

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 706 632 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

25.03.1998 Bulletin 1998/13

(21) Numéro de dépôt: **94921676.6**

(22) Date de dépôt: **04.07.1994**

(51) Int Cl.⁶: **F25B 9/12**

(86) Numéro de dépôt international:
PCT/FR94/00818

(87) Numéro de publication internationale:
WO 95/02158 (19.01.1995 Gazette 1995/04)

(54) **PROCEDE D'OBTENTION DE TRES BASSES TEMPERATURES**

VERFAHREN ZUR TIEFSTTEMPERATURERZEUGUNG

METHOD FOR PRODUCING VERY LOW TEMPERATURES

(84) Etats contractants désignés:

**AT BE CH DE DK ES FR GB GR IE IT LI LU MC NL
PT SE**

(30) Priorité: **05.07.1993 FR 9308201**

(43) Date de publication de la demande:
17.04.1996 Bulletin 1996/16

(73) Titulaire: **CENTRE NATIONAL D'ETUDES
SPATIALES
75001 Paris (FR)**

(72) Inventeurs:

- **BENOIT, Alain, Daniel
F-38320 Eybens (FR)**
- **PUJOL, Serge
F-38320 Poisat (FR)**

(74) Mandataire: **Colas, Jean-Pierre et al
Cabinet de Boisse,
L.A. de Boisse - J.P. Colas,
37, avenue Franklin D. Roosevelt
75008 Paris (FR)**

(56) Documents cités:

EP-A- 0 327 457 DE-A- 3 435 229

- **R. W. FAST 'ADVANCES IN CRYOGENIC
ENGINEERING' 1990, PLENUM PRESS, NEW
YORK VOLUME 35, PART B voir page 1079 - page
1086**
- **DATABASE WPI Week 8652 Derwent
Publications Ltd., London, GB; AN 86-345319 &
SU,A,1 229 528 (HELIUM TECH RES INS), 15
Octobre 1984**
- **CRYOGENICS, vol. 30, Septembre 1990
GUILDFORD GB, pages 447-451, MASAHIRO
SAWANO ET AL 'DEVELOPMENT OF A
TRANSPORTABLE DILUTION REFRIGERATOR
WITH A CRYOGENIC 3HE J-T CIRCULATION
SYSTEM'**
- **CRYOGENICS, vol. 30, no.1, Janvier 1990
GUILDFORD GB, pages 52-55, A. N. CHERNIKOV
ET AL. 'INSTALLATION FOR PRODUCING LOW
TEMPERATURE IN THE 0.028-4.2 K RANGE'**
- **CRYOGENICS, vol. 27, no.8, Août 1987
GUILDFORD GB, pages 454-457, K. UHLIG '3HE
/ 4HE DILUTION REFRIGERATOR WITHOUT A
PUMPED 4HE STAGE'**

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

EP 0 706 632 B1

Description

La présente invention est relative à un procédé et un dispositif pour obtenir de très basses températures, inférieures à 1°K environ, et notamment à 0,1°K.

Le document EP-A-0327.457, qui correspond au brevet US-A-4.991.401 et qui cite comme inventeur un des auteurs de la présente invention, décrit un cryostat qui comprend un point de mélange dans lequel on entretient un système diphasique comprenant une phase de solution de 3He dans 4He liquide et une phase de liquide formée de 3He pur. On introduit en continu dans un point de mélange, séparément, du 3He et du 4He liquide, et on extrait la solution du point de mélange à une vitesse telle que le 3He ne puisse pas revenir en arrière pour élever la teneur en 3He du 4He et le rendre par conséquent moins apte à dissoudre le 3He liquide introduit. Le point de mélange est placé dans une enceinte portée à moins de 2°K.

Plus précisément, dans le point de mélange, les deux fluides en se mélangeant créent un système diphasique comprenant une phase riche en 3He et une phase diluée, l'énergie de dilution ou de mise en solution étant utilisée pour le refroidissement, la succession des deux phases dans le tube de sortie du mélange empêche la diffusion du 3He dissous à contre-courant dans la partie froide du système, tandis qu'à plus haute température (au-dessus de 0,5 K), la solubilité du 3He dans le 4He augmente, le mélange ne comporte plus qu'une seule phase et la vitesse doit être suffisante pour que le 3He ne puisse pas diffuser à contre-courant.

Ce cryostat présente l'avantage de pouvoir fonctionner en l'absence de gravité car il ne comprend pas de distillateur, ce qui le rend particulièrement avantageux pour des utilisations spatiales. Dans de telles utilisations, le cryostat peut fonctionner en rejetant dans l'espace les faibles quantités de mélange de 4He et 3He qu'il produit. Au cas où le véhicule doit revenir à terre, on peut aussi stocker ce mélange dans un réservoir, en vue de le distiller au sol. Si le cryostat est utilisé à terre, il pourra, bien entendu, être couplé avec une installation de distillation, l'ensemble fonctionnant alors en circuit fermé.

Une difficulté rencontrée dans l'utilisation de ce cryostat résulte de la nécessité d'avoir un réservoir d'hélium superfluide pour maintenir l'enceinte à moins de 2°K, ce qui est une complication. On sait qu'un tel stockage impose des sujétions particulières, difficiles à remplir notamment à bord d'un vaisseau spatial.

La présente invention a pour but de fournir un cryostat fonctionnant selon le procédé décrit dans EP-A-0327.457 et qui présente une construction simple, soit peu encombrant, et consomme peu d'énergie, et plus spécialement soit affranchi de la nécessité de produire et/ou stocker de l'hélium superfluide pour refroidir l'enceinte à 2°K ou moins.

Pour obtenir ce résultat, l'invention fournit un procédé d'obtention de très basses températures selon le-

quel on introduit en continu du 4He et du 3He que l'on refroidit à l'aide d'échangeurs de chaleur à température de l'ordre de 0,2°K ou inférieure, dans le point où on les mélange pour absorber de la chaleur par la dilution du 3He dans le 4He, produisant ainsi un refroidissement du mélange diphasique formé, lequel mélange est extrait à travers un conduit conçu pour que le 3He ne puisse pas diffuser à contre-courant et réduire la dissolution du 3He, procédé dans lequel un échangeur de chaleur adjacent au point de mélange est utilisé pour le refroidissement des fluides se dirigeant vers le point le plus froid par le mélange extrait circulant en sens opposé, la particularité principale de ce procédé étant que le 4He et le 3He destinés à être mélangés sont refroidis de leur température d'alimentation à une température inférieure à 2,5°K par échange avec le mélange extrait, la puissance étant absorbée par l'utilisation d'une expansion Joule-Thomson de ce mélange, permettant ainsi au système de fonctionner avec une température d'alimentation bien supérieure à 4°K.

La puissance de refroidissement lors de l'expansion Joule-Thomson ne dépend que des pressions d'entrée et de sortie du mélange. Les meilleures performances sont obtenues pour des pressions de l'ordre de 2 à 15 bars en entrée et de 1 à 50 millibars en sortie.

L'invention résulte de la constatation que, par une utilisation judicieuse de la détente Joule-Thomson des fluides utilisés pour le procédé de refroidissement à très basse température, il est possible de pré-refroidir les fluides entrant dans le système à partir d'une température beaucoup plus élevée, de l'ordre de 4 à 10°K, permettant de s'affranchir des installations auxiliaires de prérefroidissement nécessaires dans l'art antérieur, et en particulier de bain d'hélium superfluide. Les températures de 4 à 10°K sont facilement obtenues à l'aide d'une machine cryogénique Stirling suivie d'une étape Joule-Thomson classique à 4He liquide.

L'invention va maintenant être expliquée de façon plus détaillée à l'aide d'exemples pratiques, illustrés à l'aide des figures, parmi lesquelles :

Figure 1 est un schéma théorique de l'installation de l'art antérieur,

Figure 2 est un schéma théorique d'une installation conforme à l'invention,

Figure 3 est un diagramme enthalpique de l'hélium 4 sur lequel on a reporté les points importants du schéma de la figure 2.

La figure 1 montre le schéma de principe d'une réalisation pratique qui fonctionne conformément aux indications du document EP-A-0327.457 cité plus haut.

Du gaz 4He et du gaz 3He purs sont injectés sous pression (environ 3 bars) et à température ambiante, chacun dans un échangeur de chaleur 1, en contact avec une réserve d'hélium superfluide, symbolisée en 2, qui porte aussi l'enceinte 3 du cryostat, et sont refroidis à 2°K environ. Les deux fluides sont alors refroidis dans un échangeur de température 4, puis la chaleur absorbée par leur mélange dans une chambre de mé-

lange 5 permet de refroidir un support 6 à une température de l'ordre de 0,1°K. Le mélange M absorbe de la chaleur dans l'échangeur 4 avant de sortir du cryostat à une pression de sortie maintenue aux environs de 2 bars. La différence de pression avec celle d'entrée est due à la perte de charge dans les échangeurs.

Dans la réalisation pratique, l'échangeur 4 comprend deux parties, la partie chaude (0,5°K à 2°K) de 1 mètre de longueur est composée de trois tubes de 0,03 mm de diamètre intérieur, soudés ensemble, tandis que la partie froide (0,1°K à 0,5°K) est formée de trois tubes de 0,02 mm de diamètre et de 3 mètres de long soudés ensemble.

La figure 2 est une vue schématique du dispositif de la figure 1 modifié conformément à l'invention. Sur les deux figures, les mêmes références désignent les mêmes éléments.

Des gaz 4He et 3He purs sont injectés sous pression (entre 2 et 20 bars) et à température ambiante. Ils sont ensuite refroidis entre 4°K et 10°K par des échangeurs 10, eux-mêmes couplés à une machine annexe de prérefroidissement 11. Pénétrant dans une enceinte extérieure 13, les fluides sont refroidis à une température de l'ordre de 2°K par les échangeurs 12, eux-mêmes couplés à une enceinte intermédiaire 3. L'intérieur de cette enceinte est identique à celui de la figure 1.

A la sortie de l'échangeur 4, le mélange a subi une perte de charge et se retrouve à basse pression dans un échangeur 14 où le liquide est évaporé, fournissant un grand pouvoir réfrigérant qui est utilisé pour refroidir l'écran limitant l'enceinte extérieure 13, ainsi que les fluides entrant par les échangeurs 12. Le mélange 11 quitte ensuite le cryostat à basse pression (entre 1 et 50 milibars) par un tube 15.

La figure 3, qui représente un diagramme enthalpique de l'hélium 4 permet de comprendre l'aspect physique des phénomènes qui se produisent à l'intérieur de l'appareil. Ce diagramme est relatif à de l'hélium 4 pur, alors qu'on utilise de l'hélium 4 et de l'hélium 3 soit séparément, soit en mélange. Dans la pratique, la proportion d'hélium 3 par rapport à l'hélium 4 est relativement faible, environ 20%, si bien que le diagramme de la figure 3 donne quand même une assez bonne idée d'ensemble de ce qui se passe.

Pour une pression d'entrée de 9 bars et une température de 4°K par exemple (point A), l'enthalpie est de 50 J/mole. Si la pression de sortie est fixée à 30 milibars, le fluide conserve son enthalpie et se retrouve au point B à une température de 2°K, avec un mélange diphasique moitié vapeur, moitié liquide. La puissance de refroidissement disponible est donnée par la différence d'enthalpie entre les points B et C, soit environ 50 J/mole. Pour un débit typique de 10 µmoles/s, la puissance disponible sur l'enceinte 3 est donc de 0,5 mW. Pour une température d'entrée supérieure à 7°K, le même raisonnement conduit à une puissance disponible nulle. Il faut alors ajouter un échangeur de chaleur continu entre les tubes d'entrée connectant les échangeurs 10 et

12 et le tube de sortie 15. L'utilisation d'un tel échangeur couplé à une détente Joule-Thomson est un procédé bien connu qui permet de faire fonctionner une telle détente avec une température de départ supérieure (jusqu'à 10°K ou 20°K).

Avec les débits utilisés (1,5 µmole/s de 3He et 6 µmole/s de 4He), les quantités de gaz nécessaires sont de 1000 litres par an d'hélium 3 et 4000 litres par an d'hélium 4. Si nous utilisons des bouteilles standard à haute pression (volume 5 litres, pression 200 bars, poids 6,7 kg), le cryostat n'a besoin que d'une bouteille d'hélium 3 et quatre bouteilles d'hélium 4 par an, ce qui correspond à 33,5 kg par an. Ce poids peut être réduit aisément en utilisant des bouteilles haute pression faites en des matériaux plus résistants.

Comme tous les fluides sont confinés dans des petits tubes et qu'il n'y a pas de surface libre de séparation de base, le système est insensible à la gravité.

La simplicité du système permet une commande très simple par ajustement des débits des deux fluides à l'entrée du cryostat. Cela permet d'arrêter et de faire repartir la dilution pour optimiser la consommation d'hélium gazeux.

Avec cette structure, il est possible de refroidir des détecteurs, par exemple jusqu'à une température de 0,1°K dans un satellite, utilisant un petit cryogénérateur absorbant une puissance de quelques milliwatts à une température de 5°K. Le procédé est très fiable ne comportant pas de pièces mécaniques, et son utilisation exige de l'ordre de 5000 litres de gaz par an. Le dispositif est donc bien adapté pour des expériences de longue durée, dans l'espace notamment.

Revendications

1. Procédé d'obtention de très basses températures selon lequel on introduit en continu du 4He et du 3He que l'on refroidit à l'aide d'échangeurs de chaleur à température de l'ordre de 0,2°K ou inférieure, dans le point (5) où on les mélange pour absorber de la chaleur par la dilution du 3He dans le 4He, produisant ainsi un refroidissement du mélange diphasique formé, lequel mélange (M) est extrait à travers un conduit conçu pour que le 3He ne puisse pas diffuser à contre-courant et réduire la dissolution du 3He, procédé dans lequel un échangeur de chaleur (4) adjacent au point de mélange (5) est utilisé pour le refroidissement des fluides se dirigeant vers le point le plus froid par le mélange extrait (M) circulant en sens opposé,

caractérisé en ce que le 4He et le 3He destinés à être mélangés sont refroidis de leur température d'alimentation à une température inférieure à 2,5°K par échange avec le mélange extrait, la puissance étant absorbée par l'utilisation d'une expansion Joule-Thomson de ce mélange, permettant ainsi au système de fonctionner avec une tempéra-

ture d'alimentation bien supérieure à 4°K.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'expansion Joule-Thomson se traduit par une baisse de pression jusqu'à environ 1 à 50 mb, la pression d'alimentation de 4He et de 3He étant d'environ 2 à 15 bars
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'expansion et une éventuelle vaporisation consécutive du mélange sont effectuées entre 1,5 et 2,5°K environ.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le point de mélange (5) et l'échangeur adjacent (4) sont placés dans une enceinte (13) maintenue à une température inférieure à 2,5°K.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von sehr niedrigen Temperaturen, gemäß welchem man kontinuierlich 4He und 3He, die man mit Hilfe von Wärmetauschern auf eine Temperatur von etwa 0,2°K oder darunter kühlt, in den Punkt (5) einführt, an dem man sie mischt, um durch die Verdünnung von 3He in 4He Wärme zu absorbieren, was eine Kühlung der gebildeten zweiphasigen Mischung bewirkt, wobei diese Mischung (M) über eine Leitung abgezogen wird, die so beschaffen ist, daß das 3He nicht im Gegenstrom diffundieren und die Lösung des 3He verringern kann, bei welchem Verfahren ein dem Mischpunkt (5) benachbarter Wärmetauscher (4) zum Kühlen der zum kältesten Punkt strömenden Fluide durch die in entgegengesetzter Richtung strömende abgezogene Mischung (M) verwendet wird, dadurch gekennzeichnet, daß das 3He und das 4He, die dazu bestimmt sind, gemischt zu werden, von ihrer Einspeisungstemperatur durch Austausch mit der abgezogenen Mischung auf eine Temperatur unter 2,5°K gekühlt werden, wobei die Energie durch die Anwendung einer Joule-Thomson-Expansion dieser Mischung absorbiert wird, so daß das System mit einer Einspeisungstemperatur von weit über 4°K arbeiten kann.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Joule-Thomson-Expansion in einer Druckabsenkung bis auf etwa 1 bis 50 mbar äußert, wobei der Einspeisungsdruck von 4He und 3He etwa 2 bis 15 bar beträgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Expansion und eine ggf. darauffolgende Verdampfung der Mischung zwischen

etwa 1,5 und 2,5°K durchgeführt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Mischpunkt (5) und der benachbarte Wärmetauscher (4) in einer auf einer Temperatur unter 2,5°K gehaltenen Kammer (13) angeordnet sind.

Claims

1. A method for obtaining very low temperatures, according to which 4He and 3He, which are cooled with the aid of heat exchangers to a temperature of the order of 0.2 K or below, are introduced into the point (5) where they are mixed to absorb heat by dilution of the 3He in the 4He, thus producing cooling of the produced two-phase mixture, which mixture (M) is extracted through a conduit designed so that the 3He cannot diffuse in countercurrent and reduce the dissolution of 3He, in which method a heat exchanger (4) adjacent the mixing point (5) is used to cool, by the extracted mixture (M) circulating in the opposite direction, the fluids flowing toward the coldest point, characterized in that the 4He and the 3He which are intended to be mixed are cooled from their supply temperature to a temperature of less than 2.5 K by exchange with the extracted mixture, the power being absorbed by using a Joule-Thomson expansion of this mixture, thus permitting the system to operate with a supply temperature well in excess of 4 K.
2. The method as claimed in claim 1, characterized in that the Joule-Thomson expansion results in a pressure drop to approximately 1 to 50 mb, the supply pressure of 4He and of 3He being approximately 2 to 15 bar.
3. The method as claimed in claim 1, characterized in that the expansion and a possible subsequent vaporization of the mixture are carried out between approximately 1.5 and 2.5 K.
4. The method as claimed in claim 1, characterized in that the mixing point (5) and the adjacent exchanger (4) are placed in an enclosure (13) kept at a temperature of less than 2.5 K.

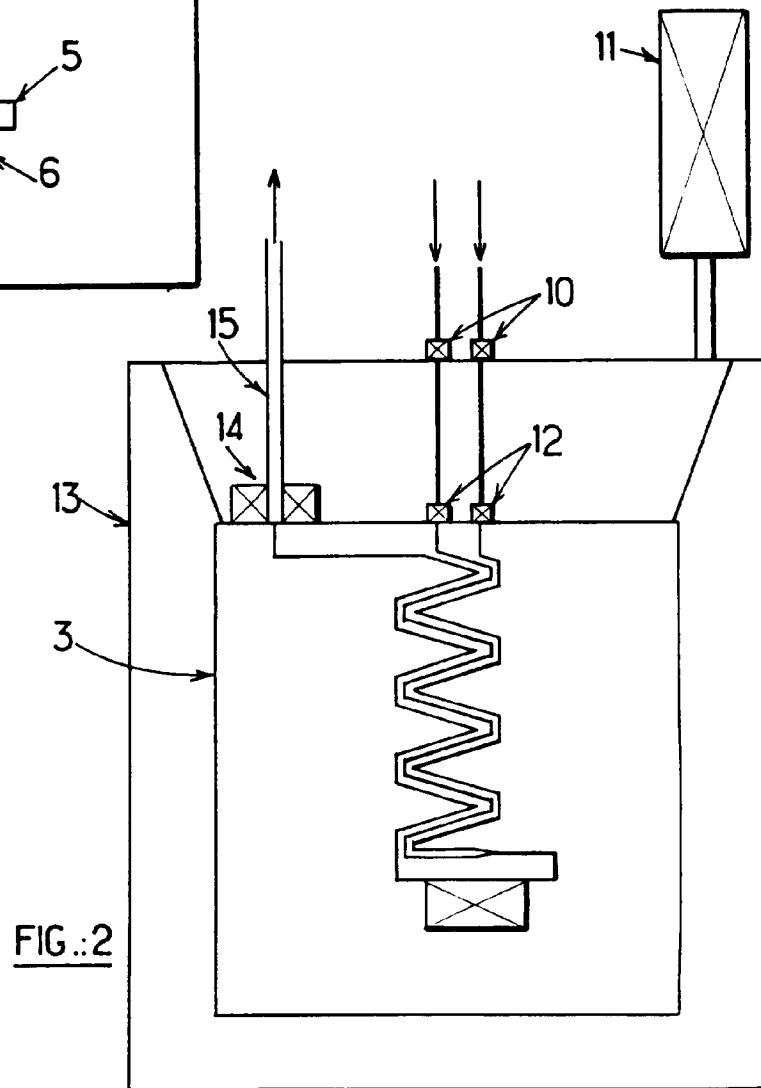
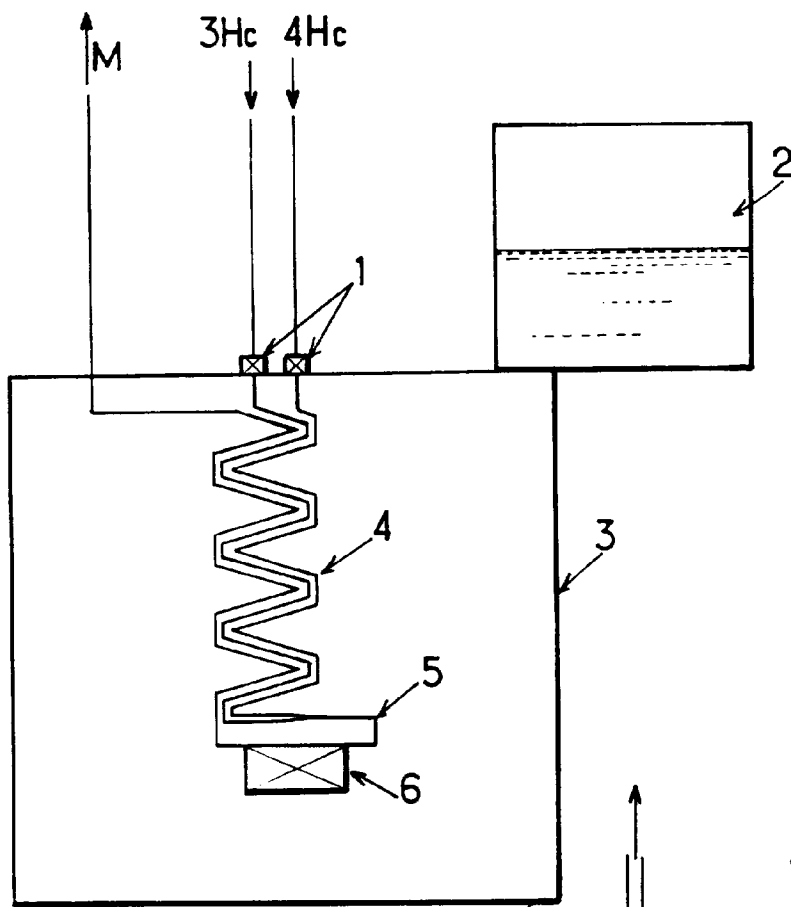


FIG.:3

