



(10) **DE 10 2011 121 740 B3** 2012.12.27

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 121 740.5**
(22) Anmeldetag: **21.12.2011**
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **27.12.2012**

(51) Int Cl.: **G21G 4/02 (2012.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und
Energie GmbH, 14109, Berlin, DE**

**Gobrecht K. et al.: Status report on the cold
neutron source of the Garching neutron research
facility FRM-II. In: Physica, B311, 2002, 148-151.**

(72) Erfinder:
Welzel, Stephan, Dr., 14552, Michendorf, DE

**Kopetka, P.A. et al.: Cold Neutrons at NIST.
In: Nuclear Engineering and Technology, Vol. 38,
2005, No.5, 427-432.**

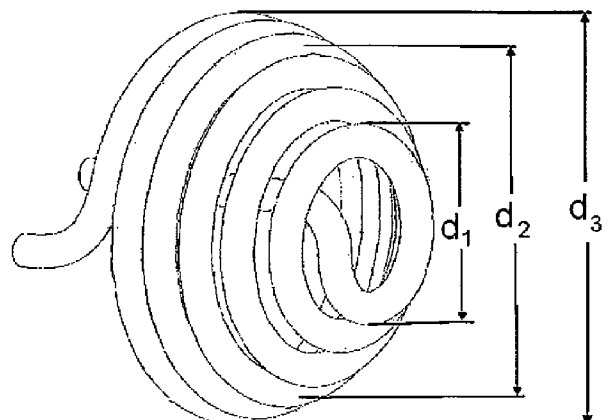
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

**Rosta L. et al.: Liquid hydrogen cold neutron
source in operation at the Budapest Research
Reactor. In: Appl. Phys., A74, 2002, S240 - S242.**

US 7 030 397 B2
JP 2002 207 100 A

(54) Bezeichnung: **Anordnung zur Erzeugung kalter Neutronen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung kalter Neutronen mittels der Moderation mit supraflüssigem Wasserstoff, wobei der supraflüssige Wasserstoff durch ein spiralförmig in einer oder mehreren Wicklungslagen gewickeltes Rohr geführt wird. Das Rohr besteht insbesondere aus einer AlMg3-Legierung oder Aluminium.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Erzeugung kalter Neutronen mittels der Moderation mit supraflüssigem Wasserstoff.

Stand der Technik

[0002] Neutronen mit einem breiten Spektrum unterschiedlicher Energien werden an Forschungsreaktoren und Spallationsquellen weltweit zur Grundlagenforschung und anwendungsnahen Forschung, hier besonders zur Bestimmung von Materialstruktureigenschaften, eingesetzt.

[0003] Das Spektrum der direkt aus dem Kernspaltungs- oder Spallationsprozess gewonnenen Neutronen weist überwiegend einen Anteil an schnellen (> 1 MeV) Neutronen auf. Diese werden zumeist durch Moderation mit schwerem oder leichtem Wasser in thermische Neutronen (etwa $0,025$ eV) umgewandelt. Für die meisten anwendungsnahen Experimente zur Materialcharakterisierung werden jedoch heute kalte Neutronen (5×10^{-5} eV – $0,025$ eV) benötigt.

[0004] Die Bereitstellung von kalten Neutronen erfolgt im Wesentlichen durch eine neutronengerechte Konstruktion, die geeignet ist, die spektrale Verteilung der Neutronen zu modifizieren. Eine derartige Vorrichtung wird gemeinhin als Kalte Neutronen Quelle (Cold Neutron Source, CNS) bezeichnet, wenn sie besonders langsame, sogenannte „kalte“ Neutronen emittiert. Die Modifikation der Geschwindigkeit der Neutronen wird im Moderator zumeist durch tiefkaltes (≤ 25 K) Gas bewirkt.

[0005] Das Moderatormedium kann zudem zur Wärmeabfuhr, die durch die Aufnahme der Energie der thermischen Neutronen entsteht, hier besonders auch durch das Material des Behälters, dienen.

[0006] Der Einsatz der Bauteile bei tiefkalten Temperaturen, hohen Drücken, möglichen raschen Temperaturwechseln, dem Einsatz von Wasserstoff und der Bestrahlung mit Neutronen und elektromagnetischer Strahlung bringen besondere Anforderungen an das Material, die Fertigung und die Auslegung der Bauteile mit sich. Im Aufsatz I von D. J. Alexander „Materials for Cold Neutron Sources: Cryogenic and Irradiation Effects“ (abrufbar unter http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/21/053/21053648.pdf, Stand 16.12.2011) werden die Eigenschaften von Aluminium-Magnesium- und Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierungen unter tiefkalten Bedingungen und gleichzeitiger hoher Bestrahlungsdichte besprochen und deren Vorzugsstellung im Einsatz zur Fertigung von Bauteilen für Kalte Neutronen Quellen.

[0007] Im Aufsatz II von D. L. Selby et al. „High Flux Isotope Reactor Cold Neutron Source Reference Design Concept“ (DOI 10.2172/677114) werden die möglichen Schwachstellen eines Systems zur Führung von tiefkaltem superfluidem Wasserstoff eingehend betrachtet. Als besonders kritisch haben sich Schweißnähte, die an Kanten geführt sind, herausgestellt (Kapitel 2.7.2). Diese hielten einer Belastung unter Betriebsbedingungen teilweise nicht stand und wiesen nach Belastung Leckagen auf. Dies führte zur Reduzierung der Schweißnähte bis auf eine verbleibende Schweißnaht unter völliger Vermeidung von Schweißnähten an Kanten.

[0008] Auch im Aufsatz III von P. A. Kopetka et al. „Cold Neutron at NIST“ (in Nuclear Engineering and Technology, Vol. 38 No. 5, Special Issue an HANARO 2005, S. 427–432) wird die Notwendigkeit einer geringen Anzahl von Schweißnähten und besonders der Ausschluss von nicht geschweißten Verbindungen dargelegt. Hier wird auch die aufwändige Herstellung eines entsprechenden Bauteils aus einem Aluminiumblock vorgestellt. Des Weiteren wird ausgeführt, dass eine weitere Anforderung an die Bauteile in einer möglichst geringen Menge an eingebrachtem Material besteht. Dies ist verbunden mit der proportional zur Masse des Materials aufgenommenen Wärmeleistung, die entsprechend abzuführen ist. Dieser Umstand wird auch in Aufsatz II von D. L. Selby et al. dargelegt (Kap. 2.1 und 2.4).

[0009] Im Aufsatz II von D. L. Selby et al. wird ein Moderator beschrieben, der für den Betrieb im Forschungsreaktor HFIR (High Flux Isotope Reactor) des Oak Ridge National Laboratory, Strahlrohr HB-4 konzipiert wurde. Als Moderatormedium dient supraflüssiger Wasserstoff. Der Behälter ist aus Al-6061 T6 gefertigt. Er besteht aus einem hemisphärisch geformten Endstück, auf dessen Grundfläche sich am Rand gegenüberliegend der Wasserstoff-Zu- und -Ablauf befindet. Zu- und Ablauf sind symmetrisch und annähernd flaschenhalsförmig ausgebildet.

[0010] Im Aufsatz IV von X. Yu et al. „Heat Transfer Research on a Special Cryogenic Heat Exchanger – a Neutron Moderator Cell (NMC)“ (International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1047; 2010) wird ein Kalte Neutronen Moderator beschrieben, der mit flüssigem Wasserstoff betrieben wird. Er besteht aus einer $\frac{3}{4}$ Ringkammer, die in einem Heliumtank untergebracht ist.

[0011] In JP 2002-207100 A1 ist eine Kalte Neutronen Quelle beschrieben, die aus einem halbierten doppelwandigen Zylinder besteht, der an den Enden durch zwei halbierte, doppelwandige Halbkugeln komplettiert wird. Der Behälter besteht demnach aus drei Teilen.

[0012] Das Regelwerk AD 2000 (Beuth Verlag GmbH; online über <http://www.ad-2000-online.de/>) konkretisiert alle wesentlichen Sicherheitsanforderungen, die nach der europäischen Druckgeräte-Richtlinie (97/23/EG) erfüllt werden müssen, und enthält Ausführungen über die Druckfestigkeit verschiedener Geometrien von Druckbehältern, nach denen Rohre aufgrund ihrer speziellen Ausformung besonders druckfest sind.

[0013] Geometrien von Druckbehältern, nach denen Rohre aufgrund ihrer speziellen Ausformung besonders druckfest sind.

[0014] Wie zudem allgemein bekannt ist, verursachen sogenannte Totvolumina, d. h. Bereiche, die kaum oder gar nicht durchströmt werden, Probleme bei der Wärmeabfuhr durch ungenügenden Austausch des Kühlmediums.

Aufgabenstellung

[0015] Ausgehend von den Nachteilen des bekannten Standes der Technik ist die Aufgabe für die vorliegende Erfindung darin zu sehen eine Anordnung zur Erzeugung kalter Neutronen anzugeben, die verbindungs- und schweißnahtfrei, bei möglichst geringem Materialeinsatz, günstiger Wärmeabfuhr und einfacher Herstellung zu realisieren ist.

[0016] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Demnach kommt ein gewickeltes Rohr, das der Durchströmung mit supraflüssigem Wasserstoff dient und eine Wandstärke ≥ 1 mm und einen Außendurchmesser ≥ 10 mm aufweist, zum Einsatz. Die Wicklungen sind spiralförmig in mehreren Windungen mit beliebigem Abstand zueinander und in einer oder mehreren Wicklungslagen geführt. Der Krümmungsradius der Windungen muss dabei der Vorgabe, dass der kleinste Durchmesser der Windungen ($d_{\text{min_Wicklung}}$), größer ist als der zweifache Außenradius des eingesetzten Rohres (d_{Rohr}), $d_{\text{min_Wicklung}} \geq 2 \times d_{\text{Rohr}}$, genügen. Als Rohrmaterial kommen Materialien, die den Anforderungen zur Führung von supraflüssigem Wasserstoff und der Strahlenbelastung genügen, in Betracht.

[0017] Bei der erfindungsgemäßen Lösung werden die günstigen Eigenschaften von Rohren bezüglich hoher Druckfestigkeit bei gleichzeitigem geringem Materialeinsatz und die gleichzeitige völlige Vermeidung von Totvolumina ausgenutzt. Zusätzlich bietet der Einsatz von gebogenem Rohr den Vorteil, schweißnaht- und verbindungsfrei geformt werden zu können. Die Wicklungen sind zudem flexibel ausführbar unter der Berücksichtigung der Limitierungen an den Krümmungsradius mit $d_{\text{min_Wicklung}} \geq 2 \times d_{\text{Rohr}}$. Durch die Variation der formgebenden Parameter der Wicklung, wie Anzahl und Abstand der Windungen, Anzahl der Wicklungslagen, Variation der abso-

luten und relativen Größe der Durchmesser und Neigen der Wicklungsachse gegenüber der Basis der Spirale, können die Ausführungsformen der Erfindung flexibel an verschiedene Strahlrohr-, Reaktor- oder Spallationsquellen-Geometrien angepasst werden. Die Höhe, der Durchmesser und somit das Volumen sowie die Geometrie des umfassten Volumens, wie z. B. Zylinder, schiefer Zylinder, Kugel oder Ellipsoid, sind nach Umgebungsbedarf einstellbar und an die Flussverteilung der Neutronen anpassbar.

[0018] In Ausführungsformen der Erfindung ist die Verwendung von unterschiedlichen Materialien, die für den Einsatz zur Führung von supraflüssigem Wasserstoff und unter hoher Strahlenbelastung geeignet sind, wie z. B. AlMg₃ oder Aluminium, vorgesehen.

Ausführungsbeispiel

[0019] Die Erfindung soll in folgendem Ausführungsbeispiel anhand von Zeichnungen näher erläutert werden.

[0020] Die Figuren hierzu zeigen

[0021] Fig. 1: eine erfindungsgemäße Anordnung zur Erzeugung kalter Neutronen mittels supraflüssigen Wasserstoffs;

[0022] Fig. 2: die Anordnung gemäß Fig. 1, nunmehr um 90° gedreht.

[0023] Die in den Fig. 1 und Fig. 2 dargestellte erfindungsgemäße Anordnung zeigt eine in einer Lage ausgeführte Wicklung des Rohres, die ein kegelförmiges Volumen umfasst, wobei die Wicklung, beginnend mit einer Windung mit Durchmesser $d_1 = 10$ cm am unteren, spitzen Ende des Kegels, in 6 Windungen kontinuierlich über einen Durchmesser $d_2 = 15$ cm bis auf einen Durchmesser $d_3 = 20$ cm mit $d_1 < d_2 < d_3$ ausgeführt ist. Die Führung der Rohrendstücke erfolgt in diesem Ausführungsbeispiel parallel zur Kegelachse, wobei das untere Ende durch den inneren Teil geführt ist und beide Rohrendstücke in einem 90° Winkel senkrecht zur Grundfläche des Kegels in Windungsrichtung nach oben gebogen sind. Die Wandstärke des Rohres beträgt $d_{\text{Wand}} = 0,1$ cm und der Durchmesser des Rohres $d_{\text{Rohr_außen}} = 1,2$ cm.

[0024] Die Ausführung, die in den Figuren beispielhaft gezeigt ist, ist geeignet für den Einbau an einem konischen Strahlrohr, wobei insbesondere durch eine mögliche schiefe Ausführung eine Anpassung an einen schief zur Achse des Strahlrohrs angeordneten Beryllium-Moderator erfolgt.

[0025] Mit der Einstellung von $d_1 = d_2 = d_3$ folgt ein zylinderförmig umfasstes Volumen. Mit der Einstellung von $d_1 < d_2 > d_3$ folgt ein ellipsoides oder gegebenenfalls ein kugelförmiges umfasstes Volumen.

Mit $d_1 > d_2 < d_3$ folgt ein sanduhrförmiges umfasstes Volumen. Mit anderen Verhältnissen von d_1 , d_2 und d_3 und gegebenenfalls weiteren Folgen von verschiedenen Durchmessern können weitere umfasste Geometrien und Variationen der beschriebenen Geometrien erfolgen, soweit es technisch möglich ist die verwendeten Rohre entsprechend zu biegen.

[0026] Die Höhe und die absoluten Größen der Durchmesser bestimmen das umfasste Volumen.

[0027] Durch eine Neigung der Wicklungsachse zur Basis der Spirale erfolgen die angeführten Geometrien in schiefer Ausführung.

[0028] Zusätzlich können Ausführungen in mehreren Wicklungslagen erfolgen.

[0029] Zu- und Ablauf des supraflüssigen Wasserstoffs kann wahlweise an einem der Rohrenden erfolgen.

[0030] Die Führung der Rohrenden kann in beliebiger Richtung und Neigung zur Wicklungsachse oder Basis der Spirale ausgeführt werden.

[0031] Als Material für das Rohr kommen alle Materialien in Frage, die den technischen Anforderungen genügen.

[0032] Die Wandstärke und der Durchmesser des verwendeten Rohrs können den Anforderungen entsprechend gewählt werden.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Erzeugung kalter Neutronen mittels supraflüssigen Wasserstoffs, gekennzeichnet durch ein in mehreren Windungen und in einer oder mehreren Wicklungslagen spiralförmig gewickeltes Rohr, das der Durchströmung mit supraflüssigem Wasserstoff dient, mit einer Wandstärke ≥ 1 mm und einem Außendurchmesser ≥ 10 mm, wobei der Durchmesser der Windung mit dem kleinsten Krümmungsradius größer als der zweifache Außenradius des Rohres ist, wobei das Rohr aus einem Material besteht, welches den Anforderungen zur Führung von supraflüssigem Wasserstoff und der Strahlenbelastung genügt.

2. Anordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das gewickelte Rohr aus AlMg_3 , entsprechend Euronorm EN AW5754, gebildet ist.

3. Anordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das gewickelte Rohr aus Aluminium gebildet ist.

4. Anordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das gewickelte Rohr ein Kegelvolumen umschließt.

5. Anordnung nach Anspruch 4, gekennzeichnet dadurch, dass das Rohr 6 Windungen aufweist und die Rohrendstücke parallel zur Kegelachse geführt sind, wobei das untere Ende durch den inneren Teil des umschlossenen Kegels geführt ist und beide Rohrendstücke in einem 90° Winkel senkrecht zur Grundfläche des Kegels in Windungsrichtung nach oben gebogen sind.

6. Anordnung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass das spiralförmig gewickelte Rohr ein Zylindervolumen umschließt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

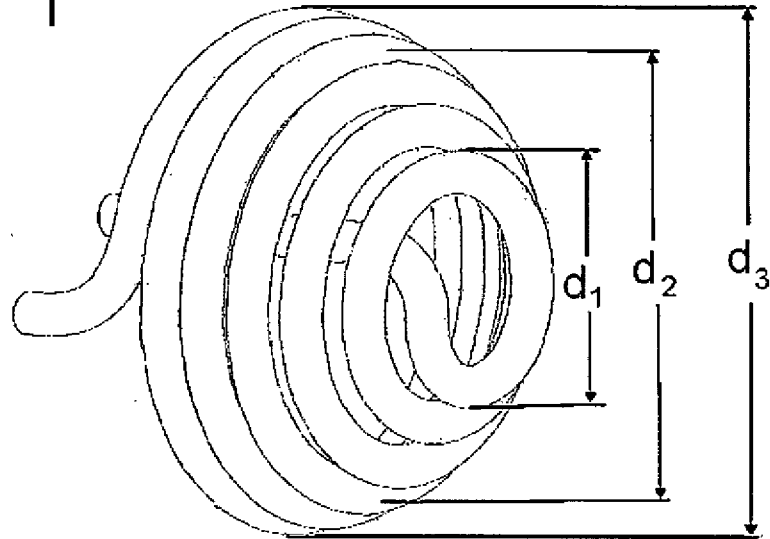


Fig. 2

