(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 274 420**

(51) Int. Cl.:
H05H 1/22 (2006.01)
G21B 1/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Número de solicitud europea: **04705105 .7**
(86) Fecha de presentación : **26.01.2004**
(87) Número de publicación de la solicitud: **1588591**
(87) Fecha de publicación de la solicitud: **26.10.2005**

(54) Título: **Dispositivo de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado.**

(30) Prioridad: **28.01.2003 FR 03 00910**

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2007

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2007

(73) Titular/es:
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
25, rue Leblanc - Immeuble "Le Ponant D"
75015 Paris, FR

(72) Inventor/es: **Martin, Gilles**

(74) Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

ES 2 274 420 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado.

Campo técnico

La presente invención se refiere, de forma general, a los dispositivos de inyección de un flujo de gas pulsado.

Más específicamente, la invención se refiere a un dispositivo que permite inyectar materia en una instalación de estudio de los plasmas de fusión termonucleares.

Estado de la técnica anterior

En una instalación de fusión termonuclear, el combustible que puede ser utilizado es, por ejemplo, el deuterio y/o el tritio. El mismo debe ser llevado a varias centenas de millones de grados, todo ello mientras permanece confinado a esta temperatura durante el período más largo posible. Para realizar todo esto, las soluciones más ventajosas que han sido propuestas hasta ahora se refieren a la utilización de campos magnéticos intensos que permiten aislar el plasma de fusión, incluyendo el gas ionizado a alrededor de 300 millones de grados Kelvin, de las paredes del recinto de confinamiento.

A este efecto, se ha observado que la buena calidad del confinamiento se transforma en un defecto importante para el funcionamiento de la instalación. En efecto, si el campo magnético impide que las partículas calientes abandonen el plasma, impide igualmente la sustitución del combustible. Sin embargo, estos riesgos se mantienen relativamente mínimos en la medida en que tienen lugar los intercambios entre el exterior y el núcleo del plasma de forma efectiva, en función de la existencia de un determinado nivel de difusión creado por diferentes factores tales como la ausencia de un confinamiento perfecto, turbulencias, o incluso incesantes colisiones entre las partículas del plasma.

De ese modo, el control de la cantidad de materia contenida en el plasma, se realiza por tanto mediante un equilibrado entre el bombeo de las partículas que salen del plasma hacia la pared, y con la inyección de combustible fresco. A este efecto, se ha de precisar que el problema específico de alimentación de un recinto de ultra-vacío con un gas ligero como el hidrógeno o el helio, requiere una estanquidad muy buena y un control muy bueno.

En la técnica anterior se conocen actualmente dos soluciones diferentes para realizar la inyección de materia en el plasma de una instalación de fusión termonuclear.

Una primera solución consiste en inyectar el combustible en forma gaseosa, a temperatura ambiente (véase por ejemplo L. Yao *et al.*: "Hydrogen cluster-like behaviour during supersonic molecular beam injection on the HL-1M tokamak" ~ Nuclear Fusion, Vol. 41, núm. 7).

Esta inyección de gas se efectúa de manera general con la ayuda de una o de varias válvulas piezoeléctricas a un caudal del orden de 0,1 a 3 $Pa.m^3/s$. Obsérvese, a título indicativo, que la unidad de cantidad de materia empleada y comúnmente utilizada para los plasmas de fusión, corresponde a la cantidad de materia contenida en un metro cúbico a una presión de un Pascal, medida a la temperatura ambiente de 20ºC. Siempre a título indicativo, esta cantidad corresponde a $2{,}7.10^{20}$ moléculas, y la cantidad de partículas contenidas en un plasma clásico de la instalación "Tore Supra" es de aproximadamente 1 a 2 $Pa.m^3$, renovadas cada segundo con la ayuda de una a tres válvulas piezoeléctricas.

Por otra parte, las válvulas utilizadas disponen de un tiempo de respuesta comprendido entre 5 y 10 ms, adaptado todo de ello de manera que se asegura una alimentación controlada del plasma (véase, por ejemplo, A. Auerbach *et al.*: "Modified pulsed valve for supersonic jet applications" ~ Rev. Sci. Instrum. 51 (9), Sept. 1980).

Sin embargo, en un caso de ese tipo, el gas inyectado por estas válvulas entre la pared del recinto y la superficie del plasma, es ionizado después de que ha penetrado unos centímetros en este último, para ser a continuación transferido hacia el núcleo de este plasma por difusión. No obstante, durante la aplicación de esta solución, se ha constatado que la materia inyectada volvió a salir de forma relativamente rápida desde el núcleo del plasma, haciendo así que el fenómeno sea muy poco eficaz.

A este efecto, se ha observado igualmente que la eficacia de esta solución, definida por la relación entre el número de partículas que alcanzan las zonas centrales del plasma y el número de partículas inyectadas en la cámara, no superó la cantidad de un 10 a un 20%. De ese modo, aunque las válvulas piezoeléctricas empleadas no se hayan revelado como compatibles con las exigencias de una alimentación controlada del plasma, la eficacia de esta primera solución resulta demasiado baja para optimizar la gestión de las cantidades de gas utilizadas en la instalación.

En otros sectores, se proporcionan ejemplos de válvulas supersónicas mediante el documento JP-A-2001115657 o incluso mediante el documento JP-A-07218380, que describe un dispositivo de inyección de un flujo de gas supersónico que incluye una primera cámara en el interior de la cual el gas que va a ser inyectado se encuentra bajo presión a uno y otro de un pistón libre, comprendiendo el dispositivo medios de puesta en movimiento de este pistón libre, conectados a la citada primera cámara y susceptibles de provocar una propulsión del pistón libre, incluyendo además el citado dispositivo una tobera supersónica de eyección de gas susceptible de comunicar con la primera cámara por medio de una abertura practicada en esta primera cámara.

También ha sido propuesta una segunda solución en la técnica anterior. Ésta reside en la inyección de combustible en forma sólida, por medio de técnicas criogénicas. El deuterio y/o el tritio son también solidificados a 4ºK, con el fin de formar "carámbanos" inyectados a continuación en la instalación a una velocidad del orden de varios cientos de metros por segundo, con la ayuda de un inyector neumático de tipo "cerbatana", o incluso con la ayuda de un inyector centrífugo de tipo "tirachinas".

Estos inyectores pueden funcionar hasta aproximadamente 10 hertzios, y los carámbanos formados disponen cada uno de ellos de una cantidad de materia del orden de 0,2 a 0,5 $Pa.m^3$, lo que corresponde a un valor comprendido entre 2 y 5 mm^3.

En este tipo de inyección, la materia penetra profundamente en el plasma, puesto que los carámbanos están protegidos de la fuerte temperatura imperante en el núcleo de este plasma en virtud de la formación de una nube de gas muy denso alrededor de cada

uno de ellos, según un fenómeno de calefacción. En efecto, cuando un carámbano penetra en el plasma, la materia se evapora parcialmente y forma una nube de protección en la que aumenta la temperatura a medida que esta última se aproxima al núcleo del plasma. Se crea entonces un "glóbulo" de plasma que deriva en el gradiente del campo magnético, hasta que la materia inyectada se homogeneiza con la del plasma principal.

Durante la puesta en práctica de una solución de este tipo, la eficacia se revela muy cercana al 100%. Además, según se ha mencionado anteriormente, se ha observado que el glóbulo de plasma formado, que deriva en el gradiente de campo magnético, aumenta incluso más todavía la penetración de esta materia en el núcleo del plasma.

Sin embargo, a pesar de la buena eficacia de la alimentación proporcionada por esta segunda solución de inyección, la complejidad de su puesta en práctica se traduce directamente en costes entre 10 y 100 veces más importantes que para la primera solución.

Por otra parte, se debe precisar además que en las instalaciones de fusión termonuclear actuales, los combustibles utilizados mayoritariamente son el hidrógeno y/o el deuterio. Sin embargo, si la utilización poco costosa de estos gases sigue siendo previsible en soluciones de eficacia relativamente baja, no es lo mismo cuando el combustible utilizado es considerablemente más costoso, tal como el tritio, el cual se considera como el principal combustible de las instalaciones futuras. Además, como el tritio es difícil de poner en forma sólida en función de su radiactividad y de la presencia del elemento He^3, la segunda solución de inyección presentada anteriormente no es del todo satisfactoria en cuanto a la perspectiva de utilización de tal combustible en las instalaciones de fusión termonuclear.

Exposición de la invención

La invención tiene así por objeto proponer un dispositivo de realización simple, poco costoso, que permita inyectar rápidamente gas a presión muy alta, con un flujo instantáneo intenso, todo ello garantizando una estanquidad muy buena entre los pulsos de gas.

Este dispositivo encuentra, en particular, aplicación en una instalación de estudio de los plasmas de fusión termonuclear. Por otra parte, se debe precisar que este dispositivo puede aplicarse de forma general a cualquier inyección de gas en un recinto cerrado como una cámara de combustión de motores, o de reactores físico-químicos.

Para hacer todo esto, la invención tiene por objeto un dispositivo de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, destinado en especial, aunque no exclusivamente, a alimentar una instalación de estudio de plasmas de fusión termonuclear con combustible. Según la invención, el dispositivo de inyección incluye una primera cámara en el interior de la cual se encuentra bajo presión el gas a inyectar, a uno y otro lado de un pistón libre, comprendiendo el dispositivo medios de utilización en movimiento de este pistón libre, conectados a la primera cámara y susceptibles de provocar una propulsión del pistón libre. Además, el dispositivo incluye una tobera supersónica de inyección del gas, susceptible de comunicar con la primera cámara por medio de una abertura practicada en esta primera cámara, así como una válvula que obtura la abertura y que es susceptible de ser accionada por percusión del pistón libre.

Ventajosamente, el dispositivo de inyección según la invención es de concepción simple, adaptado a una instalación de estudio de los plasmas de fusión termonuclear.

De ese modo, el principio de la invención se basa en una inyección de bocanadas de gas rápidas y concentradas, permitiendo esta característica específica conservar una simplicidad de realización similar a la encontrada en la primera solución de la técnica anterior, cuando la inyección de gas se realizaba con la ayuda de válvulas piezoeléctricas. Por otra parte, la disposición particular propuesta permite asimismo una inyección de gas cuyas características se aproximan considerablemente a las relativas a la segunda solución descrita en la técnica anterior, cuando la inyección de combustible se efectuaba en forma de carámbanos.

El dispositivo según la invención puede alcanzar entonces ventajosamente una eficacia del orden del 50 al 60%, muy superior a la obtenida con la primera solución de la técnica anterior, todo ello concebido de modo que su coste es al menos diez veces inferior al de la segunda solución de la técnica anterior.

Las pruebas realizadas en la instalación "Tore Supra", han demostrado por otra parte que el dispositivo de inyección presentado permitía una inyección de un pulso de gas de una cantidad del orden de 0,5 $Pa.m^3$ durante aproximadamente 0,5 ms a una frecuencia de funcionamiento al menos igual a 10 Hertzios, permitiendo estos valores asegurar una alimentación de combustible a la instalación muy satisfactoria.

Con preferencia, los medios de comunicación de movimiento al pistón libre, son susceptibles de crear una diferencia de presión en el gas a inyectar, a uno y otro lado del pistón libre. Para hacer esto, se puede prever que estos medios de puesta en movimiento comprendan una segunda cámara en el interior de la cual se encuentre el gas a inyectar bajo presión a uno y otro lado de un pistón comandado.

En tal caso, la segunda cámara puede estar entonces conectada a la primera cámara por medio de un primer conducto de conexión que pone en comunicación una primera porción de extremo de la primera cámara con una segunda porción de extremo de la segunda cámara, y por medio de un segundo conducto de conexión que pone en comunicación una primera porción de extremo de la segunda cámara con una segunda porción de extremo de la primera cámara. Así, un movimiento del pistón comandado en la dirección que va desde la segunda hacia la primera porción de extremo de la segunda cámara, provoca una propulsión del pistón libre en la dirección que va desde la segunda hacia la primera porción de extremo de la primera cámara, y a la inversa.

Con una disposición de ese tipo, resulta entonces posible prever que el pistón comandado esté accionado por un conjunto magnético, que incluye dos bobinas separadas y montadas de forma que rodean a la segunda cámara del dispositivo.

Además, la primera porción de extremo de la segunda cámara incluye, con preferencia, una entrada de gas, destinada a ser conectada a una alimentación de gas a inyectar. A este respecto, con el fin de asegurar un llenado con el gas a inyectar del conjunto del dispositivo, la segunda cámara puede estar dotada de un desvío regulable que permita la circulación del gas a inyectar entre la primera y la segunda porciones de extremo de esta segunda cámara. Por otra parte, re-

sulta también posible asegurar esta función previendo que al menos uno de los elementos elegido entre el pistón libre y el pistón comandado, esté alojado en su cámara respectiva con el fin de formar un paso estrecho para el gas, entre los dos compartimentos de la cámara que define.

En un modo de realización preferido del dispositivo según la invención, la primera cámara está obturada a nivel de su segunda porción de extremo con la ayuda de un bloque de cierre que comprende un primer y un segundo orificios, cooperando el primer orificio con el primer conducto de conexión y desembocando en un canal adyacente a la primera cámara que comunica con la primera porción de extremo de esta primera cámara, cooperando el segundo orificio con el segundo conducto de conexión y desembocando directamente en la primera cámara del dispositivo.

Por otra parte, la válvula que obtura la abertura practicada en la primera cámara del dispositivo puede disponer de otra cabeza que atraviese esta abertura y que sobresalga en un recinto de inyección previsto en la primera porción de extremo, siendo el recinto de inyección susceptible de ser cerrado por medio del pistón libre. Para hacer todo esto, el pistón libre ha sido concebido ventajosamente de manera que incluye un elemento externo, así como un elemento interno que desliza en el elemento externo, estando el elemento interno destinado a percutir la cabeza de la válvula con el fin de accionarla, y estando el elemento externo destinado a cerrar el recinto de inyección.

En este modo de realización preferido, la válvula se pone bajo tensión por medio de un resorte, con el fin de aplastar una junta de estanquidad situada alrededor de la abertura practicada en la primera cámara del dispositivo. El resorte se sitúa entonces en un alojamiento realizado en una sola pieza con la primera cámara, siendo este mismo alojamiento, así como la cámara, cilíndricos y coaxiales, y separados por la abertura practicada en la primera cámara del dispositivo. Por otra parte, el alojamiento del resorte dispone de un orificio que pone en comunicación un espacio interior de este alojamiento con la tobera supersónica del dispositivo.

Por último, se observa que los medios de puesta en movimiento del pistón libre son susceptibles de provocar una apertura de la válvula durante una duración de alrededor de 2 ms, y una eyección de gas desde la tobera supersónica de una cantidad del orden de 0,5 $Pa.m^3$ durante una duración de alrededor de 0,5 ms, a una frecuencia de funcionamiento de al menos 10 Hz.

Otras ventajas y características de la invención se pondrán de manifiesto en la descripción detallada no limitativa que sigue.

Breve descripción de los dibujos

Esta descripción va a ser realizada con relación a los dibujos anexos, en los que:

La figura 1 representa una vista esquemática de un dispositivo de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, que esquematiza el principio de la invención;

la figura 2 representa una vista en corte de un dispositivo de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, según un modo de realización preferido de la presente invención;

las figuras 3a a 3g esquematizan el funcionamiento del dispositivo de inyección representado en la figura 2;

la figura 4 es un gráfico que ilustra la evolución de diferentes parámetros del dispositivo de inyección representado en la figura 2, cuando este último está en funcionamiento; y

la figura 5 es una vista parcial y esquemática, en corte, de una instalación de estudio de los plasmas de fusión termonuclear, en la que se encuentra montado el dispositivo de inyección representado en las figuras 2 a 4.

Exposición detallada de modos de realización preferidos

Con referencia a la figura 1, se ha representado un dispositivo 1 de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, que esquematiza el principio de la invención.

El dispositivo 1 de inyección incluye una primera cámara 2, en cuyo interior se encuentra un pistón 4 libre, estando el gas a inyectar bajo presión a uno y otro lado de este pistón 4 libre.

El dispositivo 1 incluye además una tobera 6 supersónica, a través de la cual el gas es susceptible de ser inyectado, con el fin de generar un flujo supersónico pulsado.

Como se puede ver en la figura 1, la primera cámara 2 es susceptible de comunicar con la tobera 6 supersónica, en particular con la ayuda de una abertura 8 practicada en esta primera cámara 2 del dispositivo 1, y obturada por medio de una válvula 10.

Con el fin de generar el flujo de gas supersónico pulsado, el dispositivo 1 se ha dotado de medios 12 de puesta en movimiento del pistón 4 libre, conectados a la primera cámara 4 y susceptibles de provocar una propulsión del pistón 4 libre en esta primera cámara 2 del dispositivo 1 de inyección.

De ese modo, con una configuración de ese tipo, el pistón 4 libre en movimiento en la primera cámara, es susceptible de percutir en la válvula 10, con el fin de liberar la abertura 8 durante una duración determinada, y permitir un paso del gas a inyectar entre la primera cámara 2 y la tobera 6 supersónica.

La figura 2 representa un dispositivo 100 de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, según un modo de realización preferido de la presente invención.

Según se ha mencionado en lo que antecede en cuanto al principio de la invención, el dispositivo 100 de inyección incluye una primera cámara 2, un pistón 4 libre susceptible de ser puesto en movimiento en el interior de la primera cámara 2, una tobera 6 supersónica, una abertura 8 en la primera cámara 2, así como una válvula 10 que obtura esta abertura.

En este modo de realización preferido de la presente invención, los medios 12 de puesta en movimiento del pistón 4 libre incluyen una segunda cámara 14, en cuyo interior se encuentra un pistón 16 comandado, estando el gas a inyectar bajo presión a uno y otro lado de este pistón 16 libre.

Con el fin de asegurar la conexión entre la primera cámara 2 y la segunda cámara 14 del dispositivo 100 de inyección, este último comprende un primer conducto 18 de conexión que pone en comunicación una primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2, con una segunda porción 14b de extremo de la segunda cámara 14. Además, el dispositivo 100 está asimismo dotado de un segundo conducto 20 de conexión que pone en comunicación una primera porción 14a de extremo de la segunda cámara 14 con una segunda porción 2b de extremo de la primera cámara 2.

Los conductos 18 y 20 de conexión están, por consiguiente, asimismo llenos de gas a inyectar, y dispuestos de modo que un movimiento del pistón 16 comandado en la dirección que va desde la segunda porción 14b de extremo hacia la primera porción 14a de extremo de la segunda cámara 2, genera una presión/ depresión a uno y otro lado del pistón 4 libre, provocando así una propulsión de este pistón 4 libre en la dirección que va desde la segunda porción 2b de extremo hacia la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2. De forma análoga, se puede apreciar que un movimiento del pistón 16 comandado, en la dirección que va desde la primera porción 14a de extremo hacia la segunda porción 14b de extremo de la segunda cámara 2, genera una propulsión del pistón 4 libre en la dirección que va desde la primera porción 2a de extremo hacia la segunda porción 2b de extremo de la primera cámara 2.

Se debe precisar, por otra parte, que las primeras porciones 2a y 14a de extremo de la primera y la segunda cámaras 2 y 14, corresponden preferentemente a porciones de extremo altas, mientras que las segundas porciones 2b y 14b de la primera y segunda cámaras 2 y 4 corresponden a porciones de extremo bajas. De ese modo, en función de la porción sensiblemente vertical de la primera y segunda cámaras 2 y 14, cuando el dispositivo 100 de inyección está en una posición de reposo tal y como la que aparece representada en la figura 2, la presión del gas a inyectar es sensiblemente idéntica en todos los elementos constructivos del dispositivo 100, permitiendo entonces a los pistones 4 y 16 libre y comandado, situarse respectivamente, por gravedad, a nivel de las segundas porciones 2b y 14 de extremo bajas de las cámaras 2 y 14.

El dispositivo 100 de inyección está conectado a una alimentación de gas (no representada), siendo esta alimentación susceptible de introducir el gas a inyectar en el dispositivo 100, bajo una presión comprendida por ejemplo entre 3 y 10 bares, y con preferencia bajo una presión de aproximadamente 5 bares. Para todo esto, se puede prever que la alimentación sea conectada a una entrada 22 de gas, que comunica con la primera porción 14a de extremo de la segunda cámara 14.

Por otra parte, con el fin de asegurar la presencia y una presión sensiblemente idéntica del gas en todos los elementos constitutivos del dispositivo 100, la segunda cámara 14 está conectada a un desvío 22 regulable, que permite la circulación del gas entre la primera porción 14a de extremo y la segunda porción 14b de extremo, es decir, desde una a la otra parte del pistón 16 comandado. De esta manera, tras cada accionamiento de la válvula 10 que entraña la liberación de la abertura 8 practicada en la primera cámara 2, la cantidad de gas que se escapa por la tobera 6 supersónica puede ser reintroducida en el dispositivo 100 desde la entrada 22 de gas, y ser repartida uniformemente en este dispositivo con la ayuda del desvío 24 regulable, permitiendo el reequilibrio de las presiones en una escala de tiempo próxima al segundo.

Una solución adicional o alternativa a la del desvío 22 podría consistir en asegurar la presencia de una fuga a nivel de los pistones 4 y 16 libre y comandado, previendo un paso entre estos pistones y sus cámaras 2 y 14 asociadas. Obsérvese que este paso puede adoptar, de manera simple, la forma de un juego entre estos diferentes elementos.

Son previsibles varias técnicas de pilotado del pistón 16 comandado con el fin de provocar el desplazamiento del gas a inyectar en los elementos constitutivos del dispositivo 100 de inyección, así como la presión/ depresión a nivel del pistón 4 libre.

A este respecto, se puede citar la técnica de compresión de fuelle por medio de un gato hidráulico. Sin embargo, en el modo de realización preferido descrito en la presente invención, éste consiste en un conjunto magnético 26 que permite el desplazamiento del pistón 16 comandado por el interior de la segunda cámara 14. Se aprecia que esta solución es particularmente ventajosa en la medida en que permite limitar en gran medida el inventario de gas a inyectar, con relación a las otras soluciones propuestas.

Siempre con referencia a la figura 2, se aprecia que el conjunto magnético 26 incluye dos bobinas 28 y 30 separadas verticalmente, y que circundan a la segunda cámara 14 del dispositivo 100. Esta disposición específica, de tipo lente magnética, permite un movimiento rápido del pistón 16 comandado en su cámara 14 asociada, así como la posibilidad de obtener una fuerza de percusión importante del pistón 4 libre sobre la válvula 10 del dispositivo 100.

Típicamente, las bobinas 28 y 30 están compuestas por 800 espiras de un hilo de 2,5 mm de diámetro, y alimentadas por una corriente del orden de 30 a 40 A. La resistencia es de aproximadamente 1 Ω y la autoinductancia es del orden de 0,1 H. Las mediciones realizadas han permitido siempre constatar que el campo producido a nivel del pistón 16 comandado era de alrededor de 25 mT/A.

A título indicativo, se debe apreciar que la creación de corriente en las bobinas 28 y 30 demanda una potencia importante, en particular con una tensión inicial elevada para poder luchar contra la autoinductancia de estas bobinas. Una tensión de 500 V y una intensidad de 40 A, pueden ser entonces valores que aseguren una alimentación eléctrica inicial adecuada de las bobinas 28 y 30. Además, para pilotar estas bobinas, es posible utilizar un método simple y económico destinado a realizar un circuito RLC resonante entre la inductancia de las bobinas 28 y 30 y un banco de capacidades (no representado), por ejemplo de 530 μF. Este último se carga previamente, antes de ser conectado a una de las bobinas 28, 30, mediante un tiristor rápido, y después se conecta a la otra bobina en el momento de la inversión de la corriente. De esta manera, resulta relativamente fácil crear un movimiento de vaivén del pistón 16 comandado en su segunda cámara 14 asociada, con la ayuda de una alimentación eléctrica que funciona durante períodos de aproximadamente 100 ms, a una tensión comprendida entre 100 y 150 V, y una intensidad comprendida entre 30 y 40 A.

En este modo de realización preferido de la presente invención, la primera cámara 2 se realiza en un bloque 31 de material, con preferencia de acero inoxidable, con el fin de definir un espacio 32 sensiblemente cilíndrico de sección circular, en el que el pistón 4 libre es susceptible de ser propulsado. Un canal 34 adyacente a la primera cámara 2, se realiza previendo una garganta 36 a nivel de una pared lateral del bloque 31 de material, estando esta garganta 36 cerrada por una placa 38. Según se puede apreciar en la figura 2, el canal 34 adyacente comunica con la primera porción 2a de extremo correspondiente a la porción de extremo alta de la primera cámara 2, por medio de

una abertura 39 lateral. Además, el canal 34 adyacente alarga verticalmente esta primera cámara 2 con el fin de extenderse hasta el nivel de la segunda porción 2b de extremo, correspondiente a la porción de extremo baja de esta misma cámara 2.

La primera cámara 2 y el canal 34 adyacente son obturados, a nivel de sus porciones de extremo bajas, por medio de un bloque 40 de cierre.

Cuando el bloque 40 de cierre está montado en el bloque 31 de material, un primer orificio 42 desemboca en el canal 34 adyacente y coopera con el primer conducto 18 de conexión, de manera que permite una circulación del gas a inyectar entre la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2, y la segunda porción 14b de extremo de la segunda cámara 14. Además, el bloque 40 de cierre está dotado asimismo de un segundo orificio 44, que coopera con el segundo conducto 20 de conexión y que desemboca directamente en la segunda porción 2b de extremo de la primera cámara 2, de manera que permite una circulación del gas a inyectar entre esta última y la primera porción 14a de extremo de la segunda cámara 14.

Se observa que el bloque 40 de cierre puede ser montado mediante atornillado en el bloque 31 de material, y después ser soldado a este último con el fin de proporcionar una estanquidad perfecta.

En la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2, se ha previsto un recinto 46 de inyección, delimitado en particular en la parte alta por la abertura 8 obturada por la válvula 10 del dispositivo 100. Según se va a describir de manera más precisa en lo que sigue, el recinto 46 de inyección puede estar asimismo delimitado en la parte baja por el pistón 4 libre, cuando éste tiene que percutir sobre la válvula 10. El volumen de este recinto 46 de inyección se determina, bien entendido, en función de la cantidad de gas que se desea expulsar desde la tobera 6 supersónica en cada impulsión. Ésta puede ser, por ejemplo, del orden de 0,65 cm^3.

La válvula 10, que obtura la abertura 8 practicada en la primera cámara 2 del dispositivo 100, dispone de una cabeza 48 que atraviesa esta abertura 8, y que sobresale por el interior del recinto 46 de inyección. Además, esta válvula 10 se pone bajo tensión con la ayuda de un resorte 50 que le permite aplastar una junta 52 de estanquidad prevista alrededor de la abertura 8 practicada en la primera cámara 2. La junta 52 de estanquidad es preferentemente del tipo de una junta plástica fluorada, capacitada para mantener la estanquidad de la primera cámara 2 hasta una temperatura que se aproxima a 250ºC. Por su parte, el resorte 50 esta adaptado, por ejemplo, de modo que la abertura máxima de la válvula 10 necesita una compresión del resorte del orden de 25 daN.

En este modo de realización preferido de la presente invención, el resorte 50 está situado en un alojamiento 54 en el que está pre-contraído algunos milímetros, por ejemplo 5 mm, con la ayuda de un tornillo 56 situado en el extremo alto del alojamiento 54. Este alojamiento 54 se ha realizado en el mismo bloque 31 de material en el que se han realizado la primera cámara 2 y el canal 34 adyacente del dispositivo 100. De ese modo, el alojamiento 54 es sensiblemente cilíndrico de sección circular, coaxial con la primera cámara 2, y separado de esta última por medio de la abertura 8 que es asimismo coaxial con estos dos elementos 2 y 54.

En las proximidades de la abertura 8 de la primera cámara 2, el alojamiento 54 del resorte 50 se ha dotado de un orificio 58 lateral, que pone en comunicación un espacio interior del alojamiento 54 con la tobera 6 supersónica del dispositivo 100. Cuando el dispositivo 100 de inyección está en estado de reposo, la válvula 10 dispone de una porción 59 de cierre cuya pared inferior obtura la abertura 8, y cuya pared lateral obtura totalmente el orificio 58 lateral previsto en el alojamiento 54.

La tobera 6 supersónica está montada exteriormente en el alojamiento 54, por ejemplo mediante soldadura, de modo que durante el accionamiento de la válvula 10, el gas a presión situado en el recinto 46 de inyección puede escaparse por la abertura 8 y por el orificio 58 lateral progresivamente liberados, y ser expulsado de la tobera 6 supersónica del dispositivo 100.

Obsérvese que en el modo de realización preferido representado en la figura 2, la tobera 6 supersónica está montada en el alojamiento 54 del resorte 50 de modo que es sensiblemente perpendicular a este último. Bien entendido, sin apartarse del marco de la invención, la tobera 6 supersónica podría ser dispuesta de manera diferente, por ejemplo con una inclinación específica determinada en función de la aplicación del dispositivo 100 de inyección.

La tobera 6 supersónica montada en el alojamiento 54 es preferentemente del tipo de tobera Laval supersónica, destinada a limitar la dispersión axial del gas, y adaptada en función de las necesidades encontradas. En efecto, es posible dimensionar las secciones de entrada y de salida de la tobera 6 de manera que se obtenga un número de Mach dado. A título de ejemplo, una sección de entrada de 0,8 mm^2 y una sección de salida de 0,5 cm^2 permiten obtener un número de Mach igual a cuatro, con una presión de funcionamiento del dispositivo 100 de inyección que puede alcanzar al menos 10 bares. El valor de las secciones de la tobera 6 puede ser así modificado para obtener un número de Mach más importante, sin apartarse del alcance de la invención. Sin embargo, obsérvese que el dimensionamiento de la tobera 6 supersónica debe tomar asimismo en consideración el sector de aplicación del dispositivo 100 de inyección, con el objeto de presentar una voluminosidad final compatible con esta aplicación.

El pistón 4 libre, destinado a ser puesto en movimiento en la primera cámara 2, está compuesto con preferencia por dos elementos. Entre estos dos elementos, se cuenta en principio un elemento 60 externo de bronce, asegurando este material un deslizamiento relativamente fácil del pistón 4 libre por el interior de la primera cámara 2. Cuando el pistón 4 libre es impulsado hacia la primera porción 2a de extremo de la cámara 2, su desplazamiento de traslación se detiene mediante un escalonamiento 62, practicado en el bloque 31 de material único en el que se ha realizado la primera cámara 2. Por otra parte, en esta posición de parada contra el escalón 62, el elemento 60 externo obtura la abertura 39 lateral que comunica con el canal 34 adyacente, con el fin de cerrar, por la parte baja, el recinto 46 de inyección previsto en la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2.

Por otra parte, el pistón 4 libre incluye igualmente un elemento 64 interno, dispuesto de manera que desliza con relación al elemento 60 externo. La función principal de este elemento 64 interno es la de percutir la válvula 10, cuando el pistón 4 libre ha sido puesto

en movimiento en la primera cámara 2, y ligeramente antes de que el elemento 60 interno haya sido detenido en su traslación mediante el escalonamiento 62. Para asegurar un buen funcionamiento del dispositivo 100 de inyección, es preferible que el rebote del elemento 64 interno del pistón 4 libre, generado durante la percusión de la válvula 6, sea limitado al máximo. Así, resulta posible prever un revestimiento superior de cobre o de aluminio sobre este elemento 64 interno, con el fin de provocar un rebote débil, así como una fuerte estanquidad del recinto 46 de inyección.

A título de ejemplo no limitativo y en combinación con las indicaciones ya mencionadas en lo que antecede, el dispositivo 100 de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, según el modo de realización preferido representado en la figura 2, puede ser concebido respetando los siguientes parámetros:

- diámetro exterior del elemento 60 externo del pistón 4 libre: 16 mm;
- masa total del pistón 4 libre: 40 g;
- carrera del pistón 4 libre en la primera cámara 2: 85 mm;
- volumen de la primera cámara 2: 17 cm^3;
- diámetro interior de cada uno de los conductos 18 y 20 de conexión: 6 mm;
- longitud de cada uno de los conductos 18 y 20 de conexión: 5 mm;
- volumen de cada uno de los conductos 18 y 20 de conexión: 140 cm^3;
- diámetro exterior del pistón 16 comandado: 32 mm;
- longitud del pistón 16 comandado: 50 mm;
- masa del pistón 16 comandado: 320 g;
- carrera del pistón 16 comandado en la segunda cámara 14: 20 a 40 mm;
- volumen de la segunda cámara 14: 80 cm^3.

Con la ayuda de un dispositivo 100 de inyección de ese tipo, las pruebas realizadas en una instalación de estudio de los plasmas de fusión termonuclear han demostrado que era posible inyectar un pulso de gas de una cantidad del orden de 0,2 a 0,5 $Pa.m^3$, durante alrededor de 0,4 a 0,5 ms, hasta una frecuencia de funcionamiento al menos igual a 10 Hertzios, y todo esto previendo una abertura de la válvula 10 durante un período comprendido entre 1 y 3 ms. Según se ha mencionado anteriormente, se recuerda que la unidad "$Pa.m^3$" de cantidad de materia empleada y comúnmente utilizada para los plasmas de fusión, corresponde a la cantidad de materia contenida en un metro cúbico a una presión de un Pascal, medida a una temperatura ambiente de 20ºC.

De ese modo, el dispositivo 100 de inyección puede permitir un caudal de pulsos de gas rápidos y concentrados de alrededor de 400 $Pa.m^3/s$.

Las figuras 3a a 3g esquematizan el funcionamiento del dispositivo 100 de inyección, cuando el pistón 16 comandado (no representado en estas figuras) está animado con un movimiento que va en la dirección de la segunda porción 14b de extremo hacia la primera porción 14a de extremo de la segunda cámara 14.

Según se ha simbolizado mediante la flecha de la figura 3a, el movimiento del pistón 16 comandado descrito en lo que antecede provoca, con la ayuda de los conductos 18 y 20 de conexión, una propulsión del pistón 4 libre en la dirección que va desde la segunda porción 2b de extremo hacia la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2. Con preferencia, el pistón 4 libre, propulsado en función del fenómeno de presión/depresión que se produce a uno y otro lado de éste, llega al nivel de la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2 con una velocidad comprendida entre alrededor de 5 y 8 m/s.

El elemento 64 interno del pistón 4 libre llega entonces a percutir en la cabeza 48 de la válvula 10, como se ha representado en la figura 3b. La porción 59 de cierre de la válvula 10 se despega por tanto de la junta 52 de estanquidad, y un paso relativamente estrecho permite al gas bajo presión contenido en el recinto 46 de inyección comenzar a escaparse en la dirección de la tobera 6 supersónica, por la abertura 8, y el orificio 58 lateral se libera progresivamente.

En la figura 3c, se aprecia que después del inicio de la percusión de la válvula 10 por parte del elemento 64 interno, el elemento 60 externo del pistón 4 libre está siempre animado con un movimiento de traslación en la dirección de la primera porción 2a de extremo de la primera cámara 2, hasta que éste sea detenido por el escalonamiento 62, previsto a este efecto en el bloque 31 de material. En este estado, la abertura 39 lateral entre la primera cámara 2 y el canal 34 adyacente, queda obturada por la pared lateral exterior del elemento 60 externo, de modo que el recinto 46 de inyección sea cerrado a nivel de su parte baja. El recinto 46 de inyección está siempre aislado de manera estanca del resto de la primera cámara 2, y el gas a presión se vacía por tanto desde este recinto 46, en la dirección de la tobera 6 supersónica. Además, se debe apreciar que la depresión creada en el recinto 46 de inyección mantiene asimismo de forma estanca el elemento 60 externo contra el escalonamiento 62.

A continuación, según ha sido ya representado en la figura 3d, el elemento 64 interno desliza en el elemento 60 externo del pistón 4 libre, con el fin de provocar una apertura incluso más importante de la válvula 10, y por tanto un caudal consiguiente de gas a presión en la dirección de la tobera 6 supersónica. Se debe precisar que este caudal de gas es controlado a continuación de forma relativamente rápida por medio de la sección de entrada de esta tobera 6.

La figura 3e simboliza el estado en el que la válvula 10 está accionada al máximo. En tal estado, el orificio 58 lateral previsto en el alojamiento 54 del resorte 50, está completamente despejado, mientras que éste se encontraba hasta ahora, al menos parcialmente, obturado por la pared lateral de la porción 59 de cierre de la válvula 10. A este efecto, según se ha mencionado en lo que antecede, el resorte 50 está comprimido en su alojamiento 54 por medio de una fuerza del orden de 25 daN. Se debe precisar además que, en este estado, la eyección de gas desde la tobera 6 supersónica, ha terminado.

Por acción del resorte 50 de compresión, la válvula 10 obtura de nuevo la abertura 8 practicada en la primera cámara 2. Según resulta visible en la figura 3f, el re-posicionamiento de la válvula 10 entraña, por contacto, un movimiento de los elementos 60 y 64 externo e interno del pistón 4 libre, en la dirección de la segunda porción 2b de extremo, generando el despegue del elemento 60 externo del escalón 62. La porción 59 de cierre de la válvula 10 recupera de nuevo a continuación el contacto con la junta 52 de estanquidad que rodea a la abertura 8, de 1 a 3 ms después de haberla separado, hasta aplastarla totalmente como se ha representado en la figura 3g. En esta última figura, en la que se puede considerar que las presiones del gas a inyectar son sensiblemente idénticas a uno y otro la-

do del pistón 4 libre, se aprecia que el contacto entre la cabeza 48 de la válvula 10 y el elemento 64 interno del pistón 4 libre, no existe. Sin embargo, la inversión de la corriente en las bobinas 28 y 30 del conjunto 26 magnético, permite generar una propulsión del pistón 4 libre en la dirección de la segunda porción 2b de extremo, de modo que recupera su posición de reposo al fondo de la primera cámara 2 del dispositivo 100 de inyección.

La evolución de diferentes parámetros del dispositivo 100 durante una inyección de un pulso de gas supersónico, ha sido asimismo ilustrada en el gráfico de la figura 4, trazado a continuación de la realización de los ensayos efectuados en un dispositivo 100 de inyección que dispone de unas características técnicas similares a las que se han expuesto en lo que antecede.

En el gráfico, el eje de abscisas es el eje de tiempo, en milisegundos, mientras que el eje de ordenadas puede diferir en función de la naturaleza de cada una las curvas, en las que:

- la curva (a) representa la presión, en bares, en el interior del recinto 46 de inyección;
- la curva (b) representa la cantidad de gas expulsado desde la tobera 6 supersónica, en $Pa.m^3x10$;
- la curva (c) representa el caudal de gas que sale de la tobera 6 supersónica, en una unidad arbitraria;
- la curva (d) representa la carrera de la válvula 10, en mm;
- la curva (e) representa la carrera del elemento 60 externo del pistón 4 libre, en mm.

En este gráfico, la curva (e) muestra que tras una duración ligeramente inferior a 50 ms a continuación de la puesta bajo tensión de las bobinas 28 y 30 del conjunto 26 magnético, el elemento 60 externo llega a hacer tope contra el escalón 62, y rebota ligeramente contra este último antes de conservar esta posición durante casi la totalidad de la apertura de la válvula 10. Con referencia a la curva (d), se aprecia que la válvula 10 es accionada antes de que el elemento 60 externo llegue a hacer tope contra el escalonamiento 62, en función de su percusión por parte del elemento 64 interno del pistón 4 libre, como se ha descrito en lo que antecede y se ha representado en la figura 3b.

Al principio de la apertura de la válvula 10, el valor del caudal de gas eyectado desde la tobera 6 resulta ser máximo incluso antes de que el elemento 60 externo haya sido detenido por el escalonamiento 62, decreciendo a continuación sensiblemente de manera exponencial como muestra la curva (c). De la misma forma, la apertura de la válvula 10 entraña una caída brutal de la presión en el interior del recinto 46 de inyección, como resulta visible en la curva (a).

En la curva (b), se aprecia que durante toda la fase ascendente de la válvula 10, la cantidad de gas expulsado desde la tobera 6 crece con el paso del tiempo, para alcanzar una cantidad total del orden de 0,4 $Pa.m^3$, aproximadamente 0,5 ms después del inicio del accionamiento de la válvula 10, permaneciendo esta última por tanto abierta durante un período cercano a 2 ms. En otros términos, se ha constatado que durante el descenso de la válvula 10 en la dirección de la abertura 8, la cantidad de gas expulsado desde la tobera 6 supersónica fue casi nula.

Con referencia a la figura 5, el dispositivo 100 de inyección está instalado en un recinto 200 de vacío en forma de toro, similar al que se encuentra presente en la instalación de fusión termonuclear "Tore Supra" en la que se ha desarrollado la presente invención.

En esta figura 5, se aprecia que el bloque 31 de material, en el que se ha formado en particular la primera cámara 2 que contiene al pistón 4 libre del dispositivo 100 de inyección, ha sido montado de forma fija en la cara interna del recinto 200. Además, la tobera 6 supersónica del dispositivo 100 está dispuesta de manera que se sitúa entre tejas 210 de recubrimiento, con el fin de que los pulsos de gas eyectados desde esta tobera 6 puedan volver a juntar el plasma 208.

El bloque 31 de material ha sido fijado de manera que la primera cámara 2 dispone de una posición sensiblemente vertical, tal como la representada en las figuras 1, 2 y 3a a 3g, siempre con objeto de que el pistón 4 libre se posicione por gravedad en el fondo de la primera cámara 2, cuando el dispositivo 100 de inyección está en estado de reposo.

Para asegurar el funcionamiento del dispositivo 100 de inyección, los conductos 18 y 20 de conexión, conectados a la primera cámara 2, salen del recinto 200 de vacío para ser conectados a los medios 12 de puesta en movimiento del pistón 4 libre, tales como los descritos en lo que antecede. De ese modo, la segunda cámara 14 y el conjunto 26 magnético pueden estar situados a distancia del recinto 26 de vacío, de modo que el funcionamiento no se vea alterado en ningún caso por la presencia del plasma 208. Por otra parte, según se ha descrito en lo que antecede, la segunda cámara 14 ha sido dispuesta preferentemente de forma vertical a distancia del recinto 200 de vacío, con el fin de que el pistón 16 comandado se sitúe por gravedad a nivel de la segunda porción 14b de extremo, cuando el dispositivo 100 está en estado de reposo.

Conservando una solución técnica de este tipo para la alimentación de combustible del plasma 208, se puede apreciar que el dispositivo 100 de inyección está de hecho adaptado para soportar las limitaciones ambientales del recinto 200 de vacío.

En efecto, la simplicidad de la concepción y el modo de funcionamiento del dispositivo 100, permiten que este último pueda estar situado a unos 10 cm del plasma 208, en un campo magnético intenso de alrededor de 6 T, y a una temperatura del orden de 200 a 250ºC, todo ello soportando la potencia radiada por el plasma 208, que puede llegar hasta 1 MW/m^3. Además, se debe indicar por otra parte que el dispositivo 100 de inyección propuesto es compatible con el ultra-vacío reinante en el recinto 200, generando este ultra-vacío una presión residual de alrededor de 10^{-5} Pa, necesaria para obtener una buena calidad del plasma 208.

Bien entendido, el número de dispositivos 100 de inyección en el recinto 200 de vacío, se determina en función de las necesidades encontradas, y en particular en función del volumen del plasma 208. A título de ejemplo, pueden ser tres.

Bien entendido, los expertos en la materia pueden aportar diversas modificaciones en los dispositivos 1 y 100 de inyección que acaban de ser descritos, únicamente a título de ejemplos no limitativos.

La invención está definida, no obstante, por las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo (1, 100) de inyección de un flujo de gas supersónico pulsado, que comprende una primera cámara (2) en cuyo interior el gas a inyectar se encuentra bajo presión a uno y otro lado de un pistón (4) libre, comprendiendo el dispositivo (1, 100) medios (12) de puesta en movimiento de este pistón libre, conectados a la citada primera cámara (2) y susceptibles de provocar una propulsión del pistón (4) libre, incluyendo el citado dispositivo (1, 100), además, una tobera (6) supersónica de eyección del gas susceptible de comunicar con la primera cámara (2) por medio de una abertura (8) practicada en esta primera cámara (2) y una válvula (10) que obtura la citada abertura (8), susceptible de ser accionada por percusión del pistón (4) libre.

2. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 1, en el que los medios (12) de puesta en movimiento del pistón libre son susceptibles de crear una diferencia de presión en el gas a inyectar, a uno y otro lado del pistón (4) libre.

3. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que los medios (12) de puesta en movimiento del pistón libre comprenden una segunda cámara (14) en cuyo interior el gas a inyectar se encuentra bajo presión a uno y otro lado de un pistón (16) comandado.

4. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 3, en el que dicha segunda cámara (14) está conectada a la citada primera cámara (2) por medio de un primer conducto (18) de conexión que pone en comunicación una primera porción (2a) de extremo de la primera cámara (2) con una segunda porción (14b) de extremo de la segunda cámara (14), y por medio de un segundo conducto (20) de conexión que pone en comunicación una primera porción (14a) de extremo de la segunda cámara (14) con una segunda porción (2b) de extremo de la primera cámara (2), de modo que un movimiento del pistón (16) comandado en la dirección que va desde la segunda porción (14b) hacia la primera porción (14a) de extremo de la segunda cámara (14), provoca una propulsión del pistón (4) libre en la dirección que va desde la segunda porción (2b) hacia la primera porción (2a) de extremo de la primera cámara (2), y a la inversa.

5. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 4, en el que las segundas porciones (2b, 14b) de extremo de la primera y de la segunda cámaras (2, 14) corresponden respectivamente a una porción de extremo baja de la primera y de la segunda cámaras (2, 14) del dispositivo (100).

6. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 4 o la reivindicación 5, en el que la primera porción (14a) de extremo de la segunda cámara (14) del dispositivo (100) incluye una entrada (22) de gas, destinada a ser conectada a una alimentación de gas a inyectar.

7. Dispositivo (100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el que el pistón (16) comandado es susceptible de ser accionado por un conjunto (26) magnético, que incluye dos bobinas (28, 30) separadas y montadas de modo que rodean a la citada segunda cámara (14) del dispositivo (100).

8. Dispositivo (100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en el que la segunda cámara (14) está dotada de un desvío (24) regulable que permite la circulación del gas a inyectar entre la primera y la segunda porciones (14a, 14b) de extremo de esta segunda cámara (14).

9. Dispositivo (100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 8, en el que al menos uno de los elementos de entre el pistón (4) libre y el pistón (16) comandado, ha sido alojado en su cámara (2, 14) asociada, de tal modo que forma un paso estrecho par el gas, entre los dos compartimentos de la cámara que aquél define.

10. Dispositivo (100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 9, en el que la citada primera cámara (2) está obturada a nivel de su segunda porción (2b) de extremo con la ayuda de un bloque (40) de cierre que comprende un primer (42) y un segundo (44) orificios, cooperando el citado primer orificio (42) con el primer conducto (18) de conexión y desembocando en un canal (34) adyacente a la primera cámara (2) que comunica con la primera porción (2a) de extremo de esta primera cámara (2), y cooperando el citado segundo orificio (44) con el segundo conducto (20) de conexión y desembocando directamente en la primera cámara (2) del dispositivo (100).

11. Dispositivo (100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 10, en el que la válvula (10) que obtura la abertura (8) practicada en la primera cámara (2) del dispositivo (100), dispone de una cabeza (48) que atraviesa esta abertura (8) y que sobresale en un recinto (46) de inyección previsto en la primera porción (2a) de extremo, siendo el citado recinto (46) de inyección susceptible de ser cerrado por medio del pistón (4) libre.

12. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 11, en el que el pistón (4) libre incluye un elemento (60) externo, así como un elemento (64) interno que desliza en el elemento (60) externo, estando el elemento (64) interno destinado a percutir la cabeza (48) de la citada válvula (10) con el fin de accionarla, y estando el elemento (60) externo destinado a cerrar el citado recinto (46) de inyección.

13. Dispositivo (100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la citada válvula (10) se pone bajo tensión por medio de un resorte (50), de manera que aplasta una junta (52) de estanquidad situada en torno a la citada abertura (8) practicada en la primera cámara (2) del dispositivo (100).

14. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 13, en el que el resorte (50) está situado en un alojamiento (54) realizado en una sola pieza con la primera cámara (2), siendo el citado alojamiento (54) y la primera cámara (2) sensiblemente cilíndricos y coaxiales, y estando separados por la citada abertura (8) practicada en la primera cámara (2) del dispositivo (100).

15. Dispositivo (100) de inyección según la reivindicación 14, en el que el alojamiento (54) del resorte (50) dispone de un orificio (58) que pone en comunicación un espacio interior de este alojamiento (54) con la citada tobera (6) supersónica del dispositivo (100).

16. Dispositivo (1, 100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el gas a inyectar se introduce en el dispositivo (100) bajo una presión comprendida entre alrededor de 3 y 10 bares.

17. Dispositivo (1, 100) de inyección según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los medios (12) de puesta en movimiento del pis-

tón libre son susceptibles de provocar una apertura de la válvula durante una duración de alrededor de 2 ms, y una eyección de gas desde la tobera (6) supersónica en una cantidad del orden del 0,5 $Pa.m^3$ durante una duración del alrededor de 0,5 ms, a una frecuencia de funcionamiento de al menos 10 Hz.

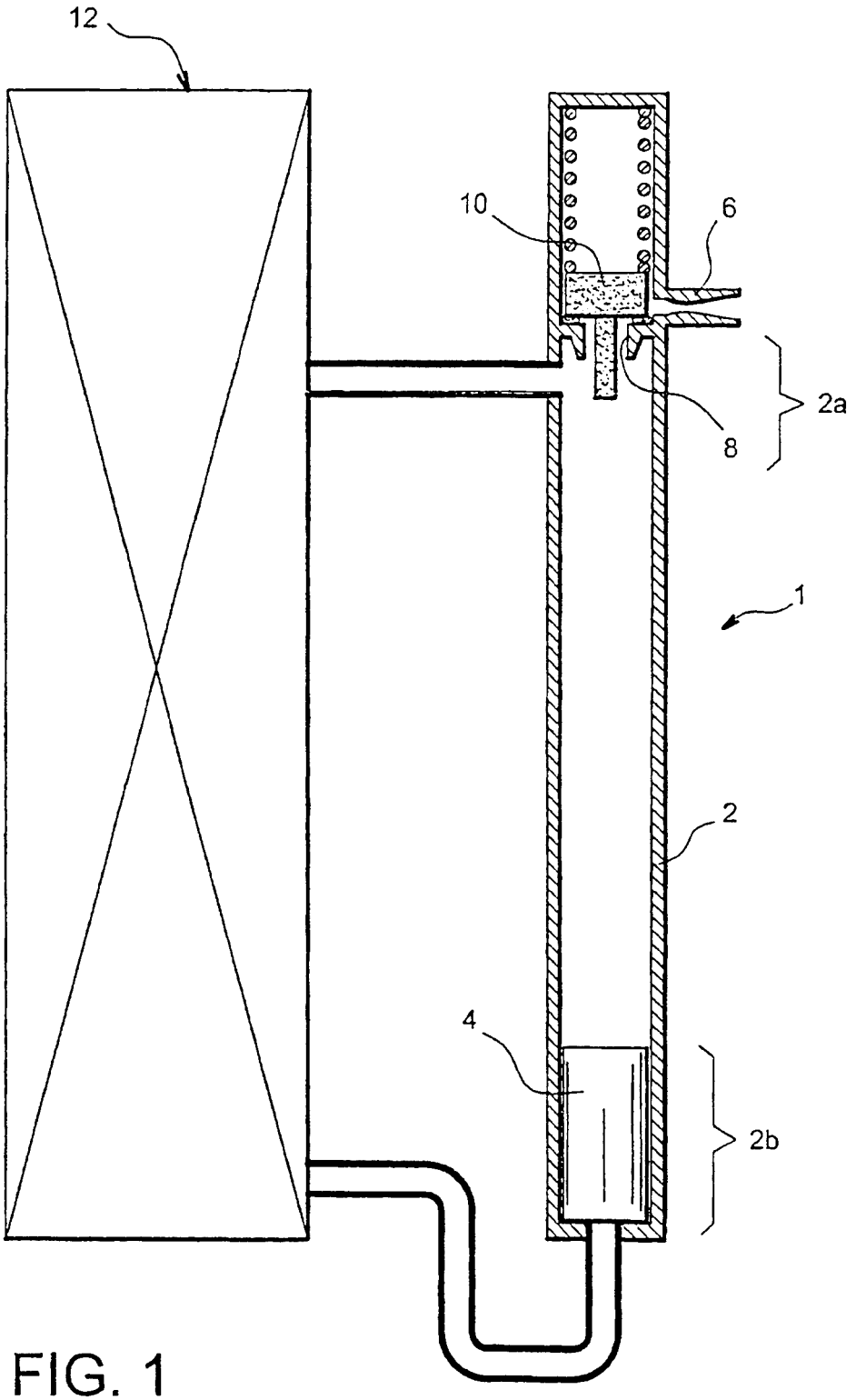


FIG. 1

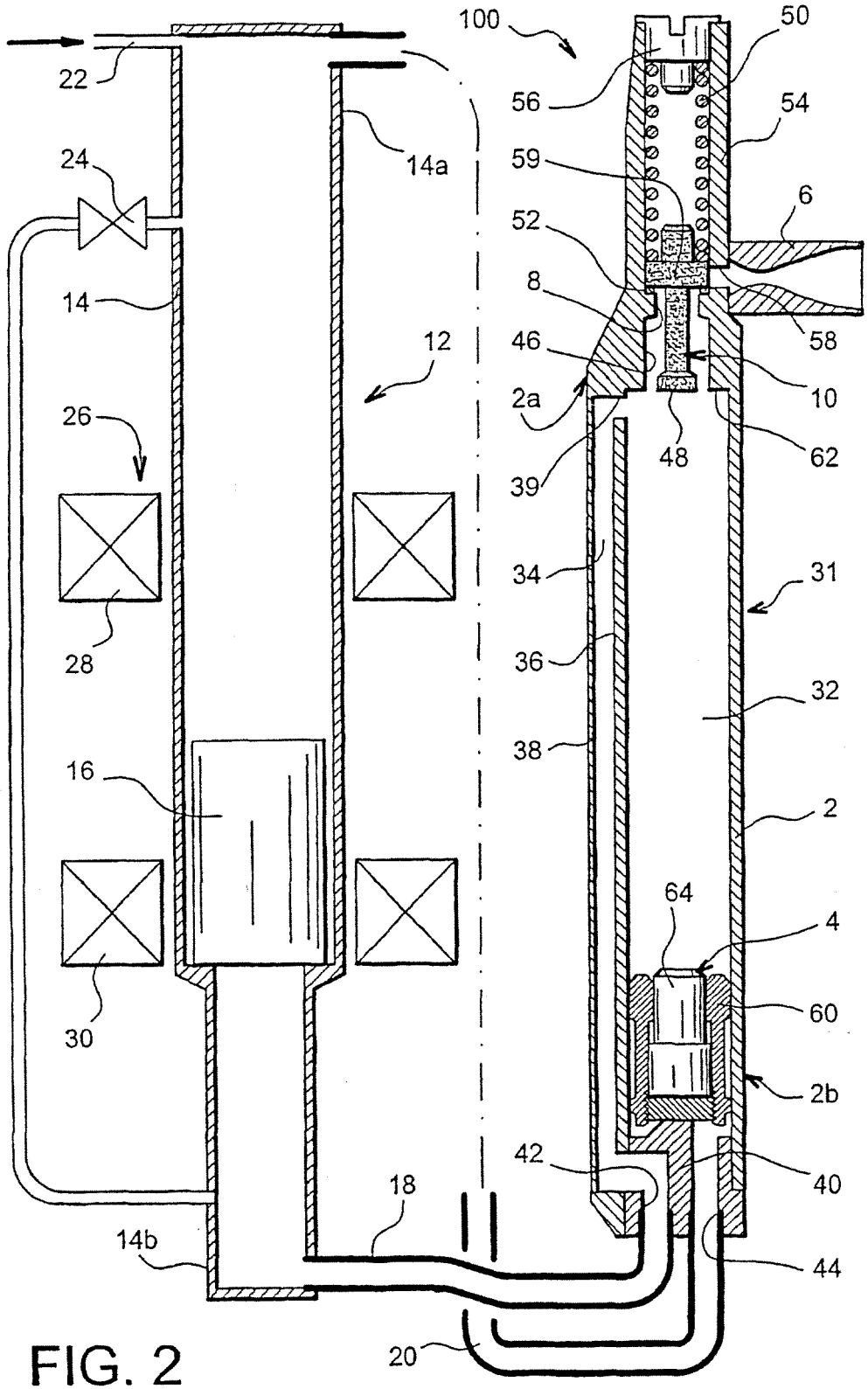

100
50
22
56
54
14a
59
24
6
52
8
14
58
12
46
10
2a
26
48
62
39
34
31
28
36
32
38
16
2
64
4
30
60
2b
42
40
18
14b
44
20

FIG. 2

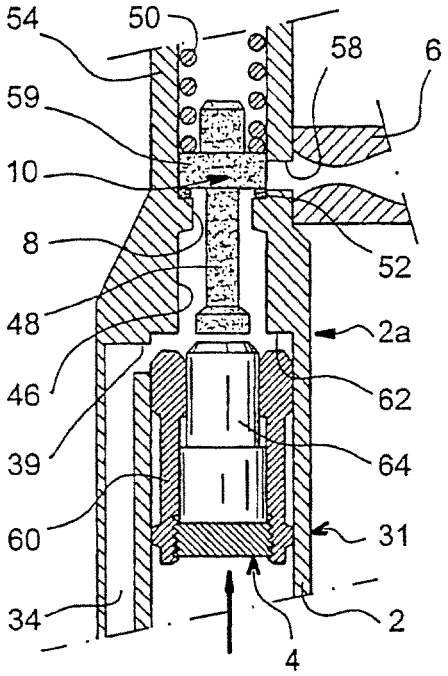


FIG. 3a

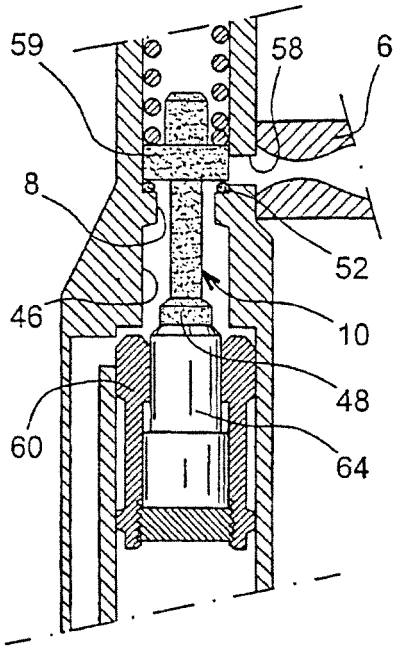


FIG. 3b

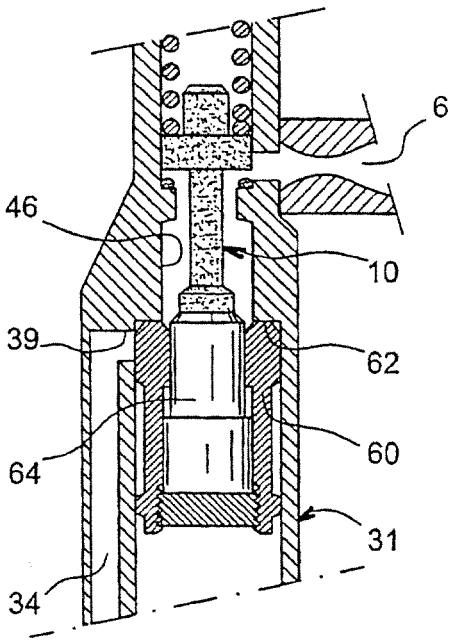


FIG. 3c

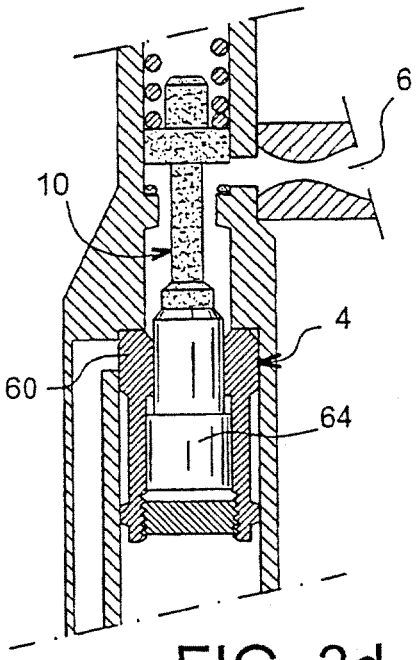


FIG. 3d

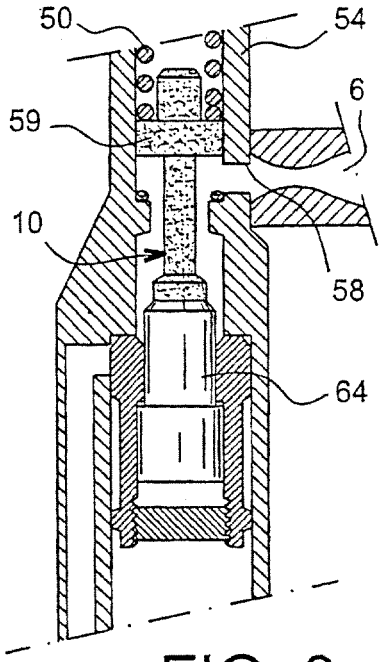


FIG. 3e

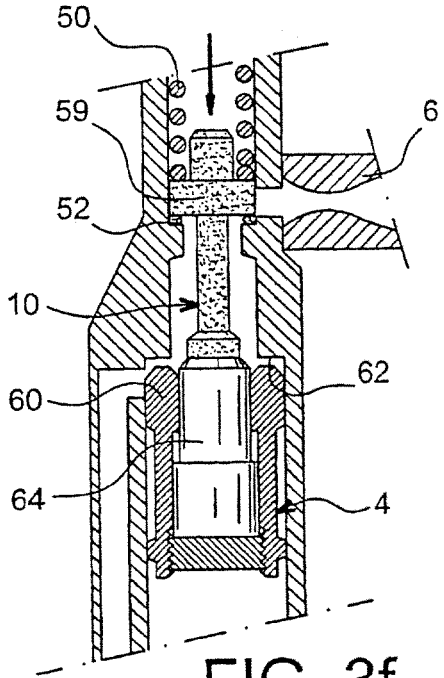


FIG. 3f

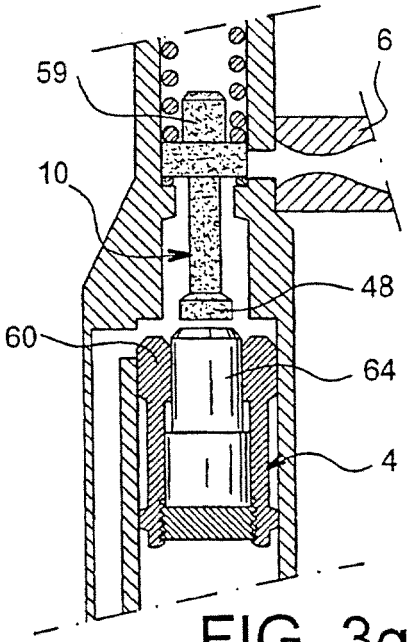


FIG. 3g

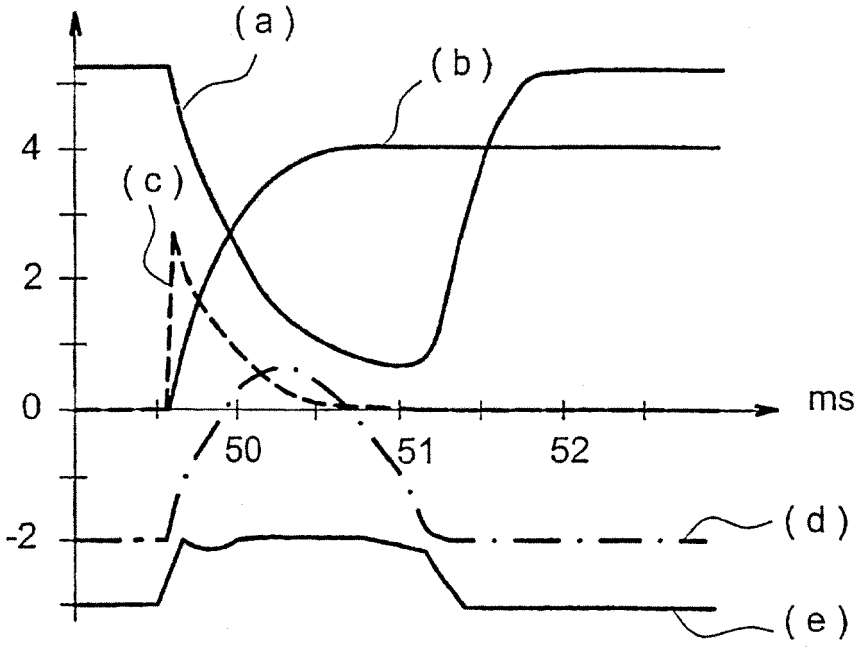


FIG. 4

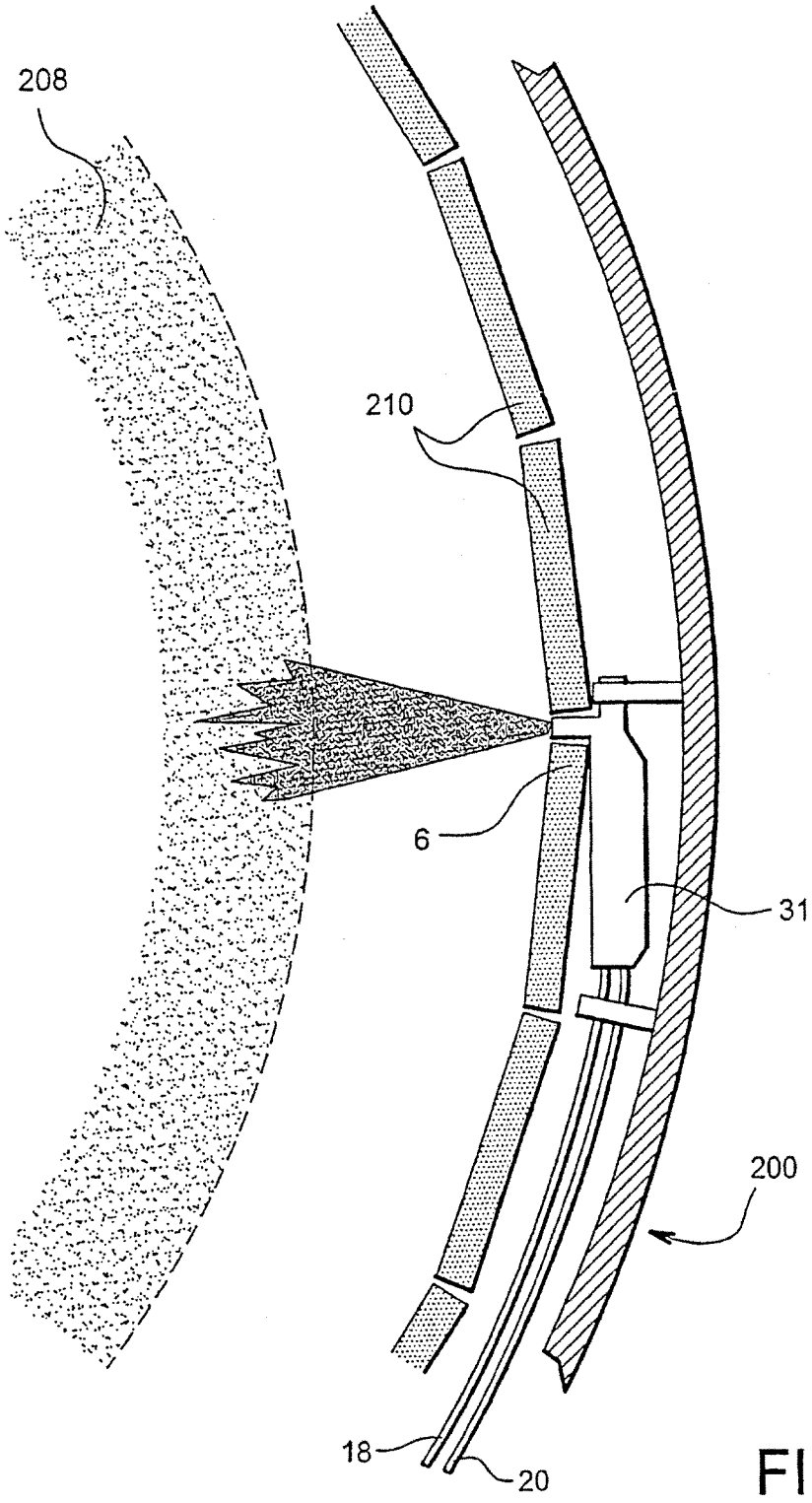


FIG. 5