

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 272**

51 Int. Cl.:

G01T 1/29

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.11.2015 PCT/EP2015/075689**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.05.2016 WO16075008**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.11.2015 E 15794116 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2019 EP 3218744**

54 Título: **Aparato localizador para fuentes de radiación radiactivas**

30 Prioridad:

11.11.2014 DE 102014116391

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

05.03.2020

73 Titular/es:

**GSI HELMHOLTZZENTRUM FÜR
SCHWERIONENFORSCHUNG GMBH (100.0%)
Planckstrasse 1
64291 Darmstadt, DE**

72 Inventor/es:

HOISCHEN, ROBERT

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 746 272 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

Aparato localizador para fuentes de radiación radiactivas

5 La invención se refiere a un dispositivo de determinación de la dirección para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con el dispositivo de determinación de la dirección. Además, la invención se refiere a un procedimiento para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con un dispositivo de determinación de la dirección.

10 En los últimos años ha surgido una demanda creciente de aparatos, con los que pueda reconocerse no solo la presencia de fuentes radiactivas, sino con lo que pueda detectarse también de la manera más sencilla y rápida posible la dirección, en la que se encuentra la fuente de radiación reconocida.

15 Ejemplos de esto son el desmantelamiento de instalaciones técnicas en las que se usó radiactividad, en las que con frecuencia es necesario comprobar un recinto (supuestamente) despejado que debe liberarse, en el sentido de si realmente se han eliminado todos los focos de radiación radiactivos. Si quedasen todavía una o varias fuentes radiactivas, entonces naturalmente es deseable que estas puedan localizarse lo más rápidamente posible. Esto aumenta por un lado la velocidad del despejo, por otro lado de este modo se reduce también una exposición a radiación de las personas en cuestión.

20 Un campo de aplicación adicional se refiere a la protección contra catástrofes o ayudantes (por ejemplo, bomberos) en el caso de accidentes. También en este caso se trata de reconocer tras un tiempo lo más breve posible no solo la presencia eventual de fuentes radiactivas, sino también de poder determinar su posición lo más rápidamente posible. En tales aplicaciones, un reconocimiento especialmente rápido es a menudo aún más importante que en el caso de los casos de aplicación descritos anteriormente. En particular, mediante una localización especialmente rápida de fuentes radiactivas eventualmente presentes puede impedirse una propagación no deseada del material. Además, por ejemplo, en el caso de existir un incendio el intervalo de tiempo para acceder al lugar del desastre es a menudo especialmente pequeño. Un campo de aplicación adicional consiste además en el campo oficial, tal como, por ejemplo, en el trabajo de servicios de seguridad (conocido en parte también por el término "homeland security").

25 También en este caso es especialmente importante un reconocimiento y una localización rápidos de fuentes radiactivas eventualmente presentes, dado que solo de este modo se hace posible una comprobación en masa rutinaria (el denominado "screening").

30 Por tanto, no es sorprendente que ya se hayan realizado algunas propuestas para solucionar dichos problemas.

35 Por ejemplo, en la patente estadounidense US 7.994.482 B2 se ha propuesto una disposición de detector, con la que puede detectarse la dirección de una fuente de radiación gamma y/o neutrónica. Para ello sirve una pluralidad de dispositivos de detección que, por ejemplo, están dispuestos a modo de cruz, para poder medir un campo angular grande. En el dispositivo del mismo se propone que en cada caso dos materiales de detección estén dispuestos

40 adyacentes entre sí a modo de sándwich (a modo de dos bloques de detección paralelepípedos, en contacto entre sí en su mayor superficie), de tal manera que a partir de la relación de recuento de los dos materiales de detección en contacto entre sí pueda deducirse el lado del que procede la radiación ionizante. Mediante la disposición a modo de cruz de diferentes unidades de detección (por ejemplo, un par de detectores), que se disponen en un ángulo de 90° entre sí, es posible reducir la dirección de la fuente de radiación a un ángulo de 90°. Aunque la disposición propuesta

45 en la misma es operativa, existe una desventaja considerable en el hecho de que no es posible una medición de dirección precisa. Una desventaja adicional consiste en que las tasas de recuento de los elementos de detección colocados unos encima de otros tienen que presentar una diferencia significativa entre sí. Esto solo es posible en la práctica, cuando se utilizan determinados materiales de centelleo, en particular densos, o cuando se dispone una capa de apantallamiento entre las dos regiones de detección. Ambos conducen a desventajas, tales como, por

50 ejemplo, una utilidad solo limitada de materiales de centelleo o un peso adicional de la disposición, lo que a menudo la convierte ya en inadecuada para aplicaciones portátiles.

En la patente estadounidense US 8.067.742 B2 se describe un dispositivo adicional para determinar la posición (ángulo azimutal) de una fuente gamma. En el dispositivo descrito en la misma se disponen dos cristales de centelleo alargados en un ángulo entre sí. Los impulsos luminosos generados por los cristales de centelleo debido a la radiación gamma incidente se potencian mediante fotodetectores, que están dispuestos en cada caso en un lado de los cristales de centelleo, y las tasas de recuento así obtenidas se evalúan. A partir de una comparación de las

55 tasas de recuento de los dos detectores de centelleo (debido a la diferente posición angular entre sí, estos presentes en función de su orientación en relación con la fuente gamma diferentes tasas de recuento) puede deducirse la dirección de la fuente gamma. Para aumentar adicionalmente la precisión pueden utilizarse también detectores de centelleo adicionales. En la patente estadounidense se indica una exactitud de hasta 5° de precisión posicional de la fuente gamma. Una desventaja en la construcción descrita en la misma es que los cristales de centelleo usados en cada caso en la misma presentan una simetría en el caso de un desplazamiento angular (es decir giro) hacia la izquierda o hacia la derecha (partiendo de un mínimo o máximo). Por tanto, aunque pueden determinarse ángulos

60 de posición de manera bastante precisa, no es posible una declaración sobre si la fuente de radiación se encuentra a la derecha o a la izquierda (o delante o detrás y/o por encima o por debajo) del aparato de medición. Esta

65

característica de medición resulta desventajosa, llegando las desventajas resultantes hasta una ausencia de utilizada de facto del dispositivo, al menos para algunas aplicaciones. En cualquier caso, debido a las desventajas (al menos con una cierta probabilidad estadística) va asociado un aumento significativo de la duración de medición, dado que por regla general es necesario, por ejemplo, “simular” de otro modo la definición izquierda-derecha ausente, tal como, por ejemplo, mediante un aumento o una disminución de la tasa de recuento total debido a una proximidad o una lejanía de la fuente de radiación en cuestión.

Por tanto, resulta evidente que sigue existiendo una necesidad de dispositivos de determinación de la dirección mejorados para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con el dispositivo de determinación de la dirección o de procedimientos de medición correspondientes adecuados.

Por consiguiente, el objetivo de la invención consiste en proponer un dispositivo de determinación de la dirección para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con el dispositivo de determinación de la dirección, que esté mejorado con respecto a los dispositivos de determinación de la dirección conocidos en el estado de la técnica. Un objetivo adicional de la invención consiste en proponer un procedimiento para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con un dispositivo de determinación de la dirección, que esté mejorado con respecto a los procedimientos conocidos en el estado de la técnica para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con un dispositivo de determinación de la dirección. Objetivos preferidos especiales de la invención consisten en proponer un dispositivo lo más ligero posible y portátil; proponer un procedimiento que pueda ejecutarse ventajosamente en un dispositivo especialmente ligero y portátil; proponer un dispositivo o un procedimiento que posibilite una localización lo más precisa y rápida posible de una fuente de radiación, en particular evitando ambigüedades iniciales.

La presente invención alcanza este/estos objetivo(s).

Se propone configurar un dispositivo de determinación de la dirección según la reivindicación 1 para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con el dispositivo de determinación de la dirección, que presente al menos dos dispositivos de detección de radiación con volumen de detección configurado longitudinalmente, y en el que los al menos dos dispositivos de detección de radiación estén dispuestos en un ángulo entre sí, de tal manera que al menos un primer dispositivo de detección de radiación esté configurado como dispositivo de detección de radiación simétrico dependiente de la radiación y al menos un segundo dispositivo de detección de radiación como dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo. De este modo es posible de manera sorprendentemente sencilla que por un lado pueda conseguirse una alta resolución angular con al mismo tiempo un peso lo más reducido posible (y habitualmente también un consumo de energía reducido) en relación con dispositivos según el estado de la técnica, sin que aparezcan los efectos desventajosos descritos en cuanto a la “falta de claridad” de la dirección (en particular dirección izquierda-derecha), o aparezcan en toda su extensión. Debe indicarse que un dispositivo de detección de radiación simétrico dependiente de la radiación presenta habitualmente aproximadamente la mitad del peso de un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo (con esencialmente la misma precisión de resolución). También el consumo de energía asciende (con esencialmente la misma exactitud) en dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo a menudo únicamente a aproximadamente la mitad del consumo de energía de dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo. Por consiguiente, con el dispositivo propuesto es posible de manera sorprendentemente sencilla, con esencialmente la misma resolución espacial implementar una reducción al menos considerable del peso y del consumo de energía. Además es posible optimizar adicionalmente el dispositivo propuesto en el sentido de que, por ejemplo, se aumenta claramente la precisión de dirección del dispositivo de determinación de la dirección, sin generar “innecesariamente mucho peso” (o “un consumo de energía innecesariamente alto”), por ejemplo, porque se prevén dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo adicionales (con un número constante de dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo). Una posibilidad adicional de mejora de todo el dispositivo consiste en particular también en que es posible, por ejemplo, reducir el tamaño y/o consumo de energía del/de los dispositivo(s) de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente(s) del ángulo a la “medida obligatoriamente necesaria”. Meramente a modo de ejemplo esto es posible porque se usa un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo “pequeño”, en el que la dependencia angular solo está marcada todavía en una medida comparativamente reducida. Una posibilidad de configuración adicional, a menudo especialmente razonable, es que aunque el dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo muestre buenos resultados tanto en cuanto a una ruptura de la simetría como a una dependencia del ángulo, aun así esté configurado, por ejemplo, optimizado en cuanto al consumo de energía u optimizado en cuanto al peso. Esto es concebible, por ejemplo, porque el dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo presenta volúmenes de detección configurados longitudinalmente de diferente tamaño. Con otras palabras, uno de los volúmenes de detección puede presentar una “longitud convencional” de manera análoga a un dispositivo de detección de radiación simétrico dependiente del ángulo, mientras que el “doble volumen de detección dispuesto en paralelo” presenta una longitud acortada. Por una forma configurada longitudinalmente debe entenderse en el marco de esta solicitud en particular una forma, en la que una extensión longitudinal es mayor que la extensión transversal (típica) de la forma. Ejemplos de esto son, por ejemplo, formas paralelepípedicas (con sección transversal cuadrada y/o rectangular), formas a modo de barra (con sección transversal circular, elíptica, ovalada u otra) y similares. También son concebibles naturalmente formas con sección

transversal no homogénea. En este contexto debe pensarse, por ejemplo, en formas piramidales, tetraédricas, de elipsoide de rotación y similares (estiradas). Naturalmente también son concebibles formas (en particular con sección transversal esencialmente igual por toda la longitud), en las que en uno o ambos extremos están presentes chaflanes o similares. A este respecto, el término “dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo” no tiene que limitarse necesariamente al número de presencias de un grupo constructivo correspondiente (uno, dos, tres, etc. grupos constructivos). En particular, el término también puede entenderse en el sentido de si en un número correspondiente de direcciones (que se encuentran normalmente de manera ortogonal entre sí) puede diferenciarse una dependencia del lado de la detección angular (“ruptura de la simetría”). Así, por ejemplo, es posible que un grupo constructivo individual, configurado especialmente, del “tipo de ruptura de la simetría dependiente del ángulo” permita una diferenciación de ruptura de la simetría en dos direcciones perpendiculares entre sí (por ejemplo, “delante-detrás” así como “izquierda-derecha”). Por tanto debe ser posible interpretar un grupo constructivo de este tipo como “un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo” (dado que únicamente hay un único grupo constructivo correspondiente). Sin embargo, igualmente también debe ser posible interpretar un grupo constructivo de este tipo como “dos dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo”, dado que el grupo constructivo puede diferenciar dos direcciones ortogonales entre sí en cuanto a su orientación (ruptura de la simetría) (aunque únicamente hay un grupo constructivo individual). Generalizaciones correspondientes son igualmente posibles (por ejemplo, en el caso de haber un grupo constructivo, que puede “diferenciar entre sí con ruptura de la simetría” tres direcciones que son ortogonales entre sí).

Por un dispositivo de detección de radiación simétrico dependiente del ángulo deben entenderse en particular dispositivos de detección de radiación, que aunque muestran una dependencia del ángulo, cuando estos muestran en cuanto a su ángulo de orientación en relación con la fuente de radiación (al menos en algunas direcciones) una dependencia del ángulo, pero la dependencia angular tiene lugar al menos en una cierta parte con una determinada simetría (de modo que normalmente se obtienen como resultado ciertas ambigüedades). Si se usa meramente a modo de ejemplo un detector a modo de barra, y la sección transversal “pequeña” se orienta en la dirección de una fuente de radiación, entonces la tasa de recuento en el volumen de detección (por ejemplo, lleno de un material de centelleo) es mínima. Si se gira el dispositivo de detección alejándolo de la posición mínima, entonces aumenta la tasa de recuento, hasta que se obtiene como resultado en una posición de 90° con respecto a la fuente de radiación un máximo. En este sentido hay una dependencia del ángulo. Sin embargo, la tasa de recuento es (esencialmente) igual, independientemente de en qué dirección tiene lugar la desviación a partir del mínimo (correspondientemente también a partir del máximo) (al menos en algunas direcciones). Por consiguiente existen al menos ciertas simetrías. Debido a la combinación de estas características de medición se habla por tanto en el marco de esta solicitud en el caso de tales dispositivos de detección de dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo. Por el contrario, los dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo no presentan ninguna simetría (al menos en algunas direcciones, en particular en al menos una dirección). Por el contrario, los efectos con respecto a la dependencia del ángulo corresponden habitualmente (hasta cierto grado) a las realizaciones mencionadas anteriormente, en particular cuando se tiene en cuenta su tasa de recuento total. Por consiguiente, en el caso de tales elementos en el marco de la presente solicitud se habla de “dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo”. Como ya se ha indicado, la ruptura de la simetría puede referirse únicamente a determinadas direcciones, tal como, por ejemplo, a una ruptura de la simetría (dado el caso solo en una dirección) en un plano horizontal y/o a una ruptura de la simetría en el caso de un movimiento giratorio del dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo hacia la izquierda o hacia la derecha (eje de rotación en perpendicular al suelo) o similar. Por el contrario, en otras direcciones puede seguir habiendo perfectamente simetrías. Para seguir en el ejemplo mencionado, por ejemplo, es posible que siga existiendo una simetría hacia arriba o hacia abajo, aunque “en verdad” se trata de un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo. Aunque mediante una configuración correspondiente de los dispositivos de detección de ruptura de la simetría dependientes del ángulo y/o mediante la previsión de dispositivos de detección de ruptura de la simetría dependientes del ángulo adicionales también es posible eliminar tales ambigüedades, se indica que a menudo una simetría de la dirección arriba-abajo y/o una simetría de la dirección delante-detrás no representa ninguna desventaja (significativa). Si se trata, por ejemplo, de la liberación de superficies despejadas, entonces no debe presuponerse que una fuente de radiación radiactiva “vuela en el aire” de manera inadvertida y fija por encima del suelo. En cuanto a una posibilidad de diferenciación “delante-detrás” (ausente) debe indicarse que una medición en muchos campos de aplicación partiendo de una región “limpia” (es decir no contaminada radiactivamente) tiene lugar al interior de una región (potencialmente) contaminada. Sin embargo, entonces puede presuponerse que fuentes de radiación se encuentran “inicialmente” delante del aparato. Por consiguiente, esta desventaja puede aceptarse al menos en algunos campos de aplicación, en particular dado que de este modo puede ir asociada por regla general una reducción de peso y/o un consumo de energía menor del dispositivo, que a menudo compensa en exceso claramente dichas desventajas. Por lo demás, en particular en este contexto (diferenciación delante-detrás) puede aprovecharse todavía un efecto, que puede aparecer en particular en dispositivos portátiles (denominado técnicamente en parte “efecto de suciedad”). Este se basa en que la propia persona que usa el aparato presenta una determinada sección transversal de absorción con respecto a la radiación ionizante. Por consiguiente, con respecto a delante-detrás hay una cierta asimetría en la detección de radiación - y con ello una ruptura de la simetría, aunque en esta dirección no esté previsto ningún dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo separado. Una diferenciación “delante-detrás” puede implementarse en cierta medida mediante un “giro alrededor del eje normal” por parte del

usuario y una correspondiente “protocolización conjunta de la medición en función del ángulo”. En este contexto debe mencionarse que la “persona que realiza la medición” a pesar de su “acción de dirección” (también en relación con un dispositivo de detección simétrico dependiente del ángulo”) no debe valorarse normalmente como “dispositivo de detección de ruptura de la simetría dependiente del ángulo”.

Además se propone configurar un dispositivo de determinación de la dirección para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con el dispositivo de determinación de la dirección, que presenta al menos dos dispositivos de detección de radiación con volúmenes de detección configurados longitudinalmente, estando dispuestos al menos dos dispositivos de detección de radiación en un ángulo entre sí, además de la propuesta anterior en el sentido de que los al menos dos dispositivos de detección de radiación estén dispuestos de manera angularmente variable entre sí. En particular debe ser posible que estos estén realizados de manera regulable manualmente y/o de manera regulable automáticamente. De este modo es posible ajustar de manera adecuada el campo visual útil por un lado y la precisión de la determinación de la dirección por otro lado. Debe indicarse que (al menos en construcciones sencillas) normalmente un aumento del campo visual va asociado con una reducción de la resolución angular (y viceversa). Aunque básicamente es posible que ambos propósitos “puedan conseguirse también al mismo tiempo” – este tiene normalmente como consecuencia una construcción claramente más compleja, lo que a menudo va asociado con un peso correspondientemente aumentado y un consumo de energía aumentado (y además hace que aumenten los costes para el dispositivo). Por el contrario, con la variación angular propuesta es posible que también puedan implementarse dispositivos de construcción sencilla (y por consiguiente en la mayoría de los casos ligeros, económicos y de escaso consumo de energía), que muestran tanto un campo visual grande, como una capacidad de determinación de la dirección precisa (aunque no al mismo tiempo). Esta declaración debe entenderse en particular como declaración de precisión relativa en función de diferentes posiciones angulares. Si se compara el dispositivo propuesto en el presente documento con dispositivos según el estado de la técnica, también en el caso de “posiciones angulares desfavorables” se obtiene normalmente un claro aumento de la precisión. Así se hace posible, por ejemplo, en una primera medición, “escanear de manera aproximada” un campo angular grande, obteniéndose una primera declaración sobre la dirección de la fuente de radiación (dónde está presente). Con esta información se orienta entonces de nuevo dado el caso el dispositivo de determinación de la dirección y se varía el ángulo de los dispositivos de detección de radiación (en particular en relación entre sí), de modo que ahora se implementa (puede implementarse) una precisión de medición de ángulo claramente mayor. Aun así puede seguir implementándose en particular una realización portátil del dispositivo. El reajuste puede tener lugar, por ejemplo, manualmente (dado el caso también según un comando correspondiente de un dispositivo de visualización o similar) o puede tener lugar también un control automatizado, por ejemplo, mediante un dispositivo de procesamiento de datos (controlador). A este respecto, la capacidad de regulación (manual/automática) puede tener lugar de cualquier manera y según el requisito esencialmente de manera continua (dentro de ciertos límites) o sino también de manera escalonada (en el caso extremo solo dos posiciones angulares). Si hay más de dos dispositivos de detección de radiación (en parte también simplificado como “dispositivo de detección” o denominado “dispositivo de detección”), entonces el mecanismo de regulación está realizado preferiblemente de tal manera que todas las variaciones angulares tengan lugar mediante una operación de regulación individual. De este modo puede aumentarse la facilidad de uso, pero también la velocidad de medición. Dado el caso también es posible que se implementen al menos algunas de las variaciones angulares mediante operaciones de manipulación separadas. Esto es concebible por un lado para, por ejemplo, evitar construcciones especialmente complejas, pero por otro lado también como posición de retroceso de una “capacidad de regulación simultánea”, por ejemplo, en el caso de una utilización en campo el mecanismo correspondiente debería presentar un defecto. Aunque en un caso de este tipo hay un funcionamiento empeorado, el dispositivo puede seguir haciéndose funcionar con como resultado final alcance de funcionamiento más o menor completo. Precisamente en el caso de casos de desastres y casos de catástrofes una funcionalidad de este tipo puede demostrarse ser especialmente ventajosa.

Además se propone configurar el dispositivo de determinación de la dirección de tal manera que estén presentes exactamente dos dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo y/o exactamente uno o dos dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo, en particular por plano de detección. Primeros ensayos han mostrado que con una construcción de este tipo es posible un compromiso especialmente bueno entre las propiedades de aparato (relevantes) a menudo necesarias. En particular, mediante los exactamente dos dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo pueden realizarse indicaciones de dirección ya muy precisas, con al mismo tiempo un esfuerzo de material muy reducido y normalmente un esfuerzo de peso y/o consumo de energía reducido. Mediante la presencia de uno o dos dispositivos de detección de radiación configurados con ruptura de la simetría dependientes del ángulo pueden resolverse las ambigüedades que quedan por el/los dispositivo(s) de detección de radiación simétrico(s) dependiente(s) de la radiación, siempre que esta sean relevantes para el objetivo de medición correspondiente. A este respecto, la dependencia del ángulo del/de los dispositivo(s) de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente(s) del ángulo puede usarse para exactitud adicional de la indicación de dirección (también cuando el dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo no tiene que tener necesariamente el mismo valor informativo en cuanto a la dependencia del ángulo que los dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo - aunque naturalmente también puede presentarlo). Únicamente por motivos de completitud se indica que naturalmente también son posibles números diferentes de dispositivos de detección de radiación (también por plano de detección), tal como, por ejemplo, tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho,

nueve o diez dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo y/o tres, cuatro, cinco, seis, siete u ocho dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo (en particular en cada caso por plano de detección). Por un plano de detección puede entenderse en el presente documento que, por ejemplo, solo es posible una declaración sobre una posición de la fuente de radiación en cuanto a un ángulo azimutal (posicionamiento a lo largo de una normal con respecto a la superficie horizontal o similar). Por consiguiente, es decir, por ejemplo, aunque puede detectarse la dirección de la fuente de radiación, no la intensidad de la misma (al menos no directamente y/o sin movimiento (de traslación y/o giro) del dispositivo de medición y/o sin considerar las tasas de recuento (totales) de los dispositivos de detección). Un valor informativo de este tipo se - como ya se ha mencionado - totalmente suficiente para muchos objetivos de medición, de modo que un único plano de detección "con valor informativo" (incluyendo una ruptura de la simetría solo parcial in diferentes direcciones dentro del plano de detección) puede resultar ser suficiente. Además, según el perfil de requisitos pueden preverse uno o dos dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo (por plano de detección). En el caso de haber un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo en un "plano de detección horizontal" puede tener lugar, por ejemplo, (sin movimiento del aparato de detección o partes del mismo) únicamente un valor informativo con respecto a "a la izquierda o la derecha del aparato", mientras que no puede tener lugar una declaración "delante-detrás". Sin embargo, para muchos objetivos de medición esto puede ser totalmente suficiente, dado que, por ejemplo, en el caso de una liberación de "áreas aprovechadas radiactivamente" antaño, despejadas, puede presuponerse que el usuario del dispositivo de medición pasa de una "región limpia" a la región que debe comprobarse. También por ejemplo, en el caso de tareas oficiales en el marco de controles de aduana puede presuponerse que las fuentes radiactivas dado el caso presentes siempre están presentes delante del aparato de medición (porque solo allí pueden situarse los contenedores, vehículos, maletas y similares que deben comprobarse). Sin embargo, por lo demás también es posible prever un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo individual (en particular por plano de detección) y montarlo de manera giratoria, dado que también de este modo pueden resolverse ambigüedades. Esto puede tener lugar manual y/o automáticamente. Además, por motivos de completitud se indica que las declaraciones realizadas normalmente solo son válidas para el caso en el que el dispositivo de determinación de la dirección (o partes del mismo) se encuentran en una determinada posición, siendo evidente para el experto en la técnica el "posicionamiento correspondiente". Además se indica que para una "ruptura de la simetría tridimensional completa" normalmente son suficiente en total tres dispositivos de detección de ruptura de la simetría (de ruptura de la simetría de ángulo variable). En particular en un caso, en el que están presentes al menos dos dispositivos de detección simétricos dependientes del ángulo y al menos un dispositivo de detección de ruptura de la simetría dependiente del ángulo, debe indicarse que los dispositivos de detección en cuestión (también por plano de detección) no tienen que presentar obligatoriamente una dependencia del ángulo en una misma dirección. Esto puede resultar ventajoso en dispositivos de detección de ruptura de la simetría dependientes del ángulo configurados y dispuestos de manera correspondiente, dado que, por ejemplo, es posible una ruptura de la simetría izquierda-derecha con una delante-detrás simultánea. La dependencia del ángulo diferencia entonces a menudo entre arriba y abajo, lo que por lo demás también puede tener un valor informativo ventajoso (también en el caso de que aquí no deba haber ninguna ruptura de la simetría). Naturalmente es igualmente posible que la dependencia angular del dispositivo de detección de ruptura de la simetría dependiente del ángulo "complemente" la dependencia angular de los dispositivos de detección simétricos dependientes del ángulo (es decir "tenga lugar en la misma dirección" al menos parcialmente), de modo que normalmente pueda aumentarse la precisión de medición de la indicación angular.

Se propone además que el dispositivo de determinación de la dirección presente al menos dos dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo, que estén dispuestos simétricamente, en particular con simetría especular y/o con simetría axial y/o con simetría puntual con respecto al al menos un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo. En el caso de un posicionamiento de este tipo, la ruptura de la simetría tiene lugar normalmente en una "dirección especialmente adecuada" (por ejemplo, derecha-izquierda), con normalmente un aumento ventajoso al mismo tiempo de la precisión de medición de la determinación del ángulo y/o con una construcción mecánica especialmente sencilla.

Además se propone que en el dispositivo de determinación de la dirección el dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo esté configurado como disposición de volúmenes de detección configurados longitudinalmente dispuestos en paralelo entre sí, en particular de dos o cuatro volúmenes de detección configurados longitudinalmente dispuestos en paralelo entre sí, que están separados entre sí desde el punto de vista de la técnica de radiación en particular por medio de al menos una unidad de apantallamiento. Con una construcción de este tipo se obtiene como resultado normalmente un valor informativo especialmente alto en cuanto a la ruptura de la simetría y/o en cuanto a una mejora de la determinación de la precisión de dirección. En particular es posible que los volúmenes de detección configurados longitudinalmente (por ejemplo, cristales de centelleo) estén montados unos sobre otros "a modo de sándwich". En el caso de materiales correspondientes (en particular materiales de centelleo muy densos con una acción comparativamente muy amortiguadora sobre los rayos ionizantes que deben detectarse) puede prescindirse a menudo también de una unidad de apantallamiento separada (por ejemplo, una hoja de plomo que está dispuesta entre los cristales de centelleo), dado que las tasas de recuento se diferencian suficientemente entre sí en las regiones parciales. Si no se da esta condición previa (pero también por lo demás), naturalmente puede preverse una unidad de apantallamiento, para implementar la diferencia mencionada entre las tasas de recuento o aumentarla adicionalmente. A este respecto, "separado desde el punto de vista de la

técnica de radiación” no significa necesariamente una separación más o menos “perfecta”. Más bien habitualmente es suficiente que las respectivas tasas de recuento difieran suficientemente entre sí, de modo que estas puedan seguir usándose (razonablemente) y/o analizarse, para poder realizar declaraciones razonables. Se indica que especialmente en algunos tipos de radiación ionizante (en particular en la radiación gamma) debido a las propiedades intrínsecas de la radiación de manera realista no puede conseguirse una separación “más o menos perfecta”. A pesar de la separación desde el punto de vista de la técnica de radiación dado el caso presente, en la mayoría de los casos se prefiere que los componentes en cuestión configuren una unidad mecánica (grupo constructivo). Como ya se ha explicado anteriormente, en particular un dispositivo configurado de manera adecuada a partir de cuatro volúmenes de detección configurados longitudinalmente dispuestos en paralelo entre sí (en particular, cuando estos se complementan para dar una “especie de cuadrado” y/o están dispuestos “a modo de cruz entre sí”) puede posibilitar dado el caso una medición de ruptura de la simetría en dos direcciones diferentes entre sí (en particular que se encuentran en perpendicular entre sí), de modo que este en función de la definición de un “dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo” en el sentido de la presente solicitud puede contar como uno, pero también como dos “dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo”.

Además se propone que en el dispositivo de determinación de la dirección los dispositivos de detección de radiación y/o los volúmenes de detección configurados longitudinalmente presenten un material de centelleo, que presenta preferiblemente una relación de longitud-anchura de al menos 5:1, preferiblemente 10:1, de manera especialmente preferible 15:1, en particular 20:1. Naturalmente también son posibles otras relaciones, tales como, por ejemplo, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1, 8:1, 9:1, 10:1, 11:1, 12:1, 13:1, 14:1, 15:1, 16:1, 17:1, 18:1, 19:1, 20:1, 25:1, 30:1, 35:1 o 40:1 (pudiendo servir dichos valores en cada caso como límite superior y/o límite inferior de un intervalo abierto o cerrado). Como materiales de centelleo son adecuados por regla general todos los materiales de centelleo conocidos, tales como, por ejemplo, CsI (para yoduro de cesio), NaI (para yoduro de sodio), CeBr (bromuro de cerio), LaBr (bromuro de lantano), LSO (óxido de lutecio y estroncio), materiales de centelleo plásticos (que son adecuados en particular para altas tasas de recuento) o similares (pudiendo utilizarse dado el caso también materiales de dopado adecuados). Los materiales usados dependen en particular también de qué radiación ionizante deba detectarse. Son especialmente relevantes en este contexto la radiación gamma y la radiación neutrónica, siendo concebible naturalmente también una “optimización” en otra radiación ionizante, tal como, por ejemplo, radiación protónica, radiación electrónica, radiación positrónica y similares.

Además se propone que al menos un dispositivo de detección de radiación presente una unidad de medición, preferiblemente una unidad de medición autorreforzadora, en particular una unidad fotomultiplicadora, que esté configurada en particular sin resolución espacial. Según la radiación que deba reforzarse pueden usarse en lugar de fotomultiplicadores (SEV - multiplicador de electrones secundario; los fotones se detectan de manera autorreforzadora) también otras unidades, en particular aquellas que refuerzan otras partículas que deban detectarse (por ejemplo, electrones - Channeltron y similares). Tales unidades de medición son adecuadas en particular en relación con materiales de centelleo, para reforzar las señales de medición “iniciales” a menudo reducidas, para reforzarlas, por ejemplo, adicionalmente de “manera eléctrica” y/o suministrarlas a una unidad de procesamiento de datos. Una ventaja de una configuración sin resolución espacial de la unidad de medición correspondiente consiste en que esta está construida normalmente de manera más sencilla y por consiguiente también es más económica. Además, también pueden obtenerse como resultado ventajas en cuanto a la precisión de medición, la sensibilidad de medición, la tasa de medición máxima que puede conseguirse, el peso, los costes y la velocidad de medición (de modo que hay resultados que pueden evaluarse más rápidamente). Naturalmente es posible que adicional o alternativamente se usen también unidades de medición de resolución espacial (en particular en una parte de y/o un tipo de los dispositivos de detección usados (en particular para dispositivos de medición de ruptura de la simetría dependientes del ángulo)).

Se propone además que el dispositivo de determinación de la dirección esté dotado de al menos una unidad de procesamiento de datos, que esté configurada y ajustada de tal manera que mediante una comparación de los valores de medición de los dispositivos de detección de radiación, en particular sus tasas de recuento, determine la dirección de la fuente de radiación, recurriéndose preferiblemente a valores de medición de un determinado intervalo de energía. De este modo puede “restarse” o quitarse (parcialmente) de manera ventajosa el fondo de ruido. Esto puede manifestarse en una exactitud aumentada de la medición y/o una aceleración de una medición de dirección. A este respecto, la discriminación energética de los valores de medición puede tener lugar de cualquier manera, por ejemplo, mediante una selección correspondiente de los materiales de detección usados (en particular cuando se conoce qué tipo de fuente de radiación se busca), mediante el ajuste de eventuales unidades de refuerzo y/o mediante la utilización de datos con resolución de energía obtenidos “en una primera etapa” (en particular en relación con el modo de configuración propuesto anteriormente). Se habla en este contexto a menudo también de una “ventana de energía”. Es decir, que preferiblemente en función de un primer análisis de los valores de medición obtenidos solo se usa (se deja pasar) un cierto “intervalo de energía” para la medición adicional, en particular para realizar una determinación de la dirección. A este respecto, las “ventanas de energía” están razonablemente “adaptadas energéticamente a la fuente de radiación”. En tales “ventanas de energía”, los “impulsos de recuento verdaderos” tiene en proporción con respecto a la radiación de fondo en la mayoría de los casos una tasa de recuento mayor que en los demás intervalos de energía. De este modo, el porcentaje de la radiación de fondo es visto relativamente (en la mayoría de los casos claramente) menor.

Adicional o alternativamente también es posible configurar el dispositivo de determinación de la dirección de tal manera que este presente al menos una unidad de procesamiento de datos, que esté configurada y ajustada de tal manera que determine en particular por separado de y/o además de una determinación de la dirección por medio de una determinación de una distribución de energía de al menos una parte de los valores de medición obtenidos el material de la fuente de radiación. En el caso de la unidad de procesamiento de datos puede tratarse de la misma que se describió anteriormente. Por consiguiente, en una parte de los dispositivos de detección (o sino también en todos) puede preverse una resolución de energía. Con ayuda de una medición con resolución de energía es posible en particular que puedan registrarse espectros, de modo que dado el caso también puede tener lugar una declaración sobre el tipo de fuente de radiación (por ejemplo, mediante la comparación con datos espectroscópicos almacenados pueden realizarse deducciones sobre el material presente). Es perfectamente posible que los resultados espectroscópicos en cuestión existan tras un tiempo que difiere de la determinación de la dirección (en particular solo después). Sin embargo, esto no es necesariamente desventajoso, dado que toda una "campana de medición" para encontrar una fuente de radiación requiere normalmente un tiempo, que es mayor que una determinación de la dirección pura individual. Así, por ejemplo, a menudo se necesita un nuevo posicionamiento del dispositivo de detección dentro del dispositivo de determinación de la dirección, un nuevo posicionamiento del dispositivo de determinación de la dirección (giro, movimiento hacia la fuente de radiación), tiempo para cartografiar la señal y similares. Sin embargo, en el marco del "tiempo necesario en total" de este tipo (a menudo en una parte comparativamente reducida de este tiempo) por regla general también existen ya los datos espectroscópicos y pueden visualizarse correspondientemente.

La unidad de procesamiento de datos puede asumir además de las tareas ya propuestas adicional o alternativamente también tareas adicionales, tal como en particular la detección de una dirección, la emisión de un valor de visualización, el almacenamiento y la emisión de valores de medición (por ejemplo, para la creación de una representación cartográfica y/o para la visualización de una representación cartográfica, para la transmisión por radio de los datos obtenidos a otro lugar y similares). También puede llevar a cabo, por ejemplo, una variación de ángulo automática de los dispositivos de detección (por ejemplo, en relación entre sí o en relación con la fuente de radiación) etc. También interfaces con otros componentes electrónicos pueden tener lugar a través de la misma.

Además se propone un procedimiento según la reivindicación 11 para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con un dispositivo de determinación de la dirección, en el que a partir de los valores de medición de los al menos dos dispositivos de detección de radiación, en particular a partir de sus tasas de recuento, se determina la dirección de la fuente de radiación, usándose para el procedimiento propuesto un dispositivo de determinación de la dirección del tipo propuesto anteriormente. Con el procedimiento propuesto es posible implementar las mismas propiedades y ventajas que con el dispositivo propuesto anteriormente al menos de manera análoga. Además, el procedimiento puede perfeccionarse en el sentido de la descripción anterior, pudiendo obtenerse como resultado las ventajas y propiedades mencionadas en la misma al menos de manera análoga.

A continuación se explicará la invención más detalladamente mediante ejemplos de realización ventajosos y haciendo referencia a los dibujos adjuntos. Muestran:

la Fig. 1: un primer ejemplo de realización para un detector de dirección para radiación gamma en una vista en planta esquemática;

la Fig. 2: un segundo ejemplo de realización para un detector de dirección para una fuente gamma en una vista en planta esquemática;

la Fig. 3: ejemplos de realización para detectores de ruptura de la simetría dependientes del ángulo, en cada caso en una vista en perspectiva esquemática;

la Fig. 4: un histograma a modo de ejemplo para la dependencia angular de la tasa de recuento de un detector dependiente del ángulo en función de su orientación con respecto a una fuente de radiación, en el caso de la presencia de radiación de fondo;

la Fig. 5: las tasas de recuento de los diferentes detectores del ejemplo de realización mostrado en la Fig. 2 de un detector de dirección;

la Fig. 6: una representación esquemática de un procedimiento para determinación la posición de una fuente de radiación.

En la Fig. 1 se representa un primer ejemplo de realización de un detector de dirección 1 en una vista en planta esquemática desde arriba. El detector de dirección 1 presenta una construcción especialmente sencilla, lo que conduce entre otros también a un peso reducido y a una absorción de corriente reducida. Por tanto es adecuado en particular también para aplicaciones portátiles.

El detector de dirección 1 presenta de su construcción básica un detector que detecta simétricamente 2 (dispositivo de detección de radiación simétrico dependiente de la radiación) y un detector que detecta con ruptura de simetría 3 (dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo).

A este respecto, el detector que detecta simétricamente 2 está compuesto esencialmente por un cristal de centelleo conformado longitudinalmente 4, tal como, por ejemplo, un cristal de centelleo de CsI (cristal de centelleo de yoduro de cesio). En un lado de los cristales de centelleo 4 está dispuesto además en cada caso un fotomultiplicador 5 (también: multiplicador de electrones secundario), que en el presente caso está configurado sin resolución espacial y sin resolución de energía. Los impulsos medidos por los fotomultiplicadores 5 se suministran a un controlador 6, que asume la evaluación de los datos medidos y representa los datos evaluados en una pantalla de visualización 7 (descrita aún más detalladamente a continuación). Para transmitir los impulsos necesarios sirven líneas de datos 8, que entre otros también garantizan el suministro de corriente de los elementos constructivos en cuestión (lo que no se representa más detalladamente en el presente documento).

Por motivos de completitud se indica que el detector que detecta simétricamente 2 debido al fotomultiplicador dispuesto solo en un lado 5 y la atenuación asociada con ello mide asimétricamente hasta cierto grado (con ruptura de simetría). Dado que sin embargo en la dirección longitudinal del cristal de centelleo de todas formas solo se registran muy pocos pulso de recuento, este efecto es comparativamente pequeño. Esto es aplicable en particular en relación con la "verdadera dependencia del ángulo", es decir un ángulo de giro en relación con el lado delantero (en la Fig. 1 la flecha designada con "V"), que se encuentra opuesto al usuario 9 dibujado esquemáticamente. Se indica que dado el caso también puede prescindirse del usuario 9 o puede encontrarse en un punto dado el caso completamente diferente (por ejemplo, en el caso de una utilización estacionaria, un vehículo autónomo o similar).

La verdadera detección de (en el presente caso) radiación gamma tiene lugar porque la radiación gamma incidente genera en el detector que detecta simétricamente 2 destellos de luz, que se reciben por el fotomultiplicador 5 y se transforman en una señal reforzada eléctricamente, que se conduce a través de la línea de datos 8 al controlador 6. En la posición dibujada en la Fig. 1 se obtiene una intensidad de recuento máxima del detector que detecta simétricamente 2, cuando la fuente de radiación gamma se encuentra en la región (exactamente) del lado delantero del detector de la dirección 1. Por el contrario, si la fuente de radiación gamma se encuentra (exactamente) a la derecha o a la izquierda del detector de dirección 1, entonces se detecta una tasa de recuento mínima. Para "ángulos intermedios" se obtiene una señal aumentada o reducida correspondientemente. Esta señal puede estar solapada además con radiación de fondo.

Además en la figura 1 está previsto un detector de detección de ruptura de la simetría 3, que está dispuesto desplazado 90° con respecto al detector que detecta simétricamente 2. Ambos detectores, es decir el detector de detección de simetría 2 y el detector de detección de ruptura de la simetría 3, están dispuestos horizontalmente con respecto a la superficie de la Tierra.

El detector que detecta con ruptura de simetría 3 puede interpretarse esencialmente como módulo de dos detectores que detectan simétricamente dispuestos uno al lado del otro 2 (modo de construcción mecánicamente compacto). Es decir, dos cristales de centelleo 4 están colocados uno encima de otro en cada caso en uno de sus lados longitudinales 11 ("construcción de tipo sándwich"). Igualmente, ambos cristales de centelleo 4 presentan en cada caso un fotomultiplicador 5 para reforzar los pulsos luminosos generados en los mismos. Básicamente ambos cristales de centelleo individuales 4 proporcionarían en el caso de un giro hacia la izquierda o hacia la derecha (en relación con el sentido de la flecha V) con ángulos iguales en cada caso tasas de recuento iguales (siempre que la fuente gamma pueda encontrarse en el sentido de la flecha V). Sin embargo, la radiación, que alcanza un cristal de centelleo 4 que se encuentra en el lado Lee (distal) con respecto a la fuente de radiación se atenúa mediante el en cada caso otro cristal de centelleo 4 adyacente que se encuentra en el lado Luv (proximal), de modo que este presenta una tasa de recuento algo más débil. A este respecto, la intensidad de este efecto depende de la densidad, del tamaño y del material del cristal de centelleo 4. Para aumentar la diferencia en la tasa de recuento, en el ejemplo de realización representado en el presente caso está dispuesta adicionalmente una capa delgada de un material que absorbe radiación 12. Este puede estar compuesto, por ejemplo, por una capa de plomo delgada. Una ventaja adicional de un material que absorbe radiación 12 de este tipo es que este impide normalmente también un paso de pulsos de recuento (impulsos luminosos) de un cristal de centelleo 4 al cristal de centelleo 4 adyacente al mismo.

Debido a la acción total de ruptura de simetría del detector que detecta con ruptura de simetría 3 el controlador 6 puede diferenciar en el presente caso si una fuente de radiación se encuentra a la izquierda o la derecha del detector de dirección 1. En función del ángulo con respecto al eje longitudinal del detector que detecta con ruptura de simetría 3 variará además la tasa de recuento en los cristales de centelleo 4 en cuestión (lo correspondiente es válido para el detector que detecta simétricamente 2).

El controlador 6 puede detectar ahora a partir de la relación de las dos tasas de recuento de los en el presente caso en total tres cristales de centelleo 4 o fotomultiplicadores 5, en qué posición angular se encuentra una fuente de radiación, si la fuente de radiación se encuentra a la izquierda o la derecha del detector de dirección 1 y puede deducir además la intensidad de la fuente de radiación. Dado que la radiación de fondo al menos en media

estadística incide en todos los cristales de centelleo 4 de la misma manera, puede “eliminarse mediante cálculo” fácilmente el efecto de la radiación de fondo, lo que es correspondientemente ventajoso.

Según una modificación de la disposición representada en la Fig. 1 además también es posible que los fotomultiplicadores 5 puedan detectar de manera selectiva en cuanto a la energía. De este modo es por un lado posible que las señales de medición obtenidas puedan “someterse a una ventana”. Es decir, que en función de una fuente de radiación dado el caso reconocida pueda reconocerse (aproximadamente) el espectro de energía emitido por la misma (a este respecto no es necesario que se registre todo el espectro, sino que más bien por regla general es suficiente que tengan en cuenta el o los impulsos más intensos, independientemente de esto posibilita ya una declaración del tipo del material que emite la radiación o no y que el controlador 6 solo tenga en cuenta, por ejemplo, los intervalos de energía con una tasa de recuento aumentada en la determinación de la dirección). De este modo es habitualmente posible reducir los efectos perturbadores que proceden de la radiación de fondo, de modo que se aumenta otra vez la calidad de la determinación de la dirección.

Sin embargo, adicional o alternativamente también es posible que se utilice una detección con resolución de energía de las señales de medición para que se detecte el espectro de la fuente que emite la radiación y así sean posible deducciones sobre el material que emite la radiación. A este respecto, por lo demás es perfectamente posible que el reconocimiento de la dirección (incluyendo la operación de ventana descrita) y el reconocimiento del material tengan lugar en momentos claramente separados.

Además también es perfectamente concebible que el ángulo entre los dos detectores 2, 3 (detector de detección de simetría 2 o detector de detección de ruptura de la simetría 3) esté realizado de manera variable, lo que se describirá aún más detalladamente en el siguiente ejemplo de realización.

Complementariamente se expone que con el detector de dirección 1 representado en el presente caso no es posible ninguna declaración sobre si la fuente de radiación se encuentra delante o detrás del detector de dirección 1. Además, no es posible ninguna declaración sobre si la fuente de radiación se encuentra por encima o por debajo del plano formado por los detectores 2, 3. Sin embargo, para muchos objetivos de medición esto no es desventajoso, dado que en la mayoría de los casos puede asumirse que un operario 9 entra en una “región crítica” saliendo de una “región limpia” y además puede asumirse que una fuente de radiación no “vuela libremente en el aire” (a este respecto dentro de edificios puede variar la situación). Por lo demás, es posible que, por ejemplo, con una programación correspondiente del controlador 6 también puedan resolverse estas incertidumbres, porque el usuario gira, por ejemplo, mediante instrucciones correspondientes a través de la pantalla de visualización 7 o automáticamente el detector de dirección 1 en diferentes direcciones. Cuando el detector de dirección 1 se gira, por ejemplo, en el plano del dibujo 90°, entonces puede tener lugar una declaración en el sentido de si una fuente de radiación se encuentra delante o detrás del detector de dirección 1 (no pudiendo realizarse ninguna declaración más sobre si la fuente de radiación está dispuesta ahora a la izquierda o la derecha del detector de dirección 1). Sin embargo, el controlador 6 puede “memorizar” esta información, de modo que finalmente se obtiene una “información total”. Por consiguiente, puede implementarse una declaración “arriba-abajo” mediante una rotación del detector de la dirección 1 con respecto a un eje longitudinalmente con respecto al eje longitudinal del detector que detecta con ruptura de simetría 3.

En la Fig. 2 se representa una segundo ejemplo de realización preferido para un detector de dirección 13, al que para la realización de ensayos internos se le incorporó también ya un primer demostrador que funciona bien.

En el segundo ejemplo de realización de un detector de dirección 13 se representa en paralelo al eje longitudinal del detector de la dirección 13 (en paralelo a la flecha “V” que apunta en la dirección del lado delantero) - de manera análoga al detector de dirección 1 representado en la Fig. 1 - un detector de detección de ruptura de la simetría 3, que presenta una construcción esencialmente idéntica al detector que detecta con ruptura de simetría 3 descrito anteriormente.

Sin embargo, el presente detector de dirección 13 presenta ahora dos detectores que detectan simétricamente 2a, 2b, que en una posición de partida (tal como se representa en la Fig. 2) están dispuestos en un ángulo de 90° entre sí. En relación con el detector que detecta con ruptura de simetría 3, los detectores que detectan simétricamente 2a, 2b están dispuestos en cada caso (en una posición de partida) en un ángulo de 45° en relación con el mismo. Desde el punto de vista de su construcción, los detectores que detectan simétricamente 2a, 2b se asemejan al detector que detecta simétricamente 2 según el primer ejemplo de realización de un detector de dirección 1 (Fig. 1).

De nuevo, el controlador 6 debido a las diferentes tasas de recuento en los detectores individuales 2a, 2b, 3 puede deducir la posición de un irradiador gamma. Esto se refiere a la posición angular, una declaración en el sentido de si el irradiador gamma se encuentra a la izquierda o la derecha del detector de dirección 13, pero no sin más en el sentido de si el irradiador gamma se encuentra delante o detrás o por encima o por debajo del detector de la dirección 13. Sin embargo, como ya se ha mencionado, esto puede resolverse mediante una rotación correspondiente del aparato 13.

Debido al número en total mayor de impulsos de recuento (debido al mayor número de detectores), la medición ya es más precisa “ab initio”, que en el caso del ejemplo de realización según la Fig. 1.

Además, en el ejemplo de realización representado en el presente caso de un detector de dirección 13 también es posible que el ángulo de los dos detectores que detectan simétricamente 2a, 2b puedan regularse entre sí (teniendo lugar la regulación de manera preferible simétricamente con respecto al detector que detecta con ruptura de simetría 3). Para ello, en el ejemplo de realización representado en el presente caso se representa un motor de regulación 14, que se controla de manera automatizada por el controlador 6. Naturalmente también es posible que, por ejemplo, tenga lugar una “regulación manual”, por ejemplo, tras una petición correspondiente en la pantalla de visualización 7. Dado el caso, un sensor también puede monitorizar la posición correcta de los detectores 2a, 2b (dado el caso también 3) correspondientes.

Mediante la regulación es posible que se aumente el campo de visión del detector de la dirección 13 (aunque a costa de la resolución relativa). Sin embargo, a la inversa también es posible que se aumente la resolución relativa del detector de la dirección 13 (aunque a costa del campo visual). Para obtener una visión global de qué aumento de la exactitud es posible de este modo, se adjunta la tabla 1. En esta se representa una simulación numérica del campo visual y de la resolución relativa en función del ángulo 15 entre los elementos de detección que detectan simétricamente 2a, 2b en cuestión y el elemento de detección que detecta con ruptura de simetría 3.

Tab.1

Ángulo [grados]		Campo de visión [grados]	Resolución rel. [impulsos/grado]
2a	2b		
-20	+20	40	55
-30	+30	60	48,3
-45	+45	90	40
-60	+60	180	32,5

En el demostrador se usaron cristales de centelleo de Csl 4 con una longitud de 10 cm y un área de lado frontal (cuadrada) 10 de 1,8 cm x 1,8 cm. Las dimensiones totales del dispositivo ascendía a aproximadamente 35 x 35 x 35 cm³ con un peso de aproximadamente 5 kg (incluyendo batería de alto rendimiento), lo que muestra que el dispositivo puede usarse perfectamente como aparato portátil. En el caso de fuentes de radiación no apantalladas con una potencia de fuente – relativamente reducida - de 150 MBq, la duración de tiempo para reconocer que estaba presente una fuente de radiación, con una distancia de aproximadamente 20 m con respecto a la fuente de radiación, ascendía a menos de 1 s; la determinación de la dirección pudo tener lugar normalmente en menos de 10 s. En el caso de una fuente de radiación no apantallada con una intensidad de fuente de 1 MBq y una distancia de 3 m, la duración de tiempo para reconocer que estaba presente una fuente de radiación ascendió igualmente a menos de 1 s; también en este caso pudo tener lugar la determinación de la dirección normalmente en menos de 10 s. Un reconocimiento de un material (mediante análisis espectral) requirió en ambos casos normalmente de manera aproximadamente 30-60 s. La resolución de dirección ascendió a aproximadamente +/-3°.

En el caso de una fuente de radiación utilizada a modo de ensayo de aproximadamente 180 kBq sigue siendo posible un reconocimiento de la dirección (aunque con duraciones de tiempo aumentadas normalmente en el intervalo de aproximadamente 1 minuto). En comparación: una fuente de radiación con 180 kBq a 3 m de distancia tiene aproximadamente el mismo nivel de radiación que la radiactividad de fondo en Alemania.

Los ensayos indican que el dispositivo propuesto en el presente documento es adecuado para fuentes gamma a partir de aproximadamente 30 keV de energía.

Para ilustrar las características de los detectores de dirección 1, 13 descritos (y otras realizaciones constructivas adicionales), en la Fig. 4 se representa la “característica de recepción” de un cristal de centelleo que mide simétricamente individual 4 o de un detector que detecta simétricamente 2. En función del ángulo (a este respecto 0° quiere decir que el lado frontal 10 del cristal de centelleo 4 apunta directamente a la fuente de radiación) se representa en la ordenada 16 la tasa de recuento en hercios en función de diferentes ángulos (representados a lo largo de la abscisa 17). A este respecto, el respectivo histograma está dividido en la tasa de recuento debido a la fuente, así como en la tasa de recuento como consecuencia de la radiación de fondo. La radiación de fondo es (por naturaleza) independiente del ángulo, mientras que la tasa de recuento, que se basa en la fuente de radiación, varía enormemente con el ángulo.

En la Fig. 5 se representa además para su comparación la amplitud relativa (en unidades arbitrarias) de los detectores 2a, 2b, 3 en cuestión (representada a lo largo de la ordenada 16) en función del respectivo ángulo (representado a lo largo de la abscisa 17) (estando representados los detectores 2a, 2b, 3 en cada caso individualmente). La base para esto la forma la disposición representada en la Fig. 2 del detector de la dirección.

Para simplificar la simulación, en lugar de con un detector que detecta con ruptura de simetría 3 se contó con un detector que detecta simétricamente (de tipo 2, 2a o 2b). Como resultado, estado corresponde (según la teoría) esencialmente al uso de un detector que detecta con ruptura de simetría 3, en el que se representa la tasa de recuento total (es decir ningún “desglose” en “mitad de detector izquierda” y “mitad de detector derecha”).

En la Fig. 3 se representan además diferentes formas constructivas de detectores que detectan con ruptura de simetría, en cada caso en una disposición en perspectiva esquemática.

En la Fig. 3a se representa el detector que detecta con ruptura de simetría 3 utilizado también en los ejemplos de realización según la Fig. 1 y la Fig. 2. Este presenta dos (dado el caso con intercalación de un material que absorbe radiación 12) cristales de centelleo 4 separados desde el punto de vista de la técnica de radiación entre sí. Naturalmente también es posible que - como se representa en la Fig. 3b - también cuatro (dado el caso en cada caso con intercalación de un material que absorbe radiación 12) cristales de centelleo 4 separados desde el punto de vista de la técnica de radiación entre sí configuren un detector que detecta con ruptura de simetría 18. De este modo pueden realizarse declaraciones adicionales sobre la posición de la fuente de radiación. En particular, en el caso de un detector que detecta con ruptura de simetría 18 también es posible una disposición “que están en perpendicular al plano de medición” del detector que detecta con ruptura de simetría 18, dado que de este modo se hace posible una declaración simultánea con respecto a delante-detrás e izquierda-derecha (pero no arriba-abajo).

Por motivos de complementación debe mencionarse además que los cristales de centelleo individuales 4 de los detectores que detectan con ruptura de simetría 3, 18 (y otras realizaciones constructivas) aunque están separados entre sí desde el punto de vista de la técnica de radiación, en general configuran una unidad mecánicamente compacta.

Además, también es posible que los detectores que detectan con ruptura de simetría 3 presenten una longitud acortada en relación con los detectores que detectan simétricamente 2. Esto puede ser válido también solo para una parte de los cristales de centelleo 4 incorporados en un detector que detecta con ruptura de simetría 3. De este modo “estos se concentran” en la tarea “asignada” a los mismos de la ruptura de la simetría. Una realización constructiva de este tipo puede ahorrar peso y espacio constructivo y dado el caso reducir también la demanda de energía.

En la Fig. 6 se esboza finalmente además en el marco de un diagrama de flujo 19 un procedimiento para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante.

En una primera etapa 20 se miden las tasas de recuento de los diferentes detectores (en particular detectores que detectan simétricamente 2, 2a, 2b y detectores que detectan con ruptura de simetría 3). A continuación se “resta” in en una etapa adicional 21 basándose en los resultados de medición individuales el fondo de radiación y a partir de los datos de medición “optimizados” que quedan se detecta la dirección de la fuente de radiación (dado el caso en paralelo a esto también incluyendo una ventana de energía y/o un análisis espectroscópico).

A continuación se representan los resultados ya disponibles en una etapa de visualización 22 (por ejemplo, se visualizan en una pantalla de visualización 7 o se emiten a través de interfaces de datos).

La etapa de visualización 22 puede complementarse (opcionalmente) también con una etapa de optimización 23. En esta etapa de optimización 23 puede pedirse, por ejemplo, al usuario que tome determinadas acciones, tal como, por ejemplo, un giro del aparato. También se le puede pedir que varíe la posición angular de detectores individuales (por ejemplo, detectores que detectan simétricamente 2a, 2b en el caso del detector de dirección 13 según el segundo ejemplo de realización), para aumentar así, por ejemplo, la precisión de medición. Por lo demás también es posible que partes de esta optimización tengan lugar de manera automatizada y de manera autónoma sin intervención del usuario.

A continuación, el procedimiento salta de vuelta 24, de modo que se realiza de nuevo una medición de tasa de recuento 20.

En particular en una caso, en el que todavía no se han recopilado suficientes datos, también es posible que la etapa de optimización 23 se realice en cierta medida como “etapa de procedimiento vacía”, por tanto ninguna regulación interna dentro del dispositivo y/o no se emite ningún comando de usuario.

Lista de números de referencia:

1. detector de dirección
2. detector de detección de simetría
3. detector de detección de ruptura de la simetría
4. cristal de centelleo
5. fotomultiplicador
6. controlador

	7.	pantalla de visualización
	8.	línea de datos
	9.	usuario
	10.	lado frontal
5	11.	lado longitudinal
	12.	material que absorbe radiación
	13.	detección de la dirección
	14.	motor de regulación
	15.	ángulo
10	16.	ordenada
	17.	abscisa
	18.	detector de detección de ruptura de la simetría
	19.	diagrama de flujo
	20.	medición de tasa de recuento
15	21.	determinación de la dirección
	22.	etapa de visualización
	23.	etapa de optimización
	24.	retroceso
20		

REIVINDICACIONES

1.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con el dispositivo de determinación de la dirección (1, 13), que presenta al menos dos dispositivos de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18) con volumen de detección configurado longitudinalmente (4), estando dispuestos los al menos dos dispositivos de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18) en un ángulo entre sí, estando configurado al menos un primer dispositivo de detección de radiación como dispositivo de detección de radiación simétrico dependiente de la radiación (2, 2a, 2b), caracterizado porque al menos un segundo dispositivo de detección de radiación está configurado como dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo (3, 18).

2.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según la reivindicación 1, caracterizado porque los al menos dos dispositivos de detección de radiación (2a, 2b, 3) están dispuestos de manera angularmente variable (15) entre sí, en particular de manera regulable manualmente y/o de manera regulable automáticamente (14).

3.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según la reivindicación 1 o 2, caracterizado porque están presentes exactamente dos dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo (2, 2a, 2b) y/o exactamente uno o dos dispositivos de detección de radiación de ruptura de la simetría dependientes del ángulo (3, 18), en particular por plano de detección.

4.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo de determinación de la dirección presenta al menos dos dispositivos de detección de radiación simétricos dependientes del ángulo (2a, 2b), que están dispuestos simétricamente, en particular con simetría especular y/o con simetría axial y/o con simetría puntual con respecto al al menos un dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo (3).

5.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el dispositivo de detección de radiación de ruptura de la simetría dependiente del ángulo (3, 18) está configurado como disposición de volúmenes de detección configurados longitudinalmente dispuestos en paralelo entre sí (4), en particular de dos o cuatro volúmenes de detección configurados longitudinalmente dispuestos en paralelo entre sí (4), que están separados entre sí desde el punto de vista de la técnica de radiación en particular por medio de al menos una unidad de apantallamiento (12).

6.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque los dispositivos de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18) y/o volúmenes de detección configurados longitudinalmente (4) presentan un material de centelleo (4), que presenta preferiblemente una relación de longitud-anchura de al menos 5:1, preferiblemente 10:1, de manera especialmente preferible 15:1, en particular 20:1.

7.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un dispositivo de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18) presenta una unidad de medición, preferiblemente una unidad de medición autorreforzadora, en particular una unidad fotomultiplicadora (5), que está configurada en particular sin resolución espacial.

8.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque al menos un dispositivo de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18) y/o una parte de los dispositivos de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18) del dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) están configurados con resolución de energía.

9.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, en particular según la reivindicación 8, caracterizado por al menos una unidad de procesamiento de datos (6), que está configurada y ajustada de tal manera que mediante una comparación de los valores de medición de los dispositivos de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18), en particular sus tasas de recuento, determina la dirección de la fuente de radiación, recurriéndose preferiblemente a valores de medición de un determinado intervalo de energía.

10.- Dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) según una de las reivindicaciones anteriores, en particular según la reivindicación 8 o 9, caracterizado por al menos una unidad de procesamiento de datos (6), que está configurada y ajustada de tal manera que en particular por separado de y/o además de una determinación de la dirección por medio de una determinación de una distribución de energía de al menos una parte de los valores de medición obtenidos determina el material de la fuente de radiación.

11.- Procedimiento (19) para determinar la dirección de una fuente de radiación de radiación ionizante en relación con un dispositivo de determinación de la dirección (1, 13) usando un dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 10, determinándose a partir de los valores de medición de los al menos dos dispositivos de detección de radiación (2, 2a, 2b, 3, 18), en particular a partir de sus tasas de recuento, la dirección de la fuente de radiación.

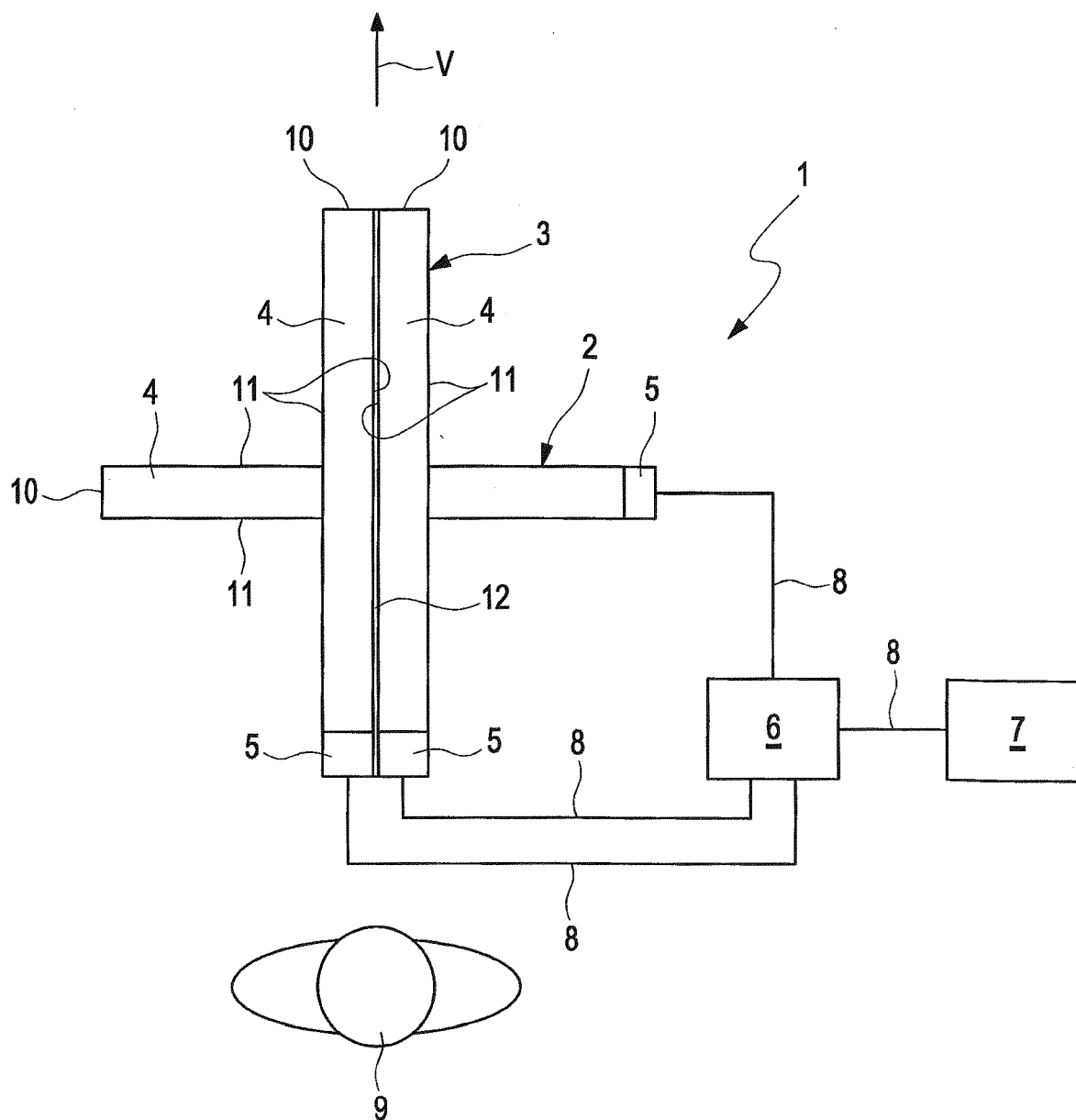


Fig. 1

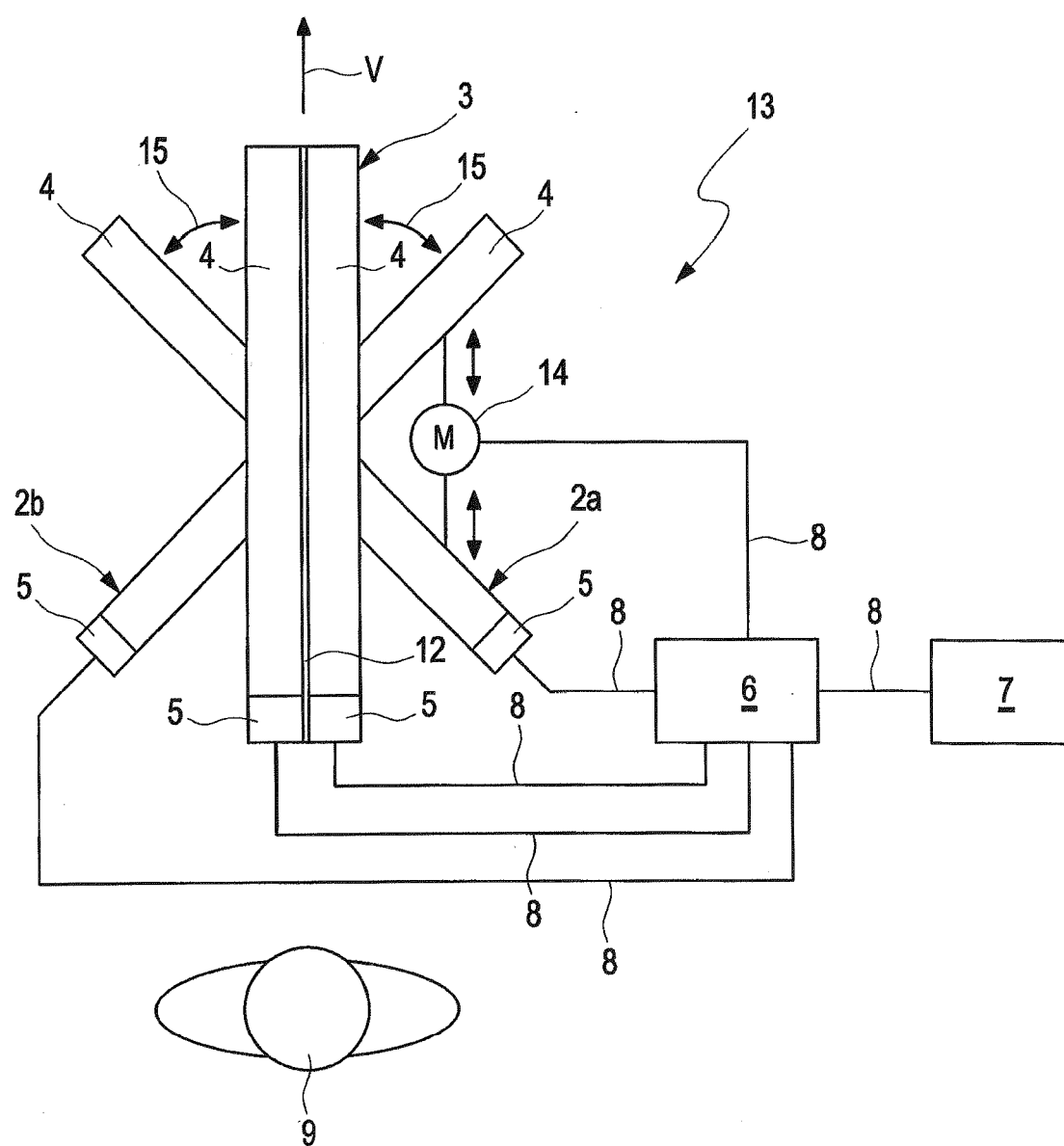


Fig. 2

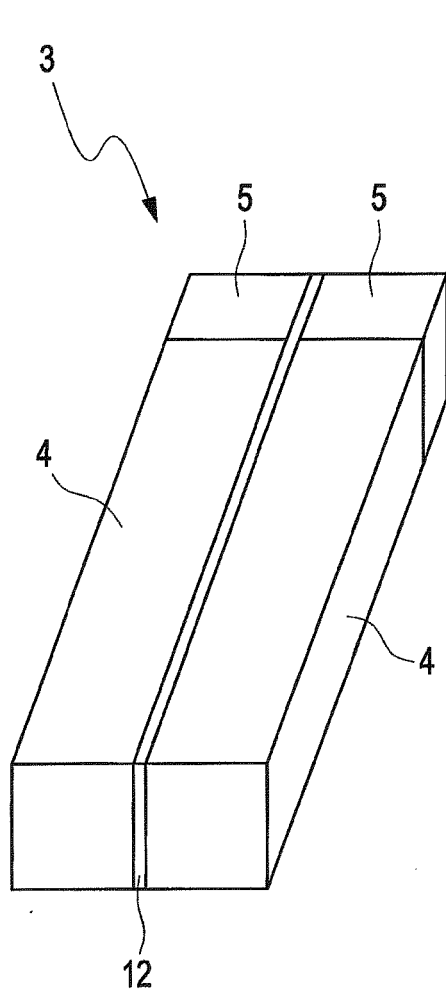


Fig. 3 a

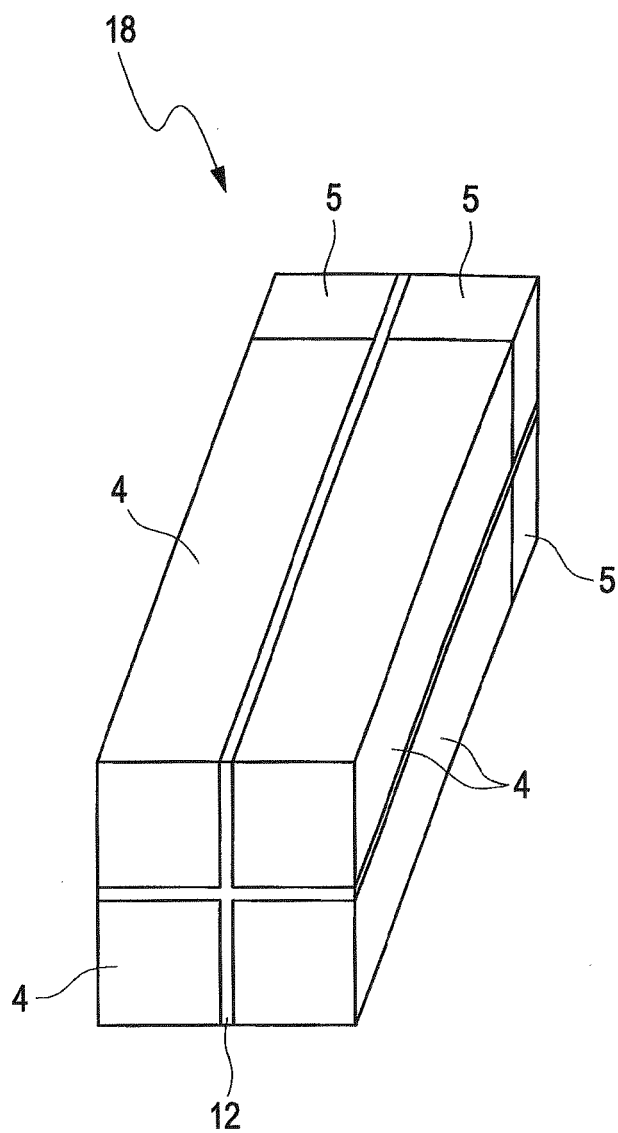


Fig. 3 b

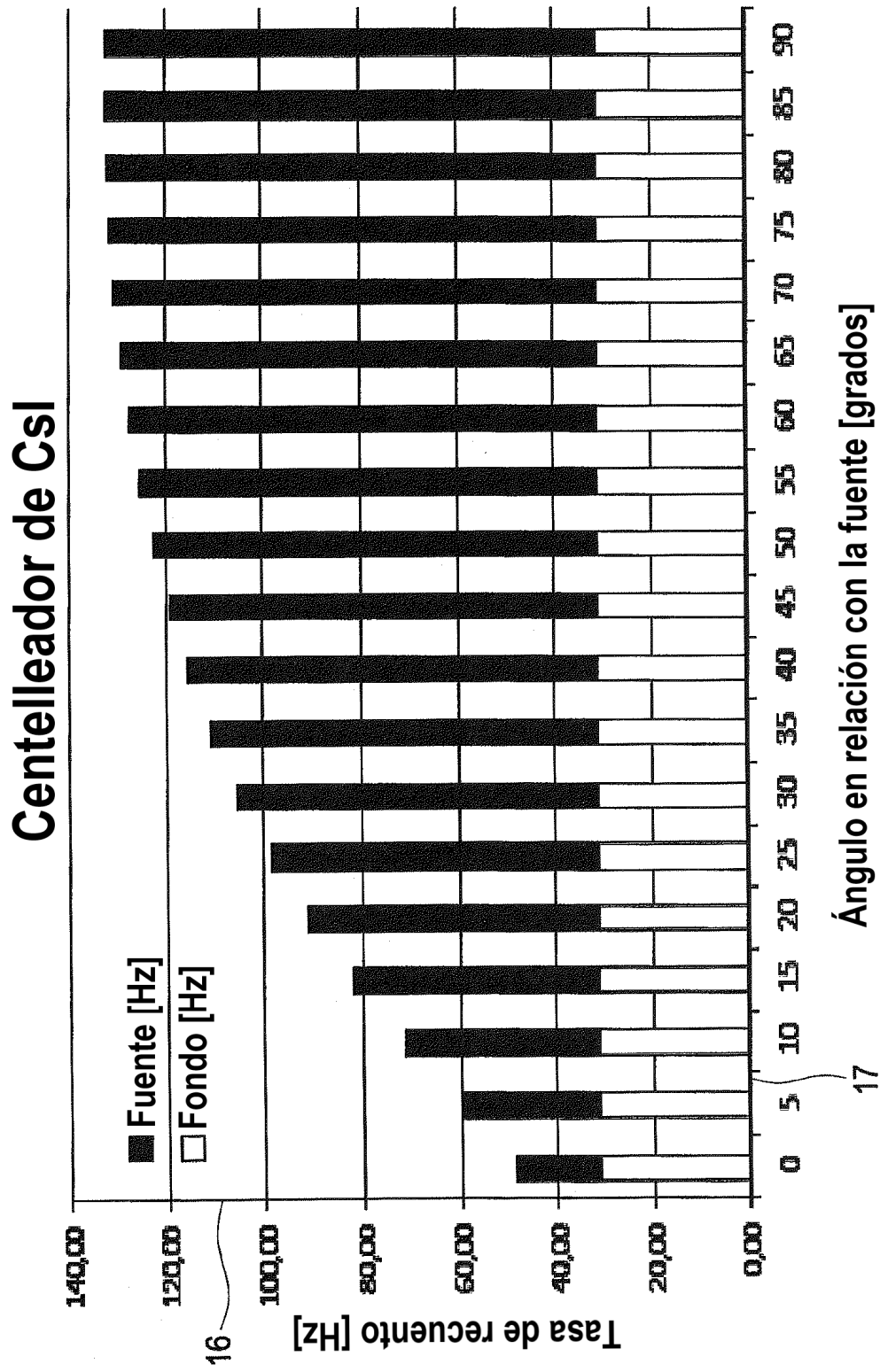


Fig. 4

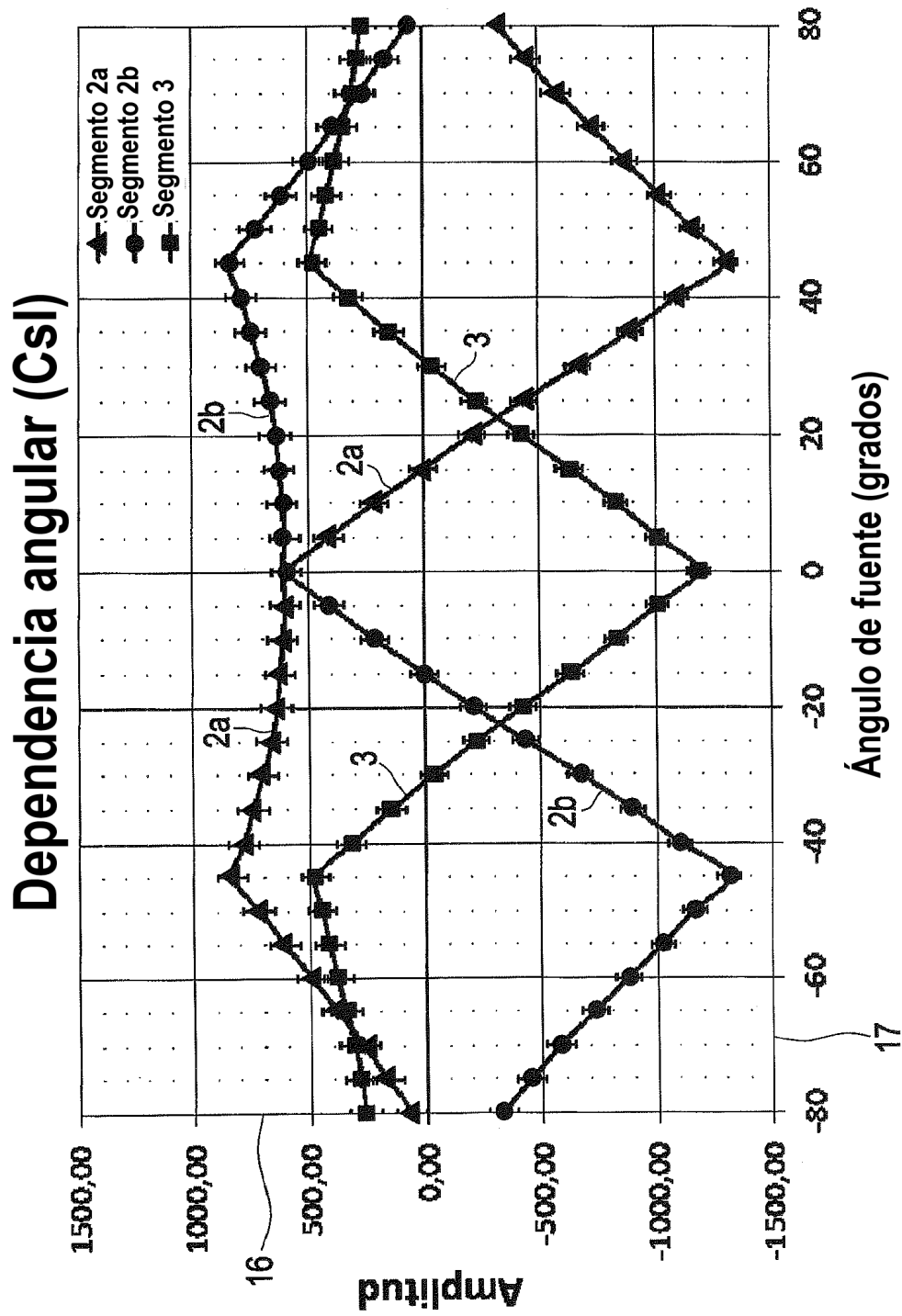


Fig. 5

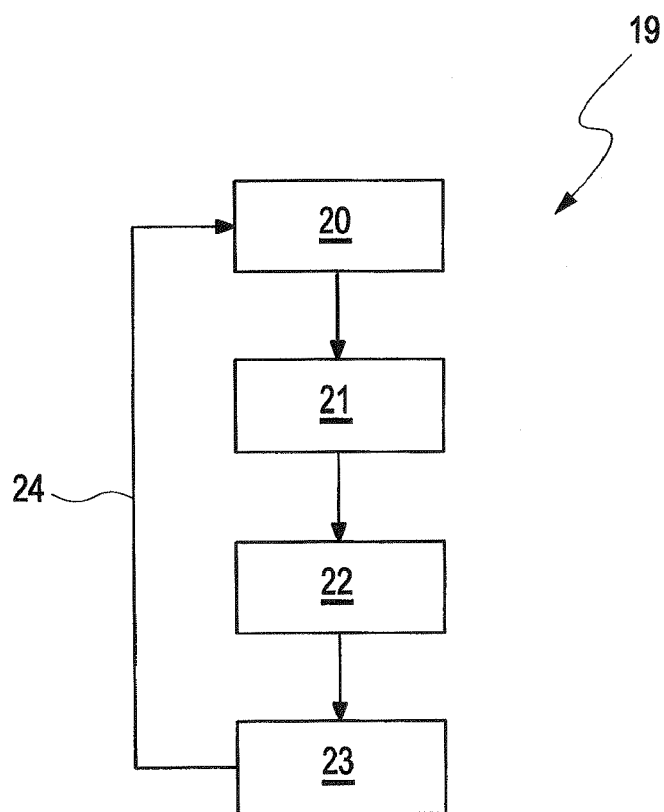


Fig. 6