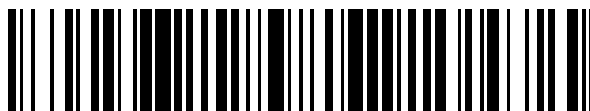


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 048**

51 Int. Cl.:

H05H 3/06 (2006.01)

G01N 23/05 (2006.01)

G21G 1/06 (2006.01)

G01V 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.12.2010 PCT/US2010/060318**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.07.2011 WO11081940**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.12.2010 E 10841534 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.02.2020 EP 2513640**

54 Título: **Procedimiento y aparato para realizar interrogación neutrónica activa de contenedores**

30 Prioridad:

15.12.2009 US 286690 P

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

21.09.2020

73 Titular/es:

**PHOENIX, LLC (100.0%)
2555 Industrial Drive
Monona, WI 53713, US**

72 Inventor/es:

PIEFER, GREGORY

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 784 048 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

Procedimiento y aparato para realizar interrogación neutrónica activa de contenedores

Referencia cruzada a solicitudes de patente relacionadas

5 Esta solicitud reclama el beneficio de la solicitud provisional de los Estados Unidos No. 61/286.690, presentada el martes 15 de diciembre de 2009.

Antecedentes

Los contenedores de carga (por ejemplo, contenedores de modalidad de transporte múltiple usados para transportar mercancías por barco, tren o camión, tales como contenedores intermodales también conocidos como contenedores de envío, contenedores marítimos o cajas Conex) pueden presentar riesgos de seguridad porque se pueden colocar diversos materiales no deseados en dichos contenedores y existen desafíos importantes asociados con la determinación del contenido exacto de los contenedores entrantes en un puerto u otro acceso fronterizo. Uno de los principales desafíos se relaciona con la gran cantidad de contenedores que llegan diariamente a los puertos ocupados y la necesidad de explorar rápidamente los contenedores para no interrumpir indebidamente el flujo de mercancías en dichos puertos. La detección de material nuclear especial (SNM) (es decir, material fisible) es de particular interés, pero otros materiales no deseados pueden incluir explosivos, drogas y otro contrabando. El documento US 2008/0002810 A1 desvela un sistema para inspeccionar la carga en busca de material nuclear especial. La carga se irradia con neutrones. Los neutrones producen productos de fisión en el material nuclear especial que generan rayos gamma. Los rayos gamma se detectan indicando la presencia del material nuclear especial. El documento US 5.135.704 desvela un acelerador de un solo extremo para producir partículas cargadas de alta energía. El acelerador incluye una fuente de las partículas cargadas, un tubo acelerador situado para recibir partículas cargadas provenientes de la fuente en un primer extremo del mismo y para emitir partículas cargadas aceleradas en su extremo opuesto, un medio para establecer una diferencia de potencial predeterminada entre los dos extremos del tubo acelerador, con un gradiente de potencial predeterminado en el tubo entre el primer y el segundo extremo, y una cascada de etapas múltiples rectificadas que es paraxial con el tubo acelerador y tiene un gradiente de tensión que coincide sustancialmente con el del tubo acelerador. El acelerador puede tener una diana situada para ser bombardeada por las partículas, estando la diana adaptada para emitir radiación seleccionada cuando es bombardeada por las partículas. La fuente de partículas cargadas puede ser una fuente de protones, con rayos gamma siendo emitidos como radiación desde la diana, o la fuente puede ser una fuente de electrones con rayos X siendo emitidos como radiación.

30 El documento US 2005/0220247 A1 desvela un procedimiento y un aparato asociado para detectar material fisiónable en un contenedor de envío.

El documento WO 2009/142669 A2 desvela una fuente de protones de alta energía compacta provista de un sistema de bombeo diferencial.

Sumario

35 La invención se refiere a un aparato para inspeccionar el contenido de un contenedor de carga.

Por lo tanto, de acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un aparato de acuerdo con la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8.

40 En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones preferidas de la presente invención.

Breve descripción de las figuras

La invención es capaz de otras realizaciones y de ser puesta en práctica o llevada a cabo de diversas maneras. Las realizaciones ejemplares alternativas se refieren a otras características y combinaciones de características que generalmente se pueden mencionar en las reivindicaciones.

45 La invención se entenderá más completamente a partir de la siguiente descripción detallada, tomada junto con los dibujos adjuntos, en los que números de referencia similares se refieren a elementos similares, en los que:

La figura 1 es una representación esquemática de una fuente de neutrones de acuerdo con una realización ejemplar;

La figura 2 es una vista esquemática de un haz de iones acelerado y formado;

50 La figura 3 es una vista esquemática de un haz de iones que interactúa con una diana gaseosa en una cámara diana;

La figura 4 es un diagrama esquemático de varias reacciones de alta producción de neutrones;

La figura 5 es una tabla que enumera proporciones elementales aproximadas de carbono, nitrógeno, oxígeno e

hidrógeno para diversas sustancias;

La figura 6 es un gráfico que muestra recuentos relativos en un detector ^3He para un contenedor lleno de aire con y sin una muestra de uranio altamente enriquecido de 100 cm^3 ;

5 La figura 7 es una representación esquemática de un sistema de exploración de neutrones acoplado a un contenedor de carga que contiene SNM; La figura 8 es una tabla que muestra la semivida y la abundancia relativa para seis grupos de neutrones retardados;

La figura 9 es un gráfico que muestra un crecimiento previsto de una población de neutrones retardados durante la irradiación durante un segundo;

10 La figura 10 es un gráfico que muestra un crecimiento previsto de una población de neutrones retardados durante la irradiación durante un segundo;

La figura 11 es un gráfico que muestra una actividad de neutrones prevista después de la irradiación; y

La figura 12 es una vista esquemática de un sistema de interrogación neutrónica activa instalado de acuerdo con una realización ejemplar.

15 **Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

Antes de pasar a las figuras, que ilustran las realizaciones ejemplares en detalle, debe entenderse que la solicitud no se limita a los detalles o procedimientos establecidos en la descripción o ilustrados en las figuras. El ámbito de la presente invención está definido y limitado por las reivindicaciones adjuntas.

20 Los sistemas tradicionales de detección pasiva para material nuclear especial (SNM) no pueden explorar contenedores de carga rápidamente y tampoco pueden discriminar entre SNM y una gran cantidad de otras sustancias radiactivas naturales. Los sistemas activos que usan tecnología de rayos X no pueden discriminar eficazmente entre SNM y otros materiales con una alta densidad o un alto número atómico. En cualquier caso, es difícil detectar SNM con un alto grado de certeza sin alterar gravemente el flujo normal de bienes.

25 En una realización ejemplar, un procedimiento para detectar SNM implica el uso de neutrones como una herramienta de inspección activa. Al igual que con los rayos X, los neutrones se pueden usar para crear una imagen radiográfica del contenido de un contenedor, pero a diferencia de los rayos X, pueden penetrar capas gruesas de metales pesados e interactuar con capas elementales ligeras y delgadas. Asimismo, los neutrones pueden excitar respuestas características de los núcleos dentro del contenedor, con cada tipo de núcleo emitiendo una firma de radiación única. En consecuencia, la irradiación neutrónica puede permitir que un escáner determine la composición tanto física como nuclear de la carga en el contenedor. El SNM es particularmente detectable por irradiación neutrónica, ya que responde mediante fisión nuclear, lo que crea una firma de radiación atípica y fácil de detectar. En una realización de la invención, un procedimiento para detectar SNM usando neutrones utiliza una fuente de neutrones de larga vida útil, alto rendimiento y alta eficiencia como el corazón de un sistema radiográfico que puede usarse para la detección de SNM, drogas, contrabando, dispositivos explosivos improvisados, minas terrestres y otras amenazas, además de tener un amplio uso general para crear imágenes radiográficas donde los rayos X no son útiles. Las aplicaciones adicionales pueden incluir además la inspección de soldaduras en submarinos y otras embarcaciones navales, municiones de alto calibre, boquillas de motores de cohetes, carcasas de misiles, estructuras de aeronaves hechas de materiales compuestos, aspas y rotores de helicópteros compuestos, turbinas y más.

40 En algunas realizaciones, los procedimientos de acuerdo con la invención combinan técnicas radiográficas y de inspección avanzadas con una fuente de neutrones innovadora descrita en la solicitud de los Estados Unidos Nº. 12/810.958 ("la solicitud '958"), presentada el lunes 29 de diciembre de 2008, titulada "High Energy Proton or Neutron Source", para producir un sistema de interrogación novedoso. El sistema de exploración puede usarse para detectar o identificar un material. El material puede ser cualquier composición que comprenda al menos un elemento, siendo el elemento específico y la proporción de elementos indicativos de un material particular.

45 Con referencia a la figura 1, los procedimientos de inspección neutrónica de acuerdo con algunas realizaciones de la invención son posibles mediante el uso de una fuente 10 de neutrones de alto rendimiento, como se describe en la solicitud '958, que se puede considerar que proporciona "luz neutrónica" (es decir, flujo de neutrones), que es lo suficientemente brillante como para crear radiografías de alta calidad y un análisis nuclear en un corto período de tiempo. Los neutrones pueden crearse mediante reacciones nucleares que generalmente se denominan reacciones de fusión nuclear. La fuente de neutrones funciona creando un flujo de iones de energía modesta (por ejemplo, entre 50 100 y 500 keV) de partículas de deuterio o tritio, y lo colisiona con una diana de gas o plasma, que también incluye partículas de deuterio o tritio. Una realización potencial de la fuente 10 de neutrones se muestra en la figura 1. La fuente 10 de neutrones utiliza una diana que emana neutrones que consiste en un gas o plasma, en lugar de un sólido. La fuente 10 de neutrones puede introducir regiones espaciales separadas para la aceleración del flujo de iones y para colisiones del flujo rápido con una diana que emana neutrones.

En mayor detalle, una realización particular de la fuente 10 de neutrones que tiene una fuente 12 de iones, un acelerador 14 y una cámara diana 16 funciona de la siguiente manera:

60 La cámara diana 16 se llena con gas de deuterio o tritio, en una realización típica a una presión de aproximadamente 0,001-0,013 atm, para proporcionar una diana para el haz de iones. Otras realizaciones pueden utilizar diferentes presiones en la cámara diana 16.

El deuterio o tritio que se escapa de la cámara diana 16 hacia el acelerador 14 se bombea a un condensador de frío 20 mediante etapas de bombeo diferencial 18, con cada etapa 18 reduciendo la presión en un factor de entre 10 y 1000, manteniendo la presión en el acelerador 14 a menos de 0,131 μatm en una realización ejemplar.

5 Los gases que entran en el condensador de frío 20 pueden enfriarse a temperaturas de nitrógeno líquido (aproximadamente $-196\text{ }^\circ\text{C}$). A esta temperatura, las impurezas tales como el agua y los gases atmosféricos se condensan y pueden eliminarse de la corriente de gas reciclado. El gas purificado puede ser alimentado desde el condensador de frío 20 nuevamente al interior de la cámara diana 16. El condensador de frío 20 puede necesitar ser bombeado periódicamente, tal como por medio de un sistema automatizado.

10 El gas de deuterio o tritio puede alimentarse a una fuente 12 de iones, que puede ser impulsada a una alta tensión positiva (normalmente 100-500 keV) por una fuente de alimentación. El plasma en la fuente 12 de iones se crea por excitación por radiofrecuencia o microondas en una realización ejemplar. La presión de gas durante el funcionamiento en la fuente 12 de iones puede ser del orden de unas pocas microatmósferas (μatm) en una realización ejemplar. Se puede crear una fracción alta de iones de deuterio (D) o tritio (T) monoatómicos (iones D^+ o T^+) en relación con las especies diatómica (D_2^+ o T_2^+) y triatómica (D_3^+ o T_3^+) debido a la alta densidad plasmática en la fuente 12.

15 En el extremo del acelerador de la fuente 12 de iones, un fuerte gradiente de tensión puede acelerar los iones positivos del plasma, creando y dando forma a un flujo de iones de modo que pueda pasar por las etapas de bombeo diferencial 18 con una pérdida mínima. Las partículas negativas tales como los electrones o los iones negativos pueden ser repelidas por el campo y quedan atrapadas en la fuente 12 de iones.

20 El flujo de iones entra en el acelerador 14 y gana energía a medida que lo atraviesa. El espacio final del acelerador 14 tiene una pequeña tensión de supresión, que puede tener poco efecto sobre el flujo, pero evita que los electrones que podrían crearse en las etapas de bombeo diferencial 18 o la cámara diana 16 fluyan de regreso al acelerador 14, lo que puede desperdiciar energía y posiblemente dañar la fuente 10. La figura 2 muestra un ejemplo del flujo de iones formado y acelerado 22.

25 Con referencia adicional a la figura 1, el flujo de iones entra después en a la sección de bombeo diferencial 18 y la atraviesa casi sin verse afectado.

El flujo de iones entra después en la cámara diana 16 donde colisiona con el gas diana de deuterio o tritio para crear neutrones. La figura 3 muestra el flujo de iones 22 interactuando con un gas diana.

30 Con referencia a la figura 4, el tipo, el rendimiento y la energía de las reacciones nucleares pueden depender de los componentes del haz, así como del gas diana. Las clases de reacciones para producir neutrones pueden incluir reacciones que ocurren entre un flujo de deuterio y una diana de deuterio (D-D), un flujo de deuterio y una diana de tritio (D-T), un flujo de tritio y una diana de deuterio (T-D), y un flujo de tritio y una diana de tritio (T-T). Las reacciones entre los núcleos de deuterio y tritio se ilustran en la figura 4.

35 La salida del tipo de fuente de neutrones que se muestra en la figura 1 puede calcularse usando el procedimiento de rendimiento en diana gruesa. Este procedimiento supone que el flujo de iones no está atenuado (no se pierden partículas) ya que sufre colisiones con el gas hasta que se desacelera hasta una energía en la que ya no produce reacciones significativas. La velocidad de reacción incremental para un haz de iones que impacta una diana viene dada por la ecuación 1 a continuación, donde $df(E)$ es la velocidad de reacción (reacciones/s) en el intervalo de energía diferencial dE , n_b es la densidad diana (partículas/ m^3), I_{ion} es la corriente de iones (A), e es la carga fundamental $1,6022 \times 10^{-19}$ culombios/partícula, $a(E)$ es la sección transversal de reacción dependiente de energía (m^2), y $S(E)$ es el poder de frenado dependiente de la energía. Debido a que la partícula se ralentiza una vez dentro de la cámara diana, puede existir a la energía E durante una longitud de etapa infinitesimal.

$$df(E) = n_b * \frac{I_{ion}}{e} * \frac{\sigma(E)}{S(E)} * dE$$

$$F(E_i) = n_b * \frac{I_{ion}}{e} \int_0^{E_i} \frac{\sigma(E)}{S(E)} dE$$

45 Para determinar el rendimiento en diana gruesa de un haz que se detiene en una diana, la ecuación 1 puede integrarse sobre la energía de la partícula desde su máximo de E_i hasta donde se detiene (ecuación 2), donde $F(E_i)$ es la velocidad de reacción total para un haz de energía inicial E_i que se detiene en la diana.

50 En un caso de ejemplo en el que un flujo D ionizado monoatómico impacta un gas T, a una energía de 350 keV y una intensidad de 50 mA, la velocidad de reacción sería aproximadamente $4,6 \times 10^{13}$ reacciones/s, y crearía el mismo número de neutrones/s. Estos mismos criterios con reacciones D-D producirían $6,5 \times 10^{11}$ n/s, y T-T producirían $1,1 \times 10^{12}$ n/s.

Además de la alta potencia de la fuente que permite que se suministre un alto flujo de neutrones en un contenedor de

carga con fines de interrogación (por ejemplo, para proporcionar un flujo de neutrones y detectar la firma de radiación resultante), los procedimientos de acuerdo con algunas realizaciones de la invención pueden producir neutrones en salida en régimen permanente (continua), o en pulsos cortos, (por ejemplo, de tan solo aproximadamente 10 ms), que pueden ser útiles no solo para la radiografía, sino también en esquemas de detección especializados usados para encontrar materiales nucleares.

La fuente 10 de neutrones u otras realizaciones descritas en la solicitud '958 pueden combinarse con técnicas de detección que incluyen, pero no se limitan a, radiografía neutrónica basada en película, radiografía basada en detector electrónico, análisis nuclear y análisis de material nuclear especial como se describe más detalladamente a continuación. La presente invención hace uso de detectores electrónicos o de una película sensible a los neutrones como se define en las reivindicaciones 1 y 8.

Radiografía neutrónica basada en película: en esta técnica, se puede usar una película con una película sensible a los neutrones para capturar el flujo de neutrones o "luz" que pasa a través de un objeto. Esta técnica puede ser efectiva para producir imágenes detalladas del interior de materiales dominados por elementos ligeros, tales como los materiales compuestos modernos con los que los rayos X interactúan solo débilmente. Asimismo, los neutrones son más penetrantes para los materiales dominados por elementos pesados, lo que les permite proporcionar imágenes de detalles encontrados en el interior de objetos metálicos, tales como objetos metálicos gruesos, tales como municiones de gran calibre y soldaduras en submarinos.

Radiografía basada en detectores electrónicos: esta técnica funciona de manera muy similar a la radiografía basada en películas, solo la película se reemplaza por una serie de detectores que son sensibles a los neutrones. Esto permite que las imágenes se transmitan directamente a la pantalla de un ordenador en lugar de una película.

Análisis nuclear: esta técnica usa múltiples tipos de detectores para detectar firmas de radiación características emitidas por diferentes núcleos. Estos incluyen detectores de neutrones, de estado sólido y de centelleo. Cuando se bombardean con neutrones, los núcleos pueden terminar en un estado inestable y relajarse emitiendo radiación que es única para ese núcleo en particular. Estas emisiones de radiación pueden considerarse colores, con cada isótopo de cada elemento teniendo su propio color único. Esto permite que un escáner determine la composición nuclear precisa de un objeto. Cuando ciertos núcleos están presentes en las proporciones correctas, se puede hacer una determinación acerca del material. La figura 5 muestra un ejemplo de varias sustancias que pueden identificarse por las relaciones características de hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno.

Análisis de material nuclear especial: el SNM emite una señal particularmente única que puede usarse para detectar su presencia. Lo siguiente es una discusión detallada de esta técnica.

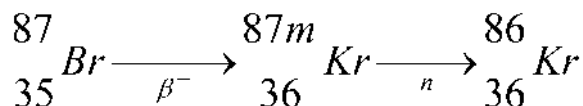
La detección de SNM basada en neutrones puede ser extremadamente sensible porque los neutrones pueden hacer que el SNM se fisione, lo que crea dos señales detectables. La primera señal es creada por el evento de fisión en sí, y la segunda es de productos inestables que se emiten en el proceso de fisión. Cada una de estas señales puede detectarse con un procedimiento de detección, tal como extinción diferencial y el análisis de neutrones retardados.

La técnica de análisis de extinción diferencial es un procedimiento sensible de detección de materiales nucleares. Al hacer uso de detectores de neutrones que están protegidos de los neutrones térmicos, los neutrones de fisión pueden detectarse a pesar de la presencia de una alta población de neutrones térmicos. Una forma de crear una población de neutrones térmicos sin la presencia de una población de neutrones rápidos puede ser pulsar la fuente 10 de neutrones y esperar varias decenas de microsegundos. En este tiempo, el flujo epitérmico rápido del pulso puede "extinguirse" mientras permanece el flujo térmico. El flujo térmico puede causar fisiones en SNM creando un flujo extendido de neutrones rápidos. Debido a que los detectores de neutrones están protegidos de los neutrones térmicos, pueden detectar solo los neutrones del material nuclear especial que se fisiona. La figura 6 muestra la caída de los recuentos de neutrones en una posible configuración de detector para un contenedor de envío lleno de aire con y sin uranio altamente enriquecido (HEU) como lo simula el software MCNP5 (Monte-Carlo Neutral Particle, un programa informático desarrollado por Los Alamos National Lab para simular transporte de neutrones e interacción con la materia). Se puede usar un programa informático llamado VisEd para crear representaciones visuales de modelos de MCNP y las representaciones visuales de los casos realizados con y sin HEU. Con referencia a la figura 7 muestra un modelo esquemático de la estructura del sistema de interrogación neutrónica usado como base para la simulación descrita con referencia a la figura 6. La fuente 24 de neutrones se coloca cerca de un contenedor 26 de carga que contiene una pequeña cantidad de uranio altamente enriquecido 28. Un blindaje 30 de agua rodea la fuente 24 de neutrones y también se colocan varios detectores de neutrones envueltos en cadmio 32 cerca del contenedor 26.

Además de detectar neutrones retardados, las firmas gamma resultantes de la fisión pueden ayudar a detectar la presencia de SNM en ciertos tipos de carga. Por lo tanto, los detectores de centelleo o de estado sólido también pueden usarse para detectar los rayos gamma resultantes de la fisión.

Otra técnica usada para detectar SNM de acuerdo con una realización ejemplar es el análisis de neutrones retardados. Esta técnica hace uso del hecho de que los productos de fisión son normalmente ricos en neutrones, lo que hace que sean inestables. Para relajarse, experimentan una serie de desintegraciones radiactivas. Algunas de estas desintegraciones forman lo que se conoce como precursores de neutrones retardados, que son, ellos mismos,

inestables y se relajan por la emisión de neutrones. Un ejemplo es el producto de fisión bromo-87, que por desintegración beta da criptón-87, que a veces se encuentra en un estado metaestable. El bromo metaestable se relaja emitiendo un neutrón que, debido a la semivida de 54,5 segundos del bromo-87, puede detectarse bastante después del pulso de neutrones de interrogación. Este ejemplo de reacción se muestra a continuación.



5

Los neutrones de fisión retardados representan alrededor del 0,65 por ciento del número total de neutrones producidos en la fisión de SNM. Aunque hay docenas de isótopos que contribuyen a la población total de neutrones retardados, las semividas de estos isótopos se pueden describir usando los seis grupos que se muestran en la figura 8. Cada grupo tiene una semivida característica y una probabilidad relativa de emisión correspondiente.

10 Los puntos de datos proporcionados en la figura 8 puede usarse para calcular el crecimiento y la descomposición de la población de neutrones retardados durante la irradiación. Las figuras 9 y 10 muestran el crecimiento de neutrones retardados durante la irradiación neutrónica. Después de un segundo, la población total puede alcanzar adecuadamente más del 25 por ciento de su valor en régimen permanente. Sin embargo, puede requerir otros 60 segundos de irradiación antes de alcanzar el 95 por ciento de su valor máximo. Cuando se detiene la irradiación, la actividad de los neutrones retardados puede disminuir rápidamente, como se muestra en la figura 11.

15

Con el fin de interrogar rápidamente la carga, en lugar de irradiar durante un período de tiempo que se prolonga mucho más allá del 70 % de la saturación, puede ser estadísticamente más valioso comenzar otra irradiación. De acuerdo con algunas realizaciones, el tiempo de pulso de la fuente de neutrones puede ser inferior a diez segundos, seguido de hasta aproximadamente cinco segundos de "escucha" con los detectores de radiación. De acuerdo con otras realizaciones, pulsos más largos (por ejemplo, entre diez segundos y un minuto, más de un minuto, etc.) o más cortos (por ejemplo, 1-10 ms, 10-100 ms, 100-1000 ms, 1-10 ms, 10-100 ms, 100-1000 ms, etc.) pueden usarse antes del período de detección.

20

Al igual que en la técnica de extinción diferencial, en una de las realizaciones de la invención, las firmas gamma también pueden usarse para detectar SNM con la técnica de análisis de neutrones retardados. Los productos de fisión de corta vida pueden emitir rayos gamma retardados con una firma de descomposición característica presente solo en material nuclear especial.

25

El sistema detector usado junto con la fuente 10 de neutrones puede tener una configuración similar a otros sistemas de detección de radiación que tienen uno o más detectores. Las señales generadas por el sistema de detección se proporcionan al sistema electrónico adecuado configurado para proporcionar una indicación de la cantidad y energía de la radiación detectada. El sistema electrónico puede incluir un procesador asociado con un ordenador usado para evaluar los datos y proporcionar una salida. La salida puede ser datos sobre la radiación detectada, pero también puede ser una imagen del contenido del contenedor (u otra estructura) que se está explorando. La imagen puede proporcionarse mediante un sistema de formación de imágenes por radiación como se conoce en la técnica (por ejemplo, una reconstrucción de imágenes usando técnicas convencionales). De forma similar, el sistema informático puede tener un software configurado para realizar otras etapas de evaluación, tales como las comparaciones usadas en la técnica de análisis nuclear discutida anteriormente.

30

35

Con referencia a la figura 12, la fuente 10 de neutrones y el sistema detector pueden incorporarse en un sistema de exploración para explorar de manera eficiente y no invasiva la carga. En una realización ejemplar, la fuente 10 de neutrones está acoplada a una grúa 34 usada para cargar o descargar contenedores intermodales 36 hacia o desde buques de carga. La ubicación en la grúa 34 presenta la ventaja de poder explorar el contenido del contenedor mientras el contenedor 36 se mueve hacia o desde el barco, sin interrumpir el flujo de mercancías en el puerto. Además, la configuración de la grúa 34 puede permitir que la exploración neutrónica se realice a una distancia considerable del personal del puerto (por ejemplo, en el aire), reduciendo la cantidad de protección contra la radiación requerida por el sistema en general. En otra realización, se puede tomar el mismo enfoque con una grúa de contenedores intermodal usada para cargar o descargar dichos contenedores hacia o desde vagones de ferrocarril.

40

45

En otra realización, el sistema de interrogación de contenedores (que incluye tanto la fuente de neutrones como el sistema de detección) está ubicado a bordo de un buque de carga o en un transportador de contenedores de carga ubicado en un puerto, aeropuerto, etc. Aún en otra realización, el sistema de interrogación está ubicado cerca de una vía de tren (por ejemplo, con la fuente 10 de neutrones ubicada sobre la vía que permite que un tren que transporta contenedores intermodales viaje debajo de la fuente de neutrones, y el detector ubicado debajo de la vía). Dicha configuración está destinada a permitir la exploración eficiente de contenedores de carga en un tren (por ejemplo, que salen de o entran en un puerto de envío). Se puede usar una configuración similar para explorar contenedores de carga en camiones (por ejemplo, que salen de un puerto, que entran en un puerto con contenedores para cargar en un barco, en un cruce fronterizo, etc.).

50

5 Cuando la fuente de neutrones y el sistema de detección de radiación se usan conjuntamente como un sistema de interrogación para identificar material en un contenedor de carga, un procedimiento para hacerlo de acuerdo con una realización de la invención incluye generar en primer lugar un flujo de neutrones con la fuente de neutrones. Como se ha expuesto antes, en ciertas realizaciones preferidas, el flujo de neutrones se genera de manera pulsada en lugar de como un flujo en régimen permanente. El contenedor de carga que se interroga se irradia con el flujo de neutrones. Como se ha expuesto antes, los materiales en el contenedor pueden reaccionar al flujo de neutrones en una variedad de formas, tales como fisión en el caso de material nuclear especial. El sistema detector, que puede ser uno o una variedad de detectores como se ha expuesto antes, se usa para detectar la firma de radiación resultante de la irradiación de los materiales en el contenedor. La detección de la firma de radiación puede incluir detectar un flujo de neutrones resultante, un flujo gamma resultante, detectar la energía de la radiación resultante, y así sucesivamente. Los detectores de radiación proporcionan los datos de firma de radiación al sistema electrónico informático, que puede incluir memoria para el almacenamiento de datos. La firma de radiación se evalúa a continuación en un esfuerzo por identificar el material o materiales en el contenedor. La etapa de evaluación puede incluir determinar la proporción de ciertos núcleos en el contenedor, tal como la proporción de dos o más de hidrógeno, carbono, nitrógeno y oxígeno, e identificar el material basándose en esa proporción. Cuando la fuente de neutrones funciona de forma pulsada, de modo que se proporciona un flujo de neutrones de una duración establecida, la etapa de detección se puede realizar después de la etapa de irradiación, mientras que la fuente de neutrones no está proporcionando el flujo de neutrones al interior del contenedor.

20 La construcción y disposición de los sistemas y procedimientos como se muestra en las diversas realizaciones ejemplares son solo ilustrativas. Aunque solo se han descrito en detalle algunas realizaciones en la presente divulgación, son posibles muchas modificaciones (por ejemplo, variaciones en tamaños, dimensiones, estructuras, formas y proporciones de los diversos elementos, valores de parámetros, disposiciones de montaje, uso de materiales, colores, orientaciones, etc.). Por ejemplo, la posición de los elementos puede invertirse o variarse de otro modo y la naturaleza o el número de elementos o posiciones discretas pueden alterarse o variarse. Por consiguiente, todas estas modificaciones están destinadas a ser incluidas dentro del ámbito de la presente divulgación. El orden o la secuencia de cualquier etapa del proceso o procedimiento puede variar o volver a secuenciarse de acuerdo con realizaciones alternativas. Se pueden realizar otras sustituciones, modificaciones, cambios y omisiones en el diseño, las condiciones operativas y la disposición de las realizaciones ejemplares sin apartarse del ámbito de la presente divulgación.

30 La presente divulgación contempla procedimientos, sistemas y productos de programas en cualquier medio legible por máquina para realizar diversas operaciones. Las realizaciones de la presente divulgación pueden implementarse usando procesadores informáticos existentes, o mediante un procesador informático de uso especial para un sistema apropiado, incorporado para este u otro fin, o mediante un sistema cableado. Las realizaciones dentro del ámbito de la presente divulgación incluyen productos de programa que comprenden medios legibles por máquina para transportar o tener instrucciones ejecutables por máquina o estructuras de datos almacenadas en ellos. Dichos medios legibles por máquina pueden ser cualquier medio disponible al que pueda acceder un

40 ordenador de uso general o de uso especial u otra máquina con un procesador. A modo de ejemplo, dichos medios legibles por máquina pueden comprender RAM, ROM, EPROM, EEPROM, CD-ROM u otro almacenamiento en disco óptico, almacenamiento en disco magnético u otros dispositivos de almacenamiento magnético, o cualquier otro medio que pueda usarse para transportar o almacenar un código de programa deseado en forma de instrucciones ejecutables por máquina o estructuras de datos y a las que puede acceder un ordenador de uso general o de uso especial u otra máquina con un procesador. Cuando la información se transfiere o se proporciona a través de una red u otra conexión de comunicaciones (ya sea cableada, inalámbrica o una combinación de cableada o inalámbrica) a una máquina, la máquina ve correctamente la conexión como un medio legible por máquina. De este modo, cualquier conexión de este tipo se denomina correctamente un medio legible por máquina. Las combinaciones de lo anterior también se incluyen dentro del ámbito de los medios legibles por máquina. Las instrucciones ejecutables por máquina incluyen, por ejemplo, instrucciones y datos que hacen que un ordenador de uso general, un ordenador de uso especial o máquinas de procesamiento de uso especial realicen una determinada función o grupo de funciones.

50 Aunque las figuras pueden mostrar o la descripción puede proporcionar un orden específico de etapas del procedimiento, el orden de las etapas puede diferir de lo que se representa. También se pueden realizar dos o más etapas simultáneamente o con concurrencia parcial. Dicha variación dependerá de diversos factores, incluidos los sistemas de software y hardware elegidos y la elección del diseñador. Todas estas variaciones están dentro del ámbito de la divulgación. Del mismo modo, las implementaciones de software podrían lograrse con técnicas de programación estándar con lógica basada en reglas y otra lógica para lograr las diversas etapas de conexión, etapas de procesamiento, etapas de comparación y etapas de decisión.

55 La presente divulgación permitirá a un experto en la materia poner en práctica la invención.

La invención está definida y limitada por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de inspección del contenido de un contenedor (26) de carga, que comprende: una fuente (10, 24) de neutrones y un detector de radiación (32);
 en el que la fuente (10, 24) de neutrones comprende:
- 5 una fuente (12) de iones configurada para proporcionar iones de deuterio o de tritio;
 un acelerador (14) que funciona a una primera presión de gas y configurado para acelerar los iones de deuterio o de tritio;
 una cámara diana (16) que funciona a una segunda presión de gas, conteniendo la cámara diana (16) un gas diana que comprende al menos uno de deuterio o tritio; en el que
 10 una pluralidad de etapas de bombeo diferencial (18), estando cada etapa de bombeo diferencial (18) configurada para reducir una presión en la fuente (10, 24) de neutrones en un factor de entre 10 y 1000 para mantener un diferencial de presión entre el acelerador (14) y la cámara diana (16);
- 15 la fuente (10, 24) de neutrones está configurada para suministrar un flujo de neutrones al interior del contenedor (26) de carga y el detector de radiación (32) está configurado para detectar la radiación que sale del contenedor (26) de carga después del suministro del flujo de neutrones al interior del contenedor (26) de carga,
 en el que el detector de radiación (32) es un detector electrónico que comprende una pluralidad de detectores de neutrones configurados para proporcionar datos a un ordenador de formación de imágenes para su visualización en
 20 una pantalla o reconstrucción en una imagen o en el que el detector de radiación es una película sensible a los neutrones para obtener imágenes del interior del contenedor;
 en el que el detector de radiación (32) está protegido de los neutrones térmicos; y
 la fuente (10, 24) de neutrones y el detector de radiación (32) están configurados para acoplarse a uno de:
- 25 una grúa (34) configurada para descargar contenedores de carga (26) de un barco; o
 un transportador configurado para proporcionar contenedores de carga (26) para inspección.
2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los detectores de neutrones son detectores de neutrones envueltos; y/o el detector de radiación (32) comprende además un detector gamma de centelleo o de estado sólido.
- 30 3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fuente (10, 24) de neutrones está configurada para proporcionar un flujo de neutrones en régimen permanente.
4. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la fuente (10, 24) de neutrones está configurada para ser pulsada de modo que el flujo de neutrones se proporcione durante un período de tiempo establecido.
5. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la primera presión de gas a la que funciona el acelerador (14) es inferior a 0,131 μ atm.
- 35 6. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la segunda presión de gas a la que funciona la cámara diana (16) es 0,001-0,013 atm.
7. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un condensador de frío (20), en el que las etapas de bombeo diferencial (18) están configuradas para bombear al interior de dicho condensador de frío (20) deuterio o tritio que emana de la cámara diana (16) hacia el acelerador (14).
- 40 8. Un procedimiento de identificación de material (28) en un contenedor (26) de carga, que comprende:
- generar un flujo de neutrones con un aparato fuente (10, 24) de neutrones, comprendiendo dicho aparato:
- 45 una fuente (12) de iones para producir un haz de iones;
 un acelerador (14) que funciona a una primera presión de gas y configurado para recibir el haz de iones y acelerar el haz de iones para producir un haz de iones acelerado;
 una cámara diana (16) acoplada operativamente al acelerador, y que funciona a una segunda presión de gas, conteniendo la cámara diana (16) un gas diana que es reactivo con el haz acelerado para emitir el flujo de neutrones, en el que el gas diana comprende al menos uno de deuterio o tritio; y
 50 una pluralidad de etapas de bombeo diferencial (18), estando cada etapa de bombeo diferencial configurada para reducir una presión en el aparato fuente (10, 24) de neutrones en un factor de entre 10 y 1000 para mantener un diferencial de presión entre el acelerador (14) y la cámara diana (16);
- en el que el procedimiento comprende:
- 55 irradiar el contenedor (26) de carga con el flujo de neutrones, en el que el material (28) produce una firma de radiación después de que el flujo de neutrones entra en contacto con el material (28);
 detectar la firma de radiación; y
 evaluar la firma de radiación para identificar el material (28);

- 5 en el que el detector de radiación (32) es un detector electrónico que comprende una pluralidad de detectores de neutrones configurados para proporcionar datos a un ordenador de formación de imágenes para su visualización en una pantalla o reconstrucción en una imagen o en el que el detector de radiación es una película sensible a los neutrones para obtener imágenes del interior del contenedor;
- en el que el detector de radiación (32) está protegido de los neutrones térmicos; y
- el aparato de fuente (10, 24) de neutrones y un detector de radiación (32) están configurados para acoplarse a uno de:
- 10 una grúa (34) configurada para descargar contenedores de carga (26) de un barco; o
un transportador configurado para proporcionar contenedores de carga (26) para inspección.
9. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la etapa de evaluación comprende determinar la relación de diferentes elementos identificados en el contenedor (26) de carga.
- 15 10. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la etapa de evaluación comprende detectar un evento de fisión para identificar material nuclear especial (28) en el contenedor (26) de carga.
11. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la etapa de irradiación comprende pulsar el aparato fuente (10, 24) de neutrones, y la etapa de detección comienza después de la etapa de irradiación.
- 20 12. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la primera presión de gas a la que funciona el acelerador (14) es inferior a 0,131 μ atm.
13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8 o la reivindicación 13, en el que la segunda presión de gas a la que funciona la cámara diana (16) es 0,001-0,013 atm.

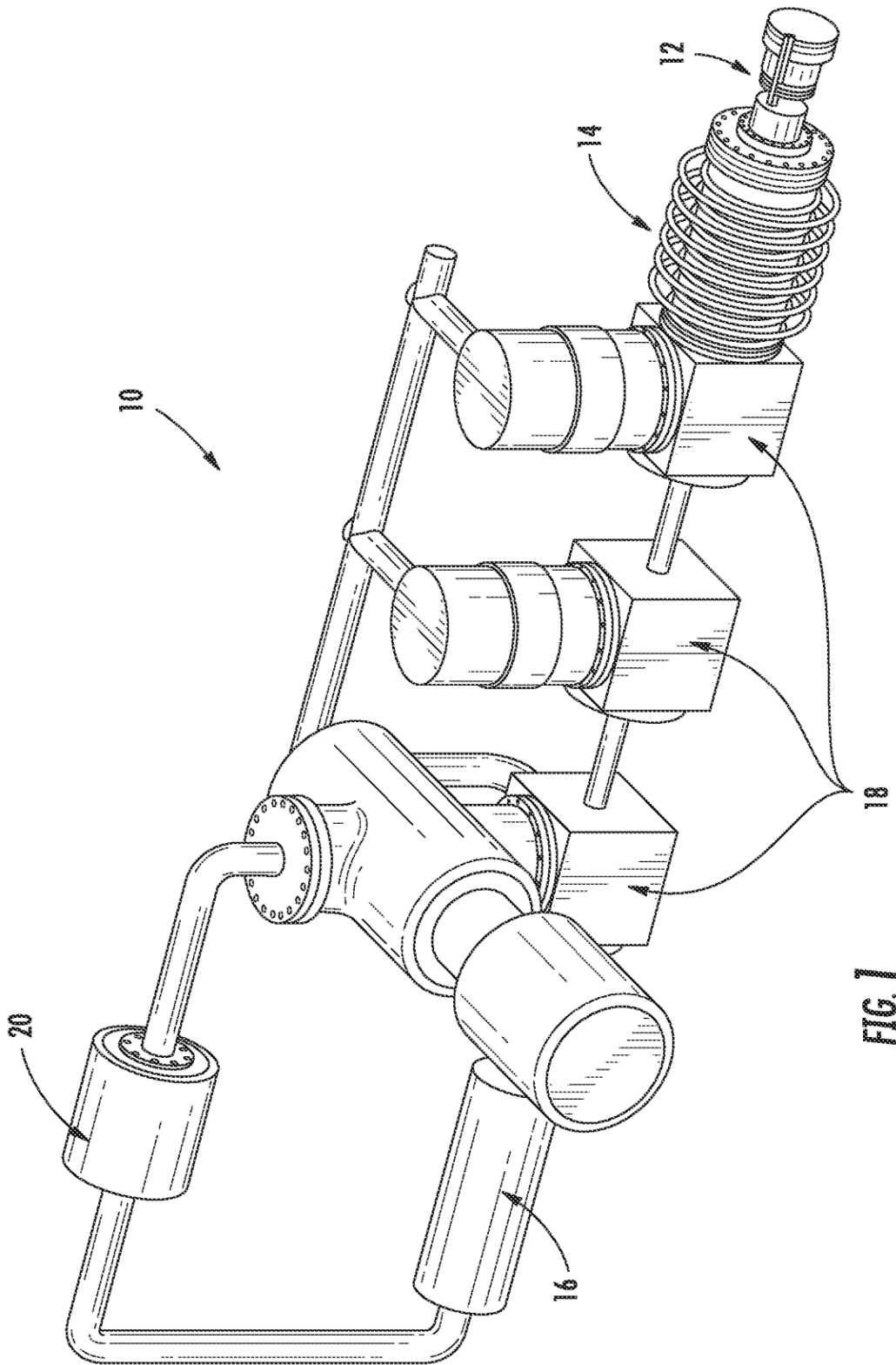


FIG. 1

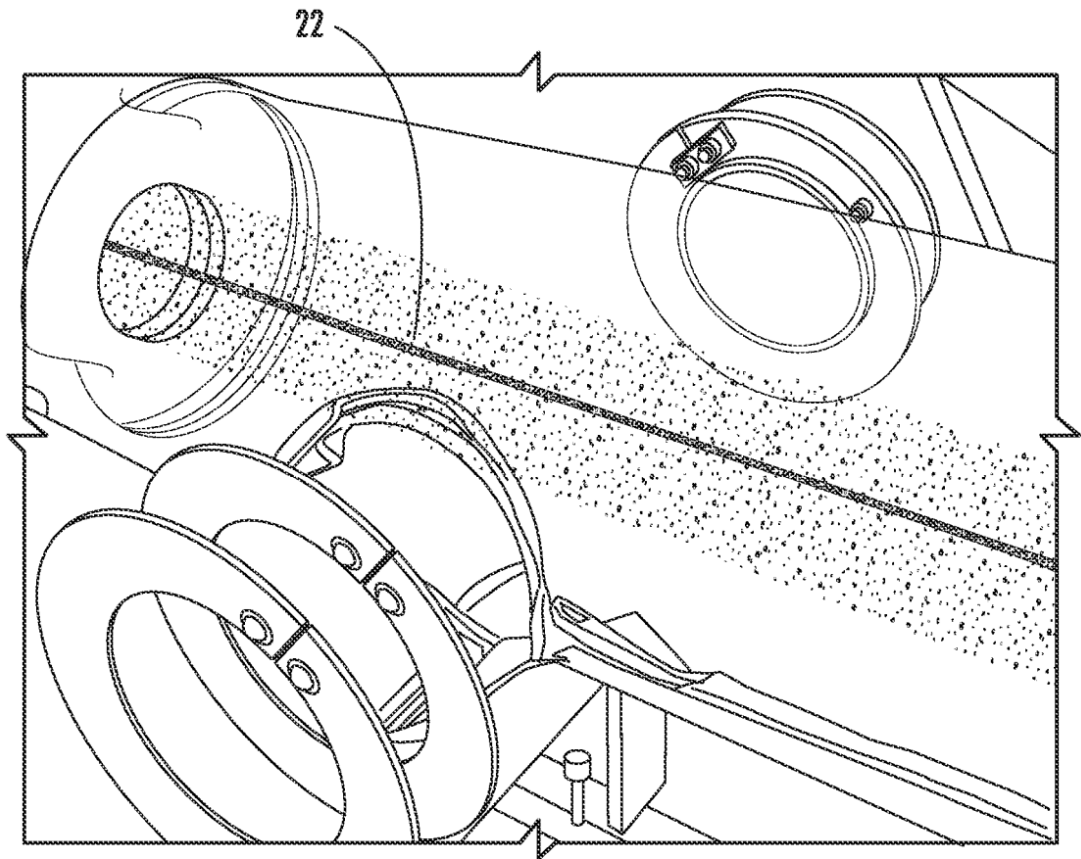


FIG. 2

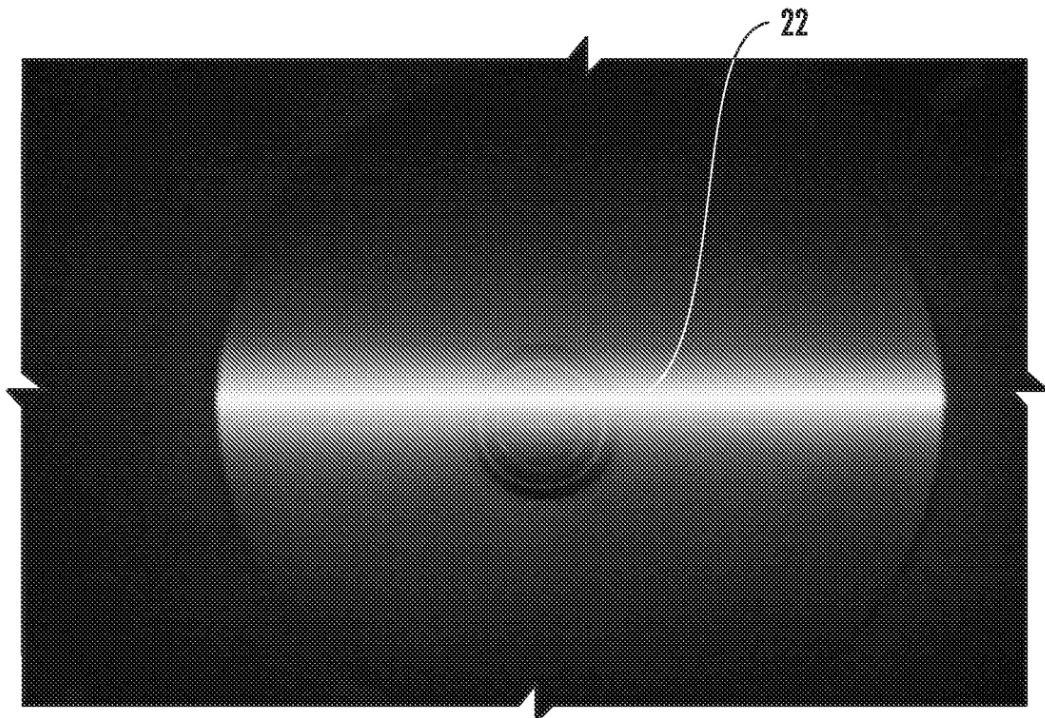


FIG. 3

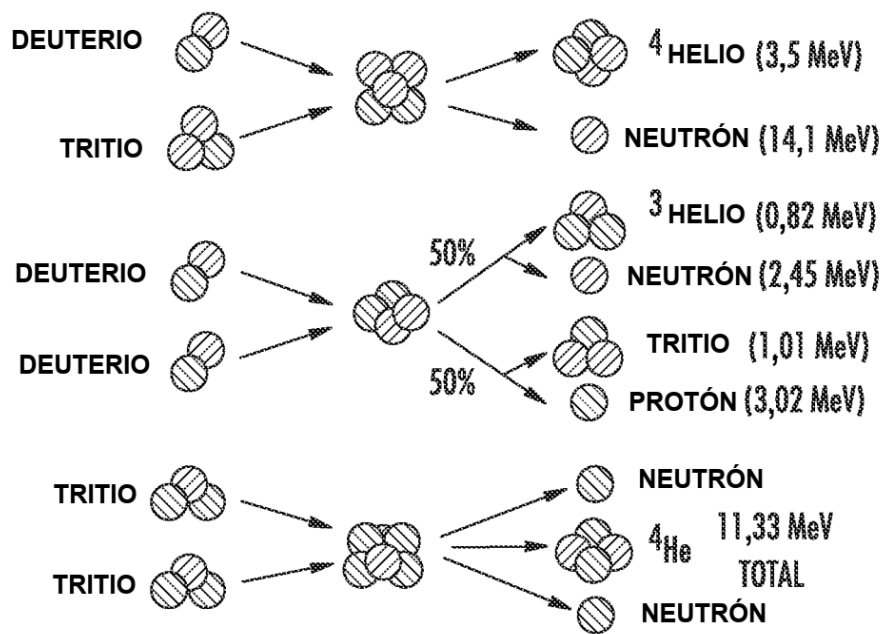
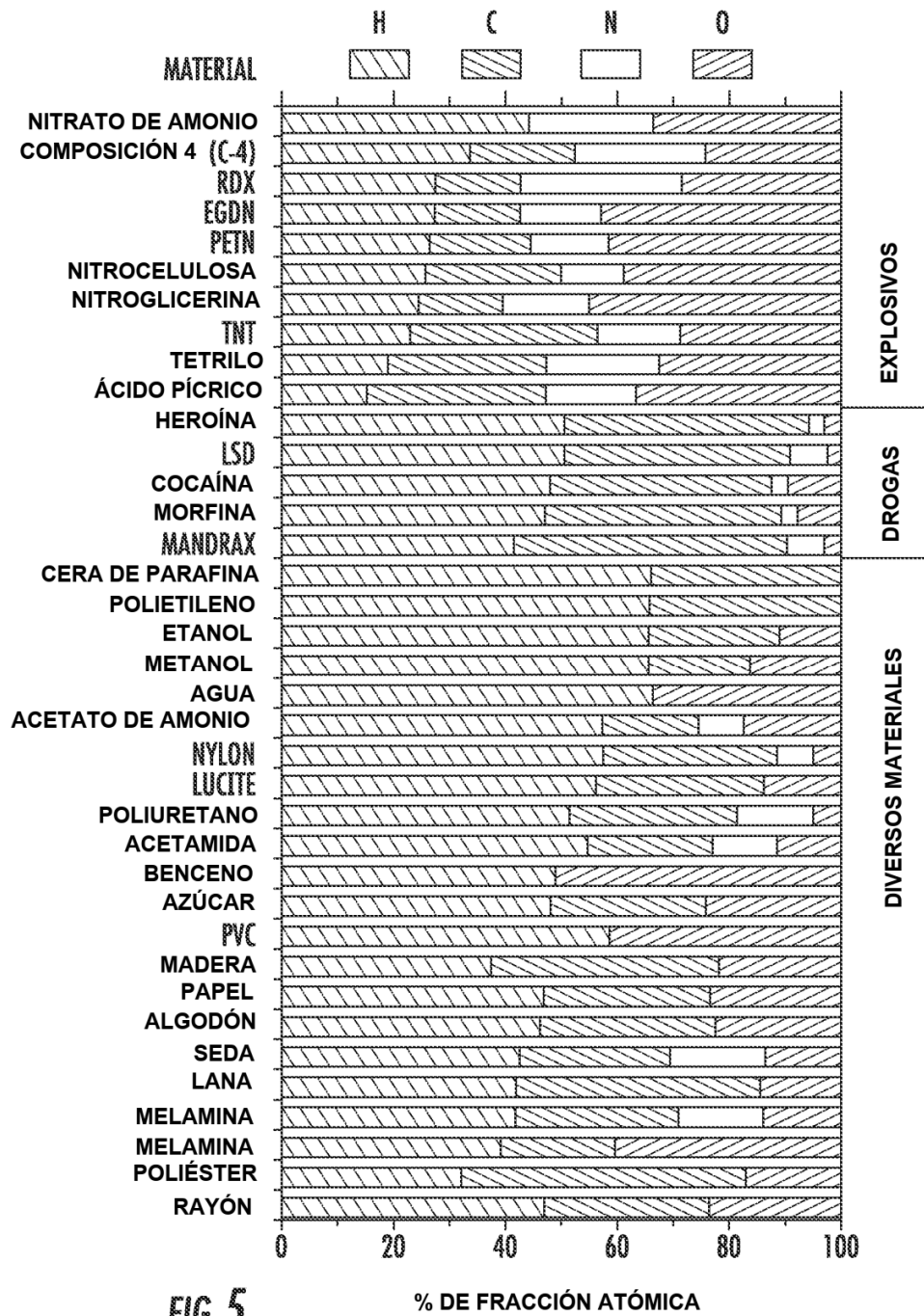


FIG. 4



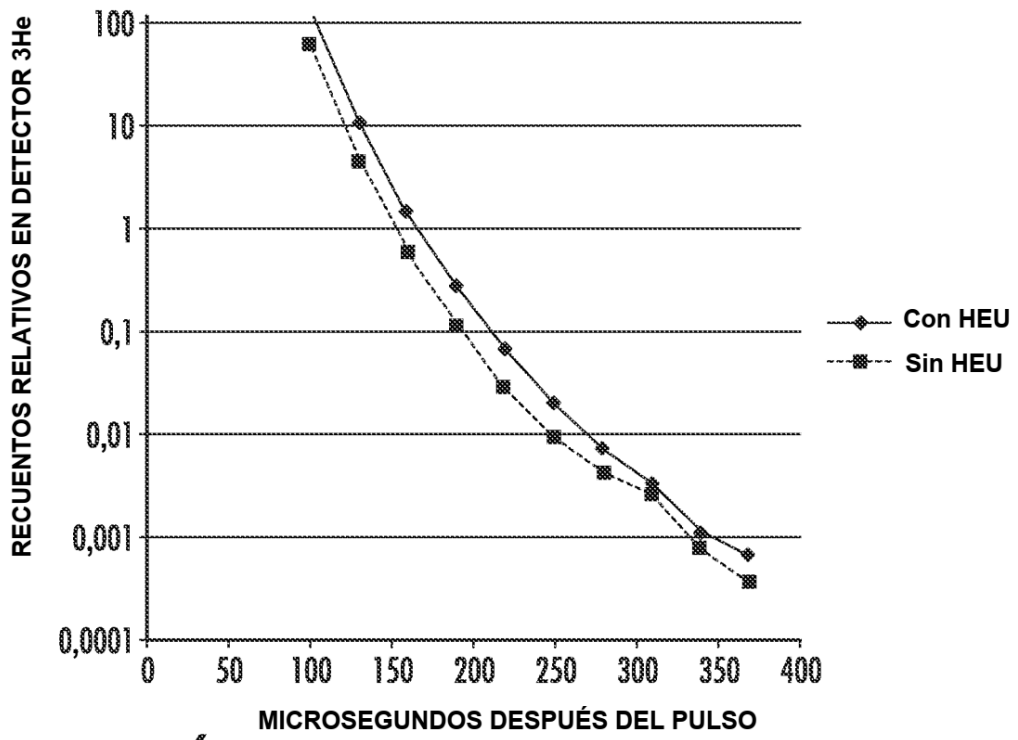


FIG. 6

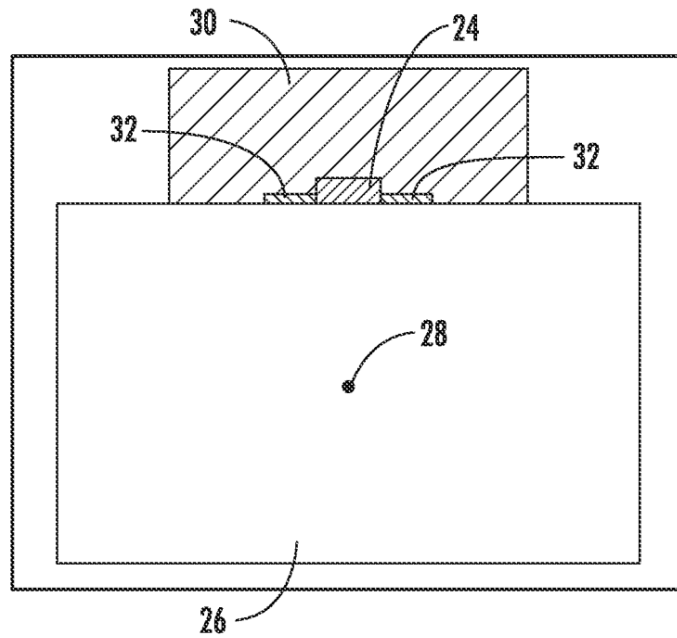


FIG. 7

ÍNDICE DEL GRUPO	SEMIVIDA (S)	ABUNDANCIA RELATIVA (%)
1	54,51 +/- 0,94	3,8 +/- 0,3
2	21,84 +/- 0,54	21,3 +/- 0,5
3	6,00 +/- 0,17	18,8 +/- 1,6
4	2,23 +/- 0,06	40,7 +/- 0,7
5	0,50 +/- 0,03	12,8 +/- 0,8
6	0,18 +/- 0,02	2,6 +/- 0,3

FIG. 8

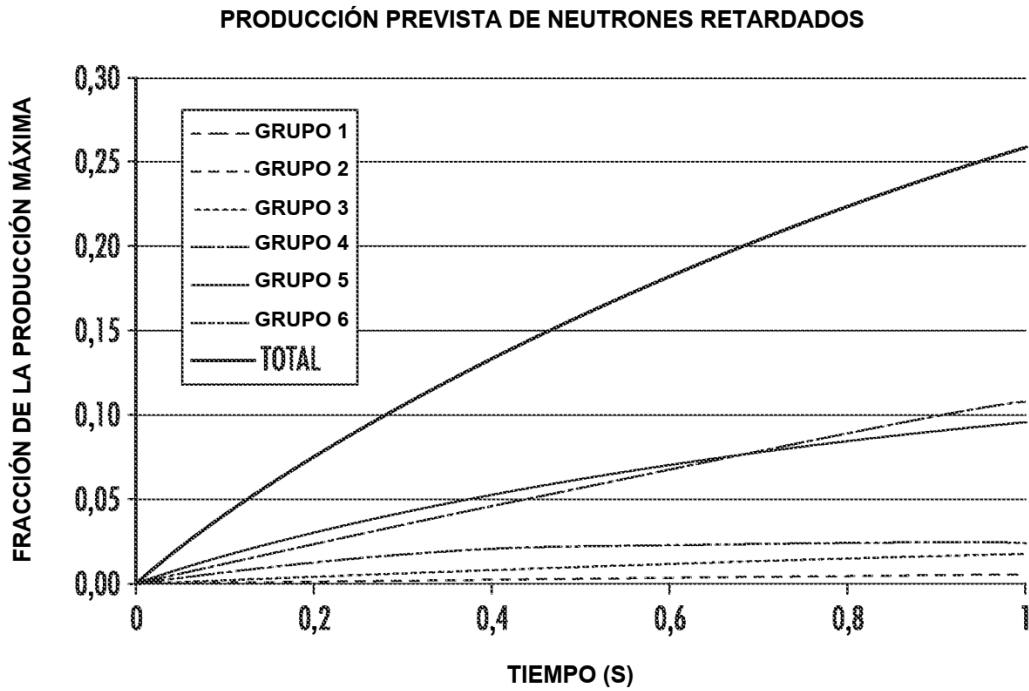


FIG. 9

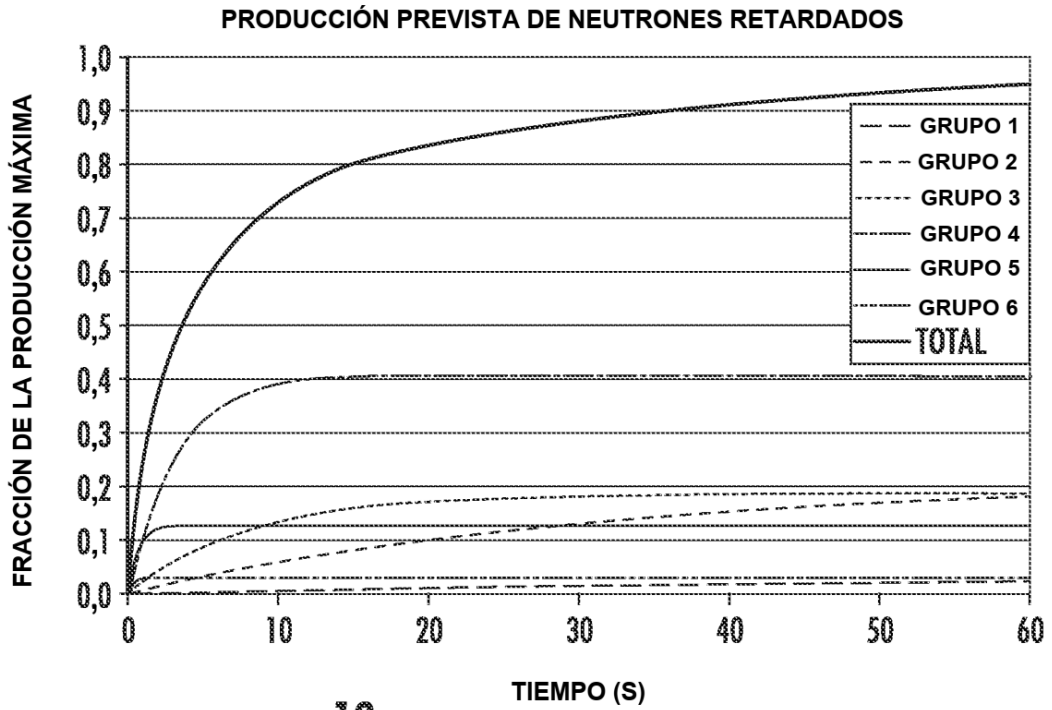


FIG. 10

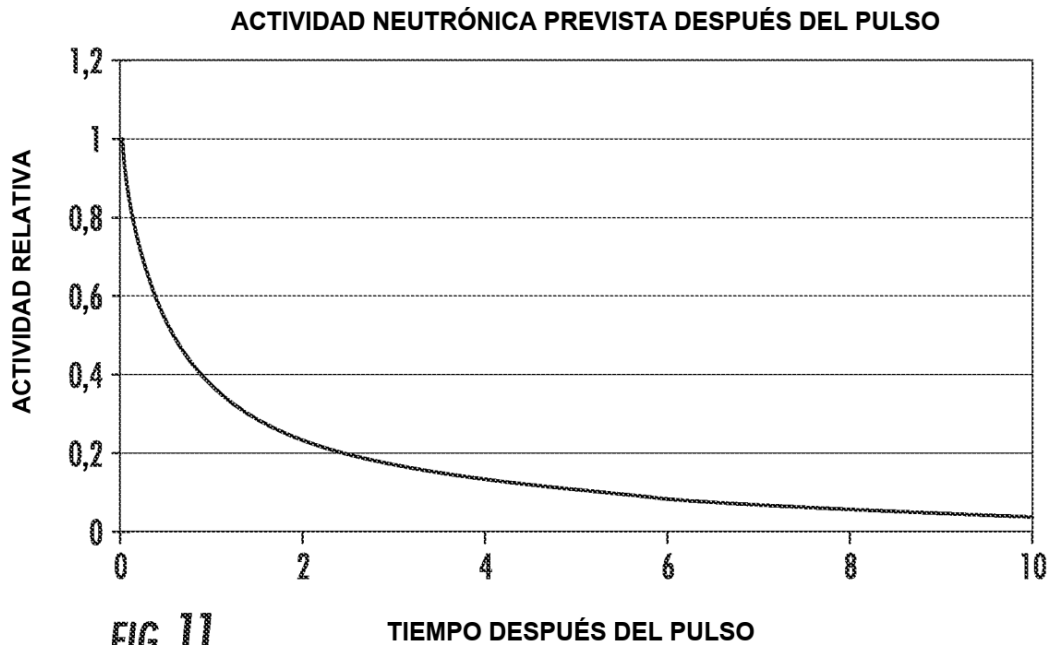


FIG. 11

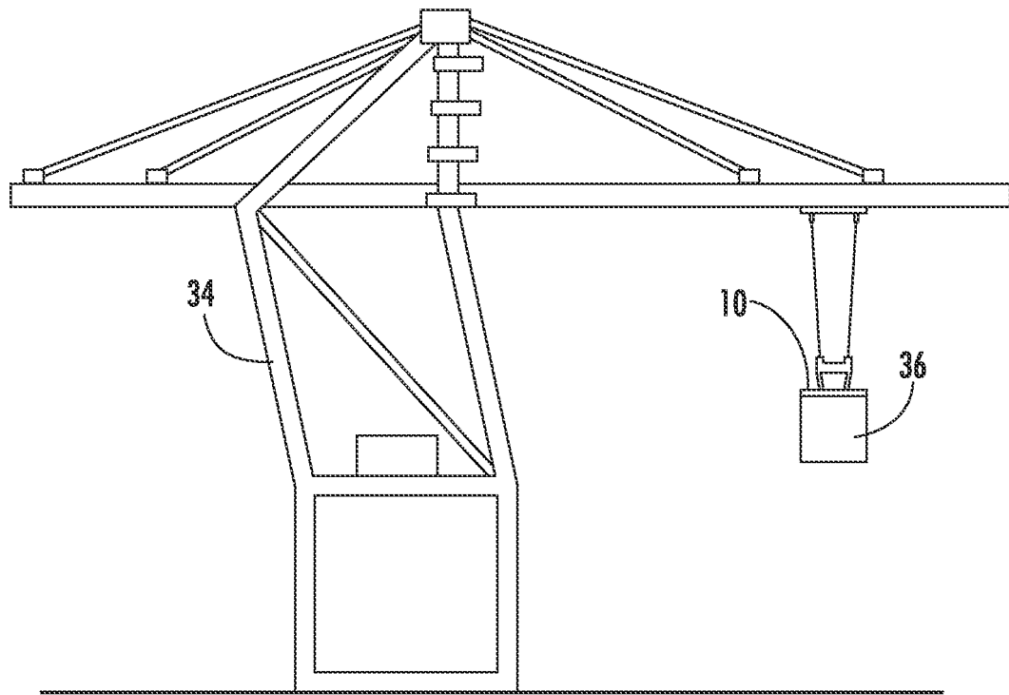


FIG. 12