



Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 05.XII.1964 (P 106 527)

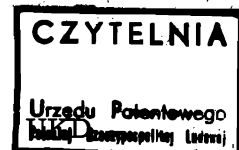
Pierwszeństwo: 12.XII.1963 Francja

Opublikowano: 30.XI.1968

Kl. 21e, 12

21e, 33/08

MKP G 01 r, 33/08



Współtwórcy wynalazku: inż. Anatol Abragam, inż. Jonel Solomon
Właściciel patentu: Commissariat a l'Energie Atomique, Paryż (Francja)

**Sposób i urządzenie do pomiaru natężenia pola magnetycznego,
zwłaszcza słabego pola magnetycznego**

1

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru natężenia pola magnetycznego, zwłaszcza słabego pola magnetycznego (o natężeniu poniżej 1 gaussa) i zmian jego natężenia występującego na pokładzie poruszającego się na przykład samolotu, statku powietrznego lub pocisku jak również urządzenie-magnetometr przeznaczony do stosowania tego sposobu.

Znane są obecnie różne typy magnetometrów realizujących rezonans magnetyczny. Tego rodzaju urządzenia bazują na pomiarze częstości precesji, nazywanej częstością larmorowską, momentu magnetycznego, na ogół jądra atomowego, cząstki podatomowej, na ogół jądra atomowego, a zwłaszcza protonu, w przeznaczonym do mierzenia polu magnetycznym, przy czym, ta częstość jest proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego, w którym jest umieszczona wspomniana cząstka.

Jeżeli oznaczymy przez H natężenie (w gaussach) przeznaczanego do zmiernia pola magnetycznego, w którym jest umieszczona cząstka, przez γ — stosunek giromagnetyczny cząstki (istnienie ściśle określonego stosunku γ , oznacza, że moment kinetyczny lub spin, a zatem moment magnetyczny cząstki, nie są równe zeru) oraz przez F — częstość precesji lub częstość larmorowską (w hercach), to wówczas mamy zależność:

$$2\pi F = \gamma H \quad (1)$$

Stosunek giromagnetyczny γ (w gaussach/sek) jest znany z bardzo dużą dokładnością dla wielu

2

jąder atomowych. W szczególności stosunek giromagnetyczny protonu w wodzie odtlenionej jest znany z dokładnością do 10^{-6} i jest równy 26751,3 gaussa/sek.

5 Gdy promieniowanie elektromagnetyczne o częstości F jest polaryzowane kołowo, to rezonans występuje jako wirowanie całkowitego momentu magnetycznego dokoła kierunku pola magnetycznego. Wirujące pole promieniowania elektromagnetycznego jest wykrywane za pomocą co najmniej jednego uzwojenia, które jest umieszczone dokoła cząstek podatomowych i w którym wirujące pole wzbudza zmienne napięcie elektryczne.

15 Wynika stąd, że gdy uzwojenie znajduje się na pokładzie będącego w ruchu samolotu lub innego środka, który ma pewną chwilową prędkość kątową ω wirowania, dokoła kierunku pola magnetycznego, to samo uzwojenie jest wprawiane w ruch z tą samą prędkością kątową.

20 Częstość napięcia zmiennego, które zostało wzbudzone w uzwojeniu przez rezonans magnetyczny, nie będzie już określana za pomocą podanego wyżej wzoru (1), który odpowiada bezwzględnemu wirowaniu całkowitego momentu magnetycznego względem nieruchomego układu odniesienia, ale będzie odpowiadała wirowaniu względem tego momentu względem układu odniesienia związane-
25 go z poruszającym się na przykład samolotem, a zatem z tym uzwojeniem. Innymi słowy zgodnie z prawem składania prędkości kątowych, jeżeli

oznaczą się przez f częstość w przypadku wirowania z chwilową prędkością kątową ω , to otrzymamy

$$2\pi f = \gamma H - \omega \quad (2)$$

Jeżeli w szczególności chce się mierzyć z dużą dokładnością słabe pole magnetyczne, na przykład ziemskie, oraz zmiany jego natężenia za pomocą dawnego typu magnetometru o rezonansie magnetycznym, pomiar taki obarczony jest błędem, ponieważ pomija się wpływ prędkości kątowej ω stosując wzór (1). Prędkość kątowa ω może przybierać wartości stosunkowo duże i bardzo rozmaite, wówczas gdy pomiar jest wykonywany na pokładzie samolotu, statku powietrznego lub pocisku, który może wirować dokoła osi pola magnetycznego. Jest bardzo trudne, dokonanie korekcji prędkości kątowej ω , z powodu zmian wielkości prędkości kątowej ω , i stąd właśnie pochodzą bardzo kłopotliwe błędy popełniane przy określaniu wartości natężenia H , a zwłaszcza jego zmian.

Przeprowadzone badania i poszukiwania geofizyczne substancji mineralnych, bazowane na zmianach natężenia H pola magnetycznego są narażone na niebezpieczeństwo popełniania błędów, jeżeli zostanie pominięty wpływ tej prędkości kątowej ω .

Celem wynalazku jest usunięcie wspomnianych wyżej wad przez umożliwienie mierzenia natężenia pola magnetycznego za pomocą wywoływania rezonansu magnetycznego, zwłaszcza jądrowego, eliminując przy tym wpływ wirowania dokoła tego pola będącego w ruchu jednego z wyżej wymienionych środków przenoszenia, w którym przeprowadza się taki pomiar i/lub w którym jest umieszczone urządzenie służące do tego pomiaru.

Sposób według wynalazku, pomiaru natężenia pola magnetycznego, zwłaszcza słabego pola magnetycznego (o natężeniu poniżej 1 gausa), znajdującego się w określonej strefie pomiarowej na pokładzie poruszającego się środka przenoszenia, za pomocą wykrywania sygnałów rezonansu magnetycznego cząstek podatomowych, zwłaszcza jąder atomów o ściśle określonym stosunku giromagnetycznym, wyróżnia się tym, że we wspomnianej strefie wykrywa się dwa sygnały rezonansu magnetycznego, dwóch zespołów cząstek podatomowych o różnych stosunkach giromagnetycznych, nieruchomych względem siebie, następnie z tych dwóch sygnałów wyprowadza się trzeci sygnał, którego częstość jest równa różnicy algebraicznej częstości tych dwóch sygnałów rezonansu magnetycznego, przy czym na te dwie ostatnie częstości oddziałuje znak stosunku giromagnetycznego odpowiednich cząstek, a wreszcie mierzy się częstość tego trzeciego sygnału, który jest proporcjonalny do natężenia H przeznaczonego do zmierzenia pola magnetycznego i jest niezależny od obracania się wspomnianych zespołów w stosunku do tego pola magnetycznego.

Magnetometr według wynalazku, przeznaczony do stosowania sposobu będącego również przedmiotem wynalazku zawiera generatory rezonansu magnetycznego, wzbudzającego napięcie o larmorowskiej częstości cząstki podatomowej o ściśle określonym stosunku giromagnetycznym, oraz częstościomierz, który wyróżnia się tym, że zawiera dwa takie ge-

neratory rezonansu magnetycznego z dwoma nieruchomymi względem siebie zespołami cząstek podatomowych o różnych stosunkach giromagnetycznych, przy czym generatory te wzbudzają dwa napięcia o dwóch różnych częstościach, oraz zespoły połączone z wyjściami z tych dwóch generatorów i przeznaczone do odbierania tych dwóch napięć i wysyłania trzeciego napięcia, którego częstość jest równa różnicy algebraicznej częstości dwóch pierwszych napięć, przy czym wspomniany częstościomierz jest połączony z wyjściem powyższych zespołów w celu odbierania tego trzeciego napięcia i mierzenia jego częstości.

Zespoły te, najkorzystniej składają się z mieszacza za którym następuje filtr pasmowy, którego pasmo przepuszczania jest nastawione na wspomnianą różnicę algebraiczną częstości.

Dla częstości f_1 i f_2 rezonansu magnetycznego dwóch cząstek o stosunku giromagnetycznym odpowiednio γ_1 i γ_2 istnieją następujące zależności:

$$2\pi f_1 = \gamma_1 H - \omega \quad (3)$$

$$2\pi f_2 = \gamma_2 H - \omega \quad (4)$$

w przypadku gdy γ_1 i γ_2 są dodatnie to znaczy wtedy jeżeli polaryzacja promieniowania rezonansu magnetycznego dwóch rodzajów cząstek ma ten sam kierunek.

Jeżeli oznaczymy przez f_3 różnicę częstości f_1 i f_2 to otrzyma się zależność:

$$2\pi f_3 = 2\pi f_1 - 2\pi f_2 = (\gamma_1 - \gamma_2) H = GH \quad (5)$$

oznaczając przez G różnicę $\gamma_1 - \gamma_2$ i przy założeniu, że γ_1 jest większe od γ_2 . Jeżeli wartość γ_1 i γ_2 są określone z dużą dokładnością, to tak samo jest określona różnica G .

Równanie (5) zastępuje zatem równanie (1) z tą przewagą, że częstość f_3 jest ściśle proporcjonalna do natężenia H nawet jeżeli magnetometr jest wprawiony w ruch obrotowy dokoła kierunku H .

W przypadku gdy γ_1 i γ_2 nie są tego samego znaku, przy czym γ_1 jest na przykład dodatnie a γ_2 — ujemne, to równość (3) pozostaje prawdziwą, podczas gdy równania (4) i (5) zostają zastąpione przez następujące równania:

$$2\pi f_2 = \omega - \gamma_2 \cdot H \quad (4a)$$

$$2\pi(f_1 + f_2) = (\gamma_1 - \gamma_2)H = GH \quad (5a)$$

w założeniu, że we wszystkich przypadkach G oznacza różnicę algebraiczną dwóch stosunków giromagnetycznych.

Jako pary cząstek podatomowych odpowiednich dla realizacji niniejszego wynalazku, można przytoczyć następujące pary: protony i jądra fluoru, protony i jądra fosforu oraz protony i jądra helu 3 (wszystkie te jądra mają stosunek giromagnetyczny dodatni, za wyjątkiem helu 3, który ma stosunek giromagnetyczny ujemny).

Dla dwóch pierwszych par cząstek podatomowych, generatory napięcia o częstości rezonansu magnetycznego najkorzystniej realizują proces polaryzacji dynamicznej za pomocą pompowania elektrycznego, będącego przedmiotem patentu por-

tugalskiego nr 34958 (patent nr 1), to znaczy zawierają rozpuszczony w rozpuszczalniku zawierającym wspomniane jądra (protony, jądra fluoru, jądra fosforu) rodnik paramagnetyczny zawierający niesparowany elektron, przy czym nasycenie linii rezonansu elektronowego zwiększa natężenie sygnału jądrowego. Natomiast w przypadku, gdy stosuje się parę protony — jądra helu 3, generator zawierający protony jest wspomnianego wyżej typu, natomiast generator o jądrach helu 3 jest typu o pompowaniu optycznym a nie elektronicznym.

Wynalazek zostanie bliżej objaśniony za pomocą dalszego opisu, a także rysunku, przy czym dalszy opis i rysunek są podane jedynie tytułem wyjaśnienia.

Fig. 1 wspomnianego rysunku przedstawia podany tytułem przykład układu magnetometru, wyposażonego w ulepszenia według wynalazku.

Fig. 2 przedstawia układ mieszacza jaki zawiera magnetometr pokazany na fig. 1.

Przedstawiony na fig. 1 magnetometr zawiera dwa generatory rezonansu magnetycznego, nadające się do wzbudzania dwóch napięć o częstości f_1 i f_2 , równych częstości larmorowskiej dla dwóch cząstek podatomowych, zwłaszcza dla dwóch jąder atomowych o różnych stosunkach giromagnetycznych γ_1 i γ_2 , przy czym generatory rezonansu magnetycznego mogą być na przykład takie jak opisane w patencie belgijskim nr 514472, (patent nr 2) z powołaniem się na fig. 4 tego patentu (typu oscylatora spinu).

W takim przypadku każdy z generatorów 1a, 1b rezonansu magnetycznego obejmuje pojemnik 2a, 2b zawierający roztwór 3a, 3b który mieści w sobie z jednej strony rozpuszczalnik, który zawiera jądra atomowe o momencie magnetycznym i o momencie kinetycznym różnym od zera, a zatem o ściśle określonym stosunku giromagnetycznym, a z drugiej strony rozpuszczony w tym rozpuszczalniku wolny rodnik paramagnetyczny mający bardzo drobne odchylenie (to znaczy częstość rezonansu w polu magnetycznym równą zeru) stosunkowo duże oraz wiązanie dipolowe pomiędzy spinami niesparowanych elektronów wolnego rodnika i spinami jąder atomowych rozpuszczalnika, przy czym nasycenie linii rezonansu elektronicznego tego rodzaju rodnika zwiększa, przez efekt Overhauser-Abragama, natężenie sygnału o częstości larmorowskiej jąder atomowych. Wspomniane jądra mają najkorzystniej bardzo słaby moment kwadrupolowy.

Tytułem przykładu pojemnik 2a zawiera roztwór 3a w ilości 200 cm³ wody zawierającej w roztworze 0,5 G siarczanu peroksydaminy (SO₃)₂ NOK₂, którego częstość rezonansowa w polu zerowym jest rzędu 56 MHz, podczas gdy pojemnik 2b zawiera roztwór 3b w ilości 200 cm³ C₆H₄ (CF₃)₂ pod postacią meta, nasyconego siarczanem peroksydaminy.

Obydwa pojemniki 2a, 2b są umocowane sztywno jeden względem drugiego za pomocą sztywnego złącza 2 i linia rezonansu elektronowego o częstości 56 MHz siarczanu peroksydaminy, zawartej w każdym z pojemników, jest nasycona za

pomocą odpowiedniej cewki 4a, 4b umieszczonej w jednym ze wspomnianych pojemników i zasilanych przez wspólny przewód 5 z generatora lub oscylatora wielkiej częstości 6, dającego napięcie sinusoidalne o częstości równej 56 MHz, przy czym moc zużywana przez oscylator jest na przykład rzędu wata.

Wskutek nasycenia linii rezonansu elektronowego o częstości 56 MHz siarczanu peroksydaminy, natężenie sygnału rezonansu magnetycznego protonów roztworu 3a i jąder fluoru roztworu 3b w polu magnetycznym o natężeniu H, znajdującym się w strefie 7 zajmowanej przez pojemniki 2a i 2b, zostaje zwiększone przez efekt Overhauser-Abragama.

Sygnał o częstości larmorowskiej w każdym pojemniku 2a i 2b jest wykrywany za pomocą konstrukcji typu oscylatora spinu, opisanego we wspomnianym wyżej patencie nr 2 z powołaniem się na fig. 4 tego patentu.

Każda z tych konstrukcji zawiera dwa uzwojenia 8a i 8b oraz 9a i 9b, które otaczają pojemnik i które mogą na przykład zawierać odpowiednio 6000 i 200 zwojów. Pomiędzy uzwojeniami zewnętrznymi 8a, 8b i 9a, 9b z jednej strony i cewkami wewnętrznymi 4a, 4b z drugiej strony jest przewidziany znany ekran elektryczny (nie pokazany na rysunku), praktycznie nieprzepuszczający promieniowania elektromagnetycznego o częstości 56 MHz, lecz przepuszczający promieniowanie rezonansu magnetycznego o częstości odpowiednio równej:

$$f_1 = \frac{\gamma_1}{2\pi} \cdot H \text{ i } f_2 = \frac{\gamma_2}{2\pi} \cdot H$$

Tylko ze względu na przejrzystość rysunku przedstawiono uzwojenia 8a, 8b i 9a, 9b odsunięte od pojemników 2a, 2b.

Pomiędzy zaciskami każdego z uzwojeń 8a, 8b znajdują się dwa kondensatory 10a, 10b, przy czym zespoły 8a — 10a, 8b — 10b tworzą obwód rezonansowy nastrojony odpowiednio na częstość larmorowską f_1, f_2 .

Każde uzwojenie 8a, 8b jest połączone z wzmacniaczem liniowym 11a, 11b bez zniekształcania faz, przy czym wzmacniacz ten jest najkorzystniej wzmacniaczem selektywnym o wąskim paśmie przepuszczania, nastawionym odpowiednio na częstość f_1 lub f_2 . W takim przypadku selektywność obwodu rezonansowego (którego współczynnik przebiegu lub współczynnik dobroci może być rzędu 4 lub 5, ażeby zmniejszyć przeciąganie częstotliwości i wzmacniacza eliminują znaczną część szumu reaktancji i zwiększają przez to stosunek sygnału do szumu.

Dwa wzmacniacze 11a, 11b, które mogą mieć wzmocnienie rzędu 70 decybeli, zasilają poprzez oporności 13a, 13b, rzędu 100 000 omów, uzwojenia 9a, 9b. Środkowe punkty uzwojeń 8a, 8b i 9a, 9b i wzmacniacze 11a, 11b każdego kanału są połączone z masą.

Osie uzwojeń 8a, 8b i 9a, 9b są wzajemnie prostopadłe, ażeby zrealizować odsprężania elektryczne każdej pary uzwojeń 8a—9a i 8b—9b. Szczątkowe sprzężenie jest doprowadzone do minimum za

pomocą potencjometrów równoważących 14a, 14b o oporności 25000 omów. W tych warunkach od-sprężenia elektrycznego jedynie zjawisko rezonansu jądrowego może sprzęgać uzwojenia 9a, 8a z jednej strony, a uzwojenia 8b, 9b z drugiej strony.

Gdy w uzwojeniach 8a, 8b indukują się zmienne siły elektromotoryczne indukcji jądrowej o częstotliwości larmorowskiej, odpowiadającej polu magnetycznemu o natężeniu H i odpowiednio stosunkowi giromagnetycznemu γ_1 i γ_2 , to każda siła elektromotoryczna jest wzmacniana przez wzmacniacze 11a, 11b, następnie jest doprowadzana do uzwojenia 9a, 9b, któremu pole magnetyczne zapewnia stan ustalony tej elektromotorycznej siły, a to powoduje utrzymanie drgań.

Można powiedzieć, że zespół 8a, 11a, 9a wraz z pojemnikiem 2a z jednej strony, a zespół 8b, 11b, 9b wraz z pojemnikiem 2b z drugiej strony tworzą właściwy oscylator kwantowy, odpowiadający klasycznemu oscylatorowi ze sprzężeniem zwrotnym, w którym krzywa rezonansu jądrowego gra rolę krzywej obwodu drgającego w oscylatorach klasycznych. Gdy zachodzi sprzężenie przy częstotliwości larmorowskiej, to oscylator drga z tą częstotliwością.

Jeżeli więc założy się że natężenie $H = 0$, to do wzmacniacza 11a, 11b nie będzie doprowadzony prąd wskutek odsprężnienia uzwojeń 8a—9a, 8b—9b. Natomiast gdy natężenie H jest różne od zera, to momenty magnetyczne jąder wodoru roztworu 3a i jąder fluoru roztworu 3b ulegają precesji częstotliwości larmorowskiej i każdy generator lub oscylator jądrowy 1a, 1b, a w szczególności każdy wzmacniacz 11a, 11b przesyła napięcie o częstotliwości równej wspomnianej częstotliwości larmorowskiej, bądź f_1 dla wzmacniacza 11a, bądź f_2 dla wzmacniacza 11b.

Dodatkowe szczegóły konstrukcji i działania każdego z oscylatorów spinu są podane w wyżej wymienionym patencie nr 2.

Mieszacz 15 otrzymuje napięcie o częstotliwości f_1 i f_2 , podawane przez wyjścia 12a, 12b i przesyła z wyjścia 24 sygnał o częstotliwościach f_1 , f_2 , $f_1 + f_2$ i $f_1 - f_2$. Filtr pasmowy 16 pozwala na przechodzenie tylko częstotliwości $f_1 - f_2$ (gdy γ_1 i γ_2 są dodatnie, jak w wybranym przykładzie), lub też $f_1 + f_2$ (gdy γ_1 i γ_2 mają przeciwne znaki), na które jego pasmo przepuszczania jest nastawione.

Zgodnie z wzorami 5 (lub 5a jeżeli γ_1 i γ_2 mają przeciwne znaki) częstotliwość f_3 napięcia wychodzącego z filtru 16 jest ściśle proporcjonalna do natężenia H pola magnetycznego przeznaczonego do zmierzenia w strefie 7 i jest niezależna od prędkości katowej ω .

Częstotliwość f_3 jest mierzona znany częstotściomierzem 17, a wielkość tej częstotliwości może być zapisana za pomocą aparatu rejestrującego 18.

W wybranym przykładzie i w przypadku gdy mierzy się natężenie H (rzędu 0,5 gaussa) pola magnetycznego ziemskiego: $f_1 = 2100$ Hz, $f_2 = 1975$ Hz i $f_3 = 125$ Hz.

W przykładzie rozwiązania według wynalazku przedstawionym na fig. 1, pojemnik 2a może również zawierać roztwór siarczanu peroksydaminy na-

sycony metafosforanem sodu, przy czym druga cząstka jest więc fosforem. Tylko nastrajane częstotliwości f_2 i f_3 są różne.

Na fig. 2 przedstawiono sposób wykonania mieszacza 15.

Napięcia o częstotliwości f_1 i f_2 , podawane z wyjść 12a i 12b wzmacniaczy 11a i 11b, przychodzą odpowiednio na oporności 19a, 19b o wielkości odpowiednio 10 000 omów i 33 000 omów. Właściwy mieszacz jest utworzony z tranzystora, na przykład z tranzystora krzemowego typu pnp, takiego jak tranzystor BEZ 11, którego baza 21 jest zasilana siłą elektromotoryczną o częstotliwości f_2 poprzez oporność 19b i do którego kolektora 22 doprowadzona jest częstotliwość f_1 poprzez oporność 19a, podczas gdy emiter 23 jest połączony z masą. Wyjście przewodu 24 jest połączone z kolektorem 22. W przewodzie tym uzyskuje się wzmocnioną składową o częstotliwości $f_1 - f_2$. W innym przykładzie wykonania wyjście 12a i przewód 24 mogą być połączone z emiterem, przy czym kolektor jest wtedy połączony z masą.

Na fig. 1 przedstawiono dwa pojemniki 2a i 2b połączone sztywno za pomocą złączki 2. Jest oczywiste, że te dwa pojemniki mogą być również sklejone. Jest również możliwe umieszczenie obydwóch zespołów cząstek (protonów i jąder fosforu lub protonów i jąder fluoru), których rezonans jest wykrywany, w jednym tylko pojemniku, z którym byłyby jednocześnie sprzężone dwie pary uzwojeń 8a, 9a oraz 8b, 9b.

Jakkolwiek wynalazek został przedstawiony w przypadku zrealizowania dwóch oscylatorów spinu, typu opisanego w wymienionym wyżej patencie nr 2 z powołaniem się na fig. 4, zwłaszcza z zespołami protonów z jednej strony i z zespołami jąder fosforu lub fluoru z drugiej strony, wynalazek może być również zrealizowany z tymi samymi zespołami cząstek, z innymi typami generatorów rezonansu magnetycznego, na przykład z generatorami typu maser, opisanymi w patencie nr 2 lub z generatorami o swobodnej precesji, również opisanymi w patencie nr 2, przy czym te dwa typy generatorów najkorzystniej realizują efekt Overhauser — Abrahama.

Siarczan peroksydaminy został również wskazany jako przykład roztworu o wolnym rodniku paramagnetycznym (to znaczy o niesparowanym elektronie) zastosowanym w pojemnikach 2a i 2b. Zamiast tego rodzaju roztworu można by zastosować roztwory dwufenylopirolohydroksylo lub wolnego rodnika zawierającego zgrupowanie nitroksydorodnikowe, którego atom azotu jest poza tym związany wyłącznie z dwoma atomami węgla, z których każdy jest związany z trzema innymi atomami węgla, w szczególności jeden z wolnych rodników wymienionych w patencie nr 2. Oczywiście częstotliwość nasycenia linii rezonansu elektronowego, która w przypadku soli Fremy wynosi 56 MHz, zamienia jeden wolny rodnik paramagnetyczny na drugi.

Wreszcie w przypadku gdy jeden zespół cząstek podatomowych jest utworzony z zespołu jąder helu 3, to generator częstotliwości larmorowskiej odpowiadający tym jądom jest najkorzystniej

utworzony z generatora o pompowaniu optycznym, opisanego przez L. D. Schearera w „Advances in Quantum Electronics” na str. 239—251 (wydawca J. R. Singer — Columbia University Press, New York et Londres, 1961).

Jest rzeczą oczywistą, że wynalazek nie ogranicza się jedynie tylko do przytoczonych przykładów rozwiązań przedstawionych bardziej szczegółowo, ale obejmuje on również wszystkie jego odmiany.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru natężenia pola magnetycznego, zwłaszcza słabego pola magnetycznego (o natężeniu poniżej 1 gaussa) znajdującego się w określonej strefie pomiarowej na pokładzie poruszającego się środka przenoszenia za pomocą wykrywania sygnałów rezonansu magnetycznego cząstek podatomowych, zwłaszcza jąder atomowych o ściśle określonym stosunku giromagnetycznym, **znamienny tym**, że we wspomnianej strefie wykrywa się dwa sygnały rezonansu magnetycznego dwóch zespołów cząstek podatomowych o różnych stosunkach giromagnetycznych, unieruchomionych względem siebie, a następnie z tych dwóch sygnałów wyprowadza się trzeci sygnał, którego częstość jest równa różnicy algebraicznej częstości tych dwóch sygnałów rezonansu magnetycznego, przy czym na te dwie ostatnie częstości oddziałuje znak stosunku giromagnetycznego odpowiednich cząstek, a wreszcie mierzy się częstość tego trzeciego sygnału, który jest proporcjonalny do natężenia H przeznaczonego do zmierzenia pola magnetycznego i jest niezależny od obracania się wspomnianych zespołów w stosunku do tego pola magnetycznego.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cząstki podatomowe o różnych stosunkach giromagnetycznych są utworzone odpowiednio z protonów i z jąder fluoru.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cząstki podatomowe o różnych stosunkach giromagnetycznych są utworzone odpowiednio z protonów i z jąder fosforu.
4. Sposób według zastrz. 2 lub 3, **znamienny tym**, że cząstki podatomowe stanowią część rozpuszczalnika, który rozpuszcza wolny rodnik paramagnetyczny zawierający niesparowany elektron mający linię rezonansu elektronowego nadającą się do nasycenia nierówną zeru częstością w zerowym polu magnetycznym.
5. Sposób według zastrz. 4, **znamienny tym**, że wolny rodnik paramagnetyczny jest utworzony z siarczanu peroksydaminy.
6. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podatomowe cząstki o różnych stosunkach gi-

romagnetycznych są utworzone z protonów i jąder helu 3.

7. Urządzenie do stosowania sposobu według zastrz. 1 zawierające generatory rezonansu magnetycznego, wzbudzające napięcie o larmorowskiej częstości cząstki podatomowej o ściśle określonym stosunku giromagnetycznym oraz częstotściomierz, **znamienny tym**, że zawiera dwa generatory rezonansu magnetycznego (1a, 1b) z dwoma unieruchomionymi względem siebie zespołami cząstek podatomowych o różnych stosunkach giromagnetycznych, przy czym generatory te wzbudzają dwa napięcia o dwóch różnych częstościach f_1 , f_2 oraz zespoły (15, 16) połączone z wyjściami tych generatorów i przeznaczone do odbierania tych dwóch napięć i wysyłania trzeciego napięcia, którego częstość f_3 jest równa różnicy algebraicznej częstości dwóch pierwszych napięć, przy czym wspomniany częstotściomierz (17) jest połączony z wyjściem powyższych zespołów (15, 16) w celu odbierania tego trzeciego napięcia i mierzenia jego częstości.
8. Urządzenie według zastrz. 7, **znamienny tym**, że co najmniej jeden z generatorów rezonansu magnetycznego jest utworzony z oscylatora spinu, zawierającego dwa uzwojenia (8a, 8b i 9a, 9b) elektrycznie odsprężone przy braku rezonansu magnetycznego, przy czym pierwsze ze wspomnianych uzwojeń (8a, 8b) wzbudza drugie ze wspomnianych uzwojeń (9a, 9b), poprzez wzmacniacz liniowy (11a, 11b) bez zniekształcenia fazowego, przy czym ten wzmacniacz jest najkorzystniej typu selektywnego o wąskim pasmie przepuszczania nastawionym na częstość larmorowską, odpowiadającą stosunkowi giromagnetycznemu podatomowej cząstki, która tworzy zespół z którym jest sprzężony generator.
9. Urządzenie według zastrz. 7 lub 8, **znamienny tym**, że zespoły (15, 16), przeznaczone do odbierania dwóch napięć o częstości f_1 i f_2 i wysyłania trzeciego napięcia o częstości f_3 , są utworzone z mieszacza (15) tych dwóch napięć wysyłanych do filtru pasmowego (16), którego pasmo przepuszczania jest nastawione na średnią wartość algebraicznej różnicy tych dwóch wspomnianych częstości, przy czym na częstości te wpływa znak stosunku giromagnetycznego podatomowych cząstek odpowiadających każdej częstości.
10. Urządzenie według zastrz. 9, **znamienny tym**, że mieszacz (15) jest utworzony z tranzystora (20), którego bazę (21) zasila jedno z dwóch napięć o częstości f_1 i f_2 poprzez pierwszą oporność (19b), przy czym drugie z tych dwóch napięć doprowadzone jest poprzez drugą oporność (19a) na drugą elektrodę tranzystora (22), który wysyła sygnał wyjściowy.

