

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **225474**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **409388**

(22) Data zgłoszenia: **07.09.2014**

(51) Int.Cl.

**G01N 23/00 (2006.01)**

**G01N 23/22 (2006.01)**

**G01N 23/222 (2006.01)**

**G01N 23/221 (2006.01)**

**G01V 5/00 (2006.01)**

**G01V 5/14 (2006.01)**

(54)

**Urządzenie oraz sposób do nieinwazyjnego wykrywania  
materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**14.03.2016 BUP 06/16**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**28.04.2017 WUP 04/17**

(73) Uprawniony z patentu:

**UNIwersytet Jagielloński, Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MICHAŁ SILARSKI, Kraków, PL**

**PAWEŁ MOSKAŁ, Kraków, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Rafał Witek**

**PL 225474 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie oraz sposób nieinwazyjnego wykrywania substancji niebezpiecznych, takich jak niewybuchy, miny, gazy bojowe itp., w środowisku wodnym. Prezentowane urządzenie oraz sposób opierają się na zjawisku neutronowej aktywacji substancji i pomiarze widm charakterystycznych kwantów gamma powstałych po naświetleniu substancji wiązką neutronową.

Obecnie znane w stanie techniki sposoby wykrywania substancji niebezpiecznych oparte są przede wszystkim na wykorzystaniu promieniowania rentgenowskiego, które oddziałując z elektronami, pozwalają na określenie rozkładu gęstości i kształtów badanych przedmiotów, lecz nie pozwalają na ich identyfikację. W systemach bezpieczeństwa lotnisk stosuje się również analizę śladowych ilości substancji, natomiast w praktyce antyterrorystycznej wykorzystywane są urządzenia bazujące na metodach radarowych oraz detektorach indukcyjnych. Niestety pozwalają one tylko na wykrycie obecności elementów metalowych lub określenie kształtu obiektów pod powierzchnią gruntu. Dlatego wykrycie każdego podejrzanego przedmiotu wymaga dodatkowej weryfikacji przez człowieka. Ograniczeń wyżej wymienionych metod nie mają urządzenia bazujące na analizie stechiometrii badanej substancji za pomocą naświetlania wiązką neutronów i pomiarze widma energii emitowanych kwantów gamma.

Zalegające na dnie mórz, oceanów czy rzek pozostałości wojenne stanowią wciąż duży problem, szczególnie w strefach intensywnych działań wojennych i płytkich akwenów wodnych. Zatopione niewybuchy, bojowe pociski oraz miny z okresu II Wojny Światowej stanowią poważne zagrożenie dla żeglugi, a substancje toksyczne zawarte w niektórych pociskach, np. gazy bojowe, są poważnym problemem ekologicznym. W Morzu Bałtyckim zatopiono po II Wojnie Światowej łącznie ponad 15000 ton szkodliwych substancji, najwięcej w Głębi Gotlandzkiej i Głębi Bornholmskiej. Oprócz oficjalnych miejsc zatopienia chemikaliów w Bałtyku znajduje się też dużo nieznanymi jeszcze składowisk broni położonych głównie na trasach dawnych konwojów morskich. Część ze wspomnianych pocisków koroduje już na tyle mocno, że zawarte w nich gazy bojowe, takie jak iperyt czy tabun, wydostają się do morza powodując skażenie dna. W temperaturze wód Bałtyku gaz ten zamarza i skażenie sięga tylko kilku metrów w okolicy składowiska. Dla człowieka najbardziej niebezpieczne jest spożywanie ryb pływających w okolicach składowisk ze względu na ich częste choroby oraz wady genetyczne. Mogą jednak istnieć nieznanne składowiska, które położone płytko, mogą stanowić bezpośrednie zagrożenie, np. dla rybaków podczas połowów. Wykrycie oraz zidentyfikowanie pozostałości wojennych zalegających na dnie Morza Bałtyckiego jest kluczowe w toczących się nieustannie pracach nad oczyszczeniem go z substancji niebezpiecznych.

Zdecydowana większość substancji niebezpiecznych to związki organiczne lub ich mieszaniny. Zbudowane są one przede wszystkim z wodoru, tlenu, węgla i azotu. Cechy te pozwalają na wyodrębnienie np. materiałów wybuchowych lub narkotyków ukrytych wśród innych substancji podczas analizy stechiometrycznej podejrzanych przedmiotów.

W zgłoszeniach patentowych WO 1999049311 A3 (opubl. 2000-0120), US 20030165212 A1 (opubl. 2003-09-04) oraz WO 2004025245 A3 (opubl. 2004-05-13) opisano urządzenie oraz sposób wykrywania substancji niebezpiecznych ukrytych pod ziemią, w budynkach lub pojazdach wykorzystującą, wytwarzane za pomocą generatora, izotropowe wiązki prędkich neutronów z dobrze określoną energią  $E = 14$  MeV. Penetrujące badany materiał neutrony oddziałują z jądrami atomów nieznannej substancji powodując ich wzbudzenia. W konsekwencji naświetlanie neutronami prowadzi do emisji kwantów gamma charakterystycznych dla danego pierwiastka. Są one rejestrowane przez detektor, a określenie liczby oraz energii emitowanych kwantów gamma pozwala na określenie stechiometrii badanej substancji i w konsekwencji prowadzi do jej identyfikacji. W zgłoszeniu patentowym US 20060227920 A1 opisano urządzenie, które poza oddziaływaniem neutronów prędkich, wykorzystuje również kwanty gamma powstające w procesie wychwytu termicznych neutronów, powstających w badanym obiekcie w wyniku wielokrotnych rozprożeń pierwotnie padającej wiązki. Pozwala to na określenie zawartości wodoru w badanym obiekcie oraz zwiększa czułość metody.

W środowisku wodnym do wykrywania min oraz niebezpiecznych substancji chemicznych wykorzystuje się przede wszystkim sonary, które jednak pozwalają tylko na określenie położenia oraz kształtu obiektu, nie dając informacji o składzie chemicznym. W zgłoszeniu patentowym WO 2012089584 A1 (opubl. 2012-07-05) opisano również urządzenie oraz sposób wykrywania ukrytych min podwodnych w oparciu o źródła neutronów oraz detekcję charakterystycznych kwantów gamma. Generowane z małą energią oraz częstotliwością neutrony są wyhamowywane (moderowane) przez wodę znajdującą się pomiędzy urządzeniem a badanym obiektem i docierają do niego z bardzo małą

energiją jako neutrony termiczne. Detektor wspomnianego urządzenia pozwala na detekcję energii oraz liczby kwantów gamma powstałych w radiacyjnym pochłanianiu termicznych neutronów. Rejestrowane są również inne cząstki powstałe w oddziaływaniu neutronów z otoczeniem. Identyfikacja ukrytej miny odbywa się poprzez poszukiwanie anomalii w obserwowanych widmach kwantów gamma oraz liczności docierających do detektora neutronów wtórnych.

W publikacji V. Valkovic i in., „An underwater system for explosive detection”, Proc. SPIE 6540, Optics and Photonics in Global Homeland Security III, 654013 (May 04, 2007), zostały opisane próby zastosowania aktywacji prędkimi neutronami z detektorem odizolowanym od generatora i umieszczonym na ramieniu robota do podwodnej detekcji niebezpiecznych materiałów. Zastosowanie specjalnego ramienia robota pozwala na zmianę odległości detektora od badanego przedmiotu oraz zmniejsza tłumienie promieniowania gamma poruszającego się w wodzie.

Ze względu na stosunkowo silne pochłanianie neutronów w wodzie wspomniane metody pozwalają jednak tylko na detekcję substancji umieszczonych na dnie zbiornika lub zakopanych płytko pod jego powierzchnią. Ponadto warstwa wody pomiędzy badanym przedmiotem a urządzeniem nie może przekroczyć czterech metrów, a silna absorpcja neutronów oraz kwantów gamma poruszających się w wodzie istotnie zwiększa czas naświetlania podejrzanego przedmiotu oraz utrudnia interpretacje wyników.

Problemem technicznym stawianym przed niniejszym wynalazkiem jest zaproponowanie takiego urządzenia oraz sposobu do nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym, który będzie charakteryzował się większą czułością oraz mniejszym szumem (redukcja tła), przez co będzie pozwalał na dokładniejszą detekcję substancji niebezpiecznych, nawet znajdujących się głęboko na dnie zbiornika wodnego, przy czym będzie pozwalał dodatkowo na określenie rozkładu gęstości niebezpiecznej substancji w badanym obiekcie. Nieoczekiwanie wspomniane problemy techniczne rozwiązał prezentowany wynalazek.

Pierwszym przedmiotem wynalazku jest urządzenie do nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym zawierające szczelną obudowę, w której umieszczony jest generator prędkich neutronów obłożony detektorami cząstek  $\alpha$ , oraz detektor kwantów gamma, przy czym generator prędkich neutronów emituje neutrony w kierunku badanego przedmiotu, a detektor kwantów gamma rejestruje wyemitowane przez jądra atomowe badanego przedmiotu kwanty gamma, charakteryzujący się tym, że zawiera dodatkowo przewodnice neutronów i/lub kwantów gamma połączone odpowiednio z generatorem prędkich neutronów oraz detektorem kwantów gamma. W korzystnej realizacji wynalazku przewodnice neutronów i/lub kwantów gamma mają postać cylindra z zamkniętymi podstawami, korzystnie teleskopowego. Równie korzystnie w przewodnicach neutronów i/lub kwantów gamma panuje próżnia lub są wypełnione gazem, korzystnie powietrzem, helem, argonem ... Korzystnie przewodnice neutronów i/lub kwantów gamma wykonane są z materiału obejmującego: stal nierdzewną, aluminium, włókna węglowe. W kolejnej korzystnej realizacji wynalazku przewodnice neutronów i/lub kwantów gamma pokryte są od wewnątrz cienką warstwą materiału odbijającego prędkie neutrony, korzystnie grafitem. W następnej korzystnej realizacji wynalazku odległość pomiędzy przewodnicą neutronów i/lub kwantów gamma połączoną z generatorem prędkich neutronów a przewodnicą neutronów i/lub kwantów gamma połączoną z detektorem kwantów gamma jest zmienna, przy czym kąt pomiędzy przewodnicą neutronów i/lub kwantów gamma a przewodnicą neutronów i/lub kwantów gamma zawiera się w przedziale od 0 do 90 stopni. Korzystnie detektor kwantów gamma stanowi układ detekcyjny półprzewodnikowy lub scyntylicyjny. Równie korzystnie generator prędkich neutronów posiada w pozycji przeciwległej do przewodnicy neutronów detektor cząstek  $\alpha$ , a w pozycji prostopadłej do przewodnicy detektory cząstek  $\alpha$ .

Drugim przedmiotem wynalazku jest sposób nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym obejmujący następujące etapy:

- a) generuje się prędkie neutrony o określonej energii z zakresu od  $\sim 5$  MeV do  $\sim 20$  MeV w generatorze prędkich neutronów,
- b) kolimuje się prędkie neutrony wygenerowane w etapie a) w stronę badanego przedmiotu,
- c) wykrywa się kwanty gamma wyemitowane w wyniku przejścia wzbudzonych prędkimi neutronami jąder pierwiastków badanego przedmiotu ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego,

charakteryzujący się tym, że wygenerowane prędkie neutrony oraz wyemitowane kwanty gamma są transmitowane w przewodnicach neutronów i/lub kwantów gamma. Korzystnie kwanty gamma wykrywane są w koincydencji z cząstkami  $\alpha$  rejestrowanymi przez detektor umieszczony naprzeciw

przewodnicy. Równie korzystnie odrzuca się sygnały z detektora kwantów gamma w koincydencji z sygnałami z pozostałych detektorów cząstek  $\alpha$ . W korzystnej realizacji wynalazku mierzy się pozycję przewodnic neutronów i/lub kwantów gamma oraz czas rejestracji kwantów gamma w detektorze kwantów gamma w stosunku do sygnału z detektora cząstek  $\alpha$ .

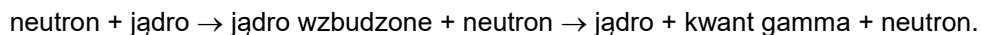
Urządzenie oraz sposób do nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym według niniejszego wynalazku, dzięki wykorzystaniu specjalnie zaprojektowanych przewodnic prędkich neutronów i/lub kwantów gamma umożliwia detekcję substancji niebezpiecznych z większą dokładnością, pozwalając na wykrycie przedmiotów ukrytych głęboko w dnie zbiornika wody. Teleskopowa konstrukcja przewodnic pozwala na dobieranie w szerokim zakresie długości przewodnic, przez co przeprowadzanie badania w zbiornikach o różnych głębokościach. Zastosowanie ruchomej przewodnicy neutronów i/lub kwantów gamma, połączonej z detektorem kwantów gamma, pozwala na zmianę kąta pomiędzy przewodnicami, a tym samym na detekcję na różnej głębokości i zmiennym obszarze, przez co możliwe jest określenie rozkładu gęstości badanej substancji. Pomiar kwantów gamma w koincydencji z kwantami zarejestrowanymi w detektorze cząstek  $\alpha$  znajdującym się naprzeciw przewodnicy połączonej z generatorem prędkich neutronów pozwala znacząco zmniejszyć tło pomiarowe jeszcze bardziej zwiększając czułość i rozdzielczość zastosowanej metody pomiarowej.

Przykładowe realizacje wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat urządzenia do nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym, fig. 2 przedstawia schemat urządzenia przedstawionego na fig. 1 z pierwszym ustawieniem przewodnic, fig. 3 przedstawia schemat urządzenia przedstawionego na fig. 1 z drugim ustawieniem przewodnic, fig. 4 przedstawia przekrój poprzeczny przewodnicy kwantów gamma i/lub neutronów, fig. 5 przedstawia rzut od przodu przewodnicy kwantów gamma i/lub neutronów, fig. 6 przedstawia schemat systemu do zmiany położenia przewodnicy kwantów gamma i/lub neutronów.

#### P r z y k ł a d

Na figurze 1 przedstawiono ogólny schemat urządzenia do nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym 100 będącym przedmiotem wynalazku. Generator neutronów 101 zderza jony deuteru 102 z tarczą trytową 103 w reakcji:  $D + T \rightarrow \alpha + n$ . Ze względu na znacznie większą energię uwalnianą w tej reakcji w porównaniu z energią deuteru, zarówno cząstka  $\alpha$  104 jak i neutron 105 produkowane są praktycznie izotropowo w każdym kierunku w przestrzeni oraz poruszają się względem siebie pod kątem bliskim  $180^\circ$ .

Powstająca przy generowaniu neutronu cząstka  $\alpha$  104 jest rejestrowana przez układ detektorów 106a, 106b, 106c umieszczony na ścianach generatora 101. Może on składać się np. z układu krzemowych lub scyntylacyjnych detektorów o wymiarach kilku cm. Wybrane neutrony poruszają się w kierunku podejrzanego przedmiotu 107 wewnątrz przewodnicy 108 o określonych wymiarach, np. o średnicy równej 30 cm oraz maksymalnej długości 3 m, z której wypompowano powietrze. Alternatywnie przewodnica może być wypełniona powietrzem lub innym gazem, np. helem. Zapobiega to absorpcji i spowolnieniu neutronów w wodzie. Przewodnica 108 stanowi rurę teleskopową zbudowaną z blachy nierdzewnej o grubości ok. 1 mm, zakończoną z obu stron blachą o grubości istotnie mniejszej, np. 0,5 mm. Prędkie neutrony poruszając się wewnątrz badanej substancji są pochłaniane i/lub rozpraszane nieelastycznie na jądrach atomowych badanego przedmiotu wzbudzając je, np. w reakcji:



Jądra przechodząc do stanu podstawowego emitują kwanty gamma 109, których energia jest charakterystyczna dla każdego nuklidu. Część emitowanych przez jądra kwantów gamma porusza się w kierunku detektora kwantów gamma wewnątrz przewodnicy 110 o określonych wymiarach, z której wypompowano powietrze. Tak jak w poprzednim wypadku, przewodnica alternatywnie może być wypełniona powietrzem lub innym gazem, np. helem. Zapobiega to absorpcji oraz rozproszeniu kwantów gamma w wodzie. Przewodnica 110 jest również wykonana z rury teleskopowej zbudowanej z blachy nierdzewnej o grubości ok. 1 mm zakończoną z obu stron blachą o grubości istotnie mniejszej, np. 0,5 mm. Detektor 111 przeprowadza pomiar energii rejestrowanego kwantu gamma 109. Ponadto, określana jest pozycja uderzenia kwantu gamma 109 w detektor 111 oraz czas jaki upłynął od momentu rejestracji cząstki  $\alpha$  104 do momentu zarejestrowania sygnału w detektorze kwantów gamma 111. Pomiar czasu oraz miejsca reakcji cząstki  $\alpha$  104 oraz kwantu gamma 109 wraz ze znanym położeniem tarczy 103 oraz zmianą względnej odległości i kąta przewodnicy kwantów gamma 110 względem przewodnicy neutronów 108 pozwala na określanie rozkładu gęstości niebezpiecznej substancji w badanym przedmiocie. Figury 2 oraz 3 ilustrują schematycznie jak zmiany konfiguracji

przewodnic pozwalają na ustalanie głębokości pod dnem (np. w mule), z której kwanty gamma docierają do detektora. Jeżeli stosunek średnicy przewodnic 208 oraz 210 do ich długości jest odpowiednio mały (mniejszy niż 0,14) to głębokość na jakiej zareagował kwant gamma można określić z pomiaru czasu  $\Delta t$  jaki upłynął od momentu rejestracji cząstki  $\alpha$  204 do momentu zarejestrowania sygnału w detektorze kwantów gamma 211. Można go wyrazić jako:

$$\Delta t - t_\alpha + t_n + t'_n + t_\gamma + t'_\gamma,$$

gdzie  $t_\alpha$  to czas przelotu wygenerowanej cząstki  $\alpha$  204 od tarczy 203 do detektora 206c,  $t_n$  i  $t'_n$  to odpowiednio czas poruszania się neutronu 205 od tarczy w przewodnicy 208 na znanej i ustalonej drodze  $l_n$  oraz czas poruszania się neutronu 205 od końca przewodnicy do miejsca reakcji 212 w badanym obiekcie 207. Podobnie  $t_\gamma$  oznacza czas poruszania się kwantu gamma 209 w przewodnicy 210 o znanej i ustalonej długości  $l_\gamma$ , a  $t'_\gamma$  to czas poruszania się kwantu gamma 209 z miejsca reakcji 212 neutronu 205 w badanym przedmiocie 207 do wlotu 213 przewodnicy 210. Czasy te można wyrazić następnie przez znane prędkości cząstek:

$$\Delta t - l_\alpha/v_\alpha = l_n/v_n + x/v_n + l_\gamma/c + y/c.$$

Prędkość cząstki  $\alpha$  204 oraz neutronu 205 jest ustalona i określona przez znane energie tych cząstek, natomiast kwanty gamma poruszają się z prędkością światła  $c$ . Droga  $x$  jaką przebędzie neutron 205 od końca 214 przewodnicy 208 do miejsca reakcji 212 w przedmiocie 207 oraz droga  $y$  jaką przebędzie kwant gamma 209 z miejsca reakcji 212 neutronu 205 do wlotu 213 przewodnicy 210 są powiązane następującą zależnością:

$$x/y = \cos \varphi,$$

gdzie  $\varphi$  to kąt zawarty między osiami przewodnic 208 oraz 210, który można zmieniać. Pozwala to na określenie, na jakiej odległości od wlotu 214 przewodnicy 208 nastąpiła reakcja:

$$x = \left( \Delta t - \frac{l_\alpha}{v_\alpha} - \frac{l_n}{v_n} - \frac{l_\gamma}{c} \right) \frac{cv_n \cos \varphi}{c \cdot \cos \varphi + v_n}.$$

Jeżeli natomiast stosunek średnic przewodnic 208 oraz 210 jest duży, pomiar czasu  $\Delta t$  pozwala na określenie głębokości  $x$ , na jakiej zareagował neutron 205 poprzez poszukiwanie takiego punktu w obszarze 215 obejmowanym wspólnie przez przewodnice 208 oraz 210, dla którego suma czasu przelotu neutronu 205 z tarczy 203 do tego punktu oraz czasu przelotu kwantu gamma 209 z tego punktu do detektora 211 jest najbliższa zmierzonemu czasowi  $\Delta t$ .

Dodatkową informację na temat głębokości daje zmiana względnego położenia przewodnic 208 i 210 oraz kąta zawartego pomiędzy nimi. Zmiana odległości  $d_1$  oraz  $d_2$  (figura 2) pomiędzy przewodnicami 208 i 210 pozwala na rejestrację kwantów gamma emitowanych z różnych części przedmiotu 207, także z różnych głębokości. Pozwala to na określenie rozkładu gęstości niebezpiecznej substancji w przedmiocie 207.

Przewodnice neutronów oraz kwantów gamma są wykonane z rur teleskopowych złożonych z kilku segmentów o długości 50 cm połączonych uszczelką gumową (figura 4). Zmiana długości przewodnic może być realizowana ręcznie, przed umieszczeniem całego urządzenia w wodzie, lub za pomocą systemu mechanicznego sterowanego z modułu 118. Przykład takiego systemu przedstawiono na figurze 4. Moduły przewodnicy 302, 303 oraz 304 połączone są w sposób teleskopowy tak, że moduł 302 może zostać schowany w części 301 oraz moduł 304 w module 303. Szczelność na łączeniach poszczególnych modułów zapewniają gumowe uszczelki 305, 306 oraz 307 w kształcie pierścieni, jak zostało przedstawione na figurze 5. Długość przewodnicy 300 może być regulowana za pomocą systemu nagwintowanych prętów 310, 311 oraz 312 o grubości np. 10 mm osadzonych na przewodnicach podtrzymujących 314, 315, 316 oraz 317. Przy czym obrót pręta 310 napędza kolejny element 311, a ten z kolei powoduje ruch pręta 312. System zmiany długości przewodnicy 300 może składać się np. z czterech zestawów prętów 318, 319, 320 oraz 321 rozmieszczonych tak jak pokazano na figurze 3b. Każdy zestaw napędzany jest przez silnik 309. Połączenie przewodnicy 300 z silnikami realizowane jest przez kołnierz 301 zapewniający szczelność oraz osłonę całego systemu przed wodą. Zmiana kąta nachylenia przewodnicy 300 w stosunku do dolnej powierzchni 322 urządzenia 200 jest zapewniona przez system sterowania 308. Każda z części przewodnicy 300 jest wyłożona cienką (ok. 1 mm) warstwą materiału dobrze odbijającego prędkie neutrony, np. grafitem.

Zmiany względnego położenia prowadnic neutronów 208 oraz kwantów gamma 210 przy zachowaniu szczelności urządzenia 200 mogą być realizowane jak na figurze 6, przy czym położenie zmieniać może tylko prowadnica kwantów gamma 210. Prowadnica 400 połączona jest z kołnierzem 401, który z kolei połączony jest szczelnie z dnem 402 urządzenia 200. Zbudowane jest ono z materiału, który może być swobodnie ściskany i rozciągany, co pozwala na przesuwanie prowadnicy 400 wraz z detektorem kwantów gamma 403. Materiałem tym może być cienka falowana blacha, falowana warstwa tworzywa sztucznego lub skóra. Prowadnica 400 wraz z silnikami 404 i systemem zmiany kąta 405 oraz detektorem kwantów gamma 403 są połączone z systemem napędowym 406 opartym np. na przesuwie liniowym pozwalającym na zmianę pozycji prowadnicy 400 wraz z detektorem 403.

Detektor kwantów gamma 111 przedstawiony na figurze 1 zbudowany może być w oparciu o znane w stanie techniki rozwiązania dotyczące rejestrowania promieniowania gamma np. za pomocą kryształów scyntylacyjnych lub półprzewodnikowych. Wewnątrz urządzenia 100 pozycja detektora może być zmieniana. Sygnały z detektorów cząstek  $\alpha$  106a, 106b, 106c oraz kwantów gamma 111 przekazywane są za pomocą linii sygnałowych 112 i 113 do modułu próbkującego sygnały oraz przewodzącego akwizycję danych 114. W celu usunięcia tła pomiarowego powstającego w wyniku reakcji neutronów nieemitowanych w kierunku badanego przedmiotu 107 wszystkie sygnały z detektora kwantów gamma 111 rejestrowane w koincydencji z sygnałami z detektorów cząstek  $\alpha$  106a i 106b są odrzucane, natomiast sygnały w koincydencji z detektorem 106c są traktowane jako kwanty gamma pochodzące z badanej substancji. Moduł 114 przesyła następnie dane za pomocą kabla sygnałowego lub drogą radiową do modułu przetwarzającego znajdującego się na jednostce pływającej 117, z której sterowane jest za pomocą modułu sterującego 118 urządzenie 100. Sygnały z tego modułu przekazywane są przez przewód 119 lub drogą radiową do modułu odbiorczego 120, który steruje modułami 101, 106, 111, 114 oraz silnikiem 121 pozwalającym na przemieszczanie urządzenia 100.

Identyfikacja substancji 107 przeprowadzana jest przez moduł 117. Odbywa się ona na podstawie liczby zarejestrowanych charakterystycznych kwantów gamma pochodzących od jąder  $^{12}\text{C}$  (energia 4,43 MeV),  $^{16}\text{O}$  (energia 6,13 MeV),  $^{14}\text{N}$  (energii 2,31 MeV i 5,11 MeV) oraz innych pierwiastków stanowiących badaną substancję, takich jak np.  $^{19}\text{F}$  (energia 1,5 MeV oraz 3,9 MeV),  $^{32}\text{S}$  (energia 3,8 MeV) oraz  $^{35}\text{Cl}$  (energia 3,0 MeV). Uwzględniając różne prawdopodobieństwa reakcji neutronów z różnymi nuklidami oraz wydajność detekcji kwantów gamma o danej energii rekonstruowana jest liczba atomów każdego z pierwiastków budujących badany przedmiot i porównywana ze stechiometrią znanych substancji niebezpiecznych przechowywanych w bazie danych modułu 117.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym zawierające szczelną obudowę, w której umieszczony jest generator prędkich neutronów (101) obłożony detektorami cząstek  $\alpha$  (106), oraz detektor kwantów gamma (111), przy czym generator prędkich neutronów (101) emituje neutrony w kierunku badanego przedmiotu (107), a detektor kwantów gamma (111) rejestruje wyemitowane przez jądra atomowe badanego przedmiotu (107) kwanty gamma, **znamiennie tym**, że zawiera dodatkowo prowadnice neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110) połączone odpowiednio z generatorem prędkich neutronów (101) oraz detektorem kwantów gamma (111).

2. Urządzenie według zastr. 1, **znamiennie tym**, że prowadnice neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110) mają postać cylindra z zamkniętymi podstawami, korzystnie teleskopowego.

3. Urządzenie według zastr. 1 albo 2, **znamiennie tym**, że w prowadnicach neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110) panuje próżnia lub są wypełnione gazem, korzystnie powietrzem, helem, argonem.

4. Urządzenie według któregośkolwiek z zastr. od 1 do 3, **znamiennie tym**, że prowadnice neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110) wykonane są z materiału obejmującego: stal nierdzewną, aluminium, włókna węglowe.

5. Urządzenie według któregośkolwiek z zastr. od 1 do 4, **znamiennie tym**, że prowadnice neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110) pokryte są od wewnątrz cienką warstwą materiału odbijającego prędkie neutrony, korzystnie grafitem.

6. Urządzenie według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 5, **znamiennie tym**, że odległość pomiędzy prowadnicą neutronów i/lub kwantów gamma (108) połączoną z generatorem prędkich neutronów (101) a prowadnicą neutronów i/lub kwantów gamma (110) połączoną z detektorem kwantów gamma (111) jest zmienna, przy czym kąt pomiędzy prowadnicą neutronów i/lub kwantów gamma (108) a prowadnicą neutronów i/lub kwantów gamma (110) zawiera się w przedziale od  $\sim 0$  do  $\sim 90$  stopni.

7. Urządzenie według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 6, **znamiennie tym**, że detektor kwantów gamma (111) stanowi półprzewodnikowy lub scyntylacyjny system detekcyjny.

8. Urządzenie według któregokolwiek z zastrz. od 1 do 7, **znamiennie tym**, że generator prędkich neutronów (111) posiada w pozycji przeciwległej do prowadnicy neutronów i/lub kwantów gamma (108) detektor cząstek  $\alpha$  (106c), a w pozycji prostopadłej do prowadnicy (108) detektory cząstek  $\alpha$  (106a) oraz (106b).

9. Sposób nieinwazyjnego wykrywania materiałów niebezpiecznych w środowisku wodnym, **znamiennie tym**, że obejmuje następujące etapy:

- a) generuje się prędkie neutrony o określonej energii z zakresu od 5 MeV do 20 MeV w generatorze prędkich neutronów (101),
- b) kolimuje się prędkie neutrony wygenerowane w etapie a) w stronę badanego przedmiotu (107),
- c) wykrywa się kwanty gamma wyemitowane w wyniku przejścia wzbudzonych prędkimi neutronami jąder pierwiastków badanego przedmiotu (107) ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego,

przy czym wygenerowanego prędkie neutrony oraz wyemitowane kwanty gamma są transmitowane w prowadnicach neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110).

10. Sposób według zastrz. 9, **znamiennie tym**, że kwanty gamma wykrywane są w koincydencji z cząstkami  $\alpha$  rejestrowanymi przez detektor (106c) umieszczony naprzeciw prowadnicy (108).

11. Sposób według zastrz. 9 albo 10, **znamiennie tym**, że odrzuca się sygnały z detektora kwantów gamma (111) w koincydencji z sygnałami detektorów cząstek  $\alpha$  (106a) oraz (106b).

12. Sposób według któregokolwiek z zastrz. od 9 do 11, **znamiennie tym**, że mierzy się pozycję prowadnic neutronów i/lub kwantów gamma (108), (110) oraz czas rejestracji kwantów gamma w detektorze kwantów gamma (111) w stosunku do sygnału z detektora (106c).

## Rysunki

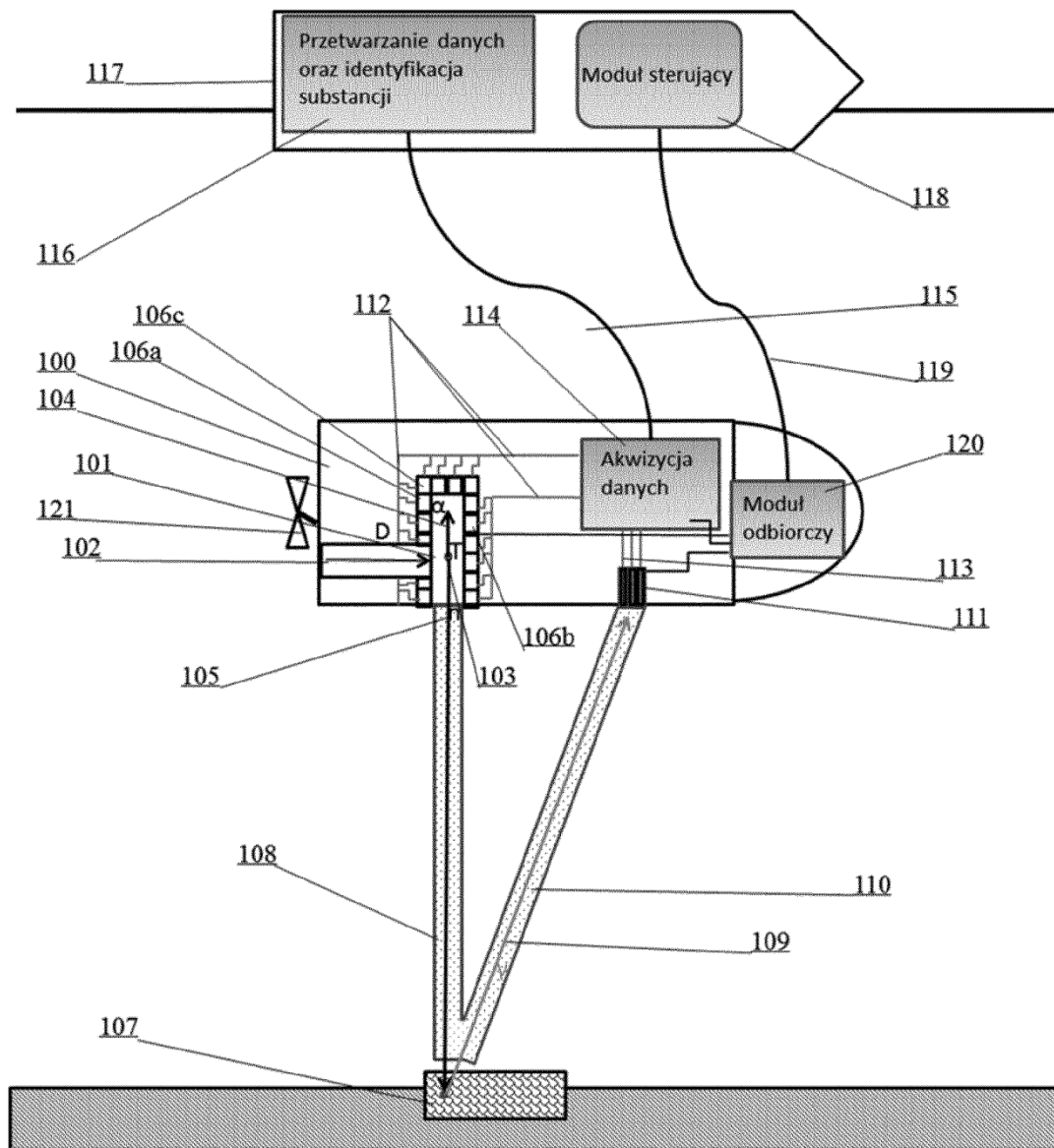


Fig. 1



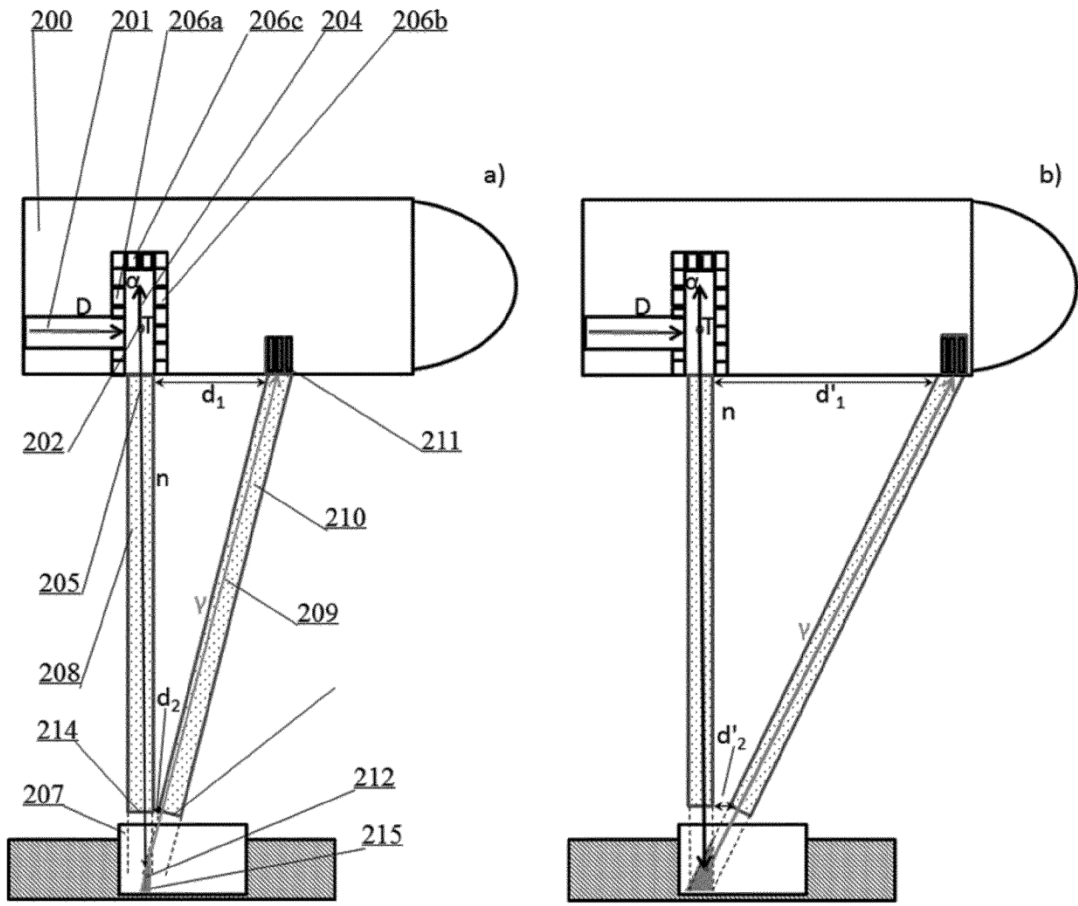


Fig. 2

Fig. 3

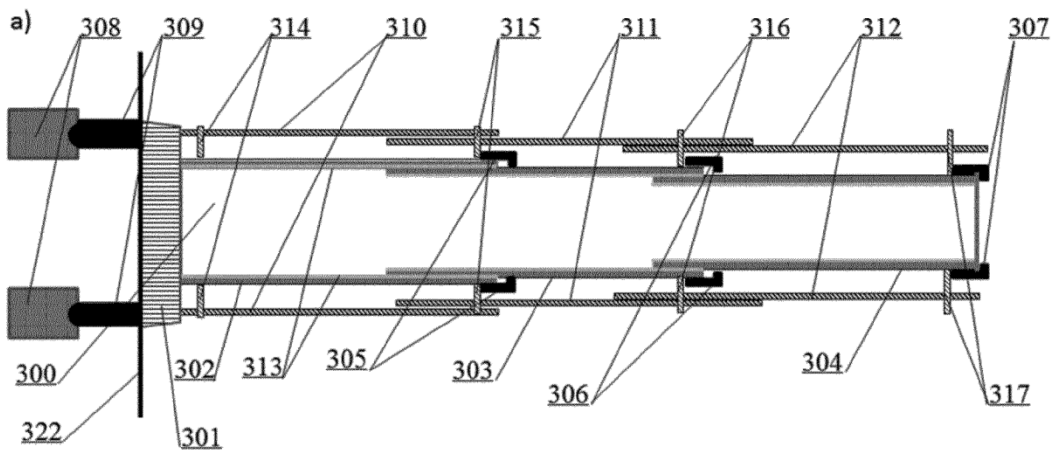


Fig. 4

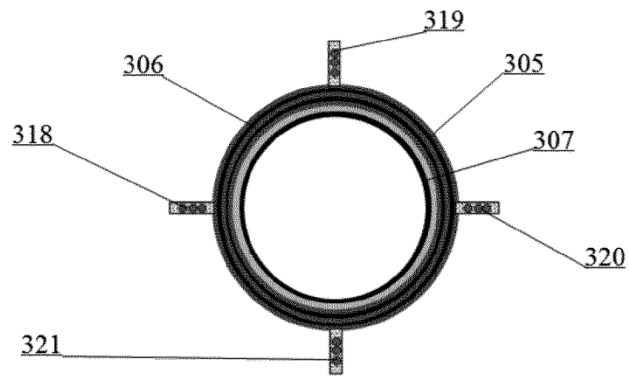


Fig. 5

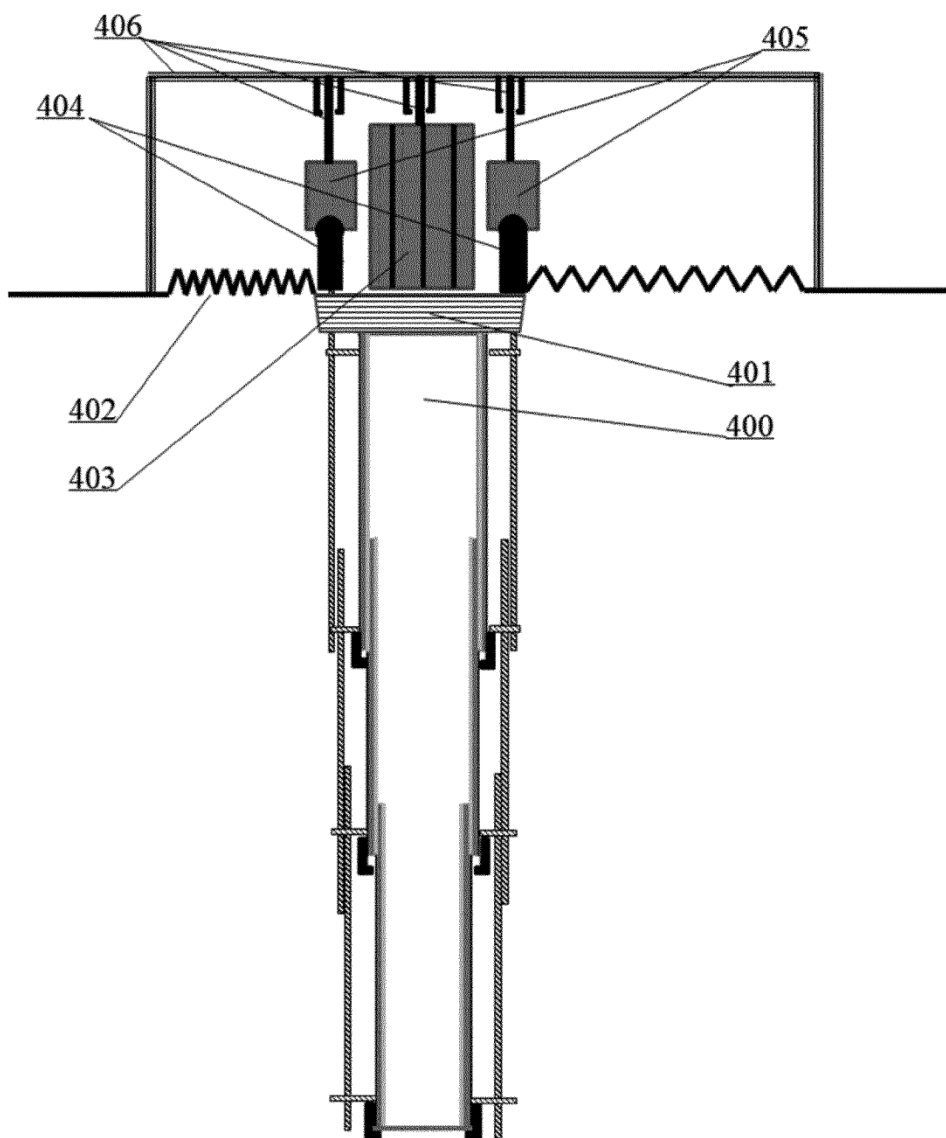


Fig. 6