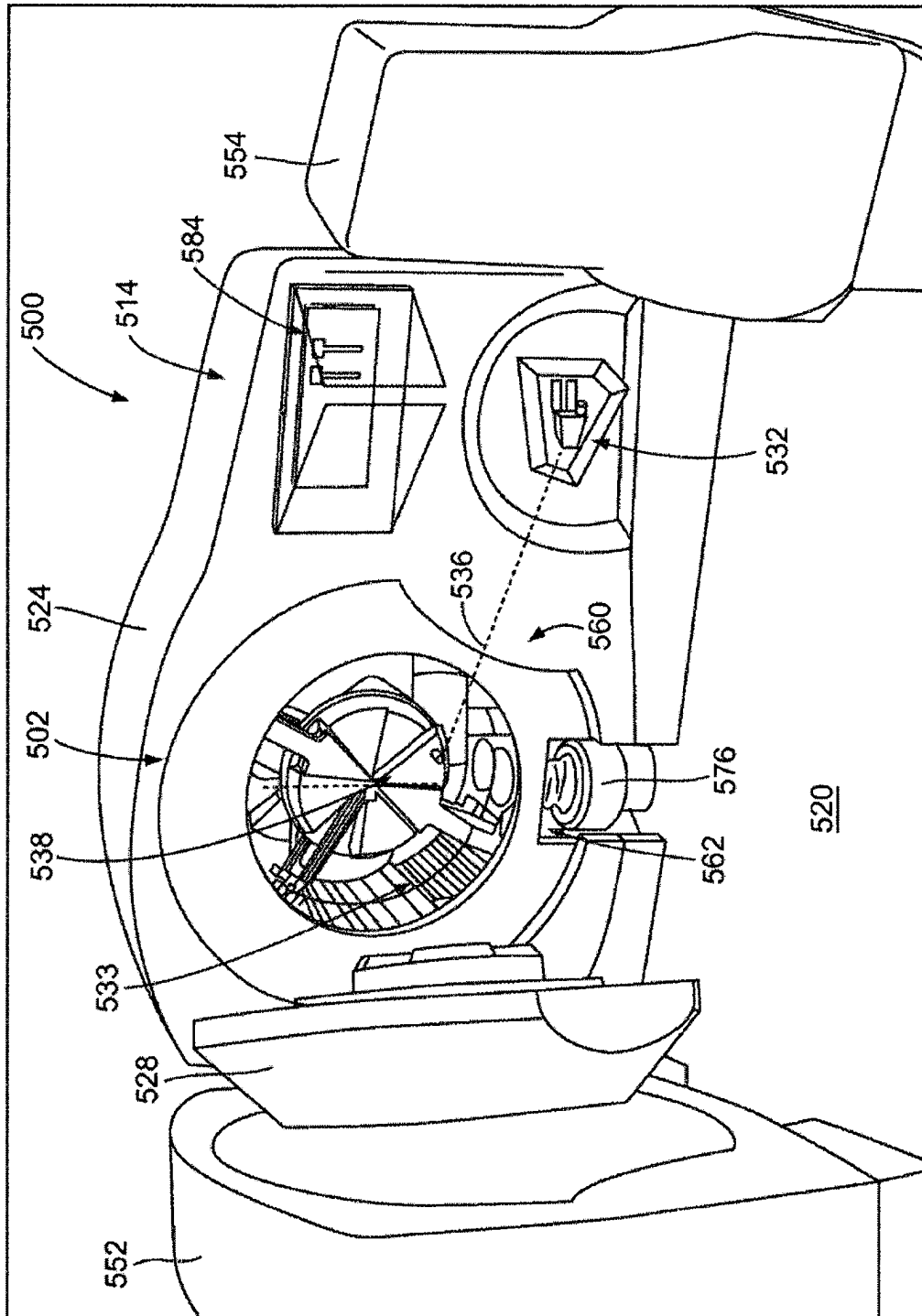
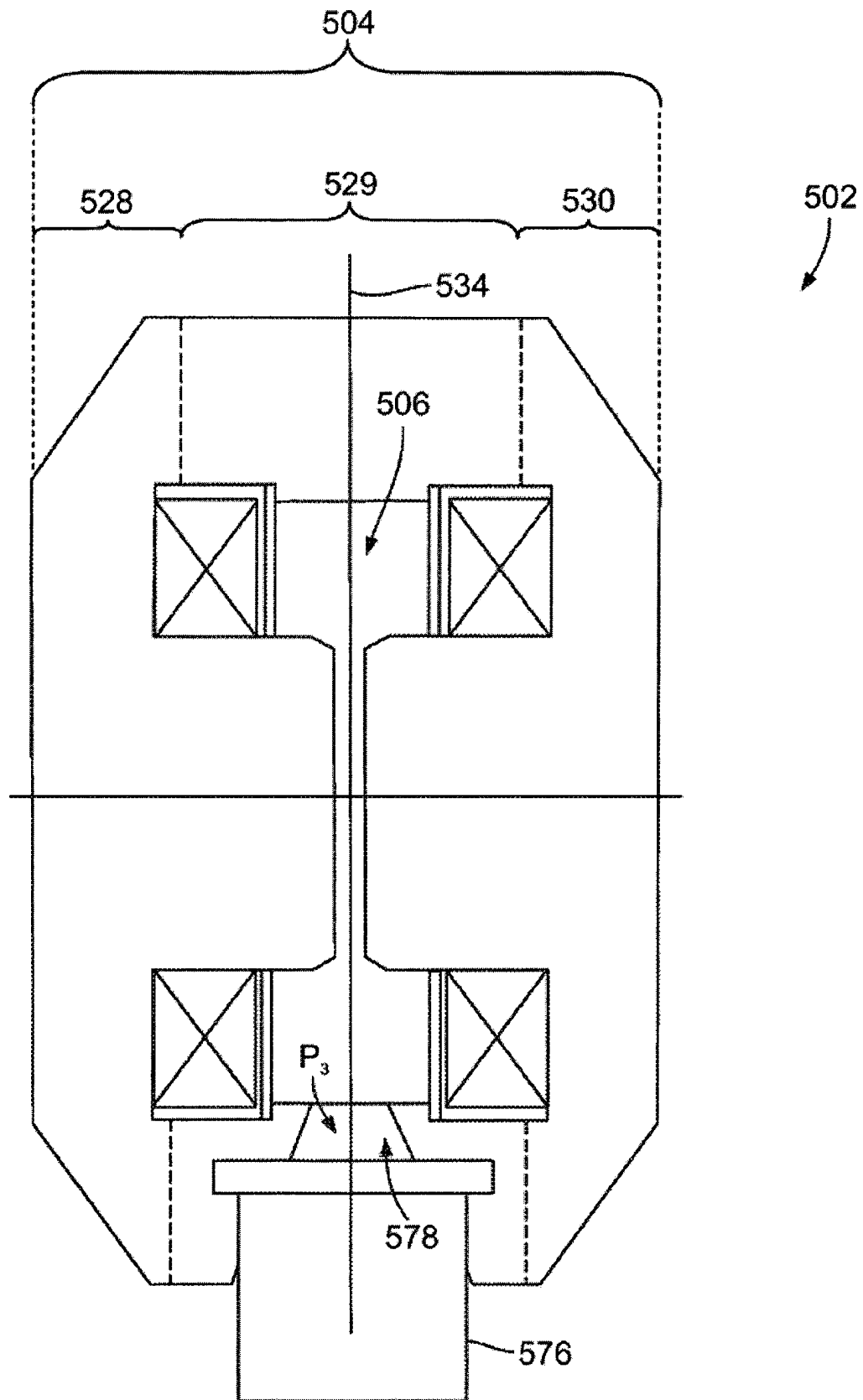


Fig. 6

**Fig. 7**

**Fig. 8**