

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. März 2004 (04.03.2004)

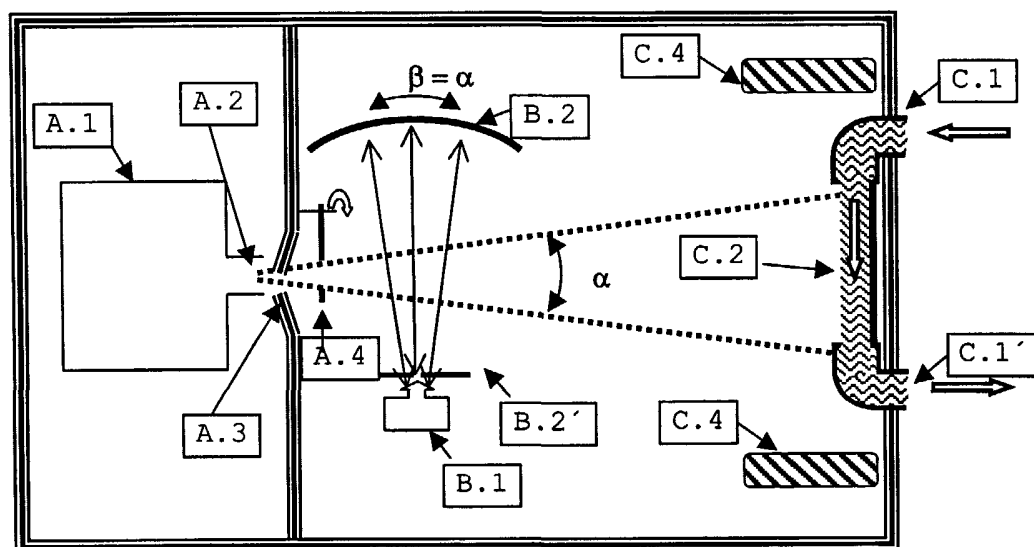
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/019052 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01R 33/28
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/002767
- (22) Internationales Anmeldedatum:
18. August 2003 (18.08.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 38 637.4 19. August 2002 (19.08.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): TRANSMIT GESELLSCHAFT FÜR TECHNOLOGIETRANSFER MBH [DE/DE]; Kerkrader Strasse 3, 35394 Giessen (DE). Philipps-Universität Marburg [DE/DE]; Biegenstrasse 10, 35032 Marburg (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): JÄNSCH, Heinz, Julius [DE/DE]; Markt 11, 35037 Marburg (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: TRANSMIT GESELLSCHAFT FÜR TECHNOLOGIETRANSFER MBH; Kerkrader Strasse 3, 35394 Giessen (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): AU, CA, US, ZA.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR PRODUCING LIQUIDS WITH A HIGH NUCLEAR SPIN POLARISATION

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON HOCH KERNSPINPOLARISIERTEN FLÜSSIGKEITEN



(57) Abstract: The invention relates to a method and a device for producing liquids with a high nuclear spin polarisation as contrast media for NMR and MRI.

(57) Zusammenfassung: Vorgeschlagen wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung hochkernspinpolarisierter Flüssigkeiten als Kontrastmittel für die NMR und MRI.

WO 2004/019052 A2

[Patentanmeldung]**[Bezeichnung der Erfindung:]**

Vorrichtung und Verfahren zur Herstellung von hoch kernspinpolarisierten Flüssigkeiten

5

[Beschreibung]

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Herstellung von hoch kernspinpolarisierten, eine Vorrichtung zu deren Herstellung, sowie hochkernspinpolarisierbaren Flüssigkeiten und deren Verwendung.

10 **[Stand der Technik]**

Ausgehend vom Phänomen der kernmagnetischen Resonanz dient die Kern-Resonanz-Spektroskopie (NMR) und ihre besondere Ausprägung als Kern-Resonanz-Bildgebung (MRI) der Bestimmung lokaler Verteilungen der Kerndichte oder der Bestimmung von NMR-Charakteristika, welche sich auf die Kerne des Gegenstandes beziehen oder und durch physikalische oder chemische Einflüsse auf die Kerne des Gegenstandes entstehen.

Diese NMR-Charakteristika umfassen z.B.: Die Längsentspannung (als deren Maß die gleichnamige Zeit T_1 dient), die Querentspannung (mit dem Maß der gleichnamigen Zeit T_2), die Entspannung in einem rotierenden Referenzrahmen (Maß: Entspannungszeit T_1 rho), die chemische Verschiebung (chemical shift) und die Kopplungsfaktoren zwischen den Kernen.

25 Der Begriff „Kernpolarisation“ P bezeichnet den Anteil an orientierten Kernspins I (z.B. des Isotops ^6Li) und der damit verbundenen magnetischen Kern-Dipolmomente μI entlang der Richtung eines äußeren Magnetfeldes B .

Es ist bekannt, dass die Kernresonanzspektroskopie (NMR) und die Bildgebung mittels Kernresonanz (MRI) grosse Bedeutung für die chemische Analytik, die Strukturaufklärung von Biomolekülen oder die medizinische Diagnostik hat.

Dabei wird in der MRI, welche zur Bildgebung dient, die lokale Verteilung von Kerndichte oder der NMR-Charakteristika eines Atoms/Ions untersucht. Für die Zwecke der chemischen Analytik, z.B. zur Bestimmung der Struktur von (Bio-) Molekülen wird dagegen häufig der Effekt der Spin-Austausch-Polarisierung, oder des Spinübergangs von in den Analyten eingebrachten Atomen/Ionen auf z.B. die ^{13}C -Atome des Analyten genutzt. Grundlage des Effekts ist hierbei die Spin-Spin-Wechselwirkung.

10 Zentrales Problem bei fast allen Anwendungen ist die geringe Empfindlichkeit der NMR/MRI Methoden. Diese Methoden nutzen im wesentlichen die thermische Orientierung der Kernmagnete in einem äusseren starken Magnetfeld aus. Die erreichbare Kernpolarisation beträgt dabei lediglich 10^{-4} bis 10^{-6} je nach verwendetem Nuklid, Magnetfeld oder Temperatur. In

15 Ausnahmefällen sind zwar höhere Orientierungsgrade möglich (sehr tiefe Temperaturen, Nutzung der dynamischen Kernpolarisation, etc.), jedoch betrifft das in der Praxis eine verschwindend kleine Zahl von Anwendungsfällen. Im Regelfall muss geringe Empfindlichkeit mit hoher Messzeit (oftmalige

20 Wiederholung der gleichen Messung und Addition der Ergebnisse) überwunden werden. Da sich das Signal-zu-Rauschverhältnis (S/N) nur mit der Wurzel der Wiederholungszahl bessern lässt, (4-malige Messung gibt 2-maliges S/N) sind der Verbesserung des Messsignals enge wirtschaftliche Grenzen gesetzt. So ist

25 etwa die Messung der orts aufgelösten Li-Verteilung im Hirn von Menschen (durch MRI) bisher nicht gelungen, obwohl Li-Salze die meistverordneten Mittel z.B. zur Unterdrückung der Zyklen bei manisch-depressiven Erkrankungen des Menschen sind. Mehr als 2 Mio. Amerikaner, grob 10 Mio. Patienten in

30 der westlichen Welt leiden an dieser Krankheit.

Auch analytische Anwendungen, besonders bei Biomolekülen die nur in extrem kleinen Substanzmengen vorliegen, sind oft -wegen der geringen Empfindlichkeit der NMR- schwer oder gar

35 nicht möglich. Wenn etwa eine Messung einen Tag dauert so ist

die gleiche Messung bei 10 mal geringerer Substanzmenge faktisch unmöglich, da dazu 100 Tage Messdauer benötigt würden. Für kurze Zeiten (Sekunden bis Stunden bei Xe, He) lässt sich die Kernmagnetisierung im Einzelfall durch
5 vielerlei Methoden (atomphysikalisch, kernphysikalisch, laseroptisch, chemisch, Transfer, Doppelresonanz, etc) erheblich steigern. Die Grenze des physikalisch Machbaren liegt bei einer Kernpolarisation von etwa 1, also 10^4 bis 10^6 mal höher als im thermischen Gleichgewicht. Die
10 Messempfindlichkeit steigt dabei um diesen erheblichen Faktor.

Jedoch wurden diese Methoden meist nur für die Kernspinpolarisierung von Gasen verwendet. Eine Ausnahme dazu bildet der Einsatz von flüssigem Xe (K.L.Sauer, R.J. Fitzgerald,
15 W.Happer, Chem.Phys.Lett 277 (1997), p153-p158.) welches in gasförmiger Form unter Anwendung von laseroptischen Verfahren polarisiert und anschließend verflüssigt wird.

Zur Untersuchung biologischen Materials mittels NMR wurden in der Vergangenheit viele verschiedene Wege eingeschlagen.
20 Die US 5 833 948 schlägt dazu kontraststeigernde Formulierungen für die NMR-Bildgebung von Blutströmungen vor. Die Formulierungen bestehen dabei aus liposomalen Mikrovesikeln, welche gekapselte paramagnetische Chelate als Träger von NMR Kontrastmitteln beinhalten. Als Kontrastmittel werden
25 paramagnetische Metall-Ionen vorgeschlagen.

In Hinblick auf ihre mögliche Anwendung in der Medizin werden darüber hinaus seit kurzer Zeit neben den üblichen Protonen (^1H) auch andere kernspinpolarisierte Isotope, wie ^{129}Xe oder ^3He untersucht. Zur Untersuchung der Ventilation der
30 Lunge schlagen beispielsweise die DE 100 00 675 C2, sowie die WO 9 527 488 A1 und WO 9 737 239 A1 die Verwendung von diesen kernspinpolarisierten Isotopen in gasförmiger Form vor.

Das Herstellen von kernspinpolarisiertem ^3He ist jedoch aufwändig. Ein weiterer genereller Nachteil von ^3He liegt in
35 der geringen Löslichkeit von ^3He in wässrigen, polaren oder

unpolaren Medien. Dadurch wird ein Einsatz von ^3He etwa zur Untersuchung biologischer, aber auch von chemischen Proben, welche in der überwiegenden Mehrzahl in wässriger oder anderen polaren oder unpolaren Lösungsmitteln vorliegen, z.B. durch
5 Nutzung der "Spinaustauschpolarisierung" sehr ineffizient.

Andere bislang untersuchte Gase oder Edelgase, wie z.B. ^{129}Xe weisen nur leicht bessere Löslichkeiten in wässrigen oder anderen polaren oder unpolaren Medien auf.

Dadurch sind diese hoch kernspinpolarisierbaren Gase nur
10 begrenzt für die Bildgebung durch MRI (z.B. für die Untersuchung der Lunge) und nahezu gar nicht für die chemische Analytik, z.B. von Biomolekülen einsetzbar.

Bislang sind keine Möglichkeiten bekannt hochkernspin polarisierte Atome/Ionen -mit ausreichender Ausbeute- in
15 wässrige oder andere Lösungsmittel zu überführen, obwohl bekannt ist, dass eine ganz Reihe von Atom-/Ionen-Arten (etwa ^1H , ^2H , ^3H , ^3He , ^6Li , ^7Li , ^{23}Na , ..) in hochkernspinpolari- sierter Form allerdings unter Hochvakuumbedingungen hergestellt werden können. Hierbei kommen Separationsmagnete,
20 Hochfrequenzübergänge, optisches Pumpen mit zirkular-, linear- oder un-polarisiertem Licht zum Einsatz.

Grund dafür ist der hohe Dampfdruck von wässrigen oder anderen polaren Lösungsmitteln bei Temperaturen oberhalb 0°C , so dass diese bislang nicht in Kontakt mit Atom/Ionen-Quellen
25 gebracht werden konnten, da die entsprechenden Atom-/Ionenstrahlen nur unter hochvakuum Bedingungen führbar sind.

[Aufgabe der Erfindung]

Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, unter deren Zuhilfenahme hoch kernspinpolarisierte Flüssigkeiten erzeugt werden können.

Besonders geeignet sind dazu kernspinpolarisierbare Flüssigkeiten, welche zudem über eine möglichst große Kernpolarisationserhaltungsfähigkeit (> 1 Sekunde), charakterisiert durch die sogenannte T1-Zeit (Längsentspannung), aufweisen.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 9.

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren können hoch kernspinpolarisierte Flüssigkeiten dadurch hergestellt werden, dass Flüssigkeiten mit einer hohen Kernpolarisationserhaltungsfähigkeit, charakterisiert durch die sogenannte T1-Zeit, mit solchen Flüssigkeiten gemischt werden, welche über einen geringen Dampfdruck von weniger als 10^{-3} mbar bei Raumtemperatur (20°C) aufweisen.

Erfindungsgemäß ist dabei die Flüssigkeit mit hoher Kernpolarisationserhaltung in Abstimmung mit der zu polarisierenden Atomart, in Hinblick auf eine hohe T1-Zeit, auszuwählen. Die Mischungsanteile der beiden Flüssigkeiten sind ausserdem so zu wählen, dass der Dampfdruck an der Oberfläche des Gemisches eine Bestrahlung der zu polarisierenden Flüssigkeit mit hoch kernspinpolarisierten Atomen oder Ionen noch zulässt.

Andererseits darf der Anteil der Flüssigkeit mit hoher Kernpolarisationserhaltungsfähigkeit (T1-Dauer) nicht zu gering sein, da sonst die Ausbeute pro Zeit oder die aus beiden Anteilen gemittelte T1-Dauer zu gering bzw. zu kurz ist.

In einem zweiten Schritt des erfindungsgemäßen Herstellverfahrens wird diese kernspinpolarisierbare Flüssigkeit dann - unter Ausbildung eines freien Flüssigkeitsfilms- in eine Vakuumapparatur überführt.

Im dritten Schritt des Verfahrens wird die polarsierbare Flüssigkeit im Bereich der freien Flüssigkeitsoberfläche mit hoch kernspinpolarisierten Atomen oder Ionen einmalig oder mehrmalig bestrahlt.

Danach wird die kernspinpolarisierte Flüssigkeit kontinuierlich oder periodisch aus der Vakuumappartur herausgeführt.

Die kernspinpolarisierte Flüssigkeit steht dann unter Umgebungsbedingungen für die Zwecke der MRI oder NMR, z.B. als Lösungsmittel für Biomoleküle oder als injezierbares Kontrastmittel zur Verfügung.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Herstellverfahrens ist dadurch gegeben, dass nach der Bestrahlung eine Anreicherung der hoch kernspinpolarisierten Anteile der Flüssigkeit durchgeführt wird. Für den Fall von H₂O oder D₂O als Komponente mit langer T₁-Zeit kann dies z.B. durch Auswaschung dieses Anteils aus dem Gemisch mit dem Flüssigkeitsanteil geringerer Dampfdichte realisiert werden.

Überraschenderweise konnten solcherlei Flüssigkeiten z.B. in der Gruppe der sogenannten Ionic Liquids gefunden werden.

Ein Beispiel für eine Flüssigkeit mit hoher Kernpolarisationserhaltungsfähigkeit für die Alkali-Atomarten, z.B. Li, ist H₂O oder D₂O oder Mischungen daraus.

H₂O oder D₂O als Anteil der zu polarisierenden Flüssigkeit bietet dem gelösten Lithium eine Umgebung die im reinen Wasser zu sehr langen T₁-Zeiten für ⁶Li führt. So beträgt die T₁-Zeit für ⁶Li in D₂O 830 s bei 30°C und 1040 s bei 80°C.

Als Flüssigkeiten mit geringem Dampfdruck stehen grundsätzlich die seit langem bekannten Flüssigkeiten mit einem Dampfdruck von weniger als 10⁻³ mbar bei Raumtemperatur (20°C) zur Verfügung, wie länger-kettige Alkohole, Glykole,

methylierte Glykole, wie etwa Diethylenglycol, oder Diethylenglycoldimethylester und Verwandte mit einem Dampfdruck von weniger als 10^{-2} mbar bei 20°C.

Vorteilhaft ist aber -aufgrund des bei Raumtemperaturen noch geringeren Dampfdrucks- der Einsatz von sogenannten ionischen Flüssigkeiten („ionic liquids“). Darunter versteht man Salze, welche schon bei Zimmertemperatur (20°C) flüssig sind. Solche ionic liquids können z.B. seit 1999 von der Firma Solvent Innovation GmbH in Aachen bezogen werden.

Für die ionische Flüssigkeit BMIM-Tf2N ((1-Butyl-3-Methyl-Imidazol)-(Bis-trifluoromethyl-sulfonyl-amid)) mit Wasser (kleiner 1 mol-%) wurde z.B. eine Zeit von T1 gleich ca. 60 s bei 20°C ermittelt.

Vertreter der Gruppe der ionic liquids sind neben

- a) BMIM-Tf2N = ((1-Butyl-3-Methyl-Imidazol)-(Bis-trifluoromethyl-sulfonyl-amid)), z.B. die Verbindungen
- b) EMIM-BF4 = (1-ethyl-3-methyl-imidazol tetrafluoroborat) oder
- c) BMIM-PF6 = (1-butyl-3-methyl-imidazol hexafluorophosphat).

Den Kern der Erfindung bildet die Erkenntnis, dass kernspinpolarisierbare Flüssigkeiten dadurch herstellbar sind, dass wässrige oder andere polare oder unpolare Lösungsmittel mit großen T1-Zeitdauern, z.B. für kernspinpolarisierbare Alkali-Atomarten, mit Flüssigkeiten mit sehr geringem Dampfdruck mischbar und in eine Vakuumappartur überführbar sind, ohne dabei zu verdampfen.

Entscheidend für die polarisierbare Flüssigkeit ist, wie oben angedeutet, auch seine Kernpolarisationserhaltungsfähigkeit (T1-Zeit). Je länger diese ist, desto längere Beobachtungsdauern von z.B. biologischen Proben können mit verstärkter Kernspinpolarisation in der NMR oder MRI realisiert werden.

Kernspinpolarisierbare Flüssigkeiten, die Spuren von Wasser enthalten, etwa für ^6Li oder ^7Li , weisen besonders lange T1-

Zeiten auf. Insbesondere die sogenannten Ionischen Flüssigkeiten können Wasser in kleinen definierten Mengen enthalten, da sie einerseits mit Wasser mischbar sind, und andererseits auch wasserfrei hergestellt werden können.

Der Wasseranteil an der kernspin-polarsisierbaren Flüssigkeit muss so klein sein, dass der Druck der Mischung nicht über etwa 10^{-3} mbar liegt. Dies wird erreicht wenn die Wasserkonzentration in z.B. BMIM-Tf₂N unter 1 mmolar liegt, bei einer Temperatur von unter 35 C.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es auch eine Vorrichtung anzugeben mit deren Einsatz die erfindungsgemäße kernspinpolarisierte Flüssigkeit herstellbar ist.

[Beispiele]

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Herstellung einer hoch kernspinpolarisierten Flüssigkeit soll am Beispiel von Lithium und hier speziell dem Isotop ⁶Li beschrieben werden.

Durchführbar ist das Verfahren für weitere Alkaliatomsorten etwa Natrium oder Kalium sowie weitere Atomsorten etwa Fluor, Chlor oder Wasserstoff.

Generell können alle Atomsorten, für welche Verfahren zur Erzeugung von Kernspinpolarisation existieren, in der erfindungsgemäßen Vorrichtung und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung von kernspinpolarisierten Flüssigkeiten eingesetzt werden.

Nach Wahl der Atomart (hier Li) und einer dazu passenden Flüssigkeit mit hoher Kernspinpolarisationserhaltung (T₁, hier H₂O oder D₂O) wird eine damit mischbare Flüssigkeit gewählt (hier z.B. BMIM-Tf₂N). Die Anteile und die Temperatur der beiden Flüssigkeiten werden dann, in Abstimmung mit der Art der gewählten Flüssigkeit mit hoher T₁-Dauer, so gewählt, dass bei Normaltemperatur von 20°C der Dampfdruck der Mischung der beiden Flüssigkeiten 10^{-2} mbar nicht übersteigt.

Die zu polarisierende Flüssigkeit wird dann in eine Vakuumapparatur überführt. In Vakuum wird aus einem heizbaren Gefäß (etwa Edelstahlbehältnis mit Düsenöffnung) ${}^6\text{Li}$ erhitzt und dadurch verdampft. Aus dem Dampf vor der Düse wird ein Strahl mittels Blenden herausgeschält. Dieser Atomstrahl durchfliegt einen Magneten mit inhomogenem Magnetfeld, der als Dipolmagnet, Quadrupol- oder Sextupolmagnet gearbeitet sein kann. Wegen der besseren Strahlführungseigenschaften sind Quadrupol- oder Sextupolmagnete vorzuziehen. Besonders geeignet sind Magneten mit konisch geformten Magnetprofilen.

Die auf den Spin der Atome wirkenden Kräfte zerteilen den Atomstrahl in zwei Anteile, den mit Elektronenspin parallel zum äusseren Feld (Komponente 'Spin-Up') und den Anteil mit zum äusseren Feld antiparallelem Spin (Komponente 'Spin-Down'). Die unterschiedlichen Kräfte auf beide Komponenten bewirken eine räumliche Separation, so dass beispielsweise die Spin-Down Komponente ausgeblendet wird, also nur noch die Spin-Up Komponente weiterfliegt.

Alternativ zur Polarisationsvorrichtung in Form der Separationsmagneten kann auch eine Präparationsvorrichtung eingesetzt werden, welche nach dem Prinzip des 'Optischen Pumpens' arbeitet, um die Spin-Up (oder die Spin-Down) Komponente zu präparieren.

Die Wellenlänge des „Pumplichts“ ist dabei auf die Absorptionslinien der verwendeten, zu polarisierenden Atome/Ionen aus der Gruppe Alkaliatome etwa Natrium oder Kalium, Fluor, Chlor oder Wasserstoff abzustimmen. Für das Element Li ist „Pumplicht“ der Wellenlänge 670,8 nm zu wählen.

Auch eine Kombination beider Verfahren kann sinnvoll sein.

Bei der Präparation mittels „optischem Pumpen“ kann die Kernpolarisation schon einen gewünschten sehr hohen Wert annehmen (leicht über 80% vom Maximalwert). Bei Benutzung der Separationsmagneten liegt die Kernpolarisation im Falle von ${}^6\text{Li}$ zwischen 0% und 33% des Maximalwerts, je nach dem in welchem Magnetfeld sich die Atome befinden. Nutzt man einen

Hochfrequenzübergang zusätzlich zum Separationsmagneten, so kann die Kernpolarisation auf 66% gesteigert werden.

Der so präparierte Atomstrahl -durch Separationsmagneten oder optisches Pumpen alleine oder durch die Kombination der beiden Präparationsverfahren- kann nun direkt in Lösung gebracht werden oder die Atome können an einem heissen Oberflächenionisator in einen Ionenstrahl verwandelt werden, so dass Ionen statt Atome über eine freie Flüssigkeitsoberfläche in die zu polarisierende Flüssigkeit überführt werden können.

Der Druck im Bereich der Überführung der Atom-/Ionenstrahlen in die zu polarisierende Flüssigkeit sollte kleiner als 10-3 mbar bleiben, um den ungehinderten Transport des Atomstrahls zur freien Oberfläche der polarisierbaren Flüssigkeit zu gewährleisten. Der Druck stellt sich durch den Dampfdruck der zu polarisierenden Flüssigkeit und die an der Apparatur angebrachten Pumpen ein, so dass etwas höherer Dampfdruck durch ein mehr an Pumpen kompensiert werden kann. Dies kann etwa mit flüssigem Stickstoff gekühlte Bleche erzeugt werden, die als Kryopumpe wirken und geometrisch sehr nahe an die polarisierbare Flüssigkeit herangebracht werden können. Zur Vorkühlung, vor Eintritt in die Vakuumkammer, kann die zu polarisierende Flüssigkeit z.B. durch äußere Beaufschlagung der Zuführungsleitungen mit einer -koaxial die Leitungen umfassend geführten- flüssigen Stickstoff- oder kalten Gas-Strömung gekühlt werden. Im Bereich der freien Flüssigkeitsoberfläche ist so der Dampfdruck absenkbar.

Eine weitere Absenkung des Dampfdrucks im Bereich der freien Flüssigkeitsoberfläche ist dadurch erzielbar, dass die Rückseite, d.h. die der Atom-/Ionenstrahlung abgewandte Seite der freien Flüssigkeitsoberfläche über ein z.B. durch flüssigen Stickstoff gekühlten Kühlkörper in flüssiger Form geführt wird.

Im Fall der Herstellung von polarisierten Atomstrahlen ist der räumliche Bereich, in welchem der Atomstrahl in Lösung

gebracht wird einem in der Richtung und Stärke so konstanten Magnetfeld auszusetzen, dass die „Adiabasie Bedingung“ nicht verletzt wird. Zur Adiabasie Bedingung siehe auch W. Haeberli, Ann. Rev. Nucl. Sci. 17, (1961), 313. Ein Magnetfeld von ca. 300 Gauss (für ^6Li z.B.) , welches durch einen Permanent-Magneten oder Spulen erzeugt werden kann ist dazu auch für den Fall, dass sich die Vorrichtung in magnetischen Störfeldern befindet im Allgemeinen ausreichend. Für den Fall, dass keine oder nur geringe Störfelder im Bereich der Vorrichtung vorhanden sind reichen auch Magnetfeldstärken von 1 Gauss.

Im Fall der Herstellung von polarisierten Ionenstrahlen, muss sich die Ionisationsvorrichtung in einem Magnetfeld befinden, welches die „Adiabasie Bedingung“ (s. oben) nicht verletzt. Die nachfolgend mit den so erzeugten Ionen zu bestrahlende freie Flüssigkeitsoberfläche muss sich dann nicht in einem der Adiabasie Bedingung genügenden Magnetfeld befinden.

Die in diesem Beispiel mit Alkali-Atomen/-Ionen (hier ^6Li) zu beladene -und damit zu polarisierende- Flüssigkeit kann nach der Bestrahlung dann in einem kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Verfahren aus dem Vakuum herausgepumpt oder unter dem Einfluss der Schwerkraft herausgelassen werden, so dass sie unter Normaldruckbedingungen weiterverarbeitet werden kann.

Für spezielle Verwendungsfälle kann die hoch kernspinpolarierte Flüssigkeit direkt in NMR oder MRI Messungen verwendet werden.

Eine wässrige Lösung der Alkaliatome erhält man durch auswaschen der hier verwendeten Alkaliatome-/Ionen mit oder ohne den Anteil der Flüssigkeit mit hoher T1-Dauer aus dem Anteil der Flüssigkeit mit geringem Dampfdruck.

Die nachfolgenden Beispiele verdeutlichen verschiedene Ausführungsbeispiele der erfindungsgemässen Vorrichtung und des erfindungsgemässen Verfahrens zur Herstellung von

kernspinpolarisierten Flüssigkeiten ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

Fig. 1 zeigt dazu den Aufbau der Herstellvorrichtung umfassend eine Vakuumapparatur mit den beiden Teilkammern Quellenkammer (1) und Absorptionskammer (2) und umfassend eine optische Polarisationsvorrichtung mit einem optischen Resonator, gebildet aus Resonator-Spiegelementen (B.2).

Fig.2 zeigt eine alternative Herstellvorrichtung mit einer optischen Polarisationsvorrichtung umfassend gewöhnliche Spiegelemente (B.3), welche keinen optischen Resonator ausbilden.

Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsvariante der Herstellvorrichtung mit einer Polarisationsvorrichtung (B) in Form von Separationsmagneten (B.10, B.10[^]).

Fig.4 zeigt eine vorteilhafte Absorptionsvorrichtung (C) mit einem Flüssigkeitsmitnehmer (C.6) in Form einer motorisch antreibbaren Drehscheibe als Flüssigkeitsmitnehmer (C.6) und einem Abstreifer (C.8) an welcher die polarisierte Flüssigkeit zu einer Rückleitung (C.1[^]) geführt wird.

Fig.5 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Herstellvorrichtung.

Darin werden die aus der Quellenkammer (1) austretenden Atome vor Erreichen der Absorptionsvorrichtung ionisiert.

Fig.6 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Herstellvorrichtung mit einer Polarisationsvorrichtung (B) in Form von Separationsmagneten (B.10, B.10[^]) und einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Hochfrequenzübergangs (H.1, H.2) mit einer Spule (H.1) und Magneten (H.2), welche ein inhomogenes Magnetfeld erzeugen.

Fig.1 zeigt die Quellenkammer (1) mit einer Verdampfungsvorrichtung (A), welche einen Austritt zur Abgabe der erzeugten Atome oder Ionen aufweist. Die Atome oder Ionen werden dann durch Blenden (A.3,A.3') zu einem Strahl geformt, welcher in einer verbesserten Ausführungsform zur weiteren Strahlformung

durch eine oder mehrere revoltierende Lochblenden (A.4) geleitet wird, treten weiter in die Absorptionskammer (2) ein, passieren die Polarisations-Vorrichtung (B) und erreichen die Absorptionsvorrichtung (C).

Die Kernspin-Polarisation geschieht in diesem Fall durch sogenanntes „optisches Pumpen“. In der Polarisations-Vorrichtung (B) wird dazu als Lichtquelle (B.1) z.B. eine schmalbandige Laser-Diode eingesetzt, welche in dem zur Atomart Li passenden Absorptionsbereich Licht der Wellenlänge 670 nm emittiert. Die Lichtquelle sendet dazu polarisiertes oder unpolarisiertes Licht einer Frequenzkomponente oder mehrerer Komponenten aus. Die Lichtquelle kann dazu auch ausserhalb der Vakuumkammer angebracht sein (siehe dazu Fig.2). Die Resonator-Spiegelemente B.2 und B.2' bilden einen Resonator zur Erhöhung der Lichtintensität.

Der Radius $r_{B.2}$ des gekrümmten Resonator-Spiegelementes (B.2) -und in einer nicht dargestellten Ausführungsform, auch der Radius $r_{B.2'}$ des Resonator-Spiegelementes B.2'- ist dabei auf den Aufweitungswinkel α des Atom-/Ionenstrahls abgestimmt. Der abgedeckte Winkelbereich β entspricht dem Aufweitungswinkel α des Atom-/Ionenstrahles.

Nach der Polarisations-Vorrichtung und im Falle der Erzeugung von Ionen nach der Ionisationsvorrichtung (siehe Fig. 5), erreicht der Atom-/Ionenstrahl die Absorptionsvorrichtung (C) welche eine freie Flüssigkeitsoberfläche (C.1) aufweist.

Die Atome/Ionen werden an dieser freien Flüssigkeitsoberfläche oder im darunter befindlichen Flüssigkeitsfilm absorbiert. Im Falle der Herstellung von Atomstrahlen befindet sich sowohl die Flüssigkeitsoberfläche als auch der darunter liegende Film vorteilhafterweise innerhalb eines durch Magnetfeldquellen (C.4' und C.4''), z.B. durch die hier gewählten Permanentmagneten gebildeten Magnetfeldes. Das Magnetfeld muss dabei die Adiabasie-Bedingung erfüllen.

Im Falle der Herstellung von Ionen ist es vorteilhaft, wenn sich lediglich der Ionisator innerhalb eines die Adiabasie Bedingung erfüllenden Magnetfeldes befinden (s. Fig. 5).

Im vorliegenden Beispiel wird die zu polarisierende Flüssigkeit permanent umgewälzt unter Bildung eines frei fallenden Flüssigkeitsfilms, welcher zumindest teilweise den Bereich des Atom-/Ionenstrahls kreuzt.

Fig.2 zeigt eine alternative Herstellvorrichtung mit einer Polarisationsvorrichtung, welche als Lichtquelle (B.1) etwa eine Laserdiode wie in Fig. 1 und mehrere gewöhnliche Spiegelemente (B.3', B.3'') vorsieht.

Der Winkel unter welchem die Lichtquelle im Verhältnis zum Atom-/Ionenstrahlkegel einstrahlt ist im Zusammenhang mit der Ausrichtung der Spiegelemente (B.3', B.3'') so zu wählen, dass eine Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt während der Lichtabsorption für möglichst alle Atome im Strahl-Konus α minimiert wird. Im Gegensatz zu Fig. 1 ist die Lichtquelle (B.1) hier ausserhalb der Vakuumapparatur angebracht und die Strahlung wird durch einen optischen Durchgang (B.11) in die Vakuumkammer übertragen.

Im Gegensatz zu Fig.1 ist hier keine kontinuierliche Umwälzung der zu polarisierenden Flüssigkeit vorgesehen, da die Absorptionsvorrichtung ein größeres Auffangbecken (C.3) aufweist.

Fig. 3 zeigt eine dritte Ausführungsvariante der Herstellvorrichtung bei dem die Präparation des Atom/Ionenstrahls durch Separationsmagneten geschieht. Der Atomstrahl durchfliegt ein von Separationsmagneten gebildetes inhomogenes Magnetfeld, wobei die Magnete als Dipolmagnet, Quadrupol- oder Sextupolmagnet gearbeitet sein können. Wegen der besseren Strahlführungseigenschaften sind Quadrupol- oder Sextupolmagnete vorzuziehen. Besonders geeignet sind Magneten mit konisch geformten oder/und abgerundeten Magnetprofilen.

Fig.4 zeigt eine vorteilhafte Absorptionsvorrichtung (C) mit einer Zuleitung (C.1) einem Vorratsreservoir (C.5), einem Flüssigkeitsmitnehmer (C.6) in Form einer motorisch antreibbaren Drehscheibe und einem Abstreifer (C.8) an welcher die polarisierte Flüssigkeit zu einer Rückleitung (C.1') geführt wird. Vorteilhaft ist hier die Anbringung eines zweiten Abstreifers (C.8') welcher in Drehrichtung des Mitnehmers (C.6) vor dem Abstreifer (C.8) gelegen ist. Dadurch läßt sich die Filmdicke des mitgenommenen Flüssigkeitsfilms reduzieren.

Mittels einer Regelvorrichtung, umfassend einer Kernspinpolarisationsmessvorrichtung, einer Ist-/Sollwertvergleichsvorrichtung und einer Motor-Drehzahlsteuerung für den Flüssigkeitsmitnehmer sowie einer Steuerung für die Temperatur der Atom-/Ionenstrahlquelle kann die Kernspinpolarisation geregelt werden.

Fig.5 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Herstellvorrichtung. Darin werden die aus der Quellenkammer (1) austretenden Atome vor Erreichen der Absorptionsvorrichtung ionisiert. Zur Ionisation wird hier eine konventionelle Ionisationsvorrichtung (F), etwa ein Oberflächenionisator, z.B. ein oder mehrere Wolfram-Bleche, oder ein mit Sauerstoff belegtes Wolfram-Blech oder ein Blech eines anderen Materials, welches Schmelztemperaturen oberhalb von ca. 1.500°C und eine, für das gewählte Material spezifische, genügend hohe Austrittsarbeit aufweist, genutzt. Die Ionen werden dann mittels Hochspannung auf eine geeignete kinetische Energie beschleunigt, so dass sie in die Oberfläche des freien Films, der polarisierbaren Flüssigkeit eindringen können. Die Absorptionstiefe liegt bei 20-50keV bei ca. 1µm.

Vorteilhaft für die weitere Nutzung der Flüssigkeit ist es dabei die Flüssigkeit auf Erdpotential zu legen und die Ionisationsvorrichtung demgegenüber auf eine positives Potential zu legen.

Weiterhin vorteilhaft ist es zur Führung der Ionen zwischen Ionisator und der zu polarisierenden Flüssigkeit eine elektrostatische Transportvorrichtung (G) mit elektrostatischen Netzen (G.1) und Linsen (G.2, G.2', G2'', G2''') vorzusehen.

Fig.6 zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Herstellvorrichtung mit einer Polarisationsvorrichtung (B) in Form von Separationsmagneten (B.10, B.10') und einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Hochfrequenzübergangs (H) mit einer Spule (H.1) und Magneten (H.2, H.2'), welche ein inhomogenes Magnetfeld erzeugen.

Anstelle des Magneten können auch Spulen und ein entsprechend geformtes Eisenjoch zur Erzeugung eines inhomogenen Feldes eingesetzt werden.

Bei Auswahl einer polarisierbaren Flüssigkeit mit einem sehr geringen Anteil an Flüssigkeit mit geringem Dampfdruck ist es -zur Reduktion des Vakuumpumpaufwands- vorteilhaft, wenn der freie Flüssigkeitsfilm, im Falle der Nutzung von Ionenstrahlung, durch eine Folie vom Rest der Absorptionskammer getrennt wird.

Die Beschleunigungsspannung und die Foliendicke müssen aufeinander abgestimmt sein, so dass die Ionen nicht in der Folie stecken bleiben. Simulationen haben dazu gezeigt, dass z.B. eine Polypropylenfolie von 100 nm Dicke von einem 6Li Strahl, der 30 keV kinetische Energie aufweist, durchschossen werden kann. Die ins Wasser eingebrachten Ionen werden abgebremst und befinden sich in der gewünschten Umgebung, z.B. in einer Umgebung mit hohem D2O-Anteil und damit hoher Kernpolarisationserhaltungsfähigkeit. Die mechanische Stabilität der Folie kann durch hochtransparente aber feinmaschige Gitter erheblich gesteigert werden, so dass die Folien den Dampfdruck der zu polarisierenden Flüssigkeit und bei geeigneter Auslegung sogar Atmosphärendruck gegenüber dem ionenstrahlseitigen Vakuum ausgesetzt werden können.

[Bezugszeichenliste]

Quellenkammer	(1)
Absorptionskammer	(2)
Kreuzungsbereich	(2.X)
Partikelstrahl	(3)
Verdampfungsvorrichtung	(A)
Partikelquelle	(A.1)
Düse	(A.2)
Blenden	(A.3)
Revolver mit Lochblenden	(A.4)
Polarisationsvorrichtung	(B)
Lichtquelle	(B.1)
Resonator-Spiegelement	(B.2)
Spiegelemente	(B.3)
Radius Spiegelement	(r.B.2)
Separationsmagneten	(B.10)
Optischer Durchgang für Lichtquelle	(B.11)
Absorptionsvorrichtung	(C)
Zu-/Abfuhrleitungen	(C.1)
Freie Flüssigkeitsoberfläche	(C.2)
Auffangbecken	(C.3)
Magnetfeldquelle	(C.4)
Vorratsbehälter	(C.5)
Flüssigkeitsmitnehmer	(C.6)
Drehachse	(C.7)
Flüssigkeitsabstreifer	(C.8)
Folie	(C.9)
Vakuumpumpvorrichtung	(D)
Vorpumpe	(D.1)
Hochvakuumpumpe	(D.2)
Vakuumventil	(D.3)
Kühlvorrichtung	(E)
Kühlkörper	(E.1)
Kühlmittelzu-/Abfuhr	(E.2)
Ionisationsvorrichtung	(F)
Ionisationsblech	(F.1)
Elektrostatische Transportvorrichtung	(G)
Elektrostatisches Netz	(G.1)
Elektrostatische Linse	(G.2)
Hochfrequenzübergangs-Vorrichtung	(H)
Spule	(H.1)
Magneten	(H.2)

[Patentansprüche]

1. Verfahren zur Herstellung von kernspinpolarisierten Flüssigkeiten umfassend folgende Schritte:
 - a) Auswahl einer der Wahl der Atomart entsprechenden Flüssigkeit mit hoher Kernspinerhaltungsfähigkeit, charakterisiert durch eine T1-Zeit von mehr als 1 Sekunde,
 - b) Mischung eines Anteils der Flüssigkeit mit hoher T1-Zeit mit einer zuvor zu wählenden Flüssigkeit mit geringem Dampfdruck, so dass der Dampfdruck der Flüssigkeitsmischung 10^{-2} mbar bei einer Temperatur von 20°C des Gemisches nicht übersteigt;
 - c) Überführung der polarisierbaren Flüssigkeit in die Herstellvorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 21 unter Ausbildung einer freien Flüssigkeitsoberfläche im Kreuzungsbereich mit dem in der Vorrichtung befindlichen Partikelstrahl aus kernspinpolarisierten Atomen oder Ionen;
 - d) Bestrahlung der Flüssigkeit durch mindestens einen Teil eines kernspinpolarisierten Partikelstrahls aus Atomen oder Ionen für eine vorbestimmte Zeitdauer T_{exp} unter mindestens teilweiser Absorption der zugeführten Strahlung, wobei sich im Falle der Bestrahlung mit Ionen die Ionisationsvorrichtung und im Falle der Bestrahlung mit Atomen sich die freie Flüssigkeitsoberfläche innerhalb eines Magnetfeldes befindet, welche die Adiabasie Bedingung erfüllt;
 - e) Abführung der bestrahlten und damit polarisierten Flüssigkeit aus der Vakuumapparatur
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die polarisierbare Flüssigkeit einen Anteil H₂O oder/und D₂O aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, dass die polarisierbare Flüssigkeit einen Anteil eines

Ionic Liquids, insbesondere aus der Gruppe:

a) BMIM-Tf₂N = ((1-Butyl-3-Methyl-Imidazol) - (Bis-trifluoromethyl-sulfonyl-amid)),

b) EMIM-BF₄ = (1ethyl-3-methyl-imidazol tetrafluoroborat)
oder c) BMIM-PF₆ = (1-butyl-3-methyl-imidazol hexafluorophosphat) aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die polarisierbare Flüssigkeit portionsweise oder kontinuierlich zu oder und abgeführt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass im Falle der Herstellung von Ionen in der Vakuumapparatur eine Beschleunigungsspannung zwischen der Ionisationsvorrichtung (F) und der Absorptionsvorrichtung (C) angelegt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die zu polarisierende oder/und polarisierte Flüssigkeit innerhalb der Absorptionsvorrichtung (C) zur Reduktion des Dampfdrucks gekühlt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der polarisierte Anteil der Flüssigkeit nach der ersten und/oder jeder weiteren Bestrahlung angereichert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Anreicherung durch Auswaschung oder andere chemische Trennverfahren erfolgt.
9. Vorrichtung zur Herstellung von kernspinpolarisierten Flüssigkeiten, mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bestehend aus einer
- Vakuumapparatur mit Quellenkammer (1), Absorptionskammer (2) und einer Vakuumpumpvorrichtung (D) und/oder einer

Pumpvorrichtung (D) und einer Kühlvorrichtung (E) zur Herstellung hochkernspinpolarisierter Atome oder Ionen mit einer

- integrierten Partikelquelle für Atome (A.1),
- einer Atomstrahl-Führungsvorrichtung bestehend aus mindestens einer Düse und Blende (A2, A3),
- einer Atom-Polarisationsvorrichtung (B) zur Polarisierung der Atome des Atomstrahls und
- einer Absorptionsvorrichtung (C) mit Zu- / Abführleitungen (C.1, C.1') welche die zu polarisierende Flüssigkeit in die Absorptionskammer (2) hinein und nach Polarisierung durch Bestrahlung mit kernspinpolarisierten Atomen oder/und Ionen wieder hinausführen, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorptionsvorrichtung (C) zumindest in einem Teil des Kreuzungsbereichs (2.X) mit dem Partikelstrahl aus Atomen oder/und Ionen eine freie Flüssigkeitsoberfläche aufweist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Polarisationsvorrichtung (B) eine Vorrichtung nach dem Funktionsprinzip des optischen Pumpens vorgesehen ist, mit einer auf die Absorptionslinien des zu polarisierenden Atoms abgestimmten Lichtquelle für polarisiertes, oder/und nicht polarisiertes Licht.
11. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung nach dem Funktionsprinzip des optischen Pumpens einen optischen Resonator, gebildet durch mindestens zwei Resonator-Spiegelemente (B.2, B.2') aufweist, wobei einer oder beide Krümmungsradien der Resonator-Spiegelemente so auf den Aufweitungswinkel α des Atomstrahls abgestimmt ausgebildet sind, dass eine Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt während der Lichtabsorption für möglichst alle Atome im Strahl-Konus α minimiert wird.

12. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung nach dem Funktionsprinzip des optischen Pumpens eine Lichtquelle (B.1) etwa eine Laserdiode und mehrere gewöhnliche Spiegelemente (B.3', B.3'') aufweist, wobei der Winkel unter welchem die Lichtquelle im Verhältnis zum Atomstrahlkegel einstrahlt im Zusammenhang mit der Ausrichtung der Spiegelemente (B.3', B.3'') so gewählt ist, dass eine Frequenzverschiebung durch den Dopplereffekt während der Lichtabsorption für möglichst alle Atome im Strahl-Konus α minimiert wird.
13. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass als Polarisationsvorrichtung (B) Separationsmagnete (B.10, B.10') oder Separationsmagnete und eine Hochfrequenzübergangs-Vorrichtung (H) vorgesehen ist, beispielsweise mit einer Spule (H.1) im Bereich des inhomogenen Magnetfelds der Magneten (H.2, H.2').
14. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorptionsvorrichtung (C) als Teil der Zu- oder/und Abführleitungen (C.1, C.1') mindestens einen Vorratsbehälter (C.5) aufweist.
15. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die freie Flüssigkeitsoberfläche der Absorptionsvorrichtung (C) aktiv oder durch die Schwerkraft umgewälzt wird und das die Zu- oder/und Abführung der zu polarisierenden oder polarisierten Flüssigkeit periodisch oder/und kontinuierlich erfolgt.
16. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorptionsvorrichtung (C) zumindest im Bereich des freien Flüssigkeitsfilms eine Kühlvorrichtung (E), z.B. als Kühlblech an der der kernspinpolarisierten Strahlung abgewandten Seite angebracht aufweist, wobei

als Kühlung die Strömung von flüssigem Stickstoff oder kaltem Gas vorgesehen ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Absorptionsvorrichtung (C) bestehend aus Zu- und Ableitungen (C.1, C.1') mit dazwischen geschaltetem Vorratsbehälter (C.5) und einem darin eintauchenden, um eine Drehachse (C.7) drehbaren Flüssigkeitsmitnehmer (C.6) zur Ausbildung eines Filmes und einem daran angebrachten Flüssigkeitsabstreifer (C.8) welcher den so gebildeten, polarisierten Flüssigkeitsfilm aufnimmt und zur Ableistung führt, ausgebildet ist.
18. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die freie Flüssigkeitsoberfläche (C.2) der Absorptionsvorrichtung (C) innerhalb eines die Adiabasie-Bedingung erfüllenden Magnetfeldes von Magnetfeldquellen (C.4) angeordnet ist.
19. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass in Strahlrichtung zwischen Polarisationsvorrichtung (B) und Absorptionsvorrichtung (C) eine Ionisationsvorrichtung (F), z.B. bestehend aus Ionisationsblechen (F.1, F.1') angeordnet ist, so dass in der freien Flüssigkeitsoberfläche (C.2) polarisierte Ionen absorbiert werden, wobei die Ionisationsbleche innerhalb eines die Adiabasie Bedingung erfüllenden Magnetfeldes der Magnetfeldquelle (C.4) angeordnet sind.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass in Strahlrichtung zwischen Ionisationsvorrichtung (F) und Absorptionsvorrichtung (C) eine elektrostatische Transportvorrichtung (G), z.B. bestehend aus einem elektrostatischen Netz (G.1) und mindestens einer elektrostatischen Linse (G.2) vorgesehen ist, wobei in Strahlrichtung an den Elementen Ionisationsvorrichtung, Transport-

vorrichtung (G) und deren Elementen, bis zur -
Absorptionsvorrichtung die Anlegung solcher elektrischen
Potentiale vorgesehen ist, dass die Ionen zur freien
Flüssigkeitsoberfläche (C.2) der Absorptionsvorrichtung
(C) geführt werden.

21. Vorrichtung nach Anspruch 9 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass in Strahlrichtung nach der Düse und ersten Blende (A.2, A.3) mindestens eine weitere Blende in Form eines Revolvers mit Lochblenden (A.4) angeordnet ist.
22. Verwendung von Ionic Liquids insbesondere aus der Gruppe
- a) BMIM-Tf₂N = ((1-Butyl-3-Methyl-Imidazol) - (Bis-trifluoromethyl-sulfonyl-amid))
 - b) EMIM-BF₄ = (1ethyl-3-methyl-imidazol tetrafluoroborat)
oder
 - c) BMIM-PF₆ = (1-butyl-3-methyl-imidazol hexafluorophosphat)
- oder anderen Flüssigkeiten mit einem Dampfdruck kleiner 10^{-2} mbar bei 20°C oder flüssigem H₂O oder flüssigem D₂O zur Herstellung von kernspinpolarisierten Flüssigkeiten.

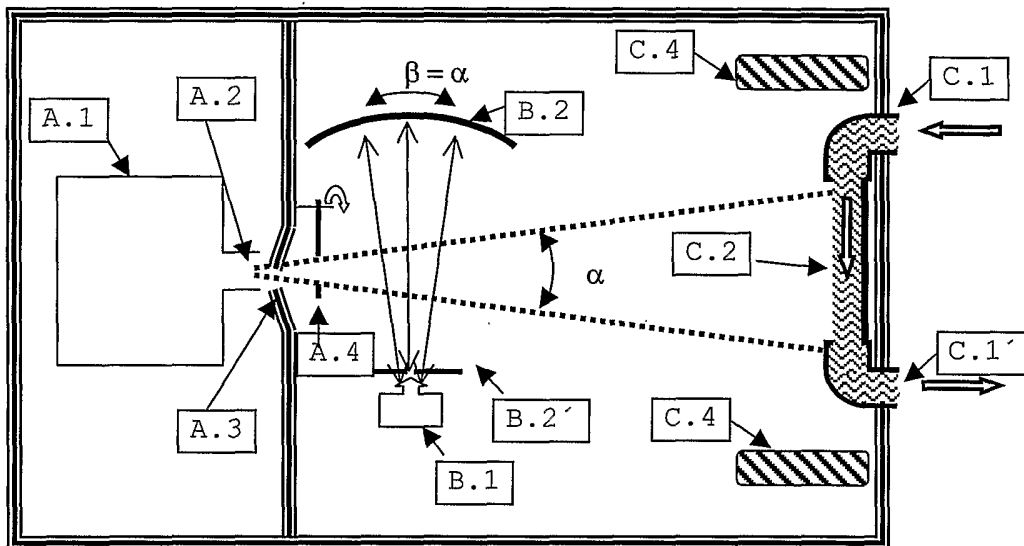


Fig. 1

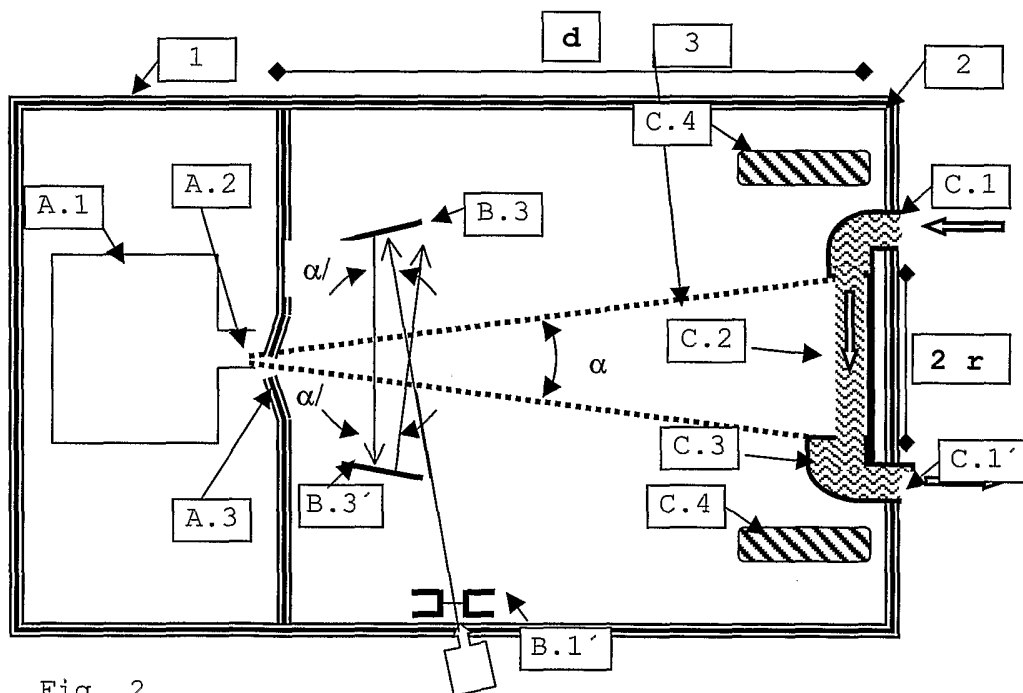


Fig. 2

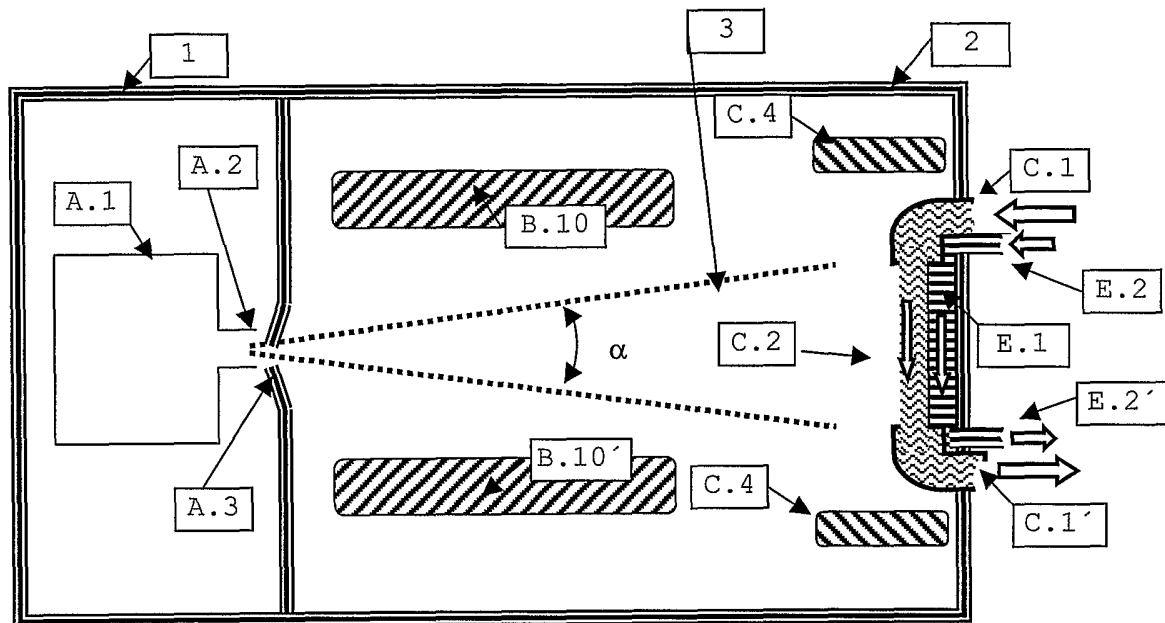


Fig. 3

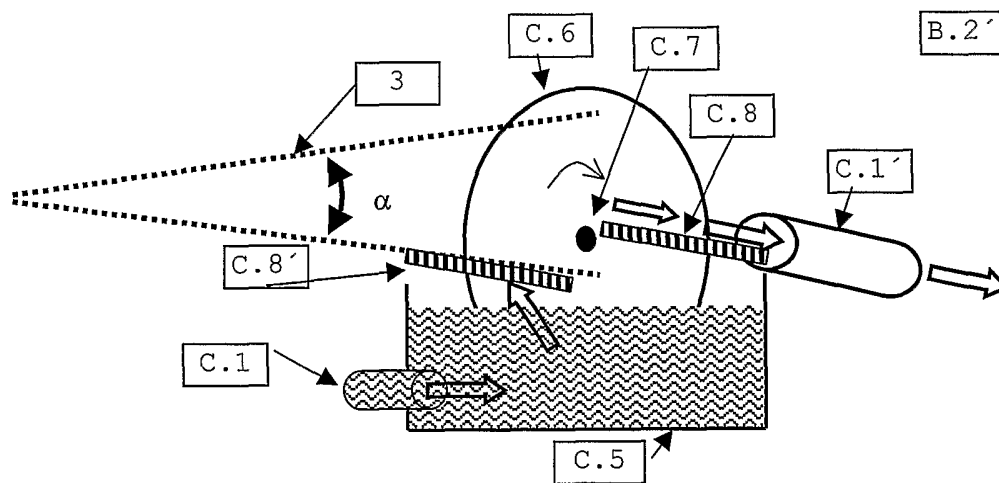


Fig. 4

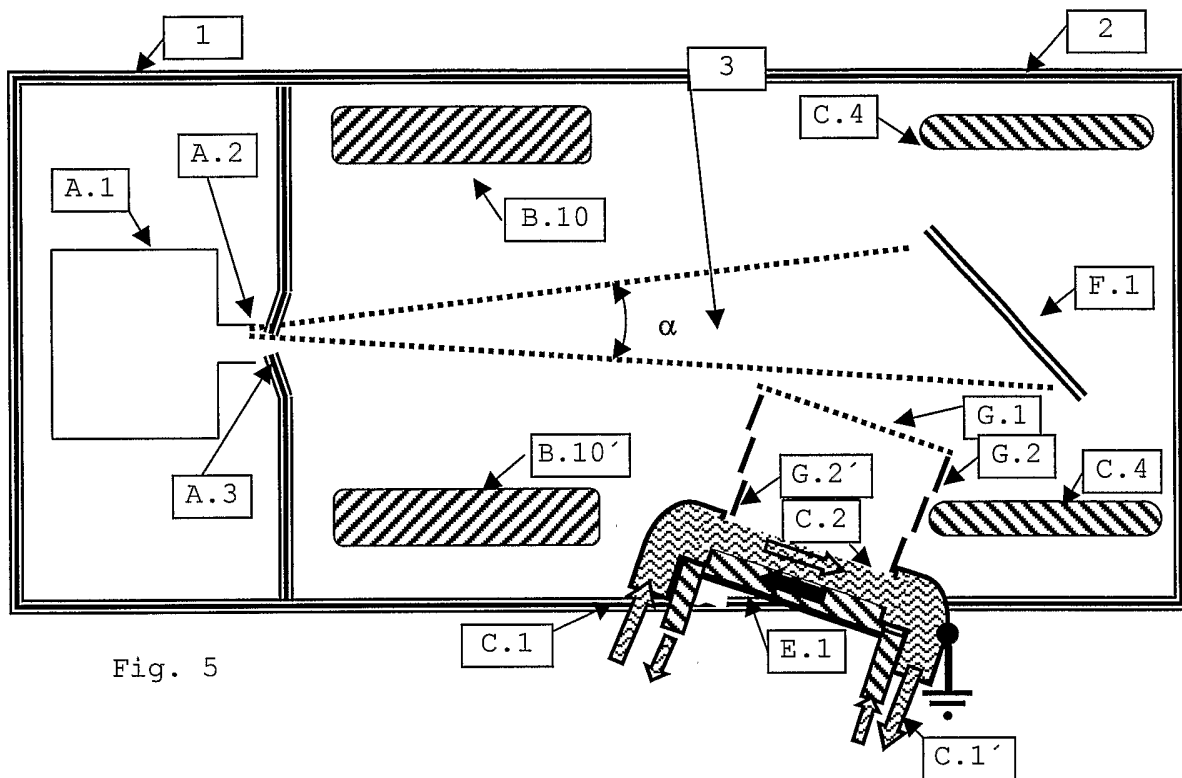


Fig. 5

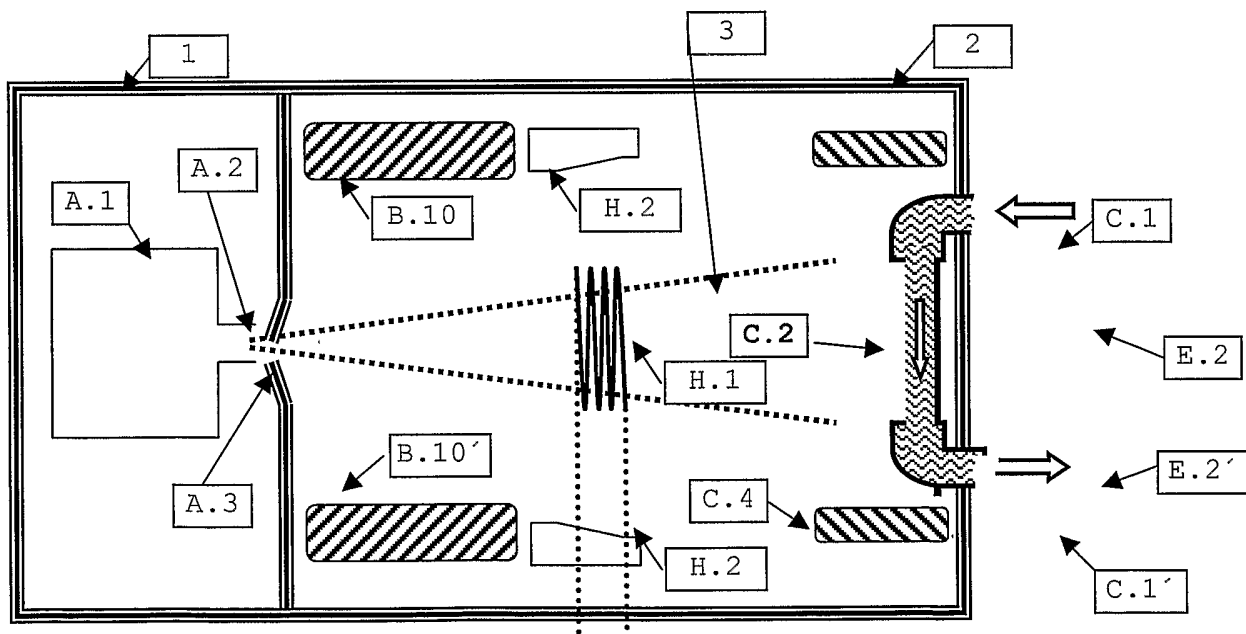


Fig. 6