

SPRAWOZDANIE ZE ZREALIZOWANYCH PRAC BADAWCZYCH – TEMAT 1

NR PROJEKTU	POIG.01.03.01-14-016/08-12
Tytuł projektu	Nowe materiały fotoniczne i ich zaawansowane zastosowania
Kierownik projektu	prof. dr hab. inż. Leszek R. Jaroszewicz
Temat badawczy I	Otrzymanie nowych związków ciekłokrystalicznych oraz wytworzenie mieszanin użytkowych nematyków o zróżnicowanej anizotropii optycznej i elektrycznej, ferro- i antyferroelektrycznych smektyków oraz kompozytów ciekłokrystalicznych jak i badania ich zastosowań.
Koordynator Tematu I	prof. dr hab. inż. Krzysztof Czupryński
Realizowany podtemat lub podtematy według harmonogramu Projektu	Konstrukcja i badania fantomów dyfuzji dla zastosowań medycznych oraz geologicznych – Zespół fizyczny pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Raszewskiego
Okres sprawozdawczy	2009 - 2015

1. Wprowadzenie i geneza badań

Badania medyczne prowadzone w ostatnich latach pokazały, że zastosowanie sekwencji obrazowania Magnetycznego Rezonansu (MR) z przewagą dyfuzji, dają nowe możliwości wczesnego diagnozowania różnych stanów patologicznych tkanek nerwowych, sercowych, kostnych, m.in. zmian niedokrwiennych mózgu czy urazów rdzenia kręgowego. Jer to możliwe ze względu na szybkie zmiany w procesach dyfuzji wody, które zachodzą po urazie (lub w trakcie choroby) w badanej tkance ciała ludzkiego. Obrazy MR z przewagą dyfuzji dostarczają jakościowych informacji o stanie badanych tkanek. Obraz MR zależy nie tylko od wielkości współczynnika dyfuzji ADC (*Apparent Diffusion Coefficient*) w danym voxelu (pikselu przestrzennym) badanego ośrodka (tkanki), ale również od czasów relaksacji, gęstości oraz typu i parametrów sekwencji obrazowania. W tym wypadku, obrazy MR będące mapami współczynnika dyfuzji wody w tkankach dostarczają ilościowych danych o stanie i rozmiarach schorzenia, bowiem ich intensywność zależy tylko od liczbowej wartości współczynnika dyfuzji w danym voxelu. Dyfuzja wody w tkankach takich jak: istota biała mózgu, mięsień szkieletowy i sercowy, nerki, oraz soczewka oka jest anizotropowa, tzn. współczynnik dyfuzji zależy od kierunku przebiegu procesu. Obrazowanie MR współczynnika dyfuzji w różnych kierunkach pozwala wyznaczyć składowe tensora dyfuzji. Tensor dyfuzji wody zależy od mikrostruktury i stanu badanych tkanek, stąd też jego znajomość może znaleźć NOWE zastosowania w diagnostyce urazów mózgu i rdzenia kręgowego. (Badanie NMR z możliwością śledzenia zmian anizotropii dyfuzji niezmiernie podnosi czułość i rozdzielczość obrazu).

W metodzie, ostatnio nazwanej BSD-DTI (*B matrix Spatial Distribution in Diffusion Tensor Imaging*) służącej do poprawy dokładności określenia współczynnika dyfuzji metodami obrazowania tensora dyfuzji, kluczową rolę odgrywają (anizotropowe) fantomy tkanek (lub skał geologicznych), posiadające dobrze zdefiniowaną anizotropową strukturę. W tym miejscu narodziła się idea implementacji zastosowania nowych materiałów fotonicznych i nowych technologii LCD (*Liquid Crystal Display*) opracowanych w Wojskowej Akademii Technicznej (WAT) w ramach Projektu POIG.01.03-14-016/08. Stosując wiązki (kapilar) włókien fotonicznych jak również budując metodami technologii LCD „kostki” z „cienkich” płytek” szklanych przedzielonymi warstwami wody, hydrożelu lub ciekłego kryształu LC (*Liquid Crystal*), możemy otrzymać poszukiwane przez medyków i geologów, stosowne fantomy dyfuzji, będące również fantomami anizotropowych

tkanek czy skał roponośnych. Fantomy te służą przede wszystkim, jako wzorce tensora dyfuzji do kalibracji skanerów MRI, przy eksperymentach tomografii magnetycznego rezonansu jądrowego DTI. Dzięki tym fantomom można znacznie poprawić dokładność analiz. Potencjalnie, technologia fantomów opracowana w WAT posłuży do badań biomedycznych, ale także wszędzie tam, gdzie obrazowanie dyfuzji metodami NMR ma znaczenie, a więc również w przestrzeniach geologicznych z uwzględnieniem zagadnień petrofizycznych. Jak uprzednio wspomniano, anizotropowe fantomy mogą odgrywać samodzielną rolę, będąc modelami tkanek: włókna nerwowego, mięśnia serca etc., jak również być wzorcami porowatości modelowych układów skał o budowie kapilarnej lub laminarnej dla badań petrofizycznych.

Badania fantomów medycznych prowadzone w WAT, w ramach POIG 01.03-14-016/08, odbywały się od kwietnia 2009 do września 2012, przy ścisłej współpracy pomiędzy IFJ PAN w Krakowie (dr A. Krzyżak) i WAT w Warszawie (prof. L.R. Jaroszewicz, prof. Z. Raszewski).

Współpraca naukowa pomiędzy IFJ PAN w Krakowie i WAT w Warszawie, w dziedzinie ciekłych kryształów została zapoczątkowana przez profesorów Janika (z IFJ PAN w Krakowie) i Żmiję (z WAT w Warszawie) w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

Program POIG.01.03-14-016/08 realizowany w zespole prof. L.R. Jaroszewicza w WAT pozwolił na opracowanie i wytworzenie rodziny fantomów medycznych do śledzenia (wspomnianych wyżej) zmian anizotropii dyfuzji wody w mózgu człowieka.

Opracowanie „WATowskich Fantomów” FWAT bazuje na

- i. zastrzeżonych zgłoszeniami patentowymi (polskim P.385276, europejskim EP09755104.8, amerykańskim US2011074423, japońskim JP2011520582) opracowaniach naukowych dr Artura Krzyżka z IFJ PAN w Krakowie, oraz
- ii. opracowanych w ramach POIG.01.03-14-016/08 technologiach (Liquid Crystal Display) LCD i nowych materiałach fotonicznych.

2. Koncepcja budowy fantomów

Po wnikliwym przeanalizowaniu fizycznych podstaw działania i przeznaczenia Fantomu, zapostulowano, że anizotropowy fantom dyfuzji FWAT dla kalibracji dowolnej sekwencji obrazowania MR, będzie skonstruowany jako (dowolnego kształtu), wzorzec dyfuzji anizotropowej, dla wodoru H_2 zawartego, na przykład, w H_2O , hydrożelu lub w LC. W tej sytuacji FWAT może być zbudowany jako:

- wiązka fotonicznych kapilar wypełnionych H_2O , hydrożelem lub LC,
- naczynie (sześciennie lub cylindryczne) wypełnione gęsto (niemagnetycznymi i bez zawartości jąder wodoru) cylindrycznymi prętami (włóknami szklanymi) i „zalanę” wodą, hydrożelem lub LC,
- układ (stos) cienkich płytek szklanych, przedzielonych warstwami H_2O , lub LC (na wzór i podobieństwo wyświetlaczy ciekłokrystalicznych LCD),
- ww. wzorce muszą mieć tak dobrane średnice kapilar, włókien szklanych czy odległości między płytkami szklanymi, aby ograniczenie dyfuzji, dla danej temperatury, w kierunku prostopadłym do osi kapilary, osi włókien czy płaszczyzn szkiełek było istotnie większe w stosunku do danego zakresu czasów dyfuzji w danej (dyfuzyjnej) sekwencji obrazowania MR (Z analizy ilościowej zjawiska anizotropowej dyfuzji wody w tkance ludzkiej wynika że te odległości d powinny należeć do przedziału [10 μm , 50 μm]),
- opracowano założenia technologiczne i uruchomiono w Pracowni Technologii Światłowodów Wydziału Chemii UMCS w Lublinie produkcję:

-światłowodów (sześciokątnych żył) fonicznych z SiO₂ (o krawędziach 360 μm z 360 kapilarami o średnicy 36 μm),

-światłowodów (sześciokątnych żył) fonicznych z (Poli Metakrylanu Metylu) PMMA (o krawędziach 490 μm z 360 rurkami o średnicy 49 μm),

- opracowano założenia technologiczne i uruchomiono w Szklarskich Zakładach Przetwórczych „Przełom” w Krakowie produkcję płytek szklanych o grubościach 150 μm i 180 μm ze szkła typu „float”,
- opracowano technologię, wytworzono niezbędne stanowiska i narzędzia II oprzyrządowanie do produkcji i napełniania FWAT w ciągu technologicznym LCD w ZFITK-WAT.

2.1 Budowa Fantomów Kubicznych

Częścią główną Fantomu Kubicznego (np. typu 2Q2WAT20 lub 5Q2WAT20) jest sześciian foremny tzw. CUBIC o wymiarach 2 cm × 2 cm × 2 cm (lub 5 cm × 5 cm × 5 cm) zbudowany z płytek szklanych. Są to cienkie płytki ze szkła typu „float” stosowane w technologii LCD. Płytki o ww. wymiarach i grubości $D \sim 180 \mu\text{m}$ zostały sklezione w stos (jedna na drugiej) z zachowaniem płasko-równoległej przerwy o grubości $d \sim 20 \mu\text{m}$ między nimi. Kubiczny stos cienkich płytek zbudowano stosując metody technologii LCD. Do sklejanania płytek zastosowano przekładki dystansująco klejące z kleju foto-utwardzalnego NOA 68T NORLAND, nanoszonego metodą sitodruku, stosując sito o rastrze 50 linii/cm. Klej przekładki dystansująco-sklejającej naniesiono w formie 8 „kropek” o średnicy mniejszej niż 2 mm każda. Kropki te rozmieszczono w równych odległościach na obwodzie płytki. W celu otrzymania pożądanej (płasko równoległe) szczeliny między płytkami, do kleju przekładki dodawano specjalne, kalibrowane, walcopodobne, szklane dystansery do LCD o średnicy $\Phi = 20 \mu\text{m}$, w ilości ok. 30 dystanserów/mm². Po złożeniu stosu ze 100 płytek dla 2Q2WAT20 lub z ok. 230 płytek dla 5Q2WAT20 (z naniesionymi przekładkami) stos ścisano w specjalnym ścisisku by wszystkie płyty szklane osiadły na dystansownikach. Ustalono w ten sposób strukturę płasko równoległych szczelin o szerokości $d \sim 20 \mu\text{m}$, znajdujących się między płytkami. Finalne ściskanie ustaliło nominalny rozmiar sześciianów, który wynosił 2 cm × 2 cm × 2 cm lub 5 cm × 5 cm × 5 cm. Po uzyskaniu powyższych wymiarów, klej w strukturę sześciianów był został sieciowany promieniowaniem nadfioletowym z wykorzystaniem lampy UV HAMAMATSU LC8 i optyki światłowodowej.

Tak zbudowany CUBIC jest anizotropowym modelem ośrodka periodycznego, w którym płasko-równoległe warstwy „cieczy roboczej” o grubości $d \sim 20 \mu\text{m}$ są odseparowane od siebie płasko-równoległymi płytkami szklanymi o grubości $D \sim 180 \mu\text{m}$. CUBIC umieszczano w pleksiglasowej obudowie w formie sześciostianu o wym. wewnętrznych 2 cm × 2 cm × 2 cm lub 5 cm × 5 cm × 5 cm, zbudowanej z płytek pleksiglasowych o grubości 2 mm, sklejonych klejem do pleksiglasu ACROLOCK CC 10-10 CLR. Na powierzchni obudowy, fantomu „wygrawerowano” również symbol Fantomu (np. 2QWAT20 lub 5QWAT20).

Fantomy kubiczne typu 2QWAT20 lub 5QWAT20 napełniono wodą destylowaną (stosowaną do ilościowej analizy chemicznej). Fantom napełniono i odgazowano metodą próżniową stosowaną w technologii LCD. Odgazowaną wodę wprowadzono poprzez otwór napełniający i uszczelniono silikonowym koreczkiem. Następnie przeprowadzono kolejne odgazowywanie fantomu. Wszystkie ww. elementy konstrukcyjne Fantomu wykonano z pleksiglasu (PoliMetakrylanu Metylu).

2.2 Budowa Fantomów Cylindrycznych

Fantomy Cylindryczne typu 2CWATS, 2CWATP lub 3CWATS, 3CWATP, zbudowano z pręcików z kwarcowego włókna fonicznego (dla typów 2CWATS i 3CWATS) lub z organicznego włókna fonicznego PMMA (dla typów 2CWATP i 3CWATP). Pręciki te umieszczono w szklanych

cylindrycznych obudowach o wysokości $h=2$ cm i średnicy wewnętrznej 2 cm (dla typów 2CWATS, 2CWATP) lub o wysokości $h=3$ cm i średnicy wewnętrznej 3 cm (dla typów 3CWATS, 3CWATP). Częścią główną Fantomu Cylindrycznego typu 2CWATS lub 3CWATS, jest CYLINDER zbudowany z kwarcowych (SiO_2) pręcików włókna fotonicznego. Każdy pręcik kwarcowej żyły fotonicznej o długości 2 cm (lub 3 cm) i średnicy ~ 830 μm posiada ~ 300 „rurek” o średnicy $\Phi \sim 30$ μm . Budowano również Fantomy Cylindryczne 2CWATP lub 3CWATP z organicznego włókna fotonicznego PMMA (PoliMetakrylanu Metylu) o średnicy ~ 960 μm zawierającego również ~ 300 „rurek” o średnicy $\Phi \sim 30$ μm . Pręciki żył fotonicznych umieszczono w szklanym kalibrowanym cylindrze (ze szkła laboratoryjnego typu Pyrex) o wysokości 2 cm (lub 3 cm) i średnicy wewnętrznej 2 cm (lub 3 cm). Grubość ścianki cylindra jak i dwóch jego okrągłych podstaw wynosiła 1,5 mm. Po starannym ułożeniu ~ 1200 pręcików z SiO_2 w 3CWATS (lub ~ 970 pręcików z PMMA w 3CWATP) w cylindrze, cylinder zamykano dwoma szklanymi podstawami. Tak zbudowany CYLINDER jest anizotropowym modelem ośrodka periodycznego, w którym „obszary cieczy roboczej” znajdujące się w periodycznie ułożonych „rurkach” włókna fotonicznego o średnicy $\Phi \sim 30$ μm są odseparowane od siebie ściankami tych rurek we włóknie fotonicznym. Fantomy Cylindryczne napełniono (tak samo jak w przypadku Fantomów Kubicznych) wodą destylowaną (stosowaną do ilościowej analizy chemicznej) poprzez otwór napełniający i uszczelniono koreczkiem. Fantom napełniono i odgazowano metodą próżniową stosowaną w technologii LCD.

2.3 Badanie właściwości fizycznych materiałów konstrukcyjnych Fantomów

Określono:

- Podatność magnetyczną (masową χ_m i objętościową χ_v),
- Gęstość ρ ,
- Przenikalność elektryczną ϵ ,
- Współczynnik załamania światła n ,

następujących materiałów konstrukcyjne, z których zbudowano wszystkie Fantomy:

- Szkło typu Float (płytki o grubości $D \sim 180$ μm),
- Szkło typu Pyrex (cylinder, kula),
- Włókno fotoniczne z SiO_2 ,
- Włókno fotoniczne z PMMA,
- Pleksiglas (PMMA),
- H_2O (destylowana).

Pomiary powyższych wielkości fizycznych wykonano w temperaturze pokojowej.

Pomiary magnetyczne wszystkich materiałów konstrukcyjnych Fantomów zostały wykonane na układzie Quantum Design PPMS System, zaopatrzone w głowicę magnetometru wibracyjnego. Częstość wibrowania próbki wynosiła 40 Hz a amplituda oscylacji 2 mm. Masową podatność magnetyczną wyznaczono z pomiarów Namagnesowania (M) badanych materiałów w funkcji natężenia pola magnetycznego (H). Na podstawie otrzymanych zależności $M = \chi_p H$ obliczano masowe podatności magnetyczne χ_p dla badanych próbek.

Pomiary gęstości ρ wszystkich materiałów konstrukcyjnych Fantomów zostały wykonane metodą piknometryczną.

Pomiary statycznej przenikalności elektrycznej ϵ wszystkich materiałów konstrukcyjnych Fantomów zostały wykonane analizatorem impedancji HEWLETT PACKARD 4192A dla częstotliwości $f=1000$ Hz.

Pomiary współczynnika załamania światła n materiałów konstrukcyjnych w fazie stałej Fantomów zostały wykonane za pomocą elipsometru SE 850 SENTEC.

Współczynniki załamania próbek cieczy wyznaczono za pomocą refraktometru Abbego.

2.4 Fantomy dla potrzeb medycyny

W wyniku gruntownych badań prowadzonych w WAT od kwietnia 2009 do września 2012 w ramach POIG.01.03-14-016/08 przy ścisłej współpracy z dr Krzyżakiem z IFJ PAN opracowano i wytworzono następujące (anizotropowe dla dyfuzji wody) FANTOMY naśladujące tkankę ludzką (mi. wiązki neuronowe w mózgu i rdzeniu kręgowym):

- 2Q1WATx - w formie sześciianu o krawędzi 2 cm z płytkami szklanymi o grubościach 50 μm rozseparowanymi warstwami wody o grubościach: $x=5$ μm , 10 μm , 20 μm i 50 μm ;
- 2Q2WATx - w formie sześciianu o krawędzi 2 cm z płytkami szklanymi o grubościach 150 μm rozseparowanymi warstwami wody o grubościach: $x=5$ μm , 10 μm , 20 μm i 50 μm ;
- 5Q2WATx - w formie sześciianu o krawędzi 5 cm z płytkami szklanymi o grubości 150 μm rozseparowanymi warstwami wody o grubościach: $x=5$ μm , 10 μm , 20 μm i 50 μm ;
- 2CWATS - w formie cylindra o wysokości średnicy 2 cm wypełnionego sześciokątnymi „żyłami fonicznymi SiO_2 ” (o krawędziach 360 μm z 360 rurkami o średnicy 36 μm) zalanymi wodą;
- 3CWATS - w formie cylindra o wysokości i średnicy 3 cm wypełnionego sześciokątnymi „żyłami fonicznymi SiO_2 ” (o krawędziach 360 μm z 360 rurkami o średnicy 36 μm) zalanymi wodą;
- 2CWATP - w formie cylindra o wysokości i średnicy 2 cm wypełnionego sześciokątnymi „żyłami fonicznymi PMMA” (o krawędziach 490 μm z 360 rurkami o średnicy 49 μm) zalanymi wodą

Opracowane i wykonane w WAT ww. Fantomy zostały przebadane w Pracowni Tomografii Magnetycznego Rezonansu Jądrowego IFJ PAN w Krakowie (systemy 4.7 T i 9.4 T BrukerBioSpin), laboratorium firmy BRUKER i na systemach klinicznych 1.5T i 3T GE w Katowicach i Krakowie (firmy Helimed i Voxel).

Ww. badania jednoznacznie potwierdziły słuszność odkryć dr Krzyżaka z IFJ PAN i wielką przydatność opracowanych w WAT Fantomów do badań obrazowania tensora dyfuzji (ang. DTI – *Diffusion Tensor Imaging*) metodami tomografii magnetycznego rezonansu jądrowego (ang. MRI – *Magnetic Resonance Imaging*). (Notatkę służbową Dyrektora Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie prof. dr hab. Marka Jeżabka, przesłaną do prof. dr hab. inż. Leszka Jaroszewicza - Dyrektora Instytutu Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie, zamieszczono jako Załącznik 1.

W związku z powyższym opracowano, wytworzono i sprzedano (w ramach POIG.01.03-14-016/08) cztery, w pełni profesjonalne, FANTOMY (2Q2WAT20, 5Q2WAT20, 3CWATS, 2CWATS), które były najbardziej perspektywiczne do dalszych badań klinicznych w laboratoriach NMR. Metryki tych FANTOMÓW zamieszczono jako Załącznik 2.

Opracowane Fantomy typu FWAT (anizotropowe dla dyfuzji wody modele tkanki ciała ludzkie) służyły (do pierwszych prób) wycechowania aparatów NMR Firmy BRUKER w krakowskich klinikach medycznych (min. w Szpitalu Świętego Jana Pawła II)

Wydaje się, że opracowany FWAT do badania stanu dynamiki wody w układach biologicznych mogą (po dalszych gruntownych badaniach i niezbędnych modyfikacjach) stosunkowo łatwo zostać zastosowany w dowolnym tomografie NMR (w kraju i na świecie) i znaleźć szerokie zastosowania w badaniach klinicznych.

3. Publikacje

1. A. T. Krzyżak, L. R. Jaroszewicz, „Anisotropic Diffusion Phantom – Applications for DTI”, *Mol. Imag. Biol*, **12** (Suppl.2), 1314 (2010).
2. A. T. Krzyżak, Z. Raszewski, I. Habina, W. Węglarz, L. R. Jaroszewicz, „Usefulness of Anisotropic Diffusion Phantom for DTI”, *Advanced Bioimaging Technologies*, **12** 33 (2011).
3. A. Krzyżak, K. Kłodowski, Z. Raszewski „Anisotropic Phantoms in Magnetic Resonance Imaging”, *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 978-1-4244-9270-1/15/\$31.00 ©2015 IEEE

Załącznik nr 1

Notatkę służbową Dyrektora Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie prof. dr hab. Marka Jązebeka przesłaną do prof. dr hab. inż. Leszka Jaroszewicza Dyrektora Instytutu Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ND/150/2012

Kraków, dn. 21 czerwca 2012 r.

Szanowny Pan
prof. dr hab. inż. Leszek Jaroszewicz
Dyrektor Instytutu Fizyki Technicznej,
Wojskowa Akademia Techniczna,
00-908 Warszawa,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2

Notatka służbowa:

Niniejszym informuję Pana Dyrektora, że przekazane do IFJ PAN w Krakowie na ręce Pana dr. Artura Krzyżaka przez prof. Zbigniewa Raszewskiego z WAT FANTOMY (wyspecyfikowane w załączniku 1) naśladujące tkankę ludzką (mi. wiązki neuronowe w mózgu i rdzeniu kręgowym), zostały przebadane w Pracowni Tomografii Magnetycznego Rezonansu Jądrowego IFJ PAN w Krakowie (systemy 4.7 T i 9.4 T Bruker BioSpin), laboratorium firmy BRUKER i na systemach klinicznych 1.5T i 3T GE w Katowicach i Krakowie (firmy Helimed i Voxel).

Wyniki przeprowadzonych badań wszystkich ww. typów FANTOMÓW wykonanych w WAT (w ramach Projektu Kluczowego POIG.01.03.01-14-016/08 „Nowe materiały fotoniczne i ich zaawansowane zastosowania”), wg opracowanej w WAT technologii bazującej na opracowaniach naukowych IFJ PAN w Krakowie i chronionych zgłoszeniami patentowymi (polskim **P.385276**, europejskim **EP09755104.8**, amerykańskim **US2011074423**, japońskim **JP2011520582**) jednoznacznie potwierdzają słuszność naszych odkryć o ich przydatności do badań obrazowania tensora dyfuzji (ang. **DTI** – Diffusion Tensor Imaging) metodami tomografii magnetycznego rezonansu jądrowego (ang. **MRI** – Magnetic Resonance Imaging) (załącznik 2 zawiera aktualny spis literatury).

W związku z powyższym zwracam się z prośbą do Pana Dyrektora o sprzedaż czterech FANTOMÓW (2Q2WAT20, 5Q2WAT20, 3CWATS, 2CWATS), które wydają się być najbardziej perspektywiczne do dalszych badań NMR.

DYREKTOR
Instytutu Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
prof. dr hab. Marek Jązebek

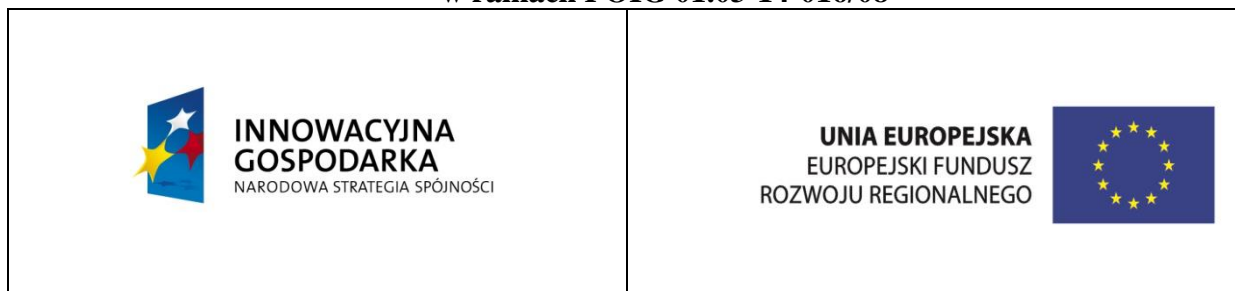
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków
www.ifj.edu.pl
centrala: +48 12 662 8000

dyrektor: +48 12 662 8200
e-mail: dyrektor@ifj.edu.pl
fax: +48 12 662 8458

NIP: PL 6750000444
REGON: 000326983
RIN: RIN-III-61/04

Załącznik nr 2

Wybrane metryki fantomów medycznych opracowanych i wytworzonych w WAT w ramach POIG 01.03-14-016/08



FANTOM 3CWATS W FORMIE CYLINDRA O WYSOKOŚCI I ŚREDNICY 3 CM WYPEŁNIONEGO SZEŚCIOKĄTNYMI “ŻYŁAMI FOTONICZNYMI” ZE SZKŁA KWARCOWEGO O KRAWĘDZIACH 360 μm Z 360 RURKAMI O ŚREDNICY 36 μm ZALANYMI WODĄ.

Obudowa: Cylinder o wewnętrznej średnicy 3cm i wysokości 3cm ze szkła laboratoryjnego „Pyrex” o grubości 1 mm.

Waga obudowy: 14,038 g.

Pręciki z kwarcowego włókna fotonicznego o długości 3cm i średnicy 830 μm z 360 „rurkami o średnicy 36 μm .

Waga ‘pręcika z kwarcowego włókna fotonicznego: 0,0182 g.

3CWATS zawiera 1552 pręcików.

3CWATS został napełniony „świeżo odgazowaną” destylowaną wodą.

Waga wody: 13,4260 g.

3CWATS został uszczelniony „silikonowymi korkami” i zahermetyzowany klejem fotoutwardzalnym: MEGAUV.

Waga dwóch silikonowych korków: 2 x 0.018g

Waga całkowita 3CWATS: 55,450 g.

FANTOM OPRACOWANY W WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ W RAMACH PROJEKTU POIG.01.03.01-14016/08 DLA INSTYTUTU FIZYKI JDRÓWEJ PAN W KRAKOWIE.

Prof. Leszek Jaroszewicz
Warszawa, 27. 09. 2012

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49
NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl



**FANTOM 3CWATP
W FORMIE CYLINDRA O WYSOKOŚCI I ŚREDNICY 3 CM
WYPEŁNIONEGO SZEŚCIOKĄTNYMI „ŻYŁAMI FOTONICZNYMI” ZE
SZKŁA ORGANICZNEGO O KRAWĘDZIACH 360 μm Z 360 RURKAMI
O ŚREDNICY 36 μm ZALANYMI WODĄ.**

Obudowa: Cylinder o wewnętrznej średnicy 3cm i wysokości 3cm ze szkła laboratoryjnego „Pyrex” o grubości 1 mm.

Waga obudowy: 14,845 g.

Pręciki z PMMA (organicznego) włókna fotonicznego o długości 3cm i średnicy 960 μm z 360 „rurkami o średnicy 36 μm .

Waga 'pręcika z organicznego włókna fotonicznego: 0,0080 g.

3CWATP zawiera 965 pręcików.

3CWATP został napełniony „świeżo odgazowaną” destylowaną wodą.

Waga wody: 19,985 g.

3CWATP został uszczelniony „silikonowym korkiem” i zahermetyzowany klejem fotoutwardzalnym: MEGAUV.

Waga silikonowego korka: 0.0180 g

Waga całkowita 3CWATP: 42,5870 g.

**FANTOM OPRACOWANY
W WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ
W RAMACH PROJEKTU POIG.01.03.01-14016/08
DLA INSTYTUTU FIZYKI JDROWEJ PAN W KRAKOWIE.**

Prof. Leszek Jaroszewicz
Warszawa, 27. 09. 2012

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49
NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl





FANTOM 2Q2WAT20
W FORMIE SZEŚCIOŚCIANU O KRAWĘDZIACH 2 CM Z PŁYTKAMI
SZKLANYMI O GRUBOŚCIACH 150 μm ROZSEPAROWANYMI
WARSTWAMI WODY O GRUBOŚCIACH 20 μm

Obudowa:

Sześcicościan o wym. wewnętrznych 2cm x 2cm x 2cm z płytek pleksiglasowych o grubości 2 mm skleiony klejem do pleksiglasu: ACROLOCK CC 10-10 CLR.

Waga obudowy: 6,559 g.

Płytki szklane o wym. 2cm x 2cm ze szkła floatowego o grubości ~0,20 mm

Waga płytki szklanej: ~0,192 g

2Q2WAT20 zawiera 98 płytek szklanych.

Płytki szklane są rozseparowane przy pomocy czterech „kropek” (w czterech narożach płytek) z kleju XN-5A-C (do technologii LCD) z walcowymi szklanymi dystanserami o średnicy 20 μm (do technologii LCD).

2Q2WAT20 został napełniony „świeżo odgazowaną” destylowaną wodą.

Waga wody: 0,981 g.

2Q2WAT20 został uszczelniony „silikonowym korkiem” i zahermetyzowany klejem fotoutwardzalnym: MEGAUV.

Waga silikonowego korka: 0.018g

Waga całkowita 2Q2WAT20: 26,374 g.

FANTOM OPRACOWANY
W WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ
W RAMACH PROJEKTU POIG.01.03.01-14016/08
DLA INSTYTUTU FIZYKI JDRÓWEJ PAN W KRAKOWIE.

Prof. Leszek Jaroszewicz
Warszawa, 27. 09. 2012

Wojskowa Akademia Techniczna im. Jarosława Dąbrowskiego, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa 49
NIP: 527-020-63-00, REGON: 012122900, www.wat.edu.pl





**FANTOM 5Q2WAT20
W FORMIE SZEŚCIANU O KRAWĘDZIACH 5 CM Z PŁYTKAMI
SZKLANYMI O GRUBOŚCIACH 150 μm ROZSEPAROWANYMI
WARSTWAMI WODY O GRUBOŚCIACH 20 μm**

Sześćościan o wym. wewnętrznych 5cm x 5cm x 5cm z płytek pleksiglasowych o grubości 2 mm skleiony klejem do pleksiglasu: ACROLOCK CC 10-10 CLR.

Waga obudowy: 41,021 g.

Płytki szklane o wym. 5cm x 5cm ze szkła floatowego o grubości 0,20 mm

Waga płytki szklanej: 1,203 g

5Q2WAT20 zawiera 230 płytek szklanych.

Płytki szklane są rozseparowane przy pomocy czterech „kropek” (w czterech narożach płytek) z kleju XN-5A-C (do technologii LCD) z walcowymi szklanymi dystanserami o średnicy 20 μm (do technologii LCD).

5Q2WAT20 został napełniony „świeżo odgazowaną” destylowaną wodą.

Waga wody: 14,839 g.

5Q2WAT20 został uszczelniony „silikonowym korkiem” i zahermetyzowany klejem fotoutwardzalnym: MEGAUV.

Waga silikonowego korka: 0.018g

Waga całkowita 5Q2WAT20: 332,530 g.

**FANTOM OPRACOWANY
W WOJSKOWEJ AKADEMII TECHNICZNEJ
W RAMACH PROJEKTU POIG.01.03.01-14016/08
DLA INSTYTUTU FIZYKI JDROWEJ PAN W KRAKOWIE.**

Prof. Leszek Jaroszewicz
Warszawa, 27. 09. 2012

