

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 620 670**

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: **16.12.2014 E 14198364 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2017 EP 3035776**

54 Título: **Degradador de energía**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**29.06.2017**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**CLAEREBOUDT, YVES**

74 Agente/Representante:

**DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto**

ES 2 620 670 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

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere al campo de los aceleradores de partículas cargadas, tal como a los aceleradores de protones o de iones de carbono por ejemplo, y más en particular, a un degradador de energía para la atenuación de la energía de un haz de partículas cargadas generado por dicho acelerador de partículas.

**Descripción de la técnica anterior**

10 Algunas aplicaciones que implican la utilización de haces de partículas cargadas requieren que la energía de esas partículas se modifique. Éste es el caso, por ejemplo, de las aplicaciones de terapia con partículas, en las que la energía de las partículas cargadas determina la profundidad de la penetración de esas partículas en el interior de un cuerpo que se ha de tratar por medio de dicha terapia. Algunos aceleradores de partículas cargadas, como los sincrotrones por ejemplo, están adaptados para modificar la energía del haz de partículas que generan, pero, sin embargo, puede ser deseable modificar adicionalmente la energía después de que las partículas hayan sido extraídas del sincrotrón. Otros aceleradores de partículas, como los ciclotrones por ejemplo, no están adaptados en sí mismos para modificar la energía del haz de partículas que generan, y, por lo tanto, requieren un dispositivo adicional para variar esta energía.

15 Los dispositivos para la modificación de la energía de un haz de partículas extraído de un acelerador de partículas se denominan comúnmente degradadores de energía. Un degradador de energía comprende, por tanto, uno o más bloques de materia que se sitúan a través de la trayectoria del haz de partículas después de su extracción del acelerador de partículas. Según un principio bien conocido, toda partícula que pasa a través de un bloque de materia experimenta una disminución en su energía en una cantidad que es, para partículas de un tipo dado, una función de las características intrínsecas del material que ha sido atravesado y de su grosor.

20 Por ejemplo, en la patente de EE.UU. nº 6.433.336 se describe un degradador de energía conocido. Comprende un único bloque de materia que tiene la forma de una escalera helicoidal. El haz de partículas entra en el degradador según una dirección perpendicular a un escalón de la escalera y sale del degradador por el lado opuesto, lo cual atenúa la energía del haz de acuerdo al grosor del degradador en dicho escalón. Después de haber girado la escalera un ángulo dado alrededor de su eje, el haz entrará en el degradador en dirección perpendicular a otro escalón, lo cual atenuará la energía del haz en una cantidad diferente de acuerdo al grosor del degradador en dicho otro escalón.

25 Por tanto, se puede modificar la atenuación de energía por medio del cambio de la posición angular del degradador con respecto al haz de partículas.

30 Se describe otro degradador de energía conocido, por ejemplo, en la solicitud de patente de EE.UU. nº 2014091238. Comprende dos bloques de materia con forma de cuña, los cuales se pueden desplazar en dirección transversal hasta cruzar la trayectoria del haz. La atenuación de energía se modifica por medio del cambio de la posición transversal de los bloques con respecto al haz de partículas.

35 Se describe otro degradador de energía conocido, por ejemplo, en la solicitud de patente europea nº 1.371.390. Comprende dos pares de bloques de materia con forma de cuña, los cuales se pueden desplazar en dirección transversal hasta cruzar la trayectoria del haz. La atenuación de energía fundamental se modifica por medio del cambio de la posición transversal del par de bloques más grandes con respecto al haz de partículas. El par de bloques más pequeños se utiliza para ajustar/modular la atenuación de energía durante la irradiación, por ejemplo, para adaptarla a la respiración del paciente.

40 Un inconveniente de estos degradadores de energía conocidos es que los bloques atenuadores que se utilizan para fijar la atenuación de energía fundamental son pesados, y que, en consecuencia, es difícil desplazarlos de forma rápida y/o con elevada precisión con respecto al haz de partículas. Algunas aplicaciones recientes necesitan, sin embargo, ser capaces de modificar la energía del haz de partículas muy rápidamente, por ejemplo en unas pocas decenas de milisegundos, y/o con una elevada precisión posicional.

45 Éste es el caso, por ejemplo, de los sistemas de terapia con partículas, en los que un objetivo, tal como un tumor, por ejemplo, se ha de irradiar capa por capa con el haz de partículas, estando estas capas a diferentes profundidades en el interior del cuerpo del paciente. En tales casos, es deseable ser capaz de modificar la energía fundamental del haz de partículas de forma muy rápida y/o de forma muy precisa, cuando el sistema pasa de una capa a otra capa.

**Compendio de la invención**

50 Es un objetivo de la invención resolver los inconvenientes de los degradadores de energía conocidos. Es un objetivo particular de la invención proporcionar un degradador de energía que esté adaptado para la modificación de la

energía fundamental de un haz de partículas más rápidamente y/o con una precisión mayor que los degradadores conocidos.

5 Una típica energía de haz aguas arriba (es decir, como entrada) de un degradador de energía según la invención está en el rango de los MeV, por ejemplo en el intervalo de entre los 150 MeV y 300 MeV, y una típica energía fundamental de haz deseada aguas abajo (es decir, como salida) de un degradador de energía según la invención está también en el rango de los MeV, por ejemplo en el intervalo de entre los 50 MeV y 230 MeV para una energía de entrada de 230 MeV.

La invención queda definida por las reivindicaciones independientes. Las reivindicaciones dependientes definen realizaciones ventajosas.

10 Según la invención, se proporciona un degradador de energía para la atenuación de la energía de un haz de partículas cargadas, tal como un haz de protones o de iones de carbono por ejemplo, comprendiendo dicho degradador de energía:

- un primer miembro de atenuación de energía (A) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho primer miembro de atenuación,

15 - un segundo miembro de atenuación de energía (B) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho segundo miembro de atenuación, y

- una unidad de accionamiento que está conectada de forma operativa a los miembros de atenuación de energía primero y segundo y que está configurada para desplazar los miembros de atenuación de energía primero y/o segundo a través del haz de partículas cargadas,

20 en el que:

- la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía (A) es menor que la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía (B),

25 - la unidad de accionamiento está configurada para desplazar de forma simultánea el primer miembro de atenuación de energía (A) a una primera velocidad ( $VA1$ ) y el segundo miembro de atenuación de energía (B) a una segunda velocidad ( $VB1$ ) a través del haz de partículas cargadas durante un primer movimiento,

- las formas de los miembros de atenuación de energía primero y segundo (A, B) son de tal manera que la atenuación de energía total del haz de partículas permanece constante durante el primer movimiento,

30 - la unidad de accionamiento está configurada para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a una tercera velocidad ( $VA2$ ) a través del haz de partículas cargadas durante un segundo movimiento, y

- la media de la tercera velocidad ( $VA2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que la media de la segunda velocidad ( $VB1$ ) a lo largo del primer movimiento.

35 Al estar configurado para desplazar de forma simultánea el miembro de atenuación de energía más ligero (A) a la primera velocidad ( $VA1$ ) y el miembro de atenuación de energía más pesado (B) a la segunda velocidad ( $VB1$ ) a través del haz de partículas cargadas durante el primer movimiento, aunque manteniendo la atenuación de energía total del haz de partículas constante durante el primer movimiento, la unidad de accionamiento puede reposicionar el miembro de atenuación de energía más ligero (A) con respecto al haz de partículas de manera que esté listo para el

40 segundo movimiento, aunque sin tener que desplazar rápidamente el miembro de atenuación de energía más pesado (B). En un sistema de terapia con partículas por ejemplo, este primer movimiento se puede llevar a cabo, por ejemplo, en el transcurso de la irradiación de una determinada capa del objetivo.

45 Además, al estar configurado para desplazar el miembro de atenuación de energía más ligero (A) a la velocidad más elevada ( $VA2$ ) a través del haz de partículas cargadas durante el segundo movimiento, se puede modificar de hecho la atenuación de energía total más rápidamente y con una precisión mayor que con los degradadores de energía convencionales. En un sistema de terapia con partículas por ejemplo, este segundo movimiento y la variación de la energía del haz de partículas que lo acompaña se pueden llevar a cabo, por ejemplo, durante un cambio de capa del objetivo que se ha de irradiar.

50 Preferiblemente, la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía es menor que 0,5 veces la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía.

Más preferiblemente, la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía es menor que 0,1 veces la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía.

Aún más preferiblemente, la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía es menor que 0,02 veces la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía.

Preferiblemente, el primer miembro de atenuación de energía está hecho del mismo material que el segundo miembro de atenuación de energía.

5 Preferiblemente, la media de la tercera velocidad ( $VA_2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que dos veces la media de la segunda velocidad ( $VB_1$ ) a lo largo del primer movimiento.

Más preferiblemente, la media de la tercera velocidad ( $VA_2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que cinco veces la media de la segunda velocidad ( $VB_1$ ) a lo largo del primer movimiento.

10 Aún más preferiblemente, la media de la tercera velocidad ( $VA_2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que diez veces la media de la segunda velocidad ( $VB_1$ ) a lo largo del primer movimiento.

Según la invención, se proporciona preferiblemente un degradador de energía para la atenuación de la energía de un haz de partículas cargadas, comprendiendo dicho degradador de energía:

- 15 - un primer miembro de atenuación de energía (A) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho primer miembro de atenuación y que tiene la forma de una cuña que presenta una primera cara de entrada de haz ( $A_1$ ) y una primera cara de salida de haz ( $A_2$ ) opuesta,
- un segundo miembro de atenuación de energía (B) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho segundo miembro de atenuación y que tiene la forma de una cuña que presenta una segunda cara de entrada de haz ( $B_1$ ) y una segunda cara de salida de haz ( $B_2$ ) opuesta,
- 20 - siendo dichas caras de entrada de haz primera y segunda, así como dichas caras de salida de haz primera y segunda, caras planas,
- una unidad de accionamiento que está conectada de forma operativa a los miembros de atenuación de energía primero y segundo y que está configurada para desplazar los miembros de atenuación de energía primero y/o segundo a través del haz de partículas cargadas,

en el que:

- 25 - la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía (A) es menor que la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía (B),
- la unidad de accionamiento está configurada para desplazar de forma simultánea el primer miembro de atenuación de energía (A) a una primera velocidad ( $VA_1$ ) y el segundo miembro de atenuación de energía (B) a una segunda velocidad ( $VB_1$ ) a través del haz de partículas cargadas durante un primer movimiento de traslación,
- 30 - las formas de los miembros de atenuación de energía primero y segundo (A, B) son de tal manera que la atenuación de energía total del haz de partículas permanece constante durante el primer movimiento,
- 35 - la unidad de accionamiento está configurada para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a una tercera velocidad ( $VA_2$ ) a través del haz de partículas cargadas durante un segundo movimiento de traslación, y
- la media de la tercera velocidad ( $VA_2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que la media de la segunda velocidad ( $VB_1$ ) a lo largo del primer movimiento.

40 Dicha configuración preferida hace posible, de hecho, una flexibilidad mucho mayor en cuanto a la variación de la atenuación de la energía del haz de partículas, en comparación con los casos en los que los miembros de atenuación de energía tienen otras formas y/o en comparación con los casos en los que los movimientos de los miembros de atenuación de energía no son movimientos de traslación.

45 En dicha configuración preferida, la primera cara de entrada de haz ( $A_1$ ) es preferiblemente paralela a la segunda cara de salida de haz ( $B_2$ ), la primera cara de salida de haz ( $A_2$ ) es preferiblemente paralela a la segunda cara de entrada de haz ( $B_1$ ), y la unidad de accionamiento está configurada preferiblemente de tal forma que, durante el primer movimiento, la primera velocidad ( $VA_1$ ) instantánea es igual a la segunda velocidad ( $VB_1$ ) instantánea. Esto hace posible que el haz de partículas entre y salga del degradador de energía según una dirección perpendicular a la primera cara de entrada y a la última cara de salida, reduciendo de esta forma las distorsiones no deseadas en el haz de partículas.

50 Según la invención, se proporciona además un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas configurado para generar un haz de partículas cargadas, y que comprende un degradador de energía

según la invención para la atenuación de la energía del haz de partículas cargadas generado como salida por el acelerador de partículas. El acelerador de partículas es preferiblemente un acelerador de energía fija, más preferiblemente un ciclotrón, por ejemplo un sincrociclotrón.

**Breve descripción de los dibujos**

- 5 Estos y otros aspectos de la invención se explicarán en mayor detalle a modo de ejemplo y haciendo referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:
- La figura 1 muestra de forma esquemática un degradador de energía según la invención.
- La figura 2 muestra de forma esquemática un degradador de energía según la invención, con una unidad de accionamiento a modo de ejemplo.
- 10 La figura 3 muestra de forma esquemática un degradador de energía según la invención, con una unidad de accionamiento preferida.
- La figura 4 muestra de forma esquemática un degradador de energía preferido según la invención.
- Las figuras 5a, 5b, 5c muestran de forma esquemática una sección transversal del degradador de energía de la figura 4 en diferentes etapas de un desplazamiento de sus componentes.
- 15 La figura 6 muestra de forma esquemática un degradador de energía más preferido según la invención.
- La figura 7 muestra de forma esquemática un degradador de energía aún más preferido según la invención.
- Las figuras 8a, 8b, 8c, 8d muestran de forma esquemática secciones transversales del degradador de energía de la figura 7 según diferentes configuraciones de sus componentes y de sus movimientos.
- La figura 9 muestra de forma esquemática una variante de un degradador de energía según un ejemplo.
- 20 La figura 10 muestra de forma esquemática otra variante de un degradador de energía según la invención.
- La figura 11 muestra de forma esquemática una parte de un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas y un degradador de energía según la invención.
- Los dibujos de las figuras no están hechos a escala ni de forma proporcionada.
- Por lo general, los componentes similares o idénticos están indicados mediante los mismos números de referencia en las figuras.
- 25

**Descripción detallada de realizaciones de la invención**

- La figura 1 muestra de forma esquemática una vista en 3D de un degradador de energía según la invención. El degradador de energía comprende un primer miembro de atenuación de energía (A) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho primer miembro de atenuación y un segundo miembro de atenuación de energía (B) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho segundo miembro de atenuación. Tal y como es bien conocido en la técnica, estos miembros de atenuación son, por ejemplo, bloques de materia sólida, tales como bloques de berilio o de grafito de carbono. Preferiblemente, el primer miembro de atenuación de energía (A) está hecho del mismo material que el segundo miembro de atenuación de energía (B). Es específico de la invención que la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía (A) es menor que la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía (B). Preferiblemente,  $m_A$  es menor que 0,5 veces  $m_B$ . Más preferiblemente,  $m_A$  es menor que 0,1 veces  $m_B$ . Aún más preferiblemente,  $m_A$  es menor que 0,02 veces  $m_B$ . Más adelante se proporcionarán masas a modo de ejemplo.
- 30
- En la figura 1 se muestra un haz de partículas cargadas (50) que cruza ambos miembros de atenuación de energía primero y segundo. En funcionamiento, el degradador de energía atenuará de esta forma la energía del haz de partículas (50) después de que éste cruce ambos miembros de atenuación de energía primero y segundo, tal y como se muestra en la figura 1. Se puede estimar una atenuación total de la energía del haz de partículas (50) como la suma de las atenuaciones de energía proporcionadas por los miembros de atenuación de energía primero y segundo a lo largo de la trayectoria del haz de partículas (50). El degradador de energía comprende además una unidad de accionamiento (10) que está conectada de forma operativa al primer miembro de atenuación de energía y al segundo para desplazar los miembros de atenuación de energía primero y/o segundo a través del haz de partículas cargadas (50). Dichas unidades de accionamiento son bien conocidas en la técnica también. La unidad de accionamiento (10) está configurada para desplazar de forma simultánea el primer miembro de atenuación de energía (A) a una primera velocidad ( $VA1$ ) y el segundo miembro de atenuación de energía (B) a una segunda velocidad ( $VB1$ ) a través del haz de partículas cargadas (50) durante un primer movimiento. Dependiendo de la forma de los miembros de atenuación de energía y de sus velocidades respectivas, la atenuación de energía variará
- 40
- 45
- 50

o no en el transcurso de este movimiento. Se proporcionarán más adelante ejemplos preferidos de velocidades y formas que dan lugar a que la atenuación de energía total permanezca constante durante este primer movimiento.

La unidad de accionamiento (10) está configurada además para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a una tercera velocidad (VA2) a través del haz de partículas cargadas (50) durante un segundo movimiento. En el transcurso de este segundo movimiento, el segundo miembro de atenuación de energía (B) puede moverse o no. Sin embargo, las formas y las posiciones de los miembros de atenuación de energía primero y segundo se elegirán, preferiblemente, de tal manera que, cuando se esté en funcionamiento, el haz de partículas (50) cruce ambos miembros de atenuación de energía durante el primer movimiento, así como durante el segundo movimiento.

Es específico de la invención que la media de la tercera velocidad (VA2) a lo largo del segundo movimiento es mayor que la media de la segunda velocidad (VB1) a lo largo del primer movimiento. Preferiblemente, la media de la tercera velocidad (VA2) a lo largo del segundo movimiento es mayor que dos veces la media de la segunda velocidad (VB1) a lo largo del primer movimiento. Más preferiblemente, la media de la tercera velocidad (VA2) a lo largo del segundo movimiento es mayor que cinco veces la media de la segunda velocidad (VB1) a lo largo del primer movimiento. Aún más preferiblemente, la media de la tercera velocidad (VA2) a lo largo del segundo movimiento es mayor que diez veces la media de la segunda velocidad (VB1) a lo largo del primer movimiento. Para una aplicación de terapia con partículas, es ventajoso, por ejemplo, y ha resultado ser factible que VB1 esté en el intervalo de 0,02 m/s a 0,2 m/s (por ejemplo, de 10 cm/5 s a 10 cm/500 ms), preferiblemente en el intervalo de 0,05 m/s a 0,1 m/s (por ejemplo, de 10 cm/2 s a 10 cm/1 s), y que VA2 esté en el intervalo de 0,2 m/s a 100 m/s (por ejemplo, de 10 cm/500 ms a 10 cm/1 ms), preferiblemente en el intervalo de 1 m/s a 2 m/s (por ejemplo, de 10 cm/100 ms a 10 cm/50 ms).

En todos y cada uno de estos casos, la unidad de accionamiento (10) está configurada preferiblemente de tal forma que, en cualquier instante del transcurso del primer movimiento, la primera velocidad (VA1) instantánea es igual a la segunda velocidad (VB1) instantánea (siendo consideradas ambas velocidades como magnitudes vectoriales en este caso). De hecho, esto hace posible que la atenuación de energía total dependa únicamente, o de forma substancial, de las formas de los miembros de atenuación de energía primero y segundo, lo cual simplifica el diseño del sistema.

La figura 2 muestra de forma esquemática un degradador de energía según la invención, con una unidad de accionamiento (10) a modo de ejemplo. En este ejemplo, un primer motor (M1) está conectado de forma operativa para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a la primera velocidad (VA1) durante el primer movimiento y a la tercera velocidad (VA2) durante el segundo movimiento, con respecto a una parte fija – tal como un bastidor, por ejemplo – o con respecto al haz de partículas (50). Un segundo motor (M2) está conectado de forma operativa para desplazar el segundo miembro de atenuación de energía (B) a la segunda velocidad (VB1) durante el primer movimiento, con respecto a la parte fija o al haz de partículas (50).

La figura 3 muestra de forma esquemática un degradador de energía preferido según la invención, con una unidad de accionamiento (10) preferida. En este ejemplo, un segundo motor (M2) está conectado de forma operativa para desplazar el segundo miembro de atenuación de energía (B) a la segunda velocidad (VB1) durante el primer movimiento, con respecto a una parte fija – tal como un bastidor, por ejemplo – o con respecto al haz de partículas (50). Un primer motor (M1), cuyo estator está conectado rígidamente al segundo miembro de atenuación de energía (B), está conectado de forma operativa para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a la primera velocidad (VA1) durante el primer movimiento y a la tercera velocidad (VA2) durante el segundo movimiento, con respecto al segundo miembro de atenuación. Por lo tanto, mediante el accionamiento del segundo motor (M2), y el no accionamiento o bloqueo del primer motor (M1), ambos miembros de atenuación de energía primero y segundo se desplazarán de forma simultánea y a la misma velocidad con respecto al bastidor o al haz de partículas (50) durante el primer movimiento; y mediante el accionamiento del primer motor (M1), el primer miembro de atenuación de energía (A) se desplazará con respecto al bastidor o al haz de partículas (50) durante el segundo movimiento.

En los ejemplos que se proporcionan en lo sucesivo, y en los que los miembros de atenuación de energía se hayan de desplazar según una traslación, y en el caso de que el motor sea un motor de tipo giratorio, tal como un motor eléctrico, por ejemplo, se hará uso, como es evidente, de una transmisión intermedia (no mostrada) al objeto de transformar el movimiento giratorio del motor, o de los motores, en un movimiento de traslación aplicado a los miembros de atenuación de energía (A, B). En los ejemplos que se proporcionan en lo sucesivo, y en los que los miembros de atenuación de energía se hayan de desplazar según un giro, y en el caso de que el motor sea un motor de tipo giratorio, se puede hacer uso además de una transmisión intermedia (no mostrada) al objeto de ajustar la velocidad y/o el par aplicado a los miembros de atenuación de energía (A, B).

La figura 4 muestra de forma esquemática una vista en 3D de un degradador de energía preferido según la invención, en un sistema de referencia XYZ. Como se puede observar en esta figura, cada uno de los miembros de atenuación de energía primero y segundo tiene forma cilíndrica (forma obtenida al desplazar una línea recta de forma paralela a sí misma, en este ejemplo, paralela al eje Y). En este caso, la unidad de accionamiento (10) está configurada preferiblemente para desplazar los miembros de atenuación de energía primero y segundo según una traslación en un plano paralelo al plano XZ (los vectores VA1 y VA2 son paralelos al plano XZ).

- Las figuras 5a, 5b, 5c muestran de forma esquemática secciones transversales de un degradador de energía preferido y a modo de ejemplo según la figura 4, en diferentes etapas de un desplazamiento de los miembros de atenuación de energía primero y segundo, estando tomadas las secciones transversales según un plano paralelo al plano XZ. En estas figuras, se muestra un haz de partículas (50) imaginario, cuya trayectoria es paralela al eje Z.
- 5 Dicho degradador de energía preferido es particularmente útil para la terapia con partículas, tal y como se verá de forma más clara más adelante.
- Las secciones transversales son especiales en este caso. Están obtenidas por medio de la división de la superficie de un cilindro imaginario a lo largo de dos líneas libremente elegidas (L1, L2), dando lugar de esta forma a dos partes imaginarias (P1, P2), y por medio de la extensión de estas dos partes de manera que queden planas, tal y como se muestra en el lado derecho de la figura 5a en líneas discontinuas. Se añade además un apéndice rectangular plano (P1') al lado derecho de la primera parte (P1). El conjunto de P1 y P1' representa la sección transversal del primer miembro de atenuación de energía (A).
- 10 La segunda parte (P2) representa la sección transversal de la parte más a la derecha del segundo miembro de atenuación de energía (B), es decir, de aquella cuya anchura es igual a  $Dx1$ . Cada una de las otras dos partes del segundo miembro de atenuación de energía (B) que quedan a la izquierda de esta parte más a la derecha tiene una anchura que es igual a  $Dx1$ . Están obtenidas por medio del aumento de la altura de la segunda parte (P2) sin modificar los perfiles superior e inferior de la segunda parte, y por medio de la alineación respectiva de los correspondientes perfiles superior e inferior.
- 15 La forma según la cual la unidad de accionamiento (10) desplaza los miembros de atenuación de energía primero y segundo se describirá con mayor detalle a continuación.
- La figura 5a muestra las posiciones de los miembros de atenuación de energía primero y segundo con respecto al haz de partículas (50) en una condición inicial, por ejemplo. El lado izquierdo de la parte más a la derecha del segundo miembro de atenuación de energía (B) está alineado verticalmente con el lado izquierdo del primer miembro de atenuación de energía (A). La unidad de accionamiento (10) está configurada para desplazar de forma simultánea el primer miembro de atenuación de energía (A) a una primera velocidad ( $VA1$ ) y el segundo miembro de atenuación de energía (B) a una segunda velocidad ( $VB1$ ) a través del haz de partículas cargadas (50) durante un primer movimiento. Es específico de la presente memoria que, durante dicho primer movimiento, la componente horizontal (X) de la primera velocidad ( $VA1$ ) instantánea es igual a la componente horizontal (X) de la segunda velocidad ( $VB1$ ) instantánea. Esto se puede obtener de forma sencilla, por ejemplo, por medio de la utilización de una unidad de accionamiento (10) como la que se muestra en la figura 3, y por medio del bloqueo del primer motor (M1) en reposo durante el primer movimiento, de manera que el primer miembro de atenuación de energía (A) no se desplace con respecto al segundo miembro de atenuación de energía (B).
- 20 25 30
- Gracias a las secciones transversales especiales de los miembros de atenuación de energía primero y segundo, tal y como se han descrito con anterioridad (véanse las partes P1+P1' y P2) y gracias a sus velocidades instantáneas iguales en la dirección X, será fácil de entender que la distancia total recorrida por las partículas del haz de partículas (50) a través de los miembros de atenuación de energía primero y segundo – y, por lo tanto, la atenuación de energía total de estas partículas por medio del degradador de energía – permanece constante durante el primer movimiento.
- 35
- La figura 5b muestra las posiciones de los miembros de atenuación de energía primero y segundo con respecto al haz de partículas (50) al final del primer movimiento, en concreto, cuando los miembros de atenuación de energía primero y segundo se han desplazado a lo largo de una distancia horizontal (X) que es preferiblemente algo menor que  $Dx1$ , de manera que el haz de partículas (50) cruza todavía ambos miembros de atenuación de energía primero y segundo al final del primer movimiento.
- 40
- La unidad de accionamiento (10) está configurada además para desplazar a continuación el primer miembro de atenuación de energía (A) a una tercera velocidad ( $VA2$ ) a través del haz de partículas cargadas (50) durante un segundo movimiento, siendo la media de la tercera velocidad ( $VA2$ ) a lo largo del segundo movimiento mayor que la media de la segunda velocidad ( $VB1$ ) a lo largo del primer movimiento. En este ejemplo, el segundo movimiento es de sentido opuesto al primer movimiento.
- 45
- La figura 5c muestra las posiciones de los miembros de atenuación de energía primero y segundo con respecto al haz de partículas (50) al final del segundo movimiento, en concreto, cuando el primer miembro de atenuación de energía (A) se ha desplazado hacia la izquierda una distancia horizontal (X)  $Dx1$ , de manera que el primer miembro de atenuación de energía (A) está situado de nuevo en frente de la parte correspondiente del segundo miembro de atenuación de energía (B). En este instante, la distancia total recorrida por el haz de partículas (50) a través de los miembros de atenuación de energía primero y segundo - y, por lo tanto, la atenuación de energía total del haz de partículas (50) – será mayor que durante el primer movimiento (figuras 5a y 5b).
- 50 55
- A partir de este instante, se puede repetir la secuencia de movimientos primero y segundo descritos con respecto a las figuras 5a y 5b, tantas veces como sea necesario, siempre que, por supuesto, no se exceda la anchura total (X) del segundo miembro de atenuación de energía (B).

Esta configuración es especialmente útil para los sistemas de terapia con partículas, en los que un objetivo (200), tal como un tumor, por ejemplo, se ha de irradiar capa por capa con un haz de partículas (50), estando estas capas a diferentes profundidades en el interior del cuerpo del paciente. En tales casos, es deseable ser capaz de modificar la energía del haz de partículas (50) de forma muy rápida y/o de forma muy precisa, cuando el sistema pasa de una capa a otra capa. La configuración de las figuras 5a, 5b y 5c permite alcanzar esto de la siguiente manera. En primer lugar, se sitúa el degradador de energía con respecto al haz de partículas (50) tal y como se muestra en la figura 5a. Se enciende a continuación el haz de partículas (50) al objeto de irradiar una primera capa del tumor (por ejemplo, la capa más profunda). Mientras se irradia dicha capa, la unidad de accionamiento (10) realiza el primer movimiento de los miembros de atenuación de energía primero y segundo a una velocidad relativamente baja ( $VA1x = VA2x$ ). Como se ha explicado, la atenuación de energía total – y, por lo tanto, la energía del haz a la salida del degradador de energía – permanece constante durante el primer movimiento. Al final del primer movimiento (figura 5b), preferiblemente se apaga el haz. Mientras el haz está apagado, la unidad de accionamiento (10) realiza el segundo movimiento del primer miembro de atenuación de energía (A) a una velocidad relativamente elevada ( $VA2$ ). Al final del segundo movimiento (figura 5c), se enciende de nuevo el haz. En este instante, la atenuación de energía total es más elevada – y, por lo tanto, la energía del haz a la salida del degradador de energía es menor que en el transcurso del primer movimiento. Se puede comenzar a irradiar otra capa del tumor, menos profunda que la primera capa. Debido a que la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía (A) es menor que la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía (B), el segundo movimiento se puede realizar de forma muy rápida y con una elevada precisión. Esto reduce el tiempo que se requiere para modificar la energía del haz entre dos capas, lo cual reduce el tiempo del tratamiento.

Es evidente que también se puede proceder al revés, es decir, situar inicialmente el primer miembro de atenuación de energía (A) justamente encima de la parte correspondiente de la parte más gruesa del segundo miembro de atenuación de energía (B) (lado izquierdo de la figura 5a) y desplazar los miembros de atenuación de energía primero y segundo hacia la izquierda durante el primer movimiento, y desplazar a continuación el primer miembro de atenuación de energía (A) hacia la derecha durante el segundo movimiento.

La figura 6 muestra de forma esquemática una vista en 3D de un degradador de energía más preferido según la invención. Es idéntico a los descritos con anterioridad, excepto por el hecho de que el primer miembro de atenuación de energía (A) tiene la forma de una cuña que presenta una primera cara de entrada de haz (A1) y una primera cara de salida de haz (A2) opuesta, y el segundo miembro de atenuación de energía (B) tiene la forma de una cuña que presenta una segunda cara de entrada de haz (B1) y una segunda cara de salida de haz (B2) opuesta. Las caras de entrada de haz primera y segunda son caras planas. Las caras de salida de haz primera y segunda son también caras planas. Además, la unidad de accionamiento (10) está configurada para desplazar los miembros de atenuación de energía primero y segundo según una traslación a lo largo del haz de partículas (50). Más allá del hecho de que son más fáciles de diseñar y fabricar, la ventaja de los miembros de atenuación con forma de cuña es que la cantidad de atenuación de energía se puede modificar con mayor libertad y de forma más precisa por medio del segundo movimiento. En el caso de que las inclinaciones de las cuñas no sean las mismas, es evidente que las velocidades primera y segunda deben ser diferentes durante el primer movimiento, al objeto de mantener constante la atenuación de energía total.

La figura 7 muestra de forma esquemática una vista en 3D de un degradador de energía aún más preferido según la invención. Es idéntico al de la figura 6, excepto por el hecho de la primera cara de entrada de haz (A1) es paralela a la segunda cara de salida de haz (B2), la primera cara de salida de haz (A2) es paralela a la segunda cara de entrada de haz (B1), y por el hecho de que – durante el primer movimiento – la componente horizontal (X) de la primera velocidad ( $VA1$ ) instantánea es igual a la componente horizontal (X) de la segunda velocidad ( $VB1$ ) instantánea. Esto se puede obtener de forma sencilla, por ejemplo, por medio de la utilización de una unidad de accionamiento (10) como la que se muestra en la figura 3, y por medio del bloqueo del primer motor (M1) en reposo durante el primer movimiento, de manera que el primer miembro de atenuación de energía (A) no se desplace con respecto al segundo miembro de atenuación de energía (B) durante el primer movimiento.

En dicha configuración, será fácil de entender que la distancia total recorrida por el haz de partículas (50) a través de los miembros de atenuación de energía primero y segundo – y, por lo tanto, la atenuación de energía total del haz de partículas (50) por medio del degradador de energía – permanece constante durante el primer movimiento, y que la atenuación de energía total del haz de partículas (50) se modifica rápidamente después del segundo movimiento.

Las figuras 8a, 8b, 8c y 8d muestran de forma esquemática secciones transversales según un plano paralelo al plano XZ del degradador de energía de la figura 7, y según diferentes configuraciones de los miembros de atenuación de energía primero y segundo y de sus respectivos movimientos. Para mayor claridad, la unidad de accionamiento (10), aunque presente, no se muestra.

Las figuras 8b y 8c son configuraciones más preferidas, ya que el haz entra y sale del degradador de energía según una dirección perpendicular a sus superficies de entrada y salida.

La figura 8c es una configuración más preferida aún, ya que permite mantener un espacio entre las dos cuñas menor que en el caso de la figura 8b.

La figura 8d ilustra el caso en el que la cuñas están truncadas en uno de sus extremos. Como observación general, se ha de señalar que las caras laterales (las caras que están orientadas hacia el plano YZ) de las cuñas son preferiblemente planas y paralelas entre sí, aunque esto no es obligatorio.

La figura 9 muestra de forma esquemática una variante de un degradador de energía según un ejemplo.

- 5 Es idéntico a los degradadores de energía descritos con anterioridad, excepto por el hecho de que el primer miembro de atenuación de energía (A) está subdividido en una pluralidad de primeros sub-miembros (Ai) interconectados mecánicamente, y por el hecho de que el segundo miembro de atenuación de energía (B) está subdividido en una pluralidad de segundos sub-miembros (Bi) interconectados mecánicamente. En este ejemplo se muestran sub-miembros con forma de cuña, pero se puede utilizar asimismo cualquier otra forma.
- 10 Cuando tienen la forma de una cuña con caras de entrada y salida de haz mutuamente paralelas, como se muestra en las figuras 7 y 8, los miembros de atenuación de energía pueden tener, por ejemplo, las siguientes características, en particular, en el contexto de un sistema de terapia con partículas, en el que la energía del haz se debe atenuar desde, por ejemplo, 230 MeV a la entrada del degradador hasta una energía que esté en el intervalo de entre 50 MeV y 230 MeV a la salida el degradador:

15	Segundo miembro de atenuación (B)	Primer miembro de atenuación (A)
Anchura en dirección X [cm]	64	8
Altura en dirección Z [cm]	16	2
Ángulo de la cuña [°]	14,04	14,04
20 Profundidad en dirección Y [cm]	2	2
Volumen [cm <sup>3</sup> ]	1.024	16
Densidad [N/A]	1,85	1,85
Masa [g]	1.894,4	29,6

- 25 Los miembros de atenuación de energía primero y segundo, tal y como se han descrito con anterioridad, también pueden estar doblados alrededor de un eje central (Z1), que es preferiblemente paralelo al haz de partículas (50) en la posición a lo largo de la trayectoria del haz en la que el haz de partículas (50) cruza el degradador de energía. En dicho caso, la unidad de accionamiento (10) está configurada para accionar los miembros de atenuación de energía primero (A) y segundo (B) para que giren alrededor del eje central (Z1), y según las velocidades descritas respectivamente (VA1, VB1, VA2), las cuales son, evidentemente, velocidades de giro en este caso.

- 30 La figura 10 muestra de forma esquemática un degradador de energía preferido y a modo de ejemplo que se puede obtener de esta manera, así como su posición y orientación con respecto al haz de partículas (50). En este ejemplo, el primer miembro de atenuación de energía (A) presenta una primera cara de entrada de haz (A1) que tiene la forma de una porción de una primera rampa helicoidal y una primera cara de salida de haz (A2) opuesta que tiene la forma de una porción de un anillo plano. El segundo miembro de atenuación de energía (B) presenta una segunda cara de entrada de haz (B1) que tiene la forma de una porción de un anillo plano y una segunda cara de salida de haz (B2) opuesta que tiene la forma de una segunda rampa helicoidal. La primera rampa helicoidal es coaxial con la segunda rampa helicoidal. Preferiblemente, la primera rampa helicoidal se corresponde con la segunda rampa helicoidal, la primera cara de salida de haz (A2) es paralela a la segunda cara de entrada de haz (B1), y – durante el primer movimiento – la primera velocidad (VA1) giratoria instantánea es igual a la segunda velocidad (VB1) giratoria instantánea. Esta configuración preferida es, de hecho, un equivalente giratorio de la configuración de la figura 7.

- 40 En cualquiera de las configuraciones descritas con anterioridad, la unidad de accionamiento (10) y los miembros de atenuación primero y segundo están configurados, preferiblemente, de tal manera que el espacio máximo entre los miembros de atenuación primero y segundo en el transcurso de los movimientos primero y segundo es menor que 5 cm, preferiblemente menor que 1 cm, preferiblemente menor que 100 mm, preferiblemente menor que 10 mm, preferiblemente menor que 1 mm.

- 45 Tal y como se muestra de forma esquemática en la figura 11, la invención se refiere además a un sistema de terapia con partículas configurado para la irradiación de un objetivo (200) con un haz de partículas cargadas (50). Dicho sistema de terapia con partículas comprende un acelerador de partículas (100) configurado para generar como salida un haz de partículas cargadas (50), tal como un haz de protones o de iones de carbono, por ejemplo, y un degradador de energía tal como el descrito con anterioridad para la atenuación de la energía de dicho haz de partículas cargadas (50) antes de que éste alcance el objetivo (200). En el ejemplo de la figura 11, los miembros de atenuación de energía primero y segundo del degradador de energía tienen forma de cuña, pero se puede utilizar

también cualquier otra forma, tal y como se ha descrito con anterioridad. Preferiblemente, el acelerador de partículas (100) es un acelerador de energía fija. Más preferiblemente, el acelerador de partículas (100) es un ciclotrón, por ejemplo un sincrociclotrón.

5 La presente invención se ha descrito en términos de realizaciones específicas, las cuales son ilustrativas de la invención y no se han de considerar como limitativas. De forma más general, se apreciará por parte de los expertos en la técnica que la presente invención no se limita a lo que se ha mostrado y/o descrito en particular con anterioridad.

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

10 La utilización de los verbos “comprender”, “incluir”, “estar compuesto de”, o cualquier otra variante, así como la de sus respectivas conjugaciones, no excluye la presencia de otros elementos diferentes a los especificados.

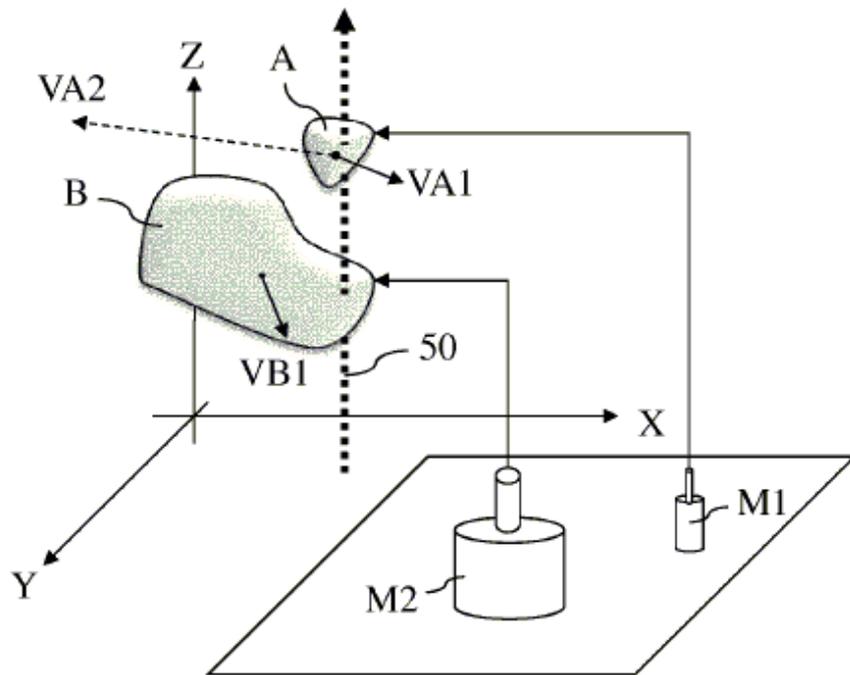
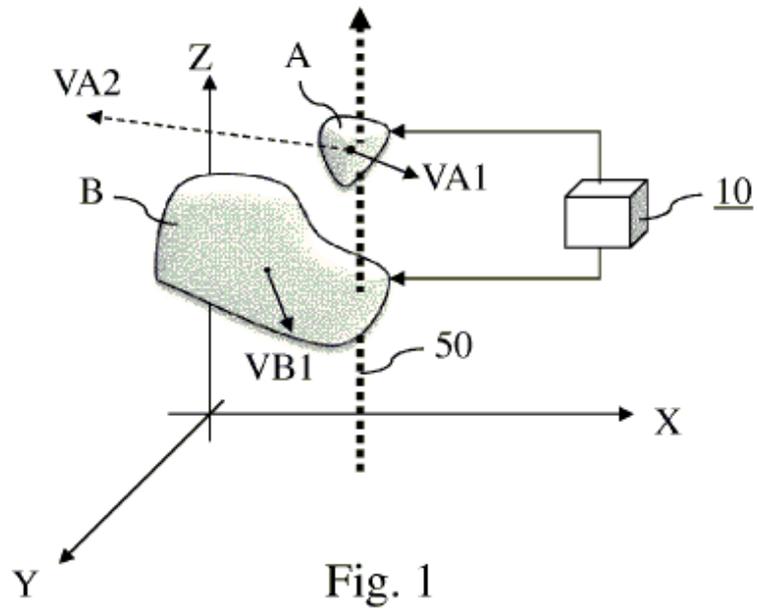
La utilización del artículo “un”, “una”, “el”, “la” precediendo a un elemento no excluye la presencia de una pluralidad de dichos elementos.

La invención queda definida por las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un degradador de energía para la atenuación de la energía de un haz de partículas cargadas (50), comprendiendo dicho degradador de energía:
- 5 - un primer miembro de atenuación de energía (A) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho primer miembro de atenuación,
  - un segundo miembro de atenuación de energía (B) adaptado para atenuar la energía de las partículas cargadas que cruzan dicho segundo miembro de atenuación,
  - 10 - una unidad de accionamiento (10) que está conectada de forma operativa al primer miembro de atenuación de energía y al segundo y que está configurada para desplazar los miembros de atenuación de energía primero y/o segundo a través del haz de partículas cargadas (50),
  - la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía (A) es menor que la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía (B),
  - 15 - la unidad de accionamiento (10) está configurada para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a una primera velocidad ( $VA1$ ) y el segundo miembro de atenuación de energía (B) a una segunda velocidad ( $VB1$ ) a través del haz de partículas cargadas (50) durante un primer movimiento,
  - la unidad de accionamiento (10) está configurada para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a una tercera velocidad ( $VA2$ ) a través del haz de partículas cargadas (50) durante un segundo movimiento, y
  - 20 - la media de la tercera velocidad ( $VA2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que la media de la segunda velocidad ( $VB1$ ) a lo largo del primer movimiento,
- caracterizado por que
- la unidad de accionamiento está configurada para desplazar de forma simultánea los miembros de atenuación de energía primero y segundo a través del haz de partículas cargadas durante el primer movimiento, y
  - 25 - las formas de los miembros de atenuación de energía primero y segundo son de tal manera que la atenuación de energía total del haz de partículas permanece constante durante el primer movimiento.
2. Un degradador de energía según la reivindicación 1, caracterizado por que la masa ( $m_A$ ) del primer miembro de atenuación de energía (A) es menor que 0,5 veces la masa ( $m_B$ ) del segundo miembro de atenuación de energía (B).
3. Un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la media de la tercera velocidad ( $VA2$ ) a lo largo del segundo movimiento es mayor que dos veces la media de la segunda velocidad ( $VB1$ ) a lo largo del primer movimiento.
4. Un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que, durante el primer movimiento, la primera velocidad ( $VA1$ ) instantánea es igual a la segunda velocidad ( $VB1$ ) instantánea.
- 35 5. Un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la unidad de accionamiento (10) comprende:
- un primer motor (M1) configurado para desplazar el primer miembro de atenuación de energía (A) a la primera velocidad durante el primer movimiento y a la tercera velocidad durante el segundo movimiento, y
  - 40 - un segundo motor (M2) configurado para desplazar el segundo miembro de atenuación de energía (B) a la segunda velocidad durante el primer movimiento.
6. Un degradador de energía según la reivindicación 5, caracterizado por que el estátor del primer motor (M1) está conectado rígidamente al segundo miembro de atenuación de energía (B).
7. Un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que:
- 45 - el primer miembro de atenuación de energía (A) tiene la forma de una cuña que presenta una primera cara de entrada de haz (A1) y una primera cara de salida de haz (A2) opuesta,
  - el segundo miembro de atenuación de energía (B) tiene la forma de una cuña que presenta una segunda cara de entrada de haz (B1) y una segunda cara de salida de haz (B2) opuesta,

- siendo dichas caras de entrada de haz primera y segunda caras planas,
  - siendo dichas caras de salida de haz primera y segunda caras planas,
  - los movimientos primero y segundo son movimientos de traslación a lo largo del haz de partículas (50).
8. Un degradador de energía según la reivindicación 7, caracterizado por que:
- 5
- la primera cara de entrada de haz (A1) es paralela a la segunda cara de salida de haz (B2),
  - la primera cara de salida de haz (A2) es paralela a la segunda cara de entrada de haz (B1),
  - durante el primer movimiento, la primera velocidad (VA1) instantánea es igual a la segunda velocidad (VB1) instantánea.
9. Un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que:
- 10
- el primer miembro de atenuación de energía (A) presenta una primera cara de entrada de haz (A1) que tiene la forma de una porción de una primera rampa helicoidal y una primera cara de salida de haz (A2) opuesta que tiene la forma de una porción de anillo plano,
  - el segundo miembro de atenuación de energía (B) presenta una segunda cara de entrada de haz (B1) que tiene la forma de una porción de anillo plano y una segunda cara de salida de haz (B2) opuesta que tiene la forma de una segunda rampa helicoidal,
- 15
- la primera rampa helicoidal es coaxial con la segunda rampa helicoidal, y
  - los movimientos primero y segundo son movimientos giratorios alrededor de un eje central (Z1).
10. Un degradador de energía según la reivindicación 9, caracterizado por que:
- la primera rampa helicoidal se corresponde con la segunda rampa helicoidal,
- 20
- la primera cara de salida de haz (A2) es paralela a la segunda cara de entrada de haz (B1), y
  - durante el primer movimiento, la primera velocidad (VA1) giratoria instantánea es igual a la segunda velocidad (VB1) giratoria instantánea.
11. Un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la unidad de accionamiento (10) y los miembros de atenuación primero y segundo están configurados de tal manera que el espacio máximo entre los miembros de atenuación primero y segundo en el transcurso de los movimientos primero y segundo es menor que 1 cm.
- 25
12. Un sistema de terapia con partículas que comprende un acelerador de partículas (100) configurado para generar un haz de partículas cargadas (50), y que comprende un degradador de energía según cualquiera de las reivindicaciones precedentes para la atenuación de la energía de dicho haz de partículas cargadas (50).
- 30
13. Un sistema de terapia con partículas según la reivindicación 12, caracterizado por que el acelerador de partículas (100) es un acelerador de energía fija.
14. Un sistema de terapia con partículas según la reivindicación 12 o 13, caracterizado por que el acelerador de partículas (100) es un ciclotrón.
- 35
15. Un sistema de terapia con partículas según la reivindicación 14, caracterizado por que el acelerador de partículas (100) es un sincrociclotrón.



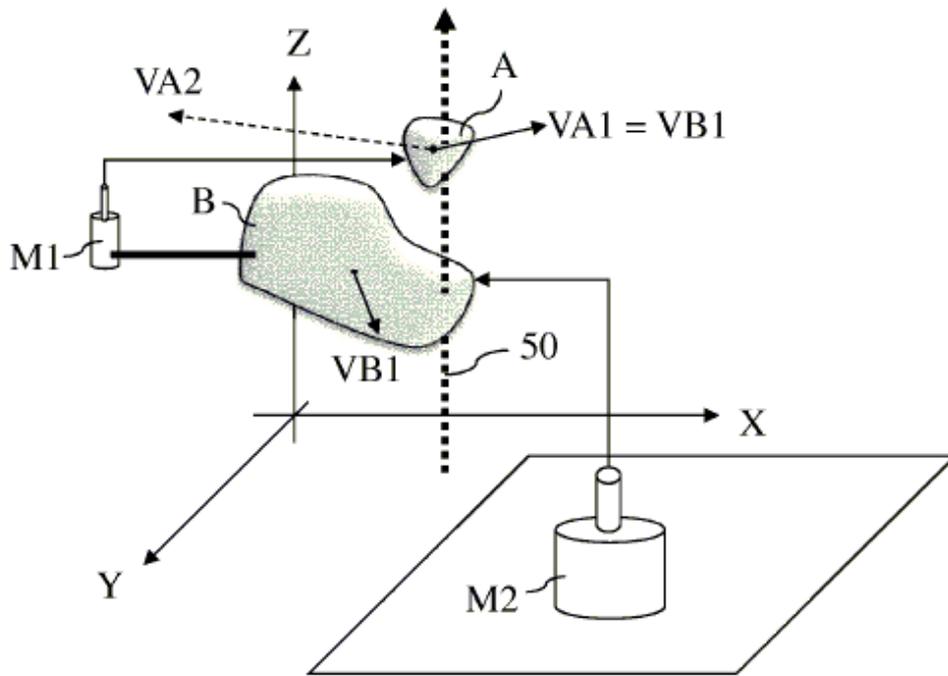


Fig. 3

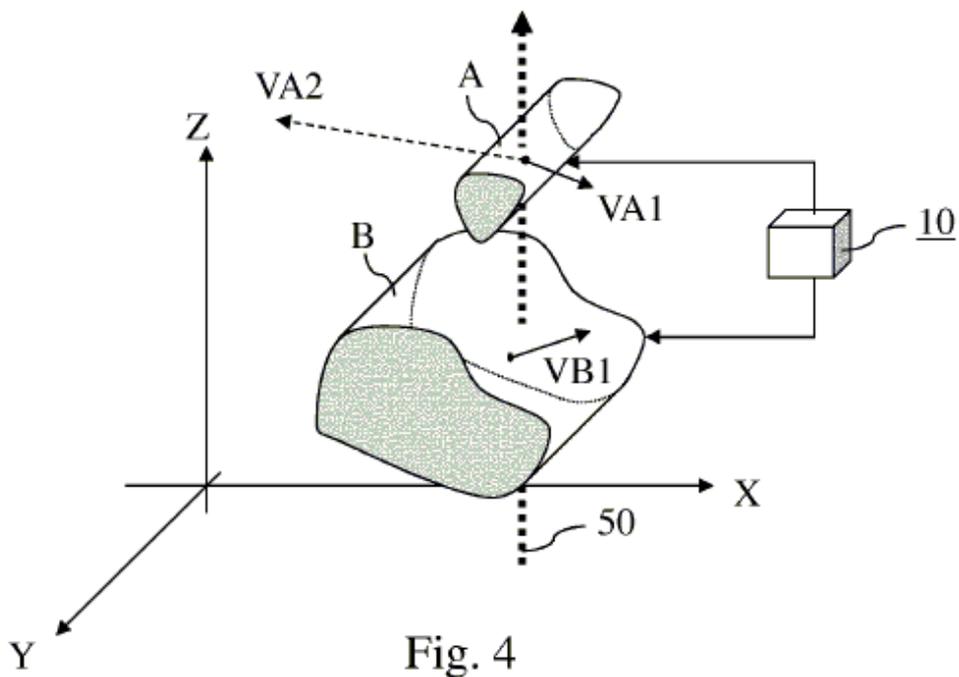
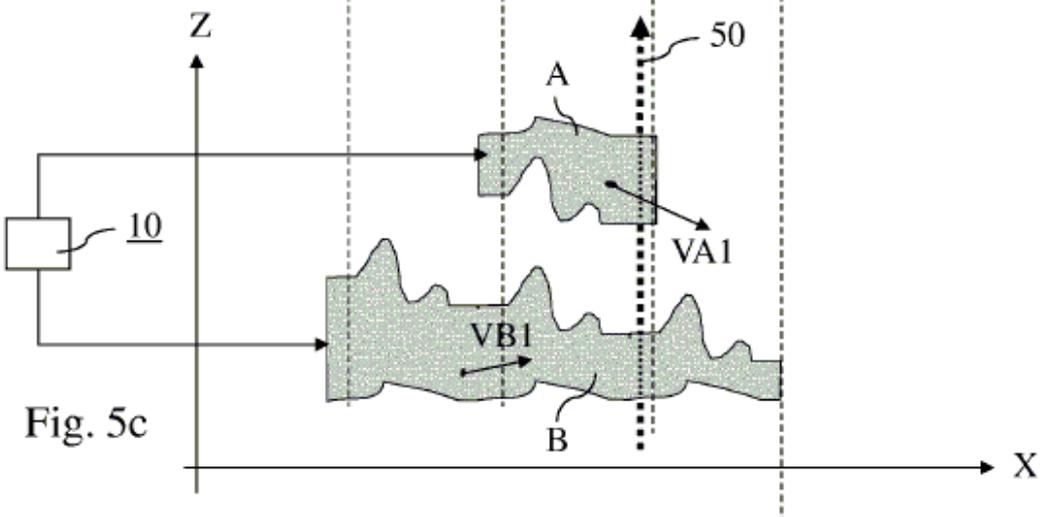
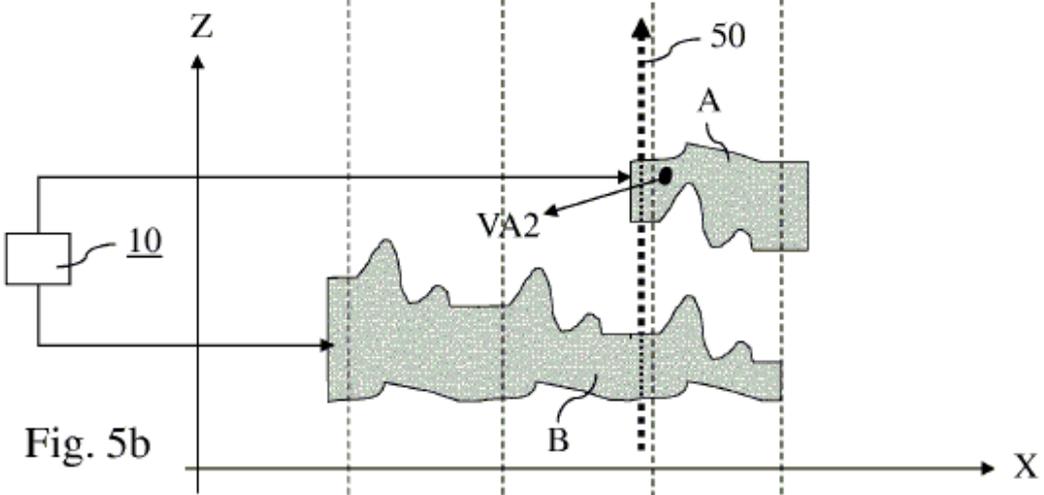
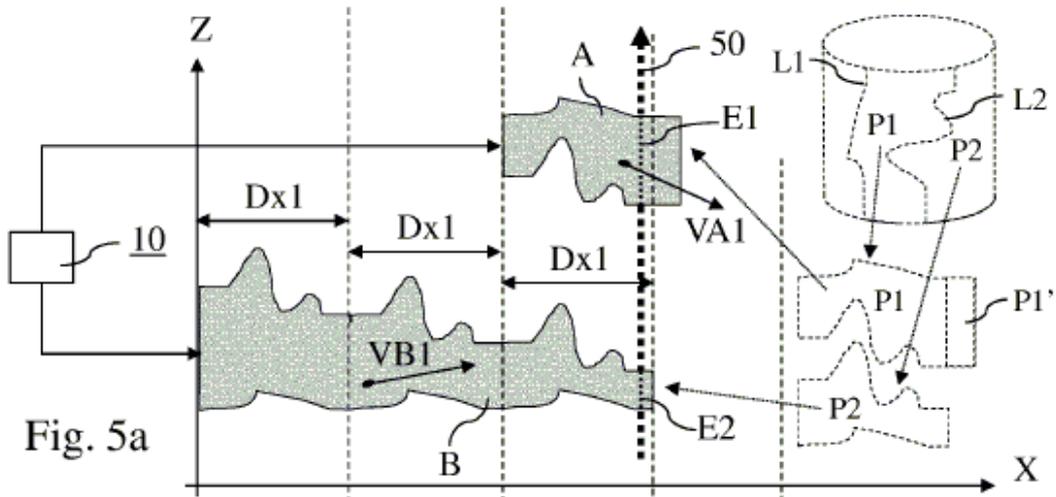


Fig. 4



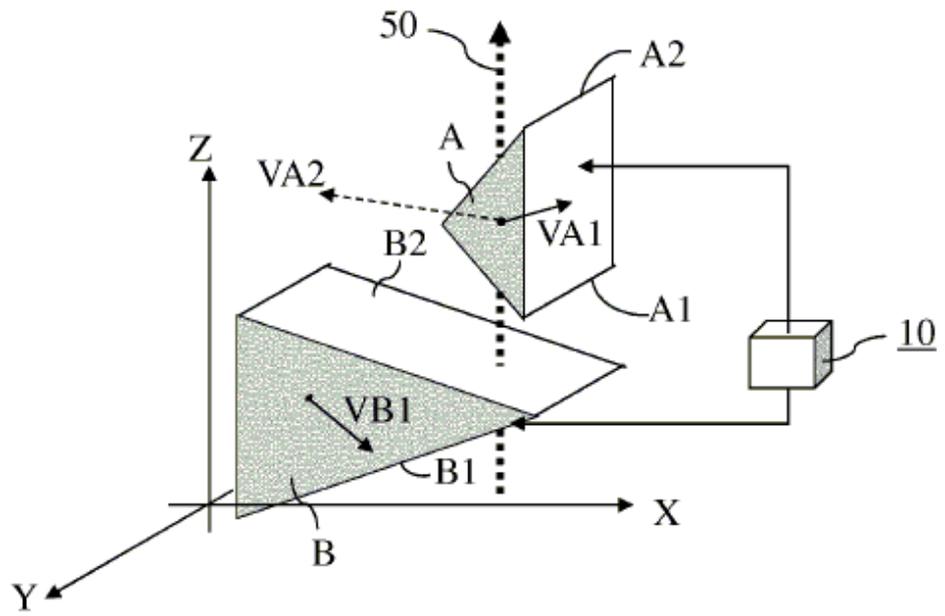


Fig. 6

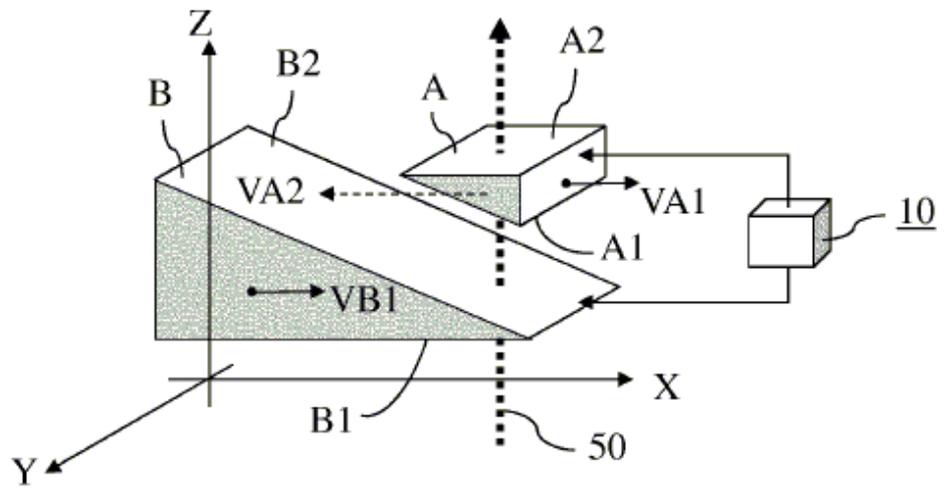
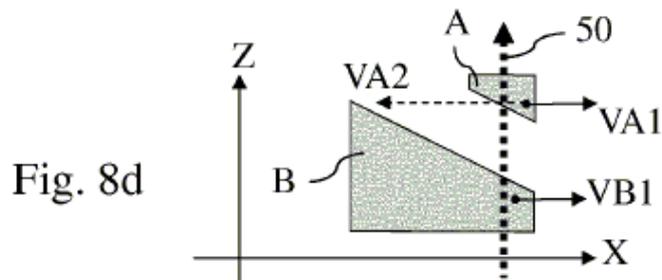
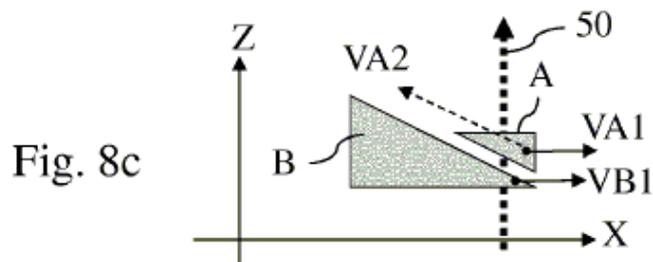
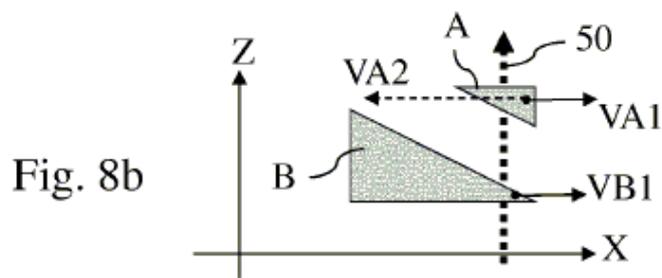
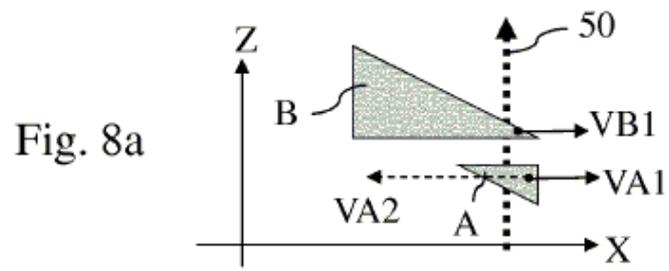


Fig. 7



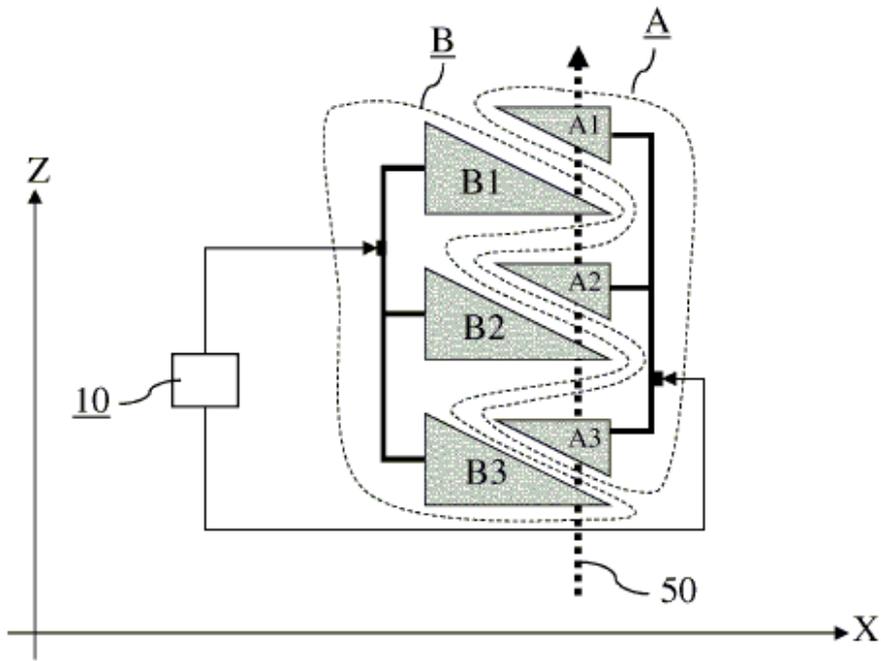


Fig. 9

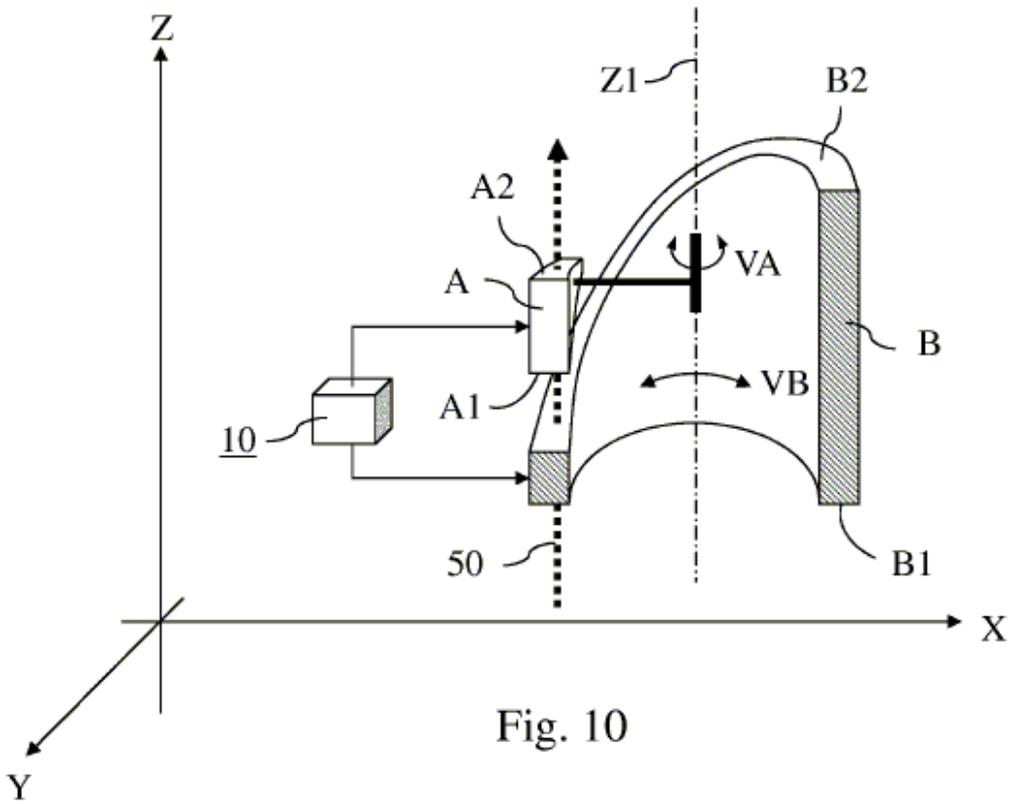


Fig. 10

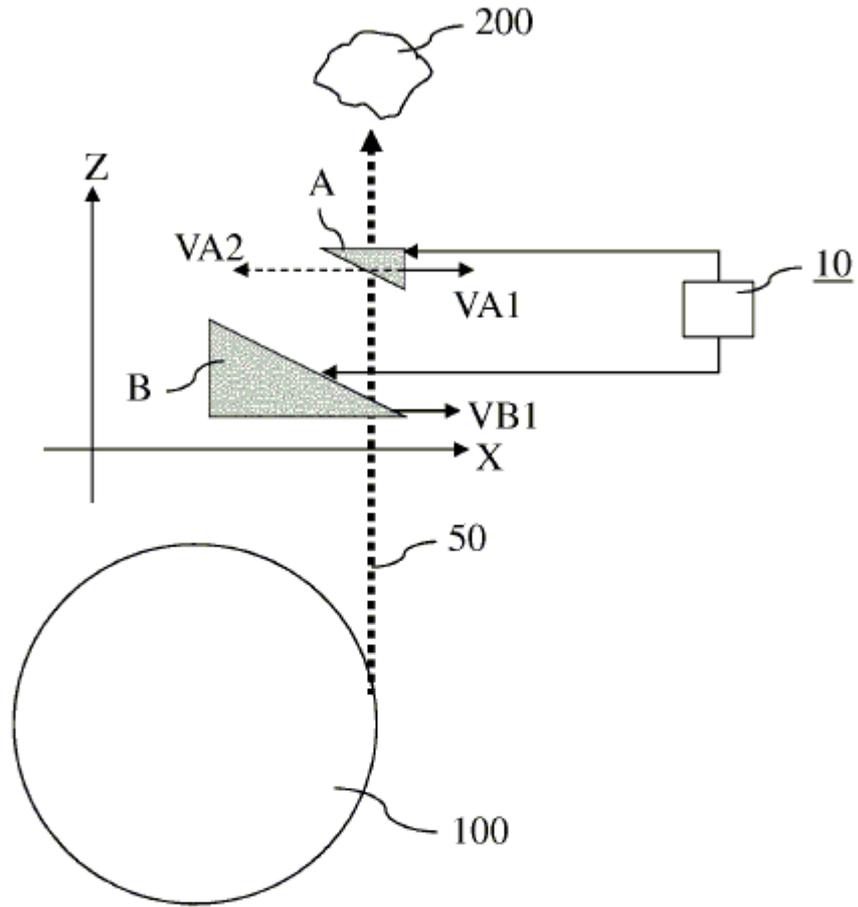


Fig. 11