



(11)

EP 1 628 089 A2

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
22.02.2006 Patentblatt 2006/08

(51) Int Cl.:  
F25B 9/14<sup>(2006.01)</sup> F25D 19/00<sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: 05016144.7

(22) Anmeldetag: 26.07.2005

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI  
SK TR  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:  
• Glémot, Agnès  
8006 Zürich (CH)  
• Vogel, Dietrich  
8400 Winterthur (CH)  
• Eckert, Daniel  
8184 Bachenbülach (CH)

(30) Priorität: 30.07.2004 DE 102004037173

(71) Anmelder: Bruker BioSpin AG  
8117 Fällanden (CH)

(74) Vertreter: Kohler Schmid Möbus  
Patentanwälte  
Ruppmannstrasse 27  
70565 Stuttgart (DE)

### (54) Vorrichtung zur Kühlung einer Kryostatanordnung

(57) Eine Kühlvorrichtung (7) zur Rückverflüssigung von kryogenen Gasen, mit einem Außenmantel (8), der einen Vakuumraum (9) begrenzt, und einem darin eingebauten Kaltkopf (10) eines Kryokühlers, der mindestens zwei Kältestufen (11, 12) aufweist und der zumindest teilweise von einem Strahlungsschild (13) umgeben ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei Kältestufen (11, 12) des Kaltkopfes (10) für sich mit einer Wärme übertragenden Vorrichtung (14a, 14b) thermisch leitend verbunden sind, die in Hals- oder Aufhängerohre (3a, 3b) eines Kryostaten (1) zur Aufbewahrung von mindestens zwei verschiedenen kryogenen Flüssigkeiten (18a, 18b) eingeführt werden kann. Hierdurch ergibt sich eine Kühlvorrichtung, die es erlaubt, bestehende Kryostatanordnungen, und im Speziellen solche, die supraleitende Magnete enthalten, ohne (oder mit nur geringen) Anpassungen so nachzurüsten, dass auch bei Verwendung mehrerer Kryogene mit einem geringen apparativen Aufwand ein kryogenverlustfreier Betrieb möglich wird.

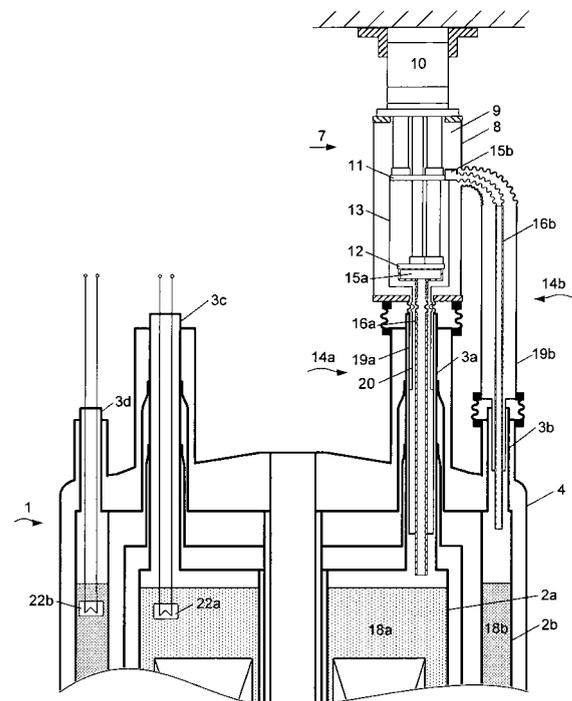


Fig. 3

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Kühlvorrichtung zur Rückverflüssigung von kryogenen Gasen, mit einem Außenmantel, der einen Vakuumraum begrenzt, und einem darin eingebauten Kaltkopf eines Kryokühlers, der mindestens zwei Kältestufen aufweist und der zumindest teilweise von einem Strahlungsschild umgeben ist.

**[0002]** Möglichkeiten zur kryogenverlustfreien Kühlung eines supraleitenden Magnetsystems mit einem Kryokühler werden zum Beispiel in EP0905436, EP0905524, WO03036207, WO03036190, US5966944, US5563566, US5613367, US5782095, US2002/000283, US2003/230089 beschrieben.

**[0003]** Der beispielsweise zweistufige Kaltkopf des Kryokühlers ist üblicherweise in einem separaten, unter Vakuum stehenden Hüllrohr (wie z.B. in US5613376 beschrieben) oder direkt in den Vakuumraum eines Kryostaten (wie z.B. in US5563566 beschrieben) so eingebaut, dass die erste Kältestufe des Kaltkopfs fest mit einem Strahlungsschild und die zweite Kältestufe über eine feste Wärmebrücke oder direkt mit dem Heliumbehälter, wo sich der supraleitende Magnet in flüssigem Helium befindet, thermisch leitend verbunden werden. Durch Rückkondensation des durch Wärmeeinfall von außen verdampfenden Heliums an der kalten Kontaktfläche im Heliumbehälter kann der gesamte Wärmeeinfall auf den Heliumbehälter kompensiert und ein verlustfreier Betrieb des Systems ermöglicht werden. Alternativ hierzu kann der Kaltkopf in ein Halsrohr, welches die äußere Vakuumhülle des Kryostaten mit dem Heliumbehälter verbindet und entsprechend mit Heliumgas gefüllt ist, eingefügt werden, wie es beispielsweise in der Druckschrift US2002/0002830A1 beschrieben wird. Die erste Kältestufe des zweistufigen Kaltkopfes ist wiederum fest leitend mit einem Strahlungsschild kontaktiert, die zweite Kältestufe hängt frei in der Helium-Atmosphäre und verflüssigt direkt verdampftes Helium.

**[0004]** Diese Varianten haben allerdings gewisse Nachteile: Der Aufbau und die Konstruktion des Kryostaten wird aufwändiger und komplizierter. Ferner führt der Einbau des zusätzlichen, den Kaltkopf des Kryokühlers aufnehmenden Hüllrohrs zu einem zusätzlichen Wärmeeintrag auf den Kaltkopf. Bei Verwendung eines zusätzlichen Halsrohres für den Kaltkopf kommt es durch Wärmeleitung in der Heliumgassäule und in der Rohrwand und unter Umständen durch Konvektionsströmungen im Heliumgas zu einem weiteren Wärmeeintrag auf den Heliumbehälter beziehungsweise den Kaltkopf des Kühlers. Außerdem können feste, starre oder auch flexibel ausgeführte, thermische Verbindungselemente zwischen Kaltkopf und Kryostaten Vibrationen des Kaltkopfes auf den Kryostaten übertragen. Da zudem im Regenerator der zweiten Stufe des Kaltkopfes von Kryokühlern, wie Pulsrohrkühlern oder Gifford-McMahon-Kühlern, im Temperaturbereich unter 10 K üblicherweise magnetische Regeneratormaterialien verwendet werden und der Regenerator sich unter Umständen relativ nahe am ma-

gnetischen Zentrum des NMR-Magnetsystems befindet, muss der Regenerator in der Regel abgeschirmt werden, so dass das Magnetfeld am Ort der NMR-Probe nicht gestört wird und umgekehrt die Funktion des Regenerators nicht beeinträchtigt wird. Schließlich stellt sich bei Ausfall des Kryokühlers ein instabiler Zustand ein, wobei sich vor allem die Temperaturen von Kryostat-Komponenten, wie z.B. dem Strahlungsschild, bis zu einem neuen Gleichgewichtszustand dauernd ändern. In einem Magnetsystem für hochauflösende Kernresonanzspektroskopie (NMR) kann das dazu führen, dass NMR-Messungen nicht mehr möglich werden, da sich der Shimzustand des Magneten fortlaufend ändert, oder dass im schlimmsten Fall der Magnet trocken läuft und quent.

**[0005]** Eine Methode, um einige dieser Nachteile zu vermeiden, und dennoch ein teilweise kryogenverlustfreies System zu realisieren, ist die Verwendung einer mit einem Kryokühler gekühlten Vorrichtung, die zur Rückverflüssigung eines einzelnen verdampften Kryogens eingesetzt werden kann. In einer bislang gebräuchlichen Kryostatanordnung für beispielsweise ein supraleitendes Magnetsystem wird der Magnet gewöhnlicherweise in einem mit flüssigem Helium von 4,2 K gefüllten Behälter eingebaut. Der He-Behälter ist in der Regel von einem abgaskühlten Strahlungsschild und einem weiteren, mit flüssigem Stickstoff gekühlten Schild umgeben, so dass der Wärmeeintrag auf den Heliumbehälter von außen minimiert wird. Die passive Kühlung durch die verdampfenden Kryogene führt dazu, dass in gewissen Zeitabständen flüssiges Helium und Stickstoff nachgefüllt werden müssen.

**[0006]** In JP11257770 und JP2000283578 wird daher vorgeschlagen, in die vorhandenen Hals- oder Aufhängerohre eines Stickstoffbehälters einer Kryostatanordnung eine Wärme übertragende Vorrichtung in Gestalt eines Wärmerohrs einzuführen, das mit dem Kaltkopf eines Kryokühlers verbunden ist und verdampften Stickstoff wieder verflüssigt (siehe auch: *Advances of Cryogenic Engineering*, 45, 41-48). Dabei wird an den Kaltkopf des einstufigen Pulsrohrkühlers direkt der Verflüssiger angeflanscht. Dieser besteht aus einem dünnen Rohr, in welchem der Stickstoffdampf nach oben steigt, an einer mit dem Kaltkopf kontaktierten kalten Fläche verflüssigt wird und dann an der Rohrwand entlang nach unten läuft. Dieses sehr dünne, im oberen Teil noch von einer Vakuumhülle umgebene Rohr kann direkt in ein Stickstoff-Halsrohr oder —Aufhängerrohr eingeschoben werden und verhindert damit ein Abdampfen des Stickstoffs bzw. reduziert die Stickstoffverluste. Die Heliumverluste sind davon jedoch nicht betroffen, da lediglich der Stickstoff wieder verflüssigt wird.

**[0007]** In ähnlicher Weise wurde auch die Rückverflüssigung von Helium für sich alleine in einem Aufbewahrungsbehälter für Helium mit dem zweistufigen Kaltkopf eines Kryokühlers schon durchgeführt.

**[0008]** In beiden Fällen (Stickstoff- oder Helium-Verflüssiger) befindet sich der Kaltkopf des Kryokühlers in einem Außenmantel, der einen Vakuumraum begrenzt.

Bei Verwendung von mehrstufigen Kryokühlern ist es üblich, dass Teile des Kaltkopfes von einem Strahlungsschild umgeben sind, der mit einer (aber nicht der kältesten) Kältestufe kontaktiert ist, so dass der Kaltkopf im Bereich tiefer Temperaturen gut gegen Wärmestrahlung isoliert ist.

**[0009]** Wie schon oben erwähnt, weisen diverse konventionelle Kryostatanordnungen, wie sie speziell bei Magnetsystemen für hochauflösende Kernresonanzspektroskopie (NMR) zum Einsatz kommen, allerdings nicht nur ein Kryogen auf: neben einem mit flüssigem Helium gefüllten und den Magneten enthaltenden Behälter existiert zum Beispiel zusätzlich ein mit flüssigem Stickstoff gekühlter Strahlungsschild. Somit müsste man sowohl einen eigenen Helium-Verflüssiger als auch einen eigenen Stickstoff-Verflüssiger verwenden, wenn gleichzeitig die Verluste an Helium und Stickstoff reduziert werden sollen bzw. ein verlustfreier Betrieb erreicht werden soll. Dies würde einen erheblichen zusätzlichen apparativen Aufwand und höhere Investitions- und Betriebskosten bedeuten.

**[0010]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Kühlvorrichtung bereitzustellen, mit der eine bestehende Kryostatanordnung, die mindestens zwei kryogene Flüssigkeiten enthält, insbesondere eine Kryostatanordnung, die eine supraleitende Magnetanordnung umfasst, ohne großen apparativen Aufwand und ohne zusätzliche Nachteile so nachgerüstet werden kann, dass nach außen keine oder zumindest nur geringere Verluste von einigen oder allen vorhandenen kryogenen Flüssigkeiten als üblich auftreten.

**[0011]** Ausgehend vom Stand der Technik wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens zwei Kältestufen des Kaltkopfes des Kryokühlers für sich jeweils mit einer Wärme übertragenden Vorrichtung thermisch leitend verbunden sind, die jeweils in die Hals- oder Aufhängerohre eines Kryostaten zur Aufbewahrung von mindestens zwei verschiedenen kryogenen Flüssigkeiten eingeführt werden kann.

**[0012]** Eine derartige Kühlvorrichtung bietet die folgenden Vorteile: Es lassen sich bestehende Kryostatanordnungen, und im Speziellen solche, die supraleitende Magnete enthalten, ohne (oder mit nur geringen) Anpassungen so nachrüsten, dass auch bei Verwendung mehrerer Kryogene mit einem geringen apparativen Aufwand ein kryogenverlustfreier Betrieb möglich wird. Es ist keine Neukonstruktion des Kryostaten notwendig. Der durch die Vorrichtung entstehende zusätzliche Wärmeeintrag in den Kryostaten ist bei geeigneter Konstruktion bescheiden und relativ genau voraussagbar. Die Wärme übertragenden Vorrichtungen, in denen die Verflüssigung der Kryogene stattfindet, sind so gestaltet, dass sie berührungslos in die Hals- oder Aufhängerohre der Kryostatanordnung eingeführt werden können. Das abdampfende Gas wird thermodynamisch effizient verflüssigt, da der Dampf nicht überhitzt wird und somit nicht erst wieder auf Verflüssigungstemperatur heruntergekühlt werden muss. Der Kaltkopf des Kryokühlers ist so weit vom ma-

gnetischen Zentrum einer in dem Kryostaten eingebauten supraleitenden Magnetanordnung entfernt, dass sich Störungen durch das magnetische Regeneratormaterial auf die Magnetanordnung viel weniger stark bemerkbar machen als wenn der Kaltkopf direkt in den Kryostaten integriert werden würde. Umgekehrt wird auch die Funktion des Kryokühlers durch das Magnetfeld der Magnetanordnung weniger beeinträchtigt. Fällt der Kryokühler aus oder muss er wegen Wartungsarbeiten ausgeschaltet werden, so erfüllt die Kryostatanordnung, wenn sie z.B. zur Kühlung einer supraleitenden Magnetanordnung verwendet wird, immer noch ihren Zweck, was eine hohe Betriebssicherheit gewährleistet. Zudem kann der Nutzer frei über die Betriebsweise (konventionell oder kryogenverlustfrei) bestimmen.

**[0013]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung weist zumindest eine der Wärme übertragenden Vorrichtungen einen Hohlraum auf, der mit einer offenen Leitung, insbesondere einer Rohrleitung, verbunden ist. Durch die Leitung wird das aus dem Flüssigkeitstank des Kryostaten verdampfte Kryogen in den Hohlraum an der Kältestufe geführt, wo es verflüssigt wird. Das Kondensat fließt anschließend durch die Rohrleitung wiederum in den Flüssigkeitstank des Kryostaten zurück. In der Funktionsweise entspricht die Wärme übertragende Vorrichtung in dieser Form den aus der Wärmetechnik bekannten Wärmerohren.

**[0014]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung weist zumindest eine der Wärme übertragenden Vorrichtungen eine metallische, die Wärme sehr gut leitende Verbindung auf, an deren Ende aus dem Flüssigkeitstank des Kryostaten verdampfendes Kryogen verflüssigt wird und anschließend wieder in das Flüssigkeitsbad des Flüssigkeitstanks des Kryostaten zurückfließt. Diese Verbindung wird am anderen Ende an eine Kältestufe des Kaltkopfes des Kryokühlers angeflanscht. Es sind beliebige Kombinationen der Wärme übertragenden Vorrichtungen möglich. So kann beispielsweise an die erste Kältestufe eines zweistufigen Kaltkopfes eine metallische die Wärme sehr gut leitende Verbindung angeflanscht werden, während die zweite Kältestufe mit einer Rohrleitung verbunden ist.

**[0015]** Insbesondere für hochauflösende NMR-Verfahren ist es vorteilhaft, wenn der Kryokühler ein Pulsrohrkühler ist, da Pulsrohrkühler besonders vibrationsarm betrieben werden können. Pulsrohrkühler sind ferner auch sehr betriebsicher und wartungsarm.

**[0016]** Jedoch ist der Betrieb der Kühlvorrichtung auch sehr gut mit einem Gifford-McMahon-Kühler möglich. Ein Nachteil dieses Kryokühlers im Vergleich zu einem Pulsrohrkühler sind die größeren Vibrationen. Dieser Nachteil kommt dann nicht zum Tragen, wenn zwischen Kryokühler und Kryostatanordnung weiche Abdichtelemente verwendet werden, wie weiter unten beschrieben.

**[0017]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn mindestens eine beidseitig offene Verbindungsleitung vorgesehen ist, über die der Kaltkopf des Kryokühlers mit mindestens

einem Hals- oder Aufhängerrohr des Flüssigkeitstanks mit dem tiefst siedenden Kryogen, in die keine Wärme übertragende Vorrichtung eingeführt wird, verbunden werden kann, wobei die Leitung mit mindestens zwei Kältestufen des Kaltkopfes und unter Umständen auch mit einem Regeneratorrohr oberhalb der kältesten Kältestufe thermisch kontaktiert ist, und wobei die Leitung nach thermischen Kontakt mit der kältesten Kältestufe in den am Kaltkopf montierten Hohlraum mündet oder entlang der metallischen Verbindung in den Flüssigkeitstank geführt wird. Das sich in der Leitung befindende Gas wird am Kaltkopf des Kryokühlers abgekühlt und an der kältesten Kältestufe verflüssigt, so dass sich aufgrund des resultierenden Sogs eine Strömung in der Leitung durch die Hals- oder Aufhängerrohre hin zur Kühlvorrichtung ausbildet. Die Gasströmung bewirkt, dass die Hals- oder Aufhängerrohre durch das sich erwärmende Gas gekühlt werden und dadurch im Idealfall der Wärmeeintrag über die Hals- oder Aufhängerrohre komplett kompensiert wird. Durch diese Umlaufströmung zur Kühlung von Hals- bzw. Aufhängerrohren kann der Wärmeeintrag auf den Kryostaten weiter reduziert werden.

**[0018]** Bei einer Weiterbildung dieser Ausführungsform ist in der Verbindungsleitung zwischen den Hals- oder Aufhängerrohren und dem Kaltkopf ein Ventil und/oder eine Pumpe zur Regelung des Gasflusses vorgesehen. Hierdurch kann bei Bedarf der Gasstrom gedrosselt oder der optimale Gasfluss eingeregelt werden, wenn z. B. die Sogwirkung am Kaltkopf so groß ist, dass der Gasstrom größer wird als es für die optimale Kühlung der Aufhänge- oder Halsrohre ausreichend wäre.

**[0019]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn an der kältesten Kältestufe des Kaltkopfes Helium bei einer Temperatur von 4,2 K oder bei tieferer Temperatur verflüssigt werden kann, da sich hierdurch eine Vielzahl an Einsatzmöglichkeiten im Tiefsttemperaturbereich bietet. Somit können der Helium-Verlust und die Nachfüllvorgänge reduziert werden bzw. kann bei genügend großer Kälteleistung des Kryokühlers ein verlustfreier Betrieb erreicht werden.

**[0020]** Ein weiterer vorteilhafter Aspekt beinhaltet, dass an einer Kältestufe des Kaltkopfes des Kryokühlers flüssiger Stickstoff bei 77 K oder bei einer tieferen Temperatur erzeugt werden kann. Durch die Verwendung der Wärme übertragenden Vorrichtungen in einer Kryostatanordnung mit einem Behälter mit flüssigem Stickstoff können daher die Stickstoffverluste reduziert oder bei genügend großer Kälteleistung des Kryokühlers ein verlustfreier Betrieb erreicht werden.

**[0021]** In einer vorteilhaften Ausführungsform wird eine Kältestufe des Kaltkopfes, welche nicht die kälteste ist, mit dem den Kaltkopf zumindest teilweise umgebenden Strahlungsschild thermisch leitend verbunden. Auf diese Weise wird der Wärmeeintrag durch Strahlung auf die kälteren Komponenten des Kaltkopfes wesentlich reduziert.

**[0022]** Außerdem ist es von Vorteil, wenn die Wärme übertragende Vorrichtung zumindest teilweise innerhalb

des Außenmantels der Kühlvorrichtung, also innerhalb des Vakuumsraums, zu liegen kommt. Dies ist insbesondere für den Teil der Wärme übertragenden Vorrichtung relevant, der mit dem Kaltkopf des Kryokühlers verbunden ist. Somit ist dieser Teil der Wärme übertragenden Vorrichtung nach außen gegen Wärmeleitung sehr gut isoliert.

**[0023]** Des Weiteren ist es besonders vorteilhaft, wenn die Wärme übertragende Vorrichtung im Bereich außerhalb des Außenmantels zumindest teilweise von einem ersten Rohr umgeben ist. Dieses Rohr dient der Wärmeisolation der Wärme übertragenden Vorrichtung. Es kann, muss aber nicht über seine ganze Länge denselben Durchmesser aufweisen. So kann es zum Beispiel konstruktionsbedingt günstiger sein, für einen Teil des Rohres den kleinstmöglichen, für den Rest aber einen größeren Durchmesser zu wählen.

**[0024]** In einer bevorzugten Ausführungsform ist dabei das die Wärme übertragende Vorrichtung umgebende erste Rohr an einem Ende offen und dort mit dem Vakuumsraum des Außenmantels verbunden ist, während es am anderen Ende gasdicht mit der Rohrleitung oder der metallischen Verbindung der Wärme übertragenden Vorrichtung verbunden ist. Wird bei dieser Ausführungsform der Vakuumsraum der Kühlvorrichtung evakuiert, so steht auch der vom ersten Rohr umgebene Teil der Wärme übertragenden Vorrichtung unter Vakuum. Die Wärme übertragende Vorrichtung ist dann in diesem Bereich sehr gut nach außen gegen Wärmeleitung isoliert.

**[0025]** Bei einer anderen vorteilhaften Ausführungsform ist das die Wärme übertragende Vorrichtung umgebende erste Rohr an beiden Enden gasdicht mit der Rohrleitung oder der metallischen Verbindung der Wärme übertragenden Vorrichtung verbunden und über einen separaten Anschluss zur Evakuierung versehen. Der Innenraum des Rohres kann hierdurch evakuiert und der vom Rohr umgebene Teil der Wärme übertragenden Vorrichtung sehr gut nach außen gegen Wärmeleitung isoliert werden.

**[0026]** Besonders günstig ist es, wenn die Rohrleitung oder die metallische Verbindung der Wärme übertragenden Vorrichtung zumindest teilweise von einem weiteren, zweiten Rohr umgeben ist, welches mit dem Strahlungsschild thermisch leitend verbunden ist. Dieses Rohr ist innerhalb des ersten Rohres angeordnet, welches - wie eben beschreiben - der Vakuumisolierung dient. Auf diese Weise ist der vom zweiten Rohr umgebene Teil der Wärme übertragenden Vorrichtung sehr gut nach außen gegen Wärmestrahlung isoliert.

**[0027]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die eben beschriebenen, die Wärme übertragende Vorrichtung umgebenden Rohre zumindest abschnittsweise flexibel, insbesondere als Balg, ausgeführt sind.

**[0028]** Zudem erweist es sich als sehr günstig, wenn auch die Wärme übertragende Vorrichtung zumindest abschnittsweise flexibel, insbesondere als Balg oder in Form von zu Litzen verflochtenen Drähten, ausgeführt ist. Somit kann eine Ausführungsform der erfindungsge-

mäßen Kühlvorrichtung realisiert werden, bei der die Wärme übertragende Vorrichtung mitsamt den sie umgebenden Rohren flexibel ist, was deren Einbau in die Hals- oder Aufhängerohre einer Kryostatanordnung wesentlich erleichtern kann.

**[0029]** In diesem Zusammenhang ist es ferner vorteilhaft, wenn sich die Wärme übertragende Vorrichtung und die sie umgebenden Rohre an mindestens einer Stelle mittels einer gasdichten Kupplung miteinander verbinden und voneinander trennen lassen. Die Kupplung ist so aufgebaut, dass die Funktionalität der Wärme übertragenden Vorrichtung mitsamt den sie umgebenden Rohren nicht beeinträchtigt wird. Hierdurch wird das Anbringen der Kühlvorrichtung an einer Kryostatanordnung wesentlich erleichtert.

**[0030]** In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist es vorgesehen, dass die Kühlvorrichtung am Kryostaten zur Aufbewahrung kryogener Flüssigkeiten gasdicht befestigt werden kann. Dies kann entweder an den Hals- oder Aufhängerohren oder am Außenmantel der Kryostatanordnung ausgeführt sein.

**[0031]** Alternativ und bevorzugt kann die Kühlvorrichtung außerhalb des Kryostaten, z.B. an der Raumdecke oder an einem separaten Ständer, befestigt werden. Auf der Kryostatanordnung lastet dann nicht noch das Gewicht der Kühlvorrichtung. Dies erhöht unter Umständen die mechanische Stabilität der Kryostatanordnung.

**[0032]** In diesem Zusammenhang ist es besonders vorteilhaft, wenn zur Abdichtung zwischen Kühlvorrichtung und Kryostat ein weiches, Vibrationen nicht übertragendes Verbindungselement vorgesehen ist. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass - besonders für hochauflösende NMR-Verfahren - keine störenden beziehungsweise nur wenige Schwingungen der Kühlvorrichtung auf die Kryostatanordnung übertragen werden.

**[0033]** Weiterhin ist es möglich, an den Kältestufen des Kaltkopfes des Kryokühlers elektrische Heizungen anzubringen. Bei einer Überschussleistung können die Heizungen so eingeregelt werden, dass der Kryokühler genau den Wärmeeinfall auf die verschiedenen Behälter der Kryostatanordnung kompensiert.

**[0034]** Die Vorteile der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung kommen besonders gut zur Geltung, wenn sie Teil einer Kryostatanordnung ist.

**[0035]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Kühlvorrichtung zur Kühlung einer supraleitenden Magnetanordnung dient, insbesondere wenn die supraleitende Magnetanordnung Teil einer Apparatur zur Kernspinresonanz, insbesondere Magnetic Resonance Imaging (MRI) oder Magnetresonanztomographie (NMR) ist.

**[0036]** Schließlich ist es möglich, dass in einer mit der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung versehenen Kryostatanordnung über ein Hals- oder Aufhängerohr mindestens eines Flüssigkeitstanks eine elektrische Heizung in den Flüssigkeitstank eingeführt werden kann. Bei einer Überschussleistung des in der Kühlvorrichtung integrierten Kaltkopfes des Kryokühlers kann somit der Druck in den Flüssigkeitsbehältern über dem Umgebungsdruck

und konstant gehalten werden. Es ist jedoch auch vorstellbar, dass die Leistung des Kryokühlers über seine Betriebsfrequenz und/ oder die Füllmenge an Arbeitsgas im Kryokühler geregelt wird.

**[0037]** Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und den Zeichnungen. Ebenso können die vorstehend genannten und die weiter aufgeführten Merkmale je für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

**[0038]** Es zeigen:

- 15 Fig. 1 eine Kryostatanordnung mit zwei Flüssigkeitstanks für kryogene Flüssigkeiten;
- 20 Fig. 2a eine erfindungsgemäße Kühlvorrichtung mit Wärme übertragenden Vorrichtungen, die einen Hohlraum aufweisen;
- 25 Fig. 2b eine erfindungsgemäße Kühlvorrichtung mit Wärme übertragenden Vorrichtungen, die eine metallische, die Wärme sehr gut leitende Verbindung aufweisen;
- 30 Fig. 3 eine in einen Kryostaten eingebaute Kühlvorrichtung gemäß Fig. 2a;
- 35 Fig. 4 eine in einen Kryostaten eingebaute Kühlvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung mit einer Verbindungsleitung, die den Kaltkopf des Kryokühlers mit einem Aufhängerohre eines Flüssigkeitstanks verbindet;
- 40 Fig. 5a eine am Kryostaten befestigte Kühlvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;
- 45 Fig. 5b eine an der Raumdecke befestigte Kühlvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung; und
- Fig. 5c eine an einem Ständer befestigte Kühlvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung

**[0039]** Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Kryostaten **1** mit einer Magnetanordnung **5**, wie er üblicherweise für MR-Anwendungen zum Einsatz kommt. Der Kryostat **1** umfasst einen mit Helium gefüllten Flüssigkeitstank **2a**, der an Aufhängerohren **3a** mit einem Außenmantel **4** des Kryostaten **1** verbunden ist, und in dem eine Magnetanordnung **5** angeordnet ist. Um den Flüssigkeitstank **2a** ist ein weiterer Flüssigkeitstank **2b** angeordnet, der Stickstoff enthält und an den Aufhängerohren **3b** mit dem Außenmantel **4** des Kryostaten **1** verbunden ist. Der Flüssigkeitstank **2b** mit Stickstoff ist thermisch mit den Aufhängerohren **3a** kontaktiert. Zwischen

den beiden Flüssigkeitstanks 2a, 2b ist ein abgasgekühlter Strahlungsschild 6 angeordnet, der wiederum mit den Aufhängerohren 3a thermisch kontaktiert ist.

**[0040]** Fig. 2a zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung 7. Die Kühlvorrichtung umfasst einen Außenmantel 8, der einen Vakuumraum 9 begrenzt, und einen darin eingebauten Kaltkopf 10 eines Kryokühlers, der mindestens zwei Kältestufen 11, 12 aufweist und der zumindest teilweise von einem Strahlungsschild 13 umgeben ist. Die Kältestufen 11, 12 des Kaltkopfes 10 sind jeweils mit einer Wärme übertragenden Vorrichtung 14a, 14b thermisch leitend verbunden. Die Wärme übertragenden Vorrichtungen 14a, 14b weisen jeweils einen Hohlraum 15a, 15b auf, wobei die Hohlräume 15a, 15b mit jeweils einer Rohrleitung 16a, 16b verbunden sind.

**[0041]** Fig. 2b zeigt eine alternative Ausführungsform der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung 7, bei der die Wärme übertragenden Vorrichtungen 14a, 14b Verbindungen 17a, 17b aufweisen, welche Wärme sehr gut leiten können. Diese Verbindungen können beispielsweise in Form von Kaltfingern, die im Allgemeinen als Metallstäbe vorliegen, ausgeführt sein. Ein solcher Metallstab sollte eine größtmögliche Querschnittsfläche aufweisen, so dass die Temperaturdifferenz über den Stab möglichst klein bleibt.

**[0042]** Die Rohrleitungen 16a, 16b können in die Aufhängerohre 3a, 3b von den Flüssigkeitstanks 2a, 2b eines Kryostaten 1 eingeführt werden. Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Kühlvorrichtung 7 im eingebauten Zustand. Die Rohrleitungen 16a, 16b befinden sich hier im Kryogendampf oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche der in den Flüssigkeitstanks 2a, 2b befindlichen Kryogene 18a, 18b. Wie in Fig. 2a, 2b und 3 gezeigt, sind die Wärme übertragenden Vorrichtungen 14a, 14b jeweils mit einer Kältestufe 11, 12 des Kryokühlers thermisch leitend verbunden. Die aus den Flüssigkeitstanks 2a, 2b des Kryostaten 1 verdampften Kryogene 18a, 18b werden durch die Rohrleitungen 16a, 16b in den Hohlraum 15a, 15b an der jeweiligen Kältestufe 12, 11 geleitet, wo die Kryogene 18a, 18b kondensieren und somit verflüssigt werden, um anschließend durch die Rohrleitungen 16a, 16b wieder in die Flüssigkeitstanks 2a, 2b des Kryostaten 1 zurückzufließen. Alternativ kann der Heliumdampf auch am Ende einer metallischen, die Wärme sehr gut leitenden Verbindung 17a, 17b, die mit dem Kaltkopf 10 kontaktiert ist, verflüssigt werden, wie in Fig. 2b gezeigt.

**[0043]** Dabei wird das bei höherer Temperatur siedende Kryogen 18b aus dem Flüssigkeitstank 2b an der ersten Kältestufe 11 des Kaltkopfes 10 verflüssigt, während die Verflüssigung des bei niedrigerer Temperatur siedenden Kryogens 18a an der zweiten, kälteren Kältestufe 12 des Kaltkopfes 10 stattfindet. Die Erfindung umfasst darüber hinaus auch Kühlvorrichtungen mit einem mehrstufigen Kaltkopf 10, so dass prinzipiell eine beliebige Anzahl an Kryogenen, entsprechend der Anzahl der Kältestufen des Kaltkopfes 10, verflüssigt werden kann.

**[0044]** Um die Wärme übertragenden Vorrichtungen 14a, 14b gegenüber Wärmeeinfall zu isolieren, sind diese von einem ersten Rohr 19a, 19b umgeben, welches mit dem Vakuumraum 9 des Außenmantels 8 der Kühlvorrichtung 7 verbunden und zusammen mit dem Vakuumraum 9 evakuierbar ist (s. Fig. 2a, 2b). Zur Verbesserung der Wärmeisolation gegen von außen eindringende Wärmestrahlung ist innerhalb des ersten Rohres 19a ein zweites Rohr 20 angeordnet, welches mit dem Strahlungsschild 13 thermisch leitend verbunden ist. Der Durchmesser des ersten Rohres 19b ist in Fig. 2a, 2b und Fig. 3 nicht über die ganze Länge gleich. Es kann notwendig sein, dass das Rohr am geschlossenen Ende auf einen kleineren Durchmesser reduziert wird, damit es in das Aufhängerohr 3b des Flüssigkeitstanks 2b berührungslos eingeschoben werden kann. Um die Verbindung zwischen dem ersten Rohr 19b und dem Außenmantel 8 der Kühlvorrichtung 7 flexibel zu gestalten, ist diese als Balg ausgeführt. Zwischen dem ersten Rohr 19a und dem Außenmantel 8 und in einem Abschnitt des zweiten Rohrs 20 kann auch jeweils ein Balg eingefügt werden. Mit flexiblen Verbindungselementen 21a, 21b (wie zu Litzen verflochtener Draht) kann die in Fig. 2b gezeigte metallische Verbindung 17a, 17b beweglich gestaltet werden. Bei einer Überschussleistung des Kryokühlers können zusätzliche Heizungen (nicht gezeigt) an den Kältestufen 11, 12 des Kaltkopfes 10 des Kryokühlers angebracht werden. Alternativ oder ergänzend dazu kann, bei einer Überschussleistung des Kryokühlers, der Druck in den Flüssigkeitstanks 2a, 2b für die Kryogene 18a, 18b mit Heizungen 22a, 22b in den Flüssigkeitstanks 2a, 2b, die beispielsweise über noch freie Hals- oder Aufhängerohre 3c, 3d eingeführt werden, konstant gehalten werden.

**[0045]** Fig. 4 zeigt eine vorteilhafte Variante der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung, bei der ein freies Hals- oder Aufhängerohr 3c des Kryostaten 1 über eine beidseitig offene Leitung 23 nach Wärmekontakt mit den Kältestufen 11, 12 des Kaltkopfes 10 mit dem Hohlraum 15a und somit auch mit dem Flüssigkeitstank 2a verbunden ist. Eine derartige Verbindung lässt sich auch mit mehreren freien Hals- oder Aufhängerohr 3c realisieren. Die von den Aufhängerohren 3c kommenden Leitungen werden dann zunächst in einer einzigen Leitung 23 gefasst. Diese Leitung 23 wird dann durch den Außenmantel 8 der Kühlvorrichtung 7, die den Kaltkopf 10 enthält, geführt und mittels der Wärmeübertrager 24b, 24a mit mindestens zwei Kältestufen 11, 12 des Kaltkopfes 10 und unter Umständen auch mit einem Regeneratorrohr 25 oberhalb der kältesten Kältestufe 12, z. B. durch Umwicklung des Regeneratorrohres 25, thermisch kontaktiert. Nach Kontakt mit der kältesten Kältestufe 12 mündet die Leitung 23 in den am Kaltkopf 10 montierten Hohlraum 15a oder wird entlang der metallischen Verbindung 17a in den Flüssigkeitstank 2a für das Kryogen 18a (Helium) geführt. Das sich in der Leitung 23 befindende Gas wird am Kaltkopf 10 abgekühlt und an der kältesten Kältestufe 12 verflüssigt, so dass sich aufgrund des resul-

tierenden Sogs eine Strömung in der Leitung 23 durch das Aufhängerohr 3c hin zur Kühlvorrichtung 7 ausbildet. Die Gasströmung bewirkt, dass das Aufhängerohr 3c durch das sich erwärmende Gas gekühlt wird und somit im Idealfall der Wärmeeintrag über das Aufhängerohr 3c komplett kompensiert, zumindest aber reduziert wird. Insgesamt nimmt die Leistung des Kryokühlers durch die zusätzlich Belastung zwar geringfügig ab, der Gewinn auf Grund des geringeren Wärmeeinfalls ist jedoch größer als der Verlust an Kälteleistung. Gerade für Systeme mit massiveren Hals- oder Aufhängerohren 3c kann so unter Umständen ein leistungsschwächerer Kryokühler verwendet werden. Es ist vorstellbar, die die Wärme übertragenden Vorrichtungen 14a, 14b (Wärmerohre bzw. Kaltfinger) zwei- oder mehrteilig zu gestalten, wodurch sie sich mittels gasdichten Kupplungen (nicht gezeigt) trennen lassen können. So wird ein einfacherer Ein- und Ausbau möglich. Um den Gasfluss durch die Leitung 23 zu regeln und dadurch einen optimalen Gasfluss zu erreichen, ist in der Leitung 23 ein Ventil 26 und eine Pumpe 27 vorgesehen. Prinzipiell ist es jedoch ausreichend, die Leitung 23 lediglich mit einer derartigen Vorrichtung (Ventil 26 oder Pumpe 27) auszustatten oder ganz ohne derartige Vorrichtungen zu belassen. Bei der in Fig. 4 vorgestellten Ausführungsform sind, wie auch bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3, Heizungen 22a, 22b in den Flüssigkeitstank 2a, 2b vorgesehen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden in Fig. 4 jedoch die Anschlüsse nicht eingezeichnet.

**[0046]** Fig. 5a bis 5c zeigen verschiedene Möglichkeiten für die Fixierung der Kühlvorrichtung 7. Der Vakuumbehälter, in dem sich der Kaltkopf 10 des Kryokühlers befindet, kann entweder am Außenmantel 4 des Kryostaten 1 direkt, wie in Fig. 5a gezeigt, oder extern, z.B. an der Raumdecke 28 (Fig. 5b) oder an einem separaten Ständer 29 (Fig. 5c) befestigt werden. Bei Befestigung am Kryostaten 1 muss eine Dichtung 30 vorgesehen werden. Zwischen dem Vakuumraum 9 und dem Außenmantel 4 des Kryostaten 1 werden bei externer Aufhängung nur noch weiche Abdichtelemente 31a, 31 b eingesetzt. Dies hat zur Folge, dass Vibrationen des Kryokühlers nicht oder nur sehr abgeschwächt auf den Kryostaten 1 übertragen werden. Dies erweist sich als besonders günstig, wenn die Kühlvorrichtung 7 zur Kühlung einer Kryostatanordnung eingesetzt wird, die eine supraleitende Magnetanordnung 5 enthält, insbesondere, wenn die supraleitende Magnetanordnung 5 Teil einer Apparatur zur Kernspinresonanz, insbesondere Magnetic Resonance Imaging (MRI) oder Magnetresonanztomographie (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) ist. Mit der erfindungsgemäßen Kühlvorrichtung können demnach hochauflösenden NMR-Verfahren realisiert werden.

**[0047]** Zusammenfassend ergibt sich eine Kühlvorrichtung, die es erlaubt, bestehende Kryostatanordnungen, und im Speziellen solche, die supraleitende Magnete enthalten, ohne (oder mit nur geringen) Anpassungen so nachzurüsten, dass auch bei Verwendung mehrerer Kryogene mit einem geringen apparativen Aufwand ein

kryogenverlustfreier Betrieb möglich wird.

## Bezugszeichenliste

### 5 [0048]

1	Kryostat
2a, 2b	Flüssigkeitstanks
3a, b, c, d	Aufhängerohre
10 4	Außenmantel des Kryostaten
5	Magnetanordnung
6	Strahlungsschild des Kryostaten
7	Kühlvorrichtung
8	Außenmantel der Kühlvorrichtung
15 9	Vakuumraum
10	Kaltkopf
11	erste Kältestufe
12	zweite Kältestufe
13	Strahlungsschild der Kühlvorrichtung
20 14a, b	Wärme übertragenden Vorrichtung
15a, b	Hohlraum
16a, b	Rohrleitung
17a, b	Verbindung
18a, b	Kryogen
25 19a, b	erstes Rohr
20	zweites Rohr
21a, b	Verbindungselement
22 a, b	Heizung
23	offene Leitung
30 24a, b	Wärmeüberträger
25	Regeneratorrohr
26	Ventil
27	Pumpe
28	Raumdecke
35 29	Ständer
30	Dichtung
31a, b	Abdichtelemente

### 40 Patentansprüche

1. Eine Kühlvorrichtung (7) zur Rückverflüssigung von kryogenen Gasen, mit einem Außenmantel (8), der einen Vakuumraum (9) begrenzt, und einem darin eingebauten Kaltkopf (10) eines Kryokühlers, der mindestens zwei Kältestufen (11, 12) aufweist und der zumindest teilweise von einem Strahlungsschild (13) umgeben ist,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** mindestens zwei Kältestufen (11, 12) des Kaltkopfes (10) für sich jeweils mit einer Wärme übertragenden Vorrichtung (14a, 14b) thermisch leitend verbunden sind, die jeweils in Hals- oder Aufhängerohre (3a, 3b) eines Kryostaten (1) zur Aufbewahrung von mindestens zwei verschiedenen kryogenen Flüssigkeiten (18a, 18b) eingeführt werden können.

2. Kühlvorrichtung (7) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der Wärme übertragenden Vorrichtungen (14a, 14b) einen Hohlraum (15a, 15b) aufweist, der mit einer offenen Leitung, insbesondere einer Rohrleitung (16a, 16b), verbunden ist, die das aus einem Flüssigkeitstank (2a, 2b) des Kryostaten (1) verdampfte Kryogen (18a, 18b) in den Hohlraum an der Kältestufe leitet, wo es verflüssigt wird, um anschließend durch die Rohrleitung (16a, 16b) wiederum in den Flüssigkeitstank (2a, 2b) des Kryostaten (1) zurückzuzufießen.
3. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der Wärme übertragenden Vorrichtungen (14a, 14b) eine metallische, die Wärme sehr gut leitende Verbindung (17a, 17b) aufweist, an deren Ende aus dem Flüssigkeitstank (2a, 2b) des Kryostaten (1) verdampftes Kryogen (18a, 18b) verflüssigt wird und anschließend wieder in ein Flüssigkeitsbad des Flüssigkeitstanks (2a, 2b) des Kryostaten (1) zurückfließt.
4. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kryokühler ein Pulsrohrkühler ist.
5. Kühlvorrichtung (7) nach einem Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kryokühler ein Gifford-McMahon-Kühler ist.
6. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** mindestens eine beidseitig offene Verbindungsleitung (23) vorgesehen ist, über die der Kaltkopf (10) des Kryokühlers mit mindestens einem Hals- oder Aufhängerohr (3c) des Flüssigkeitstanks (2a) mit dem tiefst siedenden Kryogen (18a), in das keine Wärme übertragende Vorrichtung (14a) eingeführt wird, verbunden werden kann, wobei die Leitung (23) mit mindestens zwei Kältestufen (11, 12) des Kaltkopfes (10) und unter Umständen auch mit einem Regeneratrorrohr (25) oberhalb der kältesten Kältestufe (12) thermisch kontaktiert ist, und wobei die Leitung (23) nach thermischen Kontakt mit der kältesten Kältestufe (12) in den am Kaltkopf (10) montierten Hohlraum (15a) mündet oder entlang der metallischen Verbindung (17a) in den Flüssigkeitstank (2a) geführt wird.
7. Kühlvorrichtung (7) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Verbindungsleitung (23) zwischen Hals- oder Aufhängerohren (3c) und Kaltkopf (10) ein Ventil (26) und / oder eine Pumpe (27) eingefügt ist.
8. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der kältesten Kältestufe (12) des Kryokühlers Helium bei einer Temperatur von 4,2 K oder bei tieferer Temperatur verflüssigt werden kann.
9. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an einer Kältestufe (11) des Kaltkopfes (10) des Kryokühlers flüssiger Stickstoff bei 77 K oder bei einer tieferen Temperatur erzeugt werden kann.
10. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Kältestufe (11) des Kaltkopfes des Kryokühlers, welche nicht die kälteste ist, mit dem den Kaltkopf (10) zumindest teilweise umgebenden Strahlungsschild (13) thermisch leitend verbunden ist.
11. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärme übertragende Vorrichtung (14a, 14b) zumindest teilweise innerhalb des Außenmantels (8) angeordnet ist.
12. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wärme übertragende Vorrichtung (14a, 14b) im Bereich außerhalb des Außenmantels (8) zumindest teilweise von einem ersten Rohr (19a, 19b) umgeben ist.
13. Kühlvorrichtung (7) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das die Wärme übertragende Vorrichtung (14a, 14b) umgebende erste Rohr (19a, 19b) an einem Ende offen und dort mit dem Vakuumraum (9) des Außenmantels (8) verbunden ist, während es am anderen Ende gasdicht mit der Rohrleitung (16a, 16b) oder der metallischen Verbindung (17a, 17b) der Wärme übertragenden Vorrichtung (14a, 14b) verbunden ist.
14. Kühlvorrichtung (7) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** das die Wärme übertragende Vorrichtung (14a, 14b) umgebende erste Rohr (19a, b) an beiden Enden gasdicht mit der Rohrleitung (16a, 16b) oder der metallischen Verbindung (17a, 17b) der Wärme übertragenden Vorrichtung (14a, 14b) verbunden ist und mit einem separaten Anschluss zur Evakuierung versehen ist.
15. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrleitung (16a) oder die metallische Verbindung (17a) der Wärme übertragenden Vorrichtung (14a) zumindest teilweise von einem zweiten Rohr (20) umgeben ist, welches mit dem Strahlungsschild (13) thermisch leitend verbunden ist, wobei das zweite Rohr (20) innerhalb des ersten Rohres (19a) angeordnet ist.

16. Kühlvorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die die Wärme übertragende Vorrichtung (14a, 14b) umgebenden Rohre (19a, 19b, 20) zumindest abschnittsweise flexibel, insbesondere als Balg, ausgeführt sind. 5
17. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrleitung (16a, 16b) oder die metallische, die Wärme sehr gut leitende Verbindung (17a, 17b) der Wärme übertragenden Vorrichtung (14a, 14b) zumindest abschnittsweise flexibel, insbesondere als Balg oder in Form von zu Litzen verflochtenen Drähten, ausgeführt ist. 10 15
18. Kühlvorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 12 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die Wärme übertragende Vorrichtung (14a, 14b) einschließlich der sie umgebenden Rohre (19a, 19b, 20) an mindestens einer Stelle mittels einer gasdichten Kupplung verbinden und trennen lässt. 20
19. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlvorrichtung (7) am Kryostaten (1) zur Aufbewahrung kryogener Flüssigkeiten (18a, 18b) gasdicht befestigt werden kann. 25
20. Kühlvorrichtung (7) nach einem der Ansprüche 1 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kühlvorrichtung (7) außerhalb des Kryostaten (1) befestigbar ist. 30
21. Kühlvorrichtung (7) nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Abdichtung zwischen Kühlvorrichtung (7) und Kryostat (1) ein weiches, Vibrationen nicht übertragendes Verbindungselement (31 a, 31 b) vorgesehen ist. 35 40
22. Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an den Kältestufen (11, 12) des Kryokühlers elektrische Heizungen angebracht werden. 45
23. Kryostatanordnung **gekennzeichnet durch** eine Kühlvorrichtung (7) nach einem der vorhergehenden Ansprüche. 50
24. Kryostatanordnung nach Anspruch 23, **gekennzeichnet durch** eine supraleitende Magnetanordnung (5), wobei die Kühlvorrichtung (7) zur Kühlung der supraleitende Magnetanordnung (5) dient. 55
25. Kryostatanordnung nach Anspruch 24, **dadurch gekennzeichnet, dass** die supraleitende Magnetanordnung (5) Teil einer Apparatur zur Kernspinresonanz, insbesondere Magnetic Resonance Imaging (MRI) oder Magnetresonanzspektroskopie (Nuclear Magnetic Resonance, NMR) ist.
26. Kryostatanordnung nach einem der Ansprüche 23 bis 25, **dadurch gekennzeichnet, dass** über ein Aufhänge- oder Halsrohr (3c) mindestens eines Flüssigkeitstanks (2a, 2b) eine elektrische Heizung (22a, 22b) in den Flüssigkeitstank (2a, 2b) eingeführt werden kann.

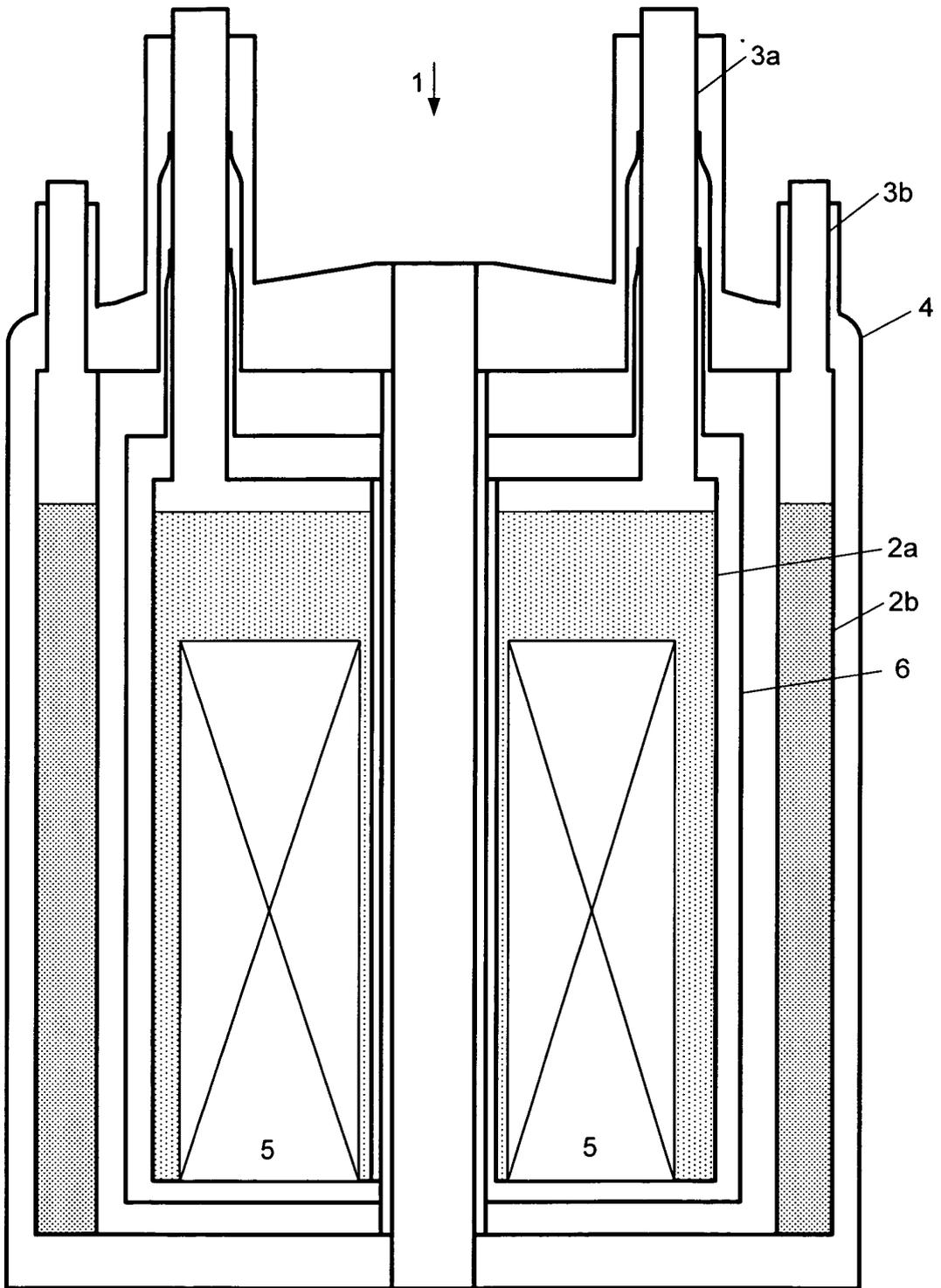


Fig. 1

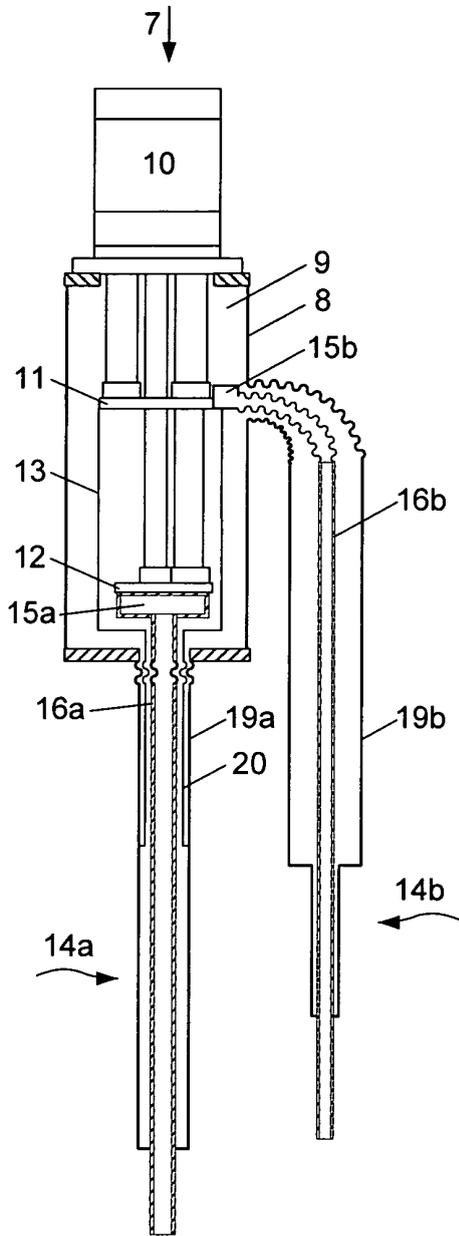


Fig. 2a

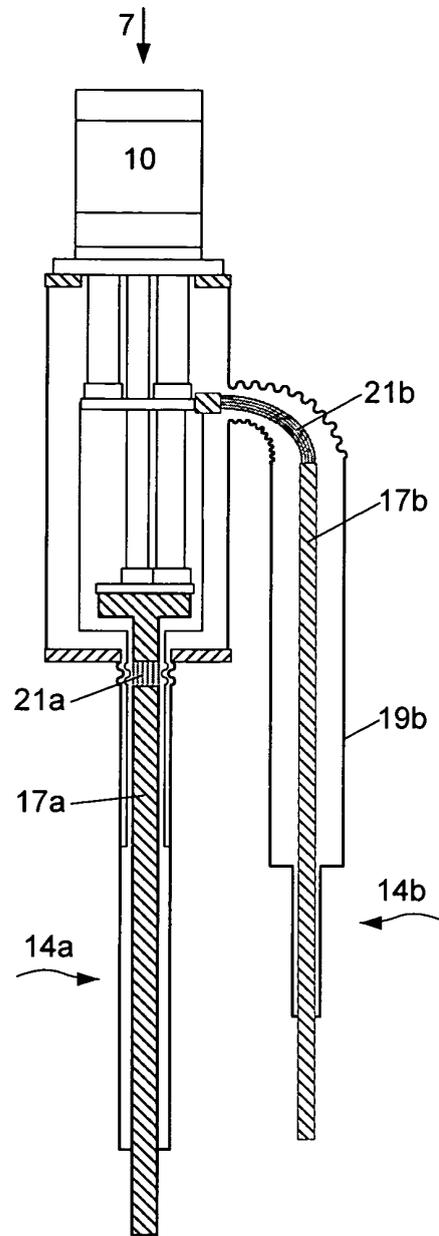


Fig. 2b

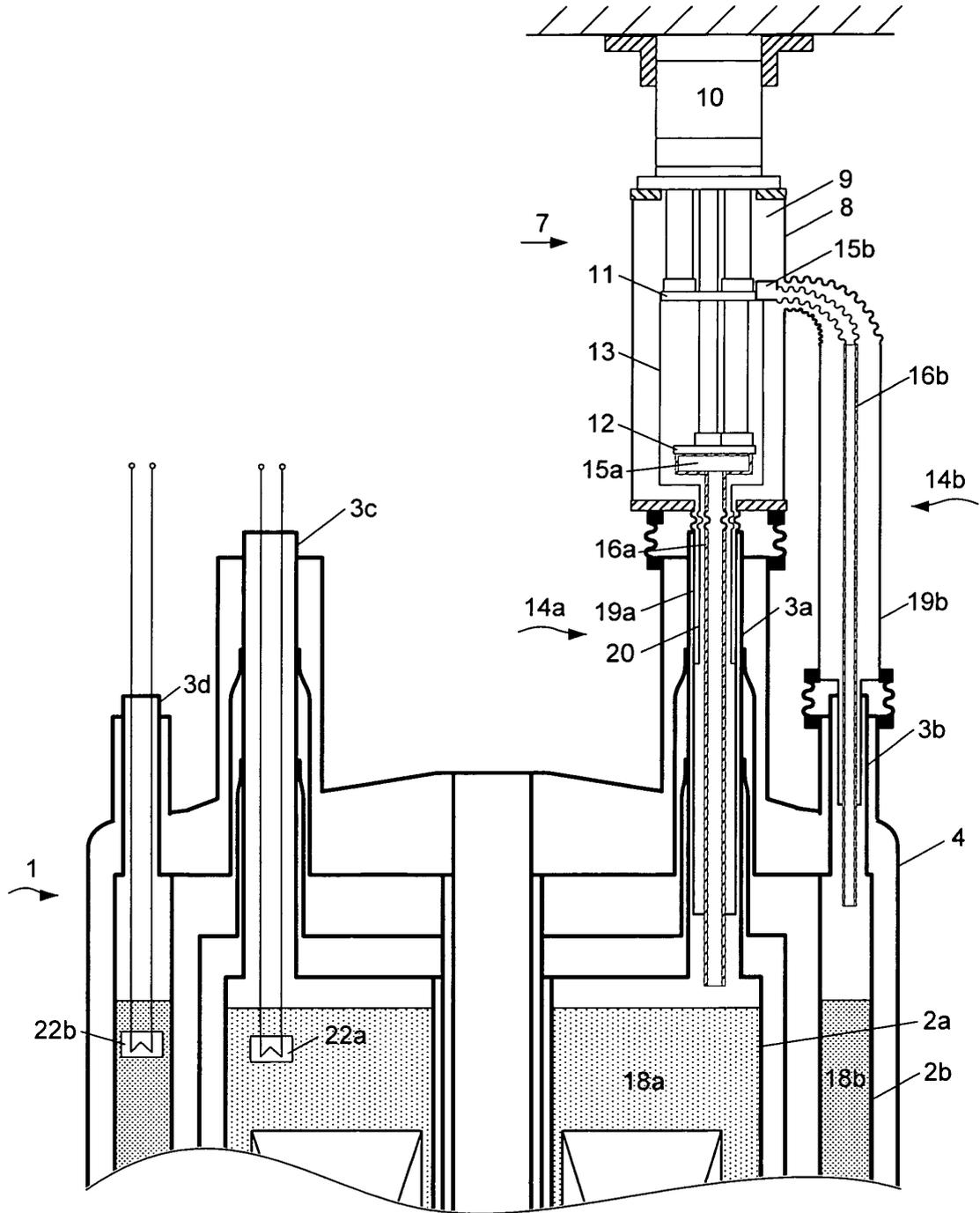


Fig. 3

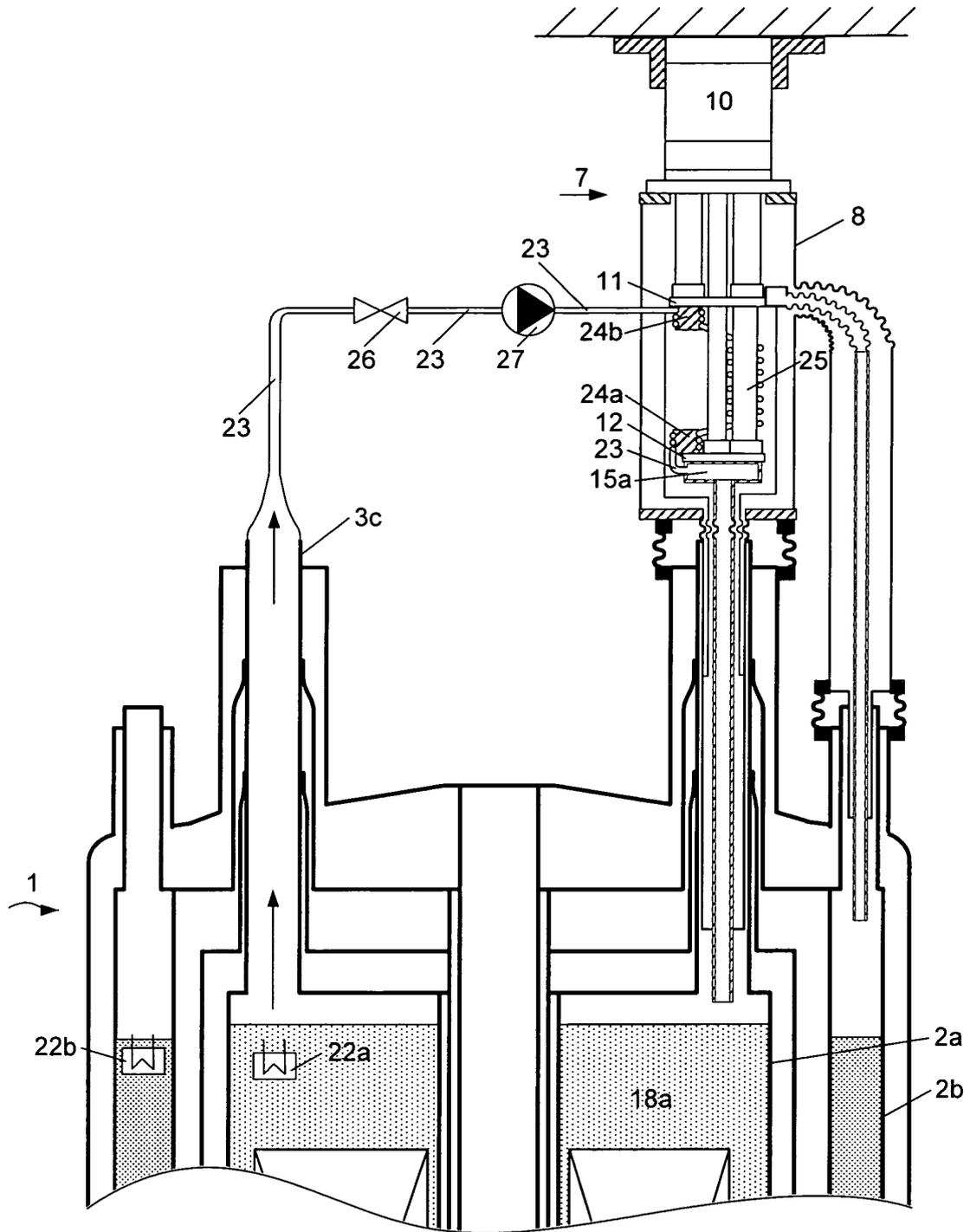


Fig. 4

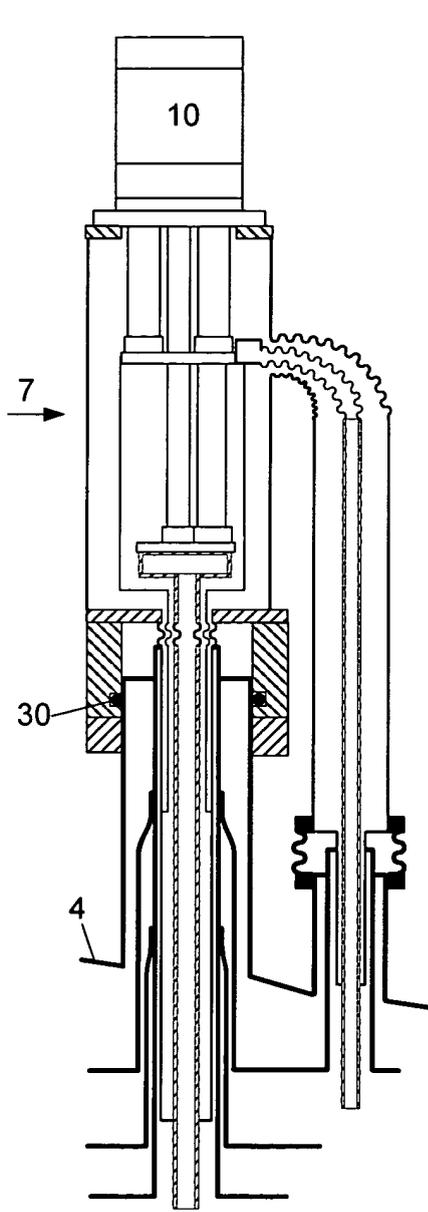


Fig. 5a

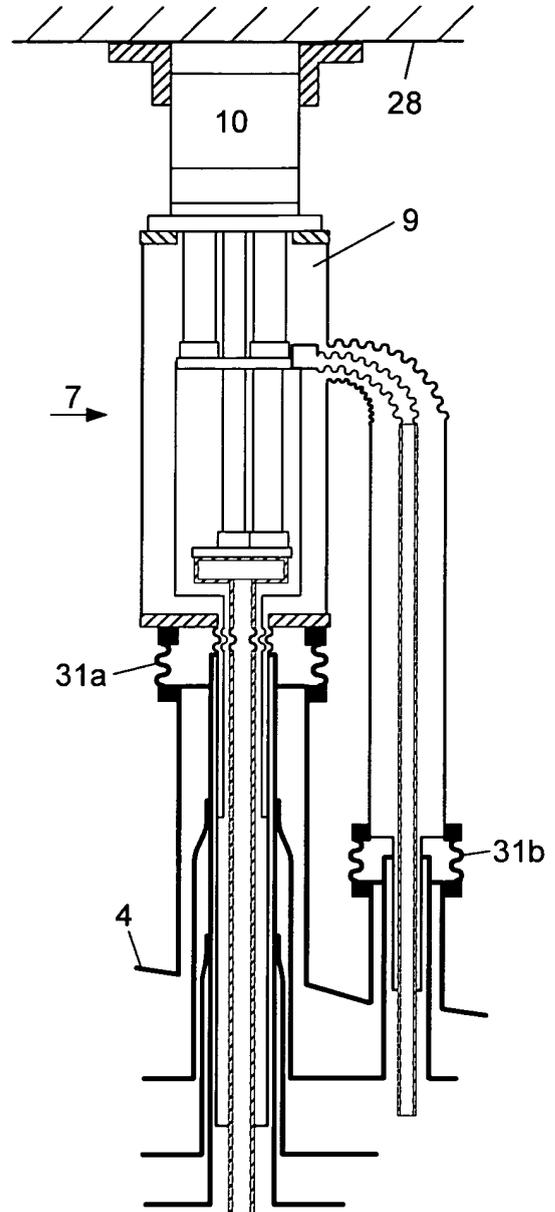


Fig. 5b

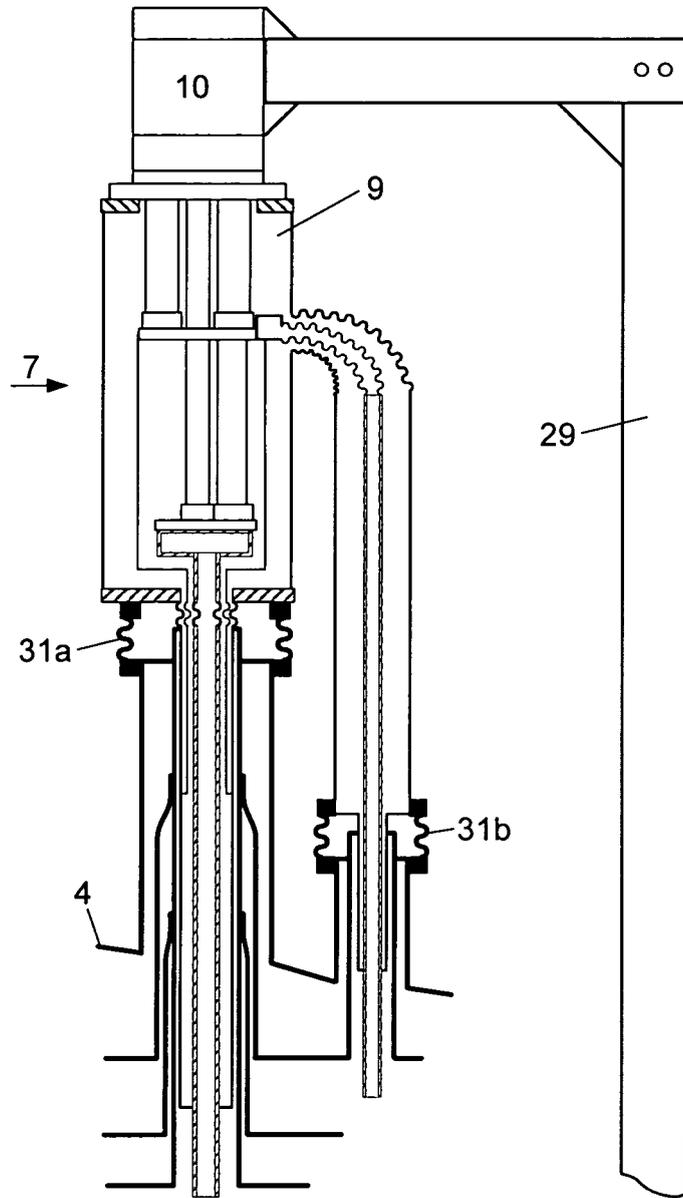


Fig. 5c