

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 759 321**

51 Int. Cl.:

G21B 3/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.03.2016 PCT/EP2016/057012**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.10.2016 WO16169741**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.03.2016 E 16714358 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.09.2019 EP 3286764**

54 Título: **Un método de uso en la generación de energía y un aparato asociado**

30 Prioridad:

21.04.2015 EP 15162307

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

08.05.2020

73 Titular/es:

**RITON HOLDING LTD (100.0%)
Vanterpool Plaza, 2nd Floor, Wickhams Cay 1
Road Town, Tortola, VG**

72 Inventor/es:

**LIDGREN, HANS y
LUNDIN, RICKARD**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 759 321 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

Un método de uso en la generación de energía y un aparato asociado

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para usar en la generación de energía. Más específicamente, la presente invención se refiere a un método para usar en la generación de energía que utiliza la captura de neutrones por una materia objetivo mediante la cual se produce energía de salida de radiación electromagnética. La presente invención también está relacionada con un aparato asociado.

Técnica antecedente

15 La espalación nuclear y la captura de neutrones son conceptos factuales en física nuclear. La espalación nuclear implica la fragmentación de nucleones por haces de partículas energéticas en aceleradores de partículas que se utilizan para producir haces de neutrones energéticos. Por otro lado, la captura de neutrones es un proceso de fusión mediante el cual los nucleones capturan neutrones, aumentando así sus masas.

20 En el primer caso, la espalación requiere un aporte de energía bastante alto. En el último caso, la captura de neutrones por isótopos en la parte inferior de la tabla de nucleidos da una salida de energía. Debido a que la espalación por haces de partículas energéticas requiere una entrada de energía mucho mayor en comparación con la energía potencial recibida por la captura de neutrones, generalmente no se ha considerado como un medio útil para la producción de energía.

25 En vista de lo anterior, existe la necesidad de un avance técnico para lograr la producción de energía que supere los problemas mencionados anteriormente.

30 Imasaki et al.: "Gamma Ray Transmutation", 6 June 2006 (2006-06-06), pages 1-3, divulga una fuente de espalación nuclear.

Sumario de la invención

35 Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado para usar en la generación de energía que sea más controlable.

Además, también es un objeto de la presente invención proporcionar un aparato asociado.

40 Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método para su uso en potencia según la reivindicación 1.

La primera materia objetivo y la segunda materia objetivo se denominarán aquí y en lo sucesivo colectivamente como combustible o combustible del reactor.

45 Por exposición de radiación electromagnética, radiación EM, energía de entrada se entiende aquí que la radiación EM irradia al menos una parte de la primera materia objetivo. La radiación puede comprender fotones que tienen al menos una frecuencia, o modo de frecuencia. En un primer ejemplo, la radiación comprende fotones que tienen una pluralidad de modos de frecuencia. En un segundo ejemplo, la radiación es sustancialmente monocromática y comprende fotones con una frecuencia fija. Además, la radiación puede tener un nivel preferido de intensidad y/o potencia. El nivel preferido de intensidad y/o potencia puede estar asociado con frecuencias específicas.

50 La energía de entrada de radiación EM puede transferir energía de entrada y el impulso de entrada a la primera materia objetivo. La transferencia de energía puede proporcionarse mediante un proceso de aceleración de onda-partícula. Opcionalmente, la radiación EM puede estar polarizada.

55 Al menos una parte de la primera materia objetivo puede asumir un estado de alta energía. Cuando la primera materia objetivo se lleva al estado de mayor energía a través de la resonancia de onda, los neutrones pueden liberarse o emitirse. En otras palabras, la energía de onda de resonancia puede energizar la primera materia objetivo para producir energía de fisión y producir neutrones. Este proceso puede ser denominado espalación. La liberación puede ocurrir cuando la energía de entrada es mayor o igual a un umbral de energía. Además, sin embargo, un efecto de túnel mecánico cuántico puede permitir una liberación por debajo del umbral de energía.

60 La primera materia objetivo asume un estado de energía más alto por el cual la energía de onda se transfiere al menos a una porción de la primera materia objetivo. El proceso de aceleración onda-partícula, o de manera equivalente, el proceso de resonancia de onda puede elegirse en función de las propiedades físicas especificadas de la geometría del reactor y el combustible contenido en él. Las propiedades físicas pueden estar asociadas a las propiedades físicas de la primera materia objetivo. A modo de ejemplo, estas propiedades físicas pueden

relacionarse con un tipo de material comprendido en la primera materia objetivo, el tipo de estructura reticular del material, las cantidades físicas del material, como su masa atómica, número de átomos, distancia de separación atómica, velocidad del sonido, velocidad característica del plasma, temperatura local, temperatura media, etc., dimensiones de longitud de la estructura reticular del material, dimensiones longitudinales de una estructura de grano del material y geometría de la estructura reticular del material. Las propiedades físicas también pueden ser una frecuencia de resonancia local de la primera materia objetivo. La energía resonante de la onda, es decir, la energía recibida por el proceso de aceleración (bombeo) de la onda resonante, puede transferirse a la primera materia objetivo a una intensidad preferida. La energía resonante de onda W tiene una frecuencia asociada ω y una longitud de onda resonante asociada λ . La energía de entrada de radiación EM puede acelerar los iones en la primera materia objetivo.

Según el método de la invención, se producen o liberan neutrones. En un ejemplo no limitativo, los neutrones pueden ser neutrones fríos. Por neutrones fríos se entiende en esta aplicación que la energía cinética de los neutrones se especifica en el rango de 0 eV a 0.025 eV, donde eV denota electronvoltio. En particular, los neutrones fríos pueden ser neutrones térmicos. En otro ejemplo no limitativo, los neutrones pueden tener energías cinéticas entre 0.025 eV y 1 eV. En otro ejemplo no limitativo, los neutrones pueden ser neutrones lentos que tienen energías cinéticas entre 1 eV y 10 eV. Las energías cinéticas entre 10 eV y 50 eV también son concebibles.

Dado un suministro constante de energía de entrada de radiación EM, el número de neutrones producidos por la primera materia objetivo puede aumentar con el tiempo. En un ejemplo no limitativo, el número de neutrones producidos después de un tiempo de iniciación de la espalación puede estar entre 10^{10} y 10^{20} neutrones por segundo por cm^2 .

La primera materia objetivo puede estar en un estado ionizado o en un estado de plasma cuando se liberan los neutrones. La segunda materia objetivo puede estar en estado sólido o líquido al capturar los neutrones.

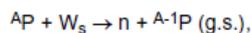
La primera materia objetivo puede comprender al menos uno de deuterio, D y ^7Li . Una ventaja de usar D es que es barato. Otra ventaja es que el uso de D conduce a una alta ganancia neta.

Además, la segunda materia objetivo puede comprender al menos uno de ^{40}Ca , ^{46}Ti , ^{52}Cr , ^{64}Zn , ^{58}Ni , ^{70}Ge y ^{74}Se . Cualquiera de estos materiales puede generar un exceso de energía por la captura de neutrones. Más particularmente, el proceso de captura de neutrones puede liberar más energía que la energía requerida para la espalación de neutrones.

La segunda materia objetivo también puede comprender isótopos más pesados de los elementos presentados anteriormente. Los elementos pueden ser de corta duración o estables. Tenga en cuenta que estos isótopos pueden ser producidos por la captura de neutrones de cualquiera de estos elementos. Por ejemplo, la segunda materia objetivo puede comprender ^{60}Ni o ^{62}Ni que puede resultar de la captura de neutrones por ^{58}Ni .

Por medio del concepto inventivo, normalmente no hay transmutaciones de elementos. En cambio, hay cambios de isótopos de la primera y la segunda materia objetivo. Por isótopos se entiende un conjunto de nucleidos que tienen el mismo número atómico Z pero que tienen diferentes números de neutrones $N=A-Z$, donde A es el número de masa. En el proceso de cambio de isótopos, el número de masa A del isótopo se desplaza por al menos un paso entero. El primer cambio de isótopo puede ser un cambio de isótopo de un isótopo ^AP con número de masa A a un isótopo ^{A-1}P con número de masa $A-1$.

El cambio de isótopo en un isótopo ^AP puede originarse a partir de un canal de reacción

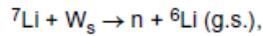


donde W_s denota una energía de espalación, donde "n" denota un neutrón y donde "g.s." denota un estado fundamental de ^{A-1}P . Esta reacción está asociada con un umbral de energía específico, convencionalmente expresado en eV. Este tipo de reacción también está asociado con energías umbral específicas.

Puede haber canales de reacción similares a partir de ^AP que pueden dar como resultado los isótopos ^{A-k}P , donde $k=1,2,3, \dots$. Por ejemplo, los procesos anteriores en los que el número atómico se desplaza en un paso pueden repetirse k veces, o la transición en k pasos puede ser directa.

La energía de espalación W_s es una energía suministrada a una parte de la primera materia objetivo por medio de la exposición a la irradiación para permitir la liberación de al menos un neutrón. Un estado de energía de la primera materia objetivo antes de la irradiación puede ser excitado a un estado de energía más alto. El primer estado de energía puede alcanzar el estado de mayor energía mediante la absorción de energía. Por ejemplo, la energía absorbida puede convertirse en energía cinética y/o energía vibratoria de la primera materia objetivo.

En un primer ejemplo no limitante, un cambio de isótopo en litio puede originarse desde el canal de reacción



5 W_s es la energía de espalación y donde "g.s." denota un estado fundamental de ${}^6\text{Li}$. El umbral de energía para esta reacción es 7.25 MeV. Se observa que ${}^6\text{Li}$ y ${}^7\text{Li}$ son isótopos estables per se, pero que la reacción anterior puede ser inducida por irradiación por encima del umbral de energía.

10 En un segundo ejemplo no limitante, el desplazamiento de isótopos puede originarse en el canal de reacción $D + W_s \rightarrow n + {}^1\text{H}$, donde D es deuterio ${}^2\text{H}$ y donde H es protio, es decir, hidrógeno. El umbral de energía para esta reacción es 2.25 MeV.

15 Los cambios de elementos también pueden ocurrir a través de la desintegración beta. Por ejemplo, la captura de neutrones de níquel hasta los isótopos inestables ${}^{63}\text{Ni}$ y ${}^{65}\text{Ni}$ conduce a través de la desintegración beta (β^-) a ${}^{63}\text{Cu}$ y ${}^{65}\text{Cu}$, respectivamente, es decir, los neutrones se convierten en protones. Por el contrario, la captura de neutrones de ${}^{59}\text{Ni}$ a través de la desintegración β^+ puede conducir a ${}^{58}\text{Co}$, es decir, un protón convertido en un neutrón. Por cierto, los isótopos inestables anteriores tienen altas secciones transversales de captura de neutrones. Por lo tanto, el proceso de conversión de energía puede implicar un meandro complejo de cambios de isótopos de captura de neutrones y cambios de elementos de desintegración $\beta\pm$, que eventualmente conducen a elementos estables.

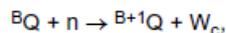
20 La primera materia objetivo puede comprender al menos un isótopo ${}^A\text{P}$. En un primer ejemplo, la primera materia objetivo comprende únicamente un isótopo. En un segundo ejemplo, la primera materia objetivo comprende dos isótopos. En un tercer ejemplo, la primera materia objetivo comprende una pluralidad de isótopos. El isótopo ${}^A\text{P}$ en la primera materia objetivo preferiblemente tiene una energía de unión nuclear baja para permitir la liberación de neutrones. Además, el isótopo ${}^A\text{P}$ en la primera materia objetivo tiene preferiblemente una energía de unión nuclear que es mayor que la energía de unión nuclear del isótopo ${}^{A-1}\text{P}$.

25 La energía de unión nuclear puede medirse como una energía de unión nuclear total en un núcleo. Alternativamente, la energía de unión nuclear puede medirse como una energía de unión nuclear por nucleón en el núcleo. En particular, la energía de unión nuclear puede medirse como una energía de unión nuclear promedio por nucleón en el núcleo.

30 La segunda materia objetivo puede comprender al menos un isótopo ${}^B\text{Q}$, donde B es el número de masa. En un primer ejemplo, la segunda materia objetivo comprende únicamente un isótopo. En un segundo ejemplo, la segunda materia objetivo comprende una pluralidad de isótopos. El isótopo ${}^B\text{Q}$ en la segunda materia objetivo tiene una energía de unión nuclear que es más pequeña que la energía de unión nuclear del isótopo, o isótopos, en la que se puede trasladar después del proceso de captura de neutrones.

35 Por energía de salida de radiación EM se entiende aquí energía que se libera en el proceso de captura de neutrones. La energía se liberará en forma de ondas electromagnéticas/fotones que cubren una amplia gama de frecuencias (primarias, secundarias, etc.).

40 Los neutrones pueden ser capturados por un isótopo estable o por un isótopo inestable. En un ejemplo, la captura de neutrones da como resultado un isótopo estable. En otro ejemplo, la captura de neutrones da como resultado un isótopo inestable. Un canal de reacción para la captura de neutrones que involucra un isótopo ${}^B\text{Q}$ puede escribirse como



45 donde W_c es la energía liberada de la captura de neutrones. Esta reacción puede repetirse de modo que se capturen dos o más neutrones, lo que da como resultado los isótopos ${}^{B+2}\text{Q}$, ${}^{B+3}\text{Q}$, ${}^{B+4}\text{Q}$, etc. Estos tipos de isótopos pueden escribirse colectivamente como ${}^{B+k}\text{Q}$, donde $k=1,2,3, \dots$. De hecho, en un ejemplo, la segunda materia objetivo captura un solo neutrón. En otro ejemplo, la segunda materia objetivo captura dos, tres o cuatro neutrones. En otro ejemplo más, una segunda materia objetivo captura una pluralidad de neutrones. El número de neutrones capturados puede estar correlacionado con un flujo de neutrones producido por la primera materia objetivo. En particular, la captura de neutrones puede estar condicionada por un flujo crítico de neutrones. Por ejemplo, el flujo crítico puede estar entre 10^{14} y 10^{20} neutrones por cm^2 por segundo.

50 Para que el proceso combinado de producción de neutrones y captura de neutrones sea efectivo, la tasa de producción de neutrones es preferiblemente lo suficientemente alta como para que una relación de ganancia de energía, definida como una potencia de salida dividida por una potencia de entrada, exceda la unidad.

55 De acuerdo con el concepto inventivo, se proporciona un método para usar en la generación de energía. La primera materia objetivo produce neutrones al llevarla a un estado de resonancia. La producción de neutrones por la primera materia objetivo y la captura de neutrones por la segunda materia objetivo operan juntas para producir energía de

salida. Un material en la segunda materia objetivo se transfiere a un estado de menor energía mediante el cual se produce energía. Por ejemplo, ^{58}Ni se puede cambiar a ^{60}Ni capturando dos neutrones.

Además, la primera materia objetivo puede calentarse. El calor puede ser proporcionado por un dispositivo de calentamiento. Un dispositivo de calentamiento diseñado adecuadamente puede producir ondas que llevan la primera materia objetivo al estado de resonancia. El método combinado de espalación de neutrones y captura de neutrones puede implementarse manteniendo una temperatura crítica en el combustible y cumpliendo los criterios de resonancia. Los criterios de resonancia se describirán más adelante.

El proceso de producción de neutrones requiere una entrada de energía menor que la producción de energía proporcionada por la captura de neutrones. En particular, se puede liberar energía en forma de radiación. Por ejemplo, se pueden liberar fotones que se caracterizan por tener momentos p , o energías $W=|p| \cdot c$. De este modo, el método inventivo puede utilizarse como un paso parcial en la generación de energía. Por ejemplo, el exceso de energía proporcionada puede usarse para operar una turbina de vapor para generar electricidad.

Otra ventaja de usar la captura de neutrones es que el neutrón puede ingresar al núcleo más fácilmente ya que el neutrón no tiene carga. De hecho, los procesos que involucran partículas cargadas, como los protones, requieren energías considerablemente más altas para proporcionar fusión nuclear, ya que debe penetrarse una barrera de Culombio del núcleo.

Además, por medio del método inventivo, se proporciona un método más controlado para su uso en la generación de energía. De hecho, la tasa de producción de neutrones puede controlarse fácilmente ajustando la potencia externa, pero aún más ajustando la intensidad y el contenido de frecuencia de onda de la radiación de entrada EM. La tasa de producción de neutrones se correlaciona directamente con la potencia y/o la intensidad y las frecuencias de onda de la radiación de entrada EM.

A continuación, se explicará el concepto de fuerza de gradiente en relación con la primera y la segunda materia objetivo. Como se explicará a continuación, la fuerza del gradiente puede surgir de la penetración de las ondas EM en la materia en cualquier estado agregado.

En física del plasma, se sabe que la fuerza ponderomotriz es una descripción efectiva de una fuerza no lineal promediada en el tiempo que actúa sobre un medio que comprende partículas cargadas en presencia de un campo EM oscilante no homogéneo. La base de la fuerza ponderomotriz promediada en el tiempo es que las ondas EM transfieren energía e impulso a la materia.

De los cinco posibles efectos ponderomotrices, la fuerza de Miller y la fuerza de Abraham se consideran las más poderosas en un entorno débilmente magnetizado o sin gradiente magnético. Sin embargo, dependiendo del método de calentamiento, los efectos de la fuerza del gradiente magnético no pueden excluirse. Además, la fuerza de Barlow, inducida por colisiones de partículas de gas, también puede influir en la dinámica del sistema.

La fuerza de aceleración ponderomotriz global que se considera aquí es la fuerza de Miller o, de manera equivalente, la fuerza de gradiente.

Bajo el supuesto de que un cuerpo sólido conductor puede ser tratado como un plasma, o un plasma de estado sólido, se puede aplicar el concepto de forzamiento de gradiente. Por dos razones, se elegirá una analogía de la onda Alfvén para derivar la fuerza del gradiente en los sólidos. En primer lugar, porque las ondas de Alfvén se han observado en plasmas en todos los estados, es decir, en estados plasmáticos, gaseosos, líquidos y sólidos. En segundo lugar, porque las ondas de Alfvén tienen una respuesta independiente de la frecuencia por debajo de la resonancia.

Sin embargo, se observa que, en general, puede haber una mezcla de ondas Alfvén y otras ondas, como las ondas acústicas, en el cuerpo sólido.

Por lo tanto, la fuerza de gradiente y una presión de gradiente relacionada surge además de las fuerzas generadas por una presión de radiación EM ordinaria sobre un cuerpo, en el que el cuerpo puede estar en cualquier estado agregado.

El cuerpo sólido puede describirse como que comprende iones y electrones, dando lugar a una carga neutra total. Dado que la masa de iones es típicamente más de 1800 veces mayor que la masa de electrones, la masa de electrones puede descuidarse. La densidad de masa y el forzamiento correspondiente sobre el plasma, por lo tanto, está determinado por la masa de iones, m . Las ondas de Alfvén que tienen una frecuencia ω se propagan a lo largo de las líneas de campo magnético $k = (0,0,k)$ en coordenadas cartesianas y tienen polarización lineal. La siguiente expresión se aplica a la fuerza de gradiente longitudinal (en unidades cgs) gobernada por las ondas de Alfvén en un fluido:

$$F_z = -\frac{e^2}{4m(\omega^2 - \Omega^2)} \frac{\partial E^2}{\partial z} \quad (1)$$

5 donde e es la carga elemental y donde Ω es una frecuencia de resonancia del ciclotrón. El gradiente espacial del campo eléctrico de onda cuadrada E^2 en la dirección z determina la magnitud de la fuerza. Se observa que la expresión (1) tiene una singularidad en $\omega^2 = \Omega^2$. Además, la fuerza del gradiente es atractiva para $\omega^2 < \Omega^2$ y repulsiva para $\omega^2 > \Omega^2$. De este modo, las ondas Alfvén de baja frecuencia que tienen $\omega^2 < \Omega^2$ atraen partículas cargadas hacia la fuente de onda, mientras que las ondas Alfvén de alta frecuencia que tienen $\omega^2 > \Omega^2$ repelen las partículas. La atracción a bajas frecuencias puede concebirse como intuitivamente incorrecta. Sin embargo, se aplica claramente a un plasma y también se ha confirmado experimental y teóricamente para la materia neutra en estado sólido. Además de tener este cambio de fuerza direccional bipolar en la resonancia de onda, la fuerza del gradiente es independiente del signo de la carga de la partícula, debido al factor de e^2 . Esto implica que la fuerza para iones y electrones positivos se dirige en la misma dirección.

15 Se observa que la materia neutra puede estar en estado fluido, gas, plasma o sólido. Dado que la materia neutra a nivel atómico y nuclear constituye cargas, uno puede considerar las oscilaciones atómicas (por ejemplo, movimientos brownianos) y las vibraciones interatómicas como "frecuencias fundamentales". Por lo tanto, el término de campo eléctrico de las ondas EM debería afectar a un "medio" atómico unido, por ejemplo, por las fuerzas de Van-der-Wahl de manera similar a un plasma unido por un campo magnético fuerte.

20 Para los neutros no magnetizados, la analogía implica que la energía de las ondas puede penetrar, ya que la fuerza del gradiente trabaja colectivamente en protones y electrones atómicos.

25 Para ondas de baja frecuencia como $\omega^2 \ll \Omega^2$, la expresión en la ecuación (1) se simplifica ya que ω puede ignorarse. En este caso, la fuerza se vuelve débilmente atractiva, independientemente de la estructura atómica o la masa.

30 Sin embargo, al acercarse a la frecuencia de resonancia $\omega^2 = \Omega^2$, la fuerza del gradiente aumenta de forma no lineal. Las frecuencias de resonancia en la física del plasma están relacionadas con las propiedades intrínsecas del fluido, como la densidad del plasma, una masa de partículas, una inercia de partículas y el campo magnético. Se declara que lo mismo se aplica para la materia en estado sólido, excepto que también están involucradas las fuerzas de unión mecánica e interatómica de Van de Wahl.

35 Por analogía, bajo el supuesto de que las ondas EM que irradian el cuerpo neutro fluido/sólido están polarizadas linealmente, la fuerza de gradiente ejercida sobre partículas/átomos individuales de masa m_a por ondas EM polarizadas linealmente con un campo eléctrico de radiación E se convierte en

$$F_z = -\frac{e^2}{4m_a(\omega^2 - \Omega_a^2)} \frac{\partial E^2}{\partial z} \quad (2)$$

40 En particular, esta expresión puede ser válida para la primera materia objetivo. La fuerza de gradiente teórica versus la frecuencia en la expresión (2) se asemeja a la de la expresión (1), excepto que ahora hemos introducido una frecuencia de resonancia Ω_a . La frecuencia de resonancia Ω_a puede ser una frecuencia de resonancia para la materia en cualquier estado agregado, es decir, sólido, líquido, gaseoso o plasma. La fuerza del gradiente vuelve a ser atractiva en todo el rango de frecuencias por debajo de la resonancia, es decir, para $\omega^2 < (\Omega_a)^2$. Por encima de la resonancia $\omega^2 > (\Omega_a)^2$, la fuerza es repulsiva. A frecuencias muy por debajo de la resonancia, $\omega^2 \ll (\Omega_a)^2$, la fuerza del gradiente es independiente de la frecuencia de onda y se aplica la siguiente expresión:

$$F_z \approx \frac{e^2}{4m_a\Omega_a^2} \frac{\partial E^2}{\partial z} \quad (3)$$

50 Si la materia está en un estado agregado sólido, la frecuencia de resonancia puede escribirse como $\Omega_a = c/a$, donde a es la distancia interatómica y c es la velocidad local de la luz en los medios. En este caso obtenemos para $\omega^2 \ll (\Omega_a)^2$ la expresión aproximada

$$F_z \approx \frac{a^2 e^2}{4m_a c^2} \frac{\partial E^2}{\partial z} = \xi(a, m_a) \frac{\partial E^2}{\partial z} \quad (4)$$

55

Aquí, la fuerza depende de una constante material, $\xi(a, m_a)$, y el gradiente espacial del campo eléctrico de onda cuadrada E^2 que se propaga en la materia. La energía de las olas puede entrar en calefacción y/o energía cinética. La atracción de onda está determinada por el gradiente espacial de E^2 que puede escribirse como el cociente $\delta E^2/\delta z$, donde δE^2 es una diferencia de E^2 sobre una longitud de interacción diferencial δz . Una constante de material $\xi(a, m_a)$, el gradiente $\delta E^2/\delta z$ y el campo eléctrico de onda transversal E , ahora determina la fuerza ejercida del gradiente sobre átomos individuales en el cuerpo. Observe que la distancia interatómica a define la fuerza de unión, o tensión, en analogía con el campo magnético que controla el movimiento del plasma. El factor a puede ser un parámetro que define la resonancia. Puede haber parámetros adicionales para definir la resonancia.

De manera más general, u en la expresión $\Omega_a = u/a$ está relacionado con la velocidad local de las ondas EM en los medios (por ejemplo, acústica, acústica de iones).

Se ha demostrado que los resultados analíticos derivados de la expresión (4) están en buen acuerdo con los resultados experimentales del experimento de vacío Cavendish.

Para la primera o la segunda materia objetivo, la siguiente expresión para la fuerza del gradiente se puede obtener de la ecuación (4) anterior:

$$F_z \approx K(a, m_a) \frac{\partial E^2}{\partial z} . \quad (5)$$

Aquí $K(a, m_a)$ son propiedades características de la primera y/o la segunda materia objetivo. Las propiedades características pueden ser una masa atómica correspondiente, varios átomos y una distancia de separación atómica, etc.

La fuerza del gradiente puede volverse más fuerte cuando la potencia de entrada de la radiación EM de entrada se vuelve más fuerte. Por ejemplo, la fuerza del gradiente en el rango de baja frecuencia $\omega^2 \ll (\Omega_a)^2$ es directamente proporcional a la potencia de entrada de la radiación EM de entrada.

Como se señaló anteriormente, también pueden surgir las fuerzas de Abraham en el cuerpo sólido. Por analogía con

un plasma, la fuerza longitudinal de Abraham puede describirse en este caso por $F_z = \pm (\frac{mc^2}{z c_A B^2}) \partial E^2 / \partial t$, siendo proporcional a la variación temporal del campo eléctrico al cuadrado. C_A es la velocidad de Alfvén y B es el campo magnético. El signo más o menos corresponde a la propagación de ondas paralelas o antiparalelas con la dirección del campo magnético B , respectivamente. La fuerza de Abraham puede ser significativa para cambios rápidos de E y/o campos magnéticos débiles. Este último puede estar asociado con bajas frecuencias de resonancia de ciclotrón que pueden dar bajas tasas de producción de neutrones. El mérito de la fuerza de Abraham puede ser, en cambio, promover el calentamiento mediante los rápidos cambios direccionales del campo EM. Además, la fuerza de Abraham puede mantener el enfoque longitudinal en el reactor.

El hecho de que las ondas EM en un plasma puedan conducir a la atracción no es obvio. Las ondas magnetohidrodinámicas, ondas MHD, son una clase de ondas en fluidos donde el plasma y el campo magnético muestran una oscilación mutua, el plasma se considera "congelado" en el campo magnético. En un campo magnético espacialmente unidireccional, la frecuencia de resonancia del plasma, en lugar de la dirección de propagación de la onda (+ dirección z), determina la dirección de la fuerza. De $\Omega = eB/mc$ tenemos para ondas de

baja frecuencia, $\omega^2 \ll \Omega^2$ que $F_z \approx \frac{mc^2}{2B^2} \frac{\partial E^2}{\partial z}$. Esto implica que la fuerza es constante e independiente de la frecuencia de onda en un medio homogéneo con B constante a frecuencias muy bajas, la fuerza es proporcional al gradiente de la intensidad de la onda EM. Debido a que la intensidad de la onda disminuye durante la interacción (ejerciendo fuerza sobre la materia), la fuerza se dirige opuesta a la dirección de propagación de la onda.

El concepto de ondas MHD proviene de la descripción fluida de los plasmas. Las ondas MHD se rigen por la tensión magnética en plasma magnetizado. Cuanto más fuerte es la tensión magnética, más débil es la velocidad del grupo de ondas y la fuerza del gradiente. De manera similar, las ondas MHD en plasma de estado sólido se rigen por sus propiedades dieléctricas y la tensión interatómica. Mientras que la frecuencia de resonancia local en plasma magnetizado gaseoso está determinada por la girofrecuencia iónica, la frecuencia de resonancia local en sólidos y gases neutros, que comprenden átomos, es menos obvia. Sin embargo, como ya se señaló, la fuerza del gradiente es de carga neutra, lo que implica que la fuerza sobre las partículas cargadas positivas (protones) y negativas (electrones) va en la misma dirección. La analogía con las ondas MHD en plasma es útil, porque la MHD ideal implica que no hay transporte de partículas per se en la materia. En cambio, la materia está sujeta a la fuerza por la liberación local de energía de las olas, caracterizada por un gradiente espacial del campo eléctrico de las olas. Para establecer la captura de neutrones de acuerdo con el método de la invención, se requiere una cierta mezcla de "nucleones de espalación", como ${}^7\text{Li}$ o D , y nucleones de captura de neutrones de alto rendimiento, como ${}^{58}\text{Ni}$ o ${}^{40}\text{Ca}$. En el curso de este proceso nuclear, y dependiendo del medio ambiente, puede tener lugar otra transferencia

de estados, por ejemplo, captura de electrones. Sin embargo, con un diseño de sistema adecuado, estos procesos pueden tener implicaciones menores para el presupuesto de energía de salida.

5 Dependiendo de la temperatura del combustible y la resonancia de onda, la tasa de producción de neutrones en un objetivo mixto ${}^7\text{Li}$ - ${}^{58}\text{Ni}$ o ${}^7\text{Li}$ - ${}^{40}\text{Ca}$ puede alcanzar un estado en el que la potencia de salida causada por la captura de neutrones excede sustancialmente la potencia de entrada.

10 Además de calentar el reactor, el exceso de energía de la captura de neutrones también puede mejorar la tasa de espalación. Esto último puede lograrse mejorando la potencia de entrada de la radiación EM al reactor. Además, la potencia de onda cerca de la resonancia puede mejorar aún más la tasa de espalación. Debido a que la relación teórica entre la espalación de neutrones y el proceso de captura de neutrones ${}^{58}\text{Ni} \rightarrow {}^{60}\text{Ni}$ puede variar entre 1.4 para ${}^7\text{Li}$ y 3,6 para el deuterio, la espalación de neutrones impulsada externamente solo puede alcanzar las ganancias mencionadas anteriormente. Sin embargo, el exceso de potencia junto con la captura de neutrones puede retroalimentar el proceso de producción de neutrones y conducir a tasas de espalación mejoradas. Este proceso de espalación impulsado por captura de neutrones intrínsecos puede aumentar la ganancia de potencia adicionalmente. Por ejemplo, la ganancia de potencia puede aumentarse en un orden de magnitud en comparación con el proceso impulsado directamente. Teniendo en cuenta el desplazamiento de la fuerza direccional bipolar de la fuerza del gradiente, como se explicó anteriormente, se debe evitar el exceso de calentamiento o las frecuencias de onda que alcanzan por encima de la resonancia. Si no, el sistema puede colapsar por repulsión de fuerza de gradiente.

20 A continuación, se describirán diversas realizaciones del concepto inventivo.

25 Según una realización, la energía de entrada de radiación EM proviene de la radiación EM que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia. La energía de entrada de radiación EM también puede contener un amplio espectro de armónicos con radiación EM que comprende una pluralidad de frecuencias con armónicos que se aproximan al menos a un modo de frecuencia de resonancia. El acto de exponer la primera materia objetivo a la radiación EM que tiene un modo de frecuencia de resonancia puede llevar la primera materia objetivo a un estado cercano, pero por debajo de la resonancia.

30 La frecuencia de resonancia puede ser una frecuencia de resonancia mecánica. Alternativamente, la frecuencia de resonancia puede ser una frecuencia de resonancia de onda EM.

35 La frecuencia de resonancia puede estar asociada con un estado agregado de la primera materia objetivo. En particular, puede haber una frecuencia de resonancia de la primera materia objetivo en un estado sólido, una frecuencia de resonancia de la primera materia objetivo en un estado gaseoso, y otra frecuencia de resonancia de la primera materia objetivo en un estado de plasma.

40 Preferiblemente, el modo de frecuencia de resonancia es una frecuencia que está cerca de una frecuencia de resonancia crítica. Este puede ser un criterio de resonancia. La frecuencia de resonancia crítica puede ser una frecuencia a la cual la fuerza del gradiente se vuelve divergente y/o a la cual la fuerza del gradiente cambia de dirección.

45 A modo de ejemplo, se puede considerar que la frecuencia de resonancia está cerca de la frecuencia de resonancia crítica si la relación entre la frecuencia de resonancia y la frecuencia de resonancia crítica está entre 0.8 y 0.999, o más preferiblemente entre 0.9 y 0.99.

50 Además, el modo de frecuencia de resonancia preferiblemente es una frecuencia que es más pequeña que la frecuencia de resonancia crítica mencionada anteriormente. Este puede ser un criterio de resonancia. Una frecuencia de resonancia más pequeña que la frecuencia de resonancia crítica puede provocar una contracción del combustible, como se ha indicado anteriormente y se describirá más adelante.

55 Es importante destacar que el modo de frecuencia de resonancia puede ser una frecuencia en cualquier parte del intervalo de frecuencia. Sin embargo, la cantidad de neutrones producidos puede depender de qué modo de frecuencia de resonancia se use.

60 El intervalo de frecuencia puede extenderse desde una frecuencia más baja hasta la frecuencia de resonancia crítica. Por ejemplo, el generador de onda externo puede proporcionar un primer modo de frecuencia de resonancia y un segundo modo de frecuencia de resonancia, por lo que el primer modo de frecuencia de resonancia está más cerca de la frecuencia de resonancia crítica que el segundo modo de frecuencia de resonancia. Al exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación EM con el primer modo de frecuencia de resonancia puede producir más neutrones que al exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación EM con el segundo modo de frecuencia de resonancia. Además, una mayor potencia de entrada también puede aumentar la tasa de producción de neutrones.

65 Por lo tanto, la transferencia de energía de las olas es preferiblemente una transferencia de energía resonante. Sin embargo, también puede ser una transferencia de energía no resonante. Por transferencia de energía resonante se

entiende que la frecuencia de la radiación EM está comprendida en el intervalo de frecuencia cercano a la frecuencia de resonancia crítica.

5 El al menos un modo de frecuencia de resonancia puede comprender múltiplos de una sola frecuencia de resonancia. Este puede ser un criterio de resonancia. Por ejemplo, una frecuencia de resonancia ω puede dar lugar a las frecuencias de resonancia múltiples $2 \cdot \omega$, $3 \cdot \omega$, $4 \cdot \omega$, $5 \cdot \omega$, ..., etc.

10 El modo de frecuencia de resonancia puede elegirse de modo que una energía asociada sea igual o mayor que la energía umbral para provocar la espalación de los neutrones en la primera materia objetivo.

A modo de ejemplo, cuando el modo de frecuencia de resonancia está cerca de la frecuencia de resonancia crítica, la fuerza del gradiente puede tener una fuerza entre 10^{-5} N y 1 N. En otro ejemplo, la fuerza del gradiente puede tener una fuerza entre 0.01 N y 0.1 N. Sin embargo, está claro que otras fuerzas son igualmente concebibles.

15 Una tasa de producción de neutrones puede depender de al menos una de la fuerza de la fuerza del gradiente, la temperatura del combustible y la frecuencia de resonancia.

20 En un primer ejemplo, la frecuencia de resonancia crítica asociada a un gas/plasma para ${}^7\text{Li}$ es $\Omega_a = 1.3 \cdot 10^{16}$ Hz. Ω_a se basa entonces en una distancia interatómica de longitud de onda $a = 1.1 \cdot 10^{-8}$ m, la onda se propaga a la velocidad de la luz (c).

En un segundo ejemplo, la frecuencia de resonancia crítica para ${}^7\text{Li}^+$, que es una resonancia de onda acústica iónica del gas/plasma correspondiente, es $\Omega_a = 7.9 \cdot 10^{13}$ Hz. La media interatómica en el gas/plasma es $a = 1.1 \cdot 10^{-9}$ m.

25 En un tercer ejemplo, la frecuencia crítica y la distancia interatómica promedio para D+ para las ondas acústicas de iones del correspondiente gas/plasma de deuterio, es $\Omega_a = 1.3 \cdot 10^{13}$ Hz y $a = 6.1 \cdot 10^{-9}$ m respectivamente.

30 De acuerdo con una realización, al menos un modo de frecuencia de resonancia está asociado con una distancia interatómica de la primera materia objetivo. Para una porción dada de la primera materia objetivo, los átomos pueden estar dispuestos en una red tridimensional. Si la primera materia objetivo comprende varios isótopos, la porción puede estar relacionada con un isótopo específico que tiene una estructura reticular fija. La distancia interatómica en las direcciones x, y y z de la red puede escribirse como a_x , a_y y a_z , respectivamente. Claramente, las distancias interatómicas a_x , a_y y a_z en general pueden ser diferentes y dependen del tipo específico de red.

35 El modo de frecuencia de resonancia ω_i puede estar relacionado con la distancia interatómica a_i por la relación $\omega_i = u_i/a_i$, donde u_i es constante y donde $i = x, y$ o z . La constante u_i tiene las dimensiones de velocidad o velocidad, es decir, $[u_i] = L \cdot T^{-1}$, donde L y T es un parámetro de longitud y un parámetro de tiempo, respectivamente. La constante u_i puede ser componente de una velocidad en una dirección específica o una magnitud de una velocidad. En un primer ejemplo no limitante, la constante u_i es una velocidad de sonido de una parte de la primera materia objetivo.
40 La velocidad del sonido puede ser una velocidad de sonido iónico. En el segundo y tercer ejemplo no limitativo, la constante u_i es una velocidad de onda de plasma u_w de una porción de la primera materia objetivo.

45 Según una realización, el al menos un modo de frecuencia de resonancia es un modo de frecuencia de resonancia de gas o plasma de la primera materia objetivo, una resonancia de plasma que caracteriza plasmas magnetizados y/o no magnetizados de la primera materia objetivo, o un modo de frecuencia de resonancia sólido/fluido/gaseoso/plasma de dicha segunda materia objetivo.

50 De acuerdo con una realización, el método comprende además llevar la primera materia objetivo a un estado de plasma. De hecho, el forzamiento del gradiente puede volverse dominante en el estado plasmático de la primera materia objetivo.

55 Según un ejemplo, el método comprende además llevar la primera materia objetivo desde un estado sólido a un estado líquido. El método puede comprender además llevar la primera materia objetivo de un estado líquido a un estado gaseoso. Además, el método puede comprender además llevar la primera materia objetivo del estado gaseoso a un estado plasmático.

Según un ejemplo, la segunda materia objetivo se mantiene en estado sólido como un polvo de grano fino (régimen de baja temperatura). Según un ejemplo, el método comprende además llevar la segunda materia objetivo a un estado líquido o gaseoso.

60 Según una realización, el método comprende además calentar al menos una de la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo. Por medio de esta realización, se pueden producir más neutrones. De hecho, un combustible más caliente puede estar sujeto a compresión por la fuerza del gradiente, que es mutuamente beneficioso para la producción y captura de neutrones.

65

Según un ejemplo, el calentamiento se proporciona mediante calentamiento por inducción. El calentamiento por inducción puede ser un calentamiento por inducción de dos o tres fases. Una ventaja de este ejemplo es que el calentamiento del combustible puede realizarse por medio de un dispositivo de calentamiento que no tiene que hacer contacto físico con el combustible. Por el contrario, el calentamiento puede realizarse mediante corrientes torbellino inducidas, lo que implica calentamiento por resistencia en el combustible. Además, el calentamiento puede realizarse mediante pérdidas por histéresis magnética en el combustible.

Como se indicó anteriormente, otra implicación de la fuerza del gradiente es que la materia caliente puede atraer materia fría. Por ejemplo, la primera materia objetivo puede enfriarse cuando se liberan o emiten neutrones. De este modo, la primera materia objetivo puede ser atraída por la segunda materia objetivo. En particular, la primera materia objetivo puede ser atraída hacia un núcleo de la segunda materia objetivo.

El calentamiento del combustible puede tener consecuencias para un núcleo del combustible incluso cuando la primera materia objetivo se irradia con radiación EM que tiene frecuencias muy por debajo de la resonancia crítica. Las altas temperaturas del combustible pueden conducir a la contracción del núcleo con fuerza de gradiente y a la atracción de partículas ambientales. Independientemente del estado agregado de la materia, el calentamiento de la onda cerca de la resonancia puede conducir a un forzamiento sustancial. La fuerza de resonancia acumulada puede eventualmente alcanzar energías de fisión/espalación para la primera materia objetivo.

El calentamiento, la evaporación y la ionización de la primera materia objetivo pueden conducir a la espalación de neutrones en el reactor en virtud de la alta temperatura del núcleo solamente, pero en este caso la tasa de producción debería ser baja. La fuerza puede ser un orden de magnitud mayor cerca de la frecuencia de resonancia.

Se pueden concebir varias resonancias, cada una relacionada con sus estados agregados correspondientes. Teniendo en cuenta el poder del forzamiento EM, el forzamiento EM también dominará un gas neutral. En particular, esto es válido en un entorno donde una tasa de ionización supera el 0.01%. Por esa razón, el proceso de espalación puede tratarse como un proceso gobernado por resonancias de plasma. La tasa de ionización para el primer objetivo (iones de litio y deuterio) es un equilibrio entre la ionización y la recombinación. Recombinación significa que los iones vuelven a los neutros. Para mantener una alta tasa de ionización en un ambiente de gas denso se requiere un forzamiento EM excesivo.

Según una realización, la energía de entrada de radiación EM se proporciona en forma de una señal de onda cuadrada o una señal de onda sinusal. La señal de onda cuadrada comprende una pluralidad de armónicos, es decir, modos de frecuencia. En particular, la señal de onda cuadrada puede comprender al menos un modo de frecuencia de resonancia. Otros tipos de señales son igualmente concebibles. En particular, se puede preferir la señal no sinusal. Por ejemplo, se puede proporcionar una señal de diente de sierra. Además, se pueden proporcionar señales irregulares.

El método comprende, además, cuando se produce una potencia de salida de radiación EM por encima de un valor umbral de potencia, mantener la producción de energía de salida de radiación EM exponiendo la primera materia objetivo a la energía de mantenimiento de radiación EM. Una ventaja de esta característica es que una vez que la energía de salida de radiación EM se produce por encima del valor umbral de potencia, se produce energía de salida de radiación EM adicional al ingresar energía de mantenimiento a la primera materia objetivo. En particular, esto se puede lograr mientras el calentamiento se apaga gradualmente. Además, la energía de mantenimiento puede mantenerse cuando la calefacción se ha apagado por completo. La energía de mantenimiento se suministra desde una fuente que está separada del dispositivo de calentamiento mencionado anteriormente.

En un ejemplo, la primera materia objetivo está expuesta únicamente a la energía de mantenimiento EM. En particular, no hay calentamiento, como el calentamiento externo, de la primera materia objetivo. En otro ejemplo, la primera materia objetivo se expone a la calefacción, así como a la energía de mantenimiento EM.

Según un ejemplo alternativo, el método comprende, además, a condición de que los neutrones se produzcan por encima de un valor umbral, mantener la producción de energía de salida de radiación EM exponiendo la primera materia objetivo a la energía de mantenimiento de radiación EM.

Para reiterar, un enfoque conservador y de ahorro de energía puede ser ejecutar el proceso de captura de neutrones en la entrada de baja potencia. Al alcanzar un primer estado casi estable de captura de neutrones a alta potencia, una fuente de onda EM de alta frecuencia y baja potencia que trabaja cerca, pero por debajo, de la frecuencia de resonancia puede asumir el control, conduciendo a un segundo estado casi estable. Por segundo estado casi estable se entiende aquí que se necesita menos potencia de entrada para mantener el proceso de captura de neutrones y, por lo tanto, la generación de energía. Las ondas de alta frecuencia de baja potencia cercanas a la resonancia crítica son suficientes para elevar las tasas de espalación de neutrones desde una línea base de temperatura mantenida principalmente por calentamiento interno.

Después de alcanzar la potencia de salida deseada, el reactor puede funcionar con una salida de potencia constante, casi autosuficiente, regulada por entradas correctivas menores de una fuente de onda. La fuente de onda

puede ser una fuente de onda de alta frecuencia y baja potencia. Además de tener un mejor control del proceso de captura de neutrones, el proceso mencionado anteriormente puede controlar la ganancia de alta potencia y ofrece una operación sostenible del reactor.

5 Según una realización, la energía de mantenimiento de la radiación EM proviene de la radiación EM que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia.

10 La energía de mantenimiento de la radiación EM se proporciona por medio de una fuente de onda. La fuente de onda, o generador de onda, es una fuente de onda EM. En un ejemplo no limitante, la fuente de onda es un electrodo de descarga. Por medio de la fuente de onda, la energía de mantenimiento puede proporcionarse de una manera más controlada. Además, puede ser necesaria una potencia menor para mantener la producción de neutrones. De hecho, por medio de la fuente de ondas, se pueden mantener operaciones constantes a potencia reducida. La potencia reducida puede ser considerable en comparación con la potencia proporcionada por medio de la energía combinada de entrada de calor y radiación EM.

15 Según un ejemplo, el método puede comprender el acto de un generador termoeléctrico ligero para sondas de espacio profundo. La unidad fuente que funciona en modo de mantenimiento de baja potencia, es capaz de operar a largo plazo (>30 años), requiriendo una minúscula materia objetivo. La ventaja, en comparación con otras soluciones, es que no se necesitan elementos radiactivos para proporcionar generación de energía.

20 Según un ejemplo alternativo, el método puede comprender además el acto de operar una turbina por medio de la producción de energía de radiación EM producida, y generar electricidad por medio de la turbina. La turbina puede ser una turbina de vapor.

25 Se observa que los pasos del método descrito anteriormente, o cualquiera de sus realizaciones, no tienen que realizarse en el orden exacto divulgado anteriormente.

30 Según un segundo aspecto de la invención, se proporciona un aparato para realizar el método de la reivindicación 1, según la reivindicación 10.

Los detalles y ventajas del segundo aspecto de la invención son en gran medida análogos a los del primer aspecto de la invención, en el que se hace referencia a lo anterior.

35 El aparato comprende una unidad fuente EM para producir campos magnéticos y/o eléctricos. En un ejemplo no limitativo, la unidad fuente EM y la unidad fuente para producir energía de entrada de radiación EM son las mismas.

40 El aparato comprende un recipiente de combustible para contener la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo. El recipiente de combustible puede contener un material que absorbe radiación y/o absorbe neutrones. En particular, el recipiente de combustible puede contener un material que absorbe radiación suave y/o absorbe neutrones térmicos. El recipiente de combustible puede comprender un material cerámico. El material cerámico puede comprender un óxido de aluminio.

45 Según una realización, el recipiente de combustible es una cámara de presión. Por medio de la cámara de presión, la presión de combustible del reactor en el recipiente de combustible puede ajustarse y controlarse de manera mejorada. Por ejemplo, cuando la primera materia objetivo se lleva de un estado sólido a un estado gaseoso, el volumen de la primera materia objetivo puede aumentar, lo que aumenta la presión en el recipiente de combustible. La presión puede controlarse por medio de un sistema de ventilación conectado a la cámara de presión. El sistema de ventilación también puede usarse para suministrar la primera materia objetivo en forma gaseosa y/o líquida al reactor.

50 La primera materia objetivo y la segunda materia objetivo son mixtas. La primera y la segunda materia objetivo se pueden mezclar proporcionalmente, por lo que la cantidad de primera materia objetivo se adapta a la cantidad de segunda materia objetivo para producir una mayor cantidad de neutrones. Por medio de los objetivos mixtos, las operaciones a largo plazo del aparato pueden mantenerse de manera estable. La estabilidad se puede proporcionar a niveles de ganancia predeterminados.

55 En un primer ejemplo no limitativo, al menos uno de la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo se proporciona en forma de granos. En un segundo ejemplo no limitativo, la segunda materia objetivo se proporciona en forma de red. En un tercer ejemplo no limitativo, la segunda materia objetivo se proporciona en forma de una cuerda o una fibra.

60 En general, todos los términos utilizados en las reivindicaciones deben interpretarse de acuerdo con su significado ordinario en el campo técnico, a menos que se defina explícitamente lo contrario en este documento. Todas las referencias a "un/uno/el [elemento, dispositivo, componente, medio, paso, etc.]" deben interpretarse abiertamente como que se refieren al menos a una instancia de dicho elemento, dispositivo, componente, medio, paso, etc., a menos que se indique explícitamente lo contrario.

Breve descripción de los dibujos

5 Lo anterior, así como los objetos, características y ventajas adicionales de la presente invención, se entenderán mejor a través de la siguiente descripción detallada ilustrativa y no limitativa de las realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los dibujos adjuntos, donde se utilizarán los mismos números de referencia para elementos similares, en los que:

10 La figura 1 es una vista esquemática en sección transversal de un aparato de acuerdo con una realización del presente concepto inventivo.

La figura 2 es una vista lateral esquemática del aparato de la figura 1.

15 La figura 3 es un diagrama de flujo que ilustra una realización del método de la invención.

La figura 4 es un diagrama de flujo que ilustra el paso de mantener la generación de energía de acuerdo con el diagrama de flujo de la figura 3.

20 La figura 5 es una simulación de potencia versus tiempo de un dispositivo ${}^7\text{Li}$ y ${}^{58}\text{Ni}$.

La figura 6 es una simulación de potencia versus tiempo de un dispositivo D y ${}^{58}\text{Ni}$.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas

25 A continuación, el concepto inventivo se describirá con referencia a las figuras 1 y 2 que ilustran esquemáticamente un aparato 100 de acuerdo con una realización del presente concepto inventivo. La figura 1 es una vista en sección transversal del aparato 100 y la figura 2 es una vista lateral a lo largo de la vista A-A en la figura 1.

30 El aparato 100 puede denominarse cilindro de reactor, o simplemente un reactor, y comprende una cámara 110, una disposición 120 de bobina de inducción, un recipiente 130 de combustible y una disposición 140 de parte lateral.

35 La cámara 110 es un cilindro cerámico que forma una barrera exterior del aparato 100 y que encierra la disposición 120 de la bobina de inducción y el recipiente 130 de combustible. La cámara 110 tiene una sección transversal anular. Además, la cámara 110 está ajustada firmemente con la disposición 140 de parte lateral.

40 La disposición 120 de la bobina de inducción está dispuesta simétricamente en una configuración retorcida alrededor del recipiente 130 de combustible. De este modo, se proporciona un enfoque geométrico en el centro del reactor del aparato 100. La disposición 120 de la bobina de inducción comprende al menos una bobina de inducción. Un primer cable 122 está conectado a un extremo izquierdo de la disposición 120 de la bobina de inducción y un segundo cable 124 está conectado a un extremo derecho de la disposición 120 de la bobina de inducción. En funcionamiento del aparato 100, los primeros 122 y los segundos 124 cables están conectados a una fuente de energía eléctrica (no mostrada) que alimenta la disposición 120 de la bobina de inducción. La fuente de energía eléctrica está dispuesta para pasar una corriente alterna a través de un electroimán en la disposición 120 de la bobina de inducción.

45 De acuerdo con la presente realización, la fuente de energía está dispuesta para suministrar una señal de onda cuadrada a la disposición 120 de bobina de inducción. La señal de onda cuadrada tiene una amplitud y un ancho fijos, y se elige de modo que contenga al menos un modo de frecuencia de resonancia. El poder de la señal de la fuente de poder es fijo.

50 El recipiente 130 de combustible tiene una sección transversal anular como se puede ver en la figura 1. Además, el recipiente 130 de combustible está hecho de acero. Hay un combustible 200 provisto en una porción central del recipiente 130 de combustible que se extiende a lo largo de una porción longitudinal del recipiente 130 de combustible. El combustible 200 comprende una primera materia 210 objetivo y una segunda materia 220 objetivo. Inicialmente, es decir, antes de cualquier operación del aparato 100, la primera materia objetivo 210 comprende Litio-7, ${}^7\text{Li}$, y la segunda materia 220 objetivo comprende Níquel-58, ${}^{58}\text{Ni}$. De acuerdo con la presente realización, la primera 210 materia objetivo y la segunda 220 se proporcionan en forma de granos y se mezclan.

60 Opcionalmente, el recipiente 130 de combustible puede comprender un escudo de absorción de neutrones (no mostrado) para bloquear neutrones. Además, el recipiente 130 de combustible puede comprender un escudo de absorción de radiación (no mostrado) para bloquear la radiación. La pantalla de absorción de neutrones y/o radiación puede estar dispuesta en al menos partes del recipiente 130 de combustible. Por ejemplo, una sola pantalla puede formar la pantalla de absorción de neutrones y radiación.

65 Se entiende que el ejemplo anterior no es limitante y que otros materiales pueden estar comprendidos en la primera materia objetivo 210, tal como el deuterio. Además, se entiende que otros materiales pueden estar comprendidos en la segunda materia 220 objetivo, como ${}^{40}\text{Ca}$, ${}^{46}\text{Ti}$, ${}^{52}\text{Cr}$, ${}^{64}\text{Zn}$, ${}^{70}\text{Ge}$ y ${}^{74}\text{Se}$.

- La disposición de la parte 140 lateral comprende una primera parte 142 lateral y una segunda parte 144 lateral. La disposición 140 de la parte lateral comprende una unidad 150 de electrodo de descarga que está dispuesta en la primera 142 parte lateral y la segunda 144. Un tercer cable 126 está conectado a un electrodo de descarga izquierdo de la unidad 150 de electrodo de descarga y un cuarto cable 128 está conectado a un electrodo de descarga derecho de la unidad 150 de electrodo de descarga. En funcionamiento del aparato 100, los terceros 126 y los cuartos 128 cables están conectados a una fuente de energía eléctrica (no mostrada) que alimenta la unidad 150 de electrodo de descarga.
- Según un ejemplo, la unidad 150 de electrodo de descarga está espacialmente separada del recipiente 130 de combustible. El electrodo de descarga puede disparar pulsos de alto voltaje, nano-extendidos a intervalos controlados. Un voltaje de los pulsos puede ser del orden de kilovoltios, kV. Está claro que, según un ejemplo alternativo, la unidad 150 de electrodo de descarga puede estar conectada espacialmente al recipiente 130 de combustible.
- A continuación, se describirá una realización del método inventivo (Caja 300) para su uso en la generación de energía con referencia a los diagramas de flujo en la figura 3 y la figura 4. El método se implementa en el aparato, o cilindro de reacción, 100 que se ha descrito anteriormente.
- Primero, el combustible 200 se proporciona en el recipiente 130 de combustible (Caja 310). El combustible 200 comprende la primera materia 210 objetivo y la segunda materia 220 objetivo que comprenden ${}^7\text{Li}$ y ${}^{58}\text{Ni}$, respectivamente. Más específicamente, el combustible 200 comprende ${}^7\text{Li}$ que se mezcla con ${}^{58}\text{Ni}$. Tanto ${}^7\text{Li}$ como ${}^{58}\text{Ni}$ se proporcionan en forma sólida.
- A continuación, el combustible 200 es irradiado por radiación EM (Caja 320) por medio de la disposición 120 de bobina de inducción como se ha descrito anteriormente. De este modo, la primera materia 210 objetivo se lleva primero a un estado gaseoso y parcialmente ionizado, y posteriormente a un estado de mayor energía mediante resonancia de onda. Más específicamente, la radiación EM comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia que tiene una frecuencia que está cerca, pero por debajo de una frecuencia de resonancia crítica. La frecuencia de resonancia crítica es una frecuencia a la cual una fuerza de gradiente inducida por la irradiación EM se vuelve singular. Las características de la fuerza del gradiente se han detallado en la sección de resumen anterior. En particular, se ha explicado que la fuerza del gradiente actúa en diferentes direcciones por debajo y por encima de la frecuencia de resonancia crítica. Las direcciones pueden ser opuestas entre sí. En particular, la fuerza de gradiente actúa para contraer la materia en el combustible 200 por debajo de la frecuencia de resonancia crítica.
- La irradiación por radiación EM se incrementa gradualmente a una potencia de entrada fija.
- La disposición 120 de la bobina de inducción induce un mayor calentamiento del combustible 200 (Caja 330). Observe que el canal de descarga central combinado y el enfoque geométrico del calentamiento por inducción dan una mayor deposición de energía radiativa sobre el combustible 200.
- El enfoque geométrico puede escalar con un tamaño del aparato 100. En un ejemplo no limitante, el enfoque geométrico en el aparato 100 puede amplificar la radiación en el punto focal en un factor de 2-6, dependiendo de la geometría de enfoque. De este modo, las fuerzas de gradiente frente a la potencia de entrada para la primera y segunda materia objetivo pueden amplificarse. Tenga en cuenta que, en este caso, los valores de fuerza son para longitudes de onda muy por debajo de la resonancia.
- A medida que el combustible 200 se calienta, la primera materia objetivo 210 se lleva a un estado gaseoso y posteriormente se ioniza y alcanza un estado de plasma. Además, la segunda materia 220 objetivo permanecerá en forma sólida o líquida. De hecho, en virtud de un punto de ebullición relativamente bajo de 1342°C , el litio puede transferirse más fácilmente a un estado de plasma. Esto también sería válido para el deuterio. Por otro lado, el punto de ebullición relativamente alto del níquel de 2913°C implica que permanecerá en forma sólida o líquida, al menos durante un período de tiempo más largo.
- La unidad 150 de electrodo de descarga ioniza y calienta el gas en el cilindro del reactor 100. Los electrodos 150 de descarga en ambos extremos del cilindro 100 del reactor crean un canal de carga en el mismo, por lo que el combustible 200 en el recipiente 130 de combustible puede mantener un estado de ionización predeterminado.
- Por lo tanto, se espera que el ${}^7\text{Li}$ en la mezcla de combustible supere su temperatura de ebullición, mejorando así la abundancia de gas/ion ${}^7\text{Li}$ en el tubo de descarga. Por el contrario, ${}^{58}\text{Ni}$ permanecerá en forma sólida o fundida a un exceso de temperatura, convirtiéndose en el principal atractor de fuerza de gradiente en el reactor. Una razón para esto es que la primera materia objetivo 210, en este ejemplo que comprende ${}^7\text{Li}$, se vaporiza e ioniza y se distribuye rápidamente en el recipiente 130 de combustible debido a una alta temperatura en el mismo. Por otro lado, la segunda materia 220 objetivo, en este ejemplo que comprende níquel, se convertirá gradualmente en el objeto más caliente en el recipiente 130 de combustible debido al proceso de captura de neutrones. De este modo, la segunda materia 220 objetivo será el atractor más fuerte en el aparato 100. Un alto punto de fusión de la segunda materia

220 objetivo contrarresta la evaporación de la segunda materia 220 objetivo. Como consecuencia, la segunda materia 220 objetivo puede permanecer durante un período de tiempo más largo y de ese modo puede atraer el gas y/o plasma circundante.

5 Además del calentamiento, la radiación combinada inductiva y de descarga contiene un amplio espectro de armónicos, este último está cerca, pero por debajo de la frecuencia de resonancia crítica.

10 La frecuencia de resonancia crítica cambia gradualmente bajo el proceso de calentamiento del combustible 200 hasta un estado de equilibrio donde todo el litio se ha vaporizado y/o ionizado. El estado de equilibrio puede ser un estado en el que la ionización y la recombinación están en equilibrio. El estado de equilibrio puede determinarse por una frecuencia de recombinación.

15 A medida que la temperatura del combustible 200 aumenta, la contracción del núcleo con fuerza de gradiente del combustible 200 y la atracción de partículas ambientales aumenta. Una vez que el combustible 200 alcanza las energías de fisión/espalación para la primera materia 210 objetivo, la primera materia 210 objetivo libera neutrones y experimenta un cambio de isótopo de ${}^7\text{Li}$ a ${}^6\text{Li}$.

20 Los neutrones liberados son capturados por la segunda materia 220 objetivo que sufre al menos un cambio de isótopo. Además, la energía de salida de radiación EM se libera cuando se captura un neutrón. Por ejemplo, ${}^{58}\text{Ni}$ en la segunda materia 220 objetivo puede pasar al isótopo ${}^{60}\text{Ni}$ capturando dos neutrones o al isótopo ${}^{62}\text{Ni}$ capturando cuatro neutrones.

25 Si la potencia de salida producida por el aparato 100 es mayor que un valor de umbral de potencia (caja 340), el aparato 100 puede entrar en un modo de mantenimiento (caja 350). El modo de mantenimiento se explica a continuación con referencia a la figura 4.

30 Si la potencia de salida producida por el aparato 100 es menor que el valor umbral de potencia (Caja 340), el combustible 200 se irradia adicionalmente por radiación EM (Caja 320) y se proporciona calor adicional (Caja 330). La irradiación y el calentamiento por la disposición 120 de la bobina de inducción y la unidad 150 de electrodo de descarga continúan hasta que la potencia de salida de radiación EM producida por medio de la captura de neutrones es mayor que el valor umbral de potencia.

35 El aparato 100 entra en el modo de mantenimiento (Caja 400) cuando la potencia de salida de radiación EM producida por el aparato 100 está por encima del valor umbral de potencia.

Primero, el funcionamiento de la disposición de la bobina de inducción 120 se desactiva (Caja 410). El apagado se implementa gradualmente. De este modo, se termina la irradiación y el calentamiento proporcionados desde la disposición 120 de la bobina de inducción al combustible 200, y en particular a la primera materia 210 objetivo.

40 Entonces, la primera materia 210 objetivo se expone a la energía de mantenimiento de radiación EM (Caja 420). Según el presente ejemplo, la energía de mantenimiento de la radiación EM se proporciona únicamente desde la unidad 150 de electrodo de descarga. De este modo, el proceso de espalación, es decir, liberaciones de neutrones, de la primera materia 210 objetivo puede mantenerse usando menos potencia de entrada. La energía de mantenimiento de radiación EM comprende preferiblemente un modo de frecuencia de resonancia que tiene una frecuencia que está cerca, pero por debajo de la frecuencia de resonancia crítica. Además, el proceso de espalación puede controlarse mejor ya que la unidad 150 de electrodo de descarga puede controlarse mejor en comparación con la disposición 120 de la bobina de inducción. De hecho, la unidad 150 de electrodo de descarga puede proporcionar frecuencias más precisas. En particular, el control mejorado de la unidad 150 de electrodo de descarga implica que la potencia de salida puede controlarse mejor.

50 Este estado del aparato 100 puede denominarse un estado casi estable, QSS, ya que se necesita menos potencia de entrada para mantener el proceso de captura de neutrones y, por lo tanto, la generación de energía. De hecho, una pequeña potencia de entrada puede dar lugar a una gran ganancia de potencia.

55 Durante el funcionamiento del aparato 100, o de manera equivalente el reactor, en particular durante el estado casi estable, la potencia neta generada dentro del aparato 100 se equilibra por una pérdida radiactiva del aparato 100, es decir, una potencia emitida desde la superficie del aparato 100, tal como desde la cámara 110. La potencia emitida desde la superficie puede usarse para operar un dispositivo como se explicará más adelante.

60 El calentamiento externo de ${}^7\text{Li}$ y ${}^{58}\text{Ni}$ establecerá, en el mejor de los casos, la espalación de neutrones en la primera materia 210 objetivo y la captura de neutrones en la segunda materia 220 objetivo hasta un nivel teórico de QSS. Con fines ilustrativos, y en función del problema clásico del intercambio de calor, una función

$$P(t) = P_0(1 - \exp(-t/t_0))$$

65

puede usarse para describir un crecimiento de potencia generado por el aparato 100 combinado. Aquí, P_0 es la potencia de QSS, es decir, $P_{\text{reactor}} = P_{\text{permitido}} = P_0$. Tenga en cuenta que este es un QSS idealizado. En realidad, el proceso puede cambiar con el tiempo, por ejemplo, involucrando la captura de neutrones por otros elementos, o la "degradación" gradual del isótopo primario con el tiempo, por ejemplo, ^{58}Ni a ^{60}Ni a ^{62}Ni . El último ilustra que los procesos internos impulsan QSS en gran medida. El calentamiento interno por captura de neutrones puede mejorar la tasa de espalación en la primera materia 210 objetivo y la tasa de captura de neutrones en la segunda materia 220 objetivo, lo que conduce a tasas de ganancia de potencia superiores a las posibles por calentamiento externo. Finalmente, el calentamiento interno puede convertirse en el principal impulsor de ganancia en el proceso en el aparato 100. De este modo, la relación de ganancia, definida como la potencia de salida dividida por la potencia de entrada, puede aumentarse por un factor grande. En un ejemplo no limitativo, este factor puede estar entre 3 o 20, o entre 5 y 10. Como consecuencia de lo anterior, se puede obtener un nuevo QSS.

En vista de lo anterior, una cuestión importante es proporcionar un diseño adecuado del reactor y el material utilizado para conservar y/o soportar la temperatura de la pared del reactor.

Por lo tanto, el proceso de espalación puede eventualmente volverse casi autosuficiente por calentamiento interno mediante la captura de neutrones y, además, una entrada menor de energía de onda resonante desde la unidad 150 de electrodo de descarga. Esto puede conducir a un proceso de reacción eficiente que requiere solo una entrada de potencia menor.

Opcionalmente, el aparato 100 comprende además un dispositivo de bloqueo (no mostrado) que está dispuesto para terminar la producción de neutrones una vez que el aparato 100 ha alcanzado el estado casi estable. Mediante el dispositivo de bloqueo, la generación de energía puede terminarse o moderarse disminuyendo la tasa de producción de neutrones. La generación de energía se puede moderar cuando la potencia de salida es mayor que la deseada. El dispositivo de bloqueo puede estar dispuesto cerca del centro del recipiente 130 de combustible. El dispositivo de bloqueo puede comprender un material absorbente de neutrones que se puede insertar en el recipiente 130 de combustible para bloquear los neutrones que se han liberado de la primera materia 210 objetivo. En ejemplos no limitantes, el material absorbente de neutrones puede ser xenón-135 o samario-149.

La generación de energía descrita anteriormente puede continuar hasta que una parte fija del combustible 200 se haya convertido en combustible gastado o hasta que la potencia de salida disminuya por debajo de una potencia de salida menor. Por combustible gastado se entiende aquí que la primera materia objetivo, que inicialmente comprende ^7Li , se ha convertido en el isótopo ^6Li , y/o que la segunda materia objetivo, que inicialmente comprende ^{58}Ni , se ha convertido en otros isótopos de níquel, como ^{58}Ni o ^{62}Ni .

Una vez que el combustible 200 inicial se ha convertido en combustible usado, el aparato 100 puede cargarse con combustible 200 nuevo. Opcionalmente, la carga de combustible nuevo puede proporcionarse a intervalos de tiempo regulares, antes de que el combustible 200 inicial se haya agotado. Según un ejemplo alternativo, el deuterio en forma líquida o en forma de gas puede inyectarse continuamente.

El aparato 100 como se describe anteriormente puede estar comprendido en una planta de energía (no mostrada) para la generación de electricidad. La planta de energía puede comprender el aparato 100, una turbina de vapor y equipo adicional para generar electricidad que son conocidos por un experto en la materia. La electricidad puede generarse utilizando la potencia de salida del aparato 100.

En particular, el método descrito anteriormente puede ser parte de un método para generar electricidad en una planta de energía. El último método puede comprender pasos adicionales para generar la electricidad.

Se entiende que la potencia de salida del aparato 100 puede usarse para operar varios tipos de dispositivos. En ejemplos no limitativos, el dispositivo puede ser un motor Stirling, un motor de vapor, etc. Puede haber un intercambiador de calor provisto entre el aparato 100 y el dispositivo.

Además, se pueden proporcionar dos o más aparatos 100 en serie o en paralelo para proporcionar más potencia de salida.

La figura 5 es una simulación de potencia versus tiempo de un dispositivo ^7Li y ^{58}Ni que muestra las diferentes fases operativas (A)-(D). (A) Fase inicial de gasificación e ionización de la primera materia objetivo. (B) Fase de transición que conduce a la primera fase casi estable. (C) Fase que combina un apagado gradual del calentador externo con la temperatura de retroalimentación de emisiones de ondas EM externas cercanas a la resonancia. (D) La temperatura retroalimenta la fase de onda EM externa que opera en el segundo nivel de estado casi estable, caracterizado por una ganancia de potencia aumentada por un factor de 10-50. (1) Poder de gasificación/ionización. (2) Potencia de entrada inductiva de la bobina. (3) Potencia de onda de mantenimiento para adquirir el segundo nivel de estado casi estable. (4) Potencia del reactor generado. (5) Exceso de potencia (espalación inducida por fusión).

La figura 6 es una simulación de potencia versus tiempo de un dispositivo D y ^{58}Ni que demuestra las fases de respuesta como en la figura 5. Observe que el dispositivo D - ^{58}Ni es genéricamente tres veces más eficiente que el dispositivo ^7Li - ^{58}Ni , capaz de operar con una potencia externa y una entrada de potencia de onda más bajas.

- 5 La invención se ha descrito principalmente anteriormente con referencia a algunas realizaciones. Sin embargo, como es apreciado fácilmente por una persona experta en la técnica, otras realizaciones que las divulgadas antes son igualmente posibles dentro del alcance de la invención, como se define en las reivindicaciones de patente adjuntas. En particular, las elecciones particulares de la primera y segunda materia objetivo no deben verse como limitantes, sino que solo representan cuestiones objetivo ejemplares. Por ejemplo, la primera materia objetivo puede comprender deuterio, o una mezcla de ^7Li y deuterio, y la segunda materia objetivo puede comprender ^{40}Ca , ^{46}Ti ,
10 ^{52}Cr , ^{64}Zn , ^{58}Ni , ^{70}Ge o ^{74}Se , o una mezcla de dos o más de estos isótopos. Una realización adicional comprende proporcionar una tercera materia objetivo que comprende un material catalizador.

REIVINDICACIONES

1. Un método para usar en la generación de energía que comprende:

5 llevar una primera materia (210) objetivo a través de la resonancia de onda en un estado de mayor energía al exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación electromagnética proporcionada por una primera fuente de onda para producir un primer cambio de isótopos en la primera materia objetivo y neutrones resultantes del primer cambio de isótopos,

10 capturar los neutrones por una segunda materia (220) objetivo para producir un segundo desplazamiento de isótopos en la segunda materia objetivo y energía de salida de radiación electromagnética,

15 en el que, cuando la potencia de salida de radiación electromagnética resultante se produce por encima de un valor umbral de potencia, se mantiene la producción de energía de salida de radiación electromagnética exponiendo la primera materia objetivo a la energía de mantenimiento de radiación electromagnética proporcionada por medio de una segunda fuente de onda.

20 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la energía de entrada de radiación electromagnética se obtiene mediante radiación electromagnética que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia.

3. El método de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el al menos un modo de frecuencia de resonancia está asociado con una distancia interatómica de la primera materia objetivo.

25 4. El método de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, en el que el al menos un modo de frecuencia de resonancia es un modo de frecuencia de resonancia de gas o plasma de la primera materia objetivo, una resonancia de plasma que caracteriza a los plasmas magnetizados y/o no magnetizados de la primera materia objetivo, o un modo de frecuencia de resonancia sólido/fluido/gaseoso/plasma de la segunda materia objetivo.

30 5. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, que comprende además calentar al menos una de la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo.

35 6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la energía de entrada de radiación electromagnética se proporciona en forma de una señal de onda cuadrada o una señal de onda sinusal.

7. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en el que la energía de mantenimiento de la radiación electromagnética se obtiene mediante radiación electromagnética que comprende al menos un modo de frecuencia de resonancia comprendido en un intervalo de frecuencia.

40 8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que comprende además proporcionar una tercera materia objetivo que comprende un material catalizador.

45 9. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además llevar la primera materia objetivo a un estado de plasma.

10. Un aparato para realizar el método de la reivindicación 1, comprendiendo el aparato:

una primera fuente de onda para producir energía de entrada de radiación electromagnética,

50 una segunda fuente de onda para producir energía de mantenimiento de radiación electromagnética,

una primera materia (210) objetivo,

55 una segunda materia (220) objetivo, y

un recipiente (130) de combustible para contener la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo,

en el que la primera materia objetivo y la segunda materia objetivo se mezclan,

60 en el que la primera fuente de onda está dispuesta para exponer la primera materia objetivo a la energía de entrada de radiación electromagnética para producir un cambio de isótopo en la primera materia objetivo y los neutrones resultantes del cambio de isótopo,

65 en el que la segunda materia objetivo está dispuesta para capturar dichos neutrones y tiene una energía de unión nuclear que es más pequeña que la energía de unión nuclear del isótopo, o isótopos, en la que se desplaza después del proceso de captura de neutrones.

11. El aparato según la reivindicación 10, en el que el recipiente de combustible es una cámara de presión.

5 12. El aparato según la reivindicación 10 u 11, en el que la primera fuente de onda comprende una disposición (120) de bobina de inducción.

13. El aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10-12, que comprende además una unidad (150) de electrodo de descarga.

10

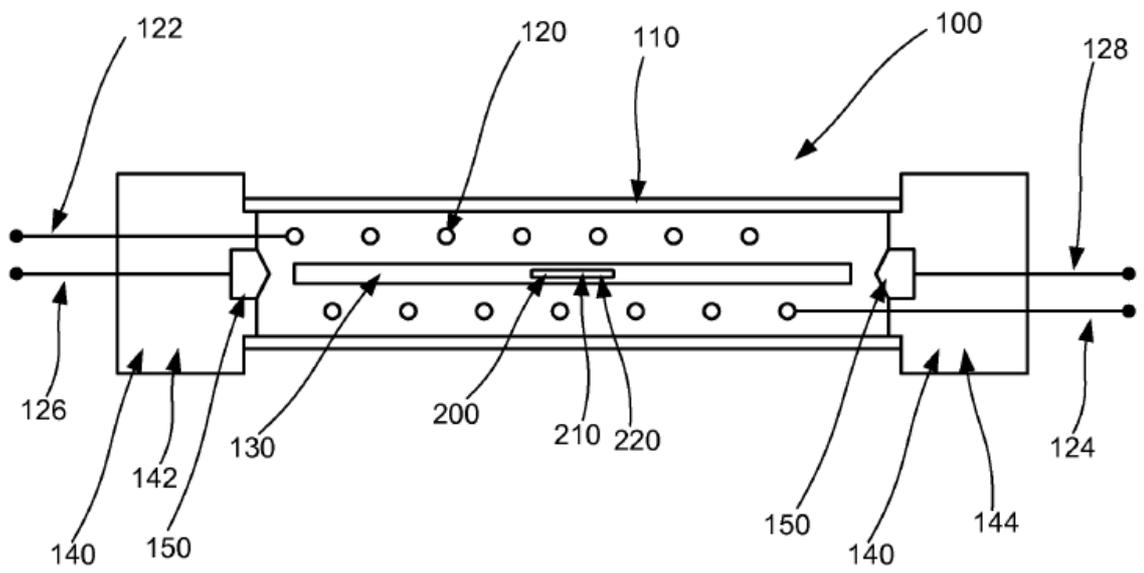
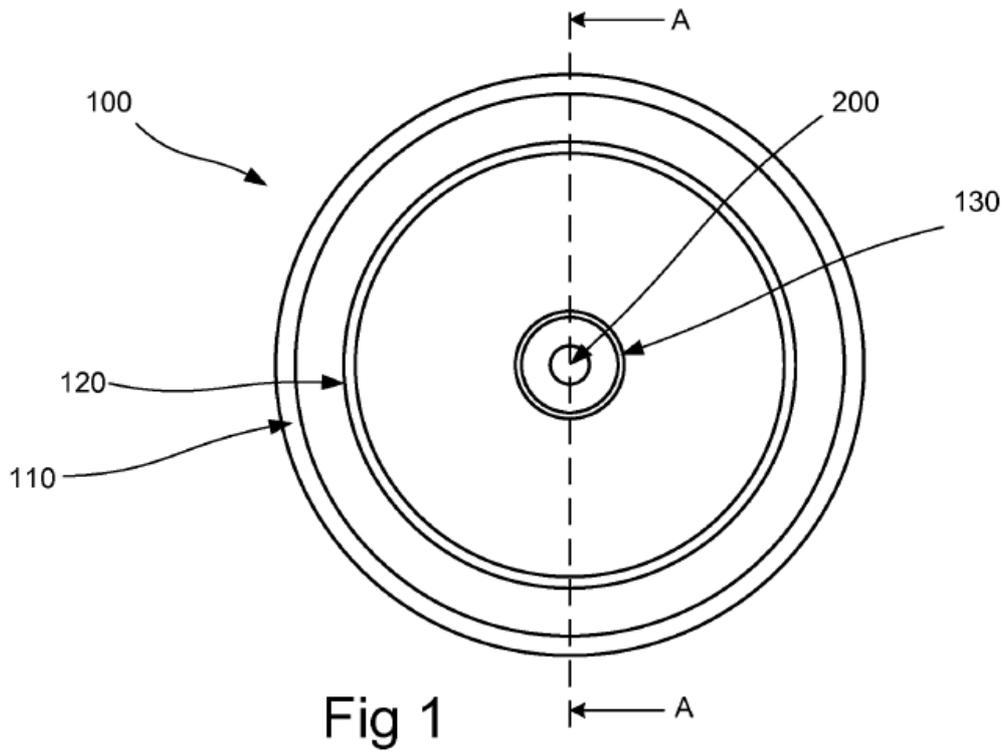


Fig 2

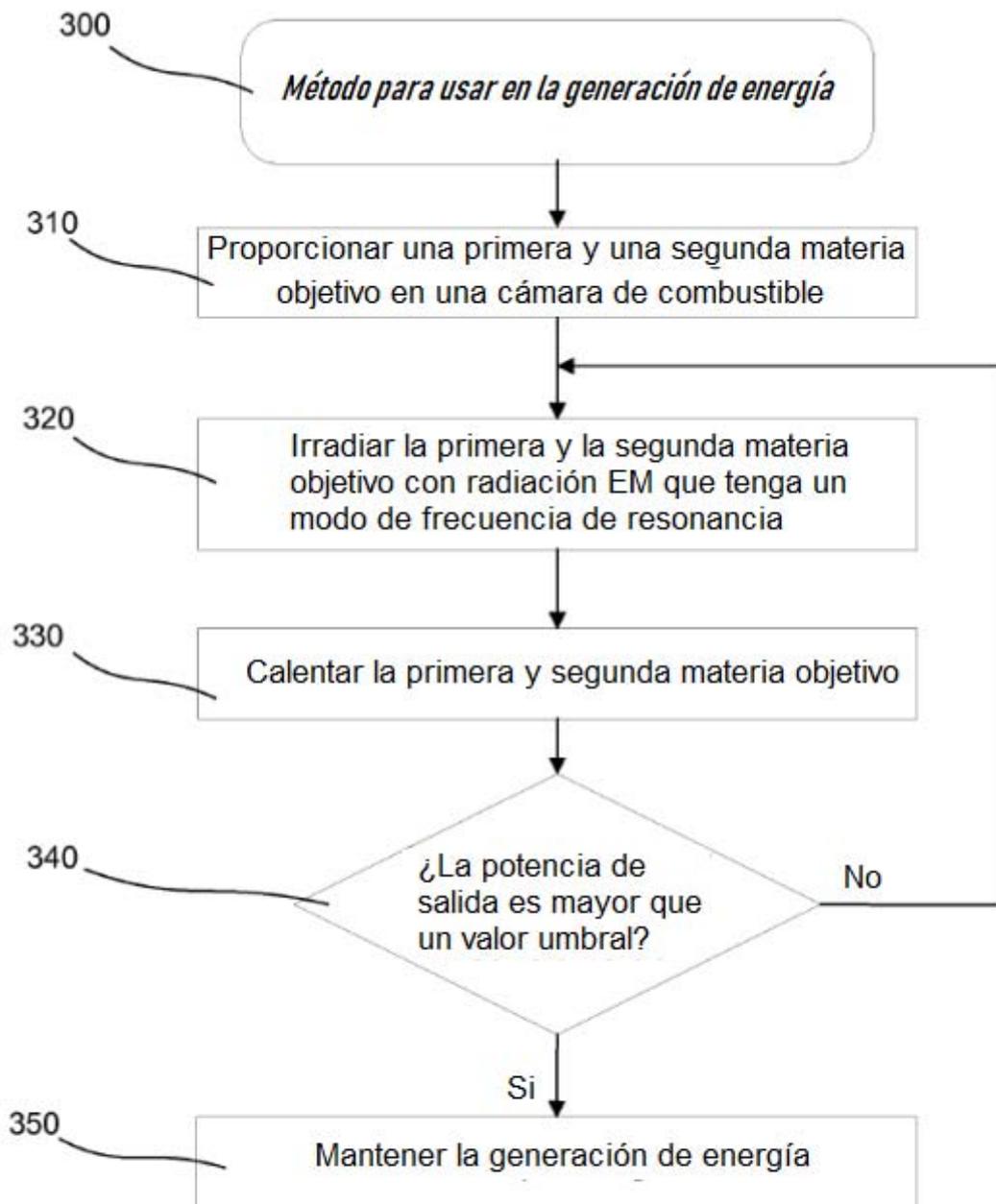


Fig 3

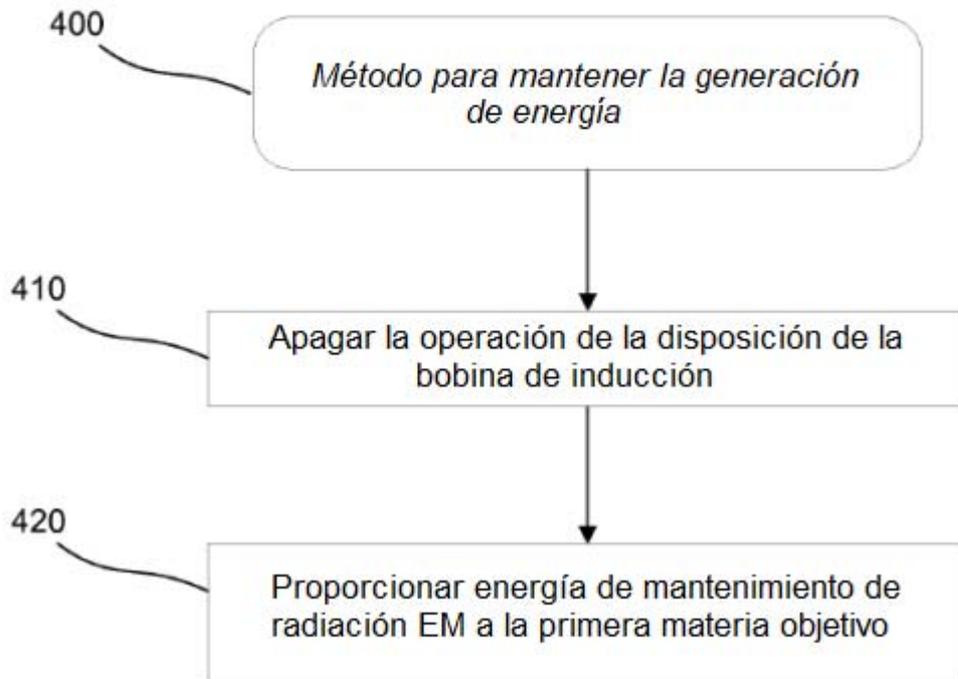


Fig 4

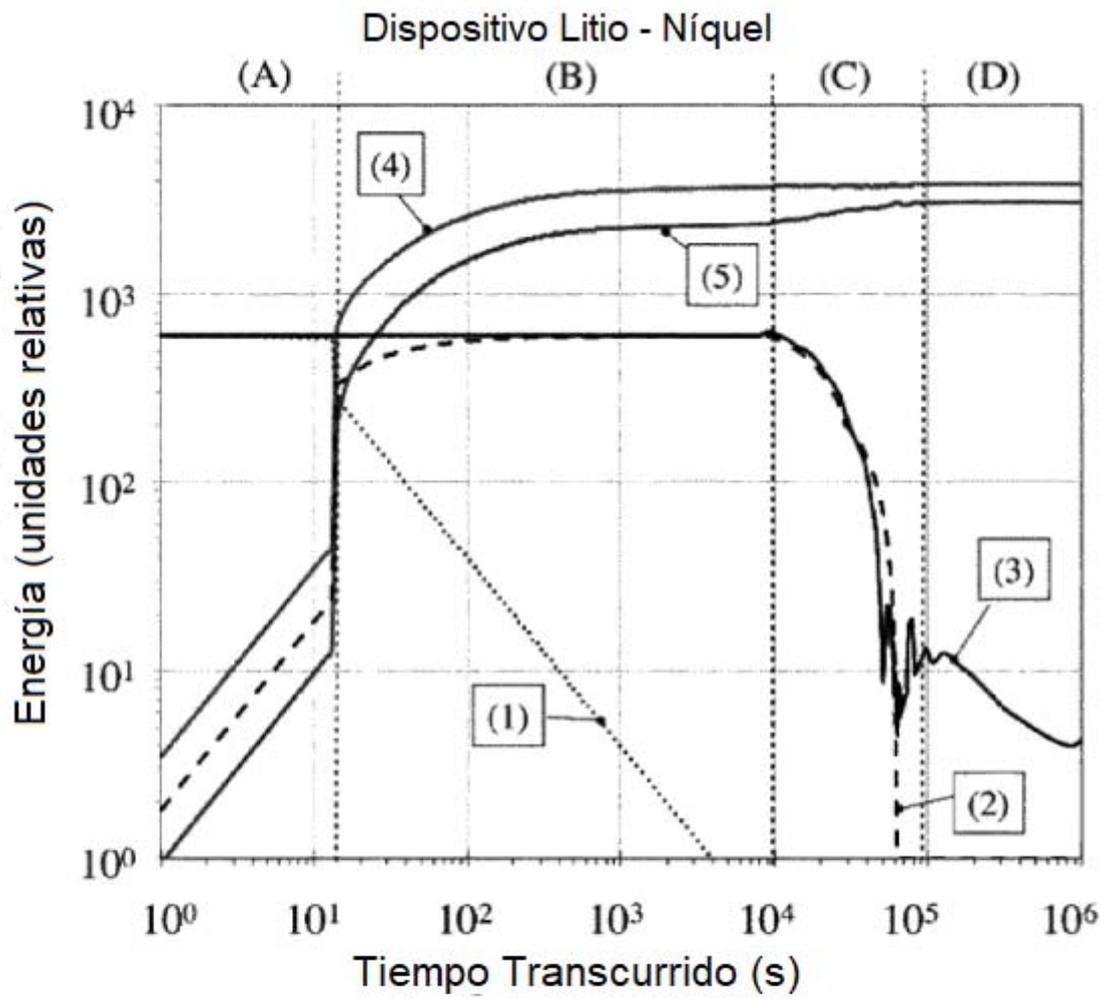


Fig 5

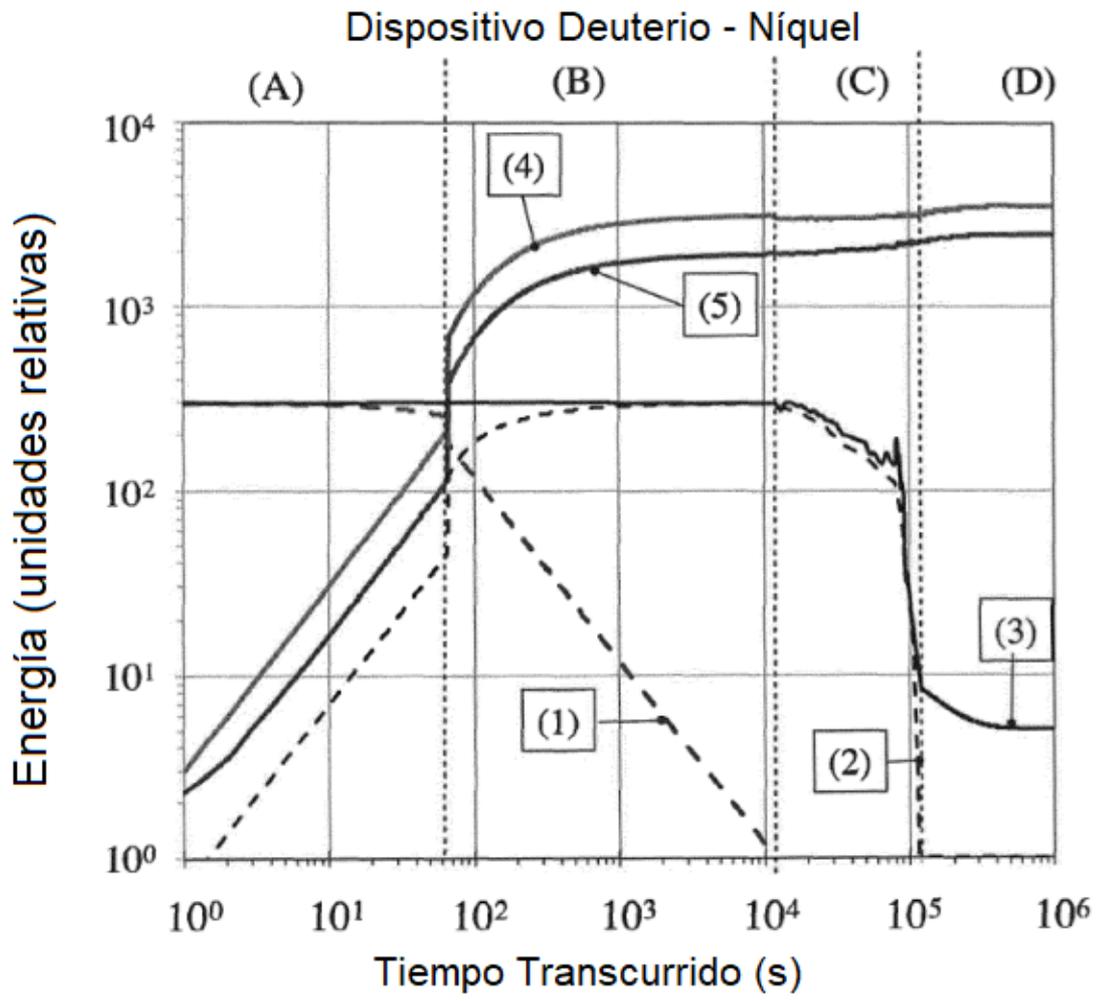


Fig 6