

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2024-523917

(P2024-523917A)

(43)公表日 令和6年7月2日(2024.7.2)

(51)国際特許分類 F I  
 F 2 5 B 9/10 (2006.01) F 2 5 B 9/10 A  
 F 2 5 B 9/00 (2006.01) F 2 5 B 9/00 J

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全17頁)

(21)出願番号 特願2023-579098(P2023-579098)  
 (86)(22)出願日 令和4年7月4日(2022.7.4)  
 (85)翻訳文提出日 令和5年12月22日(2023.12.22)  
 (86)国際出願番号 PCT/EP2022/025306  
 (87)国際公開番号 WO2023/280439  
 (87)国際公開日 令和5年1月12日(2023.1.12)  
 (31)優先権主張番号 21020348.5  
 (32)優先日 令和3年7月5日(2021.7.5)  
 (33)優先権主張国・地域又は機関  
 欧州特許庁(EP)  
 (81)指定国・地域 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA  
 ,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(  
 AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,A  
 T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR  
 ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,  
 最終頁に続く

(71)出願人 522394373  
 リンデ クライオテヒニク アーゲー  
 スイス連邦 8 4 2 2 プフンゲン, デッ  
 トリコナーシュトラッセ 5  
 (74)代理人 110000855  
 弁理士法人浅村特許事務所  
 (72)発明者 デッカー、ルッツ  
 ドイツ連邦共和国 8 2 0 4 9 プラッハ  
 , ドクトル-カール-フォン-リンデ-  
 シュトラッセ 6 - 1 4 , リンデ ゲーエ  
 ムペーハー , アイビー イーエムイーエ  
 ー宛

(54)【発明の名称】 ヘリウム冷却供給のための予冷回路及び方法

(57)【要約】

冷却すべき少なくとも1つの負荷(72)へのヘリウム冷却供給を行うための予冷回路が提供され、この予冷回路は、冷却すべき少なくとも1つの負荷と熱交換を行うように設計されている低温放出装置(10)を介して相互に接続されている送り管(30)及び戻り管(32)と、熱を周囲に放出し、流れ戻ってきたヘリウムを圧縮し、圧縮されたヘリウムを送り管に案内するように設計されているヘリウム冷凍装置(2)と、第1の冷却槽容器(34)及び第2の冷却槽容器(36)であって、送り管が、第1の冷却槽容器(34)の底部空間に配置されている第1の熱交換器(40)を通り、続いて低温放出装置の方向において、第2の冷却槽容器(36)の底部空間に配置されている第2の熱交換器(42)を通過して延びており、第1の冷却槽容器の頂部空間が、戻り供給管(18)を介してヘリウム冷凍装置に接続されている、第1の冷却槽容器(34)及び第2の冷却槽容器(36)と、エジェクタ(50)と、を含み、駆動流開口部が戻り管に接続されており、吸引開口部が第2の冷却槽容器の頂部空間に接続されており、吐出開口部が第

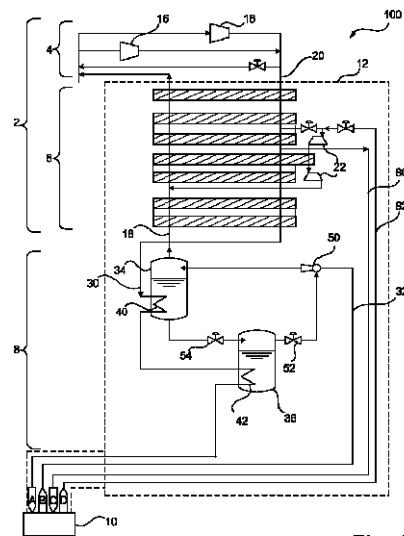


Fig. 1

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

冷却すべき少なくとも 1 つの負荷 ( 7 2 ) へのヘリウム冷却供給を行うための予冷回路 ( 1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0 、 4 0 0 ) において、

前記冷却すべき少なくとも 1 つの負荷と熱交換を行うように設計されている低温放出装置 ( 1 0 ) を介して相互に接続されている送り管 ( 3 0 ) 及び戻り管 ( 3 2 ) と、

熱を周囲に放出し、流れ戻ってきたヘリウムを圧縮し、圧縮されたヘリウムを前記送り管に案内するように設計されているヘリウム冷凍装置 ( 2 ) と、

第 1 の冷却槽容器 ( 3 4 ) 及び第 2 の冷却槽容器 ( 3 6 ) であって、前記送り管は、前記第 1 の冷却槽容器 ( 3 4 ) の底部空間に配置されている第 1 の熱交換器 ( 4 0 ) を通り、続いて前記低温放出装置の方向において、前記第 2 の冷却槽容器 ( 3 6 ) の底部空間に配置されている第 2 の熱交換器 ( 4 2 ) を通って延びており、前記第 1 の冷却槽容器の頂部空間は、戻り供給管 ( 1 8 ) を介して前記ヘリウム冷凍装置に接続されていることによつて、前記流れ戻ってきたヘリウムが前記ヘリウム冷凍装置に供給される、第 1 の冷却槽容器 ( 3 4 ) 及び第 2 の冷却槽容器 ( 3 6 ) と、

10

前記戻り管に接続されている駆動流開口部、前記第 2 の冷却槽容器の頂部空間に接続されて吸引開口部、及び前記第 1 の冷却槽容器の前記頂部空間に接続されている吐出開口部を備えたエジェクタ ( 5 0 ) であって、前記戻り管を通り前記低温放出装置から流れ戻ってきたヘリウムを駆動流として使用することによつて、ヘリウム蒸気を前記第 2 の冷却槽容器から吸引し、前記第 1 の冷却槽容器の圧力まで上昇させるように設計されているエジェクタ ( 5 0 ) と、を含むことを特徴とする予冷回路 ( 1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0 、 4 0 0 ) 。

20

## 【請求項 2】

前記負荷の下流側において、前記戻り管 ( 3 2 ) から分岐されている副戻り管 ( 5 8 ) が、前記第 1 の冷却槽容器 ( 3 4 ) の底部空間に配置されている第 4 の熱交換器 ( 4 6 ) を通って延びており、且つ前記エジェクタの前記駆動流開口部の上流側において前記戻り管に開口しており、

好適には、前記副戻り管を通過する流れを制御するために、前記副戻り管、及び / 又は前記副戻り管に並行な前記戻り管には、少なくとも 1 つのバルブ ( 6 0 、 6 2 ) が配置されている、請求項 1 記載の予冷回路 ( 2 0 0 、 4 0 0 ) 。

30

## 【請求項 3】

第 3 の冷却槽容器 ( 3 8 ) を含み、前記送り管 ( 3 0 ) は、前記第 2 の冷却槽容器に続いて、前記第 3 の冷却槽容器の底部空間に配置されている第 3 の熱交換器 ( 4 4 ) を通って延びており、前記第 3 の冷却槽容器の頂部空間は、真空ポンプに接続されており、前記真空ポンプは、前記頂部空間からヘリウム蒸気を吸い上げて前記ヘリウム冷凍装置に供給するように設計されており、好適には、吸い上げられたヘリウムの圧力レベルを前記ヘリウム冷凍装置の圧力レベルまで上昇させる圧縮機 ( 6 6 ) が設けられていることを特徴とする、請求項 1 又は 2 記載の予冷回路 ( 3 0 0 、 4 0 0 ) 。

## 【請求項 4】

前記第 1 の冷却槽容器 ( 3 4 ) は、前記頂部空間におけるヘリウム蒸気と平衡状態にある液体のヘリウムを前記底部空間に収容するように設計されており、1 . 0 パールから 1 . 5 パールの範囲にあり、

40

前記第 2 の冷却槽容器 ( 3 6 ) は、前記頂部空間におけるヘリウム蒸気と平衡状態にある液体のヘリウムを前記底部空間に収容するように設計されており、第 2 の平衡状態圧力は、好適には、0 . 4 パールから 0 . 6 5 パールの範囲にあり、

請求項 3 に従属する場合、前記第 3 の冷却槽容器 ( 3 8 ) は、前記頂部空間におけるヘリウム蒸気と平衡状態にある液体のヘリウムを前記底部空間に収容するように設計されており、第 3 の平衡状態圧力は、好適には、0 . 1 パールから 0 . 3 パールの範囲にあることを特徴とする、請求項 1 から 3 のいずれか一項記載の予冷回路 ( 1 0 0 、 2 0 0 、 3 0 0 、 4 0 0 ) 。

50

**【請求項 5】**

前記ヘリウム冷凍装置(2)は、少なくとも1つのコンプレッサ(16)を含み、且つヘリウムを7パールから18パールの範囲、好適には10パールから15パールの範囲の圧力に圧縮するように設計されていることを特徴とする、請求項1から4のいずれか一項記載の予冷回路(100、200、300、400)。

**【請求項 6】**

前記ヘリウム冷凍装置(2)は、熱交換器システム(6)を含み、前記流れ戻ってきたヘリウムは、前記圧縮されたヘリウムとは逆方向の流れで前記熱交換器システムを通過して案内されることを特徴とする、請求項5記載の予冷回路(100、200、300、400)。

10

**【請求項 7】**

前記低温放出装置(10)は、シールド循環系を含み、

前記ヘリウム冷凍装置は、ヘリウムシールド流を供給するように設計されており、前記ヘリウムシールド流は、前記ヘリウム冷凍装置から前記シールド循環系に案内され、前記シールド循環系から前記ヘリウム冷凍装置へと戻るように案内されることを特徴とする、請求項1から6のいずれか一項記載の予冷回路(100、200、300、400)。

**【請求項 8】**

前記低温放出装置(10)は、冷却すべき複数の負荷(72)と熱交換するように設計されており、前記負荷は、相互に独立して、前記送り管及び前記戻り管に接続可能及び切り離し可能であることを特徴とする、請求項1から7のいずれか一項記載の予冷回路(100、200、300、400)。

20

**【請求項 9】**

請求項1から8のいずれか一項記載の、閉じられた予冷回路と、前記冷却すべき少なくとも1つの負荷として前記低温放出装置に接続されている少なくとも1つの混合クライオスタットと、を含み、好適には、前記低温放出装置は、前記送り管及び前記戻り管が前記少なくとも1つの混合クライオスタットの少なくとも1つのヘリウム槽に接続されているように設計されていることを特徴とする、低温装置。

**【請求項 10】**

少なくとも1つのサンプルが、請求項9記載の低温装置の前記少なくとも1つの混合クライオスタット内に配置されており、1Kを下回る温度まで冷却されることを特徴とする、低温方法。

30

**【請求項 11】**

冷却すべき少なくとも1つの負荷へのヘリウム冷却供給を行うための方法において、流れ戻ってきたヘリウムを圧縮するステップと、

圧縮されたヘリウムを、第1の冷却槽(34)と、後段の第2の冷却槽(36)とを通過するように案内して、超臨界状態のヘリウムを得るステップと、

前記超臨界ヘリウムを、前記冷却すべき少なくとも1つの負荷と熱交換する低温放出装置(10)に案内するステップと、

前記ヘリウムの戻り流を前記低温放出装置からエジェクタ(50)の駆動流開口部へと案内するステップと、

40

前記第2の冷却槽と平衡状態にある第2のヘリウム蒸気を前記エジェクタを用いて吸引して、前記第1の冷却槽と平衡状態にある第1のヘリウム蒸気に供給するステップと、

流れ戻ってきた前記ヘリウムを得るために、前記第1のヘリウム蒸気を誘導するステップと、を有することを特徴とする、方法。

**【請求項 12】**

前記戻り流の少なくとも一部を分岐させて、副戻り流を形成するステップと、

前記副戻り流を前記第1の冷却槽を通して案内し、続いて前記戻り流へと案内するステップと、を有することを特徴とする、請求項11記載の方法。

**【請求項 13】**

前記圧縮されたヘリウムを前記第2の冷却槽の下流側にある第3の冷却槽を通して案内

50

するステップを含む、請求項 1 1 又は 1 2 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷却すべき少なくとも 1 つの負荷へのヘリウム冷却供給を行うための予冷回路及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

量子コンピュータを冷却するためのような基礎研究においては、1 K を遥かに下回る冷却温度が必要になる。このために、現状の従来技術によれば、混合クライオスタットが使用され、それらの混合クライオスタットは、パルスチューブ冷凍機、スターリング冷凍機又はギフォード・マクマホン冷凍機でもって、3 ~ 4 K までの範囲において予冷を行う。低い予冷温度は、混合クライオスタットの効率についての前提条件である。これらの予冷冷凍機の冷却能力は、シールド冷却としての 50 K の付加的な冷却能力も含め、僅か数ワットの範囲である。従って、混合クライオスタットには、例えばそれぞれ 2 つのパルスチューブ冷凍機が装備されている。

【0003】

特に量子コンピュータの研究の進展に伴い、予冷における所要電力が大幅に増大している。しかしながら、上述の予冷システムの効率は非常に低い。このことは、比較的小型の用途では特に重要ではなく、ここでは、混合クライオスタットの一般的に高額なインシャルコストが決定的な要因となる。しかしながら、予冷システムが複数個配置される場合には、エネルギー消費が線形に上昇するので、結果として生じる運転コストは顕著なものとなる。更に、例えば複数の量子コンピュータのために複数の混合クライオスタットが運転される場合には、この問題はより深刻になる。

【0004】

つまり、1 つ以上の混合クライオスタットが可能な限り低い温度での冷凍、特にヘリウム冷凍を行うことができる効率的な予冷システムの需要があり、特に複数の混合クライオスタットの場合には、冷却供給又は冷却能力が可変であることが望ましい。

【発明の開示】

【0005】

この課題は、独立請求項の特徴を備えた、冷却すべき少なくとも 1 つの負荷のヘリウム冷却供給のための予冷回路及び方法によって解決される。従属請求項は、好適な実施形態に関する。

【0006】

冷却すべき少なくとも 1 つの負荷へのヘリウム冷却供給を行うための（閉じられた）予冷回路は、冷却すべき少なくとも 1 つの負荷と熱交換を行うように設計されている低温放出装置を介して相互に接続されている送り管及び戻り管と、熱を周囲に放出し、流れ戻ってきたヘリウムを圧縮し、圧縮されたヘリウムを送り管に案内するように設計されているヘリウム冷凍装置と、第 1 の冷却槽容器及び第 2 の冷却槽容器であって、送り管が、第 1 の冷却槽容器の底部空間に配置されている第 1 の熱交換器を通り、続いて低温放出装置の方向において、第 2 の冷却槽容器の底部空間に配置されている第 2 の熱交換器を延びており、第 1 の冷却槽容器の頂部空間が、戻り供給管を介してヘリウム冷凍装置に接続されていることによって、流れ戻ってきたヘリウムがヘリウム冷凍装置に供給される、第 1 の冷却槽容器及び第 2 の冷却槽容器と、戻り管に接続されている駆動流開口部、第 2 の冷却槽容器の頂部空間に接続されている吸引開口部、及び第 1 の冷却槽容器の頂部空間に接続されている吐出開口部を備えたエジェクタであって、戻り管を通り低温放出装置から流れ戻ってきたヘリウムを駆動流として使用することによって、ヘリウム蒸気を第 2 の冷却槽容器から吸入し、第 1 の冷却槽容器の圧力まで上昇させるように設計されている、エジェクタと、を含む。用語「底部空間」は、「サンプル空間」としても公知である。

【0007】

10

20

30

40

50

本発明による予冷回路によって、コンプレッサシステムによって圧縮されたヘリウムを超臨界状態で負荷に案内することが実現されるので、制御が困難な二相混合物（気体のヘリウム及び液体のヘリウム）の発生が回避される。この場合、エジェクタを用いて第2の冷却槽容器のヘリウム蒸気を第1の冷却槽容器の圧力まで上昇させるために、ヘリウムは負荷の通過後であっても十分な圧力を依然として有する。つまり総じて、多段式の槽冷却部の使用が実現されるので、低温を達成することができる。

【0008】

好適には、冷却すべき少なくとも1つの負荷は、混合クライオスタットである。

【0009】

好適には、副戻り管が設けられており、この副戻り管は、負荷の下流側において、戻り管から分岐されており、第1の冷却槽容器の底部空間に配置されている第4の熱交換器を通過して延びており、且つエジェクタの駆動流開口部の上流側において戻り管に開口しており、この場合、更に好適には、副戻り管を通過する流れを制御するために、副戻り管、及び/又は副戻り管に並行な戻り管には、少なくとも1つのバルブが配置されている。このことは、予冷回路の部分負荷動作を実現するので、特に、可変数の負荷に低温を供給することができる。

10

【0010】

好適には、予冷回路は、第3の冷却槽容器を含み、この場合、送り管は、第2の冷却槽容器に続いて、第3の冷却槽容器の底部空間に配置されている第3の熱交換器を通過して延びており、また第3の冷却槽容器の頂部空間は、真空ポンプに接続されており、この真空ポンプは、頂部空間からヘリウム蒸気を吸い上げてヘリウム冷凍装置に供給するように設計されており、好適には、吸い上げられたヘリウムの圧力レベルをヘリウム冷凍装置の圧力レベルまで上昇させる圧縮機が設けられている。これによって、より低い温度を達成することが実現される。

20

【0011】

好適には、第1の冷却槽容器は、頂部空間におけるヘリウム蒸気と平衡状態にある液体のヘリウムを底部空間に収容するように設計されており、この場合、1.0バールから1.5バールの範囲にあり、また第2の冷却槽容器は、頂部空間におけるヘリウム蒸気と平衡状態にある液体のヘリウムを底部空間に収容するように設計されており、この場合、第2の平衡圧力は、好適には、0.4バールから0.65バールの範囲にあり、また必要に応じて、第3の冷却槽容器は、頂部空間におけるヘリウム蒸気と平衡状態にある液体のヘリウムを底部空間に収容するように設計されており、この場合、第3の平衡圧力は、好適には、0.1バールから0.3バールの範囲にある。2段式の場合には、3.6 K以下の温度を達成することができる。3段式の場合には、3 Kを下回る温度を達成することができる。

30

【0012】

好適には、ヘリウム冷凍装置は、少なくとも1つのコンプレッサを含み、またヘリウムを7バールから18バールの範囲、好適には10バールから15バールの範囲の圧力に圧縮するように設計されている。高い圧力によって、二相ヘリウム混合物の発生を阻止することができる。

40

【0013】

好適には、ヘリウム冷凍装置は、熱交換器システムを含み、この場合、流れ戻ってきたヘリウムは、圧縮されたヘリウムとは逆方向の流れで熱交換器システムを通過して案内される。

【0014】

更に好適には、低温放出装置はシールド循環系を含み、またヘリウム冷凍装置は、ヘリウムシールド流を供給するように設計されており、この場合、ヘリウムシールド流は、ヘリウム冷凍装置からシールド循環系に案内され、このシールド循環系からヘリウム冷凍装置へと戻るように案内される。これによって、負荷の外部シールド冷凍を行うことができる。

50

## 【0015】

好適には、低温放出装置は、冷却すべき複数の負荷と熱交換するように設計されており、この場合、負荷は、相互に独立して、送り管及び戻り管に接続可能及び切り離し可能である。即ち、負荷の数を可変にすることが実現される。

## 【0016】

本発明による低温装置は、本発明による（閉じられた）予冷回路と、冷却すべき少なくとも1つの負荷として低温放出装置に接続されている少なくとも1つの混合クライオスタットと、を含み、好適には、低温放出装置が、送り管及び戻り管が少なくとも1つの混合クライオスタットの少なくとも1つのヘリウム槽に接続されているように設計されている。

10

## 【0017】

本発明による低温方法では、少なくとも1つのサンプルが、本発明による低温装置の少なくとも1つの混合クライオスタット内に配置されており、また1Kを下回る温度まで冷却される。

## 【0018】

冷却すべき少なくとも1つの負荷へのヘリウム冷却供給を行うための本発明による方法は、流れ戻ってきたヘリウムを圧縮するステップと、圧縮されたヘリウムを、第1の冷却槽と、後段の第2の冷却槽とを通るように案内して、超臨界状態のヘリウムを得るステップと、超臨界状態のヘリウムを、冷却すべき少なくとも1つの負荷と熱交換する低温放出装置に案内するステップと、ヘリウムの戻り流を低温放出装置からエジェクタの駆動流開口部へと案内するステップと、第2の冷却槽と平衡状態にある第2のヘリウム蒸気をエジェクタを用いて吸入して、第1の冷却槽と平衡状態にある第1のヘリウム蒸気に供給するステップと、流れ戻ってきたヘリウムを得るために、第1のヘリウム蒸気を誘導するステップと、を含む。

20

## 【0019】

好適には、本方法は更に、戻り流の少なくとも一部を分岐させて、副戻り流を形成するステップと、副戻り流を第1の冷却槽を通して案内し、続いて戻り流へと案内するステップと、を含む。

## 【0020】

とりわけ、本方法は、圧縮されたヘリウムを第2の冷却槽の下流側にある第3の冷却槽を通して案内するステップを含む。

30

## 【0021】

本明細書では、簡略化のために、予冷回路による「冷却供給」若しくは「低温出力」、又は「負荷に冷却供給される」若しくは「負荷に低温が出力される」ということについて言及する。このことは、それぞれ、予冷回路によって、負荷の熱が（それぞれの熱交換装置を用いて）吸収又は排出されることを意味すると解される。

## 【0022】

「管」又は「案内する」という語句は、流体、特にヘリウム、とりわけ気体のヘリウムのための管に関連する。つまり、チューブは、チューブ管を意味する。同様に、「接続されている」という語句は、（チューブ）管を介した流体接続が存在することに関連する。いずれの場合にも、管を通して流れる流体に影響を及ぼす又は流体を制御するバルブが設けられていてもよい。

40

## 【0023】

以下では、従来技術に対する本発明及びその特徴を示す添付の図面を参照しながら、本発明を詳細に説明する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0024】

【図1】本発明の好適な実施形態による、2段式の槽冷却部を備えた予冷回路を示す。

【図2】本発明の別の好適な実施形態による、可変に設計された2段式の槽冷却部を備えた予冷回路を示す。

50

【図 3】本発明の別の好適な実施形態による、3 段式の槽冷却部を備えた予冷回路を示す。

【図 4】本発明の別の好適な実施形態による、可変に設計された 3 段式の槽冷却部を備えた予冷回路を示す。

【図 5】冷却すべき負荷、特に混合クライオスタットに接続されている低温放出装置を示す。

【図 6】好適な実施形態による、本発明による方法を示す。

【発明の実施形態】

【0025】

図 1 は、本発明の好適な実施形態による、2 段式の槽冷却部を備えた予冷回路 100 を示す。予冷回路は、コンプレッサシステム 4 又は圧縮機システム及び熱交換器システム 6 を含むヘリウム冷凍装置 2 と、第 1 の冷却槽容器 34 及び第 2 の冷却槽容器 36 を含む槽冷却システム 8 と、を含む。冷却すべき少なくとも 1 つの負荷との熱交換を行うように設計されている低温放出装置 10 と共に、（更に冷却すべき負荷のための）閉じられた予冷循環系が形成され、ここでは冷媒としてヘリウムが使用される。

【0026】

コンプレッサシステム 4 は、少なくとも 1 つのコンプレッサ 16 を含み、このコンプレッサ 16 は、戻り供給管 18 を通って流れ戻ってきたヘリウムを圧縮する。流れ戻ってきたヘリウムの圧力は、典型的には、約 1.05 パールである。圧縮されたヘリウムの圧力は、典型的には、7 から 18 パール、とりわけ 10 から 15 パールの範囲にある。更に、コンプレッサシステム内又はコンプレッサシステム上には、熱を周囲に放出することができる、詳細には示していない熱放出装置が設けられていてもよい。

【0027】

圧縮されたヘリウムは、供給管 20 を介して送り管 30 に供給される。戻り供給管 18 及び供給管 20 は、熱交換器システム 6 を通って延びているので、流れ戻ってきたヘリウムと、逆方向に流れる圧縮されたヘリウムとの間で熱交換が実現される。

【0028】

更に、冷凍装置 2 内には 1 つ以上のタービン 22 が設けられていてもよく、タービン 22 を介して、熱交換器システム 6 内のある箇所において供給管から取り出される、圧縮されたヘリウムが、供給管の圧力レベルまで減圧され、また熱交換器システム内のある箇所（場合によっては別の箇所）において、戻り供給管において流れ戻ってきたヘリウムに再び供給されるので、原理的には、ブレイトンサイクルが形成される。

【0029】

槽冷却システム 8 を通って延びる送り管 30 は、先ず、第 1 の冷却槽容器 34 の底部空間に配置されている第 1 の熱交換器 40 を通り、続いて、第 2 の冷却槽容器 36 の底部空間に配置されている第 2 の熱交換器 42 を通って延びている。冷却槽容器はそれぞれ、底部空間には、ヘリウム槽、即ち液体状態のヘリウムが存在し、頂部空間には、底部空間における液体のヘリウムと平衡状態にあるヘリウム蒸気が存在するように設計されている。つまり、冷却槽容器内の圧力、即ち平衡圧力には、（蒸気圧曲線に対応する）相応の温度を対応付けることができる。第 1 の冷却槽容器 34 では、圧力がとりわけ約 1.25 パールである。即ち、圧力は、1.0 パールから 1.5 パールの範囲にある。第 2 の冷却槽容器 36 では、圧力がとりわけ約 0.5 パールである。即ち、圧力は、0.4 パールから 0.65 パールの範囲にある。第 1 の冷却槽容器 34 の底部空間は、管を介して、第 2 の冷却槽容器 36 又はその頂部空間に接続されており、それにより、第 2 の冷却槽容器 36 又はその頂部空間にヘリウムを供給することができ、この場合、管内には、このヘリウム供給を制御できるようにバルブ 54 が設けられている。

【0030】

総じて、（第 1 の冷却槽容器 34 及び第 2 の冷却槽容器 36 内での）2 段式の槽冷却によって、低温放出装置 10 に供給されるヘリウムの温度を 3.6 K 以下に低下させることができる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 1 】

ヘリウムが送り管 3 0 を介して低温放出装置 1 0 に供給され、低温放出装置によって、少なくとも 1 つの負荷を冷却するために使用された後、ヘリウムは低温放出装置から戻り管 3 2 に案内される。

## 【 0 0 3 2 】

戻り管 3 2 は、エジェクタ 5 0 に接続されているので、低温放出装置から戻り管を介して案内されて戻ってきたヘリウムを、エジェクタにおける駆動流として使用し、それによって、ヘリウム蒸気を第 2 の冷却槽容器 3 6 から吸入し、第 1 の冷却槽容器 3 4 の圧力まで上昇させ、第 1 冷却槽容器 3 4 に吐出することができる。相応に、エジェクタの駆動流開口部は、戻り管に接続されており、エジェクタの吸引開口部は、第 2 の冷却槽容器の頂部空間に（管を介して）接続されており、またエジェクタの吐出開口部は、第 1 冷却槽容器の頂部空間に（管を介して）接続されている。このようにして、ヘリウムの更なる液化を、予冷回路では回避することができる。第 2 の冷却槽容器 3 6 の頂部空間とエジェクタ 5 0 又はその吸引開口部との間の接続管には、第 2 の冷却槽容器の頂部空間からエジェクタへの蒸気流を制御できるようにするために、とりわけバルブ 5 2 が設けられている。

10

## 【 0 0 3 3 】

第 1 の冷却槽容器 3 4 の頂部空間は、ヘリウム循環系が閉じられるように、冷凍装置 2 の戻り供給管 2 0 に接続されている。

## 【 0 0 3 4 】

更には、外部冷却のために負荷によって使用することができるシールド冷却流を提供することができる。このために、例えば、シールド流送り管 8 0 及びシールド流戻り管 8 2 が設けられており、この場合、シールド流送り管 8 0 を介して、熱交換器システム 6 又は供給管 1 8 から取り出された、圧縮されたヘリウムが負荷に案内され、またヘリウムが、シールド流戻り管 8 2 を介して、例えばタービン 2 2 を介して再び熱交換器システム 6 に供給される。

20

## 【 0 0 3 5 】

予冷回路の構成要素は、コンプレッサシステム 4 を除き、とりわけ冷凍ボックス 1 2 内に配置されている。即ち、予冷回路の構成要素は、コンプレッサシステム 4 を除き、断熱壁によって包囲されている。同様に、低温放出装置 1 0 への管、及び低温放出装置 1 0 からの管も断熱壁によって包囲されている。それぞれ破線によって示唆されている。

30

## 【 0 0 3 6 】

図 2 は、本発明の別の好適な実施形態による、可変に設計された 2 段式の槽冷却部を備えた予冷回路 2 0 0 を示す。この実施形態は、図 1 に示した実施形態に大部分対応している。従って、以下では実質的に、異なる要素又は付加的な要素のみを説明し、図 1 と関連させて既に説明した要素についての再度の説明は省略する。

## 【 0 0 3 7 】

図 1 とは異なり、ここでは付加的に、副戻り管 5 8 が設けられている。副戻り管は、戻り管 3 2 の分岐に接続されているので、低温放出装置 1 0 から到来するヘリウムの一部を戻り管から誘導乃至分岐させることができる。副戻り管及び戻り管には、それら副戻り管又は戻り管へのヘリウム流を制御できるようにするために、バルブ 6 0、6 2 が設けられている。

40

## 【 0 0 3 8 】

副戻り管 5 8 は、第 1 の冷却槽容器 3 4 の底部空間に配置されている第 4 の熱交換器 4 6 を通って案内され、続いて、エジェクタ 5 0 の上流側において戻り管 3 2 に再び合流する。副戻り管を通して案内されるヘリウムの一部を冷却することによって、エジェクタの駆動流開口部の温度に影響を及ぼすことができ、このことは、エジェクタ 5 0 の動作点の（副戻り管又は戻り管におけるバルブ 6 0、6 2 を用いた間接的な）調整を実現する。従って、ヘリウム流は実質的にエジェクタの動作点によって決定されているので、予冷回路を種々の負荷と共に利用することができる。例えば、冷却すべき多数の異なる負荷に、低温放出装置 1 0 を介して低温を供給することができる。

50

## 【 0 0 3 9 】

図 3 は、本発明の別の好適な実施形態による、3 段式の槽冷却部を備えた予冷回路 3 0 0 を示す。この実施形態は、図 1 に示した実施形態に大部分対応している。従って、以下では実質的に、異なる要素又は付加的な要素のみを説明し、図 1 と関連させて既に説明した要素についての再度の説明は省略する。

## 【 0 0 4 0 】

この実施形態は、付加的に、第 3 の冷却槽容器 3 8 を含み、この場合、送り管 3 2 は、第 2 の冷却槽容器 3 6 の下流側において、第 3 の冷却槽容器 3 8 の底部空間に配置されている第 3 の熱交換器 4 4 を通ってガイドされる。第 3 の冷却槽容器 3 8 においてもまた、底部空間における液体のヘリウムと、頂部空間におけるヘリウム蒸気とは平衡状態にある。圧力はとりわけ約 0 . 2 パールである。即ち、圧力は、0 . 1 パールから 0 . 3 パールの範囲にある。このようにして、送り管を介して低温放出装置に供給されるヘリウムの更なる温度低下を達成することができる。例えば、3 K を下回る温度を達成することができる。

10

## 【 0 0 4 1 】

真空ポンプ 6 4 は、管を介して、第 3 の冷却槽容器 3 8 の頂部空間に接続されており、また頂部空間からヘリウム蒸気を吸い上げるように設計されている。吸い上げられたヘリウムは、圧縮機 6 6 が配置されている管 6 8 を介して、冷凍装置 2 の戻り供給管 1 8 に案内される。圧縮機は、ヘリウムの圧力を戻り供給管内のレベルまで上昇させるために用いられる。

20

## 【 0 0 4 2 】

第 1 の冷却槽容器 3 4 の底部空間は、第 3 の冷却槽容器 3 8 又はその頂部空間にヘリウムを供給できるように、管を介して、第 3 の冷却槽容器 3 8 又はその頂部空間に接続されており、この場合、管内には、このヘリウム供給を制御できるようにするためにバルブ 5 6 が設けられている。

## 【 0 0 4 3 】

同様に、図 2 及び図 3 の実施形態を組み合わせることも可能である。即ち、図 2 による実施形態において、付加的に、図 3 による第 3 の冷却段、即ち第 3 の冷却槽容器、真空ポンプ、圧縮機、及び相応の管 / バルブを設けることも可能である。相応の予冷回路 4 0 0 が図 4 に図示されている。この予冷回路のいずれの要素も、図 1 から図 3 との関係において既に説明している。

30

## 【 0 0 4 4 】

図 5 は、冷却すべき負荷 7 2、特に混合クライオスタットに接続されている低温放出装置 1 0 を示す。この低温放出装置 1 0 は、特に、図 1、図 2、図 3 に対応する実施形態のいずれにも使用することができる。接続の対応関係は、図中、文字「A」、「B」、「C」及び「D」が付された矢印によって表されている。

## 【 0 0 4 5 】

低温放出装置 1 0 は、複数の（ここでは、例えば 3 つ）のバルブグループ 7 4 を含み、それらのバルブグループ 7 4 においてはそれぞれ、送り管 3 2 又は戻り管 3 4 に接続されている、個々の負荷又は負荷グループ 7 2 に対する管が設けられている。それらの管には、バルブグループにおいてバルブが設けられているので、ヘリウムを、送り管から所期のように個々の負荷に案内し、またそれらの負荷から戻り管に案内することができる。即ち、負荷 7 2 は、送り管（「A」）及び戻り管（「B」）に、相互に独立して接続可能及び切り離し可能である。このことは、特に、部分負荷動作を実現する、図 2 及び図 4 の予冷回路 2 0 0、4 0 0 との関係において有利である。

40

## 【 0 0 4 6 】

バルブグループ 7 4 には、同様に、シールド冷却流のための管及びバルブも設けられ、それらを介して、シールド冷却流を、シールド流送り管（「C」）から負荷に案内し、またシールド流戻り管（「D」）に再び案内することができる。従って、シールド循環系が形成される。

50

## 【 0 0 4 7 】

とりわけ、ここでもまた1つ以上の冷凍ボックスが設けられており、その内部に、バルブグループ、またとりわけ負荷、特に混合クライオスタットが配置されている。

## 【 0 0 4 8 】

図6は、好適な実施形態による、本発明による方法を示す。個々のステップは、ヘリウムが通過する循環系の一部である。ステップ602では、流れ戻ってきたヘリウムが（例えばコンプレッサシステムを用いて）圧縮される。この際に達成される圧力は、7から18バール、好適には10から15バールの範囲にある。

## 【 0 0 4 9 】

ステップ604では、圧縮されたヘリウムが、超臨界状態のヘリウムを得るために、第1の冷却槽と、後段の第2の冷却槽とを通過して案内される。好適なステップ606では、ヘリウムが第2の冷却槽の通過後に第3の冷却槽に案内される。冷却槽は、対応する第1、第2又は第3のヘリウム蒸気と平衡状態にある。この場合、平衡圧力は、第1、第2又は第3の冷却槽容器との関係において前述した圧力にそれぞれ対応する。

## 【 0 0 5 0 】

ステップ610では、超臨界ヘリウムが、冷却すべき少なくとも1つの負荷との熱交換を行う低温放出装置に案内される。

## 【 0 0 5 1 】

ステップ612では、ヘリウムの戻り流が、低温放出装置からエジェクタの駆動流開口部へと案内される。オプションとして、ステップ614では、戻り流の少なくとも一部が分岐されることによって、副戻り流が形成され、その副戻り流が第1の冷却槽を取って案内され、それに続いて、戻り流へと案内される。

## 【 0 0 5 2 】

ステップ616では、第2の冷却槽と平衡状態にある第2のヘリウム蒸気がエジェクタによって吸入され、第1の冷却槽と平衡状態にある第1のヘリウム蒸気に供給される。

## 【 0 0 5 3 】

ステップ618では、ステップ602において圧縮された、流れ戻ってきたヘリウムを得るために、第1のヘリウム蒸気が誘導され、その結果、循環系が完全なものとなる。

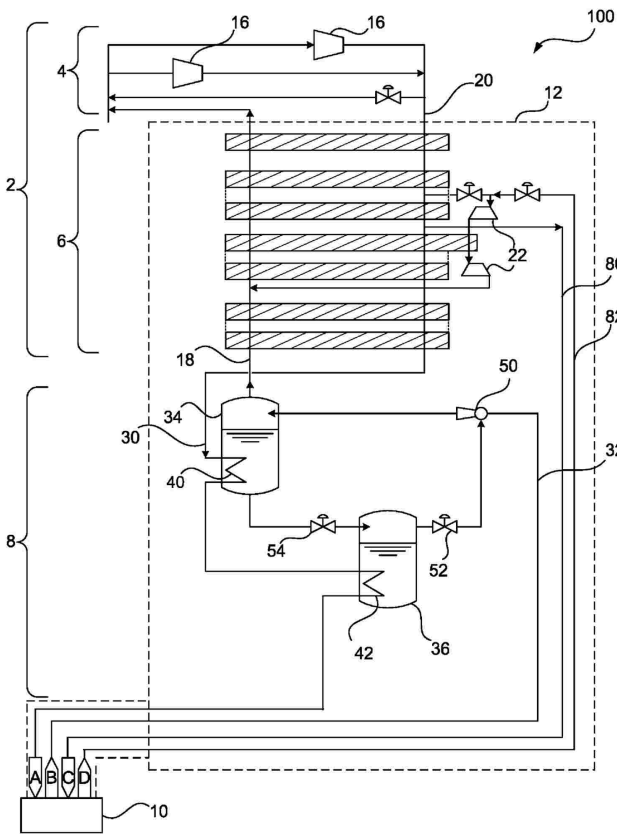
30

40

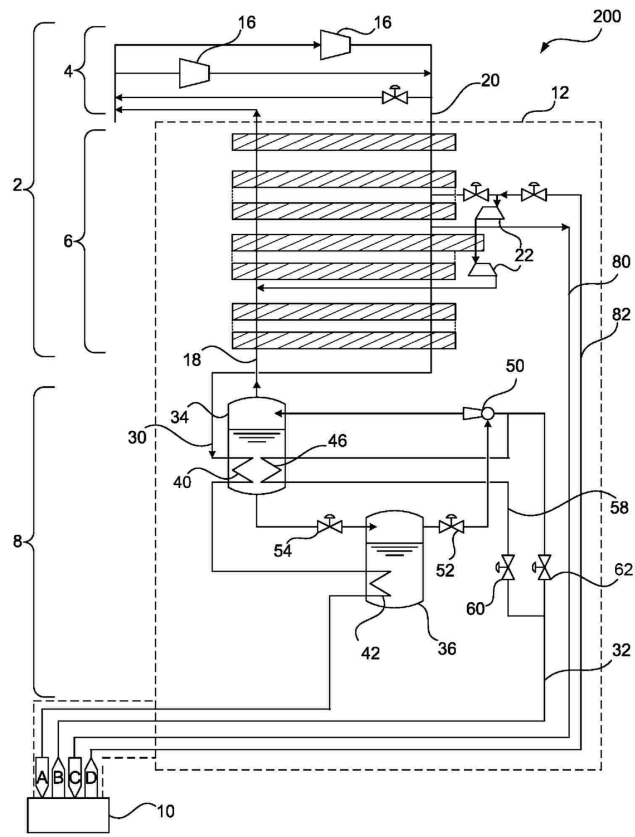
50

【 図面 】

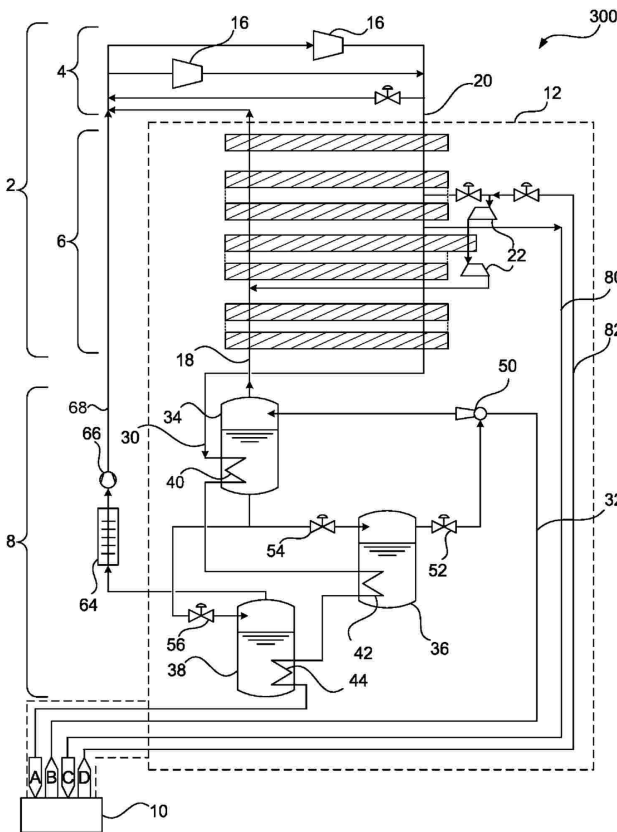
【 図 1 】



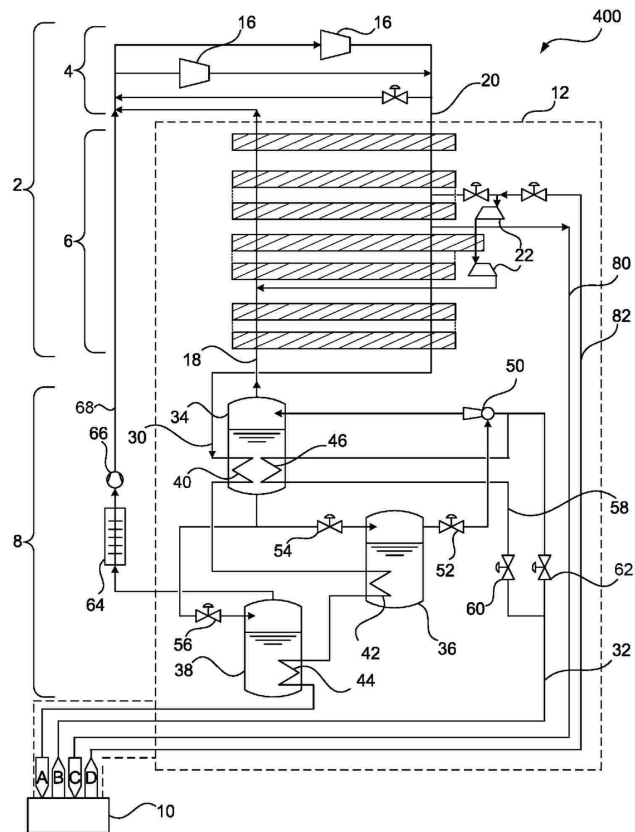
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



10

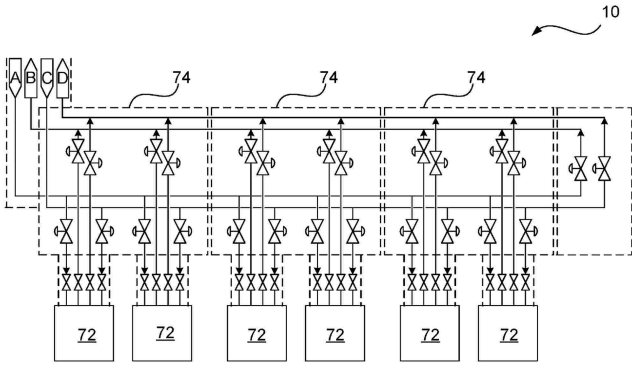
20

30

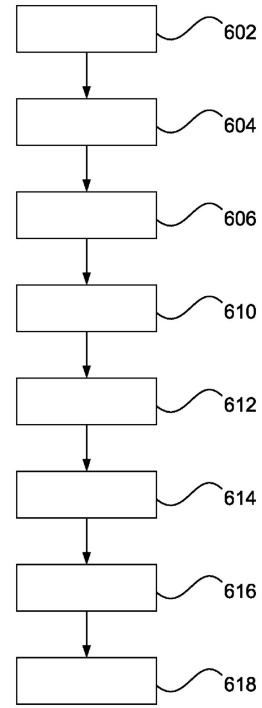
40

50

【 図 5 】



【 図 6 】



10

20

30

40

50

## 【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. <b>PCT/EP2022/025306</b>
<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> <i>F25B 9/00</i> (2006.01)i; <i>F25B 9/08</i> (2006.01)i; <i>F25B 9/10</i> (2006.01)i; <i>F25B 1/10</i> (2006.01)i; <i>F25B 40/00</i> (2006.01)i; <i>F25B 5/02</i> (2006.01)i; <i>F25B 41/20</i> (2021.01)i; <i>F25B 41/24</i> (2021.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
<b>B. FIELDS SEARCHED</b> Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F25B Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 4209657 A (INAI NOBUHIKO [JP] ET AL) 24 June 1980 (1980-06-24) columns 3, 4; figure 1	1, 4-13 2,3
A	FR 1573734 A (PHILIPS CORP) 04 July 1969 (1969-07-04) pages 2-5; figures 1, 3, 4	1-13
A	SU 918717 A1 (GURIN STANISLAV P; LARIONOVSKIJ VLADIMIR A) 07 April 1982 (1982-04-07) columns 1-4; figure 1	1-13
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
Date of the actual completion of the international search <b>22 July 2022</b>		Date of mailing of the international search report <b>01 August 2022</b>
Name and mailing address of the ISA/EP <b>European Patent Office            p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk            Netherlands</b> Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer <b>Amous, Moez</b> Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

10

20

30

40

50

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.  
**PCT/EP2022/025306**

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
US	4209657	A	24 June 1980	JP	S607396	B2	23 February 1985
				JP	S52147997	A	08 December 1977
				US	4209657	A	24 June 1980
FR	1573734	A	04 July 1969	AT	283291	B	27 July 1970
				BE	718597	A	27 January 1969
				CH	489765	A	30 April 1970
				DE	1751665	A1	05 August 1971
				FR	1573734	A	04 July 1969
				GB	1230419	A	05 May 1971
				NL	6710358	A	29 January 1969
				SE	333385	B	15 March 1971
				US	3557566	A	26 January 1971
				SU	918717	A1	07 April 1982

10

20

30

40

50

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2022/025306

<b>A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b>		
INV.	F25B9/00	F25B9/08
	F25B5/02	F25B41/20
	F25B9/10	F25B41/24
	F25B1/10	F25B40/00
ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)		
<b>F25B</b>		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
<b>EPO-Internal, WPI Data</b>		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
<b>X</b>	<b>US 4 209 657 A (INAI NOBUHIKO [JP] ET AL)</b> <b>24. Juni 1980 (1980-06-24)</b>	<b>1, 4-13</b>
<b>A</b>	<b>Spalten 3, 4; Abbildung 1</b> -----	<b>2, 3</b>
<b>A</b>	<b>FR 1 573 734 A (PHILIPS CORP)</b> <b>4. Juli 1969 (1969-07-04)</b> <b>Seiten 2-5; Abbildungen 1, 3, 4</b> -----	<b>1-13</b>
<b>A</b>	<b>SU 918 717 A1 (GURIN STANISLAV P;</b> <b>LARIONOVSKIJ VLADIMIR A)</b> <b>7. April 1982 (1982-04-07)</b> <b>Spalten 1-4; Abbildung 1</b> -----	<b>1-13</b>
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
<b>22. Juli 2022</b>		<b>01/08/2022</b>
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  <b>Amous, Moez</b>

10

20

30

40

1

50

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/EP2022/025306**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>US 4209657</b>	<b>A</b>	<b>24-06-1980</b>	<b>JP S607396 B2</b>
			<b>23-02-1985</b>
			<b>JP S52147997 A</b>
			<b>08-12-1977</b>
			<b>US 4209657 A</b>
			<b>24-06-1980</b>
-----			
<b>FR 1573734</b>	<b>A</b>	<b>04-07-1969</b>	<b>AT 283291 B</b>
			<b>27-07-1970</b>
			<b>BE 718597 A</b>
			<b>27-01-1969</b>
			<b>CH 489765 A</b>
			<b>30-04-1970</b>
			<b>DE 1751665 A1</b>
			<b>05-08-1971</b>
			<b>FR 1573734 A</b>
			<b>04-07-1969</b>
			<b>GB 1230419 A</b>
			<b>05-05-1971</b>
			<b>NL 6710358 A</b>
			<b>29-01-1969</b>
			<b>SE 333385 B</b>
			<b>15-03-1971</b>
			<b>US 3557566 A</b>
			<b>26-01-1971</b>
-----			
<b>SU 918717</b>	<b>A1</b>	<b>07-04-1982</b>	<b>KEINE</b>
-----			

10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,N  
E,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,  
CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,J  
O,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,M  
Z,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,  
TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

【要約の続き】

1の冷却槽容器の頂部空間に接続されており、エジェクタは、低温放出装置から流れ戻ってきたヘリウムを駆動流として使用することによって、ヘリウム蒸気を第2の冷却槽容器から吸入し、第1の冷却槽容器の圧力まで上昇させるように設計されている。