

A2

P01 216

100

Mágnesesen árnyékolt tartály, továbbá tárolócella gáz tárolására, valamint eljárás nukleáris spinpolarizált gáz kivételére a tárolócellából

Kivonat

KÖZZÉTÉTELI PÉLDÁNY

Mágnesesen árnyékolt tartály (1), szimmetriatengelyében (S) egymással szemben elrendezett, mágneses erőteret homogenizáló pólussarukkal, amelyek körül mágnesesen árnyékoló járom (2) van elrendezve, és a pólussaruk és a járom (2) mágneses kamrát fognak közre. A szimmetriatengely (S) körül, attól sugárirányban távközzel elválasztottan, mágneses térerő források vannak oly módon elrendezve, hogy a kamrában a szimmetriatengely (S) irányában lényegében homogén mágneses térerőt hoznak létre, és a kamrán belüli hasznos térfogatban a mágneses térerő gradiens szimmetriatengelyre (S) merőleges irányú értékének a mágneses térerőhöz viszonyított aránya legfeljebb $1,5 \times 10^{-3}/\text{cm}$.

Tárolócella gáz tárolására, amely cellafallal körülvevett gáztároló térben nukleáris spinpolarizált gázt tartalmaz, és a fal bevonatmentes anyagból készült, amelynek a gáztároló térrel érintkező felülete lényegében paramágneses összetevőtől mentes.

A javasolt tartályban (1) elhelyezkedő gázt tároló tárolócellából nukleáris spinpolarizált gáz kivételére vonatkozó eljárás során a tartályt (1) szimmetriatengelyével (S) párhuzamosan egy külső, lényegében homogén mágneses tér erővonalainak irányával párhuzamosan pozícionáljuk; majd a tartályt (1) egyik pólussaruját alkotó részének eltávolításával kinyitjuk; és a tárolócellát a szimmetriatengely (S) irányában kiemeljük.

(1. ábra)

B. R.

01.02.26.

(A2)

P01 216

100

Mágnesesen árnyékolt tartály, továbbá tárolócella gáz tárolására, valamint eljárás nukleáris spinpolarizált gáz kivételére a tárolócellából

**KÖZZÉTÉTELI
PÉLDÁNY**

A találmány mágnesesen árnyékolt tartályra vonatkozik, amely például szállítóeszközként használható spinpolarizált gázokhoz, és szimmetriatengelyében egymással szemben elrendezett, mágneses erőteret homogenizáló pólussarukkal rendelkezik, amelyek körül mágnesesen árnyékoló járom van elrendezve, és a pólussaruk és a járom mágneses kamrát fognak közre, továbbá a találmány tárgya a javasolt mágnesesen árnyékolt tartályban használható tárolócella, továbbá találmányunk tárgya a javasolt tartályban elhelyezkedő gázt tároló tárolócellából nukleáris spinpolarizált gázok kivételére vonatkozó eljárás.

A fizikai alapkutatásokban nagy számú kísérlethez magspinpolarizált gázokra, elsősorban nemesgázokra van szükség, mint amilyen a 3 atomszámú hélium izotóp (^3He) vagy a 129 atomszámú xenon izotóp (^{129}Xe), valamint ^{19}F fluor izotópot, ^{13}C szén izotópot vagy ^{31}P foszfor izotópot tartalmazó gázok. A gyógyászat területén ilyen izotópokat használnak elsősorban például a tüdők nukleáris mágneses rezonancia ábrázolásához. Erre ismerhetünk meg példákat a WO 97/37239, WO 95/27438 számú szabadalmi leírásokból, vagy Bachert és társainak a Mag Res Med folyóirat 1996. évi 36. számának 192-196. oldalán, vagy például Ebert és társainak a The Lancet folyóirat 1996. évi 347. számának 1297., 1299. oldalain megjelent cikkében. Az ilyen spinpolarizált gázok használatának nélkülözhetetlen előfeltétele a nukleáris mágneses rezonancia ábrázolás területén, hogy a nukleusz I perdületének P polarizációs foka, vagy az ahhoz tartozó μ_I mágneses dipólusnyomaték négy-öt nagyságrenddel nagyobb legyen, mint amelyet normális körülmények között a mágneses rezonancia ábrázoló berendezés B_T mágneses terének termikus egyensúlyi helyzetében elérünk. Ez a normális $P_{\text{Boltzmann}}$ polarizációs fok függ a μ_I B_T mágneses dipólus energiától és az átlagos kT termikus energiától:

$$P_{\text{Boltzmann}} = \tanh(\mu_I B_T / kT) \quad (1)$$

ahol k = a Boltzmannféle állandó, és T az abszolút hőmérséklet.

Ha a normális $P_{\text{Boltzmann}}$ polarizációs fok $\ll$ mint 1, akkor az hozzávetőlegesen $\mu_I B_T / kT$ lesz.

Mivel a szövetek mágneses rezonancia ábrázolásánál használt ^1H hidrogén izotóp $T = 300$ K hőmérsékleten, és $B_T = 1,5$ T mágneses térerősség mellett csupán egy $P_{\text{Boltzmann}} = 5 \times 10^{-6}$ polarizációs fokot ér el, ezért $P \geq 1 \times 10^{-2}$, azaz 1% szükséges a gáz mágneses re-



zonancia ábrázolásban. Az ilyen rendkívüli módon megnövelt P polarizációs fok iránti igény elsődlegesen a gázatomok alacsony koncentrációjából ered, összehasonlítva azt a szövetben lévő hidrogén koncentrációjával. Az ilyen polarizációs fokú gázokat (amelyeket általában hiperpolarizált gázoknak nevezünk) számos ismert eljárással előállíthatjuk, ezek közül előnyös az optikai pumpálás módszere.

Ezen kívül a gáz mágneses rezonancia ábrázoláshoz viszonylag nagy gázmennyiségekre van szükség, például egy belélegzési térfogatra (0,5-1 liter).

Különlegesen nagy P polarizációs fokot, például $> 30\%$ -ot érhetünk el - nagy termelési mennyiséggel, például 0,5 liter/óra mennyiséggel kombinálva - egy optikailag pumpált gáz kompressziója révén. Ezt az eljárást az alább felsorolt publikációk részletesen taglalják, amelyeket leírásunkban referenciaként tekintünk:

- Eckert et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 320: 53-65 (1992);
- Becker et al., J. Neutron Research 5: 1-10 (1996);
- Surkau et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 384: 444-450 (1997);
- Neil et al., Physics Letters A 201: 337-343 (1995).

A hiperpolarizált gázok termelése és felhasználása nem szükségszerűen ugyanazon a helyen történik, így például a fent leírt eljáráshoz előállított polarizált gázok fogyasztókhoz szállításával, például tüdők nukleáris mágneses rezonancia ábrázoló berendezésében történő használatra, számos problémát vet fel a mindennapok során.

Korábban nem álltak rendelkezésre olyan szállítható mágneses eszközök, amelyek ilyen spinpolarizált gázok nagy tárolási térfogata számára megfelelően homogén mágneses hordozóteret biztosítottak volna. Ezen túlmenően a cellafalakon a nukleáris perdületek igen gyorsan depolarizálódtak úgy, hogy a polarizált gázokat csupán igen rövid ideig lehetett a szükséges polarizációs fok megtartásával tárolni.

A találmánnyal célunk ezért olyan mágneses készülék létrehozása, amellyel hordozható, homogén mágneses hordozóteret tudunk elegendően nagy tárolási térfogatú hiperpolarizált gázok részére biztosítani.



A kitűzött feladat megoldása során olyan mágnesesen árnyékolt tartályt vettünk alapul, szimmetriatengelyében egymással szemben elrendezett, mágneses erőteret homogenizáló pólussarukkal, amelyek körül mágnesesen árnyékoló járom van elrendezve, és a pólussaruk és a járom mágneses kamrát fognak közre. A találmány értelmében a szimmetriatengely körül attól sugárirányban távközzel elválasztottan mágneses térerő források vannak oly módon elrendezve, hogy a kamrában a szimmetriatengely irányában lényegében homogén mágneses térerőt hoznak létre, és a kamrán belüli hasznos térfogatban a mágneses térerő gradiens szimmetriatengelyre merőleges irányú értékének a mágneses térerőhöz viszonyított aránya legfeljebb $1,5 \times 10^{-3}/\text{cm}$.

Ilyen tartályt olyan formában alakíthatunk ki, amely kis súlyú, szerkezetében egyszerű, gyártása olcsó, használata pedig gazdaságos. Ezen túlmenően a tartály használata esetén a benne szállított nukleuszok amennyire lehetséges, megtartják irányítottágukat, még külső szórt terekben is, vagyis a depolarizációs relaxációs idő a lehető leghosszabb lehet annak érdekében, hogy a gáz nukleáris perdületének deorientációját elkerüljük.

A találmány szerinti tartály, amely spinpolarizált atomok, különösen polarizált ^3He és ^{129}Xe atomok tárolására és szállítására használható, előnyösen a mágneses teret homogenizáló, magasan permeábilis és mágnesesen lágy lemezekkel készül, például μ -metálból vagy lágyvasból, mint a pólussaruk, és úgy van kialakítva, hogy igen nagy arány alakítható ki a felhasználható térfogat között, amelyen belül kielégítően mágneses tér biztosítható, valamint a teljes térfogat között. Ez az igen nagy térfogat például legalább 1:30 lehet, de előnyösebben 1:5, még előnyösebben 1:3, és különösen előnyös és kedvező módon 1:2. Egyes esetekben a találmány segítségével 1:1,5 arányt is el tudunk érni. Itt

$$G_r = ((\delta B_r / \delta r) B_0) \leq 1.5 \times 10^{-3} / \text{cm} \quad (2)$$

értéket használunk homogenitási feltételként a felhasználható térfogaton belül a B_0 mágneses tér relatív transzverzális gradienséhez. Ez a követelmény a T_{1G} gradiensfüggő relaxációs időből fakad, amely (olyan nagy nyomások esetén, amelyekre találmányunk is vonatkozik) az alábbiak szerint viszonyul G_r értékhez, valamint p gáznyomáshoz:

$$T_{1G} = p / G_r^2 \times (1.75 \times 10^4 \text{ cm}^2 \text{ bar/h})^{-1} \quad (3)$$

(lásd a Scherer et al., Phys Rev 139: 1398 (1965)).

A legutolsó összefüggés szerint $G_r < 1.3 \times 10^{-3} / \text{cm}$ értékkel és $p = 3$ bar gáznyomással, $T_{1G} > 76$ h gradiensfüggő relaxációs időt értünk el.



Kisebb nyomásokon $T_{IG} = p/G_r^2 \times (1.8 \times 10^3 \text{ cm}^2\text{bar/h})^{-1}$

(lásd Barbe, Journal de Physique 35: 699 és 937 (1974)).

A polarizált gázt magában foglaló tárolócellának a találmány szerinti tartályba történő behelyezése során G_r érték általában kisebb lesz, mint $0,02 \times 10^{-3}/\text{cm}$. Ily módon a ^3He izotóp $p = 3$ bar gáznyomáson csupán 2% polarizáltságot veszít el 30 másodpercenként.

A találmány szerinti tartályban G_r érték előnyösen nem nagyobb, mint $1,3 \times 10^{-3}/\text{cm}$, még előnyösebben nem több, mint $7 \times 10^{-4}/\text{cm}$. 8cm-es sugarú gáz tárolócella esetén a $G_r \leq 1,3 \times 10^{-3}/\text{cm}$ érték, $T_{IG} \geq 127$ óra értéknek felel meg, míg 2 cm-es gáz tárolócella sugár esetén a $G_r \leq 7 \times 10^{-4}/\text{cm}$ érték, $T_{IG} \geq 350$ óra értéknek felel meg.

Annak érdekében, hogy a találmány szerinti tartály belső terének a szélső területein fellépő tér torzulásokat kompenzáljuk, és ezzel a B_0 mágneses tér homogenitását javítsuk, a javasolt tartály olyan mágneses tér forrásokkal van ellátva, amelyek úgy vannak elrendezve, hogy a tartály belső terének szélső területein a mágneses tér torzulásai minimálisak legyenek, és a tartály belsejében a mágneses tér nagyjából homogénnek tekinthető.

Annak érdekében, hogy a nukleáris perdület elért polarizációját fenntartsuk, csupán viszonylag gyenge homogén mágneses térre van szükségünk, amely előnyösen kisebb, mint 5 mT térerősséget jelent, még előnyösebben 1 mT-nál kisebb térerősséget, és különösen előnyösen a 0,2-0,9 mT tartományba eső térerősséget jelent. Ilyen gyenge mágneses térben megfelelő mérőműszerekkel folyamatosan ellenőrizhetjük a polarizációs fokot, minek köszönhetően különösen megbízható eredményeket kaphatunk. Ennek értelmében egy előnyös kiviteli alak szerint a találmány szerinti tartályban mágneses tér szenzort helyezünk el (például a Förster elven alapuló szenzort), úgy, hogy a hiperpolarizált gáz által létrehozott B_D mágneses teret meghatározhassuk.

Miközben a ferromágneses anyagokkal létrehozott erőteljesen homogén mágneses terek esetében az ismert megoldásoknál Tesla nagyságrendbe eső értékű nagy térerősségekre koncentráltak, a találmány szerinti tartály alapjául szolgáló elgondolás egy gyenge, széles tartományban homogén mágneses térnek például ferromágneses anyagokkal történő leg-hatékonyabb és gyakorlati megvalósítására összpontosított.

Igen nagy homogenitási fokot érhetünk el a gyenge mágneses erőter tartományban, ha például homogenizáló ferromágneses elemként két vékony lágyvasat, vagy még előnyösebben μ -metált, pontosabban ilyen anyagból készült lemezeket használunk pólussaruként. Az



ilyen pólussaruk szélsőségesen nagy permeabilitásuknak és alacsony mágneses remanenciájuknak köszönhetően az átmeneti téren belül, azaz a mágneses kamrában rendkívül homogén teret hoznak létre.

Egy különösen előnyös kiviteli alak értelmében a fent leírt pólussaruk homogenizáló hatását meg tudjuk növelni úgy, hogy mágneses ellenállásokat vezetünk be a pólussaruk és a járom közé. Ilyen típusú mágneses ellenállás céljára előnyös anyagként egy merev, nem mágneses réteget használhatunk, például egy lemez alakú, műanyag lemezt, amelyet a pólussaru és a járom közé iktatunk. Ha ezt a lemezt, vagy a súlycsökkentés céljából célszerűbben egy porózus például méhsejtszerű szerkezetű anyagot a pólussarukhoz hozzá is hajlítjuk, ez olyan simaságot garantál, amely lehetővé teszi a pólussaruk párhuzamos elhelyezkedését, és a B_0 is homogén lesz.

Annak érdekében, hogy a fent vázolt homogenitási feltételeket a lehető legegyszerűbb módon elégíthessük ki, és ugyanakkor egy nagy tárolási térfogatot hozzunk létre, különösen előnyösnek bizonyult, ha a találmány szerinti tartályt fazékmágnes alakúra képezzük ki. Egy ilyen típusú mágneses eszköz lényegében egy zárt fazék alakú, amely 30-60 cm átmérőjű lehet, 10-30 cm átlagos magassággal. A javasolt tartály kialakításánál különös előnyt biztosít, hogy a fazékmágnes alakja, a hengeres konstrukció következtében nagyfokú szimmetriát tudunk elérni. Az ilyen típusú fazékmágnesekben a térerő források elhelyezése két különösen előnyös kiviteli alak javasolható:

- a térerő forrásokat például kereskedelmi forgalomban kapható permanens mágneses lemezek alakjában a fazék felezősíkjában vagy szimmetriasíkjában egy részben helyezzük el; és
- a térerő forrásokat a fazék véglapjainak külső felületén pozícionáljuk.

Ha a térerő forrásokat a két fent vázolt elrendezés között megfelelő módon osztjuk el, vagyis egyrészt a térerő forrásokat a felező síkban pozícionáljuk, másrészt pedig a fazék véglapjainak külső felületén pozícionáljuk, lehetőségünk nyílik arra, hogy a mágneses térnek a fazékmágnes belsejében fellépő határterület hibáit korrigáljuk, és ezzel sugárirányban széles tartományban kielégítsük a szükséges homogenitás feltételeket. Egy előnyös megosztást jelenthet az, hogy a fazékmágnes felezősíkjában vagy szimmetriasíkjában elrendezett térerő források esetén a határterület mező megnő, azt éppen kompenzálni tudjuk



annak a határterület mezőnek a csökkenésével, ami akkor lép fel, amikor a térerő forrásokat a fazék véglapjainak külső felületén pozicionáljuk.

Ha szükséges, a mágneses tér forrásokat a találmány szerinti tartályban is elhelyezhetjük valahol úgy, hogy az alkalmazott B_0 mágneses tér homogenizáltságának javulását érjük el. Ennek megfelelően például a mágneses tér forrásokat a B_0 mágneses térre merőleges további síkokban helyezhetjük el a pólussaruk síkjainak az oldalán, vagy azzal szomszédosan, vagy azok között feleúton.

Különösen homogén határterület mezőt kapunk abban az esetben, ha a fazék és a pólussaruk szegélye közé lágyvasból vagy μ -metálból készült gyűrűt iktatunk, úgy, hogy a külső szórt teret ezzel részben rövidre zárjuk, és ha a térerő források a fazékmágnes felezősíkjában vannak elrendezve, akkor a határterület mező nagyságát a mágneses árnyékoló elem megfelelő méretezésével a fazékmágnes közepén lévő központi tér értékére csökkenthetjük.

Egy, a körtől eltérő hasáb alakú (például hatszögletű hasáb alakú) találmány szerinti tartály esetében légrés beállító mágneslemezeket (például a pólussarukra helyezett sarok légrés beállító mágneslemezeket) használhatunk a mágneses kamrán belül a tér homogenitásának a javítására. Ugyancsak előnyös, ha a kamra igen nagy fokú azimutális szimmetriát mutat fel.

Mágneses tér forrásként két előnyös szerkezeti megoldást használhatunk. Az első szerkezeti megoldásban permanens mágneseket használhatunk, célszerűen kereskedelmi forgalomban kapható mágneseket, például 5 mm magas és 20 mm átmérőjű korong alakú mágneseket. A másik szerkezeti formánál ezeket a permanens mágneseket megfelelően méretezett mágnes tekercsekkel cseréljük fel. Ezeknek a mágnes tekercseknek az az előnye, hogy a kívánt mágneses teret megfelelően megválasztott árammal be tudjuk állítani. Ennek a második szerkezeti kialakításnak azonban az a hátránya, hogy a találmány szerinti tartállyal együtt járulékos áramforrást is kell biztosítanunk, ha a tartályt nemcsak egyszerű tárolóeszközként, hanem szállítóeszközként is használni kívánjuk.

A találmány szerinti tartály előnyösen olyan anyagból készült járommal van ellátva, amely 1 T nagyságú mágneses térerősség alatt mágnesesen nem telítődik, még előnyösebben 2 T nagyságú érték alatt nem telítődik, ilyen anyag például a lágyvas. A tartály méretei előnyösen úgy vannak megválasztva, hogy a hasznos térfogat (amelyen belül magát a gázt befoglaló tárolócellát tudjuk elhelyezni) legalább 50 ml, előnyösebben 100 ml, még előnyö-



sebben 200 ml - 1 m³, akár 20 l közötti értékű, még előnyösebben 200 - 2000 ml tartományba eső értékű. Az alkalmazott anyagok következtében a teljes tartály tömeg és a mágneses kamra térfogatának az aránya nem több, mint 1 kg/l, előnyösebben 0,2 kg/l, és különösen előnyösen 1/30 kg/l. A tartályba helyezhető gáz tároló cella, amelyet a gáz tárolására vagy szállítására használhatunk, előnyösen legalább 50 ml, előnyösebben 100 ml - 1 m³, különösen 100 ml - 20 l, és különösen előnyösen 200 ml - 2 l tartományba eső belső térfogatú. A tárolócella szeleppel látható el, amely lehetővé teszi a gáz bevezetését és ürítését; alternatív módon egyszer használatos cellaként is kiképezhető, vagyis egy letömríthető résszel, valamint egy letömríthető tartománnyal alakítható ki, (amely a tömítést követően a letömríthető rész szerepét veheti át).

Egy előnyös kiviteli alak esetében a találmány szerinti tartály olyan belső térrel rendelkező mágneses készülék alakú lehet, amely egy nagy térfogatú, nagy mértékben homogén, árnyékolt mágneses teret biztosít a belsejében, ahol a mágneses eszköz pólussarukként homogenizáló μ -metál lemezeket tartalmaz, és a mágneses eszköz hasznos térfogata, vagyis ahol a homogén mágneses tér van jelen, és a mágneses eszköz teljes térfogata között 1:1,5 arányt valósíthatunk meg, ahol a

$$G_r \leq 1.5 \times 10^{-3}/\text{cm}$$

értékű homogenitású feltételt teljesíteni tudjuk a hasznos térfogaton belül, és ahol G_r érték relatív transzverzális mágneses tér gradiens.

Találmányunk egy további vonatkozásban olyan gáztároló cellára vonatkozik, amely egy cellafal által körülvett gáztároló térben magspinpolarizált gázt tartalmaz, és a fal olyan bevonat nélküli anyagból készült, amelynek a gáztároló térrel érintkező felülete lényegében paramágneses anyagoktól mentes. A gáz például lehet ³He vagy ¹²⁹Xe, de elsődlegesen ³He. Azáltal, hogy lényegében paramágneses anyagoktól mentes cellafalat használunk, lehetőséget biztosítunk a polarizált ³He izotóp számára, hogy legalább 20 órás, falra vonatkozó depolarizálódási T_1^w relaxációs időt mutasson fel. Különösen előnyös, ha a faltól függő depolarizálódási T_1^w relaxációs idő meghaladja az 50 órát. Ilyen nagy depolarizálódási T_1^w relaxációs időket akkor érhetünk el, hogy ha a cellafal anyagául olyan anyagot használunk, amely csupán kis arányban tartalmaz paramágneses atomokat vagy molekulákat, ahol egy különösen előnyös szerkezeti kialakítás esetén nagyon alacsony vaskoncentrációjú, előnyösen 20 ppm-nél kisebb vaskoncentrációjú üveget használunk, amelyet oly módon állíthatunk elő, hogy ugyanekkor hatékony diffúziós gátat jelentsen a



hélium számára. Ilyen anyag a németországi Schott cég (Mainz) által gyártott "Supremex" elnevezésű üveg, amely alumínium szilikát üvegek csoportjába tartozik. A Heil et al. szerzők által 1955-ben a "Physics Letters" A 201. szám 337-343. oldalán leírt, tehát korábban ismert tárolócellákkal összehasonlítva a hosszú, faltól függő depolarizálódási T_1^w relaxációs időket a találmány szerint kialakított tárolócellákkal minden további nélkül biztosítani tudjuk anélkül, hogy ehhez a tárolócella falait összetett fémbevonattal kellene ellátni.

Mint fent már jeleztük, a találmány szerinti tartály spinpolarizált gázok, különösen ^3He és ^{129}Xe vagy ^{19}F , ^{13}C , vagy ^{31}P , stb. izotópokat tartalmazó gázok esetében egy szállítóeszköz formájában valósítható meg, vagyis olyan gázok esetében, amelyeket polarizációs transzfer révén spinpolarizáltak. A találmány szerinti tartály belsejében lévő térben, ahol a tárolócellát helyezzük el, a mágneses eszköz mágneses tere annyira homogén lehet, hogy a (három összefüggésnek megfelelően egy transzverzális mágneses tér gradiens által előidézett depolarizációs T_1^8 relaxációs idő nagyobb, mint 125 óra, előnyösen nagyobb, mint 200 óra, még előnyösebben nagyobb, mint 300 óra, még előnyösebben nagyobb, mint 500 óra, különösen előnyösen nagyobb, mint 750 óra, és a magpolarizált gáznak a tárolócella falán történő felütközése következtében a faltól függő depolarizálódási T_1^w relaxációs idő nagyobb mint 5 óra, előnyösen nagyobb mint 20 óra.

Még előnyösebben, a belső felület által normalizált T_1^w relaxációs időnek a tárolócella térfogatához viszonyított aránya legalább 10 óra/cm.

Ismeretes azonban, hogy a depolarizációs veszteségek nemcsak a gáz szállítása során lépnek fel, a külső szórt mágneses terek behatása, és a mágneses tér ebből eredő inhomogenitása következtében, vagy az atomok és a tárolócella fala közötti ütközések következtében, hanem különösen akkor is, amikor a gázt eltávolítjuk a szállító tárolóeszközből.

Ezért a találmányunk egy további szempontból nézve, a kitűzött feladat megoldása céljából egy olyan eljárásra is vonatkozik, amelynek során magspinpolarizált gázt távolítunk el egy gáztároló cellából, ahol a gáz tárolócella egy tartályban helyezkedik el. Ennek az eljárásnak a során a tartályt szimmetriatengelyével egy külső, lényegében homogén mágneses tér erőterének irányával párhuzamosan pozicionáljuk; a tartályt egyik pólussarut tartalmazó részének az eltávolításával kinyitjuk; és a gáztároló cellát a tengely irányában mozgatva kivesszük.

A depolarizációs veszteségeket a lehető legkisebb értékre tudjuk szorítani, ha a polarizált gáz kivételét a fenti eljárásnak megfelelően hajtjuk végre.

Az eljárás során a tartályt, amely például fazékmágnes alakú lehet, szimmetriatengelyével, valamint belső, homogén mágneses terét is hozzáigazítva egy külső, megfelelően homogén mágneses tér erőter irányával párhuzamosan állítjuk be, amit például egy Helmholtz tekercssel, vagy egy nukleáris mágneses rezonancia leképező berendezés szórt terével tudunk elérni. A homogén mágneses tér felé tengelyirányban néző fazékmágnes felét ezt követően felemeljük, a helyén maradó fazékmágnes fél pedig elegendő és kielégítő mágneses tér homogenitást biztosít a gáz tárolócella területén, pólussarujának mágneses ekvipotenciális felülete következtében, amelyet például μ -metálból készítettünk. A polarizált gázzal megtöltött gáztároló cellának a fazékmágnesből történő kivételét tengelyirányban, néhány másodpercen belül elvégezhetjük.

A találmányt az alábbiakban a csatolt rajz segítségével ismertetjük részletesebben, amelyen a javasolt tartály néhány példakénti kiviteli alakját tüntettük fel. A rajzon az

1. ábra a találmány szerinti tartály egy első lehetséges kiviteli alakjának külső, perspektivikus nézete, a
2. ábrán a találmány szerinti tartály fazékmágnes alakjában megvalósított, és belsejében spinpolarizált gázok számára gáztároló cellát tartalmazó lehetséges kiviteli alakjának keresztmetszete látható, a
- 3a-3d. ábrák a határterület mező kompenzálásának különböző lehetőségeit vázolják, a
4. ábrán a találmány szerinti tartály egy további lehetséges kiviteli alakjának metszete látható, az
- 5a. ábra a relatív sugárirányú G_r gradiens érték görbét mutatja egy fazékmágnes R sugárirányában, a térerő források különböző elrendezése esetén, az
- 5b. ábrán az 5a. ábrát tüntettük fel kinagyítva, a jobb megértés érdekében, a
6. ábrán alacsony vastartalmú üvegből készített gáztároló cellában ^3He izotóp polarizációjának a relaxációját tüntettük fel, ahol a gáz tárolócella térfogata 350 cm^3 és a gáznyomás 2,5 bar, a

7a. és 7b. ábrák egy tárolócella kivételét mutatják be egy, a találmány szerint egy külső térbe helyezett, találmány szerinti tartályból, és a

8. ábra a találmány szerinti tartály egy további lehetséges, körtől eltérő alakú megvalósítását mutatja.

A találmány részletesebb bemutatására, azon a javasolt 1 tartály egy első lehetséges kiviteli alakjának perspektivikus nézetét tüntettük fel. Az 1 tartály ebben az esetben egy kétrészes hengeres fazékmágnesként van kialakítva, amely 1.1 felső részből és 1.2 alsó részből áll. Az ábrán feltüntettük a fazékmágnés 1 tartály S szimmetriatengelyét - mivel forgástestről van szó, egyben forgástengelyét - valamint a külső mágneses terek mágneses erővonalait, például a föld mágneses terének az erővonalát. Különösen jól látható egy külső mágneses tér, nevezetesen B_s^I szórt tér útvonala, amely nem hatol be a fazékmágnés 1 tartály belsejébe, hanem a 2 járom enyhe mágneses ellenállása következtében - a 2 jármot előnyösen valamilyen lágyvas anyagból készítettük - az 1 tartály belső terét megkerülve van elvezetve. A 2 járom véglapjaira merőleges másik B_s^{II} szórt tér a 2 járom belsejében elhelyezett μ -metál lágyvasból készült 10.1, 10.2 pólussaruk révén homogénnek tekinthető.

A 2. ábrán spinpolarizált gázok, különösen ^3He , ^{129}Xe számára kialakított 1 tartály tengelyirányú keresztmetszete látható. Az 1 tartályban a spinpolarizált gázok részére tárolócella van elhelyezve, amelyet rendkívül hosszú fal depolarizálási relaxációs idők jellemeznek. A fazékmágnés alakú 1 tartálynak hengeres alakú 2 járma van, előnyösen lágyvasból készítve, a mágneses fluxus visszavezetéséhez és a külső szórt terek leárnnyékolásához. A hengeres alakú 2 járomnak 2.1 központi részt meghatározó két járom véglemeze van. A bemutatott szerkezet esetében a 2.1 központi részt meghatározó járom véglemezek két 2.1.1 és 2.1.2 korongot alkotnak. A járom véglemezek pereme körül járom köpeny létrehozásához 2.2 és 2.3 karimák vannak elrendezve. Figyeljük meg, hogy a karimák a 2. ábra bal felén bemutatott kiviteli alaknál és jobb felén bemutatott kiviteli alaknál eltérő kialakításúak! A 2.2 és a 2.3 karimák mind a felső 2.1.1 korongot, mind a 2.1.2 korongot körülveszik, és ezzel az 1 tartályt alkotó fazékmágnés szempontjából létrehozzák az 1. ábra kapcsán említett 1.1 felső részt és 1.2 alsó részt, amelyek a 2. ábra bal oldalán látható kiviteli alak esetében az 1 tartály vízszintes felezősíkjában oldalirányban kinyúló 2.2.1 peremükkel találkoznak. A 2. ábra jobb oldalán bemutatott kiviteli alak esetében a 2.3 karimák szintén egy, az 1 tartály vízszintes felezősíkjával párhuzamos irányban kinyúló 2.3.1 peremmel rendelkeznek, azonban egymástól távközzel vannak elválasztva oly módon, hogy ezáltal

erőtér forrás, például állandó mágnesek befogadására alkalmasak, mely állandó mágneseket így az 1 tartály vízszintes felezősíkjában helyezünk pontosan el. A térerő források pozícionálása következtében létrejövő erővonal, például az állandó mágnesek által előidézett erővonal az 1 tartály fazékmágnesének 1.1 felső része és 1.2 alsó része között a 2. ábrán 6 hivatkozási jellel láthatók. Az ábra bal oldalán látható kiviteli alak esetében a 2.2 karima mind alul, mind felül magasabb, mint a járom véglemezeket alkotó 2.1.1 és 2.1.2 korongok közötti távolság, ezért lehetőségünk van arra, hogy a 2 járom és a 2.1.1 illetve a 2.1.2 korongok közé helyezzünk valamilyen térerő forrást, például állandó mágnest. Az ennek következtében kialakuló határterület erővonalait az ábra baloldalán 8 hivatkozási jellel tüntettük fel.

A két egymással szemben húzódó 10.1 és 10.2 pólussaru felelős a kívánt homogén tér kialakulásáért az 1 tartály belsejében. A bemutatott példában a 10.1, 10.2 pólussaruk lényegében homogenizáló μ -metál lemezekként vannak kialakítva. A μ -metál olyan anyag, amely egy valamilyen külső B_s^{II} szórt térhez viszonyítva nagyon nagy homogenizáló erővel bír, és nagyon alacsony remanencia jellemzi.

A bemutatott példában A μ -metált a Vacuumschmelze cég (P. O. Box 2253, 63412, Hanau, DE) gyártja az alábbi mágneses paraméterekkel:

Állandó koercivitás:	H_c	$\leq 30 \text{ mA/cm}$
Permeabilitás:	$\mu_{(4)}$	$\geq 30,000$
Legnagyobb permeabilitás:	$\mu_{(max)}$	$\geq 70,000$
Telítési induktancia:	B_2	$\geq 0,65 \text{ T}$

(Ez nem azt jelenti, hogy a találmányunk megvalósítása során kizárólag ez az anyag használható fel). A teljes 10.1, 10.2 pólussaru hosszban a 10.1, 10.2 pólussaruk közötti távolságot, valamint a 10.1, 10.2 pólussaruk egymással párhuzamos helyzetét megfelelő távtartó elemek vagy távtartó gyűrűk alkalmazásával biztosíthatjuk, például a 2. ábrán csupán egyedülként bemutatott, a gyakorlatban mégis hármassával elrendezett (vagy még annál is több) 12 távtartók alkalmazásával biztosíthatjuk.

Az eredő homogén mágneses teret, amelyet a μ -metálból készített 10.1 és 10.2 pólussaruk között kapunk, a 2. ábrán, annak mind a bal, mind a jobb felén 14 hivatkozási jellel láttuk el. Mint az 1. ábrából látható, a külső erőterektől független, különösen a homogén mágnes-



ses teret a fazékmágnes alakú 1 tartály belsejében állíthatjuk elő, a μ -metál homogenizáló hatása következtében, amely, különösen a szélső területeken, az említett külön térerő források elrendezésétől fog függeni, mivel ezeken a helyeken eltérő 6 vagy 8 erővonal minta alakul ki. Ha a térerő forrásokat kizárólag az 1 tartály 4 felezősíkjában helyezzük el, mint a 2. ábra jobb oldali részén látható, akkor a mágneses fluxus jelentős része a 2.3.1 peremekből a kis mágneses ellenállás következtében eltávozik, és szélről kifejtve hatását kölcsönhatásba lép a 10.1, 10.2 pólussaruk közötti 14 mágneses térrel, felerősítve azt. A 14 mágneses tér ezért a szélek felé haladva lényegesen intenzívebbé válik, és ezért a kívánt homogenitás sérül, még abban az esetben is, ha a két 10.1, 10.2 pólussaru viszonylag kis távolságra húzódik egymástól. Ha azonban a térerőforrásként használt állandó mágneseket az 1 tartály járom véglemezeinek külső felületén helyezzük el, mint ahogy a 2. ábra baloldali felén feltüntettük, a 10.1, 10.2 pólussaruk között a széleken a 14 mágneses erőter jelentősen csökken a 8 erővonalak hatáslerontó volta következtében, mivel a 2 járom 2.2 karimája söntként hatva le fogja gyengíteni a széleken a 14 mágneses teret.

A 10.1, 10.2 pólussarukként használt μ -metál lemezek szélsőségesen nagy permeabilitása következtében a közbenső térben kialakított, nagy mértékben homogén 14 mágneses teret tovább növelhetjük, ha a 10.1, 10.2 pólussaruk, és a 2.1.1, 2.1.2 korongok között vagy közé 16 mágneses ellenállást iktatunk be. Erre a célra bármilyen merev, nem mágneses anyagú lemezt, például műanyag lemezt, vagy súlycsökkentés érdekében célszerű valamilyen méhsejt szerkezetű lemezt használhatunk. A 16 mágneses ellenállást alkotó lemezt hozzá is köthetjük, ragaszthatjuk a 10.1, 10.2 pólussarukhoz, garantálva ezzel azok megfelelő sík kialakítását.

A polarizált gáz befogadására szolgáló 20 tárolócella a fazékmágnes alakú 1 tartály központi, középső részében van elhelyezve, a 10.1, 10.2 pólussaruk között. A 20 tárolócellát előnyösen vasmentes üvegből gyártjuk, amelynek vaskoncentrációja nem haladja meg a 20 ppm-et, például, és oly módon is kialakítható, hogy a hélium vonatkozásában hatékony diffúziós gátként szolgál. Ezzel az intézkedéssel 70 óránál is nagyobb falra vonatkozó relaxációs időket érhetünk el. A 20 tárolócellát első felhasználását megelőzően kiszivattyúzhatjuk, és, mint szokásos, a vákuum technológiában ismert módon mindaddig hevíthetjük, amíg elveszíti maradék víztartalmát. Ez az intézkedés ugyan előnyös a találmány célkitűzése szempontjából, de nem feltétlenül szükséges. A 20 tárolócellákat, például 22 üvegdu-



góval zárhatjuk le, és 24 üvegperemen keresztül csatlakoztathatjuk valamilyen töltőegységhez.

Ezen túlmenően a polarizációs fok meghatározása érdekében (a 20 tárolócellát időben változó mágneses térnek kitevő) nagyfrekvenciás 30 tekercset, valamint (például mágneses erőter szenzorként megvalósított) detektáló 32 eszközt használhatunk, továbbá a 32 eszközt és a 20 tárolócellát egymáshoz viszonyítva elmozgató eszközöket is alkalmazhatunk. Ezek a járulékos szerkezeti elemek mindazonáltal opcionálisak, és a találmány szerinti szállítóeszköz vonatkozásában feltétlenül nem szükségesek.

Ezen túlmenően, amennyiben szükséges, az 1 tartályt elláthatjuk a 20 tárolócella tartalmát alkotó gázt hűtő eszközzel is.

Találmányunk egyik lényeges és megkülönböztető jellemzője, hogy az 1 tartály belsejében olyan mágneses teret tudunk előállítani, amely nagyon nagy térfogaton homogénnek tekinthető, úgy, hogy ennek köszönhetően a mágneses eszköz teljes térfogatához képest nagy hasznos térfogatot kapunk, úgy, hogy az 1 tartály belsejében a homogén mágneses tér lényegében nem interferál, nem lép együtthatásba semmilyen külső mágneses térrel. Egyrészt, a $B_0 < 1$ mT mágneses térerősség, amelyet alkalmazhatunk, lehetővé teszi, hogy a 2 jármot és a 10.1, 10.2 pólussarukat a lehető legkönnyebbre képezzük ki, vékony lágyvas anyagot használva. Másrészt, a 10.1, 10.2 pólussaruk célszerűen rendkívül kis remanenciájúak, így ezért ezeket előnyösen μ -metálból készítjük, annak érdekében, hogy a (2) összefüggésben meghatározott homogenitási követelményt kielégítsük.

A polarizáció mértékének a meghatározása vonatkozásában előnyösnek mondható, ha a homogén tér a mágneses eszköz belsejében olyan gyenge mágneses tér, amelynek B_0 tereje $< \text{mint } 1,0$ mT, mivel ilyen esetben a gáz spinpolarizációjáért felelős mágneses tereket, amelyek a nT- μ T tartományban húzódnak, egyszerű detektáló 32 eszköz segítségével még mindig kielégítő pontossággal mérni tudjuk, és ennek alapján meg tudjuk határozni a polarizáció mértékét. Ez például különösen előnyös olyan esetben, amikor a szállított gáz minőségét például gyógyászati felhasználás előtt le kell tesztelni.

A 3. ábrán a térerősség eloszlását tüntettük fel a javasolt mágneses eszköz különböző kialakításai esetén a peremtartományokban, amit a térerőforrások különböző elrendezésével érhetünk el, vagy önállóan, vagy egymással kombináltan alkalmazva. Ezeket olyan mágne-



ses ernyővel kombinálva is felhasználhatjuk, amely a széltartományokban még mindig kielégítő homogén téreloszlást eredményez.

A 3a. ábrán olyan elrendezést vázoltunk, amelynél az állandó mágneseket 2.4 légrésben, valamint a 2.1.1 és 2.1.2 korongok külső oldalán 2.5 légrésben helyeztük el. Ha az állandó mágnesek elrendezését megfelelően elosztjuk az 1 tartály 4 felezősíkja valamint a 2.1.1 és 2.1.2 korongok külső felülete között, a 6 erővonalak intenzitásának az állandó mágneseknek az 1 tartály véglapjai között, középen történő elhelyezése következtében beálló növekedését éppen kompenzálni tudjuk az 1 tartály 2.1.1, 2.1.2 korongjainak külső felületén elrendezett állandó mágnesek által létrehozott 8 erővonalak intenzitáscsökkenésével. Ha az egyes állandó mágnesek egyforma térerejűek, úgy optimális állandó mágnes eloszlást kapunk az ábrán látható 1 tartály magasság-szélesség aránya esetén, ha az állandó mágneseket 6:8-hoz számarányban osztjuk el, ahol az első szám azokat az állandó mágneseket jelenti, amelyeket az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjában helyeztünk el, míg a második szám azokat az állandó mágneseket jelenti, amelyeket az 1 tartály fazékmágnesének alját és tetejét alkotó 2.1.1 és 2.1.2 korongok külső felületén rendeztünk el.

A 3b. ábrán egy határtartomány lehetséges homogenizálására mutatunk példát, ahol az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjában elrendezett állandó mágneseken kívül 40 mágneses ernyőt alkalmaztunk. Ilyen típusú 40 mágneses ernyőt alakíthatunk ki például olyan lágyvas gyűrűből, amelyet az 1 tartályt alkotó fazékmag és a 10.1, 10.2 pólussaruk széle közé vezetünk be, és amely hasonlóan a 2.2 és 2.3 karimákhoz, azt körülveszi. Egy ilyen lágyvas gyűrű részben rövidre zárja a külső B_s szórt teret, és megfelelő méretezése esetén a határtartomány térerősségét a központi térerősség értékére redukálja.

A 3c. és 3d. ábrákon a 3a. és 3b. ábrákon bemutatottakkal összehasonlítható kompenzáló megoldásokat tüntettünk fel, azzal az eltéréssel, hogy a 3c. és 3d. ábrákon 50, 52 mágnes tekercseket alkalmazunk az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjának a központi részén, vagy az 1 tartályt alkotó fazékmag véglapjainak a közelében, és ezek az 50, 52 mágnes tekercsek szolgálnak az előbbi állandó mágnesek helyett térerő forrásként.

A 3c. ábrán látható, hogy a kívánt kompenzációt az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjában elrendezett térerő forrásoknak az 1 tartály fazékmagja véglapjainak szomszédságában elrendezett térerő forrásokhoz viszonyított megfelelő arányával értük el, míg a 3d. ábrán az a kiviteli alak látható, amelynél a szükséges kompenzációt 40 mágneses ernyő segítségével valósítottuk meg.



A találmány szerinti 1 tartály egy további lehetséges kiviteli alakját a 4. ábra segítségével mutatjuk be. Az 1 tartály súlyának csökkentése érdekében a 2 járom 2.2, 2.3 karimáját nagyon vékony 200.1, 200.2 és 202.1, 202.2 lemezekből alakítottuk ki egy duplafalas szerkezetként. A körbenfutó határoló 200.1, 200.2, 202.1, 202.2 lemezek 207 távtartó gyűrűkkel rögzített távolságban húzódnak egymástól, így az 1 tartály belsejét kétszeresen is leárnyékoltuk. A 200.1, 200.2, 202.1, 202.2 lemezek lényegesen vékonyabbra választhatók, mint az 1. ábrán bemutatott szimplafalas szerkezetnél, ugyanakkor az árnyékoló gyűrűkkel ugyanolyan mértékben képesek a mágneses fluxust elvezetni. A körbefutó 200.1, 200.2, 202.1, 202.2 lemezek az 1 tartály fazékmagjának felső vagy alsó μ -metál lemezén át, 204 vagy 206 csavarkötéssel vannak egymással összekötve. A 10.1 és 10.2 pólussaruk megfelelő távtartó elemekkel vagy 205 távtartó gyűrűkkel vannak egymástól elválasztva, melyek lehetnek kör alakúak vagy sokszögűek, például hatszögletűek. Ez utóbbi a 205 távtartó gyűrű keresztmetszetére vonatkozik. A homogén mágneses teret lényegében az 1 tartály 208 belsejében, a 10.1, 10.2 pólussaruk között alakítottuk ki. Hasonlóan a 3a. ábrán bemutatott kiviteli alakhoz, 210 állandó mágnesek vannak az 1 tartály 2.2, 2.3 karimájának felső és alsó része között a 2.4 légrésbe helyezve, és a 2 járom és a 2.1.1, 2.1.2 korongok között a szélső tartományokban is homogénnek tekinthető erőter forrásait alkotják.

Az 5a. és 5b. ábrán a $G_r = ((\delta B_r / \delta r) / B_0)$ relatív, sugárirányú gradiens nagyságának a görbét tüntettük fel, amelyet az 1 tartályt alkotó fazékmágnes vízszintes 4 felezősíkja fölött 15 mm-rel mértünk r sugárirányban, az állandó mágneseknek az 1 tartályt alkotó fazékmágnesben vagy fazékmágnesen a találmány szerinti különböző elrendezései esetén. Az "a" jelzésű görbe azt az esetet mutatja, amikor az állandó mágnesek kizárólag az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjában, a 2.4 légrésben vannak elrendezve, ahogy azt a 2. ábra jobb oldali felén ábrázoltuk, míg a "b" görbe arra az esetre vonatkozik, amikor az állandó mágneseket az 1 tartályt alkotó fazékmágnes járom véglapjainak külső felületén, a 2.5 légrésekben helyeztük el, ahogy az a 2. ábra bal felén látható. A "c" jelzésű görbe azt az esetet mutatja, amikor a sugárirányú G_r gradienst úgy állítjuk elő, hogy az állandó mágnesek elrendezését megosztjuk, és mind az 1 tartályt alkotó fazékmágnes járom véglapjainak külső felületén a 2.5 légrésben, mind pedig az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjában a 2.4 légrésben elrendezzük azokat a 3a. ábrának megfelelően. A "c" görbe esetében az állandó mágnesek közötti arány 6:8, vagyis 6 állandó mágneset helyeztünk el az 1 tartály vízszintes 4 felezősíkjában, 8 állandó mágneset pedig a járom véglapok külső felületén a 2.5 légrésben.



Ebben az esetben, a 10.1, 10.2 pólussaruk közötti 18 cm-es távolság, valamint 40 cm-es 10.1, 10.2 pólussaru átmérő esetén, a 400 szaggatott vonallal bejelölt homogenitási limit $r \approx 13$ cm sugár esetén, még előnyösebben 12 cm esetén $G_r = 1,5 \times 10^{-3}$ gradiens értéket ér el. Ezt a 400 szaggatott vonallal bejelölt limitet az 1 tartályt alkotó fazékmágnes teljes magassága mentén bejelöltük, ami azt jelenti, hogy 6 litert meghaladó, például több, mint 8 literes hasznos szállítási térfogatot tudtunk létrehozni az 1 tartály belsejében, ahol a $G_r \leq 1,5 \times 10^{-3}$ /cm gradiens homogenitási feltételt ki tudjuk elégíteni.

A 6. ábrán egy kis vastartalmú üvegből készített 20 tárolócellában a ^3He izotóp polarizációjának a lebomlására vonatkozó mérési görbét tüntettünk fel. Ebben az esetben a 20 tárolócella térfogata 350 cm^3 , a gáznyomás pedig 2,5 bar. Mint az ábrán megfigyelhető, ilyen üvegek használatával több, mint 70 órás relaxációs időt tudunk elérni, ahol a mérés feltételei között a gradiensfüggő relaxációs időt figyelmen kívül hagyhatjuk. Ha ilyen kis vastartalmú üvegből készített 20 tárolócellát helyezünk az 1 tartály fazékmágnesébe a homogenizált tér tartományába, akkor $T_{\text{res}} = (1/T_1^g + 1/T_1^w)^{-1}$ teljes relaxációs időt, 64 órát érünk el, egy $T_1^g = 750$ órás gradiensfüggő relaxációs időn valamint egy $T_1^g = 70$ órás falfüggő relaxációs időn alapulva.

A 7a. és 7b. ábrán valamilyen külső mágneses tér, például egy nukleáris mágneses rezonancia leképező berendezés B_{TS} szórt terének közelében egy találmány szerinti szállítóeszköz 20 tárolócellájából az ugyancsak találmány szerinti eljárással megvalósított gáz eltávolítást, kivételt mutatjuk be. Ha a 20 tárolócellát például egy gyógyászati alkalmazás céljára egy mágneses rezonancia leképező berendezés B_T mágneses terébe kell bevezetnünk, anélkül, hogy ez jelentős depolarizációt okozna, a 7a. ábrán látható vázlatnak megfelelően javaslatunk szerint a találmány szerinti szállítóeszközt úgy kell beállítani, hogy annak B_0 mágneses tere ugyanolyan irányú és párhuzamos legyen, mint a külső B_{TS} szórt tér. A szállítóeszköz 1.1 felső része, amely a 10.1 pólussaruval a mágneses rezonancia leképező berendezés felé néz, a 302 nyíl irányában kerül levételre, pontosabban felemelésre. Ezzel a 20 tárolócellához szabadon hozzáférhetünk. A vázlaton fazékmágnesként ábrázolt szállítóeszközt a 7b. ábrán nyitott állapotában tüntettük fel. Látható, hogy a homogenizáló erő a fazékmágnes eltávolított 1.1 felső része következtében csökkent. Ezzel együtt a megmaradó alsó 10.2 pólussaru biztosítja, hogy az eredő B_{res} mágneses térerő mágneses erővonalai a 10.2 pólussarun merőlegesen végződnek, ami továbbra is lehetővé teszi, hogy a B_{res} mágneses teret a 20 tárolócella területén kellőképpen homogén állapotban tartsuk, vagyis a



rajzon látható módon párhuzamos mágneses erővonalakat kapjunk. A 20 tárolócellát ezt követően a szimmetriatengely irányában 304 nyílnak megfelelően eltávolítjuk úgy, hogy eközben a B_{res} mágneses térerő továbbra is nagyjából homogén marad, míg levett 1.1 felső rész mellett is, anélkül, hogy a levétel rövid időtartama alatt a gáz észrevehetően depolarizálódna.

Áttérve a 8. ábrára, azon perspektivikusan a találmány szerinti 1 tartály egy további, körtől eltérő, pontosabban hatszögletű kialakítását tüntettük fel. Az 1 tartály ennek megfelelően hatszögletű 2 jármot és ugyancsak hatszögletű, egymástól különválasztható 1.1 felsőrészt és 1.2 alsórészt tartalmaz. A mágneses térerő forrásokat, pólussarukat és így tovább, például a fent bemutatott változatoknál leírt módon helyezhetjük el, ha mindenképpen söntöket kell elhelyeznünk a B_0 mágneses térerő peremhatásainak a kiküszöbölése érdekében.

A 20 tárolócellában tárolt gáz a találmány szerinti eljárásnak köszönhetően a cél alkalmazások számára még mindig kielégítő polarizációs fokú lesz, miután eltávolítjuk a nukleáris mágneses rezonancia leképező berendezés erős mágneses teréből.

Találmányunkkal így olyan eszközt hoztunk létre, amely nagy távolságokon és hosszú időtartamokon át lehetővé teszi a spinpolarizált gázok tárolását és szállítását, amire elsősorban a gyógyászat területén történő felhasználás esetén van szükség. A találmányt különösen gazdasági előnyei jellemzik, szerkezete, egyszerű kialakítása, a nagy hasznos térforogat, a rendkívül kis súly, melyekkel a külső szórt terekkel szemben megbízható árnyékoló hatás társul. A találmány így ismereteink szerint elsőként ad olyan eszközt a felhasználó kezébe, amely például a gyógyászat területén egyszerűvé teszi a ^3He és ^{129}Xe izotópok kereskedelmi felhasználását.

A ^3He és ^{129}Xe izotópoknak a gyógyászatban történő jövőbeli felhasználását tekintve különösen előnyösnek tekinthető a ^3He és ^{129}Xe izotópok használata nagy felbontású, éles, háromdimenziós nukleáris mágneses rezonancia képek létrehozására, amelyeket az emberi légzőszervek leképzésénél készítenek.

Bejelentésünk során az alábbi publikációkat referenciaként tekintettük, vagyis ezek tartalmát teljes egészében szükségesnek és ismertnek tekintettük a leírás során:

- Bachert et al., Magnetic Resonance in Medicine 36: 192-196 (1996); és
- Ebert et al., THE LANCET 347: 1297-1299 (1996).



Ezen túlmenően olyan ultrakönnnyű kompakt mágnesset állítottunk elő, amely nagy területen homogén mágneses teret biztosít, kompakt felépítésű, könnyen szállítható, viszonylag olcsó, és elsősorban az összes követelménynek eleget tesz a külső mágneses terek leárnyékolása vonatkozásában, amelyek a nukleáris perdület depolarizálásához vezethetnének. A kereskedelmi forgalomban kapható kis állandó mágnesek használata meghatározó előnyt jelent mind a szerkezeti felépítés, mind az eszköz gazdasága tekintetében.

Ezen túlmenően jelentős a μ -metál szélsőségesen nagy permeabilitása és alacsony remanenciája, amelyet esetünkben alkalmaztunk először a nagyon vékony, ezért igen könnyű és mégis rendkívül hatékony pólussaruk esetében a mágneses tér homogenizálására.

A kis mágneses fluxus miatt vékony lágyvas lemezből készült jármot használhatunk, amely egyidejűleg az 1 tartály fazékmágnes alakja és a sugárirányú vezetés ezzel összefüggő lehetőségessége következtében megfelelőképpen le tudja árnyékolni a külső zavaró interferencia tereket.

Ez alatt azt értjük, hogy találmányunkban először tettük lehetővé egy rendkívül előnyös homogén mágneses tér térfogat-teljes térfogat arányú, rendkívül kis súlyú mágnes felhasználását.

Egy enyhén eltérő szerkezeti kialakításban mágnesesen lágyvas pólussarukat is használhatunk a μ -metál anyagú pólussaruk helyett, ami - jóllehet a mágneses erőter minőségét némiképp csökkenti - ár tekintetében sokkal gazdaságosabb változatot jelent. Az is lehetséges, hogy az állandó mágneseket mágnes tekercsekkel helyettesítsük, amelyek ugyanazt a feladatot látják el, annak érdekében, hogy a szükséges fluxust a tartály fazékmágnesében a kívánt pontokon elérjük.

Végül, spinpolarizált gázoknak a találmány szerinti tartályból történő eltávolítására vonatkozó eljárással akár külső mágneses terek jelenlétében is fenn tudjuk tartani a szükséges polarizációs mértéket, így ezt a feladatot nukleáris mágneses rezonancia leképező berendezés esetében is biztonságosan és eredményesen el tudjuk látni.



Szabadalmi igénypontok

1. Mágnesesen árnyékolt tartály (1), szimmetriatengelyében (S) egymással szemben elrendezett, mágneses erőteret homogenizáló pólussarukkal (10.1, 10.2), amelyek körül mágnesesen árnyékoló járom (2) van elrendezve, és a pólussaruk (10.1, 10.2) és a járom (2) mágneses kamrát (26) fognak közre, **azzal jellemezve**, hogy a szimmetriatengely (S) körül attól sugárirányban távközzel elválasztottan mágneses térerő források vannak oly módon elrendezve, hogy a kamrában (26) a szimmetriatengely (S) irányában lényegében homogén mágneses térerőt (B_0) hoznak létre, és a kamrán (26) belüli hasznos térfogatban a mágneses térerő gradiens szimmetriatengelyre (S) merőleges irányú értékének a mágneses térerőhöz (B_0) viszonyított aránya legfeljebb $1,5 \times 10^{-3}/\text{cm}$.
2. Az 1. igénypont szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy az arány legfeljebb $7 \times 10^{-4}/\text{cm}$.
3. Az 1. vagy 2. igénypont szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a hasznos térfogat és a kamra (26) térfogatának az aránya nagyobb mint 1:30-hoz.
4. Az 1. vagy 2. igénypont szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a hasznos térfogat és a kamra (26) térfogatának az aránya nagyobb mint 1:5-höz.
5. Az 1. vagy 2. igénypont szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a hasznos térfogat és a kamra (26) térfogatának az aránya nagyobb mint 1:2-höz.
6. Az 1-5. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a hasznos térfogat legalább 50 ml.
7. Az 1-5. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a hasznos térfogat legalább 100 ml.
8. Az 1-5. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a hasznos térfogat legalább 200-2000 ml tartományba eső nagyságú.
9. Az 1-8. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a pólussaruk (10.1, 10.2) μ -metálból vagy lágyvasból készültek.
10. Az 1-9. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a járom (2) 1 T alatti mágneses térerőn mágnesesen nem telítődő anyagból van készítve.
11. Az 1-9. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a járom (2) 2 T alatti mágneses térerőn mágnesesen nem telítődő anyagból van készítve.



12. Az 1-11. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses térerő források mindegyik pólussaru (10.1, 10.2) körül vannak elrendezve.
13. A 11. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses térerő források a járóm (2) oldalát alkotó karima (2.2) és véglapjait alkotó korongok (2.1.1, 2.1.2) között vannak elrendezve.
14. Az 1-11. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses térerő források a tartály felezősíkjában (4) a szimmetriatengely (S) vonalában vannak a pólussaruk (10.1, 10.2) között elrendezve.
15. A 14. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses térerő források a járóm (2) két karimája (2.3) között vannak elrendezve.
16. Az 1-11. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy egy mágneses térerő forrás készlet van minden egyes pólussaru (10.1, 10.2) kerülete mentén elrendezve, valamint egy további mágneses térerő forrás készlet van a tartály felezősíkjában (4) a pólussaruk (10.1, 10.2) között a szimmetriatengely (S) vonalában elrendezve.
17. A 16. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses térerő forrás készletek a 12. és 14. igénypontban meghatározott módon vannak elrendezve.
18. Az 1-17. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a jármon (2) belül a szimmetriatengely (S) körül mágneses ernyő (40) van elrendezve.
19. Az 1-18. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a jármon (2) belül a szimmetriatengely (S) körül legalább egy sönt van elrendezve.
20. Az 1-19. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tartály teljes magassága és a mágneses kamra (26) térfogata közötti arány legfeljebb 1 kg/l.
21. Az 1-19. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tartály teljes magassága és a mágneses kamra (26) térfogata közötti arány legfeljebb 0,2 kg/l.
22. Az 1-19. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tartály teljes magassága és a mágneses kamra (26) térfogata közötti arány legfeljebb 1/30 kg/l.
23. Az 1-22. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy felnyithatóan és tömítetten lezárhatóan van kialakítva.



24. Az 1-23. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a pólussaruk (10.1, 10.2) kör alakúak, és a járom (2) lényegében hengeres alakú.
25. Az 1-24. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a pólussarukat (10.1, 10.2) mágneses ellenállások (16) tartják.
26. A 25. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses ellenállások (16) merev porózus műanyagból készültek.
27. Az 1-26. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a mágneses kamrán (26) belüli hasznos térfogatban gázt tároló tárolócella (20) van behelyezve.
28. A 27. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tárolócella (20) belső falainak legalább egyike paramágneses összetevőktől mentes anyagból van készítve.
29. A 28. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy az anyag nagyon alacsony vastartalmú üveg.
30. A 29. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy az üveg vastartalma kisebb mint 20 ppm.
31. A 27-30. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tárolócella (20) falai bevonatmentesek.
32. A 27-31. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tárolócella (20) falai alacsony vastartalmú üvegből készültek, és az üveg vastartalma elegendően alacsony ahhoz, hogy a nukleáris spinpolarizált ^3He izotóp falra vonatkoztatott depolarizációs relaxációs ideje és a tárolócella (20) térfogat-belső felület aránya közötti arány legalább 10 óra/cm legyen.
33. A 27-32. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tárolócella (20) gáz bevezetését és eltávolítását lehetővé tevő záróelemet alkotó üveg dugóval (22) van ellátva.
34. A 27-33. igénypontok bármelyike szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a tárolócella (20) nukleáris spinpolarizált gázt tartalmaz.
35. A 34. igénypont szerinti tartály, *azzal jellemezve*, hogy a gáz ^3He vagy ^{129}Xe vagy ^{19}F , ^{13}C , vagy ^{31}P tartalmú gáz.



36. A 27-35. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a tárolócella (20) belső térfogata legalább 50 ml.
37. A 27-35. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a tárolócella (20) belső térfogata legalább 100 ml - 1 m³ tartományba eső értékre van megválasztva.
38. Az 1-37. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy hordozható kivitelű.
39. Az 1-38. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a mágneses kamrában (26) elrendezett mágneses térerő érzékelő eszközt (32) tartalmaz.
40. A 39. igénypont szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a mágneses térerő érzékelő eszközt (32) a mágneses kamrán (26) belül elhelyezett gáz tárolócellához (20) viszonyítva mozgó eszközt tartalmaz.
41. A 39. igénypont szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a mágneses kamrában (26) időben változó mágneses térerőt létrehozó térerő forrást képező tekercset (30) tartalmaz.
42. Az 1-41. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy a pólussarukat (10.1, 10.2) egymással párhuzamosan elrendezetten megtartó távtartót (12) vagy távtartó gyűrűt (205) tartalmaz.
43. Az 1-42. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy lemezekből (200.1, 200.2) készített duplafalú szerkezete van, ahol a jármot (2) legalább részben a belső falat alkotó lemez (200.2) alkotja.
44. Az 1-43. igénypontok bármelyike szerinti tartály, **azzal jellemezve**, hogy nagy térfogatú, nagyjából homogén, árnyékolt mágneses teret a belsejében biztosító belső térrel rendelkező mágneses eszközként van kiképezve, amelynek pólussarui (10.1, 10.2) homogenizáló μ -metál lemezekből vannak előállítva, és a mágneses eszköz homogén mágneses teret biztosító hasznos térfogata és a mágneses eszköz teljes térfogata közötti arány 1:1,5-hez, és a homogenitási feltételt a hasznos térfogaton belül az alábbi összefüggés biztosítja:

$$G_r \leq 1.5 \times 10^{-3} / \text{cm}$$

ahol G_r a relatív keresztirányú mágneses térerő gradiens.

45. Tárolócella (20) gáz tárolására, amely cellafallal körülvett gáztároló térben nukleáris spinpolarizált gázt tartalmaz, **azzal jellemezve**, hogy a fal bevonatmentes anyagból készült,

amelynek a gáztároló térrel érintkező felülete lényegében paramágneses összetevőtől mentes.

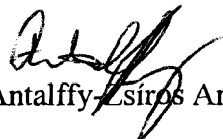
46. A 45. igénypont szerinti tárolócella, **azzal jellemezve**, hogy a fal alacsony vastartalmú üvegből készült, amelynek vastartalma elegendően alacsony ahhoz, hogy a nukleáris spinpolarizált ^3He izotóp falra vonatkoztatott depolarizációs relaxációs ideje (T_1^w) valamint a tárolócella (20) térfogat-belső felület aránya közötti arány legalább 10 óra/cm legyen.

47. Eljárás nukleáris spinpolarizált gáz kivételére az 1-38. igénypontok bármelyike szerinti tartályban elhelyezkedő gázt tároló tárolócellából (20), **azzal jellemezve**, hogy a tartályt (1) szimmetriatengelyével (S) párhuzamosan egy külső, lényegében homogén mágneses tér erővonalainak irányával párhuzamosan pozicionáljuk; majd a tartályt (1) egyik pólussaruját (10.1) alkotó részének eltávolításával kinyitjuk; és a tárolócellát (20) a szimmetriatengely (S) irányában kiemeljük.

A meghatalmazott:

DANUBIA

Szabadalmi és Védjegy Iroda Kft.



Antalffy László András

B. R.

01.02.26.

KÖZZÉTÉTELI
PÉLDÁNY

1/6

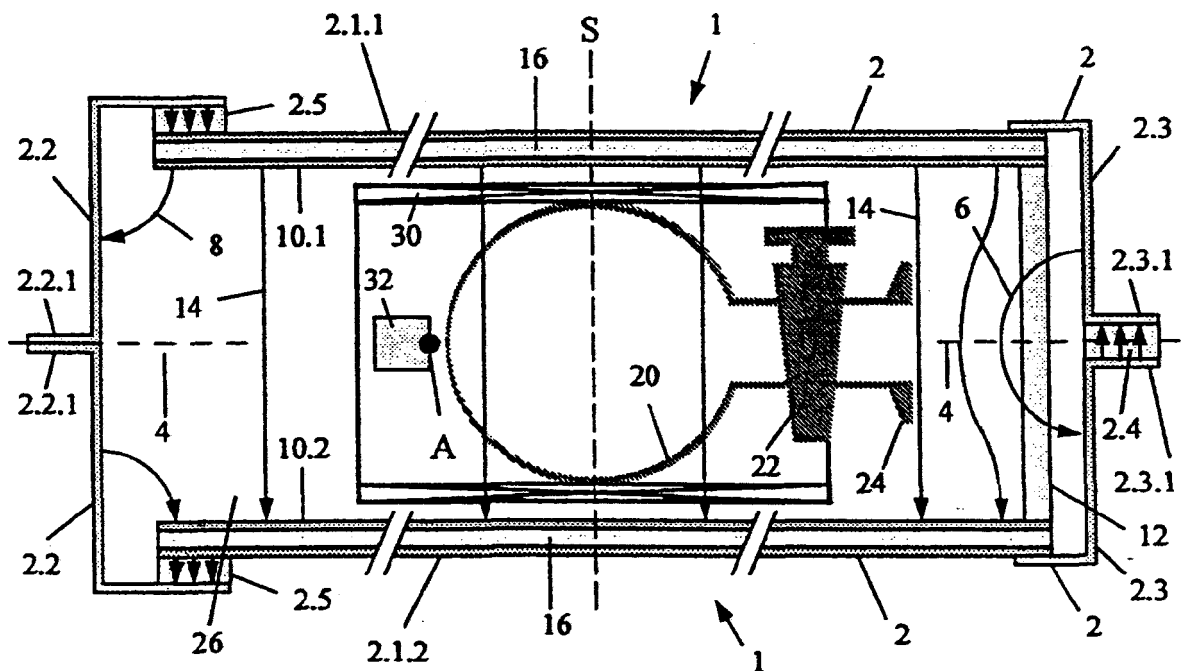
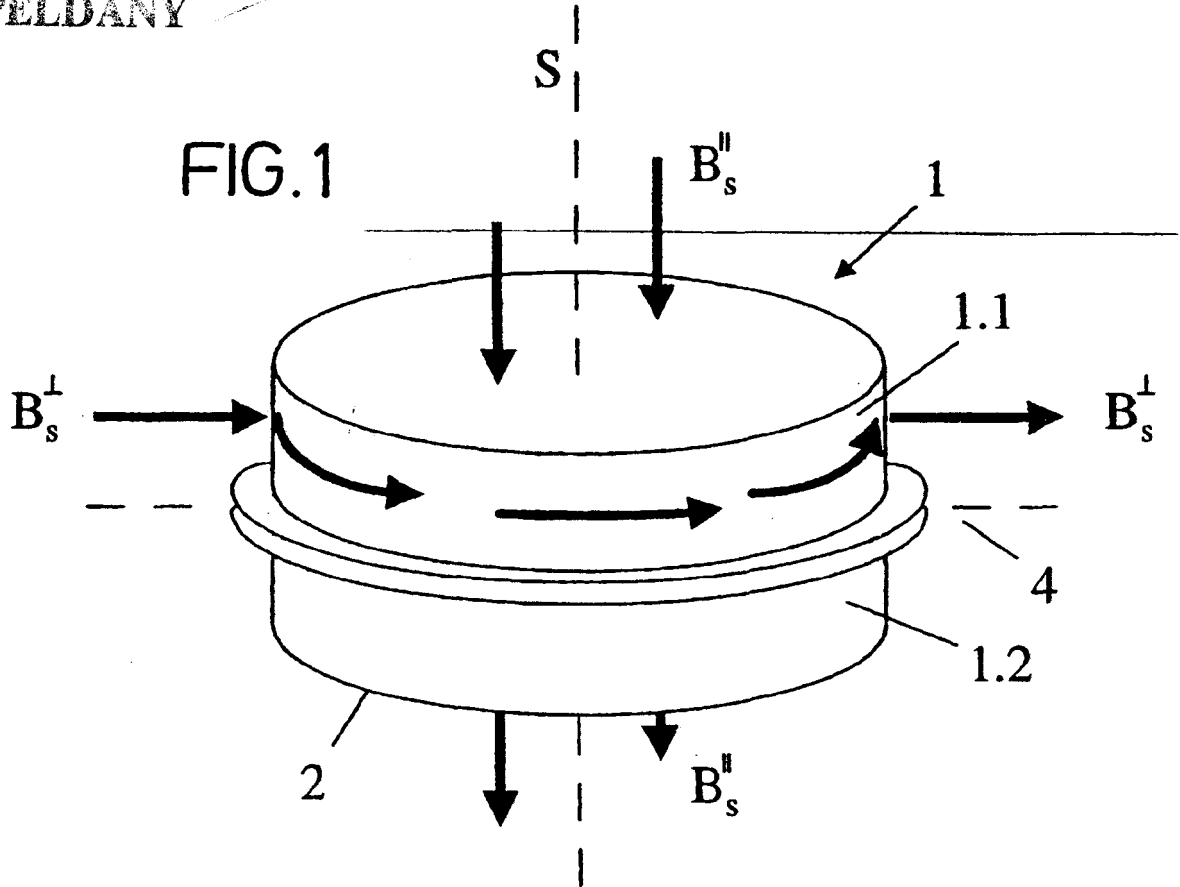


FIG. 2

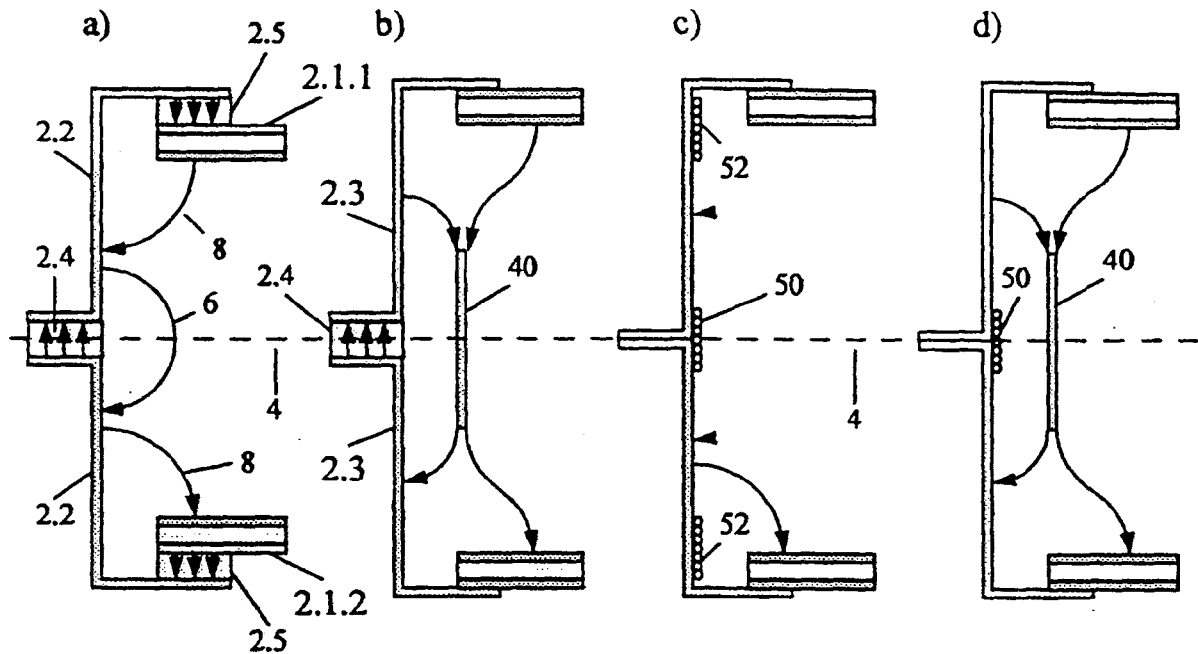


FIG. 3

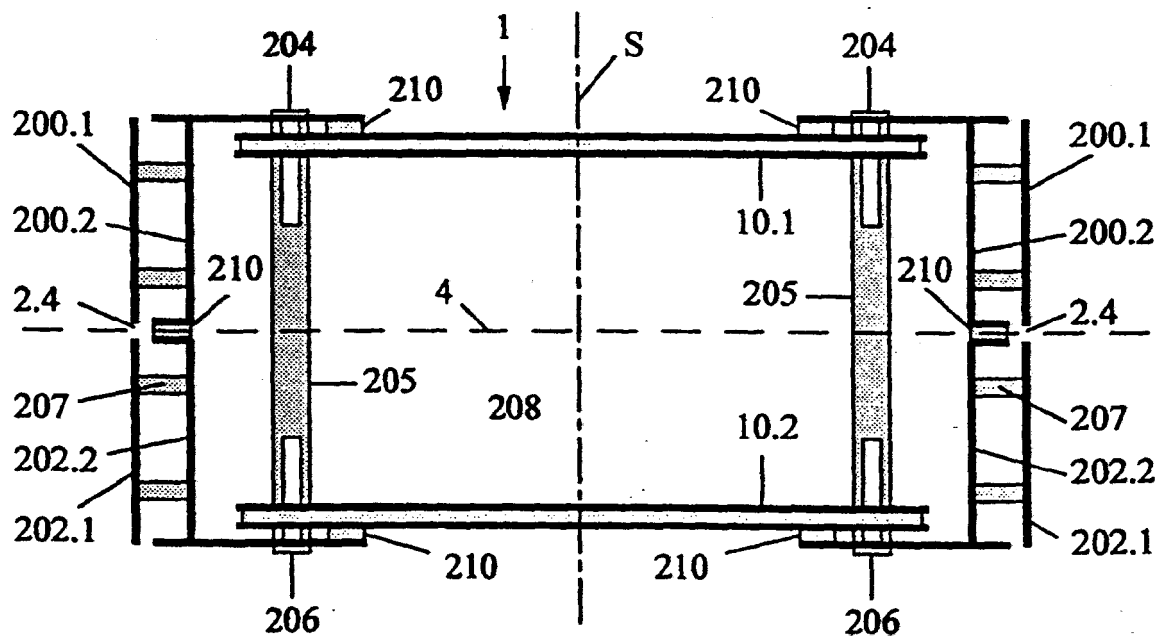


FIG. 4

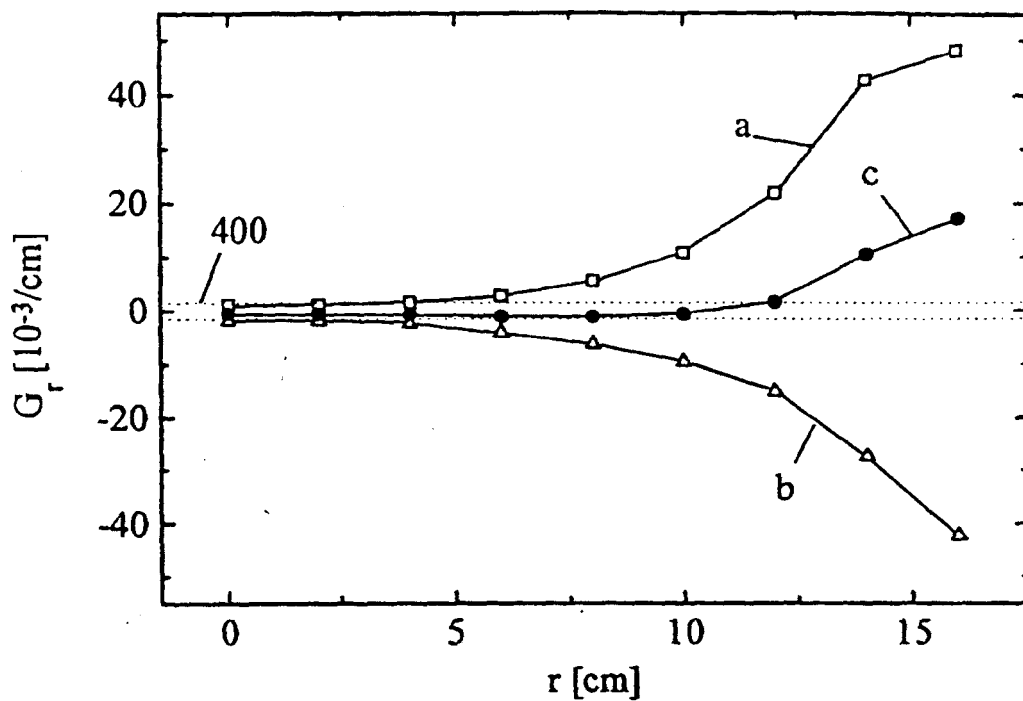


FIG. 5A

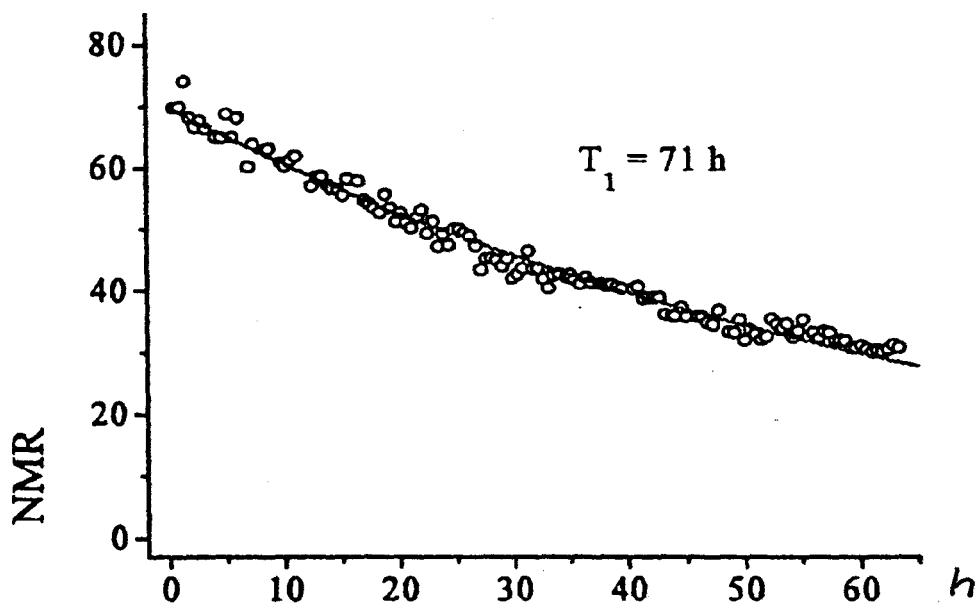


FIG. 6

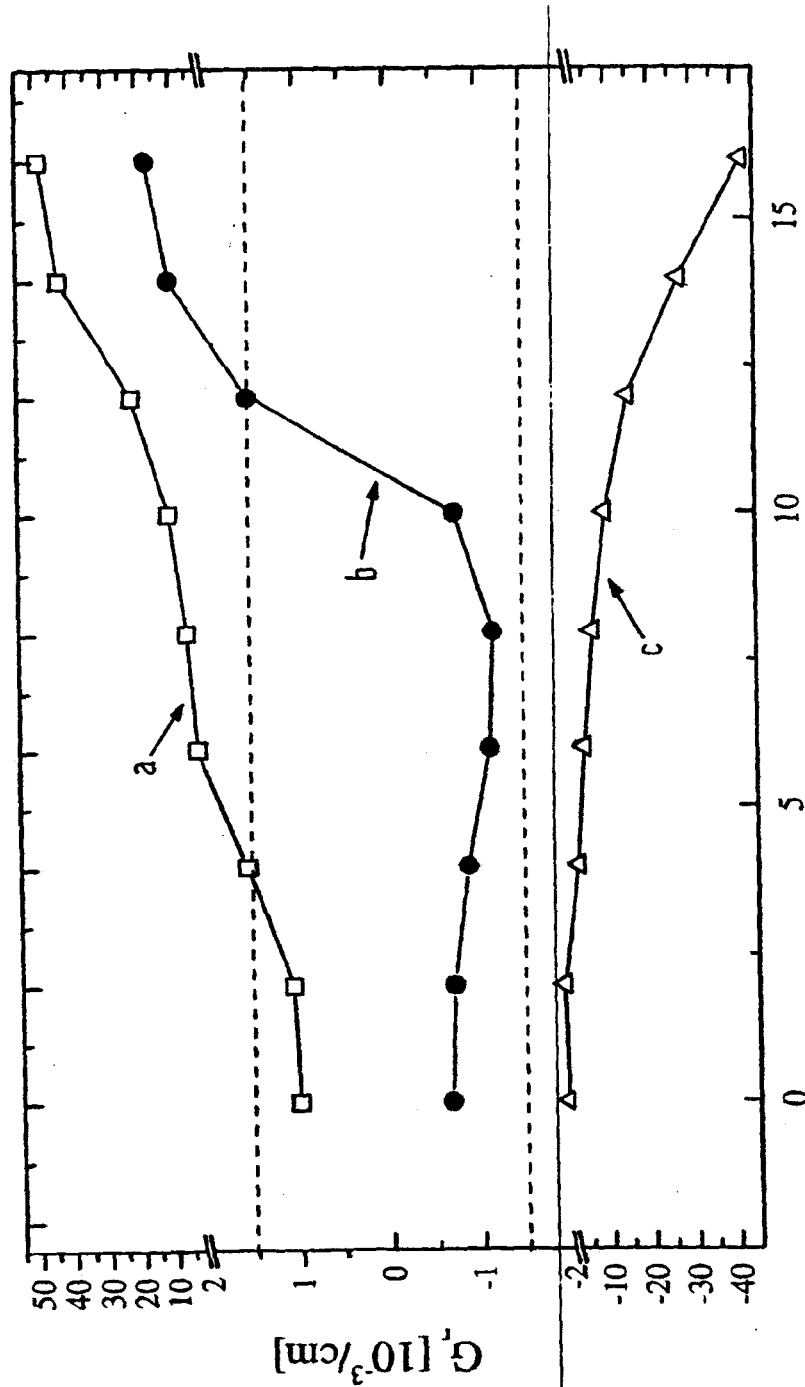


FIG. 5B

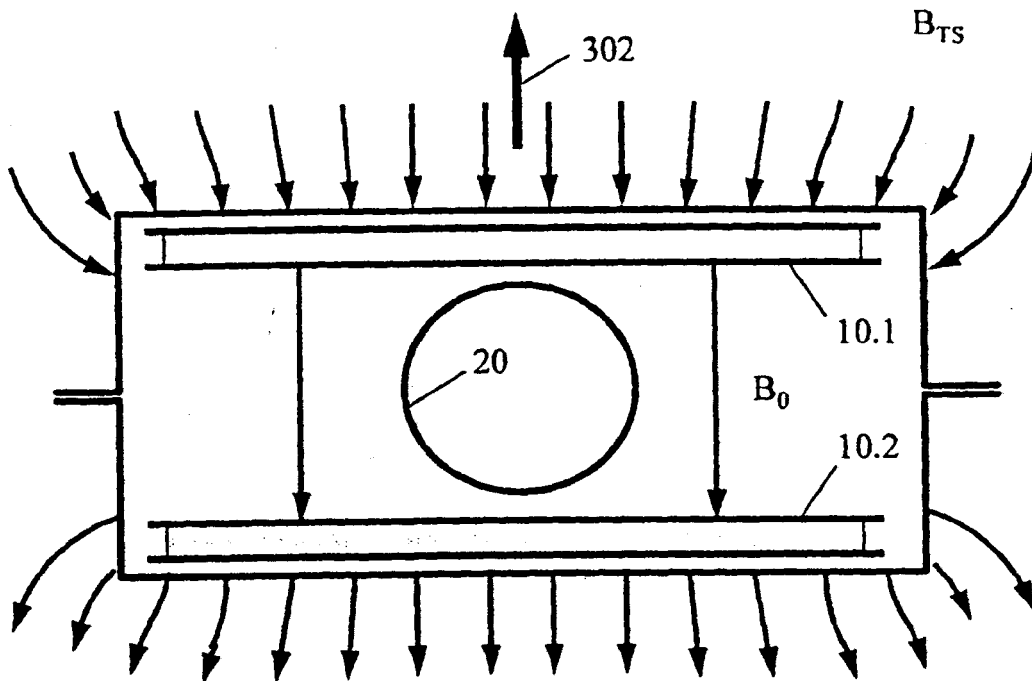


FIG. 7A

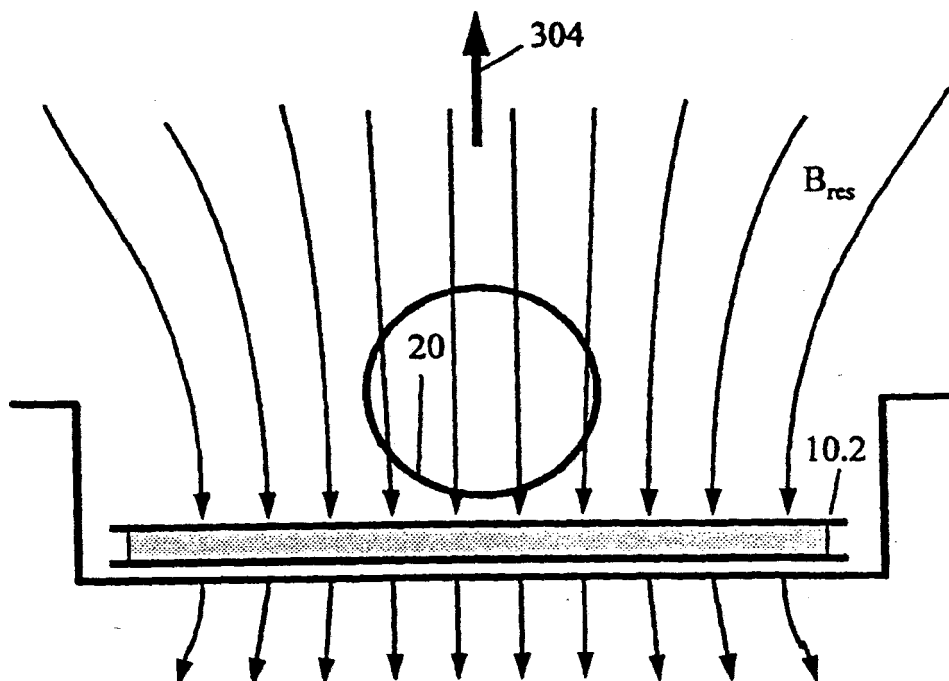


FIG. 7B

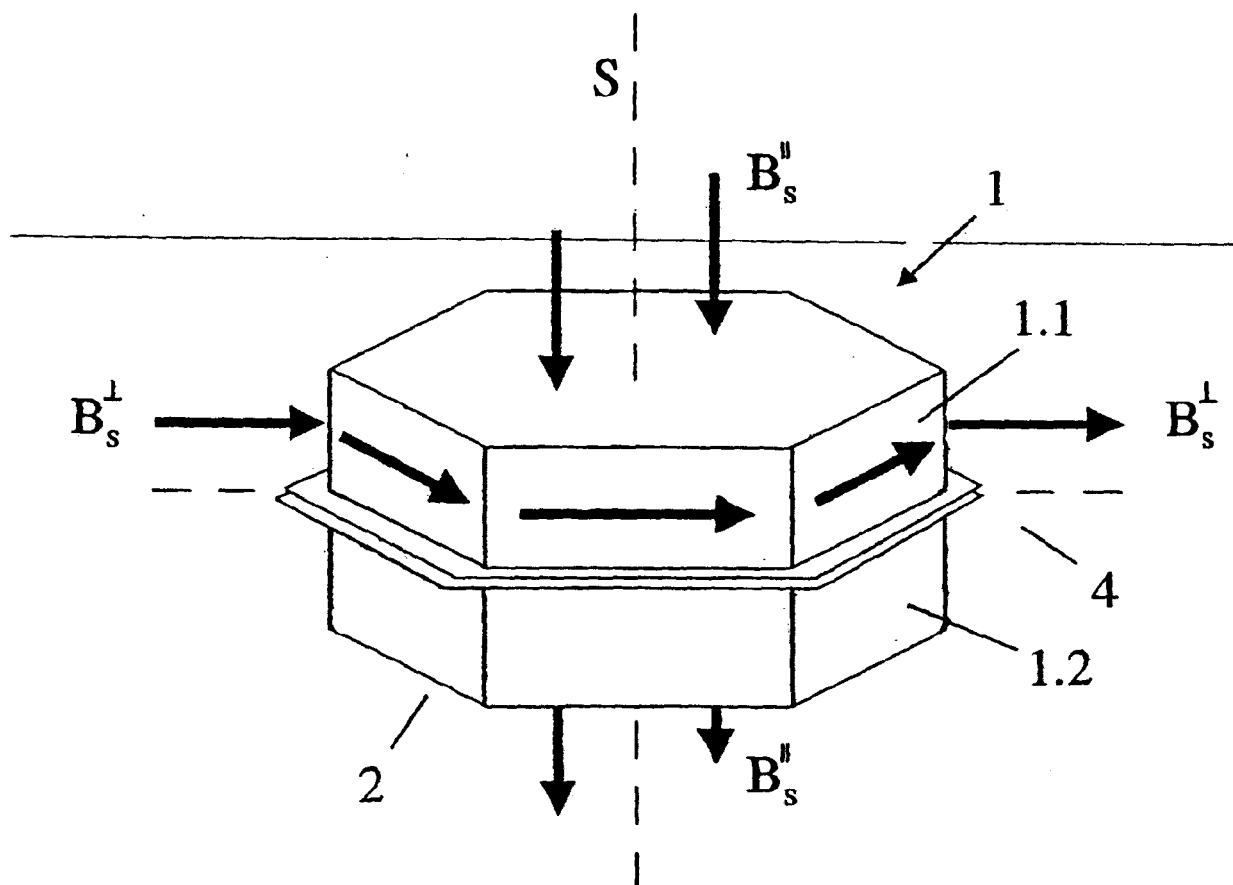


FIG. 8