

MINISTERIO DE INDUSTRIA
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



ESPAÑA

10 ES	11	NÚMERO	10 A1
	21	437.213...	
	22	FECHA DE PRESENTACION	
		29-4-75	

PATENTE DE INVENCION

60 PRIORIDADES:	62 FECHA	63 PAIS
61 NÚMERO		
465.264	29-4-74	ESTADOS UNIDOS
483.077	25-6-74	ESTADOS UNIDOS

67 FECHA DE PUBLICIDAD	61 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	BOLD	

64 TITULO DE LA INVENCION
UN METODO Y SU CORRESPONDIENTE APARATO PARA CAMBIAR EL ESTADO DE ENERGIA DE UNAS PARTICULAS DE UN TIPO DE ISOTOPO EN UN AMBIENTE DE VARIOS TIPOS DE ISOTOPOS.

71 SOLICITANTE (S)
JERSEY NUCLEAR-AVCO ISOTOPES, INC.

DOMICILIO DEL SOLICITANTE
777 106th Avenue Northeast, BELLEVUE, Washington 98004, U.S.A.

72 INVENTOR (ES)
CHARLES T. PIKE; HORACE W. FURUMOTO; LAWRENCE A. LEVIN, todos de nacionalidad estadounidense.

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE
D. BERNARDO UNGRIA GOIBURU

POOR
QUALITY

EXTRACTO DE LA DESCRIPCION

1 Se describen un método y un aparato para realizar la
inversión adiabática isotópicamente selectiva, particularmen-
te para obtener un mejor rendimiento de separación de isóto-
5 pos. En un modo de realización preferido para llevar a la
práctica el invento, una radiación laser modulada por chirri-
do da lugar a la fotoionización de un material en estado de
vapor en unas fases de energía de excitación y de ionización
isotópicamente selectivas. Se aplica un barrido de frecuen-
10 cia de chirrido a la radiación laser de excitación a una fre-
cuencia controlada y en una gama de frecuencia que se limita
para impedir la pérdida de la selectividad de la excitación.
La radiación con barrido de frecuencias tiene teóricamente la
capacidad de producir un 100% de inversión de las partículas
15 en estado normal contenidas en el vapor. Además, las propieda-
dades del invento permiten obtener la excitación de un material
a estados de energía muy elevada útiles para producir radia-
ciones laser ultravioletas de alta frecuencia.

AMBITO DEL INVENTO

20 El invento se refiere a la fotoexcitación y en parti-
cular a un método y a un aparato para aumentar el grado de
fotoexcitación de un material.

ANTECEDENTES DEL INVENTO

25 Un haz de rayos laser adecuadamente sintonizado cons-
tituye una fuente práctica de fotones para producir la excita-
ción isotópicamente selectiva de los electrones orbitales en
un material en estado molecular o elemental, en particular en
un vapor de este material. En una aplicación particular de
esta técnica, según se describe más particularmente en la
30 patente de los Estados Unidos No. 3.772.519, que se incorpo-

1 ra aquí particularmente a título de referencia, se describe
un sistema para utilizar la energía radiante de los rayos
laser para producir la fotoionización selectiva de un isótopo
del uranio, en particular el uranio 235 , con relación a los
5 demás isótopos del uranio. A este efecto, se obtiene en primer
lugar el uranio bajo la forma de un vapor y a continuación las
partículas de U_{235} de este vapor se ionizan con radiaciones
laser. A continuación se aceleran de modo habitual a partir
del ambiente de vapor las partículas de U_{235} fotoionizadas para
10 recogerlas separadamente utilizando fuerzas magnetohidrodinámicas.

El análisis teórico de los factores que determinan
la fotoexcitación selectiva permite predecir que en presencia
de una radiación monocromática de frecuencia constante, el 50%
de los átomos iluminados disponibles en el vapor de uranio
15 estarán en estado fotoexcitado y el 50% en estado no excitado
típicamente normal en cualquier momento. Esta limitación teó-
rica tiene importancia para la programación de los procedimien-
tos de enriquecimiento a nivel de producción en razón de su
efecto sobre el rendimiento de la operación de enriquecimiento.

20 En otra aplicación de la técnica de fotoexcitación
utilizando energía radiante laser, se conectan corrientemente
en cascada una o varias etapas de amplificación laser a la
salida de un generador laser de baja potencia con el objeto
de aumentar la energía del laser hasta niveles más altos. El
25 estado de emisión laser de cada uno de los pasos amplificado-
res resulta típicamente de la presencia de una "inversión de
población" en la cual las partículas de un medio emisor laser
tienen sus electrones orbitales excitados a un nivel de ener-
gía predeterminado tal que se excita a este nivel de energía
30 particular un porcentaje de las partículas del medio superior

1 a la proporción de las partículas del medio que se encuentran
en un nivel de energía más bajo. Estas condiciones son teórica-
mente necesarias para el decaimiento simultáneo de las partícu-
las excitadas hasta el estado de energía situado más bajo, lo
5 cual a su vez da lugar a la producción de la energía radiante
laser. La potencia generada por el medio generador de radia-
ciones laser en estas circunstancias está directamente rela-
cionada con el número de partículas excitadas en el medio. Por
consiguiente, en un sistema generador de radiaciones laser de
10 dos niveles, las mismas consideraciones teóricas mencionadas
más arriba limitarán el número de las partículas excitadas al
50% de las partículas disponibles y por tanto limitará la po-
tencia generada por el laser, de manera correspondiente.

Además, en las aplicaciones en las cuales se desea foto-
15 excitar selectivamente unas partículas utilizando energía laser,
es posible que se produzca un ensanchamiento substancial de la frecuencia
en las líneas de absorción de partículas que se desea excitar selectivamen-
te, por ejemplo por efecto Zeeman de división de la energía en varios nive-
les, o "los niveles de energía". La presencia de esta división o la sepa-
20 ración del nivel de energía original en varios niveles que cu-
bre una gama de energías, puede tener además tendencia a redu-
cir el rendimiento de la excitación, en particular cuando se
utiliza una radiación laser de banda muy estrecha, como en el
caso de la fotoexcitación selectiva, haciendo que la radiación
25 laser cubra una gama de frecuencias más estrecha que la anchura
de la línea de absorción de las partículas que se fotoexcitan.

RESUMEN DEL INVENTO.

De acuerdo con un modo de realización preferido del
invento, las condiciones de inversión de población adiabática
30 se obtienen en unas partículas de un tipo de isótopo elegido.

1. para mejorar el rendimiento de la separación de isótopos. La tecnología del invento puede aplicarse también para crear una inversión adiabática con el objeto de mejorar el rendimiento laser para excitar un medio generador de radiaciones laser.

5 . La inversión adiabática se consigue de acuerdo con el invento haciendo variar la frecuencia de la radiación de fotoexcitación laser en una gama de frecuencias a un ritmo controlado. La gama, en el caso particular de la excitación isotópicamente selectiva, se elige de modo que no rebasa los desplazamientos isotópicos del material irradiado. La frecuencia de barrido se elige de modo que satisfaga limitaciones específicas relacionadas con los tiempos de vida en estado excitado y la intensidad de las radiaciones laser.

10

15 En su aplicación al enriquecimiento del uranio, la inversión adiabática isotópicamente selectiva despobla los niveles de energía normal del isótopo de uranio deseado en favor de un nivel de energía elevado o excitado a partir del cual una ulterior radiación laser produce la fotoionización en uno o varios pasos de energía. Mediante la despoblación del nivel normal,

20 se consigue un mayor rendimiento de partículas ionizadas. A continuación, los iones de uranio selectivamente fotoionizados pueden ser separados utilizando las fuerzas de aceleración magnetohidrodinámicas generalmente descritas en la patente de los Estados Unidos No. 3.772.519 mencionada más arriba.

25 En otra aplicación a la amplificación laser, el incremento de la población del estado excitado que se obtiene mediante la inversión adiabática da lugar a un incremento de la densidad fotónica general en un amplificador laser. La despoblación de los niveles normales permite también la realización

30 práctica de un laser de alta energía fotónica ultravioleta por

1. excitación mediante pasos de energía suplementarios hasta un nivel de excitación a partir del cual cada transición al nivel normal produce un fotón ultravioleta.

BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

5 Estas características del invento así como otras se entenderán más claramente leyendo la descripción detallada que sigue de un modo de realización preferido, conjuntamente con los dibujos que la acompañan y en los cuales:

10 La figura 1 es un diagrama de niveles de energía útil para explicar la teoría del invento.

La figura 2 es un diagrama básico del sistema para llevar a la práctica el invento.

La figura 3 es un diagrama del sistema de una aplicación particular del invento al enriquecimiento de isótopos.

15 La figura 4 es una vista en sección interna de una parte del aparato de la figura 3.

La figura 5 es un diagrama de un sistema laser destinado a ser utilizado para llevar a la práctica el invento.

20 La figura 6 es un diagrama de formas de onda útil para explicar el funcionamiento del sistema de la figura 5; y

La figura 7 es una variante de diagrama de un sistema laser para llevar a la práctica el invento.

DESCRIPCION DETALLADA DEL MODO DE REALIZACION PREFERIDO

25 El invento se refiere a un sistema de fotoexcitación para crear una inversión adiabática en los estados de energía de las partículas de un medio. El sistema para producir la inversión adiabática permite una excitación teórica al 100% de todas las partículas del medio iluminadas a partir de un nivel de energía normal o nivel bajo hasta un nivel de energía
30 alto o nivel de excitación. Esta inversión adiabática permite

1 una productividad más elevada en la separación de los isótopos, en parti-
cular para el enriquecimiento del uranio, y permite una amplifica-
ción más elevada en los amplificadores laser, y contribuye
igualmente a permitir la realización de laser de alta energía
5 en particular del tipo de radiaciones ultravioletas.

La inversión adiabática se consigue mediante el barrido
o "chirrido" de la frecuencia de un laser de excitación por
medio de una línea de absorción de un tipo de isótopo en un
medio o ambiente al cual se aplica la radiación laser. El an-
cho y el ritmo del barrido de frecuencia o chirrido para conse-
10 guir la inversión adiabática están definidos por las caracte-
rísticas de la frecuencia laser de excitación que corresponde
a una transición específica en el isótopo que se excita, así
como la gama de cualquier división o ensanchamiento significa-
15 tivo de los niveles degenerados en estado normal y excitado.
La gama de frecuencias de barrido se elige de modo que cubra
la línea de absorción ensanchada de los niveles degenerados
de división. Estas consideraciones teóricas se explicarán más
claramente haciendo referencia a la figura 1 que ilustra un
20 diagrama de niveles de energía que se dan a título de ejemplo
y de transiciones entre los niveles que ilustran la excitación
selectiva sin y con las enseñanzas del invento.

Haciendo referencia a la figura 1, se ilustra en ésta
un conjunto de fases de transición o de energía que representan
25 la distribución teórica de las partículas atómicas en estado
de energía excitado y normal 14 y 16 de un medio irradiado con
una radiación laser sintonizada con la frecuencia de esta fase
de energía. En el caso de la fotoexcitación isotópicamente se-
lectiva, la radiación laser se sintoniza para producir una tran-
30 sición 18 desde el estado de energía normal 14 al nivel excita-

1. do 16. Una transición 20 desde el nivel de energía 24 al esta-
do normal 22 dará lugar a una variación de energía idéntica,
suponiendo que en este momento no hay degradación en los nive-
5 partículas a nivel normal del isótopo apropiado serán estimuladas
por la radiación laser a través de su línea de absorción y
serán excitadas al nivel de energía 16. Sin embargo, la misma
energía fotónica comprondrá eficazmente la emisión estimulada
que dará lugar a la transición opuesta 20 desde el nivel alto
10 16 al estado normal 14. Las probabilidades de que ocurran estos
dos acontecimientos serán iguales para las partículas ilumina-
das, dando lugar teóricamente a una población de 50% con el ni-
vel 16 y de 50% con el nivel 14. Por consiguiente, solamente el
50% de los átomos originales con estado normal estarán disponi-
15 bles con el nivel de energía 24 para la fotoionización del es-
pectro continuo 24 en una transición ulterior 22. Si se aplica
una radiación de fotoionización a partir de un segundo laser,
de manera típica, para producir una transición 22 simultánea-
mente con la radiación utilizada para la transición 18, el
20 nivel 18 será continuamente agotado por las transiciones en la
región de ionización 24, lo cual agotará eventualmente un mayor
porcentaje de los átomos con estado normal a partir del nivel
14.

Un sistema más directo y eficaz para conseguir un mayor
25 porcentaje de átomos en estado de excitación y por consiguiente
de átomos fotoionizados consiste en utilizar una transición 26
ilustrada en la figura 1 que produce una inversión adiabática
de los átomos con nivel normal al nivel de energía alto 24. Esta
inversión adiabática se consigue mediante chirrido o barrido
30 de la frecuencia de la radiación laser de excitación en una

1. gama que incluye la frecuencia de la transición 26, con un ritmo predeterminado. Si se satisfacen las condiciones teóricas que se describen más adelante, la variación de frecuencia de la radiación obliga a cada partícula a cambiar su estado de energía en lugar de obtener la probabilidad de distribución de estados de energía que se describen más arriba. Por tanto, si todos los átomos o substancialmente todos los átomos están inicialmente en el estado normal 14, la excitación de chirrido producirá un cambio casi completo al estado 16. Aquellas partículas que se encontraran inicialmente en el estado 16 pasarían por tanto al estado 14, pero se supone generalmente que representan una fracción despreciable o insignificante. Estando substancialmente todos los átomos excitados en el nivel 16, casi todos los átomos iluminados estarán por tanto en condiciones de ser fotoionizados a partir del nivel 16 hasta el espectro continuo 24.

En otra aplicación del invento, un amplificador laser podrá ser accionado más eficazmente con inversión adiabática. En este caso, puede crearse una inversión de población mediante la transición 26 al nivel de energía 16 a partir del cual una emisión espontánea de nuevo al nivel normal 14 da lugar a la generación de radiaciones laser. En otra aplicación más, la inversión adiabática del invento permite realizar lasers con energía fotónica más elevada de longitud de onda más corta permitiendo por ejemplo una transición 28 desde el nivel normal 14 hasta un nivel intermedio 30, lo cual despobla substancialmente el nivel normal 14 de tal manera que una transición suplementaria constituida por pasos de energía 32 y 34 a los niveles de energía respectivos 36 y 38, aunque de manera no adiabática, podrá crear una inversión de población entre los niveles 14 y 38. Es posible hacer que esta inversión de población con-

1. duzca a un paso de energía importante 40 a partir del nivel
de energía 38 hasta el nivel de energía 14 en una cavidad ade-
cuadamente sintonizada con el objeto de producir radiaciones
laser de energía fotónica muy elevada, que corresponde aproxi-
5 madamente a la región espectral ultravioleta.

Como consideración suplementaria, un primer grupo de
niveles de energía 12 y 14, que representan respectivamente nive-
les de energía bajos y un nivel de energía excitado, se ilustran en
la figura 1 bajo la forma de niveles degradados y que tienen una plu-
10 ralidad de niveles de energía discretos, que han sido exagerados
de manera importante para facilitar la ilustración. Esta de-
gradación puede ser debida a un cierto número de causas, en
particular a efectos Doppler producidos por movimientos térmicos
de las partículas en el medio o efecto de ensanchamiento Zeeman
15 en presencia de un campo magnético, en particular cuando se u-
tiliza en asociación con un sistema de enriquecimiento de ura-
nio que utiliza fuerzas magnetohidrodinámicas. Como resultado
del ensanchamiento de los niveles 42 y 44, se obtendrá un en-
sanchamiento de la línea de absorción para una transición par-
20 ticular 46 entre los niveles de energía 42 y 44 ya que puede
existir entre los niveles separados más de una transición per-
mitida de energías ligeramente diferentes. Por tanto, si se
utiliza una radiación laser con banda muy estrecha para la fo-
toexcitación selectiva de un tipo de isótopo particular entre
25 los niveles de energía 42 y 44, podrá ser demasiado estrecha
para incluir toda la línea de absorción ensanchada. Esto daría
lugar a una reducción del rendimiento de excitación para esta
radiación laser. Haciendo el barrido de la frecuencia de la
radiación laser de excitación aplicada, de acuerdo con el método
30 y el aparato del invento que se describe más adelante, se rea-

1 lizará la fotoexcitación generalmente en toda la línea de absorción ensanchada.

Con el objeto de establecer los parámetros específicos del invento, se da a continuación un análisis matemático para un sistema dotado de dos niveles de energía a y b, separados por una energía $\hbar\omega_0$. El sistema de estos niveles de energía se describe por medio de las funciones de onda ψ_a y ψ_b . La Hamiltoniana no perturbada del sistema está definida por H_0 , y con energías medidas a partir del punto situado a mitad de camino entre los dos niveles, en notación matricial, H_0 se representa por la siguiente expresión:

$$H_0 = \frac{1}{2} \hbar \omega_0 \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix}$$

en la cual \hbar es la constante de Plank y ω_0 la frecuencia angular que corresponde a la energía entre los niveles. Se supone que el sistema no tiene ningún momento dipolar eléctrico permanente sino que está dotado de un momento dipolar de transición que conecta los estados a y b. Eso quiere decir que $\mu = 0$, en que

$$20 \quad \mu = e \langle a | x | b \rangle = e \psi_a^* x \psi_b$$

Las fases de los estados pueden disponerse siempre para que μ sea real, y se supone que es el caso presente.

En un campo eléctrico estático, \mathcal{E} , interacción Hamiltoniana de la forma

$$25 \quad H_{int} = \mu \cdot E \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$$

mezcla los estados a y b. Las funciones de ondas de los estados estacionarios son en este caso combinaciones lineales de ψ_a y ψ_b , exactamente las que diagonalizan la Hamiltoniana completa, $H_0 + H_{int}$:

$$1 \quad \begin{vmatrix} \frac{1}{2} \hbar \omega_0 & \mathcal{U} \cdot E \\ \mathcal{U} \cdot E & -\frac{1}{2} \hbar \omega_0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix} = \hbar \Omega \begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix}$$

5 La solución de la ecuación secular para Ω es entonces

$$\Omega = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2} \omega_0\right)^2 + \gamma^2}$$

en la cual $\gamma = \frac{\mathcal{U} \cdot E}{\hbar}$. Definiendo el ángulo θ por

$$\tan \theta = \frac{\gamma}{\frac{1}{2} \omega_0}, \quad \gamma = \pm \Omega \sin \theta$$

$$\frac{1}{2} \omega_0 = \pm \Omega \cos \theta$$

10 existen dos soluciones para función de eigen:

$$\left. \begin{matrix} a = \cos \frac{\theta}{2} \\ b = \sin \frac{\theta}{2} \end{matrix} \right\} \text{ que corresponde a } \Omega = + \sqrt{\frac{1}{4} \omega_0^2 + \gamma^2}$$

$$15 \quad \left. \begin{matrix} a = -\sin \frac{\theta}{2} \\ b = \cos \frac{\theta}{2} \end{matrix} \right\} \text{ que corresponde a } \Omega = - \sqrt{\frac{1}{4} \omega_0^2 + \gamma^2}$$

En un campo eléctrico que se establece lentamente, si el átomo se forma inicialmente en estado normal, tenemos

$$20 \quad \begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix}_{\text{inicial}} = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

$$\text{y } \Omega_{\text{inicial}} = -\frac{1}{2} \omega_0$$

25 Esta solución es la que corresponde al signo menos delante de la raíz cuadrada, más arriba. El efecto de la formación del campo consiste en hacer "girar" ψ al estado final

$$\begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix}_{\text{final}} = \begin{vmatrix} -\sin \frac{\theta}{2} \\ \cos \frac{\theta}{2} \end{vmatrix}$$

$$30 \quad \text{y } \Omega_{\text{final}} = - \sqrt{\frac{1}{4} \omega_0^2 + \gamma^2}$$

1 Si el átomo ha sido iniciado en estado de excitación, la situa-
ción descrita por la solución de raíz cuadrada positiva ha sido
apropiada.

5 Ahora bien, en el caso de un átomo que reacciona con
un campo eléctrico óptico que oscila rápidamente, $E(t)$

$$\underline{E}(t) = \underline{\epsilon} e^{i\omega t}, \quad \gamma$$

10 el grado en que la función de ondas depende del tiempo viene
dado por

$$i\hbar \begin{vmatrix} \dot{a} \\ \dot{b} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{1}{2}\hbar\omega_0 & \underline{\epsilon} e^{i\omega t} \\ \underline{\epsilon}^* e^{-i\omega t} & -\frac{1}{2}\hbar\omega_0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \end{vmatrix} \quad (1)$$

15 Las soluciones de esta ecuación diferencial en forma matricial
es la siguiente:

$$\begin{aligned} -\hbar\omega_a A e^{i(\omega_a - \frac{1}{2}\omega_0)t} &= \underline{\epsilon} B e^{i(\omega_b - \frac{1}{2}\omega_0)t} \\ -\hbar\omega_b B e^{i(\omega_b - \frac{1}{2}\omega_0)t} &= \underline{\epsilon}^* A e^{i(\omega_a - \frac{1}{2}\omega_0)t} \end{aligned}$$

20

siendo A y B constantes que se determinarán.

Si $\omega_a - \omega_b$ se eligen de tal manera que $\omega - \omega_0 = \Delta\omega$, exis-
te la misma dependencia del tiempo en cada lado de esta ecuación
la cual puede escribirse entonces:

25

$$\begin{vmatrix} \omega_a & \gamma \\ \gamma^* & \omega_b \end{vmatrix} \begin{vmatrix} A \\ B \end{vmatrix} = 0$$

en la cual

$$\gamma = \frac{\underline{\epsilon} \underline{\epsilon}}{\hbar}$$

30

1. Naturalmente el determinante de la matriz debe ser eliminado, lo que permite obtener ω_a y ω_b :

$$\omega_a = \frac{1}{2} \Delta \omega + \lambda$$

$$\omega_b = -\frac{1}{2} \Delta \omega + \lambda$$

5

en la cual

$$\lambda = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2} \Delta \omega\right)^2 + \gamma^2}$$

Finalmente, a partir de la relación que antecede

$$10 \quad \frac{A}{B} = -\frac{\gamma}{\omega_a} = -\frac{\omega_b}{\gamma^*}$$

y

$$\tan \theta = \frac{|\gamma|}{\frac{1}{2} \Delta \omega}$$

se obtiene

$$15 \quad |\gamma| = \pm \lambda \sin \theta ; \quad \frac{1}{2} \Delta \omega = \pm \lambda \cos \theta$$

y como solución:

$$|A|^2 = \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$|B|^2 = \cos^2 \frac{\theta}{2}$$

lo que corresponde a $\lambda = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \Delta \omega\right)^2 + |\gamma|^2}$

20

$$|A|^2 = \cos^2 \frac{\theta}{2}$$

$$|B|^2 = \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

lo que corresponde a $\lambda = \sqrt{\left(\frac{1}{2} \Delta \omega\right)^2 + |\gamma|^2}$

25

Haciendo variar la frecuencia óptica ω desde un lado de la resonancia hasta el otro, si la variación es "suficientemente lenta", el sistema satisfará la ecuación (1) en cualquier momento dado, y podrá "seguir" el cambio de ω . Para $|\Delta \omega| \gg |\gamma|$, θ es casi nulo, y la solución consiste en hacer que el átomo sea inicialmente en estado normal, b. Cuando $|\Delta \omega|$ disminuye, θ se aproxima a $\pm 90^\circ$ (de acuerdo con el signo de $\Delta \omega$). Para

30

1. $\Delta\omega=0, \theta = \pm 90^\circ$ y $|A|^2 = |B|^2$. La probabilidad de encontrar el átomo en estado de excitación es entonces igual a la de encontrarlo en estado normal. Esta situación corresponde a la saturación con un impulso de radiación no modulado por chirrido. Cuando se hace variar la frecuencia en ω_0 , en la misma dirección que ω finito, θ varia continuamente hacia $\pm 180^\circ$. Cuando $|\Delta\omega|$ toma un valor muy importante en comparación con $|\gamma|$, θ se acerca a 180° y el átomo se invierte, es decir que, si $|A|$ inicial = 0; $|B|$ inicial = 1; entonces $|A|$ final = 1; $|B|$ final = 0. Esto se produce cualquiera que sea la dirección del chirrido de frecuencia con tal que la dirección del chirrido permanezca invariable durante toda la modulación por chirrido. Esto garantiza que $\Delta\omega$ sea una función monótonica que variará entre $-\infty$ y ∞ y θ variará entre 0° y 180° . Esta es una condición impuesta a la modulación por chirrido.

Queda ahora la cuestión de saber si una variación es "suficientemente lenta" para que las soluciones de estado constantes sean válidas, o, en otras palabras, para la creación de la inversión adiabática. El barrido de frecuencia puede ser considerado como adiabático, en el sentido definido más arriba, si el tiempo en el cual la frecuencia pasa desde $-\frac{|\gamma|}{2}$ hasta $+\frac{|\gamma|}{2}$, es superior a $\frac{2\pi}{|\gamma|}$, que es el tiempo máximo durante el cual el átomo realiza un ciclo completo, pasando del estado a al estado b y de nuevo al estado a. La "lentitud" del chirrido depende por tanto de la intensidad de la luz a la frecuencia óptica. Un chirrido que sería demasiado rápido para invertir un átomo a una intensidad puede muy bien hacerlo a una intensidad más elevada.

La teoría que antecede identifica los parámetros del sistema para la inversión adiabática en el contexto de la sepa-

1 ración isotópica o de la amplificación laser. El aparato que
puede ser utilizado a este efecto se representa con referencia
a las figuras 2-7. En general, según se ilustra en la figura 2,
el invento utilizará un sistema laser 48 y un medio 49 al cual
5 se aplica una radiación para inversión adiabática. La figura 3
ilustra un modo de realización de este aparato para enrique-
cimiento de isótopos, particularmente del isótopo U_{235} . Con re-
lación a la figura 3, unos primero y segundo sistemas laser
10 50 y 52 proporcionan unos respectivos haces de salida de radia-
ciones laser 54 y 56, que se combinan, por ejemplo en un espejo
dicroico 58, para ser aplicados a una cámara de separación de
isótopos 60 a través de una ventana 62 situada en un tubo 64.
En un modo de realización típico, el sistema laser 50 puede
15 incluir el laser de excitación cuya radiación de salida en el
haz 54 se utiliza y se sintoniza de manera correspondiente para
la fotoexcitación selectiva. El haz laser 56 procedente del
sistema laser 52 puede incluir una o varias frecuencias de
energía radiante laser para producir la fotoionización selec-
tiva a partir del estado excitado en uno o varios pasos de
20 energía. Los haces 54 y 56 se utilizan típicamente de manera
simultánea bajo la forma de impulsos con una duración de aproxi-
madamente un microsegundo o menos. Las frecuencias de repeti-
ción de los impulsos de hasta 50 KH_z son preferibles, pero
pueden utilizarse frecuencias mucho más bajas. El haz laser
25 combinado que se aplica a la cámara 60 la atraviesa en su sen-
tido longitudinal y sale por un tubo 66 y una ventana 68, tí-
picamente para ser aplicado a una o varias cámaras similares.
La ventana 62 y la ventana 68 pueden estar constituidas por
cuarzo óptico y los tubos 64 y 66 están dispuestos de tal ma-
30 nera que las ventanas 62 y 68 no estén sometidas a la atmósfera

1 de vapor que reina en la cámara 60 con el objeto de reducir
los depósitos en las ventanas. Es posible añadir obturadores
para aislar las ventanas salvo cuando se realiza la ilumina-
ción con radiación laser.

5 Un vapor de uranio se genera en la cámara 60 por medio
de una fuente de vapor 70 y este vapor es dirigido a través
del haz de radiación laser en un acelerador de iones 72. Una
bomba de vacío 74 mantiene una presión muy baja en el interior
de la cámara 60 para impedir que los componentes atmosféricos
10 perturben el proceso de fotoexcitación selectiva y de ioniza-
ción, e igualmente para realizar una acumulación separada de
las partículas ionizadas en el interior de la cámara 60.

Una pluralidad de bobinas de campo magnético 76 rodean
la cámara 60 en una posición aproximadamente coaxial respecto
15 al haz laser que se aplica. Las bobinas 76 crean un campo mag-
nético axial en el interior de la región del acelerador de
iones 72. Las bobinas 76 son excitadas a partir de una fuente
de corriente 78. Un campo eléctrico perpendicular se forma en
el acelerador de iones a partir de una fuente de tensión 80
20 con el objeto de generar fuerzas magnetohidrodinámicas de campo
cruzado para la aceleración de las partículas ionizadas sobre
las superficies de recogida separadas. La fuente de tensión 80
se controla para la aplicación periódica del campo eléctrico,
típicamente justo después de aplicar cada impulso laser de los
25 haces 54 y 56 por un programador de tiempo 82. El programador
de tiempo 82 se utiliza también para activar los sistemas laser
50 y 52 de modo que producen su energía de salida de manera
típicamente simultánea. Un ciclo de radiación laser y de ten-
sión aplicada ocupará típicamente un período de varios micro-
30 segundos.

1 Haciendo referencia ahora a la figura 4 se ve que esta
representa una vista en sección interna de una porción de la
cámara 60 de la figura 3. En particular, se representa la fuente
de vapor 70 como incluyendo un crisol 90 que contiene una masa
5 de uranio elemental 92 y que tiene una pluralidad de orificios
de refrigeración 94 que se alimentan por ejemplo con agua para
eliminar el calor aplicado al uranio 92 para producir la vaporización.
La vaporización es realizada mediante energía procedente
de un haz 96 de electrones que emanan de una fuente filamen-
tosa 98. El haz electrónico 96 es desviado por un campo magné-
10 tico 100 producido por las bobinas 76 hasta un foco situado a
lo largo de una línea o de una serie de puntos en la superficie
de la masa de uranio 92. La energía del haz incidente se elige
de modo que sea suficiente para producir la vaporización del
15 uranio a lo largo de la línea de incidencia bajo la forma de
un flujo 102 que se ensancha radialmente en el acelerador de
iones 72.

 Se representa el acelerador de iones 72 como incluyen-
do una pluralidad de cámaras 104 definidas por una placa de re-
20 cogida superior curva 106, generalmente concéntrica a la fuente
lineal de vapor, y que tiene una pluralidad de placas 108 que
se extienden radialmente hacia la fuente lineal de vapor. En el
interior de cada cámara 106, está situado un electrodo central
110. Cada electrodo 110 está conectado eléctricamente con los
25 demás y está unido a través de un interruptor 112 a un lado
de una fuente de tensión 114. El otro lado de la fuente de ten-
sión 114 está conectado con la estructura de placas 106 y 108.
La tensión entre las placas 110 y 108, proporcionada por la
fuente 114, conjuntamente con el campo magnético 100, sirve para
30 crear una aceleración magnetohidrodinámica de campo cruzado en

1 las partículas ionizadas contenidas en las cámaras 108. A este
efecto, la fuente de tensión 114 es típicamente del orden de
algunos cientos de voltios y el campo magnético 100 está in-
cluido típicamente en la gama de algunos cientos de Gauss. El
5 interruptor 102 es activado por el programador de tiempo 92
para asegurar el cierre del interruptor durante un corto periodo
de tiempo, típicamente del orden de uno o dos microsegundos,
directamente después de cada ráfaga de radiación laser en los
haces 54 y 56.

10 Las partículas de U_{235} en las cámaras 104 son ioniza-
das selectivamente mediante la irradiación de una región 118
en toda la longitud de la cámara 60, por los haces combinados
54 y 56. La forma particular de la región 118 puede ser obte-
nida mediante enmascaramiento adecuado del haz o reflexiones
15 múltiples a través de la cámara 60. Cuando se han producido
selectivamente los iones del isótopo U_{235} mediante fotoioni-
zación o de otro modo, el impulso de tensión aplicado entre
las placas 110 y 108 conjuntamente con el campo magnético 100
hace circular los electrones de plasma alrededor de los elec-
20 trodos 110 y acelera los iones para su acumulación en las pla-
cas 108. La aplicación repetida de la radiación laser y del
potencial eléctrico da lugar a la acumulación de uranio enri-
quecido en las placas 108 y al agotamiento del uranio en la
placa 106.

25 Haciendo referencia a la figura 5, se ve que ésta re-
presenta un sistema laser para generar la radiación laser de
barrido de frecuencia que se utiliza en el sistema de separa-
ción de las figuras 3 y 4, tal como por ejemplo el sistema
laser 50. Este incluye un medio generador de radiación laser de ondas
30 sostenidas 120 que es típicamente una solución de colorante.

1 El medio 120 se excita para que genere oscilaciones laser me-
diante radiaciones procedentes de otro laser de Argon 122. El
medio 120 tiene una cavidad definida por el espejo 24 y un espe-
jo de salida parcialmente reflector 126. La cavidad puede con-
5 tener unos filtros 128 u otros medios de selección de modo o
de control de frecuencia necesarios para seleccionar una estre-
cha banda en la línea de absorción del isótopo U_{235} pero no del
isótopo U_{238} . Además, un cristal 130 que puede ser un elemento
electro-óptico está situado en el trayecto del haz laser pro-
cedente del medio 120 dentro de la cavidad. El cristal 130 se
10 modula eléctricamente por un amplificador de potencia 132 a
partir de un oscilador 134 que puede ser un oscilador sinusoidal
en el modo de realización de la figura 5. La modulación produ-
ce una variación en el índice de refracción del cristal 130
15 de acuerdo con la tensión aplicada. Los cristales que pueden
ser empleados incluyen el tantalato de litio y el fosfato de
potasio dideuterio. Es importante que en cada momento esté
presente un solo modo de frecuencia:

La señal procedente del amplificador de potencia 132
20 controla las propiedades ópticas del cristal 130 para variar
la frecuencia de resonancia de la cavidad entre los espejos
124 y 126 de acuerdo con la salida sinusoidal del oscilador
134. Este efecto se ilustra en la curva 136 de la figura 6.
El haz de salida procedente del espejo 126 se aplica a un
25 medio amplificador 138 el cual a su vez es bombeado para gene-
rar oscilaciones laser por un excitador 140 que puede incluir
típicamente una lámpara de destello. El excitador 140 es contro-
lado por un detector de tensión 142 que recibe la salida del
oscilador sinusoidal 134, y detecta los puntos elegidos tales
30 como los puntos 144 y 146, por ejemplo, en la porción descen-

1 dente de la onda sinusoidal 136. El detector de tensión 142
activa el excitador 140 para iniciar el bombeo del medio 138
en el punto 144 y controla el excitador 140 para asegurar la
finalización de la energía de salida procedente del medio 138
5 en el punto 146. El control resultante del amplificador hace
que la salida amplificada del medio 138 existe solamente duran-
te el intervalo entre los puntos 144 y 146, lo que corresponde
esencialmente a un barrido casi lineal de la frecuencia de sa-
lida. El detector 142 proporciona también una señal al programa-
dor de tiempo 82 para identificar el final de la radiación laser
10 e iniciar la activación del interruptor 112 inmediatamente o
con un retardo de una fracción de microsegundo.

Haciendo referencia a la figura 7, se representa otro
modo de realización de un sistema laser para proporcionar una
15 salida barrida. Un laser de colorante con ondas sostenidas 150
que tiene un solo modo axial se excita a partir de un laser
de Argon 152 para que genere radiaciones laser en una cavidad
definida por el espejo 154 y el espejo de salida parcialmente
reflectante 156. Un cristal 158, similar al cristal 130, está
20 dispuesto fuera de la cavidad en el trayecto del haz y está
controlado por un amplificador de potencia 160 el cual a su
vez recibe la salida de un generador de forma de ondas. El gene-
rador de forma de ondas incluye un amplificador diferencial
162 que recibe en su entrada inversora la señal presente en
25 la unión entre las primera y segunda resistencias 164 y 166
que forman un divisor de tensión entre masa y la salida del
amplificador 162. Otra resistencia 168 conduce desde la salida
del amplificador 162 al lado más alto del condensador conecta-
do a masa 170 el cual a su vez está conectado a la entrada del
30 amplificador 160. Una resistencia de realimentación 172 conec-

1 ta la entrada al amplificador de potencia 160 con la entrada
no inversora del amplificador 162. Un interruptor 172 conecta
selectivamente la entrada del amplificador de potencia 160 con
un potencial predeterminado 173 bajo el control del progra -
5 mador de tiempo 82. El interruptor 172 se controla para desco-
nectar este potencial de la entrada del amplificador 16 sola-
mente durante el intervalo de tiempo en el cual se desea ob-
tener la salida del laser de excitación. La configuración del
generador de formas de onda asegura una tensión de salida que
10 es una función cuadrática del tiempo la cual cuando se aplica
para hacer variar en el tiempo la longitud del trayecto óptico
a través del cristal 158 para modular en frecuencia la radiación
crea una variación de tiempo lineal en la frecuencia de la
radiación. La salida del espejo 156 se aplica a través de un
15 sistema amplificador laser 174 el cual, a su vez, produce la
radiación de salida laser modulada por chirrido.

El sistema laser 52 no estará sometido a barrido de fre-
cuencia a no ser que se incluyan en él unos lasers de excitación
Por tanto, no se necesita proporcionar para este laser un cris-
20 tal electro-óptico. La frecuencia de radiación del laser 50
estará centrada en una línea de absorción del U_{235} en el caso
de enriquecimiento de uranio U_{235} , para una transición a un
nivel de energía más alto. Cuando el sistema laser 52 propor-
ciona una frecuencia única, producirá típicamente una cantidad
25 de energía fotónica suficiente para realizar la ionización a
partir del estado de energía elevado creado por el sistema
laser 50. Las líneas de absorción específicas para la excita-
ción del U_{235} son numerosas y pueden encontrarse en la litera-
tura especializada. Los lasers 50 y 52 pueden incluir un sistema laser
30 Dial-A-Line del Avco Everett Research Laboratory, preferiblemente

1. con uno o varios pasos de amplificación. Cuando se utiliza un laser Dial-A-Line, el sistema laser 50 incluirá el aparato de modulación de frecuencia descrito más arriba con referencia a las figuras 5 y 7, además del Dial-A-Line.

5 En lo que sigue se dan dos ejemplos particulares de las características de radiación laser de acuerdo con la teoría que antecede, que producen una inversión adiabática del U_{235} en estado normal, en tres pasos de energía (E_1 , E_2 y E_3) hasta un nivel por debajo del nivel de ionización. En ambos casos, el vapor de uranio producido de acuerdo con sistemas descritos
10 más arriba, se ilumina con tres longitudes de onda laser sintonizadas para producir tres inversiones adiabáticas isotopicamente selectivas hasta un nivel de excitación final por debajo del nivel de ionización. Las líneas de absorción específicas pueden elegirse a partir de observaciones espectrográficas o de acuerdo
15 con las tablas publicadas para la fase inicial. La gama de frecuencias de la radiación de barrido para cada longitud de ondas es aproximadamente de 3 GHz , o aproximadamente el doble del ensanchamiento de la línea de absorción del U_{235} debido al efecto Doppler y al efecto Zeeman inducido por campo magnético. Las secciones transversales de excitación calculadas para los dos primeros pasos de energía son aproximadamente de $5 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$. En el primer caso, la densidad de energía total para los lasers de los dos primeros dos pasos se elige en uno milijulio- cm^{-2}
20 por impulso y 4 milijulio- cm^{-2} por impulso del laser del tercer paso. En estas circunstancias, el 98% de los átomos disponibles son fotoexcitados e invertidos, en cada uno de los dos primeros pasos, y el 81% en el tercer paso produciendo una excitación total del 79% al tercer nivel. En el segundo caso, las densidades de energía se elevan hasta 1,3 milijulio- cm^{-2} en los pri-
30

1 meros dos lasers y $10 \text{ milijulio-cm}^{-2}$ en los impulsos del tercer
laser. El porcentaje de excitación en los dos primeros pasos
de energía es esencialmente del 100% y del 98% en el tercer
5 paso para un rendimiento total de excitación del 98%. La ioni-
zación a partir del tercer nivel puede ser obtenida por la ra-
diación de un laser suplementario.

Los cálculos que se dan más arriba suponen que se pro-
duce una pérdida de energía lineal en la intensidad del haz
de radiaciones laser durante su paso a través del vapor de ura-
nio y además especifican las densidades de energía laser en
10 función de la energía que permanece en el haz laser después
de atravesar el vapor de uranio. Finalmente, las perturbaciones
del barrido de frecuencia producidas por el vapor de uranio
han sido ignoradas, condición que puede ser verificada si se
15 hace que el trayecto de las radiaciones a través del vapor sea
suficientemente corto.

Después de describir más arriba un modo de realización
preferido del invento, los peritos en la materia podrán ver
que es posible idear variantes y modificaciones sin salirse del
20 espíritu del invento. Por tanto, el alcance del invento está
limitado solamente por las reivindicaciones que siguen:

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

25

30

REIVINDICACIONES

1

1. Método y su correspondiente aparato para cambiar el estado de energía de unas partículas de un tipo de isótopo en un ambiente de varios tipos de isótopos, incluyendo dicho aparato:

5

un dispositivo para generar energía radiante con una banda suficientemente estrecha para ser absorbida por un tipo de isótopo de dichas partículas en dicho ambiente sin la absorción correspondiente por otras partículas de dicho ambiente; y

10

un dispositivo para hacer variar la frecuencia de dicha energía radiante en una gama de frecuencias que incluye una línea de absorción de dicho tipo de isótopo con el objeto de proporcionar el cambio de estado de energía selectivo en las partículas de éste tipo de isótopo sin el cambio de estado de energía correspondiente en otras partículas de dicho ambiente;

15

estando la variación de frecuencia de dicha energía radiante definida para producir un cambio en el estado de energía de las partículas de dicho primer tipo de isótopo.

20

2. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho cambio de estado de energía incluye un cambio desde un nivel de energía más bajo hasta un nivel de energía más alto.

25

3. Aparato según la reivindicación 2, caracterizado porque la energía radiante de barrido de frecuencias sirve para producir una inversión adiabática en los estados de energía.

30

4. Aparato según la reivindicación 2, caracterizado además porque incluye unos medios para fotoionizar las

1 partículas del primer tipo de isótopo cuya energía ha sido
cambiada a dicho nivel superior.

5 5. Aparato según la reivindicación 4, caracteriza-
do además porque incluye un dispositivo para separar las
partículas fotoionizadas de dicho ambiente para su recogi-
da separada.

10 6. Aparato según la reivindicación 5, caracteriza-
do porque dicho dispositivo de separación incluye unos me-
dios para aplicar unas fuerzas magnetohidrodinámicas de
campo cruzado a las partículas fotoionizadas de dicho
ambiente.

7. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado
porque dicho dispositivo generador incluye unos medios pa-
ra generar energía radiante laser.

15 8. Aparato según la reivindicación 1, caracteriza-
do porque dicho primer tipo de isótopo está constituido
por un isótopo de uranio.

20 9. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado
además porque incluye unos medios para generar dicho ambien-
te de partículas en forma de circulación de vapor.

10. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado
porque dicho dispositivo para hacer variar la frecuencia
de dicha energía radiante incluye:

25 un elemento situado en el trayecto de dicha energía
radiante y que tiene un índice de refracción variable en
respuesta a una señal; y

unos medios para aplicar una señal a dicho elemento
con una variación en ese aspecto que sirve para variar la
frecuencia de dicha energía radiante.

30 11. Aparato según la reivindicación 10, caracteriza-

1

do porque:

dicho dispositivo para generar energía radiante incluye por lo menos una fuente de radiación laser que tiene una cavidad resonante; y

5

dicho elemento es un cristal electro-óptico situado en el interior de dicha cavidad.

10

12. Aparato según la reivindicación 11, caracterizado porque dicho dispositivo para generar dicha señal sirve para proporcionar una señal que tiene una porción generalmente lineal que se aplica a dicho cristal electro-óptico.

15

13. Aparato según la reivindicación 10, caracterizado porque:

dicho dispositivo para generar energía radiante incluye un dispositivo para generar radiación laser y que está dotado de una cavidad resonante; y

dicho elemento incluye un cristal electro-óptico situado fuera de dicha cavidad.

20

14. Aparato según la reivindicación 13, caracterizado porque dicho dispositivo para generar dicha señal que se aplica a dicho elemento incluye unos medios para generar una señal que tiene una porción que varía cuadráticamente con el tiempo con el objeto de producir una variación de frecuencia generalmente lineal en función del tiempo en la radiación que atraviesa dicho cristal electro-óptico durante la porción de dicha señal que varía cuadráticamente.

25

30

15. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque la gama de frecuencias del barrido de frecuencia de dicha energía radiante incluye aproximadamente la

1 frecuencia de tres GHz y porque la densidad de energía
radiante de la energía radiante que sale de dicho ambien-
te es igual por lo menos aproximadamente a un milijulio.

5 16. Aparato según la reivindicación 1, caracteri-
zado porque:

dicho dispositivo para generar energía radiante
incluye unos medios para generar impulsos de dicha ener-
gía radiante; y

10 la gama de barrido de la frecuencia de dicha ener-
gía radiante está relacionada con la intensidad de la ener-
gía radiante con el objeto de producir una densidad de
energía predeterminada en cada impulso de dicha energía
radiante.

15 17. Aparato según la reivindicación 1, caracteri-
zado porque:

la línea de absorción del primer tipo de isótopo
tiene un ancho superior al ancho de banda de dicha ener-
gía radiante; y

20 la gama de frecuencia de dicha energía radiante
barrida es generalmente por lo menos tan ancha como por-
ciones sustanciales de dicha línea de absorción.

25 18. Método para cambiar el estado de energía de par-
tículas de un tipo de isótopo en un ambiente de partículas
de varios tipos de isótopos según la reivindicación 1, in-
cluyendo dicho método las fases que consisten en:

30 generar energía radiante con un ancho de banda su-
ficientemente estrecho para que sea absorbida por dicho
primer tipo de isótopo de dichas partículas en dicho am-
biente sin que se produzca la absorción correspondiente
por otros tipos de isótopos de las partículas de dicho

1 ambiente; y

hacer variar la frecuencia de dicha energía radiante en una gama de frecuencias que incluye una línea de absorción de dicho primer tipo de isótopo con el objeto de obtener un cambio de estado de energía selectivo en las partículas de dicho primer tipo de isótopo sin que se produzca un cambio de estado de energía correspondiente en las otras partículas de dicho ambiente;

5
estando la frecuencia de barrido de dicha energía radiante definida para producir un cambio en el estado de energía de las partículas de dicho primer tipo de isótopo.

10 19. Método según la reivindicación 18, caracterizado porque dicho cambio de estado de energía incluye un cambio desde un nivel de energía bajo hasta un nivel de energía más alto.

15 20. Método según la reivindicación 19, caracterizado porque la energía radiante barrida en frecuencia sirve para producir una inversión adiabática de los estados de energía.

20 21. Método según la reivindicación 18, caracterizado porque incluye además la fase que consiste en fotoionizar las partículas de un primer tipo de isótopo cuya energía ha sido cambiada a dicho nivel más alto.

25 22. Método según la reivindicación 21, caracterizado además porque incluye la fase que consiste en separar las partículas fotoionizadas de dicho ambiente para su recogida separada.

30 23. Método según la reivindicación 22, caracterizado porque dicha fase de separación incluye la fase que consiste en aplicar fuerzas magnetohidrodinámicas de campo cruzado a las partículas fotoionizadas de dicho ambiente.

1 24. Método según la reivindicación 18, caracteriza-
do porque dicha fase de generación incluye la fase que con-
siste en generar energía radiante laser.

5 25. Método según la reivindicación 18, caracteriza-
do porque dicho primer tipo de isótopo incluye un isótopo
de uranio.

10 26. Método según la reivindicación 18, caracteriza-
do además porque incluye la fase que consiste en generar
una circulación de vapor para constituir dicho ambiente de
partículas.

27. Método según la reivindicación 18, caracteriza-
do porque dicha fase de variación de la frecuencia de dicha
energía radiante incluye la fase que consiste en:

15 aplicar una señal variable en función del tiempo a
un elemento situado en el trayecto de la energía radiante;
y

 teniendo dicho elemento situado en el trayecto de
energía radiante un índice de refracción variable en res-
puesta a una señal.

20 28. Método según la reivindicación 27, caracteriza-
do porque:

 dicha fase de generación de energía radiante inclu-
ye la fase que consiste en generar la radiación laser en
el interior de una cavidad resonante para la radiación
25 laser;

 siendo dicho elemento un cristal electro-óptico situa-
do en el interior de dicha cavidad.

30 29. Método según la reivindicación 28, caracteriza-
do porque dicha fase de generación de dicha señal variable
en función del tiempo proporciona una señal que tiene una

1 porción generalmente lineal que se aplica a dicho cristal
electro-óptico.

5 30. Método según la reivindicación 29, caracteriza-
do porque dicha fase de generación de energía radiante inclu-
ye la generación de radiación laser en el interior de una
cavidad: y

 dicho elemento incluye un cristal electro-óptico si-
tuado fuera de dicha cavidad.

10 31. Método según la reivindicación 30, caracteriza-
do porque dicha fase de generación de dicha señal para su
aplicación a dicho elemento incluye la generación de una
señal que tiene una porción que varía cuadráticamente con
el tiempo con el objeto de producir una variación generalmen-
te lineal de la frecuencia en función del tiempo en la ra-
15 diación que atraviesa dicho cristal electro-óptico durante
la porción de dicha señal que varía cuadráticamente.

20 32. Método según la reivindicación 18, caracteriza-
do porque la gama de frecuencias del barrido de frecuencia
de dicha energía radiante incluye aproximadamente la fre-
cuencia de 3 GHz y la densidad de energía radiante de la
energía radiante que sale de dicho ambiente es igual por
lo menos a un milijulio aproximadamente.

25 33. Método según la reivindicación 18, caracteriza-
do porque dicha fase de generación de energía radiante in-
cluye la generación de impulsos de dicha energía radiante; y

 la gama de barrido de la frecuencia de dicha energía
radiante está relacionada con la intensidad de la energía
radiante para producir una densidad de energía predetermi-
nada en cada impulso de dicha energía radiante.

30 34. Método según la reivindicación 18, caracteriza-

1 do porque:

la línea de absorción del primer tipo de isótopo es más ancha que la anchura de banda de dicha energía radiante; y

5 la gama de frecuencias de dicha energía radiante barrida es generalmente por lo menos tan ancha como porciones sustanciales de dicha línea de absorción.

35. Aparato para cambiar el estado de energía de partículas según la reivindicación 1, caracterizado además porque incluye:

10 un dispositivo para generar un ambiente de partículas de dicho tipo de isótopo que puede ser penetrado por dicha energía radiante;

15 un dispositivo para generar impulsos de radiación laser;

un dispositivo para controlar dicha radiación laser con el objeto de excitarla de manera isotópicamente selectiva y que incluye:

20 unos medios para definir un ancho de banda de radiación suficientemente estrecha para incluir una línea de absorción de dicho primer tipo de isótopos sin incluir de manera correspondiente una línea de absorción de otros tipos de isótopos en dicho ambiente;

25 un elemento electro-óptico en el trayecto de dicha radiación laser y que tiene un índice de refracción variable en respuesta a una señal eléctrica;

30 unos medios para generar una señal eléctrica que varía en función del tiempo para su aplicación a dicho elemento electro-óptico con el objeto de producir una variación en la frecuencia de cada impulso de dicha energía

1

radiante laser en función del tiempo;

5

sirviendo la variación de dicha señal eléctrica para cambiar la frecuencia de dicha radiación laser a través de la línea de absorción de dicho primer tipo de isótopo sin incluir sustancialmente la línea de absorción de los otros tipos de isótopos;

10

produciendo la gama de variación de dicha señal eléctrica un barrido de frecuencia de cada impulso de dicha energía radiante que está relacionado con la intensidad de cada impulso de dicha energía radiante en dicho ambiente para crear una densidad de energía predeterminada para cada impulso de radiación laser en dicho ambiente;

15

sirviendo dicha intensidad de energía predeterminada para cambiar los estados de energía de las partículas de dicho primer tipo de isótopo.

20

36. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho dispositivo para generar energía radiante incluye unos medios para generar energía radiante laser de una sola frecuencia.

25

37. Aparato según la reivindicación 1, caracterizado porque dicho dispositivo para generar energía radiante incluye unos medios para generar energía radiante laser con un solo modo axial.

38. Se reivindica por último como objeto sobre el que ha de recaer la Patente de Invención que se solicita: METODO Y SU CORRESPONDIENTE APARATO PARA CAMBIAR EL ESTADO DE ENERGIA DE UNAS PARTICULAS DE UN TIPO DE ISOTOPO EN UN AMBIENTE DE VARIOS TIPOS DE ISOTOPOS.

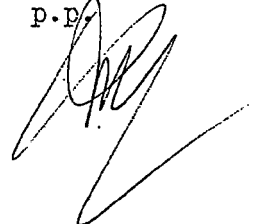
30

1

Todo conforme queda^o descrito y reivindicado en la presente memoria descriptiva que consta de treinta y cuatro páginas mecanografiadas y dibujos que se acompañan.

5

Madrid 29 de abril de 1975
BERNARDO UNGRIA
P.D.



10

15

20

25

30

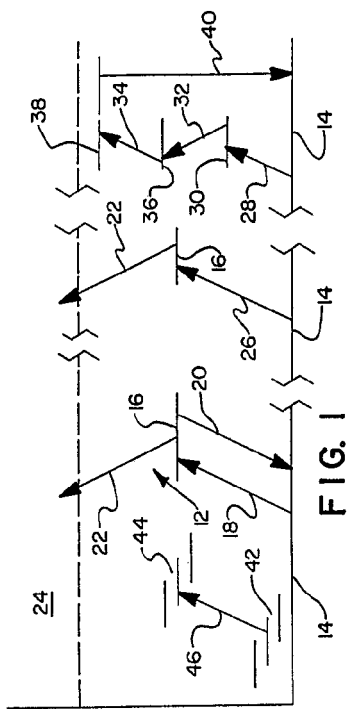


FIG. 1

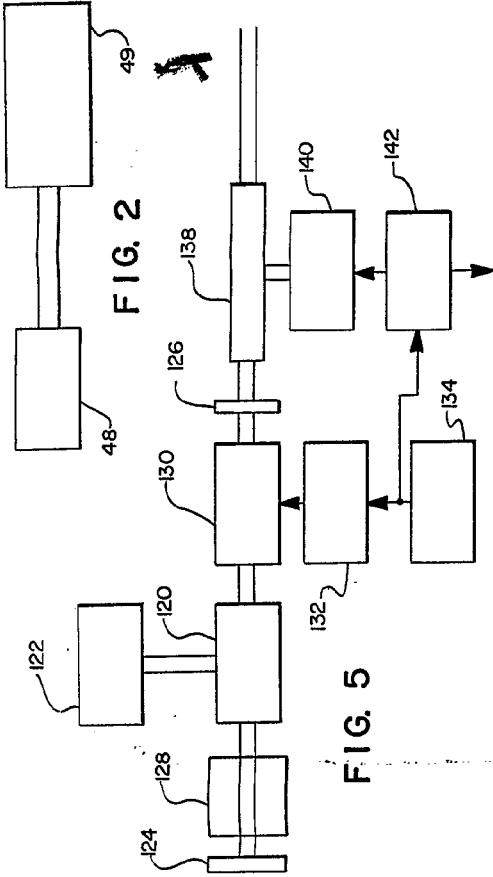


FIG. 2

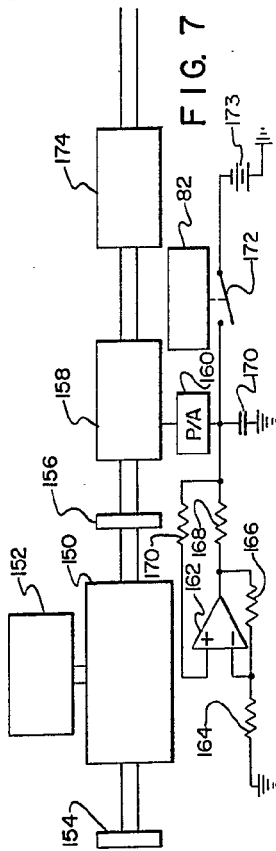


FIG. 3

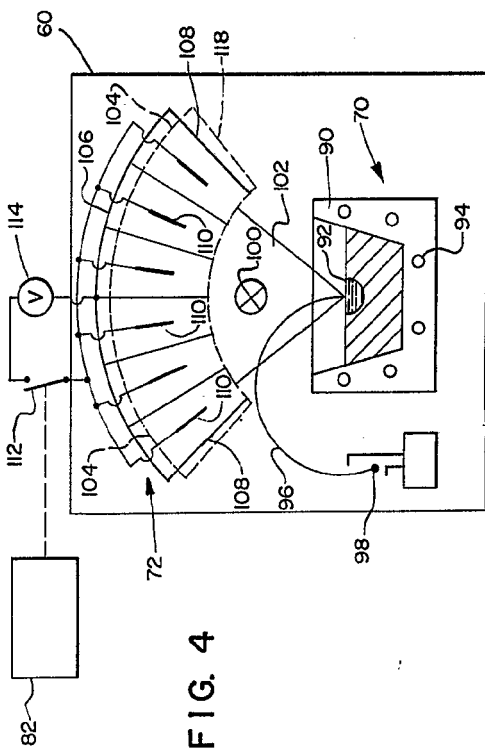


FIG. 4

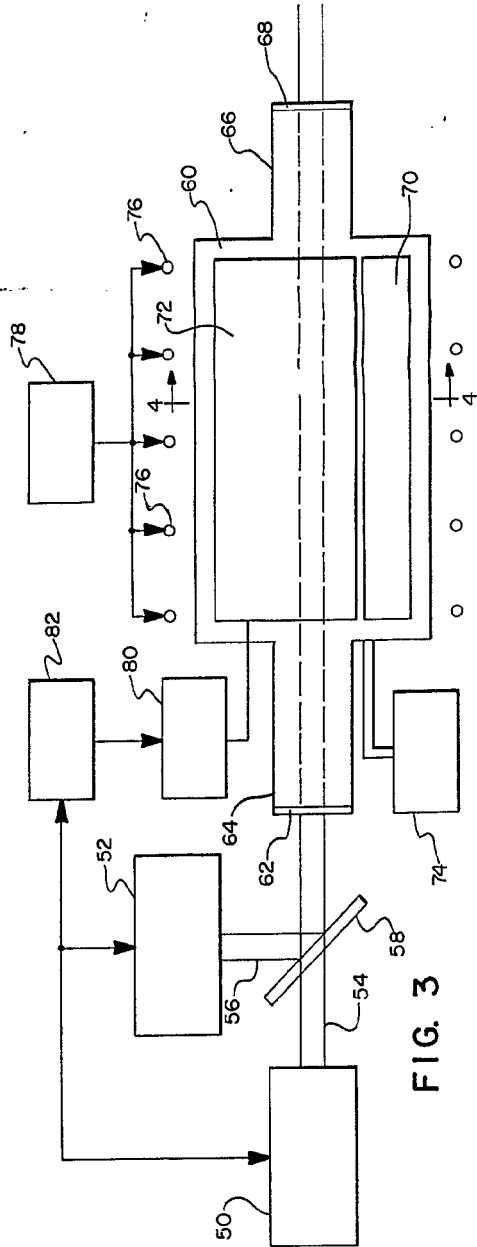


FIG. 5

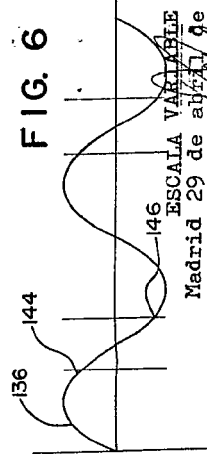
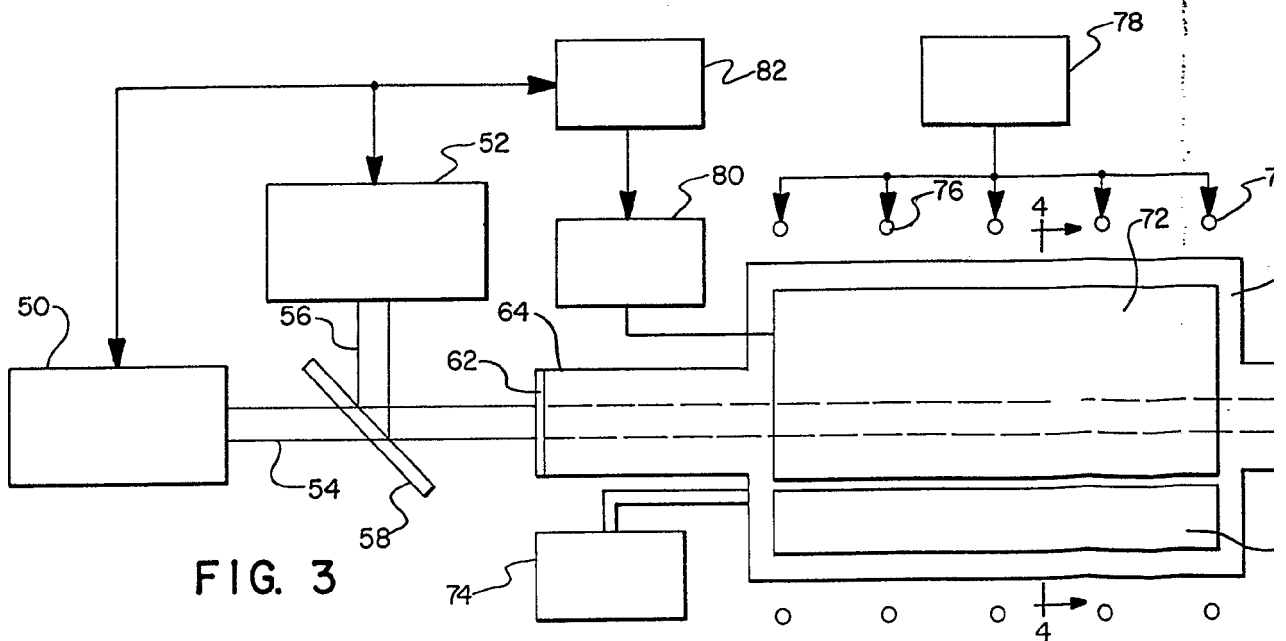
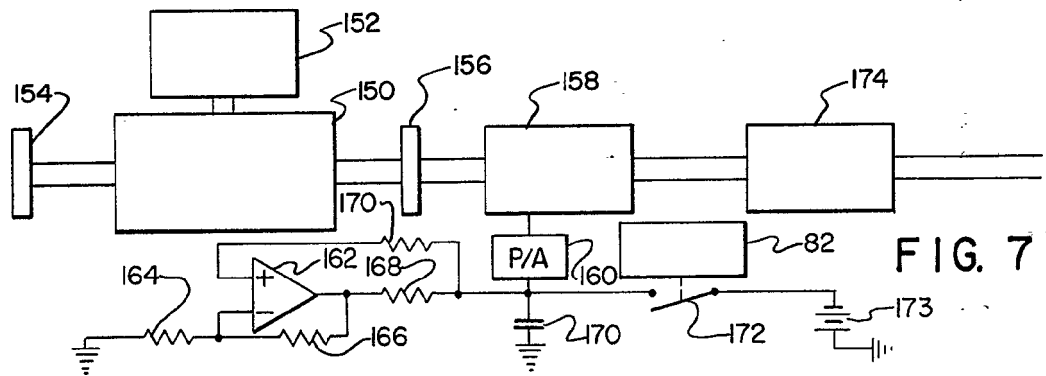
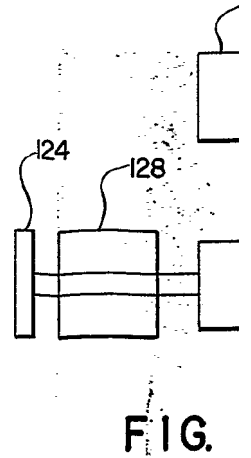
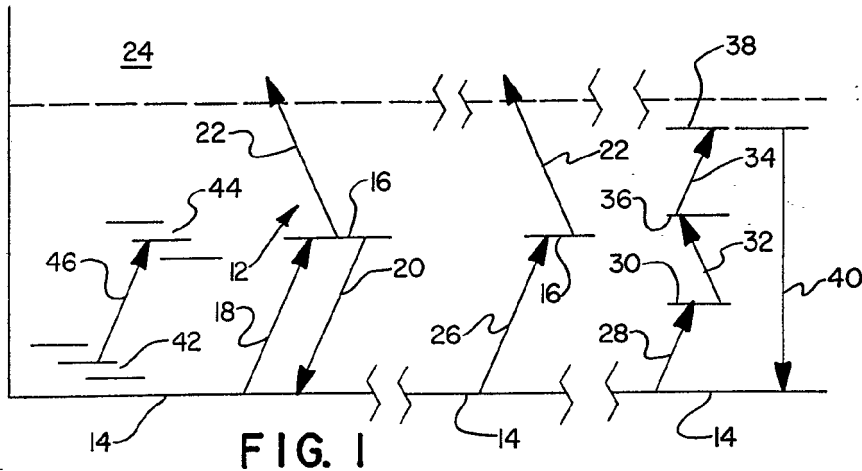


FIG. 6

ESCALA VARIABLE
 Madrid 29 de abril de 1975
 BERNARDO VIBGALIA
 P.P.



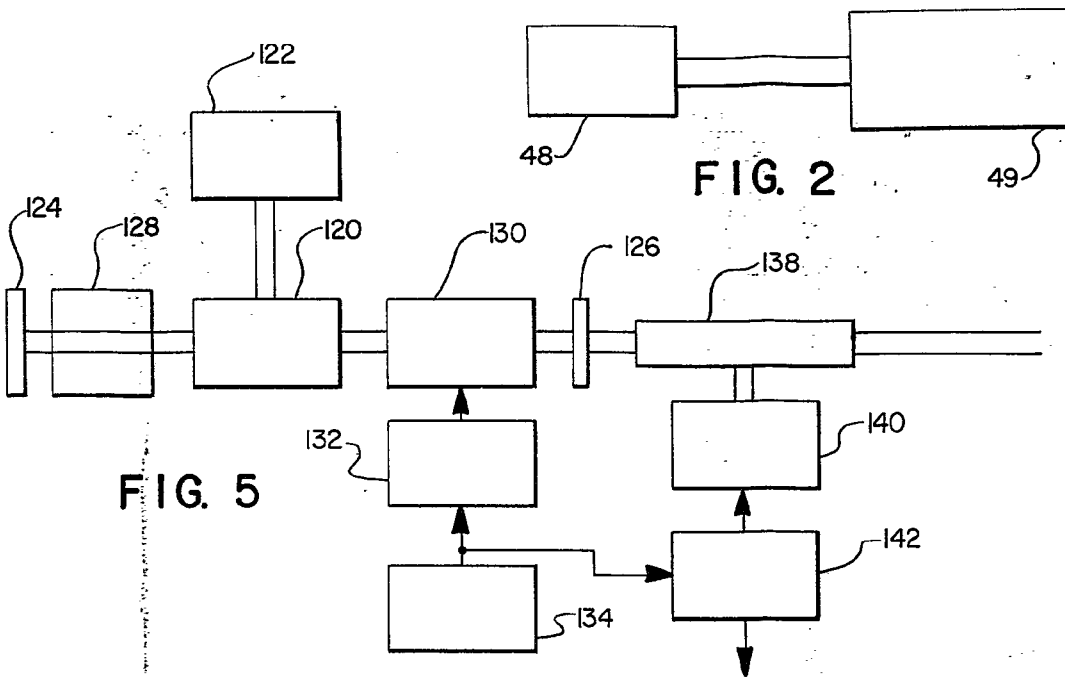


FIG. 2

FIG. 5

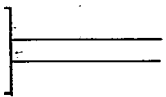


FIG. 7

73

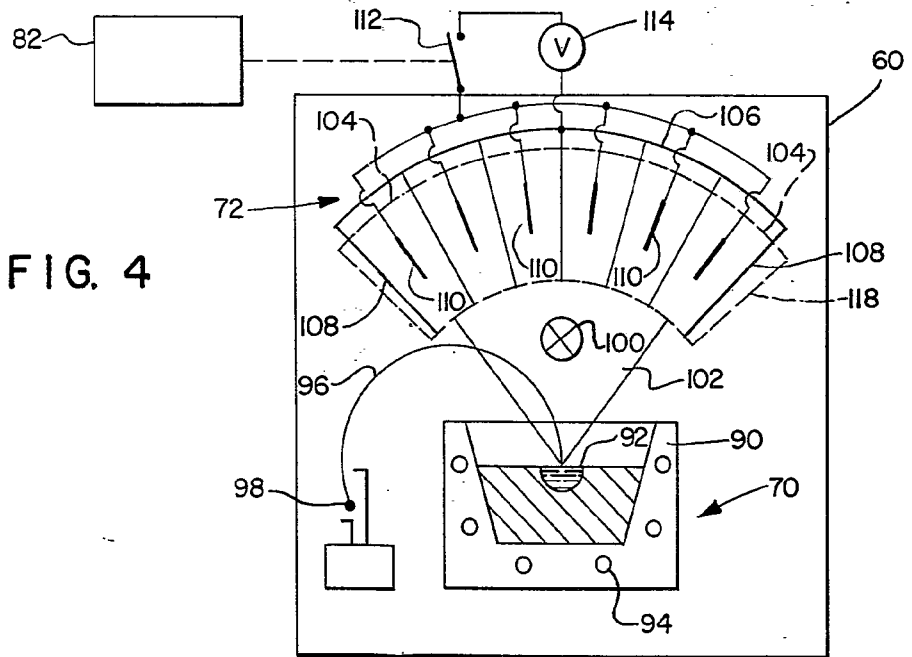


FIG. 4

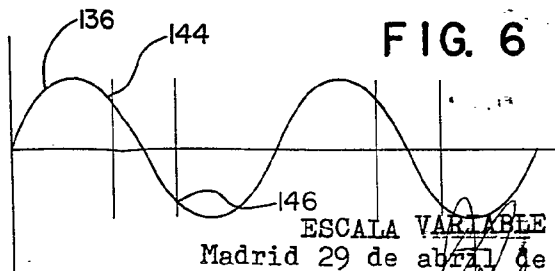
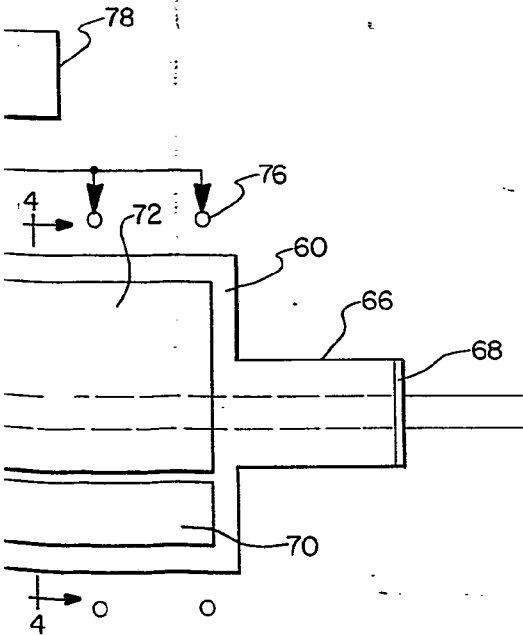


FIG. 6

ESCALA VARIABLE
 Madrid 29 de abril de 1975
 BERNARDO UNGRIA
 p.p.