

(19)



REPUBLIKA SLOVENIJA
Urad RS za intelektualno lastnino

(10) **SI 20995 A**

(12)

PATENT

(21) Številka prijave: **200100178**

(51) MPK: **G01R 33/44**, **F42D 5/02**

(22) Datum prijave: **03.07.2001**

(45) Datum objave: **28.02.2003**

(72) Izumitelji: **BLINC Robert, 1000 Ljubljana, SI;**
SELIGER Janez, 1000 Ljubljana, SI;
APIH Tomaž, 1000 Ljubljana, SI;
LAHAJNAR Gojmir, 1000 Ljubljana, SI

(73) Imetnik: **INSTITUT "JOŽEF STEFAN", Jamova 39, 1000 Ljubljana, SI**

(74) Zastopnik: **ITEM d.o.o. Zastopniška pisarna za patente in blagovne znamke, Resljeva 16, 1000 Ljubljana, SI**

(54) **POLARIZACIJSKO OJAČANA 14N JEDRSKA KVADROPOLNA REZONANČNA DETEKCIJA TNT IN DRUGIH EKSPLOZIVNIH SNOVI V MINAH S KVADROPOL-KVADROPOL "SOLID" EFEKTOM**

(57) Predmet izuma je nova metoda za odkrivanje predvsem trinitrotoluena (TNT) in drugih eksplozivov, ki vsebujejo skupine NO₂, pa tudi narkotikov in drugih snovi. Metoda po izumu je polarizacijsko ojačana jedrska kvadropolna resonanca jeder 14N. Metoda po izumu izboljša razmerje signala napram šumu za nekajkrat in za red velikosti skrajša potrebni čas meritve. Metoda temelji na prenosu polarizacije s kvadropolarnega sistema spinov 17O, ki ima razmeroma visoke JKR resonančne frekvence, na kvadru-

polarni sistem 14N, ki ima nizke JKR resonančne frekvence, s pomočjo kvadropol-kvadropol "solid" efekta med kvadropolarnimi jedri 17O(I=5/2) in 14N (I=1) v ničelnem zunanjem polju. Metoda se lahko uporabi tudi za detekcijo eksplozivov v prtljagi in poštnih pošiljkah. Možna je tudi razširitev te metode na druga kvadropolna jedra kot vir povečane polarizacije, npr. 35Cl, tako da metoda ni omejena le na sisteme, ki vsebuje 17O.

SI 20995 A

Polarizacijsko ojačana ^{14}N jedrska kvadрупolna resonančna detekcija TNT in drugih eksplozivnih snovi v minah s kvadрупol-kvadрупol »solid« efektom

Predmet izuma je nova metoda za odkrivanje predvsem trinitrotoluena (TNT) in drugih eksplozivov, ki vsebujejo skupine NO_2 , pa tudi narkotikov in drugih snovi. Metoda po izumu je polarizacijsko ojačana ^{14}N jedrska kvadрупolna resonanca. Metoda po izumu izboljša razmerje signala napram šumu za nekajkrat in za red velikosti skrajša potrebni čas meritve. Metoda temelji na prenosu polarizacije s kvadрупolarnega sistema spinov ^{17}O , ki ima razmeroma visoke JKR resonančne frekvence, na kvadрупolarni sistem ^{14}N , ki ima nizke JKR resonančne frekvence, s pomočjo kvadрупol-kvadрупol »solid« efekta med kvadрупolarnimi jedri ^{17}O ($I = 5/2$) in ^{14}N ($I = 1$) v ničelnem zunanem polju. Metoda se lahko uporabi tudi za detekcijo eksplozivov v prtljagi in poštnih pošiljkah. Možna je tudi razširitev te metode na druga kvadрупolna jedra kot vir povečane polarizacije, npr. ^{35}Cl , tako da metoda ni omejena le na sisteme, ki vsebujejo ^{17}O .

Izum spada na področje fizike, in sicer se nanaša na postopke merjenja in testiranja električnih in magnetnih lastnosti ali spremenljivk s pomočjo dvojnoresonančne tehnike.

Iskanje plastičnih min, ki jih z detektorji kovin ne moremo zaznati, se še danes vrši večinoma ročno. Jedrska kvadрупolna resonanca (JKR) omogoča odkrivanje plastičnih min »na daljavo«, če vsebujejo eksplozive z dovolj visokimi JKR frekvencami, in tako eliminira potrebo ročnega iskanja min, ki je izredno nevarno. Princip je opisan v V. S. Grechishkin, N. J. Sinyavsky, *Physics-Uspekhi* 40, 393-406 (1997) »New Technologies: Nuclear Quadrupole Resonance as an explosive and narcotic detection technique« (1a), pa tudi v V. S. Grechishkin, Z. *Naturforsch.* 45a, 559-564 (1990), »New Methods of Nuclear Quadrupole Resonance« (1b).

Osnovno eksplozivno polnilo vseh antipehotnih min in še posebej min ruskega, jugoslovanskega, italijanskega, ameriškega in južnoafriškega izvora so 4 spojine: trinitrotoluen (TNT), cyclotrimetilentetramin (RDX), cyclotetrametilentetramine (HMX) in pentoeritrittetranitrat (PETN) ali kombinacija teh spojin. Najmanjša količina teh eksplozivov v

antipehotnih minah je 35 - 100 g. Vse te snovi imajo karakteristične skupine, ki vsebujejo ^{14}N , in jih lahko karakteriziramo in odkrivamo z jedrsko kvadrupolno resonanco (JKR) ^{14}N . V odsotnosti zunanjega magnetnega polja ima jedro ^{14}N ($I = 1$) tri JKR linije:

$$\nu_+ = \frac{3}{4} \left(\frac{e^2 q Q}{h} \right) (1 + \eta) \quad (1)$$

$$\nu_- = \frac{3}{4} \left(\frac{e^2 q Q}{h} \right) (1 - \eta) \quad (2)$$

$$\nu = \nu_+ - \nu_- \quad (3),$$

ki so specifične za dano vrsto eksploziva. Tu je $e^2 q Q / h$ kvadrupolna sklopitvena konstanta, η pa asimetrijski parameter.

Z direktno klasično JKR detekcijo RDX, HMX in PETN ni posebnih težav niti v laboratoriju niti pri odkrivanju antipehotnih min na terenu. To je posledica dejstva, da so v teh primerih JKR frekvence ^{14}N razmeroma visoke, kar omogoča dobro razmerje signala napram šumu in zato ne zahteva predolgega povprečevanja. JKR frekvence ^{14}N v RDX so tako na primer $\nu_+ = 5198$ kHz, $\nu_- = 3415$ kHz in v HMX $\nu_+ = 5310$ kHz, $\nu_- = 3740$ kHz.

Situacija je povsem drugačna v primeru TNT, ki je osnovna sestavina min ruskega in jugoslovanskega izvora. Frekvence ν_+ in ν_- vseh treh $-\text{NO}_2$ grup v TNT so v področju pod 1000 kHz, kar je preprečevalo JKR detekcijo TNT vsebujočih min. Potrebni časi povprečevanja signala so namreč tako dolgi, da JKR metoda tu ni praktično uporabna. Problem je opisan v literaturi, navedeni pod (1), in v J. P. Yesinowski, M. L. Buess, A. N. Garroway, "Detection of N-14 and Cl-35 in cocaine base and hydrochlorate using NQR, NMR and Squid techniques", Anal. Chem, 67, 2256-2263 (1995) (2). Dodatna komplikacija je, da je TNT v minah zmes ortorombske in monoklinske modifikacije TNT (članek R. A. Marino and R. F. Connors, J. Mol. Structure 111, 323-328 (1983) (3), kar privede do nadaljnje razširitve JKR črt in do zmanjšanja razmerja signala napram šumom. V eksplozivu so ponavadi prisotne tudi nečistoče kot sta para- in dinitrotoluen, nastala pri sintezi.

Uporaba klasične JKR za detekcijo eksplozivov in narkotikov izven resonančne tuljave je poznana že vrsto let. Problem daljinske detekcije je rešen z uporabo površinskih tuljav, problem piezo-resonanc pa z uporabo faznega cikliranja. Metodologija JKR je opisana v delu

(1a) ter v več člankih A. N. Garrowaya in sodelavcev (2), B. H. Suits, A. N. Garroway, J. B. Miller, "Super-Q detection of transient magnetic resonance signals", J. Magn. Reson. 132, 54-64 (1998) (4) in B. H. Suits, A. N. Garroway, J. B. Miller, "Noise-immune coil for unshielded magnetic resonance measurements", J. Magn. Reson. 131, 154-158 (1998) (5).

Omenjena metoda je popisana tudi v vrsti patentov, katerih avtor je dr. Allan Garroway:

- United States Patent 5,206,592 (M. L. Buess, A. N. Garroway, J. B. Miller: "Detection of explosives by nuclear quadrupole resonance");
- United States Patent 5,233,300 (M. L. Buess, A. N. Garroway, J. B. Miller: "Detection of explosives and narcotics by low power large sample volume nuclear quadrupole resonance (NQR)");
- United States Patent 5,365,171 (M. L. Buess, A. N. Garroway, J. P. Yesinowski: "Removing the effects of acoustic ringing and reducing temperature effects in the detection of explosives by NQR");
- United States Patent 5,592,083 (E. E. Magnuson, C. R. Moeller, J. D. Shaw, G. A. Sheldon: "System and method for contraband detection using nuclear quadrupole resonance including a sheet coil and RF shielding via waveguide below cutoff");
- United States Patent 5,804,967 (J. B. Miller and A. N. Garroway: "Apparatus and method for generating short pulses for NMR and NQR processing").

Zaradi prenizkih resonančnih frekvenc in zato preslabega razmerja signala napram šumu ni doslej opisana nikakršna direktna JKR metoda, ki bi omogočala daljinsko detekcijo min, vsebujočih TNT, v za praktično uporabo sprejemljivem času. Detekcija je možna, če povečamo polarizacijo sistema jeder ^{14}N s prenosom protonske polarizacije s križanjem nivojev $^{14}\text{N} - \text{H}$ v magnetnem polju, vendar je ta metoda tehnično zahtevna in draga, saj predpostavlja, da na mestu antipehotne mine ustvarimo statično magnetno polje 0,1 T ali višje. Iskalec min mora tu nositi s seboj tudi magnet ali magnetno tuljavo, ki ustvarja statično magnetno polje, kar je težko izvedljivo. Detekcija ^{14}N v TNT v laboratoriju je seveda možna s $\text{H} - ^{14}\text{N}$ dvojno resonanco (R. Blinc, J. Seliger, D. Arčon, P. Cevc, and V. Žagar, *physica status solidi* (a) 180, 541-545 (2000) " $\text{H} - ^{14}\text{N}$ Double Resonance of TNT from a Land Mine") (6). Posebej je treba poudariti, da na terenu uporaba jedrske dvojne resonance $\text{H} - ^{14}\text{N}$ za odkrivanje min ne pride v poštev, ker je v zemlji, ki obdaja TNT vsebujočo mino, preveč

protonov, ki niso dipolno sklopljeni z dušikovimi jedri v TNT molekuli in zato povsem zabrišejo dvojnoresonančni protonski signal iz TNT.

Edina metoda, ki deluje, je direktna detekcija ^{14}N v TNT z JKR. Za praktično uporabnost pa je treba JKR signal ^{14}N v TNT-ju ojačiti. Povedali smo že, da omenjena ojačitev s klasičnimi metodami jedrske dvojne resonance ni možna. Prav tako ni možna ojačitev s "solid" efektom med protoni in ^{14}N ((1b), "S. V. Anferova, V. S. Grechishkin, G. V. Mozzhukin, Journal of Structural Chemistry 27, 50-53 (1986), Solid Effect in Double Quadrupole-Resonance of Nitrogen Nuclei in Amino-Groups (6), S. V. Anferova, V. S. Grechishkin, N. Y. Sinyavskii, Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeni Fizika 28, 110-111 (1985), 2-Frequency Solid-Effect on Nuclei N-14 (7)) , ker je relaksacijski čas protonov TNT v ničelnem magnetnem polju prekratek (T_1 protonov TNT v $B = 0$ je krajši od 0,1 sekunde). Ojačitev z adiabatno demagnetizacijo in križanjem nivojev $^{14}\text{N} - \text{H}$ je sicer možna, vendar je draga in za terensko delo ni preveč primerna, kot smo že omenili.

Znane metode torej ne omogočajo cenenega, zanesljivega in v sprejemljivem času praktično izvedljivega odkrivanja eksplozivnih sredstev, ki vsebujejo TNT. Prav tako ne omogočajo dovolj hitrega odkrivanja nekaterih narkotikov.

Predmet izuma je metoda, ki omogoča zvečanje razmerja signal/šum jedrske kvadrupolne resonance ^{14}N in s tem odkrivanje eksplozivnih sredstev, ki vsebujejo TNT, ali drugih sredstev, pa tudi narkotikov v za praktično uporabo sprejemljivem času ob sprejemljivi ceni.

Po izumu je naloga rešena s polarizacijsko ojačano jedrsko kvadrupolno resonančno detekcijo ^{14}N v TNT in z detekcijo drugih eksplozivnih snovi v minah in drugih snoveh, tudi narkotikih s kvadrupol-kvadrupol »solid« efektom po neodvisnih patentnih zahtevkih.

Polarizacijsko ojačana jedrska kvadrupolna resonančna detekcija ^{14}N v TNT in detekcija drugih eksplozivnih snovi v minah s kvadrupol-kvadrupol »solid« efektom po izumu izboljša razmerje signala napram šumu za nekajkrat in skrajša potrebni čas meritve za red velikosti. Metoda je uporabna tako v laboratoriju kot tudi na terenu, ker so mine zakopane 5 – 15 cm pod zemljo. Metoda temelji na zvečanju polarizacije jeder ^{14}N z $^{17}\text{O} - ^{14}\text{N}$ kvadrupol-

kvadrupol "solid" efektom v ničelnem zunanjem polju in na klasični daljinski JKR detekciji signala ^{14}N . Možna je tudi razširitev te metode na druga kvadrupolna jedra kot vir povečane polarizacije, npr. ^{35}Cl , tako da metoda ni omejena le na sisteme, vsebujoče ^{17}O .

Izum bo opisan na osnovi izvedbenega primera in slik, ki prikazujejo:

Slika 1

Hkratni prehodi med energijskimi nivoji ^{17}O in ^{14}N v skupinah $^{14}\text{N} - ^{17}\text{O}$ in prenos polarizacije na ostala jedra ^{14}N .

Slika 2

Časovni potek meritve. Polarizacija dušikovih jeder (zgoraj) in vzbujevalni pulz ter NQR signal ^{14}N (spodaj).

Slika 3

Shema merilnika za detekcijo eksplozivov s polarizacijsko ojačano NQR.

TNT vsebuje dve vrsti kvadrupolarnih jeder, ^{14}N in ^{17}O . Jedra se nahajajo v skupinah $-\text{NO}_2$ in so dipolarno sklopljena. Jedra ^{17}O (naravna koncentracija je 0,037 %) imajo spin 5/2 in zato troje dvakrat degeneriranih kvadrupolarnih energijskih nivojev v ničelnem zunanjem polju. Omenjene energijske nivoje dobimo s pomočjo rešitev sekularne enačbe

$$x^3 - 7(3 + \eta^2)x - 20(1 - \eta^2) = 0.$$

Tu je energijski nivo E podan z $E = x.A$, pri čemer je $A = e^2Qq/40$, e^2Qq kvadrupolna sklopitvena konstanta ^{17}O , η pa asimetrijski parameter. Za dano jedro ^{17}O dobimo tri jedrske kvadrupolne resonančne frekvence

$$\nu_{5/2,1/2} > \nu_{5/2,3/2} > \nu_{3/2,1/2}.$$

Vsi trije prehodi so dovoljeni, če je asimetrijski parameter različen od 0.

Pri skupini NO₂ je prehod 5/2 v 3/2, ki je razmeroma močan, okoli 3,2 MHz.

Z močnim radiofrekvenčnim poljem s frekvenco, ki ustreza razliki prehodov med kvadrupolarnimi nivoji jedra ¹⁷O in jedra ¹⁴N (slika 1)

$$\nu = \nu_O - \nu_N,$$

povzročamo hkratne prehode v obeh spinskih sistemih in tako prenašamo polarizacijo s sistema ¹⁷O na sistem ¹⁴N. Zaradi dipolarne sklopitve med jedri ¹⁴N se omenjena povečana polarizacija prenese tudi na ostala jedra ¹⁴N, to je na tista jedra, ki v skupini NO₂ nimajo jedra ¹⁷O, pač pa jedro ¹⁶O.

V ravnovesju je polarizacija dušika S, ki je sorazmerna JKR signalu dušika pri frekvenci ν_N , povečana napram polarizaciji S₀ brez kvadrupol-kvadrupol "solid" efekta za faktor

$$S/S_0 = 1 + \left(\frac{\nu_0}{\nu_N} - 1 \right) \frac{\varepsilon W_s W_0}{W_N W_O + W_s (\varepsilon W_0 + W_N)}.$$

Tu je:

S₀ ... ravnovesni JKR signal ¹⁴N brez dodatnega obsevanja

S ... ravnovesni JKR signal ¹⁴N z dodatnim obsevanjem

W_s... verjetnost za hkratni prehod na enoto časa pri kvadrupol-kvadrupol "solid" efektu

W₀ ... hitrost spin-mrežne relaksacije kisika ¹⁷O (približno 1000 s⁻¹)

W_N... hitrost spin-mrežne relaksacije dušika ¹⁴N (približno 0,3 s⁻¹)

ε ... razmerje med številom jeder ¹⁷O in ¹⁶O jeder.

Pri veliki vrednosti W_s (W_s > W₀) je ojačanje S/S₀ približno enako

$$(S/S_0) \approx 1 + \frac{3}{1 + 2500 \frac{W_N}{W_0}}.$$

Pri tipičnih vrednostih $W_0/W_N = 3 \times 10^3$ tako dobimo S/S_0 je približno 2,5, kar ustreza skrajšanju potrebnega merilnega časa za faktor 7. Čas, v katerem se vzpostavi ravnovesna dušikova magnetizacija, je približno

$$(\varepsilon W_0)^{-1} = 3s.$$

Ker je $W_S = \left(\frac{\omega_D}{\omega_N} \omega_1 \right)^2 \frac{1}{\omega_D}$, pri čemer je ω_D dipolarna širina črte (približno $3 \text{ kHz} \cdot 2\pi$),

$\omega_N = 2\pi \cdot \nu_N$, $\omega_1 = \gamma \cdot B_1$, potrebujemo kar visoke amplitude radiofrekvenčnega polja B_1 (večje ali enake od 100 Gaussov), da je gornji pogoj izpolnjen. Treba pa je seveda poudariti, da sama amplituda B_1 ni kritična, saj manjše B_1 dajo manjše ojačanje, sam efekt pa ne izgine, ker ne gre za resonančni pogoj.

Izvedbeni primer

Shematska predstavitev predlagane metode je podana na slikah 1, 2 in 3. Slika 1 prikazuje fizikalno osnovo ojačanja polarizacije ^{14}N s hkratnimi prehodi med energijskimi nivoji ^{17}O in ^{14}N . Slika 2 prikazuje časovni potek meritve: ojačanje polarizacije ^{14}N s hkratnimi prehodi med energijskimi nivoji ^{17}O in ^{14}N (zgoraj) in detekcijo polarizacijsko ojačanega NQR signala ^{14}N (spodaj). Slika 3 prikazuje shemo merilnika za detekcijo eksplozivov s polarizacijsko ojačano NQR.

Za učinkovito uporabo te metode mora biti spin-mrežni relaksacijski čas (T_1) dušika dovolj dolg (v TNT je temu pogoju zadoščeno, saj je T_1 v ničelnem polju približno 3 s), spin-mrežni relaksacijski čas drugega kvadrupolnega jedra (to je ^{17}O) pa dovolj kratek (v TNT je tudi temu pogoju zadoščeno, saj je T_1 ^{17}O približno 1 ms), da lahko učinkovito prenesemo polarizacijo s kvadrupolnega sistema ^{17}O (ki ima razmeroma visoke JKR frekvence) na kvadrupolni sistem ^{14}N (ki ima v primeru TNT razmeroma nizke kvadrupolne resonančne frekvence) s kvadrupol-kvadrupol "solid" efektom. Prav tako mora biti spinska difuzija polarizacije jeder ^{14}N dovolj učinkovita, da se polarizira celotni sistem jeder ^{14}N in ne le tista jedra ^{14}N , ki so

neposredno vezana na skupine NO_2 , vsebujoče ^{17}O . Rezultati naših meritev kažejo, da so ti pogoji pri TNT v ničelnem zunanjem magnetnem polju pri sobni temperaturi izpolnjeni.

Metoda deluje predvsem pri vseh vrstah zemlje do globine ~ 15 cm, t.j. do globine, kjer je zakopanih večina antipehotnih min, in je tudi prisotnost vode v zemlji ne moti. Velikost radiofrekvenčnega polja, katerega frekvenca je enaka razliki kvadrupolarnih resonančnih frekvenc ^{17}O in ^{14}N , ki jih sklapljamo, ni kritična, če je le amplituda tako velika, da je pogoj $W_s > W_0$ izpolnjen. Za obsevanje z zgoraj omenjeno frekvenco, ki ustreza kvadrupol-kvadrupol »solid« efektu, lahko uporabimo isto tuljavo kot za detekcijo JKR signala ^{14}N . Oddajnik pa mora ustrezati večji moči. Metoda tako pomeni naravno razširitev daljinske JKR detekcije min z minimalnimi spremembami, omogoča pa bistveno povečanje razmerja signala napram šumu in detekcijo TNT vsebujočih antiosebnih min z vsebnostjo nad 35 mg TNT 15 cm pod zemljo v času, ki je za red velikosti krajši od časa, potrebnega za detekcijo s klasično JKR metodo.

Pomembno je poudariti, da pomeni sekvenca JKR prehodov TNT nekakšen »prstni odtis« te molekule, ki je za molekulo TNT specifičen, in da prisotnost drugih dušikovih spojin v preiskovanem vzorcu ne moti. V vzorcu eksploziva TNT, ki smo ga vzeli iz opuščene antipehotne mine jugoslovanskega izvora v Bosni, smo s pomočjo jedrske dvojne resonance ^1H - ^{14}N in s pomočjo polarizacijsko ojačene JKR spektroskopije ^{14}N določili dvanajst ^{14}N JKR v_+ in v_- linij, ki ustrezajo šestim kemijsko neekvivalentnim dušikom v vzorcu. Dodatna trinajsta linija, ki ima za razliko od ostalih 12 linij asimetrijski parameter η enak 0, pa verjetno pripada nečistočam v vzorcu. Frekvence omenjenih linij so zbrane v tabeli 1 in omogočajo enolično JKR karakterizacijo »vojaškega« TNT.

	ν_+ [kHz]	ν_- [kHz]	e^2qQ/h [kHz]	η
1	872	712	1056	0,303
2	861,5	769	1087	0,170
3	853	740,3	1064	0,208
4	850	718	1045	0,253
5	847	755	1068	0,172
6	836	742	1052	0,179
7	~807	~807	1076	~0

Tabela 1: JKR frekvence ^{14}N ν_+ in ν_- , kvadrupolne sklopitvene konstante e^2qQ/h in asimetrijskega parametra η »vojaškega« TNT pri $T = 25^\circ\text{C}$

Polarizacijsko ojačana jedrska kvadrupolna resonančna detekcija ^{14}N v TNT v minah in drugih eksplozivnih snoveh ter detekcija narkotikov po izumu je torej označena s tem, da polariziramo dušikova jedra na mestu TNT v NO_2 skupinah s pomočjo prenosa polarizacije s kvadrupolarnega sistema ^{17}O na kvadrupolarni sistem ^{14}N s kvadrupol-kvadrupol »solid« efektom, ki predpostavlja dodatno obsevanje vzorca v ničelnem magnetnem polju z dovolj močnim radiofrekvenčnim poljem, katerega frekvenca ustreza razliki frekvenc dveh izbranih kvadrupolarnih prehodov jeder ^{17}O in jeder ^{14}N in da tako povečano polarizacijo jeder ^{14}N , ki se s pomočjo spinske difuzije razširi na vsa jedra ^{14}N v vzorcu, detektiramo s klasično daljinsko pulzno JKR spektroskopijo ^{14}N , potem ko smo dodatno obsevalno radiofrekvenčno polje izklopili ter da gornji cikel polarizacije in detekcije lahko ponavljamo.

Pri polarizacijsko ojačani jedrski kvadrupolni resonanci ^{14}N je mogoče kot vir povečane polarizacije uporabljati tudi kvadrupolarna jedra z razmeroma visokimi kvadrupolarnimi frekvencami, npr. ^{35}Cl .

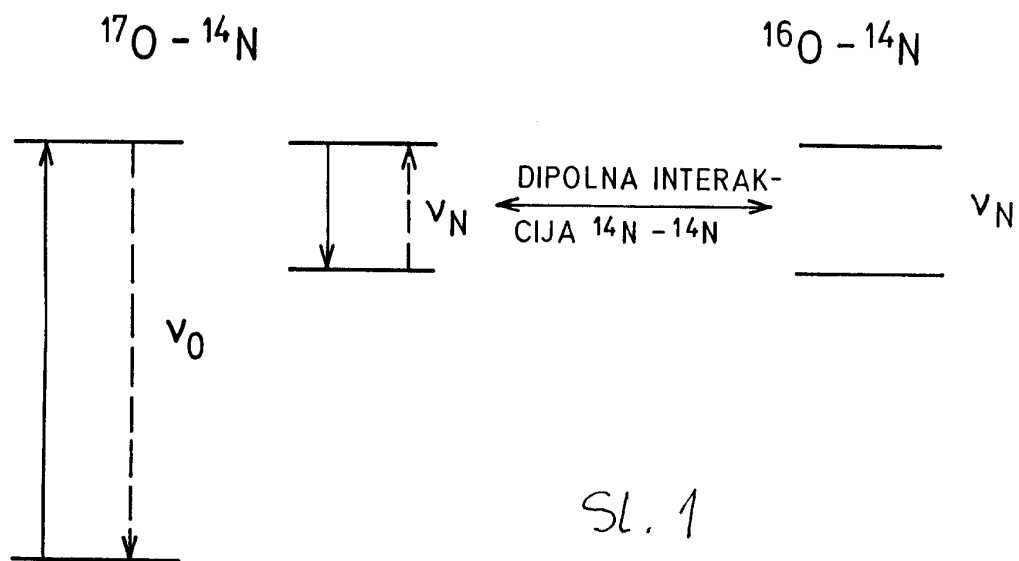
Handwritten signature

Patentni zahtevki

1. Polarizacijsko ojačana jedrska kvadrupolna resonančna detekcija ^{14}N v TNT v minah in drugih eksplozivnih snoveh ter detekcija narkotikov, označena s tem, da polariziramo dušikova jedra na mestu TNT v NO_2 skupinah s pomočjo prenosa polarizacije s kvadrupolarnega sistema ^{17}O na kvadrupolarni sistem ^{14}N s kvadrupol-kvadrupol »solid« efektom, kar predpostavlja dodatno obsevanje vzorca v ničelnem magnetnem polju z dovolj močnim radiofrekvenčnim poljem, katerega frekvenca ustreza razliki frekvenc dveh izbranih kvadrupolarnih prehodov jeder ^{17}O in jeder ^{14}N in da tako povečano polarizacijo jeder ^{14}N , ki se s pomočjo spinske difuzije razširi na vsa jedra ^{14}N v vzorcu, detektiramo s klasično daljinsko pulzno JKR spektroskopijo ^{14}N , potem ko smo dodatno obsevalno radiofrekvenčno polje izklopili ter da gornji cikel polarizacije in detekcije lahko ponavljamo.
2. Polarizacijsko ojačana jedrska kvadrupolna resonančna detekcija jeder ^{14}N po zahtevku 1, označena s tem, da se kot vir povečane polarizacije uporablja kvadrupolarna jedra z razmeroma visokimi kvadrupolarnimi frekvencami, npr. ^{35}Cl .

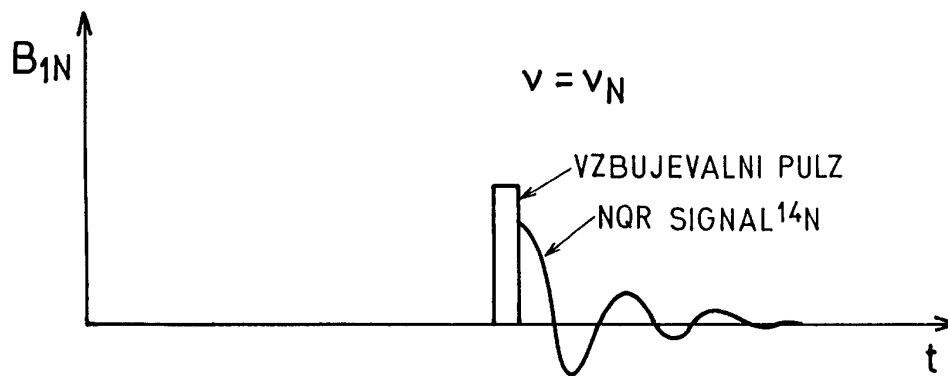
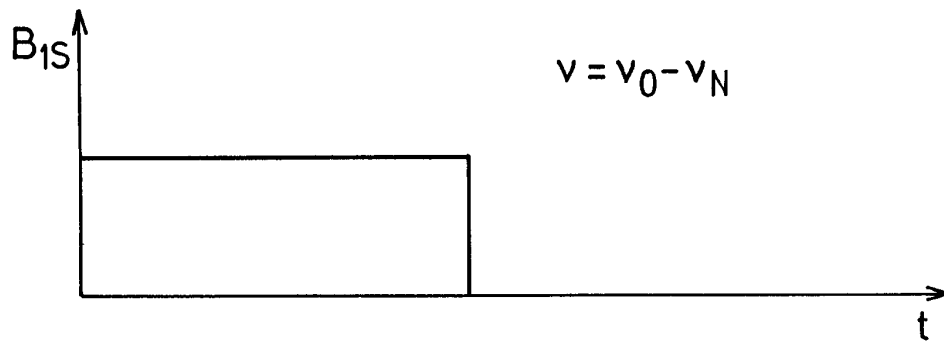


1/3



Andrej 802

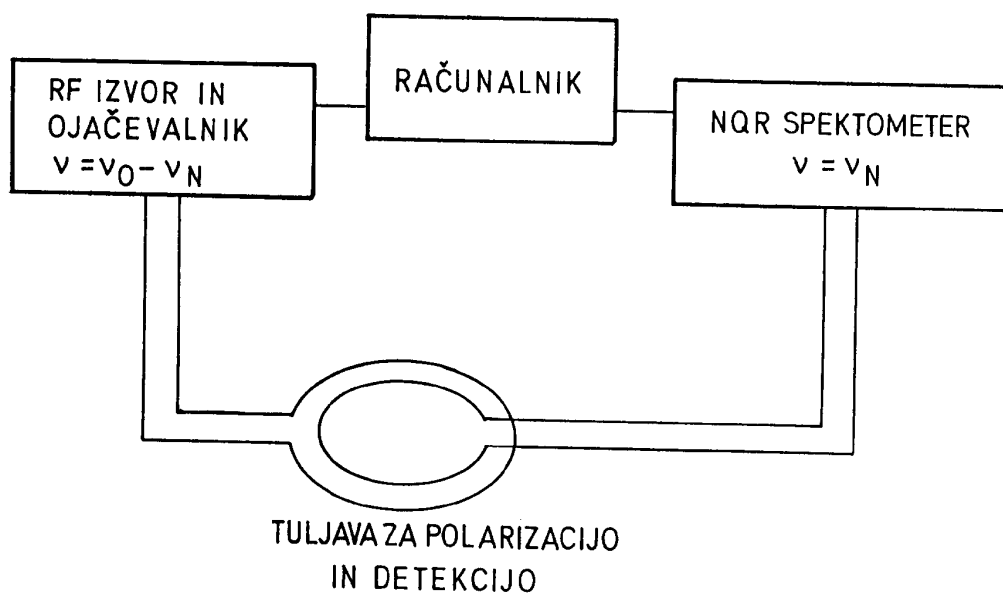
2/3



Sl. 2

more 202

3/3



Sl. 3

predel 88