

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 628 109 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
22.02.2006 Patentblatt 2006/08

(51) Int Cl.:
F25D 19/00^(2006.01) F25B 9/14^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05016143.9**

(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

(30) Priorität: **30.07.2004 DE 102004037172**

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

(72) Erfinder:
• **Bösel, Johannes
6345 Neuheim (CH)**
• **Strobel, Marco
76227 Karlsruhe (DE)**
• **Kraus, Andreas
8616 Riedikon (CH)**

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

(54) Kryostatanordnung

(57) Eine Kryostatanordnung zur Aufbewahrung von flüssigem Helium mit einem Außenmantel (3) und einem darin eingebauten Heliumbehälter (1), wobei der Heliumbehälter (1) an mindestens zwei Aufhängerohren (2) mit dem Außenmantel (3) verbunden ist, wobei der Heliumbehälter (1) ferner ein Halsrohr (5) enthält, dessen oberes warmes Ende mit dem Außenmantel (3) und dessen unteres kaltes Ende mit dem Heliumbehälter (1) verbunden ist und in das der mehrstufige Kaltkopf (6) eines Kryokühlers eingebaut ist, wobei der Außenmantel (3), der Heliumbehälter (1), die Aufhängerohre (2) und das Halsrohr (5) einen evakuierten Raum (7) begrenzen, und wobei der Heliumbehälter (1) ferner von mindestens einem Strahlungsschild (4) umgeben ist, welcher sowohl mit den Aufhängerohren (2) als auch mit dem Halsrohr (5) des Heliumbehälters (1) thermisch leitend verbunden ist, ist dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den warmen Enden der Aufhängerohre (2) und des Halsrohres (5) eine direkte Verbindung (8) besteht, durch welche Heliumgas strömen kann. Mit einer derartigen Kryostatanordnung wird der Wärmeeintrag über die Aufhängerohre eines aktiv, mit einem Kryokühler gekühlten NMR-Magnetsystems erheblich verringert oder komplett unterbunden und somit auch die Verwendung eines leistungsschwächeren Kryokühlers ermöglicht.

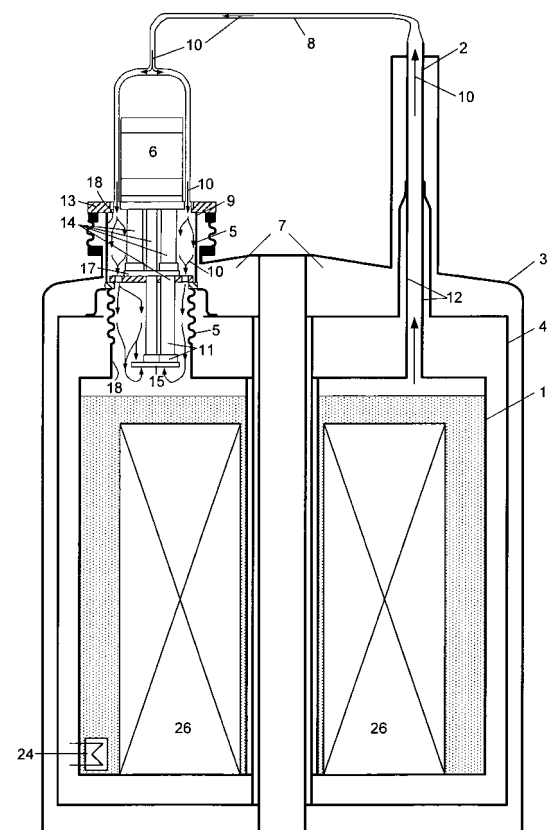


Fig. 1

EP 1 628 109 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Kryostatanordnung zur Aufbewahrung von flüssigem Helium mit einem Außenmantel und einem darin eingebauten Heliumbehälter, wobei der Heliumbehälter an mindestens zwei Aufhängerohren mit dem Außenmantel verbunden ist, wobei der Heliumbehälter ferner ein Halsrohr enthält, dessen oberes warmes Ende mit dem Mantel und dessen unteres kaltes Ende mit dem Heliumbehälter verbunden ist und in das ein mehrstufiger Kaltkopf eines Kryokühlers eingebaut ist, wobei der Außenmantel, der Heliumbehälter, die Aufhängerohre und das Halsrohr einen evakuierten Raum begrenzen, und wobei der Heliumbehälter ferner von mindestens einem Strahlungsschild umgeben ist, welcher sowohl mit den Aufhängerohren als auch mit dem Halsrohr des Heliumbehälters thermisch leitend verbunden ist.

[0002] Möglichkeiten zur kryogenverlustfreien Kühlung eines supraleitenden Magnetsystems mit einem Kryokühler werden beispielsweise in EP0905436, EP0905524, WO03036207, WO03036190, US5966944, US5563566, US5613367, US5782095, US2002/0002830, US2003/230089 beschrieben.

[0003] Der beispielsweise zweistufige Kaltkopf des Kryokühlers ist üblicherweise in einem separaten Vakuumraum (wie z.B. in US5613367 beschrieben) oder direkt in den Vakuumraum des Kryostaten (wie z.B. in US5563566 beschreiben) so eingebaut, dass die erste Kältestufe des Kaltkopfs fest mit einem Strahlungsschild und die zweite Kältestufe über eine feste, starre oder flexible, Wärmebrücke oder direkt mit dem Heliumbehälter 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. Ein Nachteil ist, dass die Verbindung von der zweiten Kältestufe zum Heliumbehälter einen thermischen Widerstand aufweist.

[0004] Eine Möglichkeit zur Vermeidung dieses thermischen Widerstandes ist das Einfügen des Kaltkopfes in ein Halsrohr, welches die äußere Vakuumhülle des Kryostaten mit dem Heliumbehälter verbindet und entsprechend mit Heliumgas gefüllt ist, wie es beispielsweise in der Druckschrift US2002/0002830 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.

[0005] Da der Kaltkopf von Heliumgas umgeben ist und zwischen Kaltkopf und Halsrohrwand oder weiteren Halsrohreinbauten eine Temperaturdifferenz besteht, kann es zwischen der Rohrwand und dem Kaltkopf zu einem erheblichen Wärmeeintrag durch Gaswärmeleitung und Konvektionsströme kommen. In WO03036207 und WO03036190 wird daher vorgeschlagen, die Rohre des Kaltkopfes auf die eine oder andere Weise zu iso-

lieren. Ferner kommt es durch Wärmeleitung in der Heliumgassäule und in der Halsrohrwand von oben nach unten zu einem weiteren Wärmeeintrag auf den Heliumbehälter.

5 **[0006]** In der US2002/0002830 wird daher vorgeschlagen, durch Einbau einer unten und oben offenen Trennhülle um den Kaltkopf einen Gasstrom so zu führen, dass das Gas an der Halsrohrwand nach oben steigt, dabei die über das Rohr einfallende Wärme aufnimmt und sich
10 somit erwärmt. Am oberen warmen Ende wird das Gas umgelenkt und strömt an den Rohren des Kaltkopfs entlang nach unten, wobei es sich abkühlt und am kalten Ende des Kaltkopfs schließlich wieder verflüssigt wird. Der Kryokühler bündelt dadurch etwas an Kälteleistung ein,
15 wie es z. B. aus der Veröffentlichung 'Helium liquefaction with a 4 K pulse tube cryocooler' (Cryogenics 41 (2001), 491-496) bekannt ist.

[0007] Bei einer Anordnung eines Magnetsystems für hochauflösende Kernresonanzspektroskopie (NMR)
20 wird der Heliumbehälter üblicherweise an mindestens zwei dünnwandigen Aufhängerohren mit der äußeren Vakuumhülle verbunden. Zum einen wird der Heliumbehälter mit dem supraleitenden Magneten somit mechanisch fixiert, zum anderen bieten die Aufhängerohre Zugang zum Magneten, wie es z. B. beim Laden notwendig
25 ist und dienen ebenfalls dem Nachfüllen von flüssigem Helium. Bei nicht mit einem Kryokühler gekühlten, konventionellen Systemen wird zudem das Verlustgas über die Aufhängerohre abgeführt, wodurch die Aufhängerohre wiederum gekühlt werden und im Idealfall der Wärmeeintrag über die Rohrwand komplett kompensiert wird.

[0008] Bei einem kryogenverlustfreien (d.h. mit einem Kryokühler aktiv gekühlten) System hingegen tritt die gesamte über die Aufhängerohre geleitete Wärme in den
35 Heliumbehälter ein, da die Rohre aufgrund des Nichtvorhandenseins eines Gasstroms ungekühlt bleiben. Diese Wärmemenge stellt in vielen Fällen - abhängig von Rohrwanddicke, Anzahl der Aufhängerohre, Größe der Heliumbehälters, etc - den Hauptbeitrag des gesamten Wärmeeinfalls dar und bedingt unter Umständen die Verwendung eines leistungsstärkeren Kryokühlers. Auch
40 über das Halsrohr, welches den Kaltkopf des Kryokühlers beherbergt, tritt ein zusätzlicher Wärmestrom ein.

[0009] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, den Wärmeeintrag über die Aufhängerohre einer aktiv, mit einem Kryokühler gekühlten Kryostatanordnung, speziell einer Kryostatanordnung, die eine supraleitende Magnetanordnung enthält, zu verkleinern oder komplett
45 zu unterbinden und somit die Verwendung eines leistungsschwächeren Kryokühlers zu ermöglichen.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zwischen den warmen Enden der Aufhängerohre und des Halsrohres eine direkte Verbindung besteht, durch die Heliumgas strömen kann.

50 **[0011]** Durch die direkte Verbindung zwischen den warmen Enden der Aufhängerohre und dem Halsrohr bildet sich von selber eine Gasströmung aus, welche durch die Sogwirkung am kalten Ende des Kaltkopfes angeregt

und aufrechterhalten wird. Das verdampfte Gas kühlt somit die Wand der Aufhängerohre im Idealfall wiederum soweit, dass der Wärmeeintrag auf den Heliumbehälter durch die Aufhängerohre verschwindet, erwärmt sich dabei und tritt etwa mit Raumtemperatur aus den Aufhängerohren aus und am Raumtemperaturflansch des Kaltkopfes ins Halsrohr ein. Das Gas aus den verschiedenen Aufhängerohren wird vorzugsweise in einer Leitung zusammengefasst und dann zum Halsrohr geführt. Infolge der abwärts gerichteten Strömung im Halsrohr wird das Gas an den Rohren des Kaltkopfes oder am Halsrohr abgekühlt und schließlich an der zweiten Kältestufe des Kaltkopfes verflüssigt. Der Kreislauf ist hiermit geschlossen. Der Sog, der die Strömung aufrecht hält, entsteht unter anderem aufgrund der Phasenumwandlung von gasförmig nach flüssig im Bereich der zweiten Kältestufe. Insgesamt nimmt die Leistung des Kryokühlers zwar geringfügig ab, aber der Gewinn auf Grund des geringeren Wärmeeinfalls ist größer als der Verlust an Kälteleistung. Gerade für Systeme mit massiveren Aufhängerohren kann somit ein leistungsschwächerer Kryokühler verwendet werden als für den Fall ohne Umlaufströmung.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform ist der Kaltkopf des Kryokühlers mehrstufig aufgebaut. Somit können sehr tiefe Temperaturen, insbesondere Temperaturen im Bereich von oder kleiner als 4K realisiert werden.

[0013] 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 betriebssicher und wartungsarm. Es ist jedoch prinzipiell auch möglich andere Kryokühler, wie z.B. Gifford-McMahon Kühler zu verwenden.

[0014] 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 Tiefsttemperaturenbereich bietet. Das innerhalb des Kryostaten verdampfende Helium wird an der frei im Halsrohr hängenden Kältestufe verflüssigt und tropft in den Heliumbehälter zurück. Somit können der Helium-Verlust und die Nachfüllvorgänge reduziert werden bzw. kann bei genügend großer Kälteleistung des Kühlers ein verlustfreier Betrieb erreicht werden.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Rohre des Kaltkopfes oberhalb der ersten Kältestufe und unter Umständen auch im Bereich weiterer Kältestufen mit einer Wärmeisolation umgeben. Somit kann ein unerwünschter Wärmeeintrag von dem Halsrohr in die Rohre des Kaltkopfes annähernd vermieden oder zumindest reduziert werden. Die Rohre oberhalb der ersten Kältestufe des Kaltkopfes weisen Temperaturen zwischen Raumtemperatur und Temperatur der ersten Kältestufe auf.

[0016] Eine bevorzugte Ausführungsform der Kryostatanordnung sieht vor, dass zwischen der Wärmeisolation und der Halsrohrwand ein Spalt oder ein Kanal besteht,

durch den Gas strömen kann, so dass das Gas mit der Rohrwand in ausreichend guten Wärmekontakt treten kann.

[0017] Da das Halsrohr keine mechanische Stützfunktion übernehmen muss, ist es vorteilhaft, wenn das Halsrohr dünnwandig und/ oder in Form eines Faltenbalgs jeweils aus einem schlecht wärmeleitenden Material aufgebaut ist. Auf diese Weise ist der Wärmeeintrag in den Heliumbehälter nur klein. Gleichzeitig wird die Vibrationsübertragung über das Halsrohr minimiert.

[0018] In einer weiten Ausführungsform ist im oder in Kontakt mit dem Heliumbehälter eine, vorzugsweise elektrische, Heizung vorgesehen. Bei einer Überschussleistung des Kryokühlers kann somit der Druck im Heliumbehälter über dem Umgebungsdruck und konstant gehalten werden. Es ist jedoch auch vorstellbar, dass die Leistung des Kühlers über seine Betriebsfrequenz und/ oder die Füllmenge an Arbeitsgas im Kühler geregelt wird.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform sind - abgesehen von der kältesten Kältestufe - eine oder mehrere Kältestufen des Kaltkopfes mit einem oder mehreren Strahlungsschilden thermisch leitend verbunden. Der oder die Strahlungsschilde können dann direkt durch den Kaltkopf gekühlt werden.

[0020] Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Kryostatanordnung sieht vor, dass der oder einer der Strahlungsschilde einen Behälter mit flüssigem Stickstoff enthält, mit welchem der Kaltkopf thermisch leitend verbunden ist, wobei der Kaltkopf des Kryokühlers den Stickstoff nach dem Verdampfen mindestens teilweise wieder verflüssigt. Die Verflüssigung des Stickstoffs erfolgt aufgrund der thermischen Anbindung des Strahlungsschildes an den Kaltkopf des Kryokühlers. Der Strahlungsschild wird in diesem Fall nicht direkt durch den Kühler, sondern indirekt, über den verdampfenden Stickstoff, gekühlt.

[0021] Bei einer Weiterbildung dieser Ausführungsform ist im oder in Kontakt mit dem Stickstoffbehälter eine, vorzugsweise elektrische, Heizung vorgesehen, um bei einer Überschussleistung des Kryokühlers den Druck im Stickstoffbehälter über dem Umgebungsdruck und konstant zu halten.

[0022] In einer vorteilhaften Ausführungsform ist in der Verbindungsleitung zwischen Aufhängerohren und Halsrohr ein Ventil zur Regelung des Gasflusses vorgesehen. Somit kann bei Bedarf der Gasstrom gedrosselt werden, wenn z. B. die Sogwirkung am Kaltkopf so groß ist, dass der Gasstrom größer wird als es für die optimale Kühlung der Aufhängerohre ausreichend wäre.

[0023] Ein weiterer vorteilhafter Aspekt beinhaltet, dass in der Verbindungsleitung zwischen Aufhängerohren und Halsrohr eine regelbare Umwälzpumpe vorgesehen ist. Somit lässt sich der Kühlstrom aktiv einregeln.

[0024] Die Vorteile der erfindungsgemäßen Kryostatanordnung kommen besonders gut zur Geltung, wenn die Kryostatanordnung eine supraleitende Magnetanordnung enthält, insbesondere wenn die supraleitende

Magnetanordnung Teil einer Apparatur zur Kernspinresonanz, insbesondere Magnetic Resonance Imaging (MRI) oder Magnetresonanzspektroskopie (NMR) ist.

[0025] 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.

[0026] Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Kryostatanordnung;

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Kryostatanordnung mit isolierten Kaltkopfrohren;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Kryostatanordnung mit einem Stickstofftank;

Fig. 4 einen schematischen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Kryostatanordnung mit einem in der Verbindungsleitung integrierten Ventil; und

Fig. 5 einen schematischen Ausschnitt einer erfindungsgemäßen Kryostatanordnung mit einer in der Verbindungsleitung integrierten Pumpe;

[0027] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Kryostatanordnung mit einem Heliumbehälter **1**, der an mindestens zwei Aufhängerohren **2** mit einem Außenmantel **3** verbunden ist. Der Heliumbehälter **1** ist von einem Strahlungsschild **4** umgeben und umfasst ferner ein Halsrohr **5**, welches den Kaltkopf **6** eines Kryokühlers beherbergt. Da das Halsrohr **5** nur als Trennwand zu einem evakuierten Raum **7** des Außenmantels **3** dient und nicht das Gewicht des Heliumbehälters **1** tragen muss, kann es so ausgelegt werden, dass der Wärmeeintrag und die Vibrationsübertragung minimiert werden können. Dies kann vorteilhaft mit der Verwendung von Faltenbälgen erreicht werden. Das Gewicht des Heliumbehälters **1** und einer im Heliumbehälter angeordneten supraleitenden Magnetanordnung **26** wird durch die Aufhängerohre **2** getragen, die über eine Leitung **8** mit dem warmen Ende **9** des Halsrohres **5** verbunden sind. Es bildet sich von selber eine Gasströmung **10** aus, welche durch die Sogwirkung am kalten Ende **11** des Kaltkopfes **6** angeregt und aufrechterhalten wird. Das verdampfte Helium kühlt somit die Wand **12** der Aufhängerohre **2**, im Idealfall soweit, dass der Wärmeeintrag durch die Aufhängerohre **2** auf den Heliumbehälter **1** verschwindet, erwärmt sich dabei und tritt etwa mit Raum-

temperatur aus den Aufhängerohren **2** aus und an einem Raumtemperaturflansch **13** des Kaltkopfes **6** wieder ins Halsrohr **5** ein. Infolge der abwärts gerichteten Gasströmung **10** wird das Gas an den Rohren **14** des Kaltkopfes **6** oder am Halsrohr **5** abgekühlt und schließlich an der zweiten Kältestufe **15** des Kaltkopfes **6** verflüssigt. Der Kreislauf ist hiermit geschlossen. Die Leistung des Kryokühlers nimmt dadurch geringfügig ab, aber der Gewinn auf Grund des geringeren Wärmeeinfalls ist größer als der Verlust an Kälteleistung. Gerade für Systeme mit massiveren Aufhängerohren **2** kann somit ein leistungsschwächerer Kryokühler verwendet werden als für den Fall ohne Umlaufströmung. Es ist vorteilhaft, wenn die Teilströme der verschiedenen Aufhängerohre **2** in einer Leitung **8** zusammengefasst werden.

[0028] Da es unerheblich ist, ob das wieder zurückgeführte Gas an der Halsrohrwand **18** oder den Rohren **14** des Kaltkopfes **6** entlang strömt und sich abkühlt, kann der Kaltkopf **6** auch mit einer Wärmeisolation **16** versehen sein, um den Wärmekontakt zwischen Halsrohr **5** und den Rohren **14** des Kaltkopfes **6** zu erschweren. **Fig. 2** zeigt eine Wärmeisolation **16** zwischen dem Raumtemperaturflansch **13** und der ersten Kältestufe **17** des zweistufigen Kaltkopfes **6**. Bei Kaltköpfen mit mehreren Kältestufen kann auch um die Rohre weiterer Kältestufen eine Wärmeisolation **16** vorgesehen sein. Wichtig ist nur, dass zwischen der Wärmeisolation **16** und der Halsrohrwand **18** ein genügend großer Spalt **19** vorhanden ist, so dass das Gas mit der Halsrohrwand **18** in ausreichend guten Wärmekontakt treten kann. Die Halsrohrwand **18** wird bei der vorgeschlagenen Erfindung nicht von einem zum warmen Ende hin geführten Gasstrom gekühlt. Wie oben schon erwähnt, ist jedoch der Beitrag des Wärmeeinfalls über die Halsrohrwand **18** für den gegebenen Fall im Vergleich zu dem Gesamtwärmeeintrag eher gering.

[0029] Es ist auch möglich, dass der Strahlungsschild **4** - ähnlich wie in einem nicht aktiv gekühlten System (d.h. ohne Kryokühler) - nicht direkt, sondern mit verdampfendem Stickstoff gekühlt wird, wie in **Fig. 3** gezeigt. In diesem Fall muss die erste Kältestufe **17** des Kaltkopfes **6** des Kryokühlers mit einem Stickstoffbehälter **20** thermisch leitend verbunden sein, so dass an der kalten Kontaktfläche **21** verdampfter Stickstoff wieder verflüssigt werden kann.

[0030] Um den Gasstrom zu regulieren bietet sich die Möglichkeit an, eine Strömungsimpedanz (wie z. B. ein Ventil **22**) in die Verbindungsleitung **8** zu integrieren (s. **Fig. 4**). Mit einer Pumpe **23** ließe sich der Kühlstrom aktiv einregeln (s. **Fig. 5**). Ventil **22** oder Pumpe **23** können auch beide zusammen in der Verbindungsleitung **8** eingebaut werden. Vorzugsweise werden die Teilströme der Aufhängerohre **2** zuerst in einer Verbindungsleitung **8** zusammengefasst, bevor ein Ventil **22** oder eine Pumpe **23** integriert werden.

[0031] In allen Fällen ist es vorteilhaft, den Druck im Heliumbehälter **1** (und unter Umständen auch im Stickstoffbehälter **20**) über dem Umgebungsdruck und kon-

stant zu halten. Dies kann mit einer Heizung **24** im flüssigen Helium, wie in Fig. 1, Fig. 2 und Fig. 3 gezeigt, beziehungsweise mit einer Heizung im flüssigen Stickstoff **25**, realisiert werden (Fig. 3).

[0032] Die erfindungsgemäße Kryostatanordnung eignet sich besonders zur Kühlung einer Magnetanordnung **26**, die ein Teil einer Apparatur zur Kernspinresonanz, insbesondere Magnetic Resonance Imaging (MRI) oder Magnetresonanzspektroskopie (NMR) ist.

[0033] Mit der erfindungsgemäßen Kryostatanordnung ist es möglich, insbesondere den Wärmeeintrag über die Aufhängerohre eines aktiv, mit einem Kryokühler gekühlten, hochauflösenden NMR-Magnetsystems erheblich zu verringern und somit auch einen leistungsschwächeren Kryokühler zu verwenden.

Bezugszeichenliste

[0034]

- | | |
|----|----------------------------------|
| 1 | Heliumbehälter |
| 2 | Aufhängerohre |
| 3 | Außenmantel |
| 4 | Strahlungsschild |
| 5 | Halsrohr |
| 6 | Kaltkopf eines Kryokühlers |
| 7 | evakuierter Raum |
| 8 | Leitung |
| 9 | warmes Ende des Halsrohres |
| 10 | Gasströmung |
| 11 | kaltes Ende des Kaltkopfes |
| 12 | Wand der Aufhängerohre |
| 13 | Raumtemperaturflansch |
| 14 | Rohre des Kaltkopfes |
| 15 | zweite Kältestufe des Kaltkopfes |
| 16 | Wärmeisolation |
| 17 | erste Kältestufe des Kaltkopfes |
| 18 | Halsrohrwand |
| 19 | Spalt |
| 20 | Stickstoffbehälter |
| 21 | kalte Kontaktfläche |
| 22 | Ventil |
| 23 | Pumpe |
| 24 | Heizung im flüssigen Helium |
| 25 | Heizung im flüssigen Stickstoff |
| 26 | Magnetanordnung |

Patentansprüche

1. Kryostatanordnung zur Aufbewahrung von flüssigem Helium mit einem Außenmantel (3) und einem darin eingebauten Heliumbehälter (1), wobei der Heliumbehälter (1) an mindestens zwei Aufhängerohren (2) mit dem Außenmantel (3) verbunden ist, wobei der Heliumbehälter (1) ferner ein Halsrohr (5) enthält, dessen oberes warmes Ende mit dem Au-

ßenmantel (3) und dessen unteres kaltes Ende mit dem Heliumbehälter (1) verbunden ist und in das ein Kaltkopf (6) eines mehrstufigen Kryokühlers eingebaut ist, wobei der Außenmantel (3), der Heliumbehälter (1), die Aufhängerohre (2) und das Halsrohr (5) einen evakuierten Raum (7) begrenzen, und wobei der Heliumbehälter (1) ferner von mindestens einem Strahlungsschild (4) umgeben ist, welcher sowohl mit den Aufhängerohren (2) als auch mit dem Halsrohr (5) des Heliumbehälters (1) thermisch leitend verbunden ist

dadurch gekennzeichnet,

dass zwischen den warmen Enden der Aufhängerohre (2) und des Halsrohres (5) eine direkte Verbindung (8) besteht, durch welche Heliumgas strömen kann.

2. Kryostatanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kaltkopf (6) des Kryokühlers mehrstufig aufgebaut ist.

3. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kryokühler (6) ein Pulsrohrkühler ist.

4. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der kältesten Kältestufe (15) des Kaltkopfes (6) des Kryokühlers Helium bei einer Temperatur von 4,2 K oder bei tieferer Temperatur verflüssigt werden kann.

5. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohre (14) des Kaltkopfes (6) des Kryokühlers oberhalb der ersten Kältestufe und unter Umständen auch im Bereich weiterer Kältestufen mit einer Wärmeisolation (16) umgeben sind.

6. Kryostatanordnung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Wärmeisolation (16) und der Halsrohrwand (18) ein Spalt (19) oder ein Kanal besteht, durch den Gas strömen kann.

7. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Halsrohr (5) dünnwandig und/ oder in Form eines Faltenbalgs jeweils aus einem schlecht wärmeleitenden Material aufgebaut ist.

8. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** im oder in Kontakt mit dem Heliumbehälter (1) eine, vorzugsweise elektrische, Heizung (24) vorgesehen ist.

9. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass,**

abgesehen von der kältesten Kältestufe (15), eine oder mehrere Kältestufe(n) (17) des Kaltkopfs (6) mit einem oder mehreren Strahlungsschild(en) (4) thermisch leitend verbunden sind.

5

10. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Strahlungsschild (4) oder einer der Strahlungsschilde (4) einen Behälter (20) mit flüssigem Stickstoff enthält, mit welchem der Kaltkopf (6) des Kryokühlers thermisch leitend verbunden ist, wobei der Kaltkopf (6) des Kryokühlers den Stickstoff nach dem Verdampfen mindestens teilweise wieder verflüssigt. 10
11. Kryostatanordnung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** im oder in Kontakt mit dem Stickstoffbehälter (20) eine, vorzugsweise elektrische, Heizung (25) vorgesehen ist. 15
12. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Verbindungsleitung (8) zwischen Aufhängerohren (2) und Halsrohr (5) ein Ventil (22) zur Regelung des Gasflusses vorgesehen ist. 20
13. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Verbindungsleitung (8) zwischen Aufhängerohren (2) und Halsrohr (5) eine regelbare Umwälzpumpe (23) vorgesehen ist. 25
14. Kryostatanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüchen, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kryostatanordnung eine supraleitende Magnetanordnung (26) enthält. 30
15. Kryostatanordnung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die supraleitende Magnetanordnung (26) Teil einer Apparatur zur Kernspinresonanz, insbesondere Magnetic Resonance Imaging (MRI) oder Magnetresonanztomographie (NMR) ist. 35

40

45

50

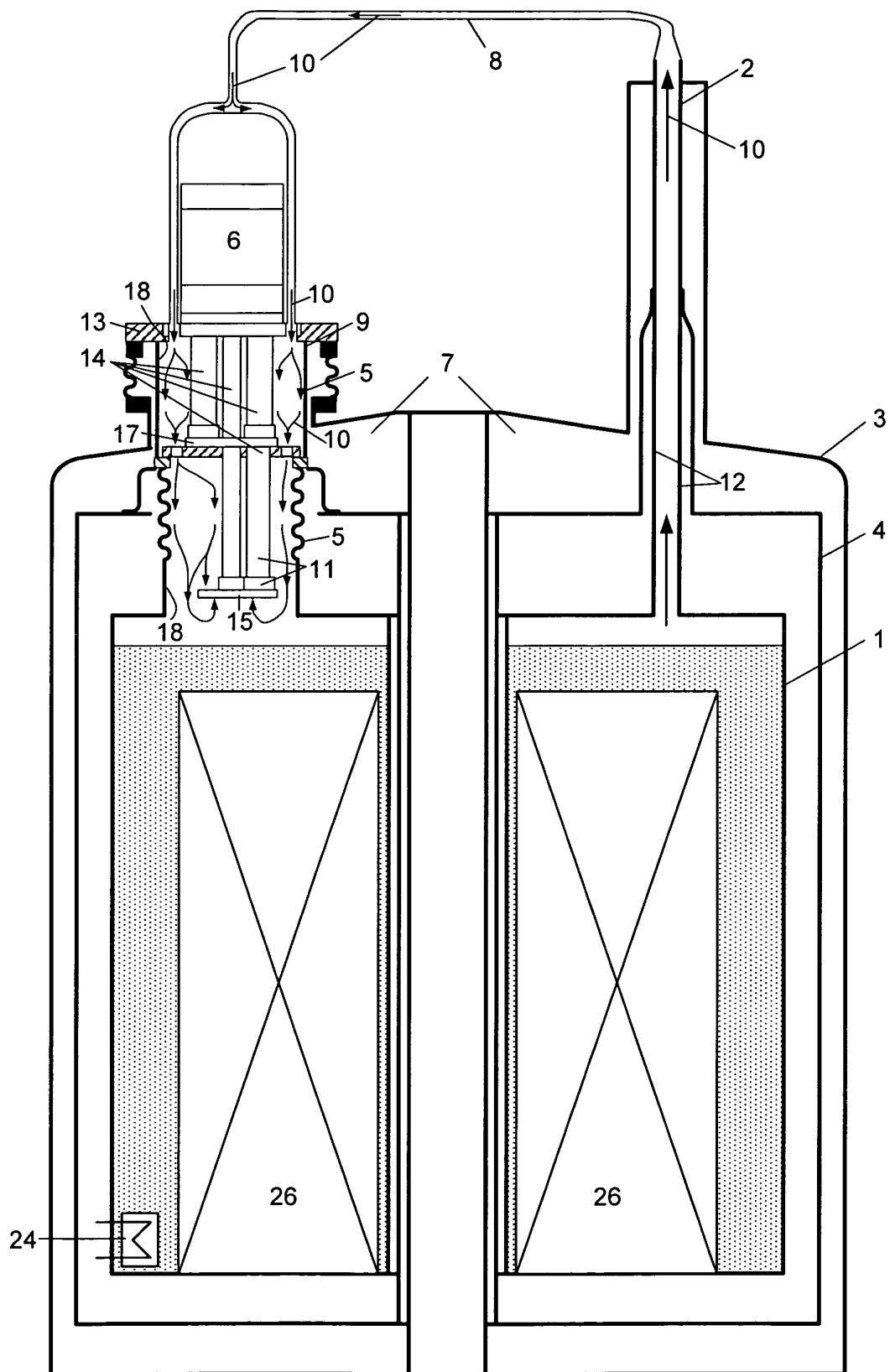


Fig. 1

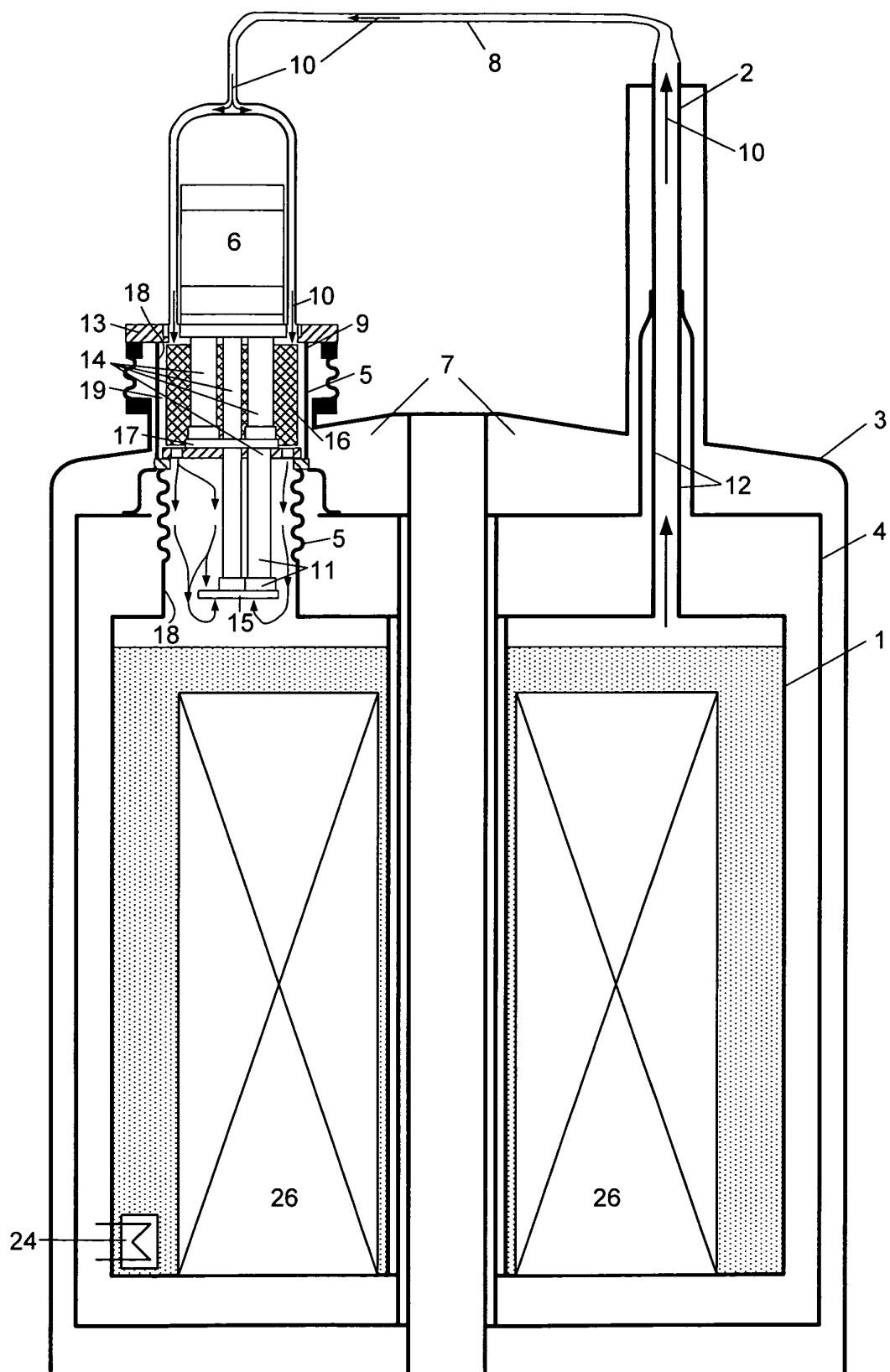


Fig. 2

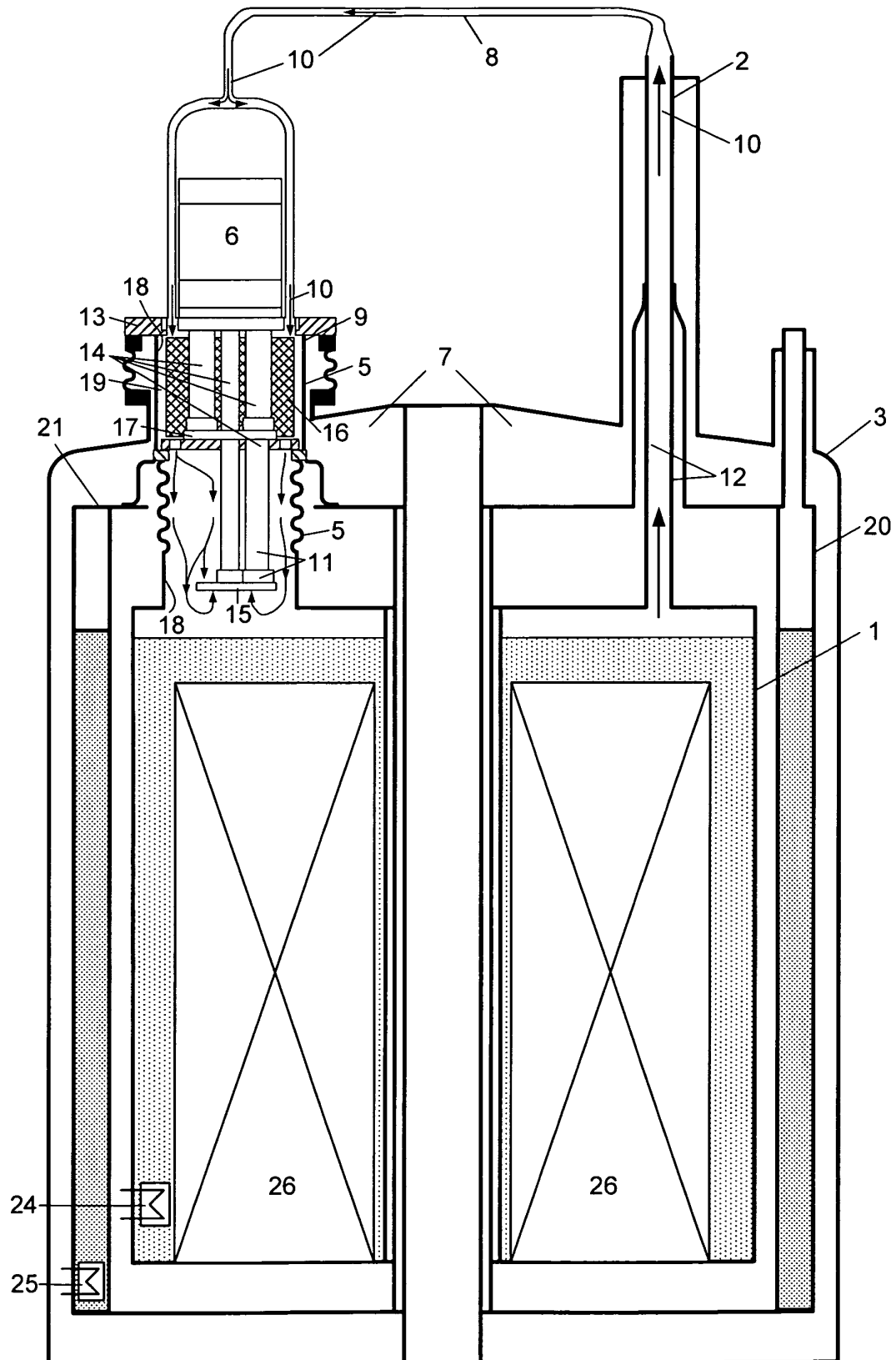


Fig. 3

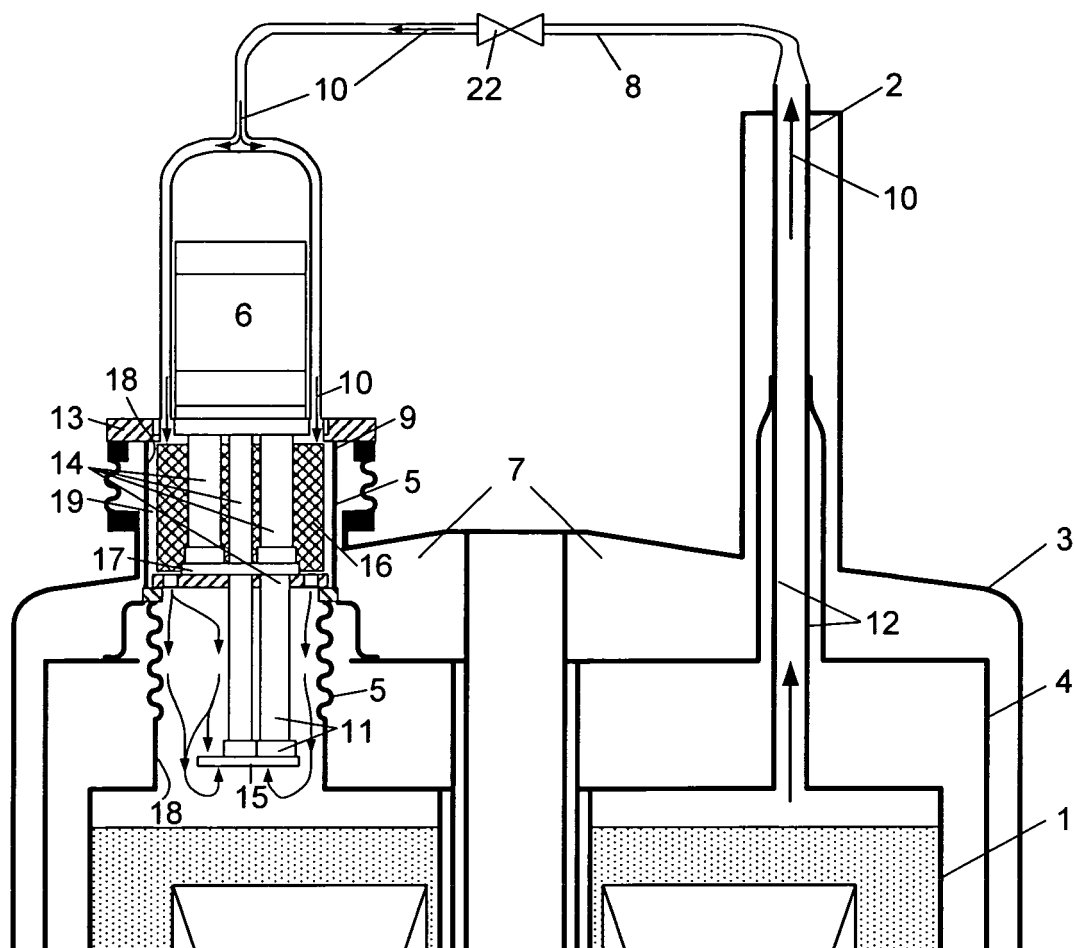


Fig. 4

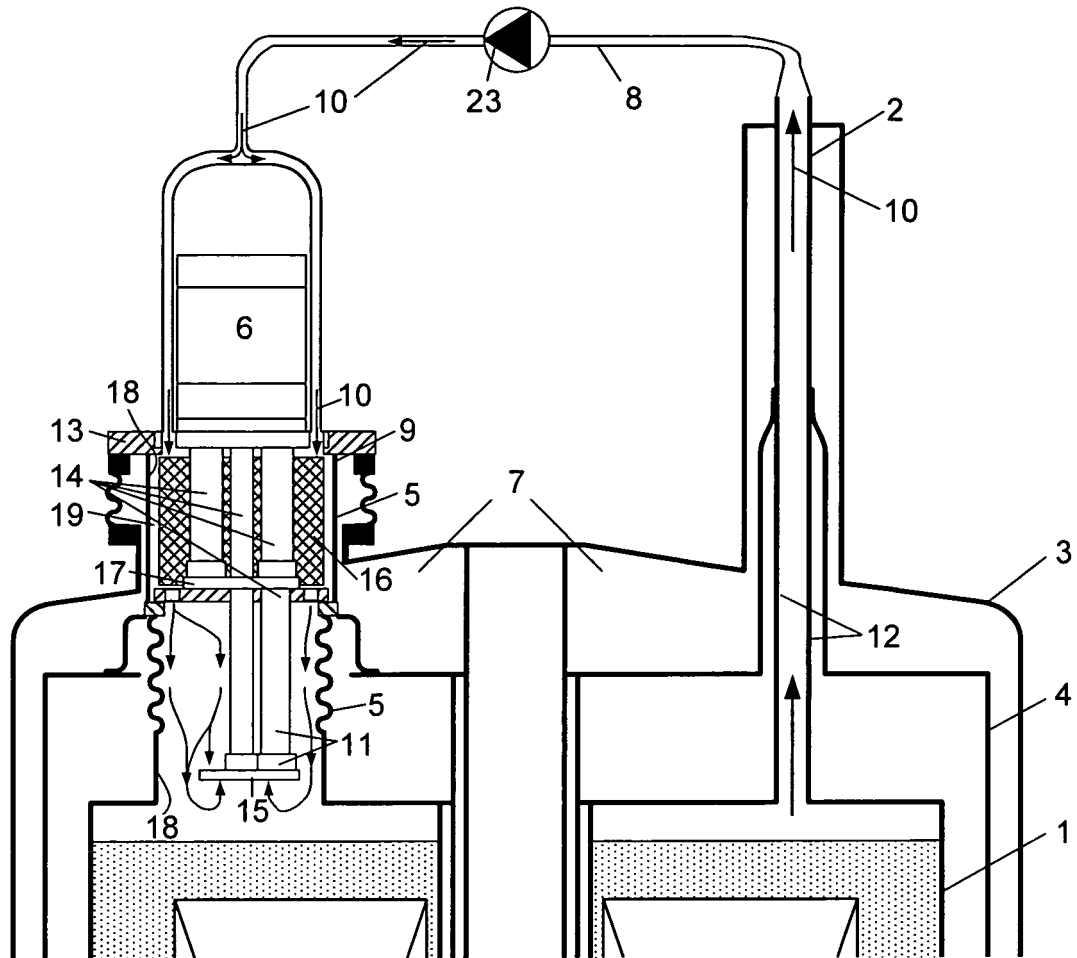


Fig. 5