



ESPAÑA

Concedida ~~la~~ **DIVISIONARIA** de acuerdo con los datos que figuran en la presente descripción y según el contenido de la memoria adjunta.

PATENTE DE INVENCION

483500

(12) ES	(11) NUMERO	(10) A1
(21)		
(27)	FECHA DE PRESENTACION	
	22 agosto 1.979	

(30) PRIORIDADES:	(32) FECHA	(33) PAIS
(31) NUMERO		
862.409	20.12.1977	USA

(47) FECHA DE PUBLICIDAD	(51) CLASIFICACION INTERNACIONAL	(52) PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	B01D 59/00	476.204 de 20.12.1978

(54) TITULO DE LA INVENCION

UN APARATO Y SU CORRESPONDIENTE PROCEDIMIENTO PARA PRODUCIR LA EXCITACION DE PARTICULAS INDUCIDA POR RADIACION.

(71) SOLICITANTE (S)

JERSEY NUCLEAR-AVCO ISOTOPES, INC.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE

777 106 th Avenue Northeast C-00777 - Bellevue, Washington 98009 EE.UU.

(72) INVENTOR (ES)

Hans A. Bethe y Ching Sung Chang, ambos de nacionalidad estadounidense.

(73) TITULAR (ES)

El mismo solicitante.

(74) REPRESENTANTE

DON BERNARDO UNGRIA GOIBURU.

1

RESUMEN

Método y aparato para inducir la fotoexcitación isotópicamente selectiva de átomos al menos en una primera y segunda fases energéticas. Con la selectividad isotópica a resonancia precisa para las dos fases se facilita el cambio energético total realizado por las dos fases energéticas. En un sistema de separación de isótopos en el que se crea un ambiente de partículas de múltiples tipos de isótopos, se muestra la fotoexcitación isotópicamente selectiva a partir de radiación láser para producir una mejora grande en la eficiencia de excitación en la que la radiación se controla en el total de fotones múltiples para obtener resonancia precisa en la pluralidad de fases energéticas degeneradas. Incluso con la excitación multimodal, solamente se consigue resonancia precisa para átomos aislados, y se aplica un chirrido o barrido de frecuencia a una de las diversas frecuencias de excitación para asegurar la resonancia precisa al menos una vez para cada átomo. En el caso de excitación en transiciones múltiples desde energía baja múltiple mediante una transición superior generalmente común, el chirrido puede aplicarse a la radiación que produce la transición común a nivel superior sola.

10
15
20

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a la fotoexcitación isotópicamente selectiva y en particular a dicha excitación en un sistema para la separación de isótopos.

25

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Se conocen en la materia varios esquemas complementarios para producir la fotoexcitación isotópicamente selectiva en un proceso de separación de isótopos tal como el enriquecimiento de uranio, entre los que se incluyen las ideas técnicas

30

1 anteriores de la Patente estadounidense 3.772.519 en la que se
observa que la excitación selectiva puede conseguirse por un
haz finamente sintonizado de radiación láser aplicado a un am-
biente de partículas de vapor. También se ha indicado que la
5 radiación de excitación puede chirriarse o barrerse la frecuen-
cia en la anchura de la banda de la absorción isotópicamente
selectiva para la transición de fotoexcitación como se ilustra
en la Patente belga 828.557, y la solicitud de Patente estado-
unidense número de serie 729.893, presenta el 6 de octubre de
10 1976, cedidas en común con la presente solicitud.

Investigaciones recientes de los procesos de excita-
ción, en particular en el átomo de uranio y del tipo de isótopo
deseado, U-235, han llevado al desarrollo de algunos parámetros
específicos para la excitación, y para el barrido de frecuencia
15 que permite técnicas de separación de isótopos más efectivas y
económicas. Estas se aplican en particular cuando se emplea
más de una sola fase de fotoexcitación y cuando se desea la ex-
citación a partir de múltiples estados energéticos iniciales
bajos como se explica, por ejemplo, en las Patentes belgas ce-
20 didas en común 807.118 y 816.057.

En particular, se sabe que la radiación láser produ-
cida por una cavidad sintonizada consta de un número de líneas
modales o frecuencias distintas separadas por hasta 100 MHz o
más dentro de la anchura de banda láser. Sustancialmente no se
25 produce radiación útil en el espacio entre modos. Al mismo
tiempo, la frecuencia de absorción para un isótopo seleccionado
en una mezcla de muchas partículas de dicho tipo y otros tipos
de isótopos incluye una anchura de banda que, aunque es distinta
de las frecuencias de absorción para otros isótopos se extiende
30 no obstante por una gama de frecuencias. Esto se debe a las di-

1 versas características de ensanchamiento o degeneración de las
múltiples partículas individuales de dicho tipo de isótopo.
De esta forma es imposible la igualación perfecta entre las fre-
cuencias discretas de los modos individuales de la radiación
5 de excitación y todas las partículas del tipo de isótopo selec-
cionado. Sin embargo una explosión próxima de dicho tipo no
impide la excitación de las partículas. Una proximidad de este
tipo es suficiente para que puedan darse las probabilidades de
excitación efectivas para la separación de isótopos como se es-
10 pecifica en las Patentes citadas. La proximidad se asegura por
la presencia de un número de líneas modales distribuidas por
la gama de frecuencias de absorción para las múltiples partículas.

BREVE RESUMEN DE LA INVENCION

La presente invención se basa en una investigación
15 rigurosa de los procesos de interacción entre un átomo y un
impulso de radiación. Cuando las frecuencias de radiación están
muy cerca de las frecuencias de transición atómica, los números
de las transiciones atómicas o excitaciones mediante las absor-
ciones de los cuanta de radiación variarán como función de la
20 distancia en la que la radiación se desvía de la resonancia
precisa. Es decir, la resonancia "precisa" entre la radiación
y una partícula específica aumenta mucho la probabilidad de que
la partícula se excite. Dicho efecto se enmascara en el mundo
real porque las frecuencias de absorción precisas para muchas
25 partículas se extienden por un espectro. Sin importar dónde se
colocan entonces una o más líneas modales, hay aproximadamente
el mismo número de igualaciones perfectas e igualaciones de fre-
cuencia precisa. La diferente colocación de los modos en la gama
de isótopos de estructura hiperfina no revelará la existencia
30 de la gran mejora de probabilidad de excitación para el caso de

1 una igualación precisa.

Dicha indeterminación de los fenómenos de absorción aumenta cuando se requieren múltiples fases de excitación. Esta es la situación típica de la separación de isótopos inducida por láser.

5 Los estudios teóricos de la interacción de la radiación atómica revelan dicho aumento sustancial de la probabilidad de absorción de resonancia precisa. Aplicada a la fotoexcitación isotópicamente selectiva de muchas partículas del mundo real, esta teoría señala la conveniencia de tener resonancia precisa con cada una de las múltiples partículas del tipo de isótopo seleccionado en toda la gama de frecuencia de la estructura lineal

15 Se ha hallado que para conseguir una excitación y ionización elevadas con cobertura lineal completa que asegure la resonancia precisa, se requiere una intensidad láser mucho menor que con el grupo usado previamente de modos fijos discretos. La intensidad mínima no sólo es deseable para que el proceso sea eficiente, sino que también es importante para la seguridad del funcionamiento de la planta. Es difícil que un impulso intenso de radiación se propague por distancias económicamente razonables. La degradación del haz de láser resulta de efectos ópticos no lineales bien conocidos, y de efectos casi lineales tales como el calentamiento y distorsión de los elementos ópticos.

20 En el mundo práctico, sin embargo, las espaciaciones de los modos excluyen la existencia de cobertura lineal completa excepto con modos muy poco espaciados que requieren configuraciones de cavidad impracticables. Una solución está en el sistema de la presente invención que pretende facilitar cobertura de línea completa variando las posiciones modales continuamente durante la duración de la radiación. La radiación se apli-

25

30

1 ca típicamente en impulsos de duraciones de aproximadamente uno
a 2 microsegundos y en dicho intervalo la pluralidad de modos
se barren al menos una anchura de línea de forma que se consi-
ga resonancia precisa al menos una vez para cada átomo del tipo
5 de isótopo deseado.

Quando se facilitan múltiples fases de excitación,
por ejemplo, en la separación de isótopos, es mucho más difí-
cil obtener la resonancia precisa para un átomo particular a
más de una transición. Como otro aspecto de la invención, se ha
10 determinado que en un proceso de múltiples fases energéticas
que utilice múltiples radiaciones, es suficiente conseguir la
resonancia precisa para el cambio energético total. Si la ra-
diación está cerca de la resonante para las fases intermedias,
el efecto de mayor probabilidad de excitación para la resonan-
15 cia precisa puede conseguirse si se consigue la resonancia pre-
cisa para el cambio energético total durante la transición.
Esto conduce a la simplificación del aparato de barrido de
frecuencia para la separación de isótopos en fases múltiples,
permitiendo mejorar la eficiencia cuando se barre solamente
20 una frecuencia de múltiples frecuencias.

En otros casos, la generación de un impulso láser
no modal, cuando no hay cavidad, satisfará automáticamente
los dos requisitos de la resonancia fotónica. El láser no modal
tiene una distribución de frecuencia continua, equivalente a
25 un impulso de barrido, de múltiples modos.

BREVE DESCRIPCION DEL DIBUJO

Estas y otras características de la presente inven-
ción se exponen con mayor detalle en la descripción detallada
siguiente, que se presenta únicamente con fines ilustrativos
30 y no en sentido limitativo, y en el dibujo adjunto, en el que:

1 La figura 1 es un diagrama del nivel energético y de transición útil para explicar la presente invención.

La figura 2 es un diagrama que ilustra las resonancias atómicas discretas y las configuraciones típicas de emisión de modo láser.
5

La figura 3 es un diagrama del aparato que se usa al facilitar el barrido de frecuencia de la presente invención.

La figura 4 es una vista de una porción del aparato de la figura 3; y

10 La figura 5 es un diagrama del aparato que se usa al llevar a la práctica la presente invención.

DESCRIPCION DETALLADA DE LA INVENCION

La presente invención contempla un sistema de fotoexcitación y en último término de ionización con selectividad isotópica en el que el proceso y aparato de ionización funcionan de manera que se facilite mayor eficiencia de separación, es decir, mayor separación con la misma o menor entrada de energía. En particular, la fotoexcitación se consigue en dos o más fases energéticas mediante un estado altamente excitado a partir del cual se obtiene la ionización, típicamente por radiación láser. El proceso así descrito se ilustra en la figura 1 que muestra la primera y segunda fases energéticas 12 y 14 a partir de un estado base 16 hasta un estado excitado intermedio 18 y en último término hasta un estado altamente excitado 20.

25 Además puede ser deseable y se considera preferible excitar también partículas a partir de otros estados de baja energía tales como el nivel 620 cm^{-1} para el caso del uranio como se ilustra en el nivel 22 y usar otra fase energética 24 para excitar las partículas al estado excitado intermedio 18. En este caso, el estado 18 puede estar en el mismo nivel exacto de energía o
30

1 diferir ligeramente en el número J para acomodar los diferentes
factores J para los niveles iniciales 16 y 22, como es sabido
en la materia.

5 La radiación láser se emplea típicamente para producir
las transiciones 12 y 14 iluminando un vapor de las partículas
que se desea fotoexcitar. En la aplicación de la invención a
la separación de isótopos y en particular al enriquecimiento de
uranio, el vapor constituirá un vapor de partículas de uranio,
predominantemente los isótopos U-235 y U-238, y la radiación
10 láser se sintonizará típicamente para producir la selectividad
isotópica en la fotoexcitación.

15 El proceso ilustrado en la figura 1 es conocido en la
materia en los términos generales en los que se ha descrito,
y de hecho sirve para fotoexcitar con selectividad isotópica
partículas de vapor de uranio del isótopo deseado, U-235, al
nivel 20. Las partículas en el nivel 20 se ionizan por la ra-
diación de otro láser en una transición de ionización 26 a un
nivel ionizado 28 por encima del umbral de ionización 30. El
fin claro de dicho sistema es conseguir el mayor número de par-
20 tículas ionizadas de un tipo de isótopo deseado con el mínimo
de otros tipos de isótopos para la menor cantidad de entrada de
energía, que representa típicamente el menor número de fotones
en la radiación láser irradiante. Sin embargo, antes de poder
obtener un grado de optimización de la eficiencia en el sistema
25 general, es necesario entender parte de la cinemática de la
fotoexcitación selectiva.

30 Los niveles energéticos típicos 18 y 20 pueden se-
leccionarse a partir de tablas conocidas tales como LA-4501
Present Status of the Analyses of the First and Second Spectra
of Uranium (VI and VII) as Derived from Measurements of Optical

1 Spectra; Los Alamos Scientific Laboratory of the University
of California, que puede obtenerse de National Technical Infor-
mation Service, Departamento de Comercio de Estados Unidos,
5285 Port Royal Road, Springfield, Va. para el uranio. La ra-
5 diación láser puede obtenerse a partir de láser colorantes sin-
tonizables de anchura de banda suficientemente estrecha y sin-
tonizabilidad para producir las transiciones 12, 14 y 24 con
selectividad isotópica. Mediante análisis espectrográficos co-
nocidos, las posiciones centrales de las líneas de absorción de
10 los diversos isótopos se revelan junto con la estructura hiper-
fina, o el grupo de líneas de absorción 40 ilustrado en la fi-
gura 2 para cada partícula individual. Desde hace mucho se cono-
ce el hecho de que el centro o línea de absorción media tal como
la línea 42 de la figura 2 no es la frecuencia exacta en la que
15 cada partícula individual absorbe. La estructura lineal de las
líneas 40 representa varios efectos tales como la estructura
hiperfina, más la descomposición de Doppler y Zeeman. Dicha
banda estructural puede extenderse, por ejemplo, por algunos
GHz en el caso típico. Las líneas de absorción se muestran en
20 longitudes variables para ilustrar las variaciones de las sec-
ciones transversales de absorción de las diferentes líneas.
Se muestran como ejemplo de la estructura lineal sin intentar
describir con precisión la estructura lineal de una transición
particular en los átomos de uranio u otros.

25 En consecuencia la radiación láser generada para la
fotoexcitación isotópicamente selectiva deberá tener suficiente
pureza espectral para excitar dentro de la anchura de banda
del isótopo seleccionado y no extenderse a la anchura de banda
de los isótopos no deseados que se aparta de ella en una peque-
ña diferencia de frecuencia, denominada desplazamiento isotópico.
30

1 Según el láser y sus elementos de sintonización asociados, el
láser tendrá una anchura de banda como la ilustrada por la en-
volvente 44 en la figura 2 en la que el láser tiene ganancia
suficiente para generar radiación de salida. Típicamente, la
5 radiación se produce en un grupo de frecuencias denominadas
modos 46. La diferencia de frecuencia entre modos adyacentes
corresponde a la velocidad de propagación dentro de la cavidad
dividida por la longitud de la cavidad (o a 1/2 de dicho valor).

Es, pues, claro que es literalmente imposible faciliti-
10 tar un fotón de una energía precisa que iguale el cambio ener-
gético preciso que experimentarán todas las partículas dadas
en las fases 12, 14 o 24. Pero un fotón dado cuya energía esté
razonablemente cerca del cambio energético requerido tendrá
una probabilidad significativa de excitar un átomo mediante
15 dicho cambio energético próximo, aunque no igualado con preci-
sión. Esta es una consideración práctica importante con relación
a la estructura hiperfina de las líneas de absorción y permite
que una situación del tipo ilustrado en la figura 2 resulte
en la fotoexcitación isotópicamente selectiva práctica.

20 Se ha hallado que un átomo individual que, en cualquier
instante puede responder satisfactoriamente sólo a una radia-
ción próxima a su línea de absorción específica 40, se excita
mucho más efectivamente si la frecuencia de la radiación de ex-
citación corresponde, al menos durante un instante, a la fre-
25 cuencia precisa de la línea de absorción hiperfina específica
del átomo. Aunque los láseres funcionen de forma multimodal de
manera que se facilite una pluralidad de frecuencias modales
láser 46 dentro de la envolvente 44 medida a grandes rasgos se-
gún la anchura de banda de la estructura hiperfina de las líneas
30 de absorción, no es probable que los modos en dicha gama de fre-

1 frecuencia para las longitudes de cavidad prácticas se espacia
menos que, por ejemplo, a intervalos de 100 megaciclos. Como
consecuencia, la resonancia exacta sigue obteniéndose sólo en
casos aislados.

5 Para superar esta dificultad en la presente invención,
toda la estructura modal ilustrada en la figura 2 se borra
durante la radiación láser de excitación. La radiación se aplica
en impulsos, que duran típicamente al menos una fracción signi-
ficativa de un microsegundo. Después cada modo se desplaza sua-
ve y linealmente en frecuencia una cantidad que corresponde al
10 menos a una espaciación intermodal, tal como 100 MHz, en un
microsegundo. Es claro, pues, que cada línea de absorción espe-
cífica se cubrirá precisamente por la radiación láser corres-
pondiente durante cada ciclo de impulsos.

15 Como se indica en la Patente belga citada 828.557
que corresponde a la solicitud de patente estadounidense número
de serie 483.077, presentada el 25 de junio de 1974 y la soli-
citud de patente estadounidense número de serie 465.264, depo-
sitada el 29 de abril de 1974, una de las propiedades que pue-
den obtenerse de un barrido de frecuencia regulado con cuidado
20 en la fotoexcitación es la inversión adiabática de las partícu-
las resonantes. Cuando la mayoría de las partículas están en el
estado de energía base o el estado energético en el extremo
inferior de la transición particular que se induce, el barrido
de una línea unimodal mediante la resonancia puede pasar efec-
25 tivamente el estado energético al extremo superior de la transi-
ción denominado inversión adiabática. El proceso también fun-
ciona en la otra dirección, pasando partículas de nivel de
energía más elevado al extremo inferior de la transición cuando
30 la frecuencia de barrido dimensionada apropiadamente pasa por

1 la línea de resonancia de dicha partícula concreta. Así, en el
caso de líneas multimodales, y como puede ser difícil controlar
con precisión el barrido a la espaciación modal exacta, es claro
que aunque un primer modo puede ser operativo para realizar la
5 inversión adiabática, por ejemplo, desde el nivel de energía
16 a 18, es claro que el paso del segundo modo por la misma
línea de resonancia será efectivo para volver a pasar dicha
partícula desde el estado 18 al estado 16 lo que resulta en una
pérdida de partículas excitadas. En consecuencia en tal caso
10 parecería que se están pasando átomos entre los estados superio-
res e inferiores sin conseguir ninguna ganancia neta clara en
la fotoexcitación.

Sin embargo, dicha dificultad se evita excitando o
ionizando más los átomos que se han pasado por el barrido a
15 una velocidad suficiente para asegurar que un número sustancial
de átomos excitados por el barrido pasen del nivel de energía
de extremo superior a niveles de energía más elevados o a ioni-
zación antes de que pase la otra línea modal. Para este fin,
puede ser deseable que varias líneas modales se barran por cada
20 punto de frecuencia específico dentro de la anchura de banda de
la estructura fina durante cada impulso de radiación. Un número
aceptable de líneas modales a barrerse sería aproximadamente
cinco.

Ciertamente, el requisito de un barrido controlado
25 añade complejidad a los sistemas láser para la fotoexcitación
isotópicamente selectiva y ionización. Adicionalmente, cuando,
como se indica en la figura 1, se desea excitar a partir de
múltiples niveles de baja energía tales como el nivel base 16
y el primer nivel o los niveles más térmicamente poblados, ta-
30 les como el nivel 22, la complejidad se multiplica si el barrido

1 se aplica a cada uno de los láseres facilitados para inducir
las transiciones correspondientes 12, 24, etc al primer nivel
excitado 18.

5 En este punto, la descripción se aparta del concepto
de barrido para seguir otro aspecto de la invención. Este impli-
ca el reconocimiento, obtenido en la presente invención, de que
un sistema de fotoexcitación de fases múltiples, tal como la
mostrada en la figura 1 por las fases 12 y 14, en algunos as-
pectos puede considerarse como una única transición cuando las
10 radiaciones se aplican simultáneamente o casi simultáneamente.
En consecuencia, los fotones excitantes procedentes de la fuen-
te o fuentes láser pueden considerarse en conjunto. Entonces es
posible tratar la energía del conjunto, o total de fotones, que
corresponde al cambio energético total al estado excitado supe-
rior 20 desde cualquier estado inicial de baja energía que pue-
15 blen los átomos a excitarse.

Como se ha visto, es posible obtener la mejora facili-
tada por la invención a partir de la resonancia exacta del cam-
bio energético total solo. Si el total de fotones empleados
20 para las fases energéticas corresponde a la suma de los cambios
energéticos representados por las líneas de absorción hiperfina
exacta, se consigue la mejora de la eficiencia a partir de la
resonancia exacta. Mientras las fases individuales están cerca
de la resonancia, por ejemplo, entre líneas modales como se
25 muestra antes, no tienen que presentar resonancia exacta. Lo
que entonces se facilita según la presente invención es un sis-
tema para mejorar la eficiencia de excitación en múltiples fases
de excitación facilitando la fase total en resonancia exacta
y las fases intermedias sólo en resonancia al menos próxima.

30 Esto significa además que las ventajas de la resonancia

1. exacta en el conjunto pueden obtenerse para todas las partículas controlando solamente una de las radiaciones de excitación para el caso de fases múltiples. Aunque esto puede hacerse ampliando la potencia de una radiación, se prefiere con mucho
5 usar un barrido en una fuente de radiación de excitación en el caso de fases múltiples.

De aquí se deduce que el barrido puede limitarse al sistema láser sensible para facilitar la transición 14. Esto reduce la complejidad de los sistemas láser requiriendo solamente que un único sistema láser tenga la capacidad adicional e instrumentación para producir el barrido de frecuencia deseado.
10 En efecto, se considera que la transición al nivel de energía 20 desde cualquier estado inicial de baja energía que se use en primer lugar, tiene un fenómeno de resonancia único que incluye la extensión estructural lineal de la banda de absorción
15 por una frecuencia finita. Y aunque la radiación para las fases individuales 12 y 24 quizá no se barra con respecto a cubrir la línea de absorción específica entre el estado elevado 18 y los estados bajos respectivos 16 y 22, el barrido de la radiación para la transición 14 tiene el efecto de empujar las partículas de los estados base 16 y 22 para ver la radiación de
20 barrido para la transición total al estado 20. Entonces cada átomo está precisamente en resonancia en un punto particular en el barrido de frecuencia, o varios puntos, para la transición
25 hasta el nivel completamente excitado 20.

Es claro que un barrido a una velocidad de uno o varios intervalos modales como se especificó antes para la duración de los impulsos, típicamente un microsegundo, es suficientemente lento para conseguir la fotoexcitación. La rapidez con
30 la que un barrido puede emplearse eficientemente para esta fi-

1 nalidad depende del número de modos que haya originalmente en
el láser.

5 Aunque es más conveniente tener que barrer solamente
uno de los varios láseres en un proceso de fases múltiples, es
ventajoso barrer más de un láser. Si se realiza en la misma di-
rección, el barrido de ambos puede resultar en el aumento de
la cobertura lineal doblando la velocidad de barrido de la lí-
nea superior y reduciendo la asintonía media desde $1/2$ a $1/4$
de la espaciación modal.

10 Además, es importante que las partículas barridas
excitadas al extremo superior de la transición barrida se exci-
ten hacia arriba rápidamente para evitar su desexcitación des-
pués de la llegada del modo siguiente en una línea de resonancia
aceptable para la partícula excitada. En el caso del sistema de
15 la figura 1, esto requiere que la radiación ionizante para la
transición 26 sea suficientemente intensa para facilitar una
probabilidad sustancial de ionización en el intervalo entre los
pasos modales de las líneas de resonancia a las que podría res-
ponder la partícula excitada en el estado 20 para desexcitarse.
20 En el caso de la excitación de vapor de uranio en el que el
isótopo U-235 debe excitarse selectivamente, el láser ionizante
para la transición 26 debería llegar típicamente hasta aproxima-
damente un orden de magnitud de mayor densidad de energía que
la radiación para las transiciones 12, 14 y 24. En cierta medida
25 hay un intercambio entre las diferentes intensidades láser de
tal forma que si se quiere poner más intensidad en el láser
ionizante para la transición 26 es posible emplear menos inten-
sidad de radiación en los otros láseres. El efecto de ampliación
de potencia a partir del barrido también puede reducir los re-
30 quisitos de intensidad del láser ionizante. Finalmente, las den-

1 sidades deseadas de la energía de radiación son una función de
la probabilidad de ionización deseada para todo el esquema de
fotoexcitación y ionización. Los niveles de potencia típicos del
orden de medio a 25 milijulios por centímetro cuadrado facilitan
5 una densidad de energía aceptable, teniendo típicamente la ra-
diación ionizante mayor intensidad. No se pretende que dichas
cifras sean limitativas porque cantidades sustancialmente dife-
rentes de intensidad o intensidades relativas pueden emplearse
para diferentes tipos de partículas y diferentes probabilidades
10 de ionización.

El sistema de fotoionización isotópicamente selectiva
presentado consigue el equivalente de un espectro continuo de
radiación mediante el barrido repetido de las líneas modales
por las resonancias de los átomos individuales dentro del vapor.

15 Una vez descrito el proceso, y los parámetros para
llevarlo a la práctica, para la fotoexcitación isotópicamente
selectiva según la presente invención, debe describirse la es-
tructura útil para llevarlo a la práctica. Con referencia a la
figura 3, se muestra un sistema láser para generar radiación
20 láser multimodal, barrida que se usará en uno, aunque posible-
mente también en más láseres para las diversas transiciones 12,
14 y 24 en el proceso de excitación. En particular, la radia-
ción láser y la frecuencia deseada para la transición 14 se
genera por un oscilador láser 10 como serie de impulsos. La
25 velocidad de repetición de los impulsos es preferiblemente ele-
vada, por ejemplo, 10 KHz o más, pero se consigue típicamente
en dicho nivel sólo mezclando la radiación impulsada totalmente
amplificada de diversas fuentes como indica la Patente estadouni-
dense 3.944.947. Por consiguiente, típicamente los impulsos de
30 menor velocidad generados por un oscilador láser 50 tal como un

1 láser Dial-A-Line de Avco Everett Research Laboratory, Inc.,
pueden amplificarse y combinarse para conseguir la velocidad de
impulsos deseada. A menores velocidades de impulsos, sin embar-
go, es posible conseguir las ventajas de la presente invención.

5 Antes de amplificarse y combinarse, los impulsos de
radiación procedentes del oscilador láser 50 se aplican a una
configuración anular láser 52 mediante un divisor de haz 54
y se reflejan por un espejo 56 mediante óptica de compresión
anamórfica 58 para reducir la dimensión vertical del haz en el
10 plano de la figura. Dicha impresión permite que el haz pase
por una porción exterior estrecha de un prisma giratorio 60 que
tiene una primera superficie helicoidal 62 y una segunda super-
ficie plana 64. La radiación que pasa por el prisma 60 se refle-
ja por un espejo 66 y se pasa por la óptica de expansión ana-
15 mórfica 68 para restablecer la sección transversal normal. El
haz se refleja después por otro espejo 70 para aplicarse median-
te un medio amplificador láser 72 para la amplificación de im-
pulsos. El impulso amplificado pasa en parte por el divisor de
haz 54 para formar un haz de salida 74 y se refleja en parte
20 nuevamente alrededor del recorrido cerrado 52.

 Preferiblemente, el prisma 60 se hace girar por un
motor 78 sincronizado mediante un circuito de sincronización
80 a los impulsos generados por el oscilador láser 50 para evi-
tar que la fase de prisma en la superficie helicoidal 62 esté
25 presente en el recorrido del haz durante el impulso de radiación.
Dicha operación sincrónica es preferible aunque no necesaria.

 La ventaja de usar la óptica de compresión anamórfica
mostrada en la figura 4, permite que la sección transversal del
haz 81 sea suficientemente estrecha para evitar que se produzcan
30 dificultades de divergencia del haz por la variación del paso

1 de la superficie helicoidal 62 con la distancia radial desde el centro de rotación 82.

Las velocidades de rotación típicas del prisma 60, suponiendo un radio de prisma de un centímetro a la región en
5 la que el haz 80 entra en el prisma son del orden de magnitud de 8.000 RPM para las distancias de barrido de un único modo. Correspondientemente podrían usarse velocidades mayores o radios de prisma para cantidades mayores de desplazamientos modales en cada impulso.

10 Para producir el barrido de frecuencia pueden emplearse esquemas alternativos conocidos en la materia tales como los sistemas ilustrados en la Patente belga citada, incorporada a la presente por referencia.

El proceso de separación de isótopos se emplea típicamente dentro de una cámara del tipo ilustrado en la figura 5.
15 Como se muestra, se facilita una cámara 90 que puede ser del tipo ilustrado en la Patente estadounidense 3.939.354, incorporada a la presente por referencia. La cámara contiene una atmósfera rarificada que consta de un vapor de uranio facilitado desde una fuente de vapor 92. El vapor se dirige a un separador
20 iónico 94 por la fuente de vapor 92. Se aplica radiación láser mediante el separador iónico 94 desde el exterior de la cámara 90 por una ventana 96 sobre un tubo de extensión 98. La radiación puede salir además de la cámara 90 por un tubo de extensión
25 100 y una ventana 102 para usarse en cámaras similares subsiguientes. Un juego de bobinas de campo magnético 104 rodean la cámara 90 y se excitan desde una fuente de corriente 106 para facilitar un campo magnético axial dentro de la región del separador 94 usado para dirigir un haz de electrones al metal
30 uranio dentro de la fuente de vapor 92 y para cooperar con un

1 campo eléctrico aplicado dentro del separador 94 por una fuente de tensión de impulsos 108 para producir los campos magnéticos y eléctrico cruzados que extraen las partículas ionizadas del flujo de vapor.

5 En la radiación aplicada por la ventana 96 en un haz 110 se sobrepone una pluralidad de colores para producir las transiciones 12, 14, 24 y 26 ilustradas en la figura 1. La combinación de colores puede obtenerse típicamente en un combinador de colores 112, que puede ser elementos dicróticos. El combinador de colores 112 en ese caso recibe haces de radiación impulsada desde cuatro sistemas láser 114, 116, 118 y 120 que a su vez puede incluir varias etapas de amplificación así como intercalación de impulsos como se describe con detalle en la Patente citada 3.944.947, y en la Patente estadounidense 3.924.937, incorporada también a la presente por referencia y cedida con
10
15 ella.

Se pretende que el método y aparato descritos sean sólo ilustrativos de la invención que solamente debe limitarse según las reivindicaciones adjuntas.

20 En resumen, la Patente de Invención que se solicita deberá recaer sobre las siguientes:

REIVINDICACIONES

1. Un aparato y su correspondiente procedimiento para producir la excitación de partículas inducida por radiación cuyo aparato se caracteriza porque comprende:
25

medios para generar un ambiente de partículas que tiene partículas de múltiples tipos de isótopos que absorben radiación a frecuencias que varían entre los tipos de isótopos en un valor definido como desplazamiento isotópico;

30 medios para aplicar durante un tiempo predetermina-

1 do radiación electromagnética a dicho ambiente que cubre una gama de frecuencia que corresponde a las frecuencias a las que las partículas de un tipo de isótopo seleccionado absorben radiación dentro de la estructura lineal de las mismas;

5 incluyendo dichos medios de aplicación medios para generar dicha radiación en una pluralidad de líneas modales espaciadas aproximadamente a igual distancia dentro de la anchura de banda para dicha radiación; y

10 medios para el barrido de frecuencia de cada una de las varias líneas modales correspondiendo una frecuencia al menos a la espaciación entre líneas modales durante la duración predeterminada de dicha radiación electromagnética.

15 2. El aparato de la reivindicación 1 en el que dichos medios para el barrido de frecuencia incluyen medios para el barrido de frecuencia de dicha radiación correspondiendo una frecuencia a una pluralidad de espaciaciones modales pero sustancialmente inferior a la gama de frecuencia de la anchura de banda de dicha radiación.

20 3. El aparato de la reivindicación 1 que incluye además medios para ionizar las partículas excitadas por dicha radiación.

4. El aparato de la reivindicación 3 en el que: dicha radiación excita partículas de dicho tipo de isótopo seleccionado a un nivel excitado;

25 dichos medios ionizantes despueblan dicho nivel excitado por lo que dicha radiación electromagnética puede producir la excitación continua a dicho nivel excitado.

30 5. El aparato de la reivindicación 4 en el que el barrido de frecuencia de dichos medios generadores se extiende a través de una pluralidad de espaciaciones modales

1 en número suficiente durante dicha duración predeterminada para mantener una población sustancial de partículas excitadas del tipo de isótopo seleccionado disponible para ionizarse.

5 6. El aparato de la reivindicación 5 en el que el número de espaciaciones modales incluido dentro del barrido de frecuencia de cada periodo de duración de radiación electromagnética es al menos cinco.

10 7. El aparato de la reivindicación 3 en el que dichos medios ionizantes incluyen medios para aplicar radiación de intensidad mayor que la intensidad de dicha radiación electromagnética.

15 8. El aparato de la reivindicación 1 en el que dichos medios de aplicación incluyen medios para excitar dichas partículas de un tipo de isótopo seleccionado a un primer nivel de energía en el que se absorbe dicha radiación de barrido de frecuencia para producir una transición a un segundo estado excitado.

20 9. El aparato de la reivindicación 8 en el que dichos medios para excitar dichas partículas para excitarlas a un primer estado excitado incluyen medios para aplicar radiación de frecuencia múltiples para excitar desde una pluralidad de estados de baja energía a los primeros estados excitados de la misma.

25 10. El aparato de la reivindicación 1 en el que dichas líneas modales se separan aproximadamente del orden de 100 MHz.

11. El aparato de la reivindicación 1 en el que dichas partículas incluyen uranio elemental.

30 12. Un procedimiento para la realización con el aparato de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizo porque

1 comprende las fases de:

generar un ambiente de partículas que tiene partículas de múltiples tipos de isótopos que absorben radiación a frecuencias que varían entre los tipos de isótopos en un valor definido como desplazamiento isotópico;

5 aplicar durante un tiempo predeterminado radiación electromagnética a dicho ambiente que cubre una gama de frecuencia que corresponde a las frecuencias a las que las partículas de un tipo de isótopo seleccionado absorben radiación dentro de la estructura lineal de las mismas;

10 incluyendo dicha fase de aplicación la fase de generar dicha radiación en una pluralidad de líneas modales espaciadas aproximadamente a igual distancia dentro de la anchura de banda para dicha radiación; y

15 barrer la frecuencia de cada una de la pluralidad de líneas modales correspondiendo una frecuencia al menos a la espaciación entre líneas modales en la duración predeterminada de dicha radiación electromagnética.

20 13. Un procedimiento según la reivindicación 12 en el que dicha fase de barrido de frecuencia incluye el barrido de frecuencia de dicha radiación correspondiendo una frecuencia a una pluralidad de espaciaciones modales pero siendo sustancialmente inferior a la gama de frecuencia de la anchura de banda de dicha radiación.

25 14. Un procedimiento según la reivindicación 12 que incluye además la fase de ionizar las partículas excitadas por dicha radiación.

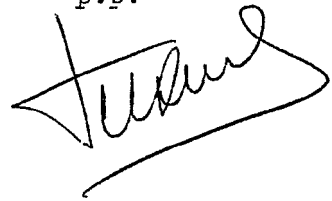
30 15. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita:
UN APARATO Y SU CORRESPONDIENTE PROCEDIMIENTO PARA PRODUCIR
LA EXCITACION DE PARTICULAS INDUCIDA POR RADIACION.

1 Todo conforme queda descrito y reivindicado en la
presente memoria descriptiva que consta de veintitres pá-
ginas mecanografiadas y dibujos adjuntos.

Madrid, 22 agosto 1.979

BERNARDO UNGRIA

p.p.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'Bernardo Ungria', written over a horizontal line.

5

10

15

20

25

30

1979

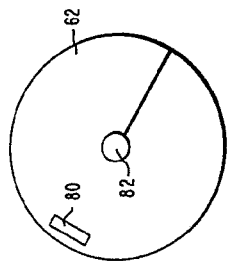


FIG. 4

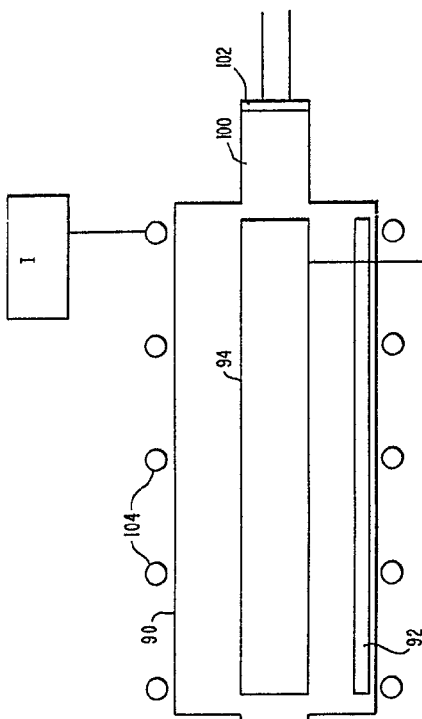
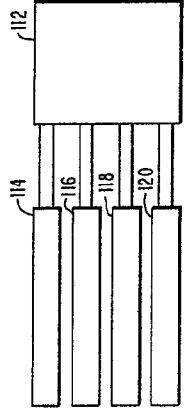


FIG. 5

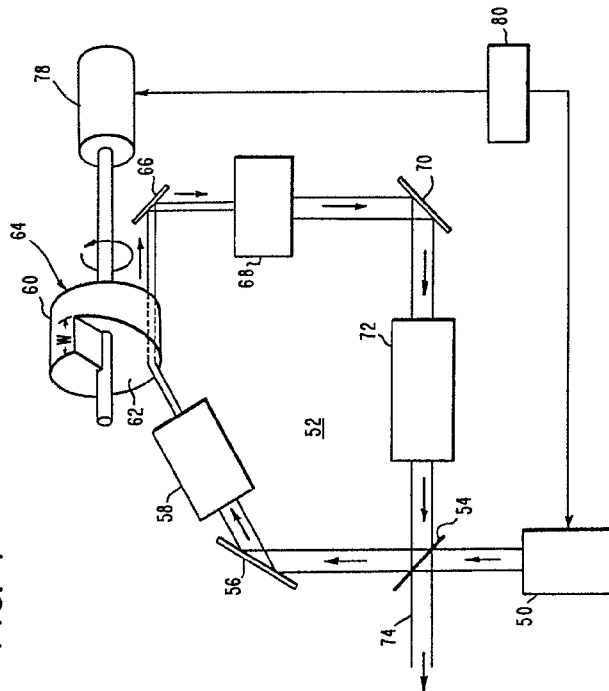


FIG. 3

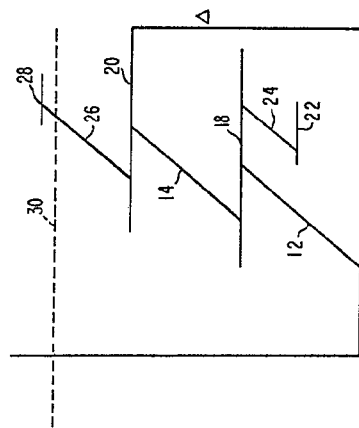


FIG. 1

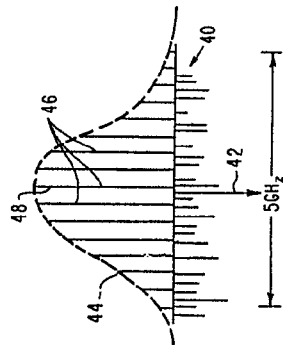


FIG. 2

ESCALA VARIABLE
 MADRID, 22 DE AGOSTO DE 1979
 BERNARDO GONZALEZ
 P. P.

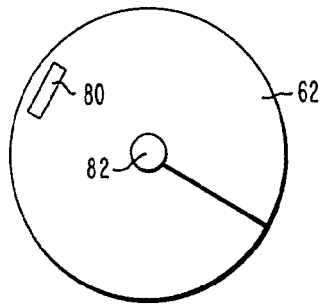
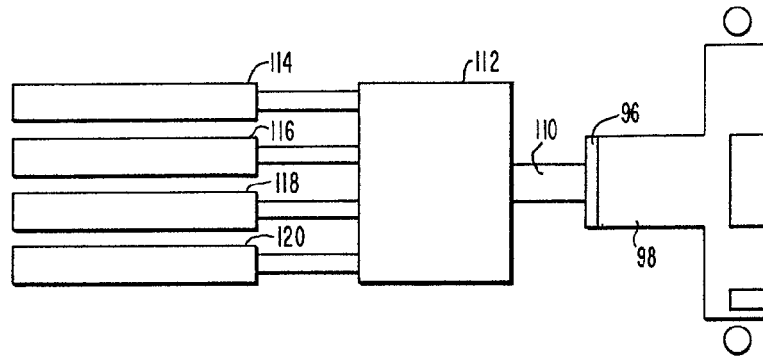


FIG. 4



FIG

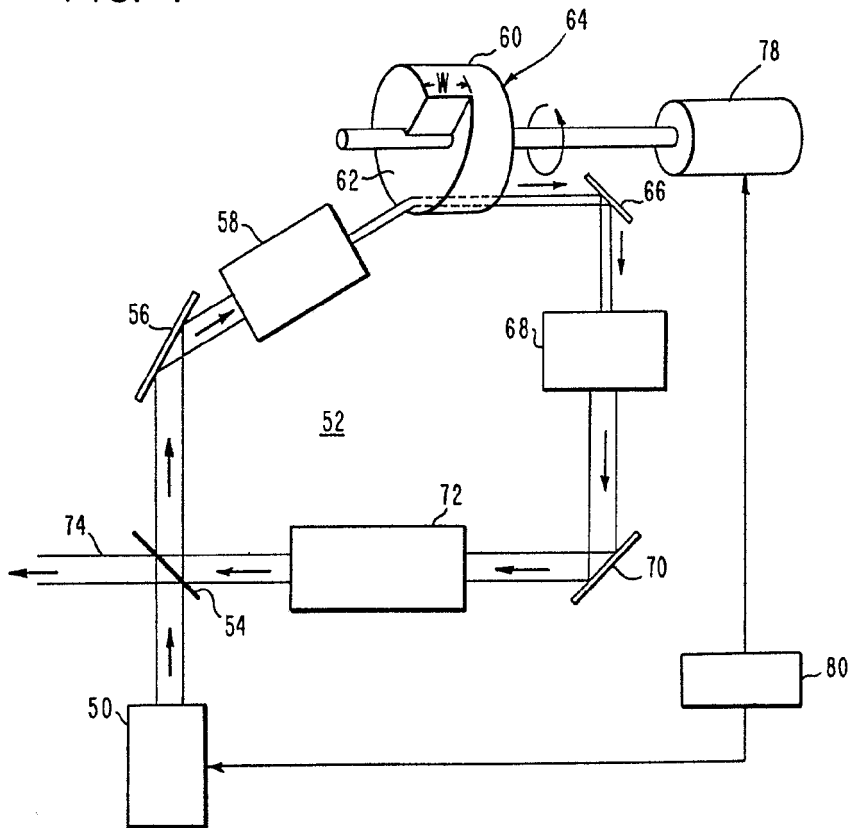


FIG. 3

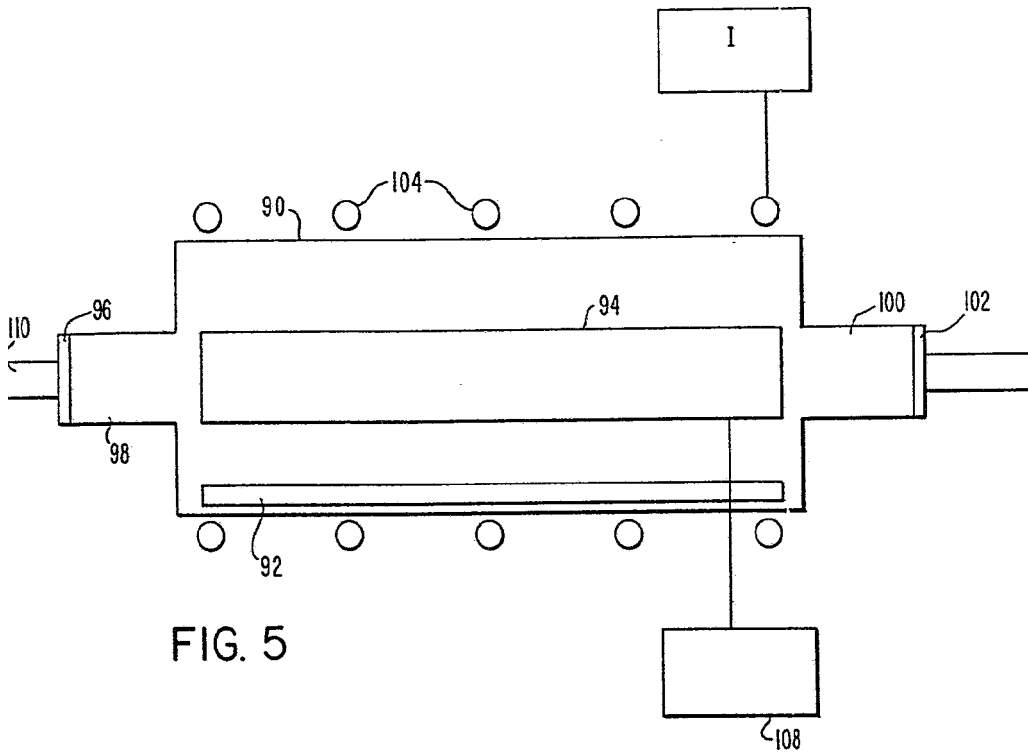


FIG. 5

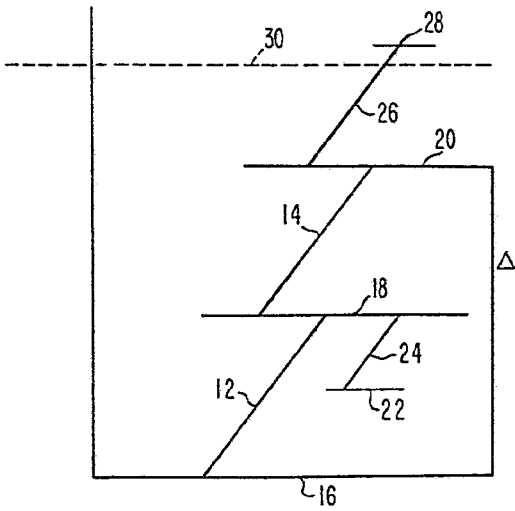


FIG. 1

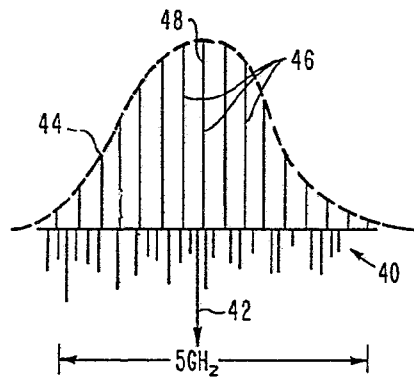


FIG. 2

ESCALA VARIABLE
MADRID, 22 DE Agosto DE 19 79
BERNARDO UNGRIG
P. P.