

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 619 342**

51 Int. Cl.:

**H05H 7/12** (2006.01)

**A61N 5/00** (2006.01)

**G21K 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2015 E 15197444 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 3035777**

54 Título: **Degradador de energía rotatorio**

30 Prioridad:

**16.12.2014 EP 14198364**

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

**26.06.2017**

73 Titular/es:

**ION BEAM APPLICATIONS S.A. (100.0%)  
Chemin du Cyclotron, 3  
1348 Louvain-la-Neuve, BE**

72 Inventor/es:

**CLAEREBOUDT, YVES;  
DEBATTY, ALEXANDRE y  
GERARD, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

**ES 2 619 342 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**

Degradador de energía rotatorio

**Campo de la invención**

5 La invención se refiere al campo de los aceleradores de partículas cargadas, tales como, por ejemplo, aceleradores de iones de carbono o protones y, más particularmente, a un degradador de energía rotatorio para atenuar la energía de un haz de partículas cargadas extraído de un acelerador de partículas de este tipo.

La invención también se refiere a un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas y un degradador de energía rotatorio para atenuar la energía de un haz de partículas cargadas extraído del acelerador de partículas.

**10 Descripción de la técnica anterior**

Ciertas aplicaciones que implican el uso de haces de partículas cargadas requieren que se varíe la energía de estas partículas. Este es, por ejemplo, el caso en aplicaciones de terapia con partículas, donde la energía de las partículas cargadas determina la profundidad de penetración de estas partículas en un cuerpo a tratar mediante dicha terapia. Los aceleradores de partículas de energía fija, tales como ciclotrones, por ejemplo, no están adaptados por sí mismos para variar la energía del haz de partículas que producen y, por lo tanto, requieren un dispositivo adicional para variar esta energía. Los aceleradores de partículas de energía variable, tales como sincrotrones, por ejemplo, están adaptados por sí mismos para variar la energía del haz de partículas que producen, pero sin embargo puede ser deseable variar aún más la energía después de que las partículas se hayan extraído de un sincrotrón.

15 Los dispositivos para variar la energía de un haz de partículas extraído de un acelerador de partículas se denominan generalmente degradadores de energía. Un degradador de energía comprende, por lo tanto, uno o más bloques de materia que se colocan a través de la trayectoria del haz de partículas después de su extracción del acelerador de partículas. De acuerdo con un principio bien conocido, una partícula cargada que pasa a través del espesor de un bloque de materia de este tipo experimenta una disminución de su energía en una cantidad que es, para partículas de un tipo dado, una función de las características intrínsecas del material que ha pasado a través de y de dicho espesor.

20 Un degradador de energía rotatorio conocido, por ejemplo, se divulga en el documento US6433336. Comprende un único bloque de material degradante de energía que tiene la forma de una escalera helicoidal plana con escalones planos discretos y que se coloca a través de la trayectoria del haz de partículas. El haz de partículas entra en el degradador perpendicularmente a un escalón de la escalera y sale del degradador en el lado opuesto, lo que atenúa la energía del haz de acuerdo con el espesor del degradador en dicho escalón. Después de haber rotado la escalera en un ángulo dado alrededor de su eje, el haz de partículas entrará en el degradador perpendicularmente a otro escalón y saldrá del degradador en el lado opuesto, lo que atenuará la energía del haz en una cantidad diferente de acuerdo con el espesor del degradador en dicho otro escalón. Por tanto, la atenuación de energía puede variar cambiando la posición angular del degradador con respecto al haz de partículas.

30 Un inconveniente de estos degradadores de energía conocidos es que deben tener un gran diámetro para tener escalones de altura suficientemente pequeña ("H" en la fig. 1c del documento US6433336) para obtener la resolución en variación de energía que se requiere para aplicaciones de terapia con partículas, por ejemplo.

35 Como consecuencia, estos degradadores tienen un gran momento de inercia, de modo que es difícil hacer que roten rápidamente y/o con alta precisión con respecto al haz de partículas. Sin embargo, algunas aplicaciones recientes requieren poder cambiar la energía del haz de partículas muy rápidamente, tal como en unas pocas decenas de milisegundos, por ejemplo, y/o con alta precisión. Este es, por ejemplo, el caso con sistemas de terapia con partículas, donde un objetivo, tal como un tumor, por ejemplo, es irradiarse capa a capa con el haz de partículas, estando estas capas a diferentes profundidades en el cuerpo del paciente. En dichos casos, es deseable poder cambiar la energía del haz de partículas muy rápidamente y/o de forma muy precisa cuando el sistema pasa de la irradiación de una capa a la irradiación de otra capa.

Otro inconveniente del gran diámetro de los degradadores conocidos es que requieren grandes cantidades de material degradante de energía caro, lo que los hace bastante costosos. Un inconveniente adicional de su gran diámetro es que son engorrosos y ocupan mucho espacio, especialmente espacio de huella.

40 Otro degradador de energía rotatorio conocido se divulga, por ejemplo, por R.E. Berg en "Rotating wedge cyclotron beam degrader" (Procedimientos de la 7ª Conferencia internacional sobre ciclotrones y sus aplicaciones; Zúrich, Suiza, 19-22 de agosto de 1975; pp. 315-316).

45 Comprende un bloque en forma de "coma" de materia que es rotatoriamente móvil alrededor de un eje que es perpendicular a la "coma". El haz cruza la coma en una dirección que es perpendicular al eje de rotación y por consiguiente entra en la "coma" en un lado curvado exterior de la "coma" y sale fuera de la "coma" en un lado curvado interior de la "coma", o viceversa. La atenuación de energía se varía cambiando la posición angular de la

"coma" con respecto al haz de partículas.

Estos degradadores de energía también requerirían un gran diámetro, particularmente si se usaran para aplicaciones de terapia con partículas y, por lo tanto, presentan inconvenientes similares al descrito en el documento US6433336, a saber, un alto momento de inercia, alto coste y alto volumen ocupado.

## 5 Sumario de la invención

Es un objetivo de la invención abordar los inconvenientes de los degradadores de energía conocidos. Es un objetivo particular de la invención es proporcionar un degradador de energía que está adaptado para variar la energía de un haz de partículas más rápidamente y/o con mayor precisión que los degradadores conocidos.

10 Una energía del haz típica en una entrada de un degradador de energía de acuerdo con la invención está en el intervalo MeV, tal como en el intervalo de 150 MeV a 300 MeV, por ejemplo, y una energía del haz deseada típica en una salida de un degradador de energía de acuerdo con la invención también está en el intervalo MeV, tal como en el intervalo de 50 MeV a 230 MeV para una energía corriente arriba de 230 MeV, por ejemplo.

La invención se define por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen modos de realización ventajosos.

15 De acuerdo con la invención, se proporciona un degradador de energía para atenuar la energía de un haz de partículas cargadas extraído de un acelerador de partículas, de acuerdo con la reivindicación 1.

20 Cabe destacar que una superficie helicoidal puede tener una apariencia de primer plano de una escalera helicoidal con escalones muy pequeños, por ejemplo, en caso de que se haga un miembro de atenuación de energía con una impresora 3D, pero eso aún debe considerarse como una superficie helicoidal continua en caso de que un tramo mínimo (profundidad de peldaño) de sus escalones sea menor que un diámetro del haz medio mínimo en un nivel donde el haz cruza la superficie helicoidal (por ejemplo, un tramo mínimo de sus escalones que sea menor que 8 mm en caso de un diámetro del haz medio que oscile entre 8 mm y 30 mm al cruzar la superficie helicoidal).

25 Como también aparecerá más adelante a partir de las figuras que muestran modos de realización de la invención, el degradador está por consiguiente dispuesto geométricamente de modo que las respectivas caras de entrada y salida de los miembros de atenuación de energía están dispuestas en la siguiente secuencia (continua o discontinua) con respecto a la trayectoria de un haz de partículas cargadas que lo cruza:

- la cara de entrada del haz del primer miembro de atenuación de energía,
- la cara de salida del haz del primer miembro de atenuación de energía,
- la cara de entrada del haz del segundo miembro de atenuación de energía, y
- 30 - la cara de salida del haz del segundo miembro de atenuación de energía.

Por "secuencia discontinua", debe entenderse que el material de atenuación adicional puede estar presente entre la salida del haz y las caras de entrada de respectivamente el primer y segundo miembros de atenuación de energía, tal como una placa de material plana, por ejemplo.

35 Gracias a la presencia de los dos miembros de atenuación de energía que tienen sus dos superficies helicoidales continuas y enfrentadas con la misma lateralidad, el diámetro del degradador puede hacerse menor que con degradadores rotatorios conocidos, aun así proporcionando una buena resolución en variación de energía y una propagación de energía estadística limitada de las partículas en la salida del degradador. Con un diámetro menor, y por consiguiente un momento menor de inercia, será posible rotar el(los) miembro(s) de atenuación de energía más rápidamente y, por lo tanto, la energía del haz de partículas se puede variar más rápidamente. Un degradador de este tipo también requiere menos espacio.

Preferentemente, la cara de entrada del haz del primer miembro de atenuación de energía es perpendicular al primer eje y en la cara de salida del haz del segundo miembro de atenuación de energía es perpendicular al segundo eje. Esto permite limitar aún más la propagación de energía estadística de las partículas en la salida del degradador.

45 Preferentemente, el conjunto de accionamiento comprende un primer motor para rotar el primer miembro de atenuación de energía alrededor del primer eje y un segundo motor para rotar el segundo miembro de atenuación de energía alrededor del segundo eje. En comparación con una configuración en la que el primer miembro de atenuación de energía sería fijo y el segundo miembro de atenuación de energía sería móvil en rotación, una configuración preferente de este tipo permite, para una atenuación de energía dada/deseada, posicionar el primer y segundo miembros de atenuación de energía independientemente de entre sí con respecto al haz de partículas, por ejemplo de acuerdo con las características de la óptica del haz en las caras de entrada y salida del haz. Presenta la ventaja adicional de permitir una variación más rápida y más precisa de la energía del haz de partículas.

Preferentemente, la primera y la segunda superficies helicoidales son superficies helicoidales cilíndricas. Más

preferentemente, la primera y la segunda superficies helicoidales tienen el mismo radio y el primer eje es el mismo que el segundo eje. Incluso más preferentemente, la primera y la segunda superficies helicoidales tienen el mismo paso. Incluso más preferentemente, el primer y segundo miembros de atenuación de energía son idénticos en forma y tamaño. Esto permite una fabricación fácil y más barata del degradador.

- 5 De forma alternativa, el radio de la primera superficie helicoidal es menor que el radio de la segunda superficie helicoidal, el paso de la primera superficie helicoidal es menor que el paso de la segunda superficie helicoidal, y el primer eje es diferente de y paralelo al segundo eje. Con dicha alternativa, el primer miembro de atenuación de energía tendrá un diámetro aún menor y por consiguiente podrá moverse aún más rápido.

- 10 De acuerdo con la invención, se proporciona también un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas y un degradador de energía de acuerdo con la invención, dicho degradador de energía estando posicionado y orientado con respecto a un haz de partículas extraído del acelerador de partículas, de tal modo que el haz de partículas entra en el degradador de energía en la cara de entrada del haz del primer miembro de atenuación de energía y de tal modo que dicho haz de partículas sale del degradador de energía en la cara de salida del haz del segundo miembro de atenuación de energía. En caso de que la cara de entrada del haz del primer miembro de atenuación de energía sea perpendicular al primer eje y la cara de salida del haz del segundo miembro de atenuación de energía sea perpendicular al segundo eje, el degradador de energía preferentemente se posiciona y orienta con respecto a un haz de partículas extraído del acelerador de partículas, de tal modo que el haz de partículas entra en el degradador de energía perpendicularmente a la cara de entrada del haz del primer miembro de atenuación de energía.

- 20 Preferentemente, el acelerador de partículas es un acelerador de energía fija, más preferentemente un ciclotrón, incluso más preferentemente un sincrociclotrón.

#### Breve descripción de los dibujos

Estos y otros aspectos de la invención se explicarán con más detalle a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- 25 la fig. 1 muestra esquemáticamente una vista frontal de un degradador de energía ejemplar de acuerdo con la invención;
- la fig. 2 muestra esquemáticamente una vista superior del degradador de energía de la fig. 1;
- la fig. 3 muestra esquemáticamente una vista en sección parcial del degradador de energía de la fig. 1 en un nivel de atención de energía alto;
- 30 la fig. 4 muestra esquemáticamente una vista en sección parcial del degradador de energía de la fig. 1 en un nivel de atención de energía bajo;
- la fig. 5 muestra esquemáticamente una vista frontal de otro degradador de energía ejemplar de acuerdo con la invención;
- la fig. 6 muestra esquemáticamente una vista superior del degradador de energía de la fig. 5;
- 35 la fig. 7 muestra esquemáticamente una vista frontal de una parte de otro degradador de energía ejemplar de acuerdo con la invención;
- las figs. 8a, 8b, 8c muestran esquemáticamente una vista frontal del degradador de energía de la fig. 7 en varios niveles de atenuación;
- 40 la fig. 9 muestra esquemáticamente un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas y un degradador de energía de acuerdo con la invención.

Los dibujos de las figuras no están dibujados a escala ni proporcionados. Generalmente, los componentes similares o idénticos se denotan con los mismos números de referencia en las figuras.

#### Descripción detallada de modos de realización de la invención

- 45 La fig. 1 muestra esquemáticamente una vista frontal de un degradador de energía ejemplar (1) de acuerdo con la invención, en un referencial XYZ.

El degradador de energía (1) comprende dos miembros de atenuación de energía disjuntos: un primer miembro de atenuación de energía (10) y un segundo miembro de atenuación de energía (20).

- 50 El primer miembro de atenuación de energía (10) presenta una cara de entrada del haz (11) que tiene la forma de un anillo o un disco (o una porción del mismo), y presenta una cara de salida del haz opuesta (12) que tiene la forma de una parte de una primera superficie helicoidal continua que tiene un primer eje (A1).

El segundo miembro de atenuación de energía (20) presenta una cara de entrada del haz (21) que tiene la forma de parte de una segunda superficie helicoidal continua que tiene un segundo eje (A2) que es paralelo a o coincidente con el primer eje (A1), y presenta una cara de salida del haz opuesta (22) que tiene la forma de un anillo o un disco (o una porción del mismo).

5 Cabe destacar que una superficie helicoidal puede tener una apariencia de primer plano de una escalera helicoidal con escalones muy pequeños, por ejemplo, en caso de que se haga un miembro de atenuación de energía con una impresora 3D, pero eso aún debe considerarse como una superficie helicoidal continua en caso de que un tramo mínimo (profundidad de peldaño) de sus escalones sea menor que un diámetro del haz medio mínimo en un nivel  
10 donde el haz cruza la superficie helicoidal (por ejemplo, un tramo mínimo de sus escalones que sea menor que 8 mm en caso de un diámetro del haz medio que oscile entre 8 mm y 30 mm al cruzar la superficie helicoidal).

Como se puede ver en la fig. 1, el primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20) están posicionados con respecto al otro de tal modo que la primera y segunda superficies helicoidales se enfrentan entre sí. La primera y la segunda superficies helicoidales tienen la misma lateralidad.

15 Preferentemente, la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) es perpendicular al primer eje (A1) y la cara de salida del haz (22) del segundo miembro de atenuación de energía (20) es perpendicular al segundo eje (A2). En un caso preferente de este tipo, la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) es, por supuesto, paralela a la cara de salida del haz (22) del segundo miembro de atenuación de energía (20).

20 El degradador de energía (1) comprende además un conjunto de accionamiento que está conectado operativamente al primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20).

Este conjunto de accionamiento está configurado para accionar el primer miembro de atenuación de energía (10) y/o el segundo miembro de atenuación de energía (20) en rotación alrededor de, respectivamente, el primer eje (A1) y/o el segundo eje (A2), dicho primer eje (A1) siendo paralelo a o coincidente con dicho segundo eje (A2).

25 El conjunto de accionamiento puede comprender, por ejemplo, un único motor, así como una transmisión opcional que vincule dicho único motor con el primer miembro de atenuación de energía (10) para rotar el primer miembro de atenuación de energía (10) alrededor del primer eje (A1), el segundo miembro de atenuación de energía (20) siendo fijo (no rotatorio).

30 De forma alternativa, el conjunto de accionamiento puede comprender, por ejemplo, un motor único, así como una transmisión que vincule dicho motor único a, respectivamente, el primer y el segundo miembros de atenuación de energía para rotar, respectivamente, el primer y segundo miembros de atenuación de energía, preferentemente en direcciones opuestas (es decir, cuando el primer miembro de atenuación de energía (10) se acciona para rotar en sentido horario, el segundo miembro de atenuación de energía (20) se accionará para rotar en sentido antihorario y viceversa).

35 Preferentemente, y como se muestra en la fig. 1, el conjunto de accionamiento comprende un primer motor (M1) conectado operativamente al primer miembro de atenuación de energía (10) para rotar el primer miembro de atenuación de energía alrededor del primer eje (A1), y un segundo motor (M2) conectado operativamente al segundo miembro de atenuación de energía (20) para rotar el segundo miembro de atenuación de energía alrededor del segundo eje (A2). El primer y segundo motores pueden ser motores paso a paso, por ejemplo. Aunque no se muestra en la fig. 1, el degradador de energía (1) puede comprender además (una) transmisión/transmisiones intermedias entre el primer y/o el segundo motores por una parte y, respectivamente, el primer y segundo miembros de atenuación de energía por otra parte, para adaptar la velocidad y/o el par aplicado por los motores a sus miembros de atenuación de energía correspondientes.  
40

45 En la fig. 1 se muestra además un haz de partículas (2) al cruzar el primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20). Dada la geometría de estos dos miembros de atenuación, será evidente que una energía de un haz entrante se atenuará más o menos en función de la(s) posición/posiciones angular(es) del primer y el segundo miembros de atenuación de energía con respecto al haz de partículas. Una unidad de control (60), conectada operativamente al conjunto de accionamiento, se puede usar para modificar dichas posiciones angulares, por ejemplo, en función de la configuración de atenuación de energía recibida de un sistema que usa el degradador de energía (1).

50 La fig. 2 muestra esquemáticamente una vista superior del degradador de energía (1) de la fig. 1, sobre el que la forma anular de la cara de entrada (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) se puede ver mejor.

55 Preferentemente, la primera y la segunda superficies helicoidales son superficies helicoidales cilíndricas, como puede verse en el ejemplo de las figs. 1 y 2. Preferentemente, el primer eje (A1) es el mismo que (coincidente con) el segundo eje (A2). Más preferentemente, el radio (R1) de la primera superficie helicoidal es el mismo que el radio (R2) de la segunda superficie helicoidal. Incluso más preferentemente, la primera y la segunda superficies helicoidales tienen el mismo paso. Incluso más preferentemente, el primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20) son idénticos en forma y en tamaño.

La fig. 3 muestra esquemáticamente una vista desarrollada y en sección parcial del degradador de energía (1) de la fig. 1 en un nivel de atención de energía alto. En esta representación ejemplar, el primer y segundo miembros de atenuación de energía tienen el mismo tamaño y la misma forma, lo que significa que la primera y segunda superficies helicoidales tienen el mismo radio, la misma lateralidad y el mismo paso.

5 El haz de partículas (2) se muestra aquí ampliado para ver con mayor claridad su tamaño en sección. Como puede verse en la fig. 3, una partícula de la parte más a la izquierda del haz (2) se desplazará a través de espesores E1a y E2a de los dos miembros de atenuación de energía a través de un hueco G1. Una partícula de la parte más a la derecha del haz (2) se desplazará a través de dos espesores E1b y E2b de los dos miembros de atenuación de energía a través del mismo hueco G1. El hueco G1 puede ser, por ejemplo, un hueco de aire o un hueco vacío. Una  
10 atenuación total de la energía de una partícula se puede estimar como la suma de las atenuaciones de energía proporcionadas por el primer y el segundo miembros de atenuación de energía a lo largo de la trayectoria de la partícula. En esta configuración ejemplar, tenemos que  $E1a+G1+E2a = E1b+G1 +E2b$ , por lo que se entenderá que la energía de estas dos partículas se atenuará en aproximadamente la misma cantidad. Lo mismo vale para las otras partículas del haz (2).

15 La fig. 4 muestra esquemáticamente una vista desarrollada y en sección parcial del degradador de energía (1) de la fig. 1 en un nivel de atención de energía bajo. Esta configuración se puede obtener rotando el primer miembro de atenuación de energía (10) un cierto ángulo en la dirección apropiada (con el fin de reducir los espesores E1a y E1b) y/o rotando el segundo miembro de atenuación de energía (20) un cierto ángulo en la dirección opuesta (para reducir los espesores E2a y E2b). Como puede verse en la fig. 4, una partícula de la parte más a la izquierda del haz (2) se  
20 desplazará a través de espesores E3a y E4a de los dos miembros de atenuación de energía a través de un hueco G2. Una partícula de la parte más a la derecha del haz (2) se desplazará a través de dos espesores E3b y E4b de los dos miembros de atenuación de energía a través del mismo hueco G2. Por lo tanto, se entenderá que la energía de estas dos partículas se atenuará aproximadamente en la misma cantidad. Lo mismo vale para las otras partículas del haz (2). En este ejemplo, el hueco G2 es mayor que el hueco G1, lo que no es tanto problema debido a que el nivel de atenuación es bajo y, por lo tanto, la dispersión del haz es menor que con la atenuación más alta mostrada en la fig. 3. Se sabe que el tamaño del haz es más crítico en los niveles de atenuación más altos, y, como se muestra en la fig. 3, el hueco G1 se puede hacer pequeño allí.

La fig. 5 muestra esquemáticamente una vista frontal de otro degradador de energía ejemplar (1) de acuerdo con la invención, en un referencial XYZ. Es similar al degradador de la fig. 1, excepto que, en este caso, el radio (R1) de la primera superficie helicoidal es menor que el radio (R2) de la segunda superficie helicoidal, y que el primer eje (A1) es diferente de y paralelo al segundo eje (A2). Preferentemente,  $R1 < 0,5.R2$ , más preferentemente,  $R1 < 0,2.R2$ , incluso más preferentemente  $R1 < 0,1.R2$ .

Para tener la misma inclinación en ambas superficies helicoidales, el paso de la primera superficie helicoidal es preferentemente menor que el paso de la segunda superficie helicoidal.

35 La fig. 6 muestra esquemáticamente una vista superior del degradador de energía (1) de la fig. 5.

La fig. 7 muestra esquemáticamente una vista frontal de una parte de otro degradador de energía ejemplar (1) de acuerdo con la invención en un referencial XYZ. Es similar al degradador de la fig. 1, excepto que, en este caso, el estator del primer motor (M1) está unido a una pieza de guía (35) que comprende un orificio roscado, y el primer miembro de atenuación de energía (10) está unido a un árbol (30) que comprende una porción roscada (31) que  
40 pasa a través de y coopera con el orificio roscado de la pieza de guía (35).

El rotor del primer motor (M1) comprende un acoplamiento mecánico (40) a dicho árbol (30) para accionar el árbol (30) en rotación mientras permite un movimiento de traslación axial del árbol (30). En este ejemplo, dicho acoplamiento mecánico (40) comprende una parte en forma de "U" que tiene dos porciones interiores planas (40a, 40b) que se engranan de manera deslizable con respectivamente dos caras externas planas (30a, 30b) de una  
45 porción distal del árbol (30).

El rotor del primer motor (M1), el orificio roscado, la primera superficie helicoidal del primer miembro de atenuación de energía (10) y el dicho árbol (30) son todos coaxiales en este ejemplo y tienen como eje el primer eje (A1).

El paso y la lateralidad de la porción roscada (31) del árbol (30) (y por consiguiente también del orificio roscado de la pieza de guía (35)) son los mismos que, respectivamente, el paso y la lateralidad de la primera superficie helicoidal.

50 Por lo tanto, se entenderá que el conjunto de accionamiento está adaptado para mover el primer miembro de atenuación de energía (10) de acuerdo con un movimiento helicoidal alrededor del primer eje (A1), como se muestra mediante una flecha doble helicoidal en la fig. 7.

En este ejemplo, el rotor del primer motor (M1) está directamente conectado al acoplamiento mecánico (40). Preferentemente, el rotor del primer motor (M1) está conectado al acoplamiento mecánico (40) a través de un reductor de velocidad - tal como una caja de engranajes de reducción de velocidad, por ejemplo, - para aumentar la  
55 precisión del movimiento.

El segundo miembro de atenuación de energía (20) está conectado preferentemente de la misma forma al segundo motor (M2) (no mostrado en la fig. 7). Siendo el caso, se entenderá que el conjunto de accionamiento está adaptado para mover el segundo miembro de atenuación de energía (20) de acuerdo con un movimiento helicoidal alrededor del primer eje (A1), como se muestra mediante una flecha doble helicoidal en la fig. 7. La unidad de control (60) está en un caso de este tipo preferentemente configurada para accionar el primer y segundo motores (M1, M2) de forma sincrónica, a la misma velocidad y en direcciones opuestas, y de tal modo que cuando el primer motor (M1) rota el primer miembro de atenuación de energía (10) de un ángulo  $\alpha$  (alfa), el segundo motor (M2) rota el segundo miembro de atenuación de energía (20) de un ángulo  $-\alpha$  (menos alfa). Con una configuración de este tipo, se hace posible colocar la primera y segunda superficies helicoidales muy cerca una de otra y con un hueco constante (G1) entre ellas, cualquiera que sea su posición angular, es decir, cualquiera que sea el nivel de atenuación de energía. Preferentemente, el hueco (G1) entre la primera y segunda superficies helicoidales se mantiene menor de 5 cm, preferentemente menor de 1 cm, preferentemente menor de 5 mm, preferentemente menor de 1 mm. Preferentemente, la primera y segunda superficies helicoidales no se tocan entre sí para evitar el desgaste.

Preferentemente, la primera y segunda superficies helicoidales cada una hacen un giro máximo menor que  $360^\circ$ , más preferentemente menor que  $270^\circ$ , aún más preferentemente menor que o igual a  $180^\circ$  alrededor de su eje respectivo.

Las figs. 8a, 8b, 8c muestran esquemáticamente una vista frontal del degradador de energía (1) de la fig. 7 en tres niveles de atenuación de energía diferentes. En la fig. 8a, el primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20) están posicionados angularmente mediante el conjunto de accionamiento de modo que el haz de partículas (2) atraviesa un gran espesor de material de ambos miembros de atenuación de energía, lo que resulta en una gran atenuación de energía. En la fig. 8b, cada uno del primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20) se ha rotado por el conjunto de accionamiento en direcciones opuestas y un mismo ángulo, de modo que el haz de partículas (2) atraviesa un espesor menor de material comparado con la fig. 8a, lo que resulta en una atenuación de energía menor. En la fig. 8c, cada uno del primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20) se ha rotado aún más por el conjunto de accionamiento en direcciones opuestas y un mismo ángulo, de modo que el haz de partículas (2) atraviesa un espesor menor de material comparado con fig. 8b, lo que resulta en una atenuación de energía aún menor.

Preferentemente, el primer miembro de atenuación de energía (10) y/o el segundo miembro de atenuación de energía (20) están hechos de berilio o grafito de carbono. Más preferentemente, el primer miembro de atenuación de energía (10) está hecho del mismo material que el segundo miembro de atenuación de energía (20).

Como se muestra esquemáticamente en la fig. 9, la invención también se refiere a un sistema de terapia con partículas configurado para irradiar un objetivo (200) con un haz de partículas cargadas (2) (50). Dicho sistema de terapia con partículas comprende un acelerador de partículas (100) configurado para generar y extraer un haz (2) de partículas cargadas, tal como un haz de protones o iones de carbono, por ejemplo, y un degradador de energía (1) como se describe anteriormente para atenuar la energía de dicho haz de partículas cargadas (2) antes de que alcance el objetivo (200).

El degradador de energía (1) se posiciona y se orienta con respecto a un haz de partículas (2) extraído del acelerador de partículas (100), de tal modo que el haz de partículas (2) entra en el degradador de energía (1) en la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) y de tal modo que dicho haz de partículas (2) sale del degradador de energía (1) en la cara de salida del haz (22) del segundo miembro de atenuación de energía (20). Preferentemente, la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) es paralela a la cara de salida del haz (22) del segundo miembro de atenuación de energía (20) y es perpendicular al primer eje (A1), este último siendo paralelo a, o coincidente con el segundo eje (A2). En este caso, el degradador de energía (1) está posicionado preferentemente y orientado con respecto al haz de partículas (2), de tal modo que el haz de partículas entra en el degradador de energía (1) perpendicularmente a la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10), como se muestra en la fig. 9.

En aras de la claridad, la fig. 9 no necesariamente muestra todos los componentes de un sistema de terapia con partículas, que son generalmente bien conocidos de la técnica anterior, sino solo aquellos componentes que son necesarios para entender la presente invención.

Preferentemente, el acelerador de partículas (100) es un acelerador de energía fija, preferentemente un ciclotrón, más preferentemente un sincrociclotrón.

Preferentemente, el acelerador de partículas (100) está configurado para suministrar en su salida (110) un haz de partículas (2) cuya energía máxima está comprendida entre 1 MeV y 500 MeV, preferentemente entre 100 MeV y 300 MeV, más preferentemente entre 200 MeV y 250 MeV.

En un caso de este tipo, una energía del haz deseada típica en una salida (22) de un degradador de energía (1) de acuerdo con la invención está también en el intervalo de MeV, tal como en el intervalo de 50 MeV a 230 MeV para una energía corriente arriba de 230 MeV, por ejemplo.

Con estas energías ejemplares, que son comunes en aplicaciones de terapia con partículas, se tiene

preferentemente que:

- un espesor mínimo (tomado axialmente) del primer miembro de atenuación de energía (10) se encuentra en el intervalo [1 mm, 100 mm], más preferentemente [1 mm, 50 mm], incluso más preferentemente [1 mm, 10 mm]. Lo mismo vale para el segundo miembro de atenuación de energía (20),

5 - Un espesor máximo (tomado axialmente) del primer miembro de atenuación de energía (10) se encuentra en el intervalo [10 mm, 300 mm], más preferentemente [10 mm, 200 mm], incluso más preferentemente [10 mm, 100 mm]. Lo mismo vale para el segundo miembro de atenuación de energía (20), y

10 - Un diámetro del primer miembro de atenuación de energía (10) se encuentra en el intervalo [10 mm, 300 mm], más preferentemente [10 mm, 200 mm], incluso más preferentemente [10 mm, 150 mm]. Lo mismo vale para el segundo miembro de atenuación de energía (20).

15 La invención también puede describirse como sigue: un degradador de energía (1) para atenuar la energía de un haz de partículas cargadas (2), que comprende un primer miembro de atenuación de energía (10) que presenta una cara de entrada del haz anular y una cara de salida del haz helicoidal, un segundo miembro de atenuación de energía (20) que presenta una cara helicoidal de entrada del haz y una cara de salida del haz anular, la primera y segunda superficies helicoidales enfrentadas entre sí, y un conjunto de accionamiento configurado para rotar el primer y/o el segundo miembros de atenuación de energía alrededor de respectivamente un primer eje (A1) y un segundo eje (A2) que son paralelos entre sí.

20 La presente invención se ha descrito en términos de modos de realización específicos, que son ilustrativos de la invención y no deben interpretarse como limitantes. Más generalmente, los expertos en la técnica apreciarán que la presente invención no se limita a lo que se ha mostrado y/o descrito particularmente arriba en el presente documento.

Los números de referencia en las reivindicaciones no limita su alcance de protección.

El uso de los verbos "comprender", "incluir", "que se compone de", o cualquier otra variante, así como sus respectivas conjugaciones, no excluye la presencia de elementos distintos de aquellos indicados.

25 El artículo "un", "uno", "una", "el" o "la" precedente a un elemento no excluye la presencia de una pluralidad de dichos elementos.

**REIVINDICACIONES**

1. Un degradador de energía (1) para atenuar la energía de un haz de partículas cargadas (2) extraído de un acelerador de partículas, dicho degradador de energía (1) que comprende:
  - 5 - un primer miembro de atenuación de energía (10) que presenta una cara de entrada del haz (11) que tiene la forma de un anillo o un disco, o una porción del mismo, y una cara de salida del haz (12) que tiene la forma de una parte de una primera superficie helicoidal continua que tiene un primer eje (A1),
  - 10 - un segundo miembro de atenuación de energía (20) que presenta una cara de entrada del haz (21) que tiene la forma de parte de una segunda superficie helicoidal continua que tiene un segundo eje (A2) y una cara de salida del haz (22) que tiene la forma de un anillo o un disco, o una porción del mismo, el primer eje (A1) siendo paralelo a o coincidente con el segundo eje (A2), la primera y segunda superficies helicoidales enfrentadas entre sí y teniendo la misma lateralidad, y
  - 15 - un conjunto de accionamiento, bien conectado operativamente al primer y/o al segundo miembros de atenuación de energía y configurado para rotar el primer y el segundo miembros de atenuación de energía alrededor de, respectivamente, el primer eje (A1) y el segundo eje (A2), o conectado operativamente al primer miembro de atenuación de energía y configurado para rotar el primer miembro de atenuación de energía alrededor del primer eje (A1), siendo fijo el segundo miembro de atenuación de energía.
2. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) es perpendicular al primer eje (A1), y por que la cara de salida del haz (22) del segundo miembro de atenuación de energía (20) es perpendicular al segundo eje (A2).
- 20 3. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que el conjunto de accionamiento comprende un primer motor (M1) para rotar el primer miembro de atenuación de energía (10) alrededor del primer eje (A1) y un segundo motor (M2) para rotar el segundo miembro de atenuación de energía (20) alrededor del segundo eje (A2).
- 25 4. Un degradador de energía (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la primera y la segunda superficies helicoidales son superficies helicoidales cilíndricas.
5. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que la primera y la segunda superficies helicoidales tienen el mismo radio y por que el primer eje (A1) es el mismo que el segundo eje (A2).
6. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que la primera y la segunda superficies helicoidales tienen el mismo paso.
- 30 7. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que el conjunto de accionamiento está adaptado para mover el primer y/o el segundo miembros de atenuación de energía de acuerdo con un movimiento helicoidal alrededor del primer eje (A1).
8. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 6 o 7, caracterizado por que el primer y segundo miembros de atenuación de energía son idénticos en forma y tamaño.
- 35 9. Un degradador de energía (1) de acuerdo con la reivindicación 4, caracterizado por que el radio (R1) de la primera superficie helicoidal es menor que el radio (R2) de la segunda superficie helicoidal, por que el paso de la primera superficie helicoidal es menor que el paso de la segunda superficie helicoidal, y por que el primer eje (A1) es diferente de y paralelo al segundo eje (A2).
- 40 10. Un degradador de energía (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el primer miembro de atenuación de energía (10) y/o el segundo miembro de atenuación de energía (20) están hechos de berilio o grafito de carbono.
- 45 11. Un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas (100) y un degradador de energía (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, dicho degradador de energía (1) estando posicionado y orientado con respecto a un haz de partículas (2) extraído, desde el acelerador de partículas (100), de tal modo que el haz de partículas extraído (2) entra en el degradador de energía (1) en la cara de entrada del haz (11) del primer miembro de atenuación de energía (10) y de tal modo que dicho haz de partículas extraído (2) sale del degradador de energía (1) en la cara de salida del haz (22) del segundo miembro de atenuación de energía (20).
- 50 12. Un sistema de terapia con partículas de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que el acelerador de partículas (100) es un acelerador de energía fija, preferentemente un ciclotrón, más preferentemente un sincrociclotrón.
13. Un sistema de terapia con partículas de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, caracterizado por que el acelerador de partículas (100) está configurado para suministrar en su salida (110) un haz de partículas (2) cuya energía máxima está comprendida entre 1 MeV y 500 MeV, preferentemente entre 100 MeV y 300 MeV,

más preferentemente entre 200 MeV y 250 MeV.

- 5 14. Un sistema de terapia con partículas de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que el espesor mínimo y máximo y el diámetro del primer y segundo miembros de atenuación de energía (10, 20) se encuentran, respectivamente, en los intervalos [1 mm, 100 mm] y [10 mm, 300 mm] y [10 mm, 300 mm], preferentemente estos intervalos son [1 mm, 50 mm] y [10 mm, 200 mm] y [10 mm, 200 mm], más preferentemente estos intervalos son [1 mm, 10 mm] y [10 mm, 100 mm] y [10 mm, 150 mm].

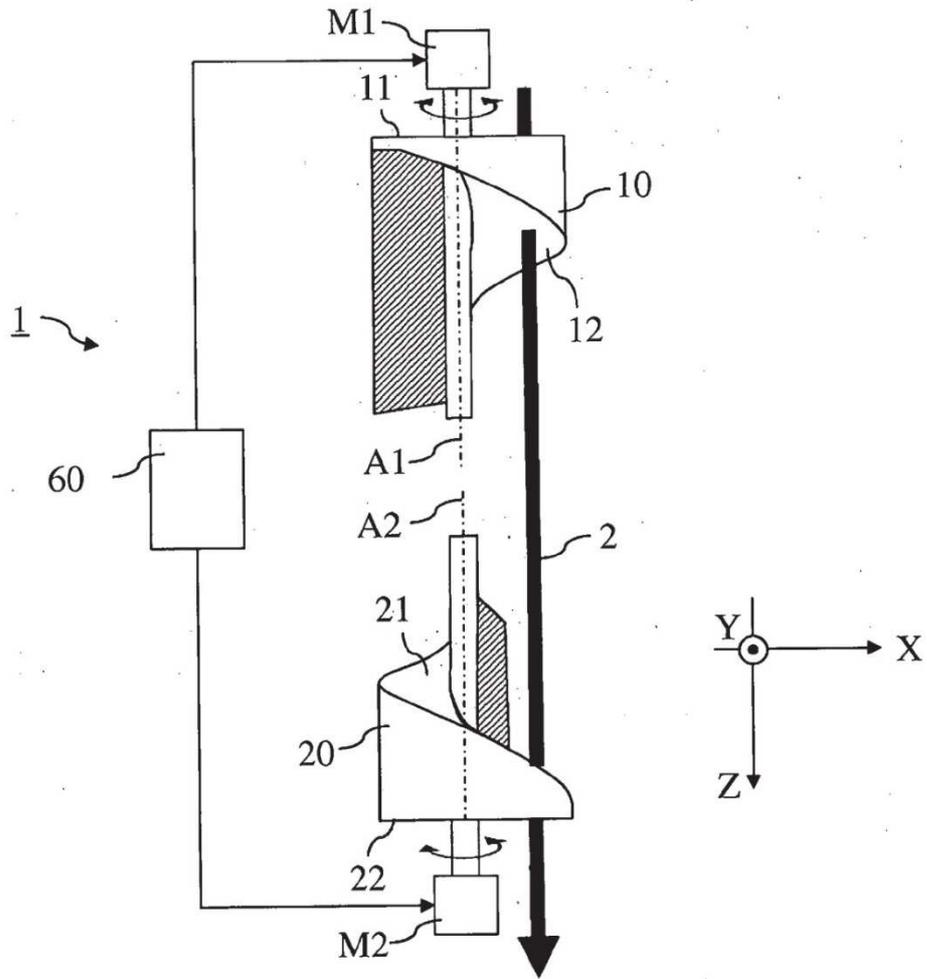


Fig. 1

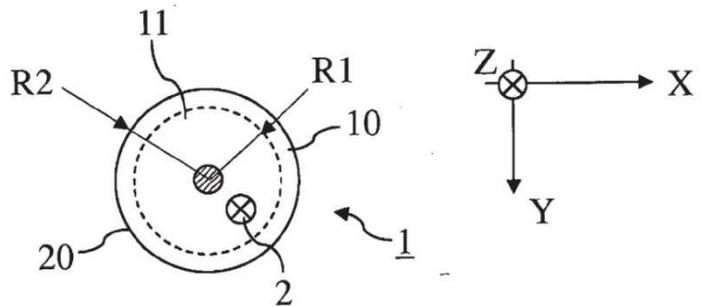


Fig. 2

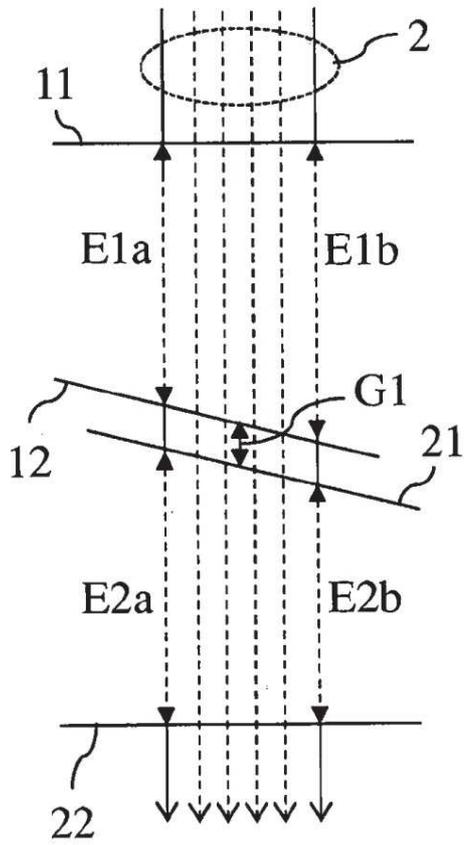


Fig. 3

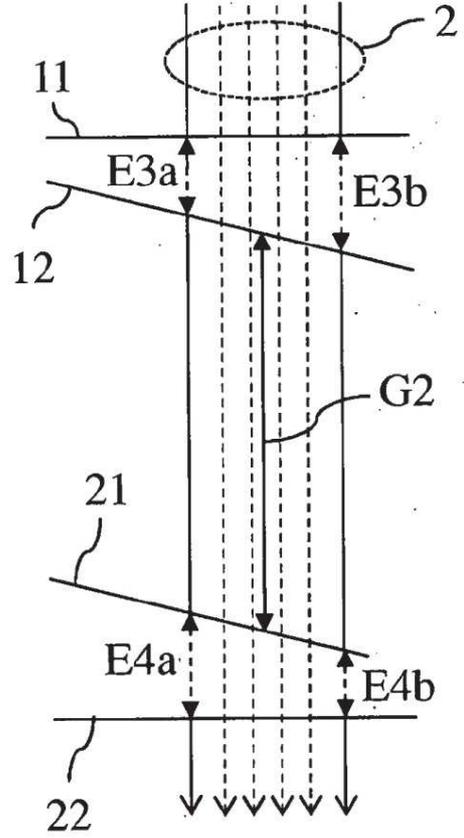


Fig. 4

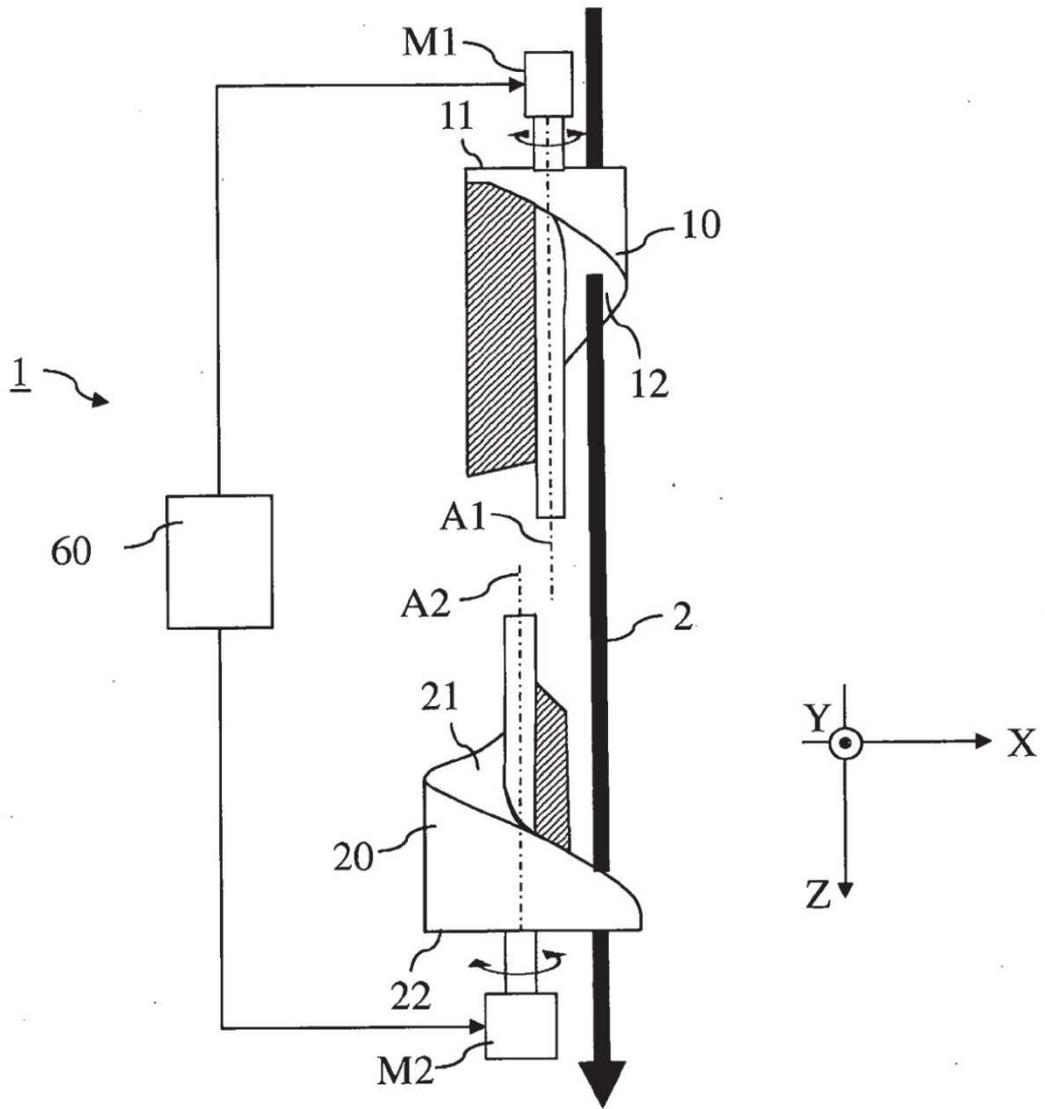


Fig. 5

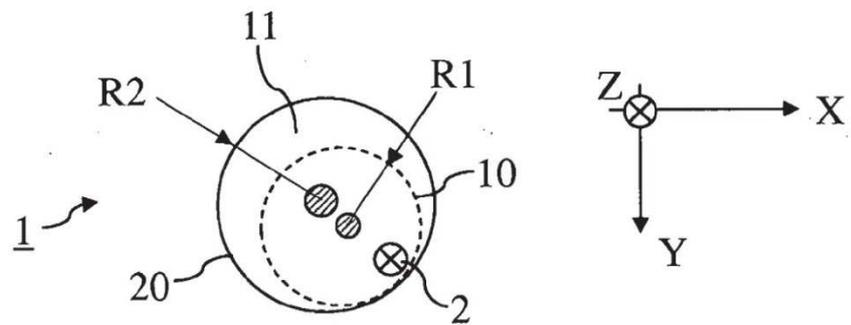


Fig. 6

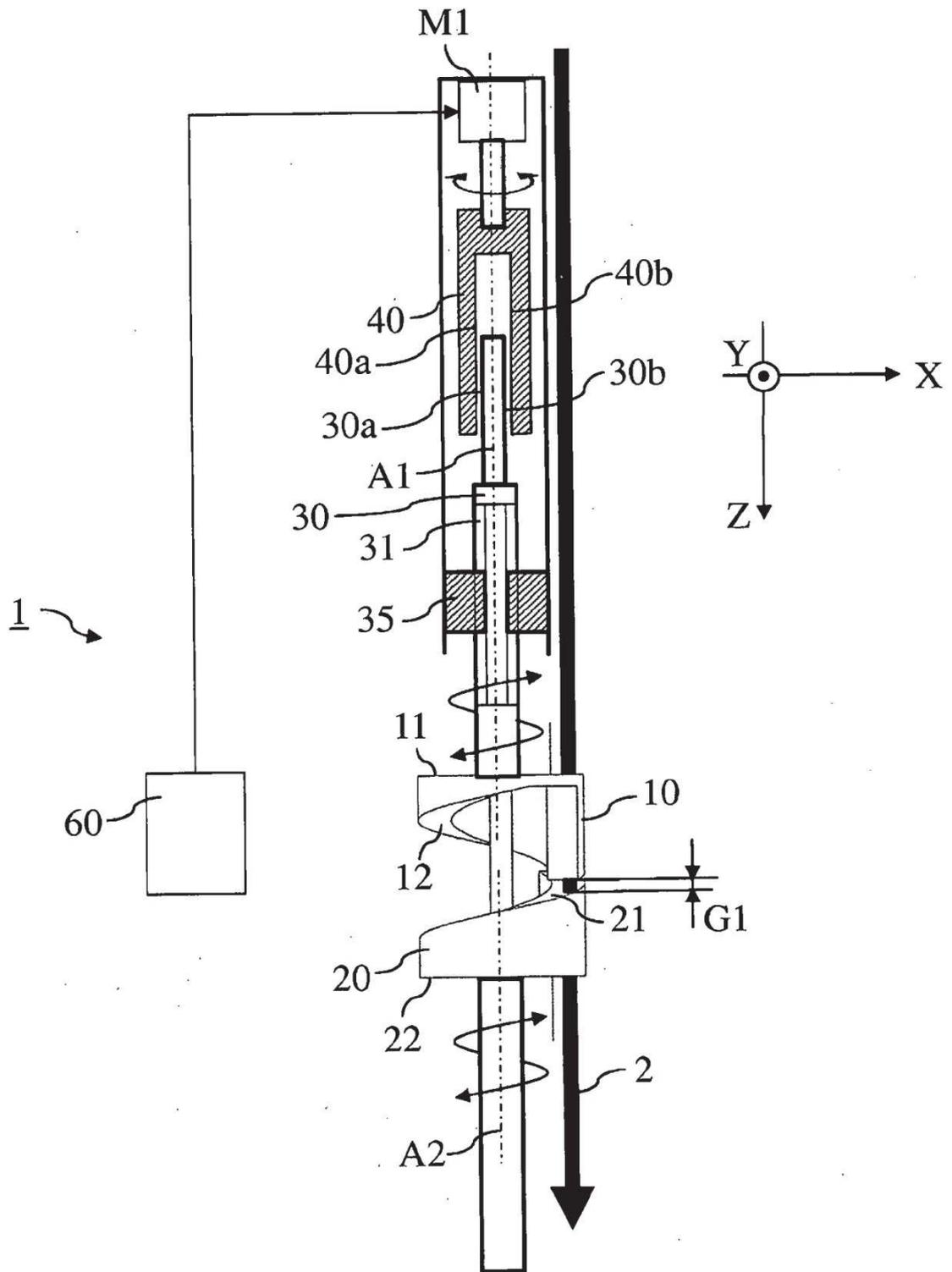


Fig. 7

Fig. 8a

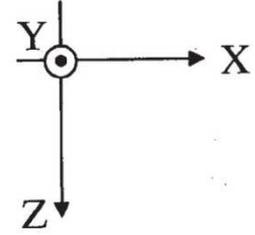
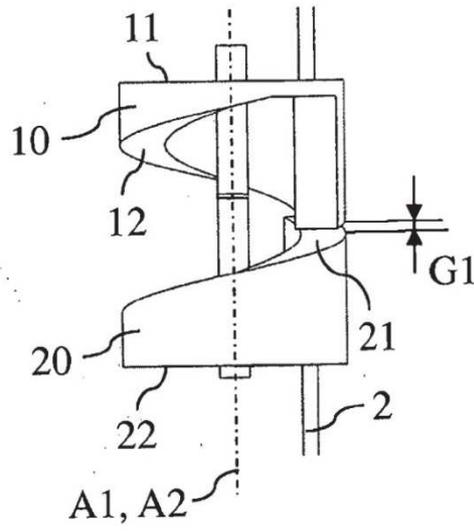


Fig. 8b

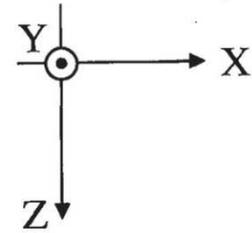
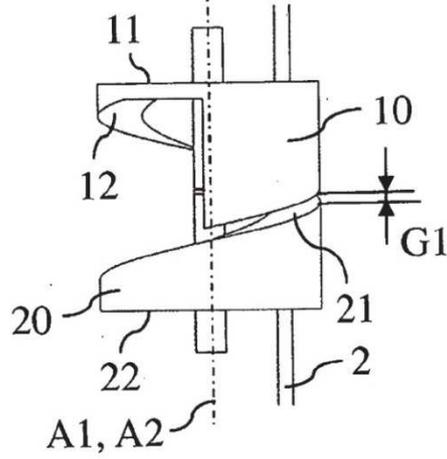
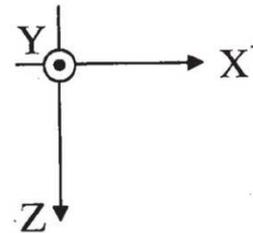
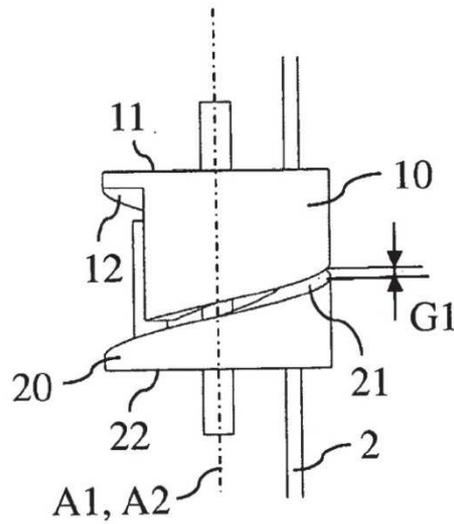


Fig. 8c



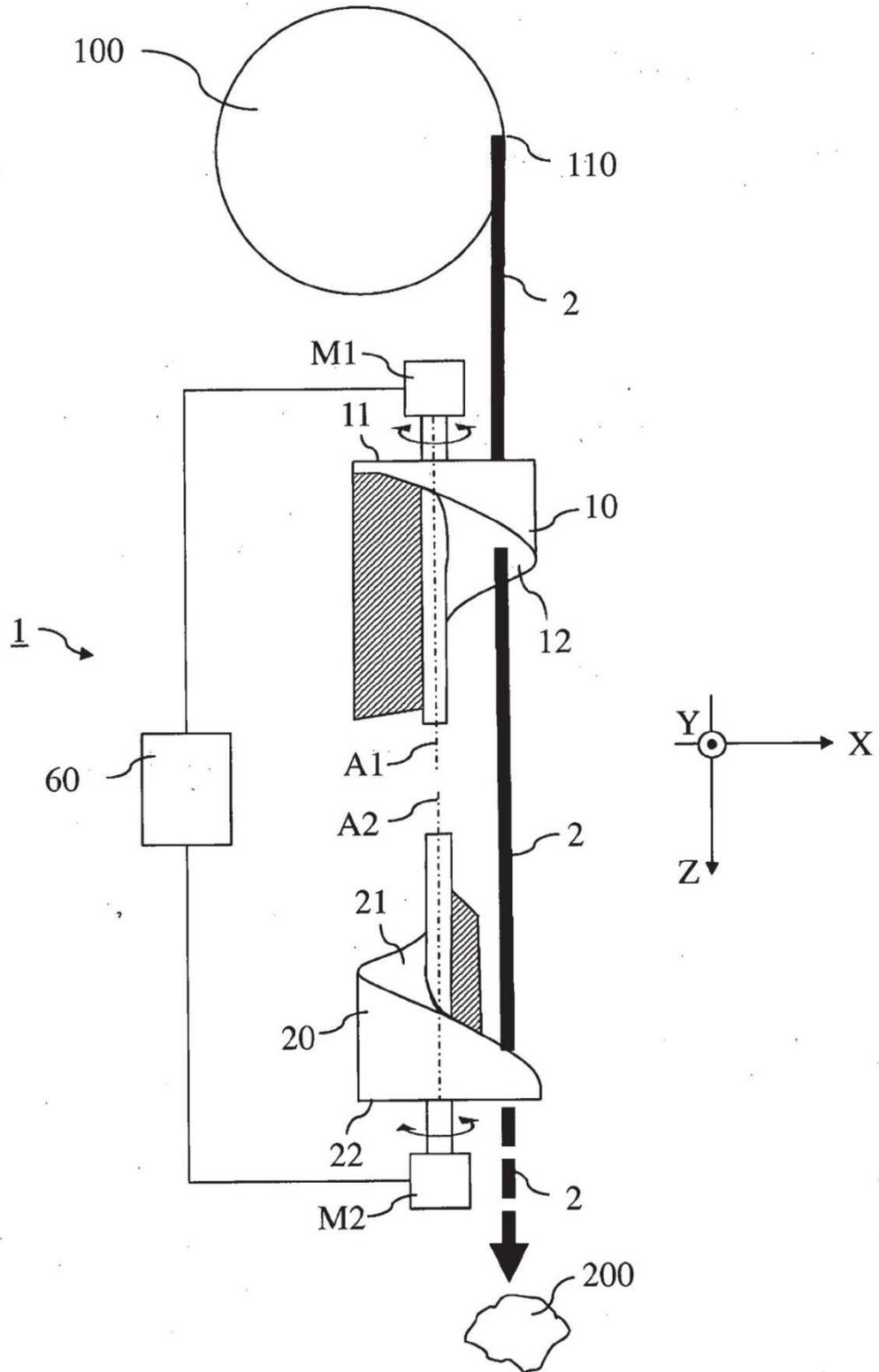


Fig. 9