

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



19 ES	11 NUMERO	10 A 1
	21 437.653	
	22 FECHA DE PRESENTACION	
	13-5-75	

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:	32 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO 469.407	13-5-74	Estados Unidos

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL C22B	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
------------------------	--	--------------------------------------

60 TITULO DE LA INVENCION

UN METODO Y SU CORRESPONDIENTE APARATO PARA IONIZAR PARTICULAS DE UN TIPO DE ISOTOPO EN UN MEDIO AMBIENTE DE PARTICULAS DE TIPOS DE ISOTOPOS PLURALES.

73 SOLICITANTE (S)

JERSEY NUCLEAR-AVCO ISÓTOPES, INC.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

777 105 th Avenue Northeast, BELLEVUE, Washington 98004 Estados Unidos

75 INVENTOR (ES)

Harold K. Forsen; G. Sargent Janes ambos de nacionalidad estadounidense; Richard H. Levy de nacionalidad canadiense los cuales han cedido sus derechos a la compañía solicitante.

76 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE

D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU

**POOR  
QUALITY**

RESUMEN

Método y aparato para ionización por colisión de partículas excitadas con selectividad isotópica, particularmente para uso en un sistema de separación y enriquecimiento de isótopos de uranio. La ionización por colisión eficiente se consigue excitando primero selectivamente partículas vaporizadas del isótopo deseado en un haz de energía radiante de láser finamente sintonizada. Las energías de los fotones de interacción se seleccionan para producir un cambio de energía total durante la excitación que es ligeramente menor que la energía de ionización para el isótopo seleccionado. Así el isótopo excitado se elevará a un nivel de excitación sólo ligeramente por debajo del nivel de ionización. Este nivel se selecciona para permitir eficiente ionización, ionización por choque de partículas, entre partículas energéticas en el medio ambiente de vapor de uranio y las partículas altamente excitadas del tipo de isótopo deseado.

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a separación de isótopos y en particular a ionización selectiva isotópicamente de partículas empleando ionización por colisión o por choque a partir de estados excitados.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En un sistema de separación de isótopos inducida por láser, particularmente enriquecimiento de uranio, como se describe en la Patente de Estados Unidos 3.772.519, y específicamente incorporada aquí por referencia, se describe un sistema para separación de isótopos que consigue fotoionización de un tipo de isótopo de uranio seleccionado en un vapor de uranio sin ionización correspondiente de partículas

1 de otros tipos de isótopos en el vapor. Las partículas fotoionizadas se separan entonces y se reúnen aparte del medio ambiente de vapor de uranio creado para iluminación de láser.

5 La práctica de tal sistema se realizará típicamente con dos o tres longitudes de onda de radiación de láser. Al menos una longitud de onda será fotones de banda estrecha sintonizados para producir excitación, por ejemplo, del isótopo de uranio U-235 sin correspondiente excitación del isótopo de U-238 en el vapor. La otra energía radiante de láser  
10 es de una frecuencia o frecuencias que producen fotoionización del isótopo de U-235 a partir del estado excitado más elevado.

Al determinar cuánta intensidad de láser se emplea para producir fotoexcitación selectiva isotópicamente así  
15 como fotoionización a partir del estado excitado, la sección eficaz de interacción de los átomos del tipo de isótopo deseado para cada fase de energía es particularmente significativa. Cuanto mayor es la sección eficaz para una fase de energía dada, más elevada es la cantidad de átomos excitados a través de dicha fase de energía para la misma intensidad de láser  
20 incidente. Como principio general, la sección eficaz para una fase de energía entre niveles de energía discretos, cada uno de los cuales está por debajo del nivel de ionización para el átomo, es sustancialmente mayor, típicamente  
25 en dos o tres órdenes de magnitud, que la sección eficaz de absorción para una fase de energía al continuo de ionización a partir de un nivel de energía por debajo de la ionización. Debido a este fenómeno de diferentes secciones eficaces de absorción, es deseable emplear una intensidad de láser para  
30 la transición ionizante o fase de energía que es sustancial-

1 mente más elevada en intensidad que la de los láseres de exci-  
tación. Esto es particularmente significativo para separación  
de isótopos o enriquecimiento de uranio eficiente, a nivel  
de producción. La intensidad incrementada para la radiación  
5 de fase de ionización no sólo supone una demanda correspon-  
diente sobre el sistema de láser de ionización, sino que tam-  
bién incrementa la probabilidad de fotoionización no selecti-  
va que resulta de excitaciones plurales por la radiación de  
láser ionizante de elevada intensidad.

10 Es evidente que sería deseable prever ionización  
selectiva isotópicamente sin tales exigencias de intensidad  
de láser diferentes.

#### BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

15 Según una realización preferida de la presente in-  
vención, se facilitan un método y aparato para inducir ioni-  
zación por choque de partículas de elevada eficiencia de par-  
tículas excitadas de un tipo de isótopo en un medio ambiente  
de partículas de tipos de isótopo plurales. La ionización  
selectiva isotópicamente se consigue en la aplicación prefe-  
20 rida para enriquecimiento de uranio, típicamente el isótopo  
de U-235, excitando las partículas de U-235 a un nivel de  
energía sólo ligeramente por debajo del nivel de ionización  
y empleando ionización por choque de partículas para conse-  
guir iones del tipo de isótopo deseado, U-235.

25 - Al llevar a la práctica la invención, un medio am-  
biente que comprende un haz de vapor de uranio fluyente se  
crea preferiblemente, por ejemplo, por calentamiento de ura-  
nio elemental en una cámara de vacío de presión muy baja.  
Impulsos de energía radiante de láser que comprenden típica-  
30 mente dos o tres frecuencias se aplican al medio ambiente de

1 vapor de uranio para excitar el isótopo deseado, U-235. Para  
este fin, al menos una longitud de onda de láser se sintoni-  
za finamente, y se confina en anchura de banda de forma que  
se excite el isótopo de U-235 sin excitar proporciones co-  
5 rrespondientes de partículas de otro tipo de isótopo en el  
flujo de vapor de uranio. Las fases de energía plurales pue-  
den emplearse para ir desde los niveles de baja energía fun-  
damentales y/o significativamente poblados a un estado de  
energía excitado final precisamente por debajo del continuo  
10 de ionización. Los fotones que interactúan para producir ex-  
citación selectiva de cada átomo de uranio ascienden en ener-  
gía a una cifra que es ligeramente inferior al potencial de  
ionización para los átomos. Preferiblemente, esta energía  
será tal que eleve el átomo a un nivel de Rydberg.

15 Se desea que las secciones eficaces para cada fase  
de energía hasta el nivel de Rydberg sean muy amplias. El  
estado de energía de Rydberg final, precisamente por debajo  
del continuo, estará suficientemente próximo al nivel de  
ionización de forma que la energía transferida a las partí-  
20 culas de U-235 altamente excitadas por colisión con partí-  
culas ambientales energéticas, tales como electrones en el haz  
de vapor de uranio, producirán velocidades significativas  
de ionización de las partículas a partir de este estado de  
energía altamente excitado.

25 La ionización selectiva isotópicamente del isótopo  
de uranio deseado según esta técnica es altamente eficiente  
y evita la necesidad, desde un punto de vista de la eficien-  
cia, de radiación de intensidad elevada para la fase foto-  
ionizante final para superar la sección eficaz relativamente  
30 reducida para la absorción de fotón en la transición al conti-

1 nuo. Adicionalmente, un sistema de láser puede eliminarse,  
y en su lugar se utiliza energía existente en el haz de va-  
por de uranio.

#### BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

5 Estas y otras características de la presente in-  
vención se expondrán más plenamente más tarde en la descrip-  
ción detallada de la realización preferida para la presente  
invención y en los dibujos adjuntos de los que:

La figura 1 es un diagrama de nivel de energía  
10 útil al explicar el fenómeno físico asociado con la práctica  
de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de sistema del aparato  
para practicar la invención; y

La figura 3 es una vista interna de una sección de  
15 una porción del aparato de la figura 2.

#### DESCRIPCION DETALLADA DE LA REALIZACION PREFERIDA

La presente invención contempla el uso de colisio-  
nes de partículas para conseguir ionización de partículas  
a partir de estados de energía altamente excitados que han  
20 sido poblados de una manera selectiva isotópicamente. Aunque  
la realización preferida se refiere a la ionización de uranio  
en forma atómica a partir de estados de energía excitados  
creados por radiación de láser, la invención puede tener uti-  
lidad con cualquier elemento en forma molecular o atómica  
25 así como en el contexto de otras técnicas para conseguir es-  
tados de energía altamente excitados para las partículas  
del tipo de isótopo elegido.

Según la presente invención la ionización de las  
partículas del tipo de isótopo deseado se consigue a partir  
30 del estado de energía altamente excitado por ionización por

1 colisión o ionización por colisión de electrón. Según esta  
técnica, las partículas se excitan a un nivel de energía tí-  
picamente un nivel de Rydberg por interacción con fotones  
de láser cuya energía total es sólo algunas centésimas de un  
5 electrón-voltio por debajo del potencial de ionización. Sólo  
una energía adicional pequeña se requiere para conseguir  
ionización. Esta energía se facilita por transformación de  
energía cinética conforme a colisiones entre las partículas  
altamente excitadas y otras partículas energéticas en el  
10 medio ambiente. A este fenómeno se alude, por ejemplo, en  
"Nature", volumen 233, 15 de octubre de 1971, donde se suge-  
ría (páginas 472, 473) que puede haberse observado en un re-  
cipiente de doble descarga de mercurio. También, mención de  
la ionización por choque puede encontrarse en P. E. Oetting-  
15 ger, Plasma Ionization Enhancement by Laser Line Radiation;  
"AIAA JOURNAL", volumen 8, número 5, mayo de 1970.

Para explicar más esta invención, se hace referen-  
cia a la figura 1 donde se muestra un diagrama de nivel de  
energía que describe el funcionamiento de la presente inven-  
20 ción. En la figura 1, se muestra una gama de energía 12 para  
una partícula, que en la realización preferida es un átomo  
del isótopo de uranio U-235. Los niveles de energía 12 están  
muy próximos al nivel de ionización 14 para el átomo de  
U-235 y preferiblemente son niveles de Rydberg. Los niveles  
25 12 están por debajo del potencial de ionización 14 por un  
deficit de energía pequeño, por ejemplo, 0,03 electrón-voltios.  
(ev). En el caso de uranio se cree que el nivel de ioniza-  
ción 14 está a aproximadamente 6,19.ev, y así los niveles 12  
serían aproximadamente 6,16 ev. Aunque seleccionados, los ni-  
30 veles de energía 12 posiblemente se alcancen a través de una

1 fase de energía única tal como una transición 16, su proxi-  
2 midad al nivel de ionización 14 para funcionamiento preferi-  
do (típicamente 0,03 ev) puede necesitar selección de una  
transición más selectiva. Según eso, una pluralidad de fa-  
5 ses de energía tales como las transiciones 18 y 20, o 18,  
22 y 24 se prefieren. En la realización preferida, una o  
más fases de energía al nivel 12 se inducirán típicamente  
por radiación de láser que se sintoniza para selectividad  
isotópica al menos en la primera fase 18. Una proporción  
10 sustancialmente mayor de las partículas de U-235 se excitan  
en respuesta a la radiación de láser para dicha fase que la  
proporción de excitación de partículas de otro tipo de isó-  
topo a las que se aplica la radiación con referencia a las  
proporciones normalmente ocurrentes entre los isótopos en el  
15 medio ambiente.

Debe notarse que muchas combinaciones de fases de  
fotoexcitación pueden emplearse para alcanzar los estados  
de energía 12, y de hecho la técnica de la presente invención  
no se limita necesariamente al uso de energía radiante para  
20 producir la excitación selectiva. Los niveles de energía 12  
que están por debajo del nivel de ionización 14 con una di-  
ferencia de energía relativamente pequeña, ejemplificada por  
el 0,03 ev antes mencionado, se muestran como niveles plu-  
rales, próximamente espaciados porque consideraciones de pa-  
25 ridad evitan alcanzar el mismo estado excitado por combina-  
ciones de transición diferentes. También, los átomos excita-  
dos a los estados 12 pueden sufrir uno o más cambios a través  
de la gama de estados antes de la ionización como se describe  
más tarde.

30 La selección de las distintas fases de energía que

1 conducen a uno de los niveles 12 y según eso de dicho nivel  
mismo se discute más plenamente más tarde, pero por el mo-  
mento se indicarán algunas consideraciones. Primera, se de-  
5 sea que la transición que conduce al nivel de energía en la  
gama 12 tenga una sección eficaz relativamente grande para  
hacer uso eficiente de las radiaciones de láser. Generalmen-  
te, la sección eficaz para excitación a niveles en la gama  
12 disminuye cuando los niveles en la gama 12 se aproximan  
al nivel 14. Al mismo tiempo se desea que la sección eficaz  
10 o probabilidad para ionización por colisión de electrón, u  
otra partícula, de partículas de U-235 excitadas al nivel  
12 no sea tan pequeña como para impedir la eficiencia de se-  
paración del sistema general a describirse más tarde. Esto  
necesita típicamente colocar los niveles 12 cerca del nivel  
15 de ionización 14 y muy preferiblemente a un nivel de Rydberg.

Al hacer este deshecho, puede ser útil revisar el  
tamaño de estas secciones eficaces. En el caso de excitación  
a los niveles de energía 12 a partir de una energía más baja,  
las sección eficaz es típicamente del orden de  $10^{-15}$  cm<sup>2</sup>. En  
20 el caso de ionización por colisión por choque de partículas  
de electrón, la sección eficaz se da como sigue:

$$\sigma_{ion} = \frac{\pi r_0^2 em \frac{E}{I^*}}{\left(\frac{E}{I}\right)\left(\frac{I^*}{I}\right)}$$

25

donde  $r_0$  es el radio de Bohr, aproximadamente  $0,53 \times 10^{-8}$   
cm;  $I$  es el potencial de ionización para el átomo de hidró-  
geno, aproximadamente 13,5v;  $I^*$  es el potencial de ioniza-  
ción a partir del estado excitado para el átomo que se exci-  
30 ta; y E es la energía del electrón impactante, libre.

1           Otros factores pueden afectar este deshecho. inclu-  
yendo presiones de gas ambientales de cámara, densidad de va-  
por de uranio, velocidad de flujo de vapor y velocidad de de-  
gradación a partir de los niveles 12. Gamas típicas para és-  
5           tos se muestran más abajo.

          Cuando estos criterios se han optimizado, la efi-  
ciencia general de ionización del sistema será elevada, y la  
técnica de la presente invención se empleará con ventaja má-  
xima. Tanto si el funcionamiento de la invención se maximiza  
10           como si no según la teoría, el fenómeno de ionización por  
colisión de partículas todavía puede ser de utilidad al con-  
seguir ionización selectiva isotópicamente, particularmente  
ionización del isótopo de U-235 de uranio para permitir su  
colección separada.

15           Para explicar más el método y aparato de la presen-  
te invención, ahora se hará referencia a la figura 2 que  
ilustra un sistema en el que puede utilizarse la técnica de  
la presente invención. En particular, un sistema de láser 30  
se muestra teniendo un medio de "lasing" 32 y elementos  
20           sintonizados asociados 34 que pueden incluir una cavidad de  
láser y elementos limitadores de frecuencia asociados tales  
como prismas, filtros de etalón o rejillas de difracción. El  
medio 32 se excita a una condición de "lasing" por un sis-  
tema de excitación 34 que típicamente puede incluir otro lá-  
25           ser o lámpara de destellos. El excitador 34 se activa por un  
sistema temporizador 36 para iniciar la aplicación de energía  
radiante de excitación al medio 32 para producir la inversión  
de población para de "lasing". El sistema láser 30 puede  
30           incluir un Dial-A-Line laser de Avco Everett Research Labo-  
ratory, Everett, Massachusetts, como se ha encontrado desea-

1 ble, con elementos estrechadores de anchura de banda adicio-  
nales tales como filtros de etalon para definir la salida de  
frecuencia del medio 32 en un rayo láser 38 a una frecuencia  
para rodear una línea de absorción para el isótopo U-235 de  
5 uranio sin rodear sustancialmente una línea de absorción  
para otros tipos de isótopo, tales como el isótopo U-238. Una  
o más fases de ampliación pueden aplicarse al rayo láser 38  
como se desee para elevar su salida hasta cientos de miliju-  
lios en cada impulso de radiación. Diez milijulios/cm<sup>2</sup> es una  
10 densidad de flujo preferida pero densidades algo inferiores  
pueden emplearse. Velocidades de impulso hasta 50 KHz pueden  
usarse, deseándose iluminar todos los átomos en el flujo de  
vapor. Para velocidades elevadas, pueden usarse series de lá-  
seres con óptica de combinación de prisma. Véase, por ejemplo,  
15 la solicitud de patente de Estados Unidos número de serie  
438.029, presentada el 30 de enero de 1974, incorporada aquí  
por referencia.

Para aplicación preferida, los impulsos de radia-  
ción en el rayo 38 continúan durante una fracción sustancial  
20 de una millonésima de segundo, aunque duraciones tan bajas  
como algunos nanosegundos se han utilizado satisfactoriamente.  
Periodos más largos pueden usarse si las duraciones de vida  
de estado excitado son correspondientemente más largas. La  
iniciación de cada impulso por el circuito temporizador 36  
25 se activa por una señal desde un temporizador 40.

La radiación de láser en el rayo 38 se combina con  
la radiación de láser en los rayos 42A y 42B desde los siste-  
mas de láser segundo y tercero 44A y 44B en la realización  
preferida, usando, por ejemplo, espejos dicróicos 46A y 46B.  
30 Otros sistemas de combinación tales como prismas pueden uti-

1       lizarse según la preferencia del usuario. Las radiaciones com-  
binadas forman un haz 48 de radiación de láser en el que,  
típicamente, los impulsos ocurren simultáneamente, aunque  
puede ser posible prever la radiación para las transiciones  
5 : de nivel más elevado algunos nanosegundos después de la radia-  
ción para las transiciones de baja energía.

En una realización ejemplar de esta invención, la  
radiación en el rayo 38 se sintoniza a una línea de absor-  
ción de U-235 en el rojo, mientras que la radiación en los  
10 rayos 42A y 42B se sintonizan a líneas de absorción en el  
rojo-naranja. Las densidades de energía de radiación en los  
rayos 38 y 42 pueden ser típicamente aproximadamente las mis-  
mas, o variarse algo según las diferentes secciones eficaces  
de absorción para las transiciones que han de producir.

15       La radiación en el haz combinado 48 se aplica a  
una cámara evacuada 50 típicamente a través de una ventana  
de cuarzo óptica 52 sobre una extensión de tubo 54 que colo-  
ca la ventana 52 a una distancia de los vapores contaminan-  
tes en la cámara 50. La radiación en el haz 48 atravesará  
20 la cámara 50 y saldrá a través de un tubo similar 56 y ventana  
57 para aplicación típica a cámaras adicionales similares a  
la cámara 50. Antes de dejar la cámara 50, la radiación en  
el haz 48 puede hacer pasos plurales a través de la cámara  
50 para finalidades descritas más tarde.

25       Dentro de la cámara 50, una presión baja de aproxi-  
madamente  $10^{-5}$  torr durante el funcionamiento se mantiene  
por un sistema de bomba de vacío 58. Se facilita una fuente  
de vapor 60 que genera un flujo de vapor de uranio hacia  
arriba hacia un separador de iones 62. La densidad de vapor  
30 puede ser del orden de entre aproximadamente  $1 \times 10^{13}$  a

1  $1 \times 10^{14}$  átomos/cc pero no se limita de esta manera. Dentro  
de la cámara 50, un campo magnético sustancialmente coaxial  
al rayo láser 48 está dotado de bobinas plurales 62 bobina-  
das alrededor de la cámara 50 y excitadas con una corriente  
5 por una fuente 64. La intensidad de campo magnético dentro  
de la cámara 50, particularmente en la región del separador  
de iones 62 puede ser del orden de varios cientos de gaussios  
(por ejemplo 100-300 gaussios) como intensidades de campo tí-  
picas. Un campo eléctrico ortogonal se produce en impulsos,  
10 preferiblemente directamente siguiendo cada impulso de ener-  
gía radiante de láser en el rayo 48, por una señal desde  
una fuente de voltaje 66 que, a su vez, se activa por una se-  
ñal desde el temporizador 40. Duraciones de impulso típicas  
para el campo eléctrico oscilan desde una a algunas millo-  
15 nésimas de segundo, e intensidades de campo de aproximada-  
mente 20-100 voltios/cm, típicamente 30 voltios/cm pueden  
emplearse. Las intensidades de campo magnético y eléctrico  
y la duración de impulso se facilitan para acelerar partícu-  
las de vapor de uranio ionizadas a trayectorias distintas  
20 antes del cambio de carga sustancial.

Los detalles de la cámara 50 en cuanto se refieren  
a la práctica de la presente invención se ilustran más ple-  
namente en la figura 3 que es una vista en sección del inte-  
rior de la cámara 50 a lo largo de las líneas de sección in-  
25 dicadas en la figura 2. En la figura 3, la fuente de vapor  
60 se ilustra como incluyendo un crisol 70 que tiene una plu-  
ralidad de orificios refrigeradores 72, típicamente, para  
agua, y que contiene dentro del crisol 70 un suministro 74  
de metal de uranio elemental. La vaporización del suministro  
30 de uranio 74 puede conseguirse por cualquier forma encontra-

1 da conveniente, aunque la forma preferida para la vaporiza-  
ción es aplicar un haz electrónico 76 en una línea a lo lar-  
go de la superficie del suministro 74, u opcionalmente una  
serie de manchas. El haz electrónico 76 se genera por una  
5 fuente filamentaria 78 y se enfoca por un campo magnético  
80 producido por corriente en las bobinas 62. El calenta-  
miento de una línea larga sobre la superficie del suministro  
74 produce un flujo de vapor que se expande radialmente 82  
de metal de uranio que tiene componentes isotópicos esen-  
10 cialmente en las mismas porciones que ocurren en el sumi-  
nistro 74. El flujo de vapor 82 tiene, se cree, una distri-  
bución casi de coseno en su densidad. La velocidad de flujo  
de vapor es típicamente 40 gramos por hora por cada centí-  
metro de longitud a lo largo de la superficie del suministro  
15 74. Una longitud típica para el crisol 70 en la dirección de  
campo 80 es un metro.

El separador de iones 62 incluye un juego de elec-  
trodos colocados para definir una pluralidad de cámaras 84  
a aproximadamente 10 centímetros desde el crisol 70. Las cá-  
20 maras 84 se definen por una placa de colección posterior, de  
cola, 86 que forma una sección cilíndrica, y electrodos que  
se extienden hacia adentro, radialmente 88 de aproximadamen-  
te 5,0 centímetros de longitud. Las placas 88 se conectan  
eléctricamente a la placa posterior 86 y se conectan a un  
25 terminal, preferiblemente negativo, de una fuente de voltaje  
90. Dentro de cada cámara 88, un electrodo central 92 se  
coloca y cada electrodo 92 se conecta en común a otro termi-  
nal positivo de la fuente de voltaje 90 a través de un con-  
mutador 94. El conmutador 94 se activa por el temporizador  
30 40 para facilitar cada impulso de campo eléctrico. El poten-

1 cial de la fuente de voltaje 90 puede ser típicamente 60  
voltios. Cada una de las placas 88 y 86 y el electrodo radial  
92 se extienden a y fuera de la página de la figura 3 por la  
longitud del separador de iones, típicamente un metro o más  
5 largo, como se muestra en la figura 2.

En el funcionamiento, el flujo de vapor de uranio  
82 tendrá un número de componentes, incluyendo un gran número  
de electrones. Dos fuentes de electrón principales incluyen  
la fuente de vapor debida a condiciones de equilibrio  
10 de una vaporización y el haz-e.

La liberación de electrones por la fuente de vapor  
es una función de temperatura como se describe por la ecuación  
de Saha. Los electrones se liberan como pares de iones  
de electrón que evitan neutralidad de carga en el flujo de  
vapor y les permiten avanzar con el flujo para ser disponibles  
15 para la ionización por colisión. Las partículas de electrón  
experimentarán choques al azar entre sí y con los átomos  
del uranio en el flujo de vapor 82. Estos choques y la energía  
transformada serán un proceso continuo, y junto con  
20 otras causas, resultarán en la población de algunos estados  
de más baja energía para los isótopos de uranio en el flujo  
de vapor 82. Según eso puede desearse irradiar por láser para  
una transición inicial no sólo desde el nivel de energía  
fundamental sino desde uno o más niveles de más baja energía. La  
25 radiación de láser se aplica a la región de las cámaras 84,  
y por reflexiones del rayo hacia atrás y hacia adelante a  
través del separador de iones 62 desde prismas no mostrados  
ilumina todas las cámaras 84. El rayo 48 para este fin tiene  
típicamente 2cm X 2,5cm de sección eficaz.

30 La radiación de láser aplicada según los varios cri-

1 terios de radiación antes descritos será operativa para produ-  
cir fotoexcitación del isótopo de U-235 en el flujo de vapor  
82 a la gama de energía de niveles 12 que preferiblemente  
son los niveles de Rydberg, una pequeña fracción de un elec-  
5 trón-voltio por debajo del nivel de ionización 14. Esta gama  
es típicamente 0,03 ev por debajo de la ionización como se  
ha mencionado antes.

La selección de longitudes de onda específicas para  
los sistemas de láser 30 y 44 se basa preferiblemente en  
10 frecuencias de láser tintóreas disponibles de "lasing"  
tales como las regiones roja y naranja del espectro visible.  
Adicionalmente, se desea prever una longitud de onda para  
al menos la primera transición, tal como la fase 18, que  
exhibe un buen cambio de isótopo, o separación entre las li-  
15 neas de absorción para el isótopo de U-235 con respecto  
a otros isótopos. Es preferible facilitar selectividad  
isotópica en las otras fases también. También, una sección  
eficaz de absorción relativamente grande para las transicio-  
nes entre estados excitados se desea así como una duración  
20 de vida en el estado excitado que sea larga con respecto a  
la duración de impulso de láser.

Existe un número enorme de longitudes de onda para  
las que el uranio tiene una línea de absorción y que satis-  
facen estos criterios en varios grados. Cuando se construye  
25 y funciona un sistema del tipo antes descrito apropiadas lon-  
gitudes de onda pueden seleccionarse dentro de las limitacio-  
nes individuales de los sistemas de láser empleados por aná-  
lisis espectrográfico conocido. Las líneas de absorción se  
detectan sintonizando la radiación de láser, comenzando con  
30 el primer láser de transición, sobre una gama de líneas de

1 absorción, preferiblemente en el rojo o rojo-naranja como se  
ha descrito antes. Por observación espectrográfica, una fre-  
cuencia en una absorción de U-235 observada se selecciona se-  
gún el grado en el que las líneas observadas satisfacen los -  
5 criterios anteriores.

En el punto en el que átomos altamente excitados se han -  
creado, la transformación de energía al azar por choques de  
partículas, típicamente con electrones, será suficiente para  
producir una velocidad eficiente, significativa de ionización  
10 de las partículas de isótopo de U-235 a partir del nivel en -  
la gama 12 sin la necesidad de facilitar una radiación ionizan-  
te de elevada intensidad para superar la sección eficaz de ab-  
sorción de ionización relativamente pequeña. Partículas distin-  
tas de los electrones tales como los átomos U-235 y U-238 o -  
15 mezclas de los mismos pueden usarse para el mismo efecto.

Después de la ionización, las fuerzas de acelera-  
ción magnetohidrodinámicas de campo cruzado producidas dentro  
de las cámaras 84 por cada impulso de campo eléctrico desde -  
la fuente 90 logran una aceleración de los iones de U-235 ha-  
20 cia los electrodos 88 para colección en concentraciones sus-  
tancialmente más grandes que en el flujo de vapor de uranio -  
82. El uranio enriquecido sobre los electrodos 88 puede reco-  
gerse periódicamente para tratarse de una forma útil por téc-  
nicas conocidas.

25 Habiendo descrito antes una realización preferida  
para la presente invención, los expertos en la materia compren-  
derán que pueden emplearse modificaciones y alternativas a la  
técnica descrita dentro del espíritu de la invención. Según -  
eso, se pretende definir la invención sólo según las limita-  
30 ciones de las reivindicaciones siguientes.

1 En resumen, la Patente de Invención que se solici-  
ta deberá recaer sobre las siguientes:

REIVINDICACIONES

5 1. Un método y su correspondiente aparato para io-  
nizar partículas de un tipo de isótopo en un medio ambiente -  
de partículas de tipos de isótopos plurales cuyo método com-  
prende las fases de:

10 generar un medio ambiente de vapor de partículas de  
dichos tipos de isótopo plurales, incluyendo dicha fase gene-  
radora de medio ambiente de vapor la etapa de generar más par-  
tículas.

15 excitar las partículas de dicho tipo de isótopo a un  
estado excitado que está por debajo del nivel de ionización de  
las partículas de dicho tipo de isótopo por una pequeña frac-  
ción del potencial de ionización de dicho tipo de isótopo,

20 siendo la excitación de las partículas de dicho ti-  
po de isótopo a un nivel de energía a partir del cual ocurre -  
ionización en respuesta a colisión entre las partículas de di-  
cho tipo de isótopo y las partículas energéticas de electrones  
de dicho medio ambiente.

2. El método de la reivindicación 1, en el que las -  
partículas energéticas de dicho medio ambiente incluyen al me-  
nos electrones.

25 3. El método de la reivindicación 1 que incluye ade-  
más la fase de separar las partículas de dicho medio ambiente  
ionizadas por choque de partículas.

4. El método de la reivindicación 3 en el que dicha  
fase de separación incluye además la fase de acelerar las par-  
tículas de dicho medio ambiente ionizadas en respuesta a coli-  
sión con dichas partículas energéticas, siendo la aceleración

ME  
30

1        en una dirección para permitir la colección separada de las  
      mismas aparte de otras partículas de dicho medio ambiente.

      5. El método de la reivindicación 4 en el que las  
partículas aceleradas se recogen sobre una superficie.

5        6. El método de la reivindicación 1 en el que di-  
cha fase de generar dicho medio ambiente incluye además la -  
fase de vaporizar un material que incluye dichas partículas  
de tipos de isótopos plurales para producir un flujo de vapor  
de dicho material que define dicho medio ambiente.

10       7. El método de la reivindicación 6 que incluye ade-  
más la fase de proporcionar más partículas energeticas en di-  
cho medio ambiente de vapor.

      8. El método de la reivindicación 6 en el que dicho  
material incluye uranio.

15       9. El método de la reivindicación 8 en el que la den-  
sidad de vapor de átomos de uranio en puntos de excitación es  
aproximadamente entre  $1 \times 10^{13}$  y  $1 \times 10^{14}$  átomos por cc.

      10. El método de la reivindicación 1 en el que el ni-  
vel de energía excitado al que las partículas de dicho tipo de  
20       isótopo se excitan para ionización por choque está por debajo  
del nivel de ionización para dichas partículas por una pequeña  
fracción de un electrón-voltio.

      11. El método de la reivindicación 10 en el que dicha  
fracción pequeña es aproximadamente 0,03 ev.

25       12. El método de la reivindicación 11 en el que dicho  
nivel de energía excitado incluye un nivel de Rydberg.

      13. El método de la reivindicación 1 en el que dicha  
fase de generar dicho medio ambiente incluye la fase de facili-  
tar un medio ambiente en el que la velocidad de choques de par-  
tículas ionizantes entre las partículas excitadas de dicho tipo

ME  
30

1 de isótopo y dichas partículas energéticas excede la veloci-  
dad de degradación de las partículas excitadas de dicho tipo  
de isótopo desde el nivel por debajo de la ionización al que  
se excitan.

5 14. El método de la reivindicación 1 en el que -  
dicho medio ambiente está en una región de aproximadamente  $10^{-5}$   
torr de presión.

10 15. El método de la reivindicación 1 que incluye -  
ademas la fase de aplicar campos eléctricos y magnéticos al me-  
dio ambiente de partículas que contiene partículas de dicho -  
tipo de isótopo ionizadas colisionalmente por choque con dichas  
partículas energéticas para producir una aceleración sobre las  
partículas ionizadas en dicho medio ambiente.

15 16. El método de la reivindicación 15 en el que di-  
chos campos eléctrico y magnético se aplican para producir ace-  
leración impulsada en las partículas cargadas en dicho medio -  
ambiente.

20 17. El método de la reivindicación 1 en el que di-  
cha fase de excitar las partículas de dicho tipo de isótopo in-  
cluye la fase de aplicar energía radiante que tiene al menos -  
tres longitudes de onda, teniendo dicha energía radiante una -  
anchura de banda suficientemente estrecha al menos en una lon-  
gitud de onda de la misma para excitar las partículas de dicho  
tipo de isótopo sin excitar partículas de otros tipos de isóto-  
po en dicho medio ambiente.

25 18. El método de la reivindicación 17 en el que las  
tres longitudes de onda están aproximadamente en las regiones -  
espectrales roja y roja-naranja.

19. El método de la reivindicación 1 para ionizar -  
partículas de un tipo de isótopo donde dicha etapa generadora -

ME  
30

1     comprende las fases de:

      evaporar metal de uranio para facilitar un flujo de vapor de uranio,

5     facilitando la fase de vaporización de uranio un suministro de pares de iones de electrón en el vapor de uranio que generalmente mantiene una condición de neutralidad de carga en dicho flujo de vapor que permite que los electrones producidos por el mismo fluyan con dicho vapor; dicha etapa de excitación de partículas incluye las fases de:

10    aplicar al menos dos longitudes de onda de radiación de láser en impulsos de al menos 1,0 milijulios por  $\text{cm}^2$  de densidad de energía de impulso total, teniendo al menos una longitud de onda selectividad isotópica en sus energías de fotón para producir excitación de un isótopo de uranio sin excitación correspondiente de otros componentes de isótopo de dicho flujo de vapor,

15    estando generalmente la radiación de láser para dichas dos longitudes de onda en la región espectral visible y siendo de energías de fotón que producen una excitación total de los átomos de un tipo de isótopo de uranio a un nivel de Rydberg de excitación que es una pequeña fracción de un electrón-voltio por debajo del nivel de ionización para dicho isótopo de uranio,

20    incluyendo la fase de generar dicho vapor la fase de dotar a los electrones en dicho flujo de vapor de suficiente energía para ionizar por colisión los átomos de dicho isótopo de uranio a partir de los niveles excitados, de Rydberg.

25    20. El método de la reivindicación 19 en el que dicha fase de generación de vapor incluye aplicar un haz electrónico a una superficie de dicho metal de uranio.

1           21. El método de la reivindicación 20 en el que di  
cha radiación de láser incluye una longitud de onda en la re  
gión espectral roja y dos longitudes de onda en la región es  
pectral roja-naranja.

5           22. El método de la reivindicación 21 en el que di  
cho nivel de Rydberg está aproximadamente 6,16 ev por encima  
del estado fundamental para los átomos de dicho tipo de isó  
topo.

10           23. El método según la reivindicación 1 en el que -  
una presión de aproximadamente  $10^{-5}$  torr se mantiene en la re  
gión que rodea dicho medio ambiente de vapor, y el vapor se -  
genera a lo largo de una línea a una velocidad de aproxima  
damente 40 gramos por centímetro de dimensión de línea por hora.

15           24. El método según la reivindicación 1 en el que -  
los átomos de partículas se fotoexcitan selectivamente por ilu  
minación al menos con tres rayos láser, sintonizándose al menos  
un rayo láser en la región espectral roja y sintonizándose al -  
menos otros dos rayos láser en la región espectral roja-naranja.

20           25. El método según la reivindicación 24 en el que -  
los rayos láser se impulsan con una intensidad de aproximadamen  
te 1,0 a 10 milijulios por  $\text{cm}^2$  por impulso.

            26. El método según la reivindicación 25 en el que:  
el medio ambiente de vapor incluye un flujo de vapor;  
y

25           la velocidad de repetición de impulsos es suficiente  
para iluminar aproximadamente todas las porciones de las partí  
culas en el flujo de vapor.

            27. Aparato para llevar a cabo el método de las rei  
vindicações 1 a 26 que comprende:

30           medios para generar un medio ambiente de vapor de -

mfe

1 partículas de dichos tipos de isótopo plurales, dichos medios  
generadores incluyen medios para generar más partículas,

medios para excitar las partículas de dicho tipo de -  
isótopo a un estado excitado que está por debajo del nivel de  
5 ionización de las partículas de dicho tipo de isótopo por una  
pequeña fracción del potencial de ionización de dicho tipo de -  
isótopo,

siendo la excitación de las partículas de dicho tipo  
de isótopo isotópicamente selectiva con respecto a dicho tipo  
10 de isótopo de forma que no se existen correspondientemente par-  
tículas de otros tipos de isótopo en dicho medio ambiente,

siendo la excitación de las partículas de dicho tipo  
de isótopo a un nivel de energía a partir del cual se produce  
ionización en respuesta al choque entre las partículas de di-  
15 cho tipo de isótopo y las partículas, energéticas de electro-  
nes de dicho medio ambiente.

28. El aparato de la reivindicación 27 en el que las  
partículas energéticas de dicho medio ambiente incluyen al me-  
nos electrones.

20 29. El aparato de la reivindicación 28 que incluye -  
además medios para separar las partículas de dicho medio am-  
biente ionizadas por choque de partículas.

30. El aparato de la reivindicación 28 en el que di-  
chos medios para generar dicho medio ambiente son operativos -  
25 para vaporizar un material que incluye dichas partículas de -  
tipos de isótopo plurales para producir un flujo de vapor de -  
dicho material que define dicho medio ambiente.

31. El aparato de la reivindicación 30 que incluye -  
además medios para proporcionar más partículas energéticas.

32. El aparato de la reivindicación 31 en el que di-

1 cho material incluye uranio.

33. El aparato de la reivindicación 28 en el que el nivel de energía excitado al que las partículas de dicho tipo de isótopo se excitan para ionización por choque está por debajo del nivel de ionización para dichas partículas por aproximadamente 0,03 electrón-voltio.

34. El aparato de la reivindicación 28 que incluye - además medios para aplicar campos eléctricos y magnéticos al medio ambiente de partículas que contiene partículas de dicho tipo de isótopo ionizadas colisionalmente por choque con dichas partículas energéticas para producir impulsos de aceleración sobre las partículas ionizadas en dicho medio ambiente.

35. El aparato de la reivindicación 28 en el que dichos medios para excitar las partículas de dicho tipo de isótopo incluyen medios para aplicar energía radiante que tiene al menos tres longitudes de onda, teniendo dicha energía radiante una anchura de banda suficientemente estrecha al menos en una longitud de onda de la misma para excitar las partículas de dicho tipo de isótopo sin excitar partículas de otros tipos de isótopo en dicho medio ambiente.

36. El aparato de la reivindicación 35 en el que las tres longitudes de onda están aproximadamente en las regiones espectrales roja y roja-naranja.

37. El aparato según la reivindicación 32 para ionizar partículas de un tipo de isótopo de uranio sin ionización correspondiente de otros tipos donde dichos medios generadores incluyen: medios para evaporar metal de uranio para facilitar un flujo de vapor de uranio,

*ME*  
incluyendo los medios de vaporización de uranio medios para facilitar un suministro de pares de iones de electrón en el

1 vapor de uranio que generalmente mantienen una condición de neutralidad de carga en dicho flujo de vapor que permite que los electrones producidos por el mismo fluyan con dicho vapor; dichos medios de excitación incluyen:

5 medios para aplicar al menos dos longitudes de onda de radiación de láser en impulsos de al menos 1,0 milijulios por  $\text{cm}^2$  de densidad de energía de impulso total, teniendo al menos una longitud de onda selectividad isotópica en sus energías de fotón para producir excitación de un tipo de isótopo de uranio sin excitación correspondiente de otros componentes de isótopo de dicho flujo de vapor,

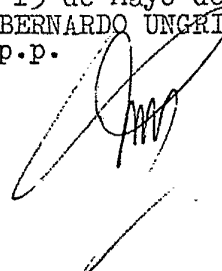
15 estando generalmente la radiación de láser para al menos dos longitudes de onda citadas en la región espectral visible y siendo de energías de fotón que producen una excitación total de los átomos de un tipo de isótopo de uranio a un nivel de Rydberg de excitación que es una pequeña fracción de un electrón-voltio por debajo del nivel de ionización para dicho isótopo de uranio,

20 teniendo los electrones generados en dicho flujo de vapor una energía que produce ionización por choque de los átomos de dicho isótopo de uranio en el nivel de Rydberg de isótopo excitado.

25 38. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: UN METODO Y SU CORRESPONDIENTE APARATO PARA IONIZAR PARTICULAS DE UN TIPO DE ISOTOPO EN UN MEDIO AMBIENTE DE PARTICULAS DE TIPOS DE ISOTOPOS FLURALES.

1                    Todo conforme queda descrito y reivindicado en la  
presente memoria descriptiva que consta de veintiseis pági-  
nas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

5                    Madrid, 13 de Mayo de 1.975  
                    BERNARDO UNGRIA  
                    P.P.



10

15

20

25

*ME*

30