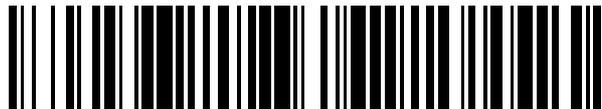


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 660 748**

51 Int. Cl.:

G01V 5/00 (2006.01)

G01N 23/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.12.2010 PCT/CN2010/080424**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.01.2012 WO12000299**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.12.2010 E 10854002 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.11.2017 EP 2589955**

54 Título: **Dispositivo de detección de artículos y método de detección correspondiente**

30 Prioridad:

30.06.2010 CN 201010223342

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

26.03.2018

73 Titular/es:

**TSINGHUA UNIVERSITY (50.0%)
Haidian District
Beijing 100084, CN y
NUCTECH COMPANY LIMITED (50.0%)**

72 Inventor/es:

**YANG, YIGANG;
LI, TIEZHU;
ZHANG, QINJIAN;
ZHANG, YI;
JIN, YINGKANG;
CHEN, QINGHAO;
LI, YUANJING y
LIU, YINONG**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 660 748 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

Dispositivo de detección de artículos y método de detección correspondiente.

5 **Referencia a la solicitud relacionada**

La presente solicitud reivindica el derecho de la solicitud de patente china n.º 201010223342.1 presentada el 30 de junio de 2010 en la oficina estatal de propiedad intelectual de China.

10 **Antecedentes de la invención**

Campo de la invención

15 La presente invención se refiere a un dispositivo de inspección de artículos para inspeccionar productos peligrosos, tales como explosivos, sustancias químicas, armas biológicas, materiales nucleares y fármacos, ocultos en un artículo.

Descripción de la técnica relacionada

20 Para detectar productos peligrosos, tales como explosivos, sustancias químicas, armas biológicas, materiales nucleares y fármacos, ocultos en un contenedor marítimo o en un contenedor aéreo, se han propuesto muchas soluciones técnicas de las cuales dos soluciones populares son, por ejemplo, una tecnología de inspección por rayos x y una tecnología de inspección por neutrones, que se describen de manera sencilla a continuación:

25 **1. Tecnología de inspección por rayos x**

a) Solución de transmisión de rayos x

30 La solución convencional de transmisión de rayos x incluye un método de transmisión monoenergética de rayos x y un método de transmisión polienergética de rayos x. En cada uno de los métodos, mediante el uso de una matriz de detectores de transmisión se detecta en primer lugar información de atenuación de rayos x que se transmiten a través de un artículo que se va a inspeccionar, y, a continuación, se forma una imagen bidimensional del artículo basándose en la información de atenuación. La imagen bidimensional es representativa de información del espesor másico del artículo a lo largo del trayecto de transmisión de los rayos x. De esta manera, analizando la forma de la imagen bidimensional, un operario puede determinar si el artículo contiene o no en su interior productos peligrosos. No obstante, la solución de transmisión de rayos x únicamente puede obtener una integración de la capacidad de atenuación del artículo que se va a inspeccionar a lo largo del trayecto de transmisión de rayos x, con lo cual no puede discriminar un artículo más delgado que tenga un número atómico elevado y una densidad atómica grande, con respecto a un artículo más grueso que presente un número atómico bajo y una densidad atómica reducida. Por lo tanto, no puede detectar, con la suficiente precisión, materiales nucleares ocultos en el artículo.

b) Solución de fluorescencia por resonancia nuclear

45 La solución convencional de fluorescencia por resonancia nuclear comprende, en primer lugar, adoptar rayos x para excitar un núcleo atómico, y, a continuación, detectar fotones gamma generados por el núcleo atómico después de ser excitado. De esta manera, la solución convencional de fluorescencia por resonancia nuclear puede obtener información de la "huella dactilar" del núcleo atómico de interés. No obstante, los rayos x que pueden generar absorción de resonancia tienen una anchura muy pequeña del espectro de energía, lo cual provoca que el artículo genere poca fluorescencia de resonancia aunque un número elevado de fotones de dispersión después de la irradiación con los rayos x, con lo que la solución convencional de fluorescencia por resonancia nuclear padece, de manera desventajosa, interferencias por parte de información de fondo de los fotones de dispersión, y presenta una sensibilidad de inspección deficiente. Con el fin de mejorar la sensibilidad de inspección, recientemente se ha propuesto otro método de uso de una fuente monoenergética y ajustable de rayos x, aunque el mismo requiere un acelerador de electrones con energía superior a 100 MeV.

2. Tecnología de inspección por neutrones

a) Solución de transmisión de neutrones

60 La solución convencional de transmisión de neutrones es similar a la solución convencional anterior de transmisión de rayos x. El neutrón es sensible a materiales que tienen un número atómico pequeño, particularmente hidrógeno, pero, habitualmente, no es sensible a aquellos que tienen un número atómico elevado. De este modo, en comparación con la anterior solución convencional de transmisión de rayos x, la solución convencional de transmisión de neutrones resulta adecuada para detectar materiales que contienen una gran cantidad de hidrógeno. No obstante, la solución de transmisión de neutrones también puede obtener

solamente información de integración a lo largo del trayecto de transmisión de neutrones, con lo que no puede discriminar elementos químicos de materiales dispuestos en diversas posiciones espaciales. Por tanto, tampoco puede detectar materiales nucleares ocultos en el artículo.

5 b) Solución de análisis de concentración de elementos

La solución de análisis de concentración de elementos puede discriminar elementos diferentes basándose en rayos gamma inducidos por la reacción de neutrones con material nuclear. Además, recientemente se ha propuesto otra solución de análisis de elementos que puede discriminar diferentes elementos dispuestos en un espacio tridimensional, en donde, con una resolución espacial de 5 cm x 5 cm x 5 cm, puede formarse una imagen espacial tridimensional de elementos de un artículo que se va a inspeccionar, tal como un contenedor o un vehículo. No obstante, la solución de análisis elemental únicamente se puede adaptar a nucleidos que presentan una sección eficaz grande de reacción neutrónica, tales como Nitrógeno, Carbono, Oxígeno o Hidrógeno, y no se puede adaptar a elementos nucleares que tienen una sección eficaz pequeña de reacción neutrónica. Adicionalmente, en la solución de análisis elemental, es necesario detectar espectros de energía de rayos γ con una alta resolución temporal y energética: debido a la gran complicación de los espectros de rayos γ inducidos por las reacciones de neutrones con materia, resulta muy difícil interpretar espectros y extraer información de concentración de elementos. Además, el generador de neutrones debe producir impulsos neutrónicos con una anchura de nanosegundos, lo cual es muy difícil.

Además de los dos anteriores métodos convencionales de inspección, existen algunos otros métodos, por ejemplo, una solución de resonancia cuadrupolar nuclear (NQR). El método de NQR es sensible a una molécula y puede obtener información de la "huella dactilar" de la molécula. Sin embargo, debe cumplirse la condición de que la molécula tiene que contener un núcleo cuyo momento cuadrupolar no sea cero, y el gradiente de campo eléctrico en el cual está situado el núcleo atómico debe ser bastante grande. No obstante, solamente unos pocos materiales pueden cumplir la condición anterior. Además, la NQR no funciona bien si el objeto inspeccionado se blindo electromagnéticamente.

Además, el documento US 5.420.905 divulga un sistema para detectar explosivos, e incluye matrices de detectores de transmisión y dispersión para obtener el número atómico del material contenido.

Sumario de la invención

La presente invención se ha realizado para superar o aliviar al menos un aspecto de las desventajas antes mencionadas.

Por consiguiente, es un objetivo de la presente invención proporcionar un dispositivo de inspección de artículos que puede formar fácilmente una imagen tridimensional correspondiente al artículo.

De acuerdo con un aspecto de la presente invención, se proporciona un dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 1.

una máquina de rayos x;

una unidad de colimación para conformar rayos x generados por la máquina de rayos x obteniendo un haz sectorial con el fin de proyectar un artículo;

una matriz de detectores de transmisión para detectar los rayos x que se transmiten a través del artículo con el fin de formar una imagen bidimensional del artículo; y

por lo menos una matriz de detectores de dispersión que comprende, cada una de ellas, una pluralidad de módulos detectores de dispersión idénticos dispuestos en una matriz de i filas y j columnas,

en donde una sección eficaz de transmisión del artículo, transmitida por los rayos x, se divide en una pluralidad de subregiones idénticas dispuestas en una matriz de i filas y j columnas,

en donde la pluralidad de módulos detectores de dispersión dispuestos en i filas y j columnas se corresponde con la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, para detectar fotones de aniquilación y fotones de dispersión por efecto Compton de las subregiones respectivas producidas por los rayos x,

según la presente invención, el dispositivo de inspección de artículos comprende además:

una pluralidad de contadores de coincidencias correspondientes a la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, en donde, cuando uno de los primeros módulos detectores de dispersión y uno de los segundos módulos detectores de dispersión correspondientes a una misma subregión reciben "casi simultáneamente" el fotón de la misma subregión, el contador de coincidencias correspondiente a la misma

subregión se incrementa en "1", en donde la expresión "casi simultáneamente" significa que la diferencia del tiempo entre un tiempo en el que el primer módulo detector de dispersión recibe el fotón y un tiempo en el que el segundo módulo detector de dispersión recibe el fotón está dentro de un intervalo predeterminado; y

5 una pluralidad de primeros contadores de dispersión correspondientes a la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, en donde, cuando uno de los primeros módulos detectores de dispersión correspondiente a una subregión recibe el fotón de esa subregión, el primer contador de dispersión correspondiente a la subregión se incrementa en "1".

10 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, el dispositivo de inspección de artículos comprende además: una pluralidad de segundos contadores de dispersión correspondientes a la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, en donde, cuando uno de los segundos módulos detectores de dispersión correspondiente a una subregión recibe el fotón de esa subregión, el segundo contador de dispersión correspondiente a la subregión se incrementa en "1".

15 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, en donde el primer módulo detector de dispersión y el segundo módulo detector de dispersión correspondientes a la misma subregión están conectados, respectivamente, a un primer discriminador de temporización constante y a un segundo discriminador de temporización constante, para convertir una primera señal analógica detectada por el primer módulo detector de dispersión y una segunda señal analógica detectada por el segundo módulo detector de dispersión, en una primera señal de tiempo y una segunda señal de tiempo;

20 la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen, respectivamente, en el primer contador de dispersión y el segundo contador de dispersión correspondientes a la misma subregión;

25 la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen, ambas, en un circuito de coincidencia de tiempo correspondiente a la misma subregión, determinando el circuito de coincidencia de tiempo si la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen en el mismo "casi simultáneamente"; y, cuando la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen "casi simultáneamente" en el circuito de coincidencia de tiempo, el circuito de coincidencia de tiempo da salida a una señal de coincidencia de tiempo hacia el contador de coincidencias correspondiente a la misma subregión.

30 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, en donde la relación del recuento de fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por el efecto Compton se calcula mediante la siguiente fórmula (1) o la siguiente fórmula (2):

$$Z_{pc} = (Par1/\epsilon_{par}) / [(PB11 - Par1/\epsilon_{par})/\epsilon_b] \quad (1)$$

$$Z_{pc} = (Par1/\epsilon_{par}) / [(PC11 - Par1/\epsilon_{par})/\epsilon_c] \quad (2)$$

35 en donde,

40 Z_{pc} es la relación del recuento de fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por el efecto Compton;

45 $Par1$ es el recuento del contador de coincidencias;

50 ϵ_{par} es la eficiencia de detección del primer y del segundo módulos detectores de dispersión con respecto a los fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares;

$PB11$ es el recuento del primer contador de dispersión;

55 ϵ_b es la eficiencia de detección del primer módulo detector de dispersión con respecto a los fotones de dispersión por efecto Compton;

$PC11$ es el recuento del segundo contador de dispersión;

60 ϵ_c es la eficiencia de detección del segundo módulo detector de dispersión con respecto a los fotones de dispersión por efecto Compton.

En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, cada uno de los primeros módulos detectores de dispersión es igual que cada uno de los segundos módulos detectores de dispersión; y cada uno de los módulos detectores de dispersión comprende:

65 un detector; y

5 el colimador para absorber los fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por el efecto Compton, de otras subregiones que no se corresponden con el colimador, con el fin de permitir que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por efecto Compton de la subregión mencionada correspondiente al colimador, entren en el detector.

10 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, el detector es un detector de centellador plástico, un detector de centellador líquido, un detector de $\text{LaBR}_3(\text{Ce})$, un detector de $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$, un detector de HPGe o un detector de CdZnTe.

15 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, el colimador está realizado a partir de plomo, acero o cobre.

20 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, cada uno de los módulos detectores de dispersión comprende además: un blindaje para evitar que los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por efecto Compton, de subregiones que no se corresponden con el colimador del módulo detector de dispersión, entren en el detector.

25 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, el blindaje está realizado a partir de plomo, acero o cobre.

30 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, cada uno de los módulos detectores de dispersión comprende además: una hardenita para disminuir la intensidad de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y de los fotones de dispersión por efecto Compton de la subregión correspondiente al colimador del módulo detector de dispersión.

35 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, el detector está situado en una rendija de colimación del colimador; el blindaje está dispuesto en un lado del colimador opuesto al artículo, y sella una abertura de la rendija de colimación en dicho un lado; y la hardenita está dispuesta en el otro lado del colimador, encarado al artículo, y sella la otra abertura de la rendija de colimación en dicho otro lado.

40 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, el blindaje y el colimador están formados en una sola pieza.

45 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, la máquina de rayos x es una máquina de rayos x monoenergética o una máquina de rayos x polienergética.

50 En otra forma de realización ejemplificativa según la presente invención, los rayos x generados por la máquina de rayos x tienen una energía superior a 1,022 MeV.

Breve descripción de los dibujos

55 Estos y/u otros aspectos y ventajas de la invención se pondrán de manifiesto y se apreciarán más fácilmente a partir de la siguiente descripción de las formas de realización, consideradas en combinación con los dibujos adjuntos, en los cuales:

la Fig. 1 es una vista esquemática de un dispositivo de inspección de artículos según una forma de realización de la presente invención;

60 la Fig. 2 es una vista que muestra una relación correspondiente entre cada una de las subregiones de una sección eficaz de transmisión del artículo que se va a inspeccionar, y cada uno de los primeros módulos detectores de dispersión y cada uno de los segundos módulos detectores de dispersión;

65 la Fig. 3 es una vista en sección transversal según un plano perpendicular al eje Z mostrado en la Fig. 1;

la Fig. 4 muestra una relación entre un número atómico y una relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton;

70 la Fig. 5 es una vista estructural esquemática de cada uno de los módulos detectores de dispersión de la primera y la segunda matrices de detectores de dispersión;

75 la Fig. 6 muestra espectros de energía de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por efecto Compton que entran en la primera y la segunda matrices de detectores de dispersión;

la Fig. 7 muestra un diagrama de bloques esquemático de un sistema de recuento de coincidencias; y

la Fig. 8 muestra diagramas secuenciales de diversas señales y parámetros mostrados en la Fig. 7.

Descripción detallada de formas de realización preferidas de la invención

En lo sucesivo en la presente se describirán formas de realización ejemplificativas de la presente divulgación de forma detallada, en referencia a los dibujos adjuntos, en donde los numerales de referencia iguales se refieren a los mismos elementos. No obstante, la presente divulgación se puede materializar de muchas maneras diferentes y no debe considerarse como limitada a la forma de realización expuesta en la presente; por el contrario, estas formas de realización se aportan para que la presente divulgación resulte minuciosa y completa, y comunique en su totalidad el concepto de la divulgación a aquellos versados en la materia.

La Fig. 1 es una vista esquemática de un dispositivo de inspección de artículos de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

Tal como se muestra en la Fig. 1, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el dispositivo de inspección de artículos comprende principalmente: una máquina de rayos x, una unidad de colimación 4, una matriz de detectores de transmisión 10 y dos matrices de detectores de dispersión 12, 13.

En esta forma de realización ejemplificativa, en referencia a la Fig. 1, la máquina de rayos x genera rayos x 3 aplicando un haz de electrones 1 para bombardear un blanco de electrones 2. La unidad de colimación 4 forma o conforma los rayos x 3 generados por la máquina de rayos x obteniendo un haz sectorial 5, y proyecta rayos x 6 del haz sectorial 5 en un artículo 7. El haz sectorial 5 se transmitirá a través del artículo 7 según una sección eficaz de transmisión 8.

En referencia también a la Fig. 1, la matriz de detectores de transmisión 10 se proporciona en un lado opuesto a la máquina de rayos x para detectar los rayos x 9 que se transmiten a través del artículo 7, con el fin de formar una imagen bidimensional del artículo 7. Las dos matrices de detectores de dispersión 12, 13 se proporcionan en los dos lados del artículo 7 para detectar fotones de dispersión 11 provenientes del artículo 7, con el fin de formar una imagen tridimensional del artículo 7.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la máquina de rayos x, la unidad de colimación 4 y la matriz de detectores de transmisión 10 pueden ser, cada una de ellas, una de las convencionales que se haya aplicado en un dispositivo tradicional de formación de imágenes por rayos x. Por motivos de claridad, en la presente se omite una descripción de ellas más detallada.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el haz de electrones 1 de la máquina de rayos x debe tener energía suficiente para excitar el blanco de electrones 2 después de que el blanco de electrones 2 se bombardee con el haz de electrones 1 para generar los rayos x 3 con energía suficiente para producir un efecto de pares de electrones, por ejemplo, el haz de electrones 1 de la máquina de rayos x puede tener una energía superior a 1,022 MeV. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el blanco de electrones 2 puede ser un blanco compuesto, integrado por volframio y oro, o puede ser uno cualquiera de los blancos convencionales que se pueden adaptar para la presente invención.

Tal como se muestra en la Fig. 1, durante la transmisión de los rayos x 6 del haz sectorial 5 a través de la sección eficaz de transmisión 8 del artículo 7, los rayos x 6 del haz sectorial 5 se atenúan debido a la aparición del efecto fotoeléctrico, del efecto Compton, del efecto de producción de pares y del efecto de dispersión Rayleigh.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, véase la Fig. 1, la primera matriz de detectores de dispersión 12 se proporciona en el mismo lado del artículo 7 que la máquina de rayos x, y la segunda matriz de detectores de dispersión 13 se proporciona en un lado opuesto del artículo 7 con respecto a la primera matriz de detectores de dispersión 12.

Aunque no se muestra, en la presente invención obsérvese que puede haber una matriz de detectores de dispersión, tres matrices de detectores de dispersión o más.

La Fig. 2 muestra una relación correspondiente entre cada una de las subregiones de una sección eficaz de transmisión del artículo y cada uno de los primeros módulos detectores de dispersión y cada uno de los segundos módulos detectores de dispersión.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, véase la Fig. 1 y la Fig. 2, la primera matriz de detectores de dispersión 12 comprende sesenta y cuatro primeros módulos detectores de dispersión dispuestos en una matriz de 8 filas y 8 columnas, y todos los primeros módulos detectores de dispersión son exactamente iguales entre sí. Tal como se muestra en la Fig. 2, los sesenta y cuatro primeros módulos detectores de dispersión dispuestos en la matriz de 8 filas y 8 columnas comprenden:

- Ocho primeros módulos detectores de dispersión B11 a B18 en una primera línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12;
- 5 Ocho primeros módulos detectores de dispersión B21 a B28 en una segunda línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12;
- Ocho primeros módulos detectores de dispersión B31 a B38 en una tercera línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12;
- 10 Ocho primeros módulos detectores de dispersión B41 a B48 en una cuarta línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12;
- Ocho primeros módulos detectores de dispersión B51 a B58 en una quinta línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12;
- 15 Ocho primeros módulos detectores de dispersión B61 a B68 en una sexta línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12;
- Ocho primeros módulos detectores de dispersión B71 a B78 en una séptima línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12; y
- Ocho primeros módulos detectores de dispersión B81 a B88 en una octava línea de la primera matriz de detectores de dispersión 12.
- 25 De manera similar, véase la Fig. 1 y la Fig. 2, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la segunda matriz de detectores de dispersión 13 comprende 64 segundos módulos detectores de dispersión dispuestos en una matriz de 8 filas y 8 columnas, y los segundos módulos detectores de dispersión son, todos ellos, exactamente iguales entre sí. Tal como se muestra en la Fig. 2, los sesenta y cuatro segundos módulos detectores de dispersión dispuestos en la matriz de 8 filas y 8 columnas comprende:
- 30 Ocho segundos módulos detectores de dispersión C11 a C18 en una primera línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13;
- Ocho segundos módulos detectores de dispersión C21 a C28 en una segunda línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13;
- 35 Ocho segundos módulos detectores de dispersión C31 a C38 en una tercera línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13;
- Ocho segundos módulos detectores de dispersión C41 a C48 en una cuarta línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13;
- 40 Ocho segundos módulos detectores de dispersión C51 a C58 en una quinta línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13;
- Ocho segundos módulos detectores de dispersión C61 a C68 en una sexta línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13;
- 45 Ocho segundos módulos detectores de dispersión C71 a C78 en una séptima línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13; y
- Ocho segundos módulos detectores de dispersión C81 a C88 en una octava línea de la segunda matriz de detectores de dispersión 13.
- 50 De manera similar, continúese en referencia a la Fig. 1 y la Fig. 2, la sección eficaz de transmisión 8 del artículo 7 se divide en sesenta y cuatro subregiones dispuestas en una matriz de 8 filas y 8 columnas, y todas las subregiones son exactamente iguales entre sí. Tal como se muestra en la Fig. 2, las sesenta y cuatro subregiones dispuestas en la matriz de 8 filas y 8 columnas comprenden:
- 60 Ocho subregiones A11 a A18 en una primera línea de la sección eficaz de transmisión 8;
- Ocho subregiones A21 a A28 en una segunda línea de la sección eficaz de transmisión 8;
- Ocho subregiones A31 a A38 en una tercera línea de la sección eficaz de transmisión 8;
- 65

Ocho subregiones A41 a A48 en una cuarta línea de la sección eficaz de transmisión 8;

Ocho subregiones A51 a A58 en una quinta línea de la sección eficaz de transmisión 8;

5 Ocho subregiones A61 a A68 en una sexta línea de la sección eficaz de transmisión 8;

Ocho subregiones A71 a A78 en una séptima línea de la sección eficaz de transmisión 8; y

Ocho subregiones A81 a A88 en una octava línea de la sección eficaz de transmisión 8.

10

Tal como se muestra en la Fig. 2, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, cada una de las subregiones de la sección eficaz de transmisión 8 se corresponde con cada uno de los primeros módulos detectores de dispersión de la primera matriz de detectores de dispersión 12, y cada una de las subregiones de la sección eficaz de transmisión 8 se corresponde con cada uno de los segundos módulos detectores de dispersión de la segunda matriz de detectores de dispersión 13. Por ejemplo, la subregión A11 se corresponde, respectivamente, con el primer módulo detector de dispersión B11 y el segundo módulo detector C11; la subregión A81 se corresponde, respectivamente, con el primer módulo detector de dispersión B81 y el segundo módulo detector de dispersión C81; la subregión A88 se corresponde, respectivamente, con el primer módulo detector de dispersión B88 y el segundo módulo detector de dispersión C88. De este modo, en la forma de realización ejemplificativa de la presente invención, cada uno de los módulos detectores de dispersión únicamente puede detectar fotones de dispersión de la subregión correspondiente de la sección eficaz de transmisión.

15

20

25

Aunque no se muestra, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la primera matriz de detectores de dispersión 12 o la segunda matriz de detectores de dispersión 13 puede comprender, cada una de ellas, una pluralidad de módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de i filas y j columnas, tal como cuatro módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de dos filas y dos columnas, seis módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de 2 filas y 3 columnas, seis módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de 3 filas y 2 columnas, nueve módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de 3 filas y 3 columnas, doce módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de 3 filas y 4 columnas, y así sucesivamente. Es decir, en la forma de realización ejemplificativa de la presente invención, " i " puede ser un entero positivo igual o superior a 2, y " j " puede ser un entero positivo igual o superior a 2. De manera similar, la sección eficaz de transmisión 8 se puede dividir en una pluralidad de subregiones iguales dispuestas en una matriz de i filas y j columnas.

30

35

En la forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la resolución de la imagen tridimensional formada por el dispositivo de inspección de artículos es proporcional a los parámetros " i " y " j ". Es decir, cuando los parámetros entre " i " y " j " aumentan de valor, la resolución de la imagen tridimensional se incrementa. Sin embargo, los parámetros " i " y " j " no pueden ser demasiado grandes, sino el coste del dispositivo de inspección de artículos se eleva mucho.

40

La Fig. 3 es una vista en sección transversal según un plano perpendicular al eje Z mostrado en la Fig. 1. A continuación, se describirá, con respecto a la Fig. 3, el procedimiento de detección de fotones de dispersión generados en subregiones respectivas usando módulos detectores de dispersión respectivos.

45

Como en la anterior descripción, durante la transmisión de los rayos x 6 del haz sectorial 5 a través de la sección eficaz de transmisión 8 del artículo 7, aparecen el efecto fotoeléctrico, el Efecto Compton, el efecto de producción de pares y el efecto de dispersión Rayleigh. Los cuatro efectos se describirán de manera sencilla a continuación.

50

1) Efecto fotoeléctrico

En el efecto fotoeléctrico, se absorben fotones y su energía se convierte en la energía de fotoelectrones y rayos x característicos. En general, los fotoelectrones no pueden ser detectados por los módulos detectores de dispersión, y los rayos x característicos no tienen energía suficiente para pasar a través del artículo y, por lo tanto, no pueden ser detectados por los módulos detectores de dispersión. Sin embargo, debido al efecto *bremstrahlung*, los fotoelectrones se pueden convertir en rayos x que tienen una energía alta y, por lo tanto, pueden ser detectados por los módulos detectores de dispersión. No obstante, la presente invención no tiene interés en absoluto en los rayos x que entran en los módulos detectores de dispersión.

55

60

2) Efecto Compton

Tal como se muestra en la Fig. 3, cuando los rayos x incidentes 6 reaccionan con subregiones respectivas de la sección eficaz de transmisión 8 del artículo 7, puede aparecer el Efecto Compton.

65

Cuando los rayos x incidentes 6 reaccionan con la subregión A11, véase la Fig. 3, algunos fotones de dispersión por efecto Compton 21_11_P1 pueden entrar en un detector de dispersión de un primer módulo detector de

dispersión B11. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer módulo detector de dispersión B11 está diseñado y dispuesto de manera que solamente los fotones de dispersión por efecto Compton 21_11_P1 de una subregión A11 correspondiente al primer módulo detector de dispersión B11 pueden entrar en el primer módulo detector de dispersión B11. De manera similar, uno cualquiera de los otros primeros módulos detectores de dispersión B12 a B18 está también diseñado y dispuesto para recibir únicamente los fotones de dispersión por efecto Compton de una subregión correspondiente al mismo. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 3, el primer módulo detector de dispersión B12 únicamente puede recibir los fotones de dispersión por efecto Compton 22_11_P1 de la subregión A12..., el primer módulo detector de dispersión B18 únicamente puede recibir los fotones de dispersión por efecto Compton 28_11_P1 de la subregión A18.

De manera similar, véase la Fig. 3, cuando los rayos x incidentes 6 reaccionan con la subregión A11, algunos fotones de dispersión por efecto Compton 21_11_P2 pueden entrar en un detector de dispersión de un segundo módulo detector de dispersión C11 correspondiente a la misma subregión A11. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el segundo módulo detector de dispersión C11 está diseñado y dispuesto de manera que solamente los fotones de dispersión por efecto Compton 21_11_P2 de la subregión A11 correspondiente al segundo módulo detector de dispersión C11 pueden entrar en el segundo módulo detector de dispersión C11. De manera similar, uno cualquiera de los otros segundos módulos detectores de dispersión C12 a C18 está también diseñado y dispuesto para únicamente recibir los fotones de dispersión por efecto Compton de una subregión correspondiente al mismo. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 3, el segundo módulo detector de dispersión C12 únicamente puede recibir los fotones de dispersión por efecto Compton 22_11_P2 de la subregión A12..., el segundo módulo detector de dispersión C18 únicamente puede recibir los fotones de dispersión por efecto Compton 28_11_P2 de la subregión A18.

Es bien sabido que la sección eficaz de dispersión Compton es proporcional al número atómico cuando la energía de los rayos x incidentes 6 es constante. Por lo tanto, en caso de que subregiones respectivas del artículo tengan la misma densidad atómica, cuanto mayor sea el número atómico de una subregión del artículo, mayor será el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton detectado por un módulo detector de dispersión correspondiente a la subregión.

3) Efecto de producción de pares

Tal como se muestra en la Fig. 3, cuando los rayos x incidentes 6 reaccionan con subregiones respectivas de la sección eficaz de transmisión 8 del artículo 7, puede producirse el efecto de pares de electrones. En el efecto de pares de electrones, debido a que el vuelo, en un sólido, de un positrón producido por el efecto de pares de electrones es del orden de milímetros, cada positrón es aniquilado y finalmente se convierte en dos fotones gamma con una energía, cada uno de ellos, de 511 KeV, siendo la subregión A11 la posición en la que se producen los dos fotones gamma.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, consúltese la Fig. 3, el primer módulo detector de dispersión B11 está diseñado y dispuesto de manera que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C de una subregión A11 correspondiente al primer módulo detector de dispersión B11, pueden entrar en el primer módulo detector de dispersión B11. De manera similar, uno cualquiera de los otros primeros módulos detectores de dispersión B12 a B18 está también diseñado y dispuesto para recibir únicamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares de una subregión correspondiente al mismo. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 3, el primer módulo detector de dispersión B12 únicamente puede recibir los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 22_11_C de la subregión A12..., el primer módulo detector de dispersión B18 únicamente puede recibir los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 28_11_C de la subregión A18.

De manera similar, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, consúltese la Fig. 3, el segundo módulo detector de dispersión C11 está diseñado y dispuesto de manera que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C de la subregión A11 correspondiente al segundo módulo detector de dispersión C11, pueden entrar en el segundo módulo detector de dispersión C11. De manera similar, uno cualquiera de los otros segundos módulos detectores de dispersión C12 a C18 está también diseñado y dispuesto para recibir únicamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares de una subregión correspondiente al mismo. Por ejemplo, tal como se muestra en la Fig. 3, el segundo módulo detector de dispersión C12 únicamente puede recibir los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 22_11_C de la subregión A12..., el segundo módulo detector de dispersión C18 únicamente puede recibir los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 28_11_C de la subregión A18.

Es bien sabido que la sección eficaz del efecto de producción de pares es proporcional a la segunda potencia del número atómico. Por lo tanto, en caso de que subregiones respectivas del artículo tengan una misma densidad atómica, cuanto mayor sea el número atómico de una subregión del artículo, mayor será el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares detectado por un módulo detector de dispersión correspondiente a la subregión.

4) Efecto de dispersión Rayleigh

Cuando los rayos x incidentes 6 tienen una energía superior a 1,022 MeV, el efecto de dispersión Rayleigh puede omitirse ya que la sección eficaz de dispersión Rayleigh es muy pequeña.

En cuanto a los cuatro anteriores efectos de dispersión, tanto la primera como la segunda matrices de detectores de dispersión 12, 13 tienen interés únicamente en el efecto de dispersión Compton y en el efecto de producción de pares. Como en la descripción anterior, el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton y el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares son proporcionales a la primera potencia y la segunda potencia, respectivamente, del número atómico. Por lo tanto, la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares detectado por las matrices de detectores de dispersión 12, 13, con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton detectado por las matrices de detectores de dispersión 12, 13, es proporcionar a la primera potencia del número atómico. Por consiguiente, la información del número atómico de subregiones respectivas del artículo puede obtenerse por medio de la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton.

La Fig. 4 muestra una correlación entre la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton y el número atómico, cuando los rayos x incidentes 6 tienen energías diferentes.

En referencia a la Fig. 4, existe una relación lineal excelente entre el número atómico y la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton. Por tanto, el número atómico se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$Z_{pc} = \frac{C_{-par}}{C_{-compton}} \propto Z$$

En donde,

C_{-par} es el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares;

$C_{-compton}$ es el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton

Z_{pc} es la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton;

Z es el número atómico.

En la práctica, debido a algunos errores inevitables, es necesario calibrar la correlación entre la relación Z_{pc} y el número atómico Z en concordancia con experimentos.

Igual que la descripción anterior, la sección eficaz de transmisión 8 del artículo 7 se divide en una pluralidad de subregiones iguales dispuestas en una matriz de i filas y j columnas, y la primera y la segunda matrices de detectores de dispersión 12, 13 comprenden, cada una de ellas correspondientemente, una pluralidad de módulos detectores de dispersión iguales dispuestos en una matriz de i filas y j columnas. Por tanto, los números atómicos en las subregiones, dispuestas en una matriz de i filas y j columnas, de la sección eficaz de transmisión 8 se pueden obtener con la información de detección de los módulos detectores de dispersión, dispuestos en una matriz de i filas y j columnas, de las matrices de detectores de dispersión 12, 13. Cuando el artículo se ha escaneado en su totalidad, pueden obtenerse los números atómicos en cada subregión de cada sección eficaz de transmisión 8 del artículo, y, entonces, puede formarse una imagen tridimensional del artículo completo de acuerdo con los números atómicos en cada subregión del artículo.

La Fig. 5 es una vista estructural esquemática de un par de módulos detectores de dispersión de la primera y la segunda matrices de detectores de dispersión correspondientes a una subregión. Un par de módulos detectores correspondientes a la misma subregión puede considerarse como una unidad de detección, con lo que, la primera y la segunda matrices de detectores de dispersión 12, 13 forman 64 unidades de detección.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, cada uno de los primeros módulos detectores de dispersión de la primera matriz de detectores de dispersión 12 es exactamente igual que cada uno de los segundos módulos detectores de dispersión de la segunda matriz de detectores de dispersión 13. En este caso, se describirán solamente el primer módulo detector de dispersión B11 y el segundo módulo detector de dispersión C11 que se corresponden, ambos, con la subregión A11, tal como se muestra en la Fig. 5.

En referencia a la Fig. 5, el primer módulo detector de dispersión B11 comprende un primer detector B11_1 y un primer colimador B11_2. En la forma de realización ejemplificativa ilustrada, el primer colimador B11_2 está configurado para permitir que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P1 de la subregión A11 correspondiente al primer colimador B11_2, entren en el primer detector B11_1, es decir, el primer colimador B11_2 está configurado para absorber sustancialmente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones dispersados por efecto Compton de otras subregiones que no se corresponden con el primer colimador B11_2.

De manera similar, también en referencia a la Fig. 5, el segundo módulo detector de dispersión C11 comprende un segundo detector C11_1 y un segundo colimador C11_2. En la forma de realización ejemplificativa ilustrada, el segundo colimador C11_2 está configurado para permitir que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P2 de la subregión A11 correspondiente al segundo colimador C11_2, entren en el segundo detector C11_1, es decir, el segundo colimador C11_2 está configurado para absorber sustancialmente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones dispersados por efecto Compton de otras subregiones que no se corresponden con el segundo colimador C11_2.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer detector B11_1 o el segundo detector C11_1 puede ser un tipo de detector con una alta resolución energética y una característica de respuesta temporal rápida.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer detector B11_1 o el segundo detector C11_1 puede ser un detector de centellador plástico o un detector de centellador líquido. Tanto el detector de centellador plástico como el detector de centellador líquido tienen una característica de respuesta temporal rápida y pueden detectar los fotones gamma en nanosegundos.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer detector B11_1 o el segundo detector C11_1 puede ser un detector de $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ o un detector de $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$. El detector de $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ y el detector de $\text{CaCl}_3(\text{Ce})$ tienen, ambos, una alta resolución energética y una característica de respuesta temporal rápida.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer detector B11_1 o el segundo detector C11_1 puede ser un detector de HPGe. El detector de HPGe tiene una excelente resolución energética, aunque presenta una pobre característica de respuesta temporal.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer detector B11_1 o el segundo detector C11_1 puede ser un detector de CdZnTe. El detector de CdZnTe también presenta una excelente resolución energética aunque tiene una característica de respuesta temporal pobre y su precio es muy alto.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer colimador B11_2 o el segundo colimador C11_2 se puede realizar con plomo, acero o cobre. De esta manera, el primer colimador B11_2 o el segundo colimador C11_2 puede absorber eficazmente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones dispersados por efecto Compton de otras subregiones que no se corresponden con el mismo, y permite que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los efectos dispersados por efecto Compton de la subregión A11 correspondiente a él, entren en su detector.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, tal como se muestra en la Fig. 5, el primer módulo detector de dispersión B11 comprende además un primer blindaje B11_3 para evitar que los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P1 de subregiones que no se corresponden con el primer módulo detector de dispersión B11, entren en el primer detector B11_1, y, particularmente, para evitar que diversos rayos x de transmisión o dispersión del blanco de electrones 2 entren en el primer detector B11_1. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer blindaje B11_3 se puede realizar con plomo, acero o cobre, u otro material adecuado.

De manera similar, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, tal como se muestra en la Fig. 5, el segundo módulo detector de dispersión C11 comprende además un segundo blindaje C11_3 para evitar que los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P2 de subregiones que no se corresponden con el segundo módulo detector de dispersión C11, entren en el segundo detector C11_1, y, particularmente, para evitar que diversos rayos x de transmisión o dispersión del blanco de electrones 2, entren en el segundo detector C11_1. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el segundo blindaje C11_3 se puede realizar con plomo, acero o cobre, u otro material adecuado.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, tal como se muestra en la Fig. 5, el primer módulo detector de dispersión B11 comprende además una primera hardenita B11_4 para disminuir la intensidad

de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y de los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P1 de la subregión A11 que se corresponde con el primer módulo detector de dispersión B11, con el fin de disminuir la intensidad de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y de los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P1 que entran en el primer detector B11_1. De lo contrario, el primer detector B11_1 se puede situar en un estado de funcionamiento anómalo debido a que el índice del recuento es demasiado alto. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la primera hardenita B11_4 puede realizarse con plomo, acero o cobre, u otro material adecuado.

De manera similar, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, tal como se muestra en la Fig. 5, el segundo módulo detector de dispersión C11 comprende además una segunda hardenita C11_4 para disminuir la intensidad de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y de los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P2 de la subregión A11 que se corresponde con el segundo módulo detector de dispersión C11, con el fin de disminuir la intensidad de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares 21_11_C y de los fotones dispersados por efecto Compton 21_11_P2 que entran en el segundo detector C11_1. De lo contrario, el segundo detector C11_1 se puede situar en un estado de funcionamiento anómalo debido a que el índice del recuento sea demasiado alto. En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la segunda hardenita C11_4 se puede realizar con plomo, acero o cobre, u otro material adecuado.

En referencia también a la Fig. 5, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer detector B11_1 está situado en una rendija de colimación del primer colimador B11_2. El primer blindaje B11_3 está dispuesto en un lado del primer colimador B11_2 opuesto a la primera hardenita B11_4, y sella una abertura de la rendija de colimación en dicho un lado. La primera hardenita B11_4 está dispuesta en el otro lado del primer colimador B11_2, y sella la otra abertura de la rendija de colimación en dicho otro lado.

De manera similar, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, en referencia continuada a la Fig. 5, el segundo detector C11_1 está situado en una rendija de colimación del segundo colimador C11_2. El segundo blindaje C11_3 está dispuesto en un lado del segundo colimador C11_2 opuesto a la segunda hardenita C11_4, y sella una abertura de la rendija de colimación en dicho un lado. La segunda hardenita C11_4 está dispuesta en el otro lado del segundo colimador C11_2, y sella la otra abertura de la rendija de colimación en dicho otro lado.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el primer blindaje B11_3 y el primer colimador B11_2 se forman en una sola pieza. Sin embargo, obsérvese que el primer blindaje B11_3 y el primer colimador B11_2 se pueden formar en dos piezas individuales. De manera similar, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el segundo blindaje C11_3 y el segundo colimador C11_2 se forman en una sola pieza. Sin embargo, obsérvese que el segundo blindaje C11_3 y el segundo colimador C11_2 se pueden formar en dos piezas individuales.

La Fig. 6 muestra espectros de energía de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y de los fotones dispersados por efecto Compton que entran en la primera y la segunda matrices de detectores de dispersión.

Tal como se muestra en la Fig. 6, los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares tienen una energía de 511 KeV.

Tal como muestra la fórmula de la Fig. 6, la energía de los fotones de dispersión por efecto Compton está relacionada principalmente con dos parámetros: el ángulo de dispersión Compton θ (véase la Fig. 3) y la energía $h\nu$ de los rayos x incidentes 6. Debido a que el espectro energético de los rayos x incidentes 6 es un espectro de energía continuo, el espectro de energía de los fotones de dispersión por efecto Compton es también un espectro de energía continuo, tal como se muestra en la Fig. 6.

En los diversos tipos de detectores antes mencionados, se prefieren el detector de centellador plástico y el detector de centellador líquido, ya que presentan la característica de respuesta temporal más rápida, y pueden detectar los fotones gamma en nanosegundos. Además, otros tipos de detectores no pueden detectar señales en nanosegundos, por ejemplo, cuando la anchura del impulso de la máquina de rayos x es aproximadamente 5 μ s. El detector de HPGe puede detectar solamente una señal dentro de la anchura del impulso, el detector de LaBr₃(Ce) o el detector de LaCl₃(Ce) únicamente puede detectar menos de diez señales dentro de la anchura del impulso, y el detector de CdZnTe también puede detectar solamente diversas señales dentro de la anchura del impulso.

Para detectar más fotones dentro de la anchura del impulso de la máquina de rayos x, se prefieren el detector de centellador plástico y el detector de centellador líquido. Sin embargo, el detector de centellador plástico y el detector de centellador líquido presentan una resolución energética baja. Por lo tanto, resulta difícil para el detector de centellador plástico y el detector de centellador líquido discriminar los fotones de aniquilación de 511 KeV con respecto a fotones de dispersión por efecto Compton a través de los espectros de energía. Obsérvese

que los otros tipos de detectores presentan también el mismo problema que el detector de centellador plástico y el detector de centellador líquido. Por consiguiente, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, se proporciona un método y un sistema de recuento de coincidencias para discriminar eficazmente los fotones de dispersión por efecto Compton con respecto a los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares.

La Fig. 7 muestra un diagrama de bloques esquemático de un sistema de recuento de coincidencias. El sistema de recuento de coincidencias de la Fig. 7 se corresponde con la subregión A11 y se usa para la misma (véase la Fig. 3).

En primer lugar, tal como se muestra en la Fig. 7, después de detectar los fotones de la subregión A11 (véase la Fig. 5), el primer módulo detector de dispersión B11 da salida a una primera señal analógica SB11 hacia un primer discriminador de fracción constante CFD1. De manera similar, después de detectar los fotones de la subregión A11 (véase la Fig. 5), el segundo módulo detector de dispersión C11 da salida a una segunda señal analógica SC11 hacia un segundo discriminador de fracción constante CFD2.

En segundo lugar, tal como se muestra en la Fig. 7, después de que la primera señal analógica SB11 se introduzca en el primer discriminador de fracción constante CFD1, el primer discriminador de fracción constante CFD1 convierte la primera señal analógica SB11 en una primera señal de tiempo DB11. De modo similar, después de que la segunda señal analógica SC11 se introduzca en el segundo discriminador de fracción constante CFD2, el segundo discriminador de fracción constante CFD2 convierte la segunda señal analógica SC11 en una segunda señal de tiempo DC11.

Por medio del primer discriminador de fracción constante, la primera señal de tiempo DB11 puede indicar de manera precisa el tiempo en el que se forma la primera señal analógica SB11, y, por medio del segundo discriminador de fracción constante, la segunda señal de tiempo DC11 puede indicar de forma precisa el tiempo en el que se forma la segunda señal analógica SC11.

El primer discriminador de fracción constante CFD1 o el segundo discriminador de fracción constante CFD2 puede ser un discriminador de fracción constante convencional que es bien conocido para aquellos versados en esta técnica. El discriminador de fracción constante puede obtener de forma precisa información de tiempo a partir de la señal analógica SB11 o SC11. Sin embargo, la presente invención no se limita a esto, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, el discriminador de fracción constante se puede sustituir por un discriminador de umbral tradicional que también puede obtener las señales de tiempo DB11, DC11.

En tercer lugar, tal como se muestra en la Fig. 7, tanto la primera señal de tiempo DB11 como la segunda señal de tiempo DC11 se introducen en un circuito de coincidencia de tiempo correspondiente a la subregión A11, el circuito de coincidencia de tiempo determina si la primera señal de tiempo DB11 y la segunda señal de tiempo DC11 se introducen "casi simultáneamente" en el mismo. En este caso, la expresión "casi simultáneamente" significa que la diferencia de tiempo entre el tiempo en el que el primer módulo detector de dispersión B11 recibe los fotones y el tiempo en el que el segundo módulo detector de dispersión C11 recibe los fotones, está dentro de un intervalo predeterminado.

Cuando la primera señal de tiempo DB11 y la segunda señal de tiempo DC11 se introducen "casi simultáneamente" en el circuito de coincidencia de tiempo, el circuito de coincidencia de tiempo da salida a una señal de coincidencia de tiempo Coin1 hacia el contador de coincidencias, y el contador de coincidencias se incrementa en "1", y esto significa que se detectan dos fotones de aniquilación por efecto de producción de pares de 511 KeV. El valor acumulativo Par 1 del contador de coincidencias durante un periodo de tiempo predeterminado indica el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares.

Además, la primera señal de tiempo DB11 se introduce individualmente en un primer contador de dispersión. Una vez que el primer contador de dispersión recibe una primera señal de tiempo DB11, el primer contador de dispersión se incrementa en "1". Durante un periodo de tiempo predeterminado, el primer contador de dispersión puede contener un valor acumulativo PB11 que indica el recuento del primer contador de dispersión. Obsérvese que el recuento del primer contador de dispersión PB11 incluye el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares Par1 y el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton.

Además, la segunda señal de tiempo DC11 se introduce individualmente en un segundo contador de dispersión. Una vez que el segundo contador de dispersión recibe una segunda señal de tiempo DC11, el segundo contador de dispersión se incrementa en "1". Durante un periodo de tiempo predeterminado, el segundo contador de dispersión puede obtener un valor acumulativo PC11 que indica el recuento del segundo contador de dispersión. Obsérvese que el recuento del segundo contador de dispersión PC11 incluye el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares Par1 y el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton.

La Fig. 8 muestra diagramas secuenciales de diversas señales y parámetros mostrados en la Fig. 7. Tal como se muestra en la Fig. 8, el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares Par1 se

incrementa en "1" una vez que se producen "casi simultáneamente" la entrada de la primera señal de tiempo DB11 y la entrada de la segunda señal de tiempo DC11, el recuento del primer contador de dispersión PB11 se incrementa en "1" una vez que se produce la entrada de la primera señal de tiempo DB11, y el recuento del segundo contador de dispersión PC11 se incrementa en "1" una vez que se produce la entrada de la segunda señal de tiempo DC11. Evidentemente, el valor Par1 es inferior al valor PB11 o al valor PC11.

En la presente, la correlación entre el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton se puede obtener con el valor Par1 y el valor PB11. De manera similar, la correlación entre el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y el recuento de fotones de dispersión por efecto Compton también se puede obtener con el valor Par1 y el valor PC11.

En la práctica, la eficiencia de detección de un módulo detector de dispersión para los fotones de dispersión por efecto Compton está relacionada con muchos factores, tales como la posición, el ángulo de dispersión, y otros. Por lo tanto, en la Fig. 7 y la Fig. 8, la eficiencia de detección del primer módulo detector de dispersión B11 para los fotones de dispersión por efecto Compton es diferente de la eficiencia de detección del segundo módulo detector de dispersión C11 para los fotones de dispersión por efecto Compton.

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, puede obtenerse, a través de experimentos, una eficiencia de detección media del primer y del segundo módulos detectores de dispersión B11 y C11. En la presente, la eficiencia de detección media del primer y del segundo módulos detectores de dispersión B11 y C11 se define, respectivamente, como ϵ_b y ϵ_c . La eficiencia de detección del primer y del segundo módulos detectores de dispersión para los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares se define como ϵ_{par} .

Por tanto, en una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton se puede calcular mediante la siguiente fórmula (1) o la siguiente fórmula (2):

$$Z_{pc} = (Par1/\epsilon_{par}) / [(PB11 - Par1/\epsilon_{par})/\epsilon_b] \quad (1)$$

$$Z_{pc} = (Par1/\epsilon_{par}) / [(PC11 - Par1/\epsilon_{par})/\epsilon_c] \quad (2)$$

donde,

Z_{pc} es la relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton;

Par1 es el recuento del contador de coincidencias;

ϵ_{par} es la eficiencia de detección del primer y del segundo módulos detectores de dispersión con respecto a los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares;

PB11 es el recuento del primer contador de dispersión;

ϵ_b es la eficiencia de detección del primer módulo detector de dispersión para los fotones de dispersión por efecto Compton;

PC11 es el recuento del segundo contador de dispersión;

ϵ_c es la eficiencia de detección del segundo módulo detector de dispersión para los fotones de dispersión por efecto Compton.

Obsérvese que el valor $Par1/\epsilon_{par}$ en la fórmula (1) o (2) puede ser mayor que los números de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares, generados en la práctica, ya que dos fotones de 511 KeV generados entre los fotones de dispersión por efecto Compton, o entre el fotón de dispersión por efecto Compton y el fotón de aniquilación por efecto de producción de pares, o por electrones positivos no homogéneos, también pueden considerarse como fotones de aniquilación por efecto de producción de pares de 511 KeV. Para evitar este problema, es necesario incrementar la capacidad de resolución temporal del sistema de recuento de coincidencias en la Fig. 7, y la capacidad de resolución temporal depende principalmente de los siguientes factores:

1) Tiempo de luminosidad del detector

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, puede seleccionarse el detector de centellador plástico, ya que su tiempo de luminosidad es del orden de nanosegundo.

5 2) Diferencia en los niveles de las señales de voltaje de impulsos, a los que dan salida los detectores después de que se detecten los fotones gamma

En una forma de realización ejemplificativa de la presente invención, debido a que la misma adopta discriminadores de fracción constante, puede omitirse la influencia de la diferencia de las señales de voltaje de impulsos a las que dan salida los detectores después de que se detecten los fotones gamma.

10 3) Diferencia de las formas de las señales de voltaje de impulsos a las que dan salida los detectores después de que se detecten los fotones gamma

15 Este factor puede resolverse bien, considerando adecuadamente el conjunto encapsulado (*package*) y el reflejo de luz del detector y similares.

4) Tiempo de resolución del circuito de coincidencia de tiempo

20 El tiempo de resolución del circuito de coincidencia de tiempo debe fijarse a un valor lo menor posible.

Aquellos versados en el campo de la técnica nuclear deben conocer cómo ajustar los factores anteriores para incrementar la capacidad de resolución temporal del sistema de recuento de coincidencias basándose en experimentos convencionales. Por consiguiente, se omite una descripción adicional sobre ello.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de inspección de artículos, que comprende:

5 una máquina de rayos x;
una unidad de colimación (4) para conformar rayos x generados por la máquina de rayos x obteniendo un haz sectorial (5) con el fin de proyectar un artículo;

10 una matriz de detectores de transmisión (10) para detectar los rayos x que se transmiten a través del artículo con el fin de formar una imagen bidimensional del artículo; y

15 por lo menos una matriz de detectores de dispersión (12, 13) que comprende, cada una de ellas, una pluralidad de módulos detectores de dispersión idénticos (B_{xy} , (xy)) dispuestos en una matriz de i filas y j columnas, estando una sección eficaz de transmisión del artículo, transmitida por los rayos x, dividida en una pluralidad de subregiones idénticas dispuestas en una matriz de i filas y j columnas,

20 en el que la pluralidad de módulos detectores de dispersión dispuestos en i filas y j columnas se corresponde con la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, para detectar fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y fotones de dispersión por efecto Compton de las respectivas subregiones producidas por los rayos x,

25 caracterizado por que el dispositivo de inspección de artículos está configurado para obtener números atómicos de las respectivas subregiones basándose en una relación del recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por efecto Compton, de manera que se forme una imagen tridimensional del artículo,

en el que "i" es un entero positivo igual o superior a 2, y "j" es un entero positivo igual o superior a 2,

30 en el que cada módulo detector de dispersión está diseñado y dispuesto de manera que solamente los fotones de dispersión por efecto Compton de la subregión correspondiente al módulo detector de dispersión, pueden entrar en el módulo detector de dispersión, comprendiendo cada módulo detector de dispersión un colimador; y

35 en el que, dicha por lo menos una matriz de detectores de dispersión (12, 13) comprende además dos matrices de detectores de dispersión compuestas por:

40 una primera matriz de detectores de dispersión (12) que tiene una pluralidad de primeros módulos detectores de dispersión iguales (B_{xy}) dispuestos en una matriz de i filas y j columnas; y

una segunda matriz de detectores de dispersión (13) que tiene una pluralidad de segundos módulos detectores de dispersión iguales (xy) dispuestos en una matriz de i filas y j columnas;

en el que, el dispositivo de inspección de artículos además comprende:

45 una pluralidad de contadores de coincidencias correspondientes a la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, en donde, cuando uno de los primeros módulos detectores de dispersión y uno de los segundos módulos detectores de dispersión correspondientes a una misma subregión reciben "casi simultáneamente" el fotón de la misma subregión, el contador de coincidencias correspondiente a la
50 misma subregión se incrementa en "1", de manera que se obtenga el recuento de fotones de aniquilación por efecto de producción de pares; en donde la expresión "casi simultáneamente" significa que la diferencia del tiempo entre un tiempo en el que el primer módulo detector de dispersión recibe el fotón y un tiempo en el que el segundo módulo detector de dispersión recibe el fotón está dentro de un intervalo predeterminado;
y

55 una pluralidad de primeros contadores de dispersión correspondientes a la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, en donde, cuando uno de los primeros módulos detectores de dispersión correspondiente a una subregión recibe el fotón de esa subregión, el primer contador de dispersión correspondiente a la subregión se incrementa en "1", de manera que se obtenga el recuento de
60 fotones de dispersión por efecto Compton.

2. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 1, que además comprende:

65 una pluralidad de segundos contadores de dispersión correspondientes a la pluralidad de subregiones dispuestas en i filas y j columnas, uno a una, en donde, cuando uno de los segundos módulos detectores

de dispersión correspondiente a una subregión recibe el fotón de esa subregión, el segundo contador de dispersión correspondiente a la subregión se incrementa en "1".

3. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 2, en el que

el primer módulo detector de dispersión y el segundo módulo detector de dispersión correspondientes a la misma subregión están conectados, respectivamente, a un primer discriminador de temporización constante y a un segundo discriminador de fracción constante para convertir una primera señal analógica detectada por el primer módulo detector de dispersión y una segunda señal analógica detectada por el segundo módulo detector de dispersión, en una primera señal de tiempo y una segunda señal de tiempo;

la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen, respectivamente, en el primer contador de dispersión y el segundo contador de dispersión correspondientes a la misma subregión;

la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen, ambas, en un circuito de coincidencia de tiempo correspondiente a la misma subregión, determinando el circuito de coincidencia de tiempo si la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen en el mismo "casi simultáneamente", y, cuando la primera señal de tiempo y la segunda señal de tiempo se introducen "casi simultáneamente" en el circuito de coincidencia de tiempo, el circuito de coincidencia de tiempo da salida a una señal de coincidencia de tiempo hacia el contador de coincidencias correspondiente a la misma subregión.

4. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 2, en el que la relación del recuento de fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por el efecto Compton se calcula mediante la siguiente fórmula (1) o la siguiente fórmula (2):

$$Z_{pc} = (Par1/\varepsilon_{par}) / [(PB11 - Par1/\varepsilon_{par})/\varepsilon_b] \quad (1)$$

$$Z_{pc} = (Par1/\varepsilon_{par}) / [(PC11 - Par1/\varepsilon_{par})/\varepsilon_c] \quad (2)$$

en la que,

Z_{pc} es la relación del recuento de fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares con respecto al recuento de fotones de dispersión por el efecto Compton;

$Par1$ es el recuento del contador de coincidencias;

ε_{par} es una eficiencia de inspección del primer y segundo módulos detectores de dispersión para los fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares;

$PB11$ es el recuento del primer contador de dispersión;

ε_b es una eficiencia de detección del primer módulo detector de dispersión para los fotones de dispersión por efecto Compton;

$PC11$ es el recuento del segundo contador de dispersión;

ε_c es la eficiencia de detección del segundo módulo detector de dispersión para los fotones de dispersión por efecto Compton.

5. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 2, en el que

cada uno de los primeros módulos detectores de dispersión es igual que cada uno de los segundos módulos detectores de dispersión; y

cada uno de los módulos detectores de dispersión comprende:

un detector ($B11_1$); y

dicho colimador ($B11_2$) para absorber los fotones de aniquilación por el efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por el efecto Compton de otras subregiones que no se corresponden con el colimador para permitir que solamente los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por efecto Compton de la subregión mencionada correspondiente al colimador entren en el detector.

6. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 5, en el que el detector (B11_1) es un detector de centellador plástico, un detector de centellador líquido, un detector de $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$, un detector de $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$, un detector de HPGe o un detector de CdZnTe.
- 5 7. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 5, en el que el colimador está realizado a partir de plomo, acero o cobre.
8. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 5, en el que cada uno de los módulos detectores de dispersión además comprende:
- 10 un blindaje (B11_3) para evitar que los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por efecto Compton, de unas subregiones que no se corresponden con el colimador del módulo detector de dispersión, entren en el detector.
- 15 9. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 8, en el que el blindaje está realizado a partir de plomo, acero o cobre.
10. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 8, en el que cada uno de los módulos detectores de dispersión además comprende:
- 20 una hardenita (B11_4) para disminuir la intensidad de los fotones de aniquilación por efecto de producción de pares y los fotones de dispersión por efecto Compton de la subregión correspondiente al colimador del módulo detector de dispersión.
- 25 11. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 10, en el que la hardenita está realizada a partir de plomo, acero o cobre.
12. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 10, en el que
- 30 el detector está situado en una rendija de colimación del colimador;
- el blindaje está dispuesto en un lado del colimador opuesto al artículo, y sella una abertura de la rendija de colimación en dicho un lado; y
- 35 la hardenita está dispuesta en el otro lado del colimador, encarado al artículo, y sella la otra abertura de la rendija de colimación en dicho otro lado.
13. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 12, en el que el blindaje y el colimador están formados en una pieza.
- 40 14. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 1, en el que la máquina de rayos x es una máquina de rayos x monoenergética o una máquina de rayos x polienergética.
- 45 15. Dispositivo de inspección de artículos según la reivindicación 1, en el que los rayos x generados por la máquina de rayos x tienen una energía superior a 1,022 MeV.

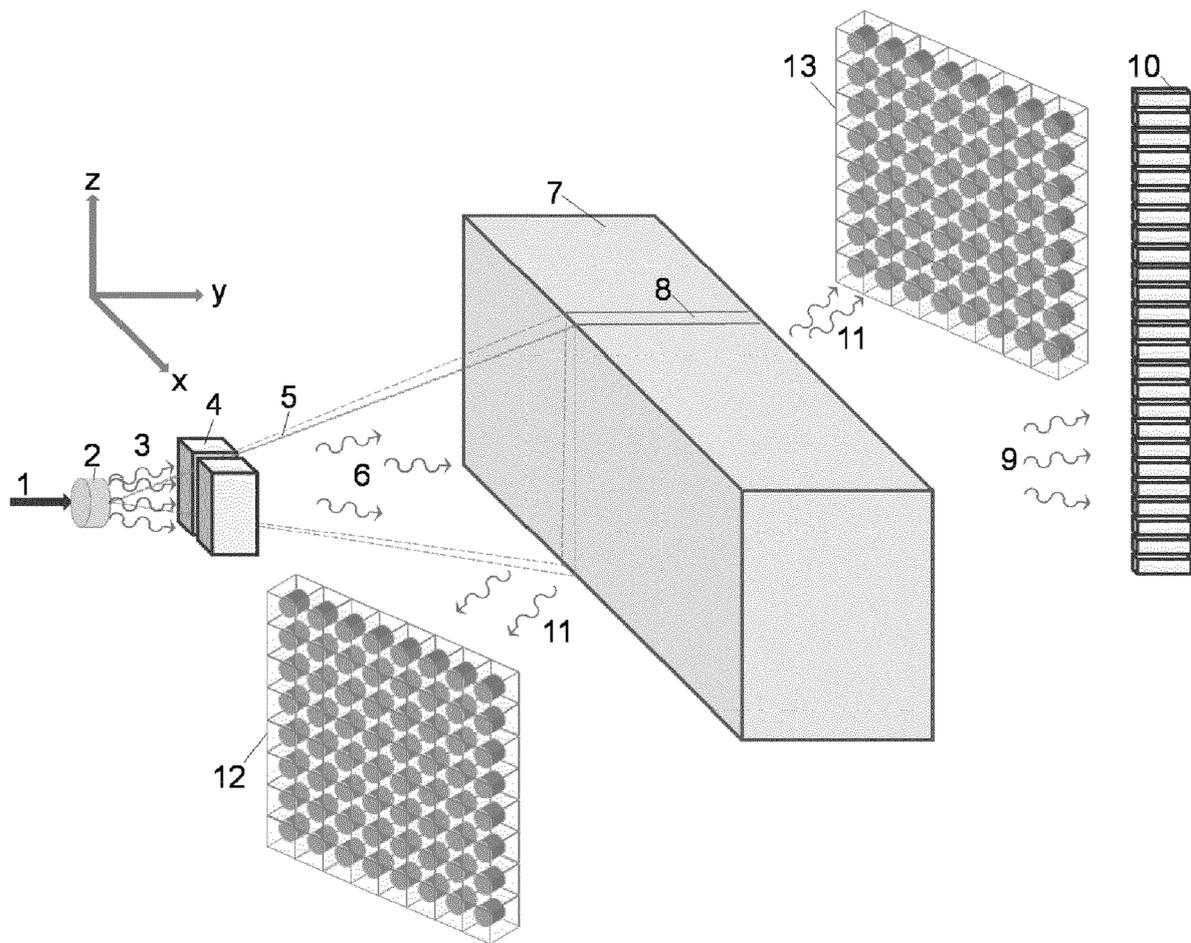


Fig.1

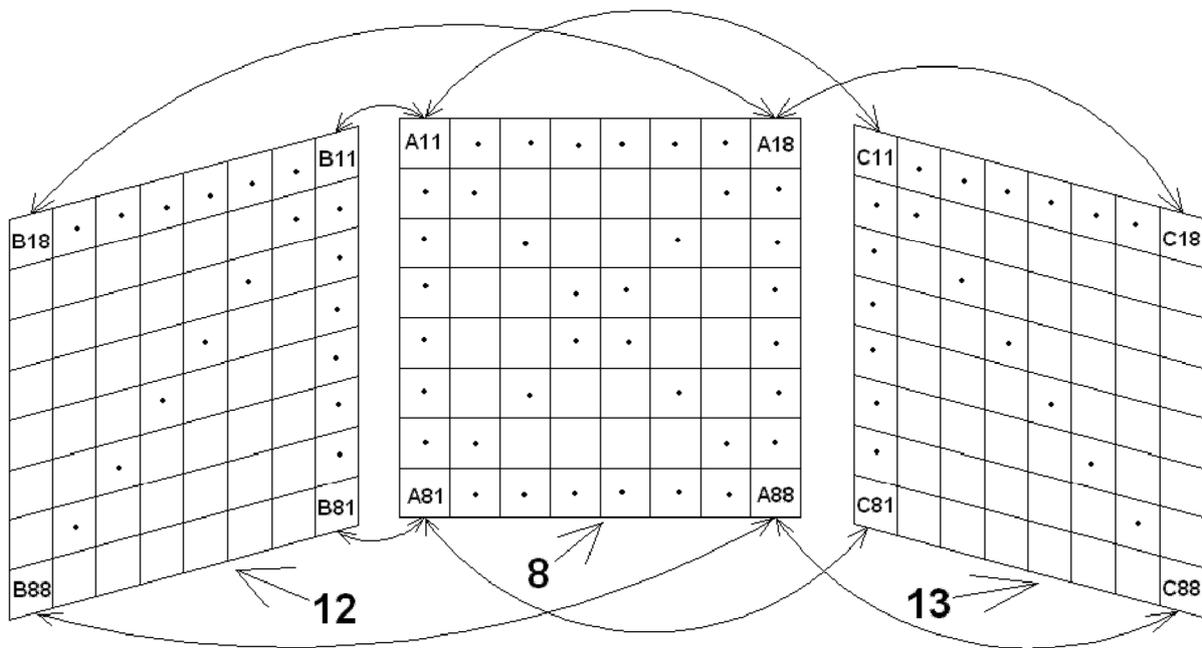


Fig.2

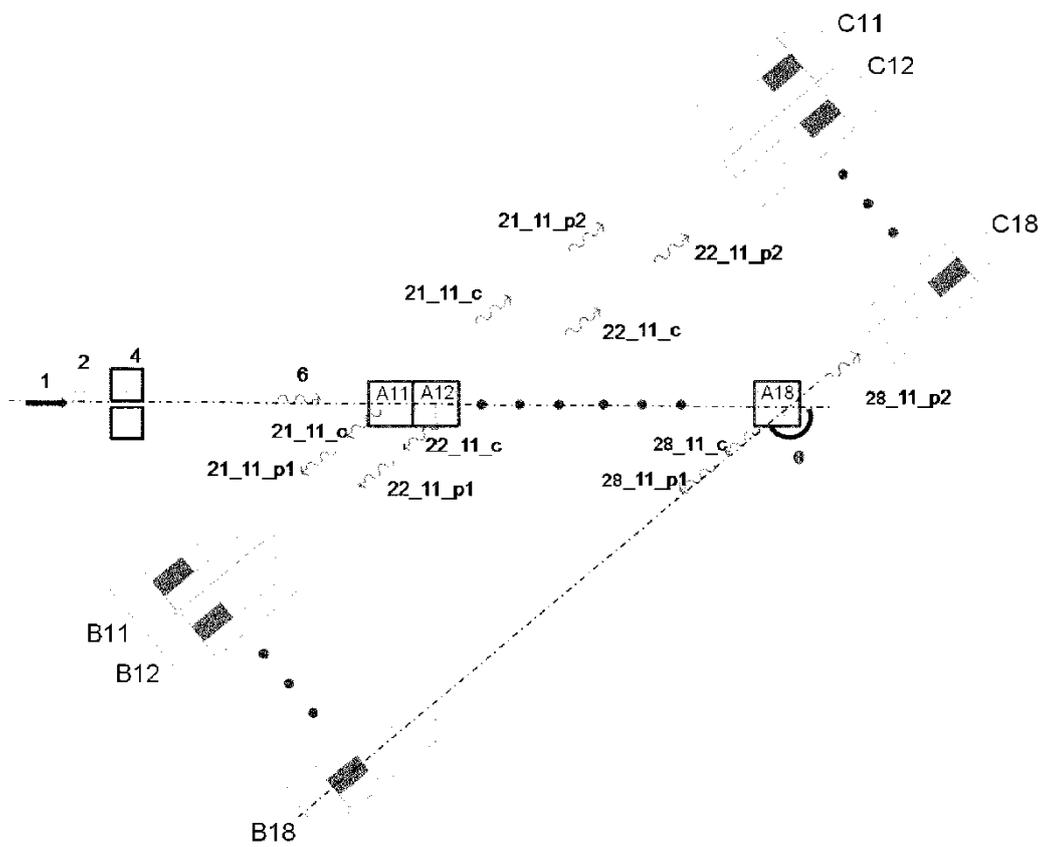


Fig.3

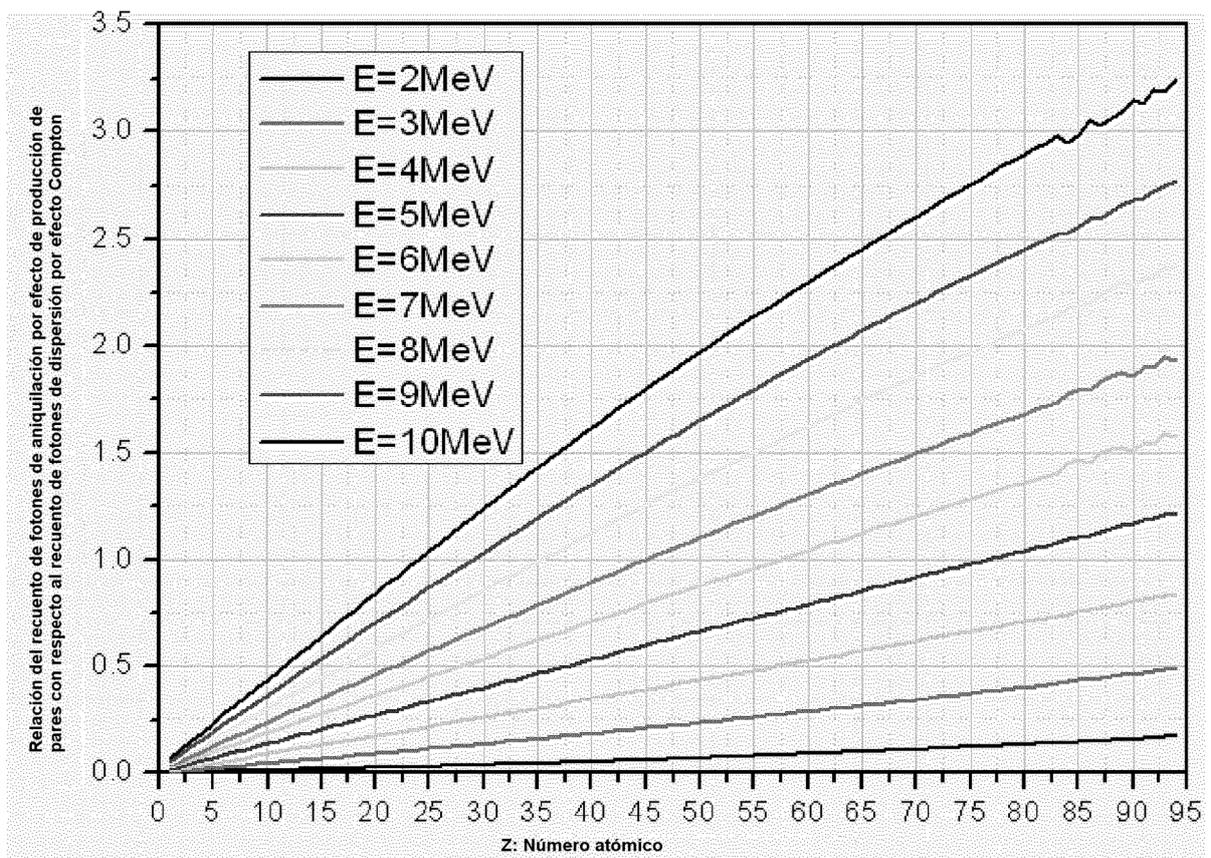


Fig.4

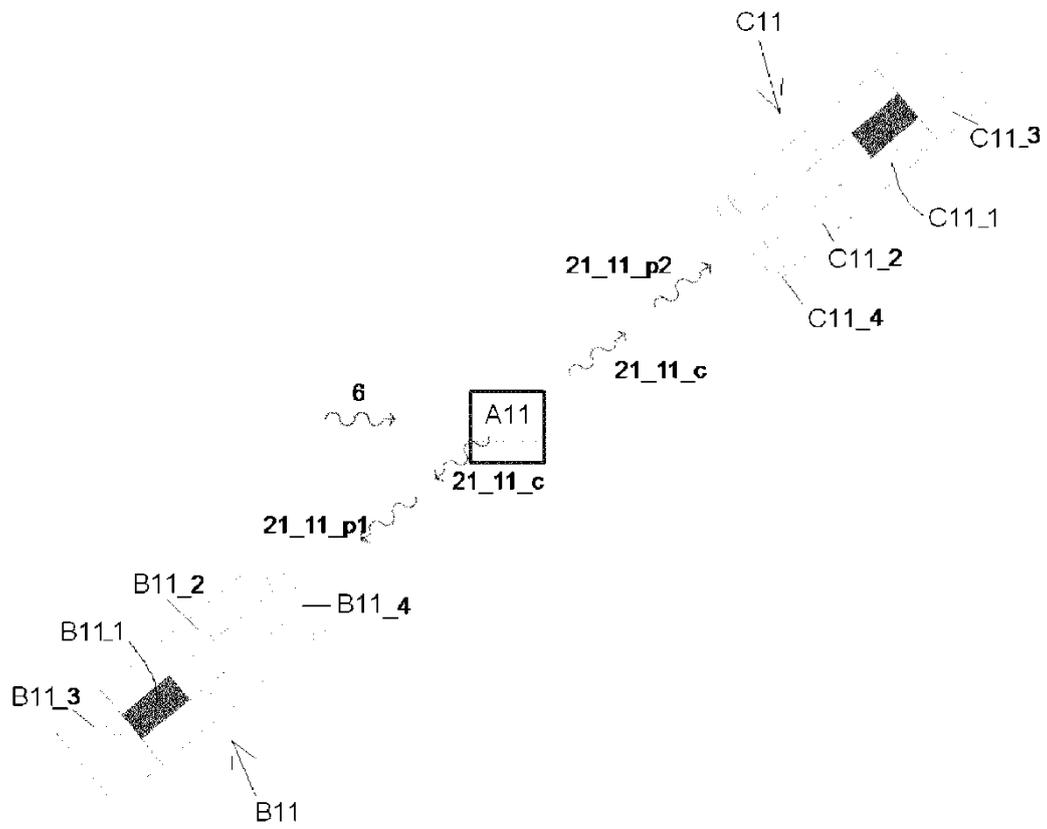


Fig.5

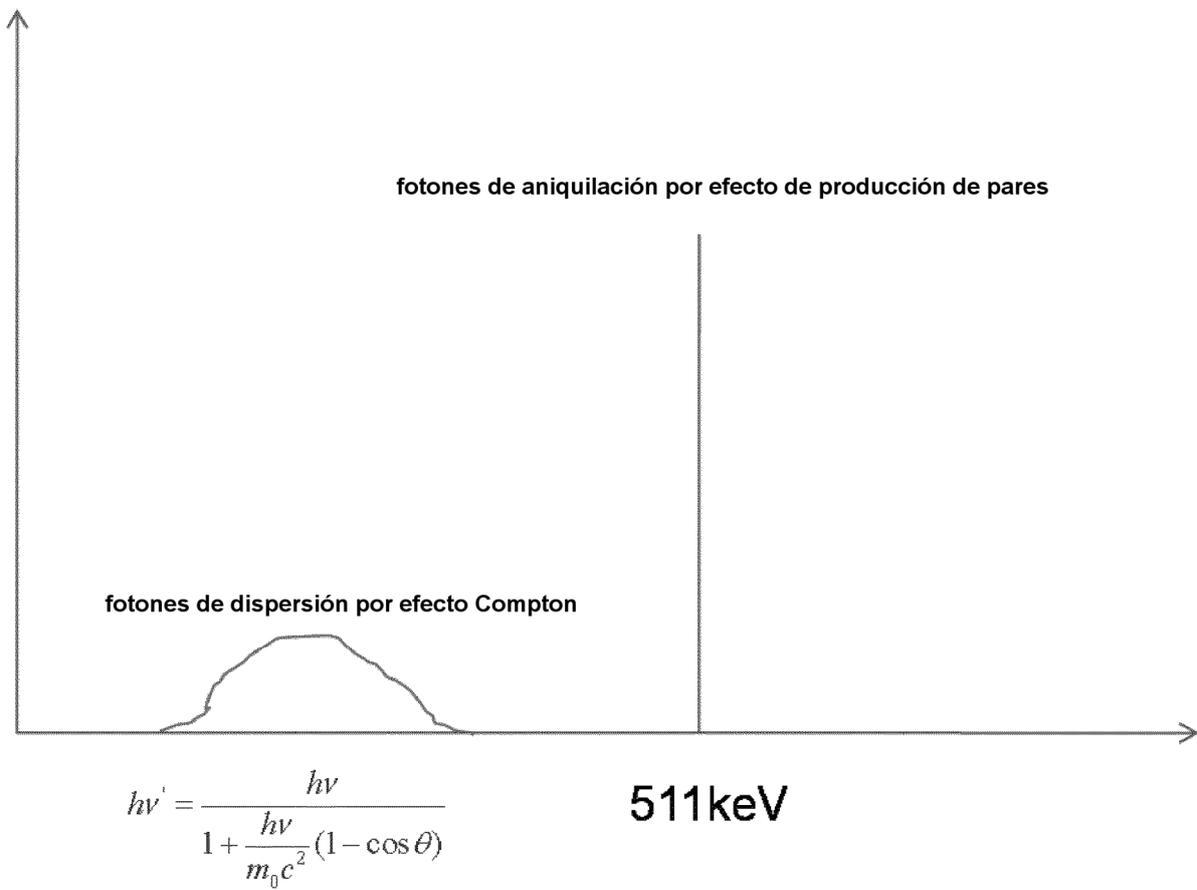


Fig.6

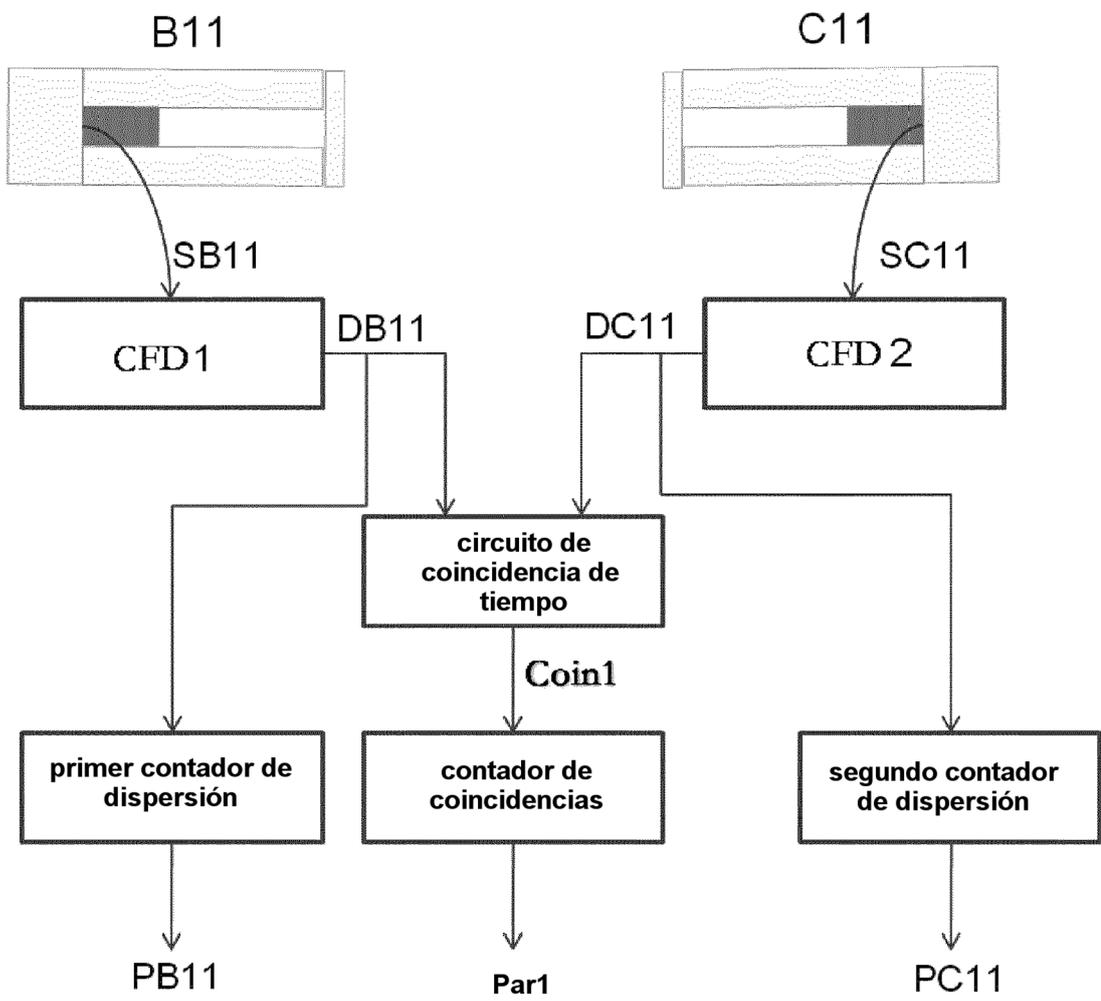


Fig.7

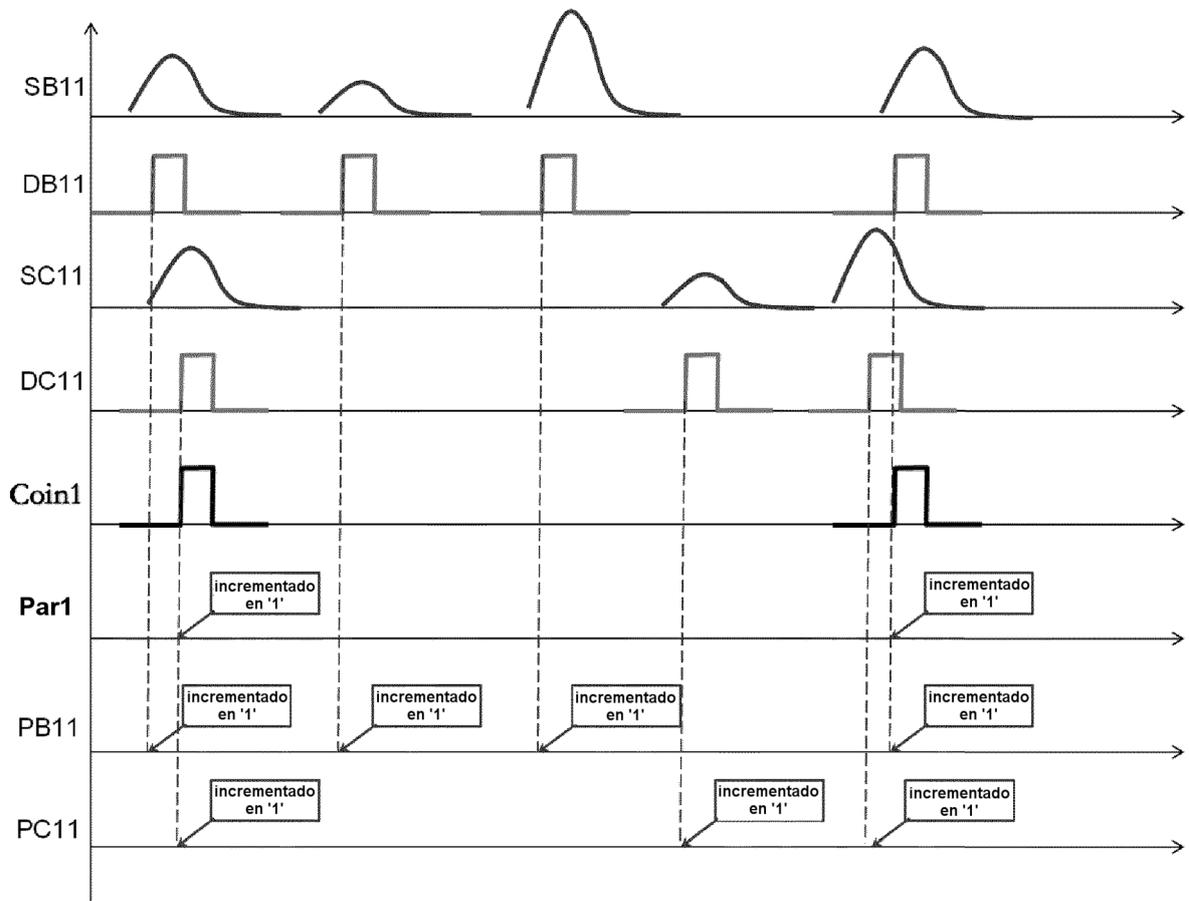


Fig.8