



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 009 878 A1** 2009.06.25

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 009 878.7**

(22) Anmeldetag: **19.02.2008**

(43) Offenlegungstag: **25.06.2009**

(51) Int Cl.⁸: **A61N 5/10** (2006.01)

H05H 7/04 (2006.01)

H01F 6/04 (2006.01)

(71) Anmelder:

Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(72) Erfinder:

**Kaiser, Werner, 91052 Erlangen, DE; Use, Tim,
90469 Nürnberg, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 2007/02 74 437 A1

DE 10 2006 046688 B3

DE 10 2006 035094 B3

DE 10 2006 035093 B3

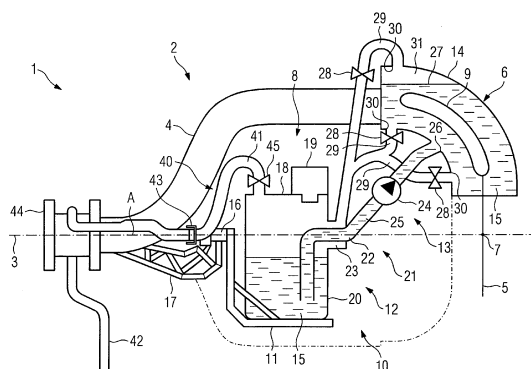
DE 100 57 664 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Kühlung einer supraleitenden Magnetspule**

(57) Zusammenfassung: Es wird eine besonders geeignete Vorrichtung (10) zur Kühlung einer supraleitenden Magnetspule (9) eines Teilchenbeschleunigers, insbesondere einer Teilchenbestrahlungseinrichtung (1), mit drehbarem Strahlauslass (2) angegeben. Die Vorrichtung (10) umfasst eine mit Zu- bzw. Ableitungen (25, 29, 40) versehene Kühleinheit (12), welche zur Versorgung eines die Magnetspule (9) aufnehmenden Kryostaten (14) mit Kühlmittel (15) mit diesem in einem Kreislauf (13) verbunden ist. Dabei ist mindestens eine der Zu- bzw. Ableitungen (25, 29, 40) mit einer Drehdurchführung (21, 43) versehen, deren Achse (A) parallel zur Drehachse (3) des Strahlauslasses (2) angeordnet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Kühlung einer supraleitenden Magnetspule eines mit einem drehbaren Strahlauslass versehenen Teilchenbeschleunigers, insbesondere einer medizinischen Teilchenbestrahlungseinrichtung.

[0002] Zur Tumorbehandlung wird im Rahmen einer Strahlentherapie unter anderem auch Teilchenstrahlung, beispielsweise Kohlenstoffionen-Strahlung, eingesetzt.

[0003] Dabei werden die zur Bestrahlung eingesetzten Teilchen beschleunigt und anschließend derart abgelenkt, dass sie auf eine zu behandelnde Körperstelle eines Patienten auftreffen. Um eine Bestrahlung des Patienten aus unterschiedlichen Richtungen zu ermöglichen, sind manche Bestrahlungseinrichtungen hierzu mit einem drehbaren Strahlauslass, einer sogenannten Gantry, versehen.

[0004] Insbesondere bei Bestrahlung mit Kohlenstoffionen werden zur Ablenkung häufig supraleitende Magnetspulen eingesetzt. Um eine Supraleitung in den Magnetspulen zu erreichen, werden die Magnetspulen auf eine Temperatur von 4 K gekühlt.

[0005] Diese Kühlung erfolgt häufig als Badkühlung durch einen geschlossenen Helium-Kreislauf zwischen einem die Magnetspule aufnehmenden Kryostaten und einer externen Kühleinheit. Dabei wird flüssiges Helium von der Kühleinheit dem Kryostaten zugeführt, verdampft dort bei der Kühlung der Magnetspule, wird zur Kühleinheit zurückgeführt, und anschließend in der Kühleinheit wieder rückverflüssigt.

[0006] Oft erfolgt auch eine trockene Kühlung der Magnetspule durch in der Nähe der Magnetspule angebrachte metallische Kühlkörper, welche durch sogenannte Kaltköpfe gekühlt werden. Zur Kühlung der Kaltköpfe wird wiederum flüssiges Helium durch diese hindurch geleitet.

[0007] Üblicherweise erfolgt die notwendige Heliumversorgung sowohl bei der Badkühlung als auch bei der trockenen Kühlung über vergleichsweise lange Transferleitungen.

[0008] Bei einer Bestrahlungseinrichtung mit einer Gantry werden diese Transferleitungen normalerweise über eine sogenannte Wickeltrommel geführt und bei einer Drehung des Strahlauslasses auf dieser auf- bzw. abgewickelt. Dabei sind die Transferleitungen durch die Drehung des Strahlauslasses ständig wechselnden Biegebelastungen ausgesetzt und aus diesem Grund verschleißanfällig.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde,

eine besonders geeignete Vorrichtung zur Kühlung einer supraleitenden Magnetspule eines Teilchenbeschleunigers, insbesondere einer Teilchenbestrahlungseinrichtung, mit drehbarem Strahlauslass anzugeben.

[0010] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Hierbei ist vorgesehen, dass die Vorrichtung eine mit Zu- bzw. Ableitungen versehene Kühleinheit umfasst, welche zur Versorgung eines die Magnetspule aufnehmenden Kryostaten mit Kühlmittel mit diesem in einem Kühlmittel-Kreislauf verbunden ist. Dabei ist mindestens eine der Zu- bzw. Ableitungen mit einer Drehdurchführung versehen, deren Achse parallel, insbesondere koaxial, zur Drehachse des (nachfolgend als Gantry bezeichneten) Strahlauslasses angeordnet ist.

[0011] Als Drehdurchführung ist hierbei ein Leitungsverbindungsstück bezeichnet, dass eine nach außen abgedichtete Kühlmittelüberleitung zwischen einem rotierenden Teil und einem feststehenden Teil der Zu- oder Ableitung ermöglicht.

[0012] Durch den Einsatz der mindestens einen Drehdurchführung werden Biege- oder Torsionsbelastungen der Zu- bzw. Ableitungen der Kühleinheit bei einer Gantrydrehung weitgehend vermieden. Hierdurch ist der Leitungsver Verschleiß signifikant reduziert. Darüber hinaus ist es sogar möglich, starre Leitungen, welche besonders gut thermisch isolierbar sind, als Zu- bzw. Ableitungen einzusetzen.

[0013] Gleichzeitig ermöglicht der Einsatz einer externen, außerhalb eines die Spule umgebenden Isoliervakuum angeordneten Kühleinheit eine vergleichsweise einfache Wartung der Vorrichtung. Alle Verschleißteile der Kühleinheit können ausgetauscht werden, während der Kryostat kalt bleibt. Da der Kryostat bei der Wartung nicht erwärmt und anschließend wieder abgekühlt werden muss, können lange Ausfallzeiten der Teilchenbestrahlungseinrichtung, die bei herkömmlichen Anlagen mitunter im Bereich von mehreren Wochen liegen können, weitestgehend vermieden werden.

[0014] In einer besonders vorteilhaften Ausführungsform ist die Kühleinheit auf einer mobilen Plattform angeordnet, welche gegenüber der Gantry derart verdrehbar gelagert ist, dass sie gegenüber dem umgebenden Raum drehfest ist.

[0015] Durch diese Anordnung der Kühleinheit bleibt der Flüssigkeitsspiegel des Kühlmittels in der Kühleinheit unabhängig von der Gantrystellung bezüglich der Kühleinheit stets in einer festen Sollage. Er rotiert also bei einer Gantrydrehung insbesondere nicht in Bezug auf die Kühleinheit. Hierdurch ist mit vergleichsweise einfachen Mitteln ein einwandfreier Betrieb der Kühleinheit sichergestellt.

[0016] Bevorzugt wird die Plattform durch ihre Schwerkraft drehfest gegenüber dem umgebenden Raum gehalten. In einer alternativen Ausführung ist vorgesehen, die Plattform durch einen Antrieb, welcher eine zur Drehung der Gantry gegensinnige Bewegung der Plattform verursacht, drehfest gegenüber dem umgebenden Raum zu halten.

[0017] Vorzugsweise ist die Kühleinheit in einem freien Innenraum der Gantry angeordnet, um den herum die Gantry rotiert. Durch diese Anordnung der Kühleinheit, sozusagen im Inneren der Gantry, ist es möglich, die Kühleinheit besonders nah bei dem Kryostaten anzuordnen. Dies resultiert in besonders kurzen Zu- bzw. Ableitungen von der Kühleinheit zum Kryostaten. Hierdurch wird vorteilhafterweise ein Wärmeeintrag über die Zu- und Ableitungen vergleichsweise gering gehalten.

[0018] Eine besonders einfache Leitungsführung wird bevorzugt dadurch erzielt, dass die Kühleinheit etwa im Bereich der Drehachse des Strahlauslasses angeordnet ist. Vorteilhafterweise ist insbesondere mindestens eine der Drehdurchführungen coaxial mit der Drehachse des Strahlauslasses angeordnet.

[0019] Zweckmäßigerweise ist zumindest eine Ableitung der Kühleinheit als Speiseleitung zur Versorgung des Kryostaten mit Kühlmittel ausgebildet. Die Speiseleitung ist an einen Speisestutzen des Kryostaten angeschlossen, welcher vorteilhafterweise derart am Kryostaten angeordnet ist, dass er sich bei bestimmungsgemäßer Füllung des Kryostaten mit Kühlmittel stets – d. h. insbesondere in jeder Gantrystellung – unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche des Kühlmittels befindet.

[0020] In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform sind eine oder mehrere Zuleitungen der Kühleinheit als Rücklaufleitungen zur Rückleitung von verdampftem Kühlmittel vom Kryostaten zur Kühleinheit ausgebildet. Die oder jede Rücklaufleitung ist an einem Rücklaufstutzen des Kryostaten angeschlossen. Vorzugsweise sind mehrere dieser Rücklaufstutzen derart am Kryostaten angeordnet, dass sich im bestimmungsgemäß gefüllten Zustand des Kryostaten stets – also wiederum in jeder Drehlage der Gantry, bzw. des Kryostaten – mindestens ein Rücklaufstutzen oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche befindet.

[0021] Zweckmäßigerweise ist jede Rücklaufleitung mit einem steuerbaren Ventil versehen. Diese Ventile sind dabei vorteilhafterweise in Abhängigkeit von der Drehstellung der Gantry derart angesteuert, dass stets mindestens eines derjenigen Ventile geöffnet ist, deren zugehörige Rücklaufleitung in den oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche liegenden Gasraum des Kryostaten mündet. Andererseits sind die Ventile derart angesteuert, dass stets zumindest die Ventile geschlossen sind, deren zugehörige Rücklaufleitungen

unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche in den Kryostaten münden.

[0022] In einer weiteren Ausführungsform umfasst mindestens eine der Drehdurchführungen eine Innen- und eine Außendurchführung, welche konzentrisch angeordnet sind. Bevorzugt ist hierbei die oder jede Speiseleitung mit der Innendurchführung verbunden, wohingegen die oder jede Rücklaufleitung mit der Außendurchführung verbunden ist. Bei dieser Ausführung wird der Wärmeverlust im Bereich der Drehdurchführung gering gehalten, zumal die flüssiges Helium führende Innendurchführung durch das rückströmende Heliumgas gegenüber der Umgebung vorgekühlt wird. In bevorzugter Ausführung der Vorrichtung ist vorgesehen, dass mehrere von dem Kryostaten abgehende Rücklaufleitungen vor oder im Bereich der Außendurchführung baumartig zusammenlaufen.

[0023] Zweckmäßigerweise ist als weitere Ableitung der Kühleinheit eine Quenchleitung vorgesehen, die ausgehend von der Kühleinheit in einen Umgebungsbereich außerhalb der Gantry, insbesondere zu einem außerhalb der Gantry angeordneten Auffangbehälter für Kühlmittel führt. Die Quenchleitung dient dazu, im Falle eines sogenannten Magnetquenches, d. h. bei einem Zusammenbruch der Supraleitung in der Spule das in diesem Fall schlagartig verdampfende Kühlmittel sicher aus dem Kühlkreislauf abzuleiten. In vorteilhafter Weiterbildung der Erfindung ist diese Quenchleitung mit einer Drehdurchführung versehen.

[0024] Vorteilhafterweise sind die Kühleinheit, die Zu- bzw. Ableitungen und der Kryostat für verflüssigtes Helium als Kühlmittel ausgelegt.

[0025] Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert. Darin zeigt die einzige Figur in schematischer Darstellung einen Teil einer medizinischen Teilchenbestrahlungseinrichtung **1** zur Bestrahlung eines (nicht dargestellten) Patienten mit Kohlenstoffionen. Die Teilchenbestrahlungseinrichtung **1** umfasst einen als Gantry **2** bezeichneten Strahlauslass.

[0026] Die um eine Drehachse **3** drehbare Gantry **2** umfasst einen schematisch angedeuteten Ionenkanal **4** (auch als Beam-Line bezeichnet), in dessen Inneren die beschleunigten Kohlenstoffionen als Ionenstrahl **5** entlanglaufen. Im Eintrittsbereich des Ionenstrahls **5** in die Gantry **2** (in der Darstellung am linken Rand der Figur) verläuft der Ionenkanal **4** zunächst konzentrisch mit der Drehachse **3** und geht dann in einem etwa S-förmigen Bogen in einen zur Drehachse **3** parallelen Bereich über. Daran anschließend geht der Ionenkanal **4** in einem im Wesentlichen rechtwinkligen Bogen **6** in einen etwa senkrecht zur Drehachse **3** verlaufenden Bereich über, der in einem

gewissen Abstand zur Drehachse **3** endet. In diesem Bereich tritt der Ionenstrahl **5** senkrecht zur Drehachse **3** aus dem Ionenkanal **4** aus. Der Schnittpunkt des Ionenstrahls **5** mit der Drehachse **3** definiert dabei ein sogenanntes Isozentrum **7**.

[0027] Die Gantry **2** kann in eine beliebige Drehstellung um die Drehachse **3** gedreht werden, sodass ein etwa im Isozentrum **7** befindlicher Patient aus einem beliebigen Gantry-Drehwinkel bestrahlt werden kann. Bei einer 360°-Drehung der Gantry **2** umrundet der Ionenkanal **4** ein freies (in der Darstellung durch eine strichpunktierte Linie umgrenztes) freies Volumen, das nachfolgend als Innenraum **8** der Gantry **2** bezeichnet ist.

[0028] Im Bereich des rechtwinkligen Bogens **6** ist eine supraleitende Magnetspule **9** zur Ablenkung des Ionenstrahls **5** angebracht.

[0029] Zur Kühlung der Magnetspule **9** ist eine Vorrichtung **10** vorgesehen. Die Vorrichtung **10** umfasst im Wesentlichen eine auf einer mobilen Plattform **11** angeordnete Kühleinheit **12**, welche in einem Kühlkreislauf **13** mit einem die Magnetspule **9** aufnehmenden Kryostaten **14** verbunden ist. Als Kühlmittel wird Helium **15** eingesetzt, welches in flüssiger Form in den Kryostaten **14** geleitet wird, bei der Kühlung der Magnetspule **9** im Kryostaten **14** verdampft, zur Kühleinheit **12** rückgeführt und dort rückverflüssigt wird.

[0030] Die Plattform **11** und die Kühleinheit **12** sind im Innenraum **8** der Gantry **2** angeordnet. Damit sich die Plattform **11** bei einer Drehung der Gantry **2**, bzw. des Innenkanals **4** nicht mitdreht, ist sie mit einem Lager **16** drehbar an einem mit dem Innenkanal **4** starr verbundenen Träger **17** angebracht. Durch ihre Schwerkraft wird die Plattform **11** drehfest gegenüber dem umgebenden Raum gehalten. Sie nimmt also unabhängig von der Drehstellung des Gantry **2** stets die in der Figur dargestellte Orientierung zu dem umgebenden Raum ein.

[0031] Die Kühleinheit **12** ist als sogenannte „Cold-Box“ ausgebildet. Sie ist teilweise mit verflüssigtem Helium **15** gefüllt. An ihrer von der Plattform **11** abgewandten Oberseite **18** ragt zur Rückverflüssigung des Heliums **15** mindestens ein sogenannter Kaltkopf **19** in die Kühleinheit **12** hinein. Durch die drehfeste Anordnung der Plattform **11**, bzw. der Kühleinheit **12** ragt dabei der Kaltkopf **19** stets ausschließlich in den Gasraum der Kühleinheit **12**. Der Kaltkopf **19** ist mit einem nicht dargestellten, auch auf der Plattform **11** angeordneten Kompressor verbunden. An einer an die Oberseite **18** angrenzenden Seitenfläche **20** der Kühleinheit **12** ist oberhalb des Helium-Flüssigkeitsspiegels eine doppelte Drehdurchführung **21** mit einer Innendurchführung **22** und einer dazu konzentrischen Außendurchführung **23** ange-

bracht. Die Achse A der doppelten Drehdurchführung **21** ist dabei coaxial mit der Drehachse **3** angeordnet.

[0032] Zur Realisierung des Kühlkreislaufs **13** ist an die Innendurchführung **22** eine mit einer Speisepumpe **24** zur Förderung des flüssigen Heliums **15** versehene Speiseleitung **25** angebracht. Im Inneren der Kühleinheit **12** ragt die Speiseleitung **25** in die flüssige Phase des Heliums **15**. Die Speiseleitung **25** ist andererseits an einen Speisestutzen **26** des Kryostaten **14** angeschlossen. Dabei ist der Speisestutzen **26** derart etwa mittig am Kryostaten **14** angeordnet, dass er sich im bestimmungsgemäß gefüllten Zustand des Kryostaten **14** stets unterhalb der dortigen Flüssigkeitsoberfläche **27** befindet. D. h. die Speiseleitung **25** mündet unabhängig von der Drehlage der Gantry **2** und damit in jeder Position des an der Gantry **2** angebrachten Kryostaten **14** stets in die flüssige Phase des im Kryostaten **14** angesammelten Heliums **15**.

[0033] Zur Rückleitung des verdampften Heliums **15** sind mehrere, im dargestellten Beispiel vereinfacht drei, mit je einem ansteuerbaren Ventil **28** versehene Rücklaufleitungen **29** vorgesehen, die auf ihrem Weg zu der Außendurchführung **23** baumartig zusammenlaufen. In den Kryostat **14** münden die Rücklaufleitungen **29** an korrespondierenden Rücklaufstutzen **30**. Diese Rücklaufstutzen **30** sind derart an dem Kryostaten **14** angebracht, dass sich im bestimmungsgemäß gefüllten Zustand des Kryostaten **14** – bei jeder Drehlage der Gantry **2** und der Position des Kryostaten **14** – jeweils stets mindestens ein Rücklaufstutzen **30** oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche **27** befindet, und somit in Kontakt zum Gasraum **31** des Kryostaten **14** steht. Dabei werden die Ventile **28** in Abhängigkeit von der Drehlage der Gantry **2** derart angesteuert, dass stets das Ventil **28** mindestens einer in den Gasraum **31** des Kryostaten **14** mündenden Rücklaufleitung **29** geöffnet ist, und andererseits stets alle in den Flüssigkeitsraum des Kryostaten **14** mündenden Rücklaufleitungen **29** gesperrt sind. Die Speiseleitung **25** und die Rücklaufleitungen **29** sind bevorzugt als starre Leitungen ausgeführt.

[0034] Als Vorkehrung für einen sogenannten Magnetquench, bei dem eine starke Wärmeentwicklung durch einen plötzlichen Übergang der Magnetspule **9** vom supraleitenden Zustand in den normalleitenden Zustand zu einem schlagartigen Verdampfen des Heliums **15** im Kryostaten **14** führt, ist an die Oberseite **18** der Kühleinheit **12** eine Quenchleitung **40** angebracht.

[0035] Die Quenchleitung **40** umfasst eine an die Kühleinheit **12** angrenzende, starre Leitung **41**, die in den Gasraum der Kühleinheit **12** mündet, sowie eine flexible Leitung **42**, die aus dem Innenraum **8** der Gantry **2** zu einem außerhalb der Gantry **2** angeord-

neten Auffangbehälter (nicht dargestellt) für das im Quenchfall entweichende Helium **15** führt. Um ein „Aufzwirbeln“ der Quenchleitung **40** bei der Gantrydrehung zu verhindern, ist die starre Leitung **41** im Bereich des Trägers **17** über eine mit ihrer Achse A koaxial zur Drehachse **3** angeordnete Drehdurchführung **43** mit der flexiblen Leitung **42** verbunden. Die flexible Leitung **42** ist außenseitig des Innenkanals **4** auf eine koaxial zur Drehachse **3** auf dem Innenkanal **4** angebrachte Wickeltrommel **44** geführt. Um ein Abreißen der Leitung **42** bei der Gantrydrehung auszuschließen, umfasst die Leitung **42** eine Reservelänge, die mindestens einer Umfangslänge der Wickeltrommel **44** entspricht. Bei einer Drehung der Gantry **2** wird diese Reservelänge der flexiblen Leitung **42** auf der Wickeltrommel **44** aufgewickelt, bzw. bei einer Rückdrehung der Gantry **2** wieder abgewickelt.

[0036] Die Quenchleitung **40** ist in unmittelbarer Nähe ihres Anschlusses an die Kühleinheit **12** mit einer Berstscheibe **45** – oder alternativ mit einem Ventil – versehen, die die Quenchleitung **40** im Normalbetrieb verschließt, und somit unter Normalbedingung einen Wärmeeintrag über die Quenchleitung **40** in die Kühleinheit **12** weitgehend verhindert.

[0037] Kommt es zu einem Magnetquench, so wird das schlagartig verdampfende Helium **15** über die in diesem Moment in den Gasraum **31** mündende – geöffnete – Rücklaufleitung **29** zur Kühleinheit **12** geleitet. Durch den entstehenden Überdruck wird die Berstscheibe **45** zerstört, sodass über die Quenchleitung **40** ein Druckausgleich erfolgt, und das Helium **15** über die Quenchleitung **40** dem Heliumauffangbehälter zugeführt wird.

Patentansprüche

1. Vorrichtung **(10)** zur Kühlung einer supraleitenden Magnetspule **(9)** eines mit einem drehbaren Strahlauslass **(2)** versehenen Teilchenbeschleunigers, insbesondere einer medizinischen Teilchenbestrahlungseinrichtung **(1)**,
– mit einem die Magnetspule **(9)** aufnehmenden Kryostaten **(14)**, der zur Kühlung der Magnetspule **(9)** mit einem verflüssigten Kühlmittel **(15)** füllbar ist,
– mit einer Kühleinheit **(12)** zur Verflüssigung des Kühlmittels **(15)**, sowie
– mit mindestens einer Zuleitung **(29)** und mindestens einer Ableitung **(25)**, über die die Kühleinheit **(12)** zur Bildung eines geschlossenen Kühlkreislafs **(13)** mit dem Kryostaten **(14)** verbunden ist, wobei die Zuleitung **(29)** und/oder die Ableitung **(25)** mit einer Drehdurchführung **(43)** versehen sind, deren Achse (A) parallel zur Drehachse **(3)** des Strahlauslasses **(2)** angeordnet ist.

2. Vorrichtung **(10)** nach Anspruch 1, wobei die Kühleinheit **(12)** auf einer mobilen Plattform **(11)** an-

geordnet ist, welche an dem Strahlauslass **(2)** derart drehbar gelagert ist, dass sie gegenüber dem umgebenden Raum drehfest angeordnet ist.

3. Vorrichtung **(10)** nach Anspruch 2, wobei die Plattform **(11)** derart an dem Strahlauslass **(2)** angebracht ist, dass sie durch ihre Schwerkraft gegenüber dem umgebenden Raum drehfest gehalten ist.

4. Vorrichtung **(10)** nach Anspruch 2, wobei die Plattform **(11)** durch einen Antrieb gegenüber dem umgebenden Raum drehfest gehalten ist.

5. Vorrichtung **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Kühleinheit **(12)** in einem von dem Strahlauslass **(2)** bei einer Drehung desselben umschriebenen Innenraum **(8)** angeordnet ist.

6. Vorrichtung **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Kühleinheit **(12)** etwa im Bereich der Drehachse **(3)** des Strahlauslasses **(2)** angeordnet ist.

7. Vorrichtung **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei eine als Speiseleitung **(25)** zur Versorgung des Kryostaten **(14)** mit Kühlmittel **(15)** ausgebildete Ableitung der Kühleinheit **(12)** derart an den Kryostaten **(14)** angeschlossen ist, dass sie bei bestimmungsgemäß gefülltem Kryostaten **(14)** stets unterhalb der Flüssigkeitsoberfläche **(27)** in den Kryostaten **(14)** mündet.

8. Vorrichtung **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei mehrere als Rücklaufleitungen **(29)** zur Rückleitung von im Kryostaten **(14)** verdampftem Kühlmittel **(15)** an die Kühleinheit **(12)** ausgebildete Zuleitungen der Kühleinheit **(12)** derart an den Kryostaten **(14)** angeschlossen sind, dass bei bestimmungsgemäß gefülltem Kryostaten **(14)** stets mindestens eine der Rücklaufleitungen **(29)** oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche **(27)** in den Kryostaten **(14)** mündet.

9. Vorrichtung **(10)** nach Anspruch 8, wobei jede Rücklaufleitung **(29)** mit je einem Ventil **(28)** versehen ist, wobei die Ventile **(28)** derart angesteuert sind, dass stets die oder mindestens eine der oberhalb der Flüssigkeitsoberfläche **(27)** in den Kryostaten mündenden Rücklaufleitungen **(29)** geöffnet ist.

10. Vorrichtung **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei mindestens eine der Drehdurchführungen **(21)** eine Innen- **(22)** und eine mit dieser konzentrische Außendurchführung **(23)** umfasst.

11. Vorrichtung **(10)** nach Anspruch 10, wobei eine als Speiseleitung **(25)** zur Versorgung des Kryostaten **(14)** mit Kühlmittel **(15)** ausgebildete Ableitung der Kühleinheit **(12)** mit der Innendurchführung **(22)** verbunden ist, wohingegen mindestens eine als

Rücklaufleitung (29) zur Rückleitung von im Kryostaten (14) verdampftem Kühlmittel (15) an die Kühleinheit (12) ausgebildete Zuleitung der Kühleinheit (12) mit der Außendurchführung (23) verbunden ist.

12. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei eine weitere Ableitung der Kühleinheit (12) als Quenchleitung (40) ausgebildet ist.

13. Vorrichtung (10) nach Anspruch 12, wobei in der Quenchleitung (40) eine Drehdurchführung vorgesehen ist.

14. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Drehdurchführung bzw. mindestens eine der Drehdurchführung (21, 43) coaxial mit der Drehachse (3) des Strahlauslasses (2) angeordnet ist.

15. Vorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei die Kühleinheit (12), die Zu- bzw. Ableitungen (25, 29, 40) und der Kryostat (14) für Helium als Kühlmittel (15) ausgelegt sind.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

