Autoreferat

I. Imię i nazwisko

Katarzyna Dorota Lewandowska

II. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe — z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- Stopień naukowy doktora nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka nadany uchwałą Rady Wydziału Matematyczno–Przyrodniczego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach z dnia 19 stycznia 2012 roku.
  - Tytuł rozprawy doktorskiej: „Modelowanie procesów transportu cząsteczek w układach subdyfuzyjnych".
  - Publiczna obrona rozprawy doktorskiej odbyła się w dniu 14 grudnia 2011 r.
  - Rozprawa doktorska została przedłożona Radzie Wydziału Matematyczno–Przyrodniczego Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach w dniu 16 czerwca 2011 roku.
- Tytuł zawodowy magistra fizyki, Wydział Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Gdańskiego, 2000.

III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.04.2012 — obecnie	adiunkt w Zakładzie Informatyki Radiologicznej i Statystyki Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
01.06.2009 — 31.03.2012	wykładowca w Zakładzie Informatyki Radiologicznej i Statystyki Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego
04.11.2008 — 31.05.2009	asystent w Zakładzie Informatyki Radiologicznej i Statystyki Akademii Medycznej w Gdańsku (od 19.05.2009 Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego)
01.12.2000 — 03.11.2008	asystent w Katedrze i Zakładzie Fizyki i Biofizyki Akademii Medycznej w Gdańsku

IV. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

A. Tytuł osiągnięcia naukowego — cyklu siedmiu publikacji powiązanych tematycznie:

Modelowanie procesów dyfuzji normalnej – reakcji i subdyfuzji – reakcji

B. Autorzy, tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa

O.1 K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Application of diffusion – reaction equations to model carious lesion progress*, Physica A **391**, 2608 (2012).

Punktacja IF — 1,676, punktacja ministerstwa — 30

O.2 K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, M. Piwnik, *The perturbation method to solve subdiffusion-reaction equations*, Acta Phys. Pol. B **43**, 1065 (2012).

Punktacja IF — 1,011, punktacja ministerstwa — 20.

O.3 T. Kosztołowicz, M. Piwnik, K.D. Lewandowska, T. Klinkosz, *The solution to subdiffusion–reaction equation for the system with one mobile and one static reactant* Acta Phys. Pol. B **44**, 967 (2013).

Punktacja IF — 0,998, punktacja ministerstwa — 20.

O.4 T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion-reaction processes with $A \to B$ reactions versus subdiffusion-reaction processes with $A+B \to B$ reactions*, Phys. Rev. E **90**, 032136 (2014).

Punktacja IF — 2,288, punktacja ministerstwa — 35.

O.5 T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, T. Klinkosz, *How to identify absorption in a subdiffusive medium*, Math. Model. Nat. Phenom. **12(6)**, 118–129 (2017).

Punktacja IF — 1,101, punktacja ministerstwa — 20.

O.6 K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *The method of an experimental*

determination of boundary conditions at a thin membrane for diffusion, Acta Phys. Pol. B **49**, 955–960 (2018).

Punktacja IF — 0,875, punktacja ministerstwa — 20.

O.7 T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Normal diffusion in a medium connected to a subdiffusive medium with absorption*, BioSystems **177**, 5–8 (2019).

Punktacja IF — 1,619, punktacja ministerstwa — 25.

Sumaryczna punktacja IF wynosi 9,568**, punktacja ministerstwa —** 170**.**

C. Omówienie celu naukowego wyżej wymienionych prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Subdyfuzja to proces błądzenia losowego, który występuje w ośrodkach w których ruch cząsteczek jest na tyle utrudniony z powodu złożonej struktury wewnętrznej tych ośrodków, że średni czas oczekiwania na przeskok jest nieskończony [1, 2]. Subdyfuzja jest więc procesem jakościowo różnym od dyfuzji normalnej dla której średni czas oczekiwania na przeskok jest skończony.

Subdyfuzja jest często opisywana cząstkowymi równaniami różniczkowymi z pochodnymi rzędu ułamkowego:

$$\frac{\partial C(x,t)}{\partial t} = D_\alpha \frac{\partial^{1-\alpha}}{\partial t^{1-\alpha}} \frac{\partial^2 C(x,t)}{\partial x^2} \ , \tag{1}$$

gdzie C oznacza stężenie substancji, α to parametr subdyfuzji, który przyjmuje wartości z przedziału $(0,1)$, D_α jest współczynnikiem subdyfuzji, a $\partial^\alpha f(t)/\partial t^\alpha$ oznacza pochodną Riemanna–Liouville'a zdefiniowaną przez relację:

$$\frac{d^\alpha f(t)}{dt^\alpha} = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t dt' \frac{f(t')}{(t-t')^\alpha} \ , \qquad \alpha \in (0,1) \ . \tag{2}$$

Obecność pochodnej ułamkowej w równaniu subdyfuzji wynika z przyjętego założenia o nieskończonej wartości średniego czasu oczekiwania na przeskok w modelu, którym zazwyczaj posługujemy się opisując proces subdyfuzji. Zauważmy, iż ze struktury równania (1) wynika, że pochodna ułamkowa wprowadza pamięć procesu do tego równania. Pochodna Reimanna–Liouville'a nie jest jedyną pochodną ułamkową, która może wystąpić w równaniu subdyfuzji. Nadmieńmy, że jest wiele rodzajów pochodnych ułamkowych i że same pochodne są ciekawym obiektem matematycznym. Taki opis znajduje potwierdzenie w wynikach eksperymentalnych (por. np. [3, 4]) dając znacznie

lepsze dopasowanie rozwiązań teoretycznych do danych eksperymentalnych od tego, jaki moglibyśmy uzyskać opierając modelowane procesu na dyfuzji normalnej. Dodajmy, że gdy w równaniu (1) podstawimy $\alpha = 1$ to otrzymamy równanie dyfuzji normalnej.

Gdy w układzie subdyfuzyjnym wystąpią reakcje (mogą to być reakcje chemiczne, absorpcja lub inne procesy prowadzące do wykluczenia cząsteczki biorącej udział w reakcji z rozważanego procesu, jak np. eliminacja bakterii przez antybiotyki) to równanie subdyfuzji (1) powinno być uzupełnione o człon opisujący reakcje. W literaturze znajdziemy wiele propozycji dotyczących postaci i położenia członu reakcji w równaniu subdyfuzji–reakcji. Dla układu subdyfuzyjnego w którym dwie mobilne substancje (A i B) mogą reagować, często wybierany jest następujący układ równań:

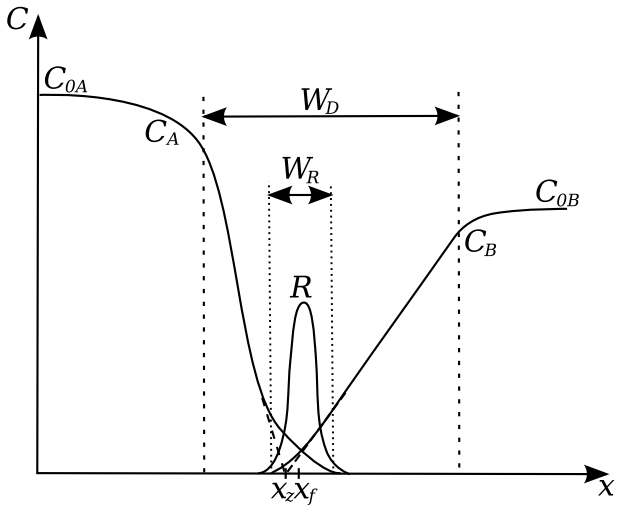
$$\frac{\partial C_A(x,t)}{\partial t} = D_{\alpha A}\frac{\partial^{1-\alpha}}{\partial t^{1-\alpha}}\frac{\partial^2 C_A(x,t)}{\partial x^2} - \frac{\partial^{1-\alpha}}{\partial t^{1-\alpha}}\left(kC_A(x,t)C_B(x,t)\right) , \quad (3)$$

$$\frac{\partial C_B(x,t)}{\partial t} = D_{\alpha B}\frac{\partial^{1-\alpha}}{\partial t^{1-\alpha}}\frac{\partial^2 C_B(x,t)}{\partial x^2} - \frac{\partial^{1-\alpha}}{\partial t^{1-\alpha}}\left(kC_A(x,t)C_B(x,t)\right) , \quad (4)$$

gdzie C_A i C_B oznaczają stężenia substancji, odpowiednio, A i B, $D_{\alpha A}$ i $D_{\alpha B}$ to odpowiadające substancjom A i B współczynniki subdyfuzji, k jest stałą szybkości reakcji. Dodajmy, iż aby otrzymać równania opisujące układ dyfuzji normalnej–reakcji wystarczy w równaniach (3) i (4) podstawić $\alpha = 1$.

Procesy (sub)dyfuzji–reakcji są często obserwowane w biologii. Przykładami takich obserwacji są: reakcje unimolekularne (np. rozpad promieniotwórczy, izomeryzacja *cis-trans* [5], dysocjacja termiczna [6], metatetyczna polimeryzacja z otwarciem pierścienia [7], substytucja nukleofilowa [8], racemizacja [9]), absorpcja leku na drodze pasywnej dyfuzji [10], układy w których absorpcja cząsteczek jest osłabiana przez śluz, który można potraktować jak dyfuzyjną barierę [11], filtracja w której cząsteczki znajdujące się w stanie aktywnym są deaktywowane w czasie przemieszczania się przez filtr, który może być ośrodkiem subdyfuzyjnym aby zapewnić odpowiedni czas na deaktywację cząsteczek [12]. Takim procesem jest także filtracja w której cząsteczki są wykluczane z procesu wskutek reakcji z innymi cząsteczkami znajdującymi się w cienkim filtrze [13]. Należy także wymienić antybiotykoterapię [14], infekcje w organizmach żywych w których wirusy przemieszczają się losowo w środowisku o złożonej strukturze wewnętrznej.

Równania dyfuzji normalnej–reakcji (równania (3) i (4) dla $\alpha = 1$), jak i równania subdyfuzji–reakcji są nieliniowymi cząstkowymi równaniami różniczkowymi. W literaturze znajdujemy rozwiązania tych równań jedynie dla szczególnych przypadków, a rozwiązania dla dowolnych wartości parametrów charakteryzujących proces pozostają nieznane. Dlatego też w rozwiązywaniu równań (sub)dyfuzji–reakcji przyjmowane się rozmaite założenia upraszczające i stosowane są metody przybliżonego rozwiązywania takich równań,



Rysunek 1: Schemat rozważanego układu dla $t > 0$.

takie jak np. metoda *quasi*-statyczna [15, 16], metoda perturbacyjna [15], [O.1] i [O.2] lub metoda skalowania [17]. Poszukuje się też funkcji charakteryzujących proces, takich jak czasowa ewolucja frontu reakcji, czyli punktu w którym reakcja przebiega najbardziej intensywnie (por. np. [16]).

Bardzo użyteczna dla modeli (sub)dyfuzji–reakcji byłaby konfrontacja z wynikami eksperymentalnymi. Niestety w literaturze znajdujemy bardzo niewiele publikacji, które przedstawiają wyniki eksperymentów dotyczących procesów subdyfuzji–reakcji. Wydaje się, że jednym z powodów braku obserwacji eksperymentalnych mogą być trudności techniczne w ich przeprowadzaniu, jak to ma miejsce w przypadku interferometrycznej metody wyznaczania stężeń. Metodę interferometryczną stosujemy do pomiaru stężenia jednej substancji, która dyfunduje pomiędzy dwoma ośrodkami (mogą być przedzielone cienką membraną) [3, 4, 18, 19, 20]. W układach subdyfuzji–reakcji występują dwie substancje, które mieszają się ze sobą. Niestety, metoda interferometryczna umożliwia pomiar jedynie sumarycznego stężenia substancji.

W artykułach [O.1] i [O.2] przedstawiamy rozwiązania równań dyfuzji normalnej–reakcji [O.1] i subdyfuzji–reakcji [O.2] otrzymane przy zastosowaniu metody perturbacyjnej. W obydwu publikacjach rozważamy układ w którym substancje A i B są odseparowane w chwili początkowej. Dla takiej postaci warunku początkowego w trakcie procesu w układzie powstaje charakterystyczna struktura (por. Rys. 1), w której wyróżniamy kilka obszarów [16]. Jednym z nich jest obszar reakcji oznaczony jako W_R, który definiujemy jako część układu w której reakcje przebiegają najintensywniej. Kolejnym jest obszar zubożenia W_D zdefiniowany jako część układu, w której stężenia substancji A i B są znacznie mniejsze od ich stężeń początkowych.

Metodę perturbacyjną stosujemy w rozwiązywaniu nieliniowych równań różniczkowych, przy czym człon nieliniowy powinien być mały w porównaniu z członem liniowym. Aby stwierdzić, że człon nieliniowy rzeczywiście jest mały, metoda ta wymaga, aby przekształcić człon nieliniowy w taki sposób, żeby można było wyróżnić bezwymiarowy parametr ε będący kombinacją parametrów charakteryzujących proces i spełniający warunek $\varepsilon \ll 1$. Zauważmy, że metoda perturbacyjna nie może być wykorzystana bezpośrednio w równaniach (sub)dyfuzji–reakcji (3) i (4) ze względu na fakt, iż w obszarze reakcji wielkość członu reakcji jest porównywalna z wielkością członu dyfuzyjnego (patrz prawa strona równań (3) i (4)). W tej sytuacji założenia metody perturbacyjnej nie są spełnione. Jednakże, wykorzystaliśmy fakt, iż człon reakcji i człon dyfuzyjny mają inne własności skalujące [21] i przekształciliśmy równania (sub)dyfuzji–reakcji w postaci wymiarowej do postaci bezwymiarowej w taki sposób, że założenia metody perturbacyjnej zostały spełnione.

W publikacjach [O.1] i [O.2] zaproponowaliśmy i zastosowaliśmy następującą procedurę rozwiązywania równań (sub)dyfuzji–reakcji z wykorzystaniem metody perturbacyjnej:

- Równania (sub)dyfuzji–reakcji w zmiennych wymiarowych przeskalowujemy tak, aby z parametrów charakteryzujących układ wyznaczyć bezwymiarowy parametr ε, który będzie spełniał relację $\varepsilon \ll 1$ i otrzymać równania (sub)dyfuzji–reakcji także w zmiennych bezwymiarowych.
- Znajdujemy rozwiązanie równania w zmiennych bezwymiarowych.
- Przekształcamy otrzymane rozwiązania do postaci w zmiennych wymiarowych.
- Upewniamy się, że rozwiązania są poprawne poprzez porównanie otrzymanych wyników z rozwiązaniami numerycznymi bądź danymi eksperymentalnymi.

W artykule [O.1] przedstawiamy ponadto opracowany przez nas model powstawania próchnicy w szkliwie zębów ludzkich. Próchnica może być opisana jako proces dyfuzji normalnej–reakcji w którym odseparowana w chwili początkowej substancja A (kwasy organiczne) dyfunduje w głąb statycznej substancji B (hydroksyapatyt — główny składnik szkliwa), gdzie występują reakcje prowadzące do próchnicy. Przybliżone rozwiązania równań dyfuzji normalnej–reakcji otrzymaliśmy przy pomocy przedstawionej powyżej procedury. Następnie porównaliśmy otrzymane rozwiązania teoretyczne z danymi eksperymentalnymi zaczerpniętymi z literatury. Stwierdziliśmy, że występuje jakościowa zgodność pomiędzy rozwiązaniami teoretycznymi i danymi eksperymentalnymi, co prowadzi do wniosku, że metoda perturbacyjna może być użyteczna w rozwiązywaniu równań dyfuzji normalnej–reakcji. Dodajmy, iż dotychczas zaproponowane modele procesu rozwoju próchnicy bazowały na równaniu dyfuzji normalnej bez reakcji lub też człon reakcji w równaniach dy-

fuzji normalnej–reakcji zależał od stężenia tylko jednej z substancji biorących udział w reakcji. Przedstawiony przez nas model jest pierwszym, w którym człon reakcji w równaniach dyfuzji normalnej–reakcji zależy od stężenia obydwu substancji biorących udział w reakcji.

W artykule [O.2] wyznaczyliśmy przybliżone rozwiązanie równań subdyfuzji–reakcji dla układu, w którym współczynniki subdyfuzji obydwu substancji są jednakowe i stężenia początkowe równe przy pomocy opisanej powyżej procedury. Otrzymane rozwiązania porównaliśmy z rozwiązaniami numerycznymi równań subdyfuzji–reakcji i tym samym wykazaliśmy, że metoda perturbacyjna może być użyteczna w rozwiązywaniu równań tego typu. Dodajmy, że, o ile nam wiadomo, nasz artykuł jest pierwszym, w którym posłużono się metodą perturbacyjną w rozwiązywaniu równań subdyfuzji–reakcji.

W publikacji [O.3] wykazujemy, że rodzaj transportu wpływa na częstość występowania reakcji. Cząsteczki muszą się spotkać żeby zareagować, co oznacza, iż muszą znaleźć się na tyle blisko siebie, że wystąpienie reakcji staje się prawdopodobne. Oczywiście, sam fakt spotkania nie gwarantuje wystąpienia reakcji i jeżeli zdarzy się tak, że po pewnym czasie pobytu cząsteczek w obszarze reakcji (czyli na tyle blisko, że zajście reakcji jest prawdopodobne) reakcja nie wystąpi, to cząsteczki mogą oddalić się od siebie (opuścić obszar reakcji), a później ponownie zbliżyć na odległość umożliwiającą zajście reakcji. Stwierdziliśmy, że częstość tych spotkań zależy od rodzaju transportu jakiemu podlegają cząsteczki. Uważamy, że częstość spotkań cząsteczek będzie mniejsza dla subdyfuzji niż dla dyfuzji normalnej. Dlatego też pochodna ułamkowa powinna być uwzględniona w równaniu subdyfuzji–reakcji w członie opisującym przebieg reakcji. Ponadto, w artykule [O.3] w oparciu o model przedstawiony w [22, 23], który zastosowaliśmy dla układu subdyfuzji–reakcji w którym cząsteczki jednej z substancji są statyczne wykazaliśmy w jaki sposób rodzaj transportu wpływa na częstość występowania reakcji.

W artykule [O.4] przedstawiamy nową procedurę modelowanie procesów (sub)-dyfuzji–reakcji. Jej kolejne etapy są następujące:

- Przyjmujemy prosty model rozważanego procesu w układzie z dyskretnym czasem i dyskretnymi położeniami oparty o powszechnie akceptowalne założenia.
- Ustalamy równania różnicowe dla tego modelu i wyznaczamy ich rozwiązanie.
- Rozwiązania otrzymane dla zmiennych dyskretnych przekształcamy w funkcje zmiennych ciągłych, np. w funkcję Greena, które opisują realne (więc ciągłe) układy. Dodajmy, że przejście od zmiennych ciągłych do dyskretnych wymagało opracowania stosownej metody, którą także prezentujemy w [O.4].

Otrzymane dla zmiennych ciągłych funkcje umożliwiają wnioskowanie dotyczące rozważanego procesu. Podkreślmy, że zaproponowana przez nas procedura pozwala na wyznaczenie użytecznych funkcji bez rozwiązywania równań których, jak wspomnieliśmy wcześniej, rozwiązanie dla dowolnych wartości parametrów charakteryzujących układ jest nieznane. Taka procedura może być także z powodzeniem stosowana w modelowaniu procesów (sub)dyfuzji w układach w których występują membrany [24]. Dodajmy, że dotychczasowe sposoby modelowania procesów (sub)dyfuzji–reakcji były przeprowadzane bezpośrednio dla układów ze zmiennymi ciągłymi, co często prowadziło do równań, których rozwiązanie jest bardzo trudne. Czasami przeprowadzano dyskretyzację układu, zazwyczaj w celu przeprowadzenia obliczeń numerycznych.

Rozważamy proces subdyfuzji – reakcji z reakcjami typu A+B→B (cząsteczki B są statyczne) w porównaniu do procesu subdyfuzji – reakcji z reakcjami typu A→B. Drugi ze wspomnianych procesów został omówiony w [25]. W modelu zakładamy, że reakcja A+B→B może wystąpić jedynie wtedy, gdy cząsteczka A spotka cząsteczkę B, natomiast reakcja A→B reakcja może wystąpić w dowolnym położeniu i w dowolnej chwili. Ponadto w obydwu procesach przyjmujemy, że w reakcji mogą wziąć udział tylko te cząsteczki, które przeżyły do chwili wystąpienia reakcji oraz że prawdopodobieństwo wykluczenia cząsteczki A z układu w wyniku reakcji jest niezależne od położenia i czasu.

Modelowanie procesu subdyfuzji–reakcji z reakcjami A+B→B wykonaliśmy w oparciu o wyżej opisaną procedurę i wyznaczyliśmy funkcję Greena oraz równania subdyfuzji–reakcji opisujące rozważany proces. Ponadto opisaną wyżej procedurę zastosowaliśmy w modelowaniu procesu subdyfuzji–reakcji w układzie ograniczonym przez częściowo absorbującą membranę. Procedura ta jest więc też użyteczna w modelowaniu układów w których występują membrany.

W artykule [O.5] rozważamy układ składający się z dwóch różnych ośrodków subdyfuzyjnych przedzielonych cienką membraną. Zakładamy, że w jednym z tych ośrodków może występować absorpcja. Proces transportu cząsteczek w takim układzie można opisać układem równań subdyfuzji i subdyfuzji–absorpcji. Rozwiązanie takiego układu równań wymaga określenia dwóch warunków brzegowych na membranie. Pierwszy z warunków brzegowych zazwyczaj zakłada ciągłość strumieni na membranie. Drugi jest nieoczywisty i może być wybierany na wiele różnych, nierównoważnych sobie sposobów. Na marginesie dodajmy tutaj, że wyprowadziliśmy nowy warunek brzegowy na membranie w oparciu o dane eksperymentalne. Warunek ten i sposób jego wyprowadzenia przedstawiamy w [O.6] oraz w części **V.A.1)** niniejszego opracowania (artykuł [1.]). W omawianej publikacji rozwiązania układu

równań subdyfuzji i subdyfuzji–absorpcji otrzymujemy w następujący, nowy i opracowany przez nas sposób. Rozpoczynamy od obserwacji błądzenia losowego cząsteczki w układzie składającym się z dwóch ośrodków przedzielonych membraną z dyskretnym czasem i dyskretną zmienną przestrzenną. Dla takiego układu piszemy układ równań różnicowych opisujących przemieszczanie się cząsteczki i który rozwiązujemy posługując się metodą funkcji generującej. Następnie, wykorzystując opracowane przez nas reguły przechodzimy do zmiennych dyskretnych do ciągłych. Niewątpliwą zaletą opracowanej przez nas metody jest brak konieczności ustalania warunków brzegowych na membranie (por. artykuł [2.] z części **V.A.1)** niniejszego opracowania). Otrzymane rozwiązania wykorzystujemy do określenia funkcji, które mogą być wyznaczone eksperymentalnie w ośrodku w którym absorpcja nie zachodzi, a które pozwalają na ocenę, czy jest obecna w ośrodku po przeciwnej stronie membrany. Opracowana przez nas metoda znacznie poszerza możliwości badań eksperymentalnych wykorzystujących interferometrię laserową, bowiem umożliwia eksperymentalną ocenę występowania absorpcji w ośrodku nieprzezroczystym na podstawie obserwacji ośrodka przezroczystego. Ponadto, dla układu składającego się z dwóch różnych ośrodków subdyfuzyjnych przedzielonych cienką membraną (bez absorpcji) umożliwia wyznaczenie parametru subdyfuzji w ośrodku nieprzezroczystym na podstawie eksperymentalnych obserwacji przeprowadzonych w ośrodku przezroczystym.

W artykule [O.5] zaprezentowaliśmy wyprowadzoną przez nas metodę rozwiązywania równań (sub)dyfuzji–absorpcji, która nie wymaga określenia warunku brzegowego na granicy pomiędzy ośrodkami lub membranie. O ile nam wiadomo, do dnia dzisiejszego ogólna postać warunków brzegowych na membranie pozostaje nieznana. Zazwyczaj, jako pierwszy warunek brzegowy przyjmuje się ciągłość strumieni na membranie, a drugi zakłada się w różnych postaciach, które nie są sobie równoważne. W artykule [O.6] przedstawiamy metodę umożliwiającą wyprowadzenie warunków brzegowych na cienkiej membranie dla dyfuzji normalnej w oparciu o dane eksperymentalne. W ramach prezentowanej metody zakładamy następujące postaci transformat Laplace'a poszukiwanych warunków brzegowych:

$$\hat{J}_2(0^+, p) = \hat{\Psi}(p)\hat{J}_1(0^-, p) \,, \tag{5}$$

$$\hat{C}_2(0^+, p) = \hat{\Phi}(p)\hat{C}_1(0^-, p) \,, \tag{6}$$

gdzie funkcje $\hat{\Psi}(p)$ oraz $\hat{\Phi}(p)$ zostaną wyznaczone z danych eksperymentalnych. Ze zmierzonych eksperymentalnie stężeń wyznaczamy czasową ewolucję ilości substancji, która opuści ośrodek znajdujący się po lewej stronie membrany, a z drugiej strony membrany wyznaczamy czasową ewolucję ilości substancji, która przejdzie przez membranę. Następnie, korzystając z metod numerycznych wyznaczamy transformaty Laplace'a obydwu funkcji otrzymanych z danych eksperymentalnych i porównujemy je z rozwiązaniami teoretycznymi równania dyfuzji normalnej, co pozwala wyznaczyć funkcje $\hat{\Psi}(p)$

oraz $\hat{\Phi}(p)$ i tym samym warunki brzegowe (5) i (6).

W publikacji [O.7] rozważamy układ składający się z dwóch części. Jedną z nich stanowi ośrodek dyfuzyjny, a drugą ośrodek subdyfuzyjny w którym transportowane cząsteczki mogą być absorbowane. Proces transportu w tym układzie opisujemy przez układ równań składający się z równania dyfuzji normalnej i równania subdyfuzji–absorpcji. Aby rozwiązać ten układ równań, musimy określić dwa warunki brzegowe na granicy pomiędzy ośrodkami. Pierwszy z warunków brzegowych zakłada ciągłość stężeń na granicy pomiędzy ośrodkami. Jako drugi warunek brzegowy przyjmujemy nowy, uogólniony warunek brzegowy, którego wyprowadzenie zostało przedstawione w artykule [26]. Ponadto, jako warunek początkowy przyjmujemy, iż w chwili początkowej dyfundująca substancja jednorodnie wypełnia jedynie ośrodek dyfuzyjny. Otrzymane rozwiązania posłużyły nam do wyprowadzenia funkcji, która może być wyznaczona eksperymentalnie, i która umożliwia określenie, czy w ośrodku subdyfuzyjnym absorpcja występuje czy też nie, jedynie w oparciu o eksperymentalne obserwacje ośrodka dyfuzyjnego. Ta funkcja może znaleźć zastosowanie np. w eksperymentach, w których pomiary przeprowadzane są metodą interferometryczną [27, 28], bowiem metoda ta wymaga, żeby ośrodek w którym przeprowadzone są pomiary był optycznie przezroczysty. Metoda przedstawiona w omawianej publikacji, umożliwia identyfikację występowania absorpcji w ośrodku nieprzezroczystym w sytuacji, gdy pomiary przeprowadzane są w ośrodku przezroczystym. Przykładem takiego układu jest transport antybiotyku w biofilmie. W chwili początkowej wodny roztwór antybiotyku stanowi ośrodek dyfuzyjny, a biofilm — ośrodkiem subdyfuzyjny. Bakterie broniąc się przed antybiotykiem wytwarzają śluz, który może absorbować cząsteczki antybiotyku. Brak absorpcji może wskazywać na to, że dany antybiotyk jest nieskuteczny.

Procesy (sub)dyfuzji i (sub)dyfuzji–reakcji są obserwowane w przyrodzie. Ostatnio coraz częściej w układach biologicznych. Istnieje więc konieczność modelowania takich procesów, a zaproponowane przez nas modele i metody mogą być użyteczne w takim modelowaniu. Bardzo chcielibyśmy, aby była możliwa weryfikacja doświadczalna tych modeli, ale jak już wspomnieliśmy dotąd ukazało się niewiele publikacji przedstawiających wyniki takich eksperymentów. W najbliższych latach pragniemy kontynuować pracę na modelowaniem procesów (sub)dyfuzji i (sub)dyfuzji–reakcji zachodzących w układach biologicznych wykorzystując opisane powyżej metody, opracowując nowe i przeprowadzając symulacje rozważanych procesów. W miarę możliwości będziemy nasze modele weryfikować przez porównanie z wynikami eksperymentalnymi.

Literatura

[1] R. Metzler and J. Klafter, *Phys. Rep.* **339**, 1 (2000).

[2] R. Metzler and J. Klafter, *J. Phys. A* **37**, R161 (2004).

[3] T. Kosztołowicz, K. Dworecki, and S. Mrówczyński,*Phys. Rev. Lett.* **94**, 170602 (2005).

[4] T. Kosztołowicz, K. Dworecki, and S. Mrówczyński, *Phys. Rev. E* **71**, 041105 (2005).

[5] A.V. Pastukhov, V.R. Vogel, A.I. Kotelnikov, *JBIC* **5**, 307 (2000).

[6] T. Sato, J. Therm. Anal. Calorim. **82**, 77 (2005).

[7] C.W. Bielawski and R.H. Grubbs, *Prog. Polym. Sci.* **32**, 1 (2007).

[8] B. Gao, J. Zhang and J. Guo, *J. Polym. Res.* **17**, 301 (2010).

[9] J. March, *Advanced organic chemistry: reactions, mechanisms and structure* John Wiley & Sons, Inc., NY (1992).

[10] T. Kimoto *et al.*, *Int. J. Pharmaceutics* **368**, 31 (2009).

[11] A.W. Larhed, P. Artursson, E. Bjork, *Pharmaceutial Res.* **1**, 66 (1998).

[12] O. Chepizhko and F. Peruani, *Phys. Rev. Lett.* **111**, 160604 (2013).

[13] H. P. Hsieh, *Inorganic membranes for separation and reaction*, Elsevier, Amsterdam (1996).

[14] C.O. Gualerzi, L. Brandi, A. Fabbretti, C.L. Pon (Eds.), *Antibiotics: targets, mchanisms and resistance*, Viley–VCH, Veinhem (2014).

[15] T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Math. Model. Nat. Phenom.* **8**, 44 (2013).

[16] T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Phys. Rev. E* **78**, 066103 (2008).

[17] T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Acta Phys. Pol. B* **37**, 1571 (2006).

[18] S. Wąsik *et al.*, *J. Membr. Sci.* **365**, 341 (2010).

[19] T. Kosztołowicz, K. Dworecki, K.D. Lewandowska, *Phys. Rev. E* **86**, 021123 (2012).

[20] K. Dworecki, K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Acta Phys. Pol. B* **39**, 1221 (2008).

[21] S.B. Yuste, L. Acedo, K. Lindenberg, *Phys. Rev. E* **69**, 036126 (2004).

[22] K. Seki, M. Wójcik, M. Tachiya, *J. Chem. Phys.* **119**, 2165 (2003).

[23] K. Seki, M. Wójcik, M. Tachiya, *J. Chem. Phys.* **119**, 7525 (2003).

[24] T. Kosztołowicz, *Phys. Rev. E* **91**, 022102 (2015).

[25] I.M. Sokolov, M.G.W. Schmidt, F. Sagués, *Phys. Rev. E* **73**, 031102 (2006).

[26] T. Kosztołowicz, arXiv: 1807.03501 (2018) (opublikowane: *Phys. Rev. E* **99**, 022127 (2019)).

[27] M. Arabski, S. Wąsik, M. Zych, W. Łakomiec, W. Kaca, *Acta Biochim. Pol.* **60**, 707 (2013).

[28] M. Arabski, S. Wąsik, Z. Drulis-Kawa, *Clin. Microbiol.: Open Access* **2** 1000105 (2013).

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

A. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (z wyłączeniem artykułów wymienionych w osiągnięciu naukowym)

1) Artykuły opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej

1. T. Kosztołowicz, S. Wąsik, K.D. Lewandowska, *How to determine a boundary condition for diffusion at a thin membrane from experimental data*, Phys. Rev. E **96**, 010101-1–010101-4 (2017).

   Punktacja IF — 2,284, punktacja ministerstwa — 35.

   W wyżej wymienionym artykule przedstawiamy metodę umożliwiającą wyprowadzenie warunku brzegowego na cienkiej membranie dla dyfuzji w oparciu o dane eksperymentalne. W ramach prezentowanej metody zakładamy następującą postać transformaty Laplace'a poszukiwanego warunku brzegowego

   $$\hat{C}_2(0^+, p) = \hat{\Phi}(p)\hat{C}_1(0^-, p) \ , \tag{7}$$

   gdzie funkcja $\hat{\Phi}(p)$ zostanie wyznaczona z danych eksperymentalnych. W kolejnym kroku znajdujemy transformaty Laplace'a pewnych funkcji teoretycznych, które zawierają Φ i które są względnie łatwo można wyznaczyć eksperymentalnie. Następnie, przy pomocy metod numerycznych, wyznaczamy transformaty Laplace'a tych funkcji z danych eksperymentalnych otrzymanych dla dyfuzji etanolu w wodzie w układzie z membraną typu nephrophan. Potem, poprzez porównania obydwu transformat Laplace'a wyznaczona została funkcja Φ. Otrzymany przy pomocy powyżej przedstawionej metody warunek brzegowy na membranie zawiera człon w którym występuje czasowa pochodna ułamkowa Riemanna-Liouville'a

   $$\alpha C_2(0^+, t) + \beta \frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} C_2(0^+, t) = C_1(0^-, t) \ . \tag{8}$$

   Powyższa postać warunku brzegowego wykazuje, że proces przejścia cząsteczek przez membranę jest procesem z długą pamięcią. Przedstawiona w tym artykule metoda jest przykładem tego, że istotne części matematycznych modeli procesów fizycznych mogą być wyprowadzone bezpośrednio z danych eksperymentalnych.

2. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion–absorption process in a system with a thin membrane*, Math. Model. Nat. Phenom. **11(3)**, 128–141 (2016).

   Punktacja IF — 0,952, punktacja ministerstwa — 20.

   W powyższym artykule przedstawiamy nową metodę wyprowadzenia funkcji Greena dla procesu subdyfuzji–absorpcji w układzie z cienką, częściowo przepuszczalną membraną. W ramach tej metody rozważamy błądzenie losowe cząsteczki w układzie z dyskretnym czasem i dyskretną zmienną przestrzenną. Następnie przechodzimy z układu ze zmiennymi dyskretnymi do układu ze zmiennymi ciągłymi zgodnie z regułami przedstawionymi w artykule. W rezultacie otrzymujemy funkcje Greena opisujące proces subdyfuzji–absorpcji w układzie z ciekną membraną i z ciągłymi zmiennymi: przestrzenną i czasową. Niewątpliwą zaletą tej metody jest brak konieczności ustalenia warunków brzegowych na membranie, które muszą być określone w przypadku rozwiązywania równań subdyfuzji–absorpcji. Inną zaletą przedstawionej metody jest względnie prosta interpretacja procesów opisywanych przez te modele.

3. T. Kosztołowicz, M. Piwnik, K.D. Lewandowska, T. Klinkosz, *Persistent random walk effect in the subdiffusion–reaction process*, Acta Phys. Pol. B **45**, 1781 (2014).

   Punktacja IF — 0,850, punktacja ministerstwa — 20

   W powyższym artykule wykazujemy, w jaki sposób korelacja pomiędzy kolejnymi przeskokami cząsteczki wpływa na proces subdyfuzji–reakcji. Funkcja Greena (gęstość prawdopodobieństwa znalezienia cząsteczki w położeniu x w chwili t) przyjmuje niezerowe wartości dla dowolnego x dla dowolnej chwili $t > 0$. Oznacza to, że istnieje niezerowe prawdopodobieństwo znalezienia cząsteczki w dowolnie dużej odległości od położenia początkowego w dowolnie małej chwili t; cząsteczki musiałby więc poruszać się z nieskończenie dużą prędkością. Wydaje się, że w rzeczywistych układach taka własność funkcji Greena nie jest obserwowana. Dlatego też rozważa się skorelowane błądzenie losowe w którym przeskok wykonywany przez cząsteczkę w chwili bieżącej jest skorelowany z przeskokiem wykonanym przez nią w chwili poprzedniej. Oznacza to, że bardziej prawdopodobna jest sytuacja w której zwrot bieżącego przeskoku pozostanie taki sam jak w przeskoku poprzednim, niż sytuacja w której zwrot bieżącego przeskoku będzie przeciwny do zwrotu poprzedniego przeskoku. Równanie

wyprowadzone w oparciu o skorelowane błądzenie losowe opisujące proces subdyfuzji to hiperboliczne równanie Cattaneo.

Wyznaczyliśmy rozwiązanie hiperbolicznego równania subdyfuzji–reakcji, które zostało ostatnio opracowane i przedstawione w T. Kosztołowicz, *Phys. Rev. E* **90**, 042151 (2014) dla układu w którym mobilna substancja A reaguje ze statyczną substancją B. Z rozwiązania wynika, że współczynnik subdyfuzji jest zmieniony w porównaniu do współczynnika subdyfuzji występującego w rozwiązaniu parabolicznego równania subdyfuzji–reakcji o czynnik opisujący skorelowanie kolejnych przeskoków cząsteczki. Natomiast współczynnik reakcji obecny w hiperbolicznym równaniu subdyfuzji–reakcji pozostał niezmieniony. Dodajmy, iż zmiana współczynnika subdyfuzji o czynnik opisujący skorelowanie kolejnych przeskoków cząsteczki wystąpi także w rozwiązaniu hiperbolicznego równania subdyfuzji bez reakcji chemicznych. Rozważyliśmy więc różne modele teoretyczne w których zakłada się, że cząsteczka przed wystąpieniem reakcji musi pokonać pewną barierę potencjału. Prawdopodobieństwo pokonania tej bariery zależy od energii cząsteczki. Jeżeli cząsteczka w kolejnym przeskoku będzie pokonywała barierę potencjału, a zwrot tego przeskoku będzie taki sam jak w poprzednim przeskoku, to reakcja wystąpi z prawdopodobieństwem większym niż w sytuacji gdy cząsteczka w kolejnym przeskoku będzie pokonywała barierę potencjału, a zwrot tego przeskoku będzie przeciwny do tego, jaki był w poprzednim przeskoku. Wnioskujemy, że istnieje zależność współczynnika reakcji od korelacji kolejnych przeskoków cząsteczki.

Korelacja pomiędzy kolejnymi przeskokami cząsteczki może dwojako wpływać na proces subdyfuzji–reakcji. Po pierwsze może wystąpić zależność pomiędzy współczynnikiem subdyfuzji a korelacją kolejnych przeskoków cząsteczki, a po drugie taka zależność może wystąpić we współczynniku reakcji. Pierwsza zależność ma większy wpływ na proces dla mniejszych wartości prawdopodobieństwa, że kolejny przeskok cząsteczki będzie miał zwrot przeciwny w porównaniu do zwrotu w poprzedzającym przeskoku, bowiem dla mniejszych wartości tego prawdopodobieństwa szybciej rośnie w czasie średni kwadrat długości przeskoku.

4. M. Piwnik, T. Kosztołowicz, S. Wąsik, K.D. Lewandowska, T. Klinkosz, Z. Kosztołowicz, M. Arabski, *Subdiffusive model of released substance from a spherical medium*, Acta Phys pol. B **45**, 1907 (2014).

   Punktacja IF — 0,850, punktacja ministerstwa — 20.

W tym artykule rozważamy subdyfuzyjny transport substancji, która w chwili początkowej jednorodnie wypełnia ośrodek o kształcie kuli. Przyjmujemy, że parametr subdyfuzji we wnętrzu kuli przyjmuje większe wartości niż parametr subdyfuzji ośrodka znajdującego się na zewnątrz i wyznaczamy profile stężeniowe oraz czasową ewolucję ilości substancji, która opuściła kulę. Zauważamy, że powierzchnia kuli (granica pomiędzy wnętrzem a zewnętrzem kuli) zachowuje się jak częściowo odbijająca membrana, która powoduje gromadzenie się substancji pod powierzchnią kuli. Dodajmy, że czasowa ewolucja ilości substancji, która opuściła kulę może być użyteczną funkcją w doświadczalnym wyznaczaniu parametrów subdyfuzji.

5. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Application of fractional differential equations in modelling the subdiffusion–reaction process*, Math. Model. Nat. Phenom. **8**, 44 (2013).

   Punktacja IF — 0,725, punktacja ministerstwa — 20.

   W powyższym artykule przedstawiamy, dyskutujemy i uzupełniamy modele i rozwiązania równań opisujących proces subdyfuzji – reakcji w układzie w którym substancje są odseparowane w chwili początkowej zaprezentowane w naszych wcześniejszych artykułach.

6. T. Kosztołowicz, K. Dworecki, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in a system with thin membranes*, Phys. Rev. E **86**, 021123 (2012).

   Punktacja IF — 2,313, punktacja ministerstwa — 35.

   W artykule tym proponujemy model subdyfuzji w układzie zawierającym dwie cienkie membrany których współczynniki przepuszczalności zależą od czasu. Dla tego układu wyznaczamy funkcje Greena posługując się uogólnioną metodą obrazów, a następnie profile stężeniowe. Otrzymane rezultaty umożliwiły wyznaczenie wartości parametrów subdyfuzji z danych eksperymentalnych.

7. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *First-passage time for subdiffusion: the nonadditive entropy approach versus the fractional model*, Phys. Rev. E **86**, 021108 (2012).

   Punktacja IF — 2,313, punktacja ministerstwa — 35.

8. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Conciliating the nonadditive*

entropy approach and the fractional model formulation when describing subdiffusion, Centr. Eur. J. Phys. **10**, 645 (2012).

Punktacja IF — 0,905, punktacja ministerstwa — 20.

9. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *The nonextensive entropy approach versus the stochastic in describing subdiffusion*, Acta Phys pol. B **43**, 1043 (2012).

   Punktacja IF — 1,011, punktacja ministerstwa — 20.

W artykułach [7.], [8.] i [9.] przedstawiamy modelowanie procesu subdyfuzji przy pomocy nieliniowych równań z pochodnymi rzędu naturalnego. Takie modele otrzymujemy w ramach termodynamicznego opisu procesu transportu z wykorzystaniem entropii nieaddytywnych.

W artykule [7.] przedstawiamy model subdyfuzji wyprowadzony z wykorzystaniem entropii nieaddytywnych w porównaniu do modelu otrzymanego z formalizmu *continuous time random walk*. Dla obydwu modeli wyznaczamy funkcje Greena w taki sposób żeby spełniona była relacja przyjęta przez nas jako definicja subdyfuzji. Ponadto wyznaczamy czas pierwszego przejścia (czyli czas, jaki potrzebuje cząsteczka, żeby dotrzeć do określonego punktu po raz pierwszy). Porównanie obydwu modeli pozwala na wyznaczenie relacji pomiędzy parametrami charakterystycznymi dla każdego z modeli.

W artykule [8.] dokonujemy porównania pomiędzy modelami subdyfuzji. Jeden z nich został wyprowadzony z formalizmu *continuous time random walk* a drugi w oparciu o formalizm wykorzystujące entropie nieaddytywne. Za pomocą tych modeli opisujemy proces uwalniania substancji z grubej membrany i wyznaczamy czasową ewolucję ilości substancji, która pozostała w membranie i określamy warunki dla których modele te spełniają relację, którą przyjęliśmy jako definicję subdyfuzji. Warunki te pozwoliły na znalezienie relacji pomiędzy parametrami występującymi w tych modelach.

W artykule [9.] proponujemy stochastyczną interpretację procesu subdyfuzji opisywanego przez nieliniowe równania z pochodnymi rzędu całkowitego. Wykazaliśmy, że rozwiązanie równania subdyfuzji otrzymanego z wykorzystaniem entropii Gaussa jest takie same jak uogólnionego równania Langevina w którym uwzględniamy pamięć procesu.

Sumaryczna punktacja IF wynosi 12,203**, punktacja ministerstwa** — 225**.**

2) Pozostałe artykuły naukowe

1. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Zastosowanie entropii nieaddytywnych w opisie subdyfuzji*, Portal internetowy Centrum Zastosowań Matematyki: `http://www.czm.mif.pg.gda.pl/fam/artykuly-czm/`, 2015.

2. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Two models of subdiffusion processes: when are they similar?*, Advances in Applied Mathematics (ed. A.R. Ansari), Springer Proceedings in Mathematics & Statistics, vol. 87, Springer, Heidelberg 2014, 239-248.

   Punktacja ministerstwa — 5

3. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Stochastyczny model dyfuzji w układzie membranowym*, Metody matematyczne w zastosowaniach, T.2, (red. A. Bartłomiejczyk), Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2014, 153–173.

   Punktacja ministerstwa — 4

4. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *The modelling of carious lesion progress*, MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation: Modeling and Simulation (eds. J. Piantadosi, R.S. Anderssen, J. Boland), Society of Australia and New Zealand, December 2013, 1959-1965.

5. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Zastosowanie nieliniowych równań różniczkowych rzędu ułamkowego w modelowaniu procesu subdyfuzji – reakcji*, Metody matematyczne w zastosowaniach, T.1, (red. A. Bartłomiejczyk), Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013, 153–175.

   Punktacja ministerstwa — 4

6. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *The boundary condition at a partially absorbing thin membrane*, Proceedings of the Eighteenth National Conference on Applications of Mathematics in Biology and Medicine, Krynica Morska, 23-27 September 2012, 90–93.

Punktacja ministerstwa — 5

7. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, M. Arabski, S. Wąsik, *The theoretical model of a released substance from a subdiffusive membrane to a diffusive environment*, Proceedings of the Eighteenth National Conference on Applications of Mathematics in Biology and Medicine, Krynica Morska, 23-27 September 2012, 77–82.

   Punktacja ministerstwa — 5

3) Referaty wygłoszone na konferencjach

- **Konferencje o charakterze międzynarodowym**

  1. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2017, *How to determine a boundary condition at a thin membrane for diffusion from experimental data*, BioPhysMath, Warszawa, Poland.

  2. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2016, *Subdiffusion–reaction process in a membrane system*, Nonlocal aspects in mathematical biology, Będlewo, Poland.

  3. *The modelling of carious lesion progress*, Applied mathematics in biosciences, physics and engineering, Gdańsk, 27-29 listopada 2014 r.

  4. *Simulation of subdiffusion-reaction systems*, 26th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, 28-31 August 2013.

- **Konferencje krajowe**

  1. *Entropie nieaddytywne w opisie subdyfuzji*, Między teorią a zastosowaniami: matematyka w działaniu, Będlewo, 25-30 sierpnia 2014 r.

  2. *Modelowanie procesu subdyfuzji-reakcji z wykorzystaniem nieliniowych równań różniczkowych z pochodnymi rzędu ułamkowego*, Między teorią a zastosowaniami: matematyka w działaniu, Będlewo, 16-22 czerwca 2013 r.

  3. *Zastosowanie równań dyfuzji – reakcji w modelowaniu procesu rozwoju próchnicy*, XIX Krajowa Konferencja Zastosowań Matematyki w Biologii i Medycynie, Jastrzębia Góra, 16-20 September 2013.

4. *Warunek brzegowy na częściowo absorbującej membranie*, XVIII Krajowa Konferencja Zastosowań Matematyki w Biologii i Medycynie, Krynica Morska, 23-27 September 2012.

4) Komunikaty i streszczenia konferencyjne

- **Konferencje o charakterze międzynarodowym**

1. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2018, *How to recognize if any absorption occurs in a subdiffusive medium*, 31st Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland.

2. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, 2018, *When boundary conditions at a thin membrane create nonmarkovian normal diffusion*, 31st Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland.

3. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, 2017, *Subdiffusion in a system consisting of two different media*, 30th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, Poland.

4. T. Kosztołowicz, S. Wąsik, K.D. Lewandowska, 2017, *Theoretical and experimental determination of a boundary contition at a thin membrane for diffusion*, 30th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, Poland.

5. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, 2017, *Subdiffusion-reaction process in a composite system with a thin membrane*, International Conference on ΣtatiΣtikh PhiyPhiikh, Corfu, Greece.

6. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2016, *A new boundary condition in a system with a thin membrane*, XXV Sitges Conference ona Statistical Mechanics: Nonequilibrium phenomena in confined systems, Barcelona, Spain.

7. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, 2016, *Anomalous diffusion in a membrane system*, Nonlocal aspects in mathematical biology, Będlewo, Poland.

8. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2016, *A new boundary condition in a system with a thin membrane*, 29th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland.

9. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, 2015, *Random walk model of*

subdiffusion–reaction process, XIV Latin American Workshop on Nonlinear Phenomena, Cartagena, Colombia.

10. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2015, *Modelling of subdiffusion–reaction processes*, 28th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, Poland.

11. M. Piwnik, T. Klinkosz, K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, 2015, *Subdiffusion–reaction processes in the system with partially absorbing wall*, 28th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, Poland.

12. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, M. Piwnik, *Subdiffusion–reaction process with $A \rightarrow B$ reactions versus subdiffusion–reaction process $A+ B \rightarrow B$ reactions*, 27th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, 22-26 September 2014.

13. M. Piwnik, T. Klinkosz, T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusive model of released substance from a cylindrical medium*, 27th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, 22-26 September 2014.

14. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *The modelling of carious lesion progress*, Applied mathematics in biosciences, physics and engineering, Gdańsk, 27-29 listopada 2014 r.

15. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *The modelling of carious lesion progress*, 20th International Congress on Modelling and Simulation "Adapting to change: the multiple roles of modelling" (eds. J. Piantadosi, R. S. Anderssen, J. Boland), Adelaide, Australia, 1-6 December 2013.

16. K.D. Lewandowska, *Simulation of subdiffusion–reaction systems*, 26th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, 28-31 August 2013.

17. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Partial differential linear equations with fractional time derivatives versus nonlinear equations with derivatives of a natural order both used in modelling subdiffusion processes: when are the solutions to these equations similar?*, Gulf International Conference on Applied Mathematics, Kuwait, [Kuwait], November 19–21, 2013.

18. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Boundary conditions at a thin membrane for subdiffusion*, 25th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, 9–13 September 2012.

19. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion in a three part system with a mixture of particles having different subdiffusion coefficients*, 25th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, 9–13 September 2012.

20. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Application of fractional differential equations to model subdiffusion–reaction process*, XXXII Dynamics Days Europe, Gothenburg, Sweden, 2-7 September 2012.

- **Konferencje krajowe**

1. T. Kosztołowicz, S. Wąsik, K.D. Lewandowska, 2017, *Boundary condition for diffusion at a thin membrane determined from experimental data*, 44. Zjazd Fizyków Polskich, Wrocław.

2. K.D. Lewandowska, 2015, *Procesy subdyfuzji–reakcji*, XLIII Zjazd Fizyków Polskich, Kielce.

3. S. Wąsik, M. Arabski, A. Bartyzel, M. Drabik, T. Kosztołowicz, K. Lewandowska, J. Semaniak, K. Szary, A. Ślęzak, M. Wysocka-Kunisz, J. Żuk, 2015, *Interferometryczna analiza uwalniania kolistyny z żelu alginianowego*, XLIII Zjazd Fizyków Polskich, Kielce.

4. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Entropie nieaddytywne w opisie subdyfuzji*, Między teorią a zastosowaniami: matematyka w działaniu, Będlewo, 25-30 sierpnia 2014 r.

5. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Warunki brzegowe na cienkiej membranie dla procesu transportu cząsteczek opisanego ułamkowym równaniem subdyfuzji*, Między teorią a zastosowaniami: matematyka w działaniu, Będlewo, 25-30 sierpnia 2014 r.

6. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, M. Piwnik, *Subdiffusion in membrane systems: from difference equations to differential equations of a fractional order*, VI Konferencja naukowa: rachunek różniczkowy niecałkowitego rzędu i jego zastosowania, Opole, Poland, 11-12 September 2014.

7. K.D. Lewandowska, *Modelowanie procesu subdyfuzji–reakcji z wy-*

korzystaniem nieliniowych równań różniczkowych z pochodnymi rzędu ułamkowego, Między teorią a zastosowaniami: matematyka w działaniu, Będlewo, 16-22 czerwca 2013 r.

8. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Application of diffusion – reaction equations to model carious lesion progress*, Proceedings of the Nineteenth National Conference: Application of Mathematics in Biology and Medicine, Jastrzębia Góra, 16-20 September 2013.

9. M. Piwnik, T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Application of non-linear equations with derivatives of a fractional order in modelling a subdiffusion-reaction process*, V Konferencja Naukowa Rachunek Różniczkowy Niecałkowitego Rzędu i Jego Zastosowania, Kraków, 4-5.07.2013.

10. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, M. Piwnik, *Modelling of anomalous diffusion processes utilizing equations with fractional derivatives which are generated by different stochastical processes*, V Konferencja Naukowa Rachunek Różniczkowy Niecałkowitego Rzędu i Jego Zastosowania, Kraków, 4-5.07.2013.

11. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, M. Piwnik, *Subdiffusion in a system with thin membranes*, V Konferencja Naukowa Rachunek Różniczkowy Niecałkowitego Rzędu i Jego Zastosowania, Kraków, 4-5.07.2013.

5) Współpraca naukowa

Współpraca z dr hab. Tadeuszem Kosztołowiczem, prof. UJK (fizyk teoretyk i matematyk), dr hab. Michałem Arabskim (biolog) i dr Sławomirem Wąsikiem (fizyk doświadczalnik) zatrudnionymi w Uniwersytecie Jana Kochanowskiego w Kielcach.

6) Uczestnictwo w projektach badawczych

1. Projekt badawczy NCN nr 2014/13/D/ST2/03608 *Procesy dyfuzji normalnej i anomalnej uwzględniające fluktuacje parametrów* zrealizowany w latach 2015–2018. Kierownik projektu badawczego — **dr Katarzyna Dorota Lewandowska**.

   Udział w projekcie — **kierownik**.

2. Projekt badawczy NCN nr 1956/B/H03/2011/40 *Zastosowanie różnych modeli subdyfuzji do opisu procesów transportu w układach mem-*

branowych i w układach subdyfuzyjnych z reakcjami chemicznymi zrealizowany w latach 2011–2013. Kierownik projektu badawczego — dr Tadeusz Kosztołowicz.

Udział w projekcie — **główny wykonawca**.

7) Promotor pomocniczy w przewodzie doktorskim

Przewód doktorski mgra Tomasza Klinkosza pt. „Zastosowanie modeli dyfuzji i subdyfuzji do opisu procesów transportu substancji w układach biologicznych" przeprowadzany w Gdańskim Uniwersytecie Medycznym, Planowany termin obrony rozprawy doktorskiej — październik 2019 r.

8) Recenzje w czasopismach z listy filadelfijskiej

1) Physica A,

2) Acta Physica Polonica B,

3) Desalination.

9) Redakcja

1) *Proceedings of the Twenty Second National Conference on Applications of Mathematics in Biology and Medicine, Sandomierz, 5-9 September 2016*, wraz z dr hab. T. Kosztołowiczem.

2) *Proceedings of the Nineteenth National Conference: Application of Mathematics in Biology and Medicine, Jastrzębia Góra, 16-20 September 2013*, wraz z dr hab. P. Bogusiem.

10) Członkostwo w komitecie organizacyjnym

1) XXII Krajowa Konferencja Zastosowań Matematyki w Biologii i Medycynie, Sandomierz, 5-9 września 2016 r.

2) XIX Krajowa Konferencja Zastosowań Matematyki w Biologii i Medycynie, Jastrzębia Góra, 16-20 września 2013 r.

11) Dydaktyka

Zajęcia dydaktyczne:

1) Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki dla studentów kierunku lekarskiego – English Division.

2) Matematyka dla studentów kierunku elektroradiologii.

3) Technologia informacyjna dla studentów kierunków: elektroradiologii, pielęgniarstwa, położnictwa, ratownictwa medycznego.

4) Statystyka i biostatystyka dla studentów kierunków: elektroradiologia, fizjoterapia, ratownictwo medyczne, dietetyka, zdrowie publiczne, zdrowie środowiskowe.

5) Analiza danych biometrycznych dla studentów kierunku zdrowie środowiskowe.

6) Ochrona radiologiczna dla studentów kierunku elektroradiologia.

Zajęcia z przedmiotów: matematyka i statystyka prowadziłam i prowadzę według opracowanego przeze mnie programu nauczania. Przygotowałam sylabusy z przedmiotów matematyka i statystyka. Uczestniczyłam także w opracowaniu programu nauczania przedmiotu technologia informacyjna.

Udział w szkoleniach specjalistycznych w ramach projektu „Rozwój kompetencji kadry dydaktycznej Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego" dofinansowanych z Programu Operacyjnego Wiedza, Edukacja, Rozwój:

1) Wykorzystanie terminologii referencyjnej ICNP.

2) Wykorzystanie systemów i baz informacji medycznej o stanie zdrowia populacji Polski.

Przygotowanie pytań testowych z zakresu fizyka na egzaminy wstępne obowiązujące na studia II stopnia.

Recenzowałam pracę magisterską i prace licencjackie.

12) Działalność organizacyjna

Udział w komisjach:

1) Przewodniczący Komisji Egzaminów Dyplomowych w latach 2015, 2016, 2018 i 2019.

2) Członek Komisji Egzaminów Dyplomowych w latach 2012, 2013, 2014, 2015 i 2017.

3) Sekretarz Komisji Egzaminacyjnej ds. naboru kandydatów w 2017 roku.

4) Członek Komisji Egzaminacyjnej ds. naboru kandydatów w 2014 roku.

13) Uczestnictwo w warsztatach

1) *Statystyka i Analiza Danych II*, Centrum Zastosowań Matematyki, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 19–21 lutego 2015 r.

2) *Matematyka przemysłowa*, Centrum Zastosowań Matematyki, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 16–18 października 2014 r.

B. Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

1) Artykuły opublikowane w czasopismach z listy filadelfijskiej

1. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Hyperbolic subdiffusion impedance*, J. Phys. A **42**, 055004 (2009).

   Punktacja IF — 1,577, punktacja ministerstwa — 27

2. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Time evolution of the reaction fornt in a subdiffusive system*, Phys. Rev. E **78**, 066103 (2008).

   Punktacja IF — 2,508, punktacja ministerstwa — 24

3. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in a membrane and in an electrochemical systems*, Phys. Scr. **T136**, 014020 (2009).

   Punktacja IF — 1,088, punktacja ministerstwa — 27

4. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *First passage time in a system with subdiffusive membrane*, Acta Phys. Pol. B **40**, 1437 (2009).

   Punktacja IF — 0,648, punktacja ministerstwa — 20

5. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Hyperbolic subdiffusion in a membrane system*, Acta Phys. Pol. B **40**, 1491 (2009).

Punktacja IF — 0,648, punktacja ministerstwa — 20

6. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Appliaction of generalized Cattaneo equation to model subdiffusion impedance*, Acta Phys. Pol. B **39**, 1211 (2008).

   Punktacja IF — 0,767, punktacja ministerstwa — 15

7. K. Dworecki, K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Appliaction of two-membrane system to measure subdiffusion coefficients*, Acta Phys. Pol. B **39**, 1221 (2008).

   Punktacja IF — 0,767, punktacja ministerstwa — 15

8. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Numerical study of subdiffusion equation*, Acta Phys. Pol. B **38**, 1847 (2007).

   Punktacja IF — 0,664, punktacja ministerstwa — 15

9. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Time evolution of the reaction front in the system with one static and one subdiffusive reactant*, Acta Phys. Pol. B **37**, 1571 (2006).

   Punktacja IF — 0,882, punktacja ministerstwa — 15

10. P. Boguś, K.D. Lewandowska, *Short-time signal analysis using pattern recognition methods*, Lect. Notes Artif. Intell. **3070**, 550 (2004).

    Punktacja IF — 0,251, punktacja ministerstwa — 7

Sumaryczna punktacja IF wynosi 9,800, punktacja ministerstwa — 185

2) Pozostałe artykuły naukowe

1. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Application of equations with fractional derivative to model subdiffusion process*, w: Boundary Value Problems, Integral Equations and Related Problems. Proceedings of the Third International Conference, Beijing and Baoding, China, 20–25 August 2010 (ed. G.C. Wen), World Scientific, Singapore 2011, 374-379.

2. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Anomalous diffusion in a membrane system*, Ukr. J. Phys. **56**, 824 (2011).

   Punktacja ministerstwa — 2

3. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Application of scaling and quasistatic method to study nonlinear subdiffusion-reaction equations with fractional derivative*, ASME 2009 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Volume 4: 7th International Conference on Multibody Systems, Nonlinear Dynamics, and Control, San Diego, California, USA, August 30–September 2, 2009, 1219–1226.

   Punktacja ministerstwa — 7

4. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in a carious lesion process*, Proceedings of the International Workshop on New Trends in Science and Technology, Ankara, Turkey 3–4 November, 2008 (2009).

5. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Applications of differential equations with fractional derivatives to describe subdiffusion*, Proceedings of the 3rd IFAC Workshop on Fraction Differentiation and its Applications, Ankara, Turkey, November 5–7, 2008.

6. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Time evolution of the reaction front in a subdiffusive system*, AIP Conference Proceedings: 922. Noise and fluctuations: 599. (eds. M. Tacano, Y. Yamamoto, M. Nakao) American Institute of Physics, Melville NY 2007, 599-602.

7. P. Boguś, K.D. Lewandowska, *Multimodal segmentation of nuclear medicine images with modes created by image processing techniques*, Artificial intelligence and soft computing (eds. A. Cader et al), Academic Publishing House EXIT, Warsaw 2006, 317-322.

   Punktacja ministerstwa — 12

8. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion parameters measurement in the tooth enamel*, Proceedings of the Twelfth National Conference on Application of Mathematics in Biology and Medicine, Koninki, 26-29 September 2006, 77-81.

   Punktacja ministerstwa — 12

9. P. Boguś, K.D. Lewandowska, *Clustering techniques as a regularisation in synergistic imaging of multimodal medical images*, Proceedings of the Twelfth National Conference on application of mathematics in biology and medicine, Koninki, 26-29 September 2006, 25-30.

   Punktacja ministerstwa — 12

10. K.D. Lewandowska, *Czy subdyfuzja warunkuje rozwój próchnicy szkliwa?*, Ann. Acad. Med. Gedan. **35**, 133 (2005).

    Punktacja ministerstwa — 3

11. M. Penkowski, B. Kochańska, K.D. Lewandowska, J. Wtorek, A. Wąsek, B. Truyen, P. Bottenberg, *Zastosowanie spektroskopii dielektrycznej do badania szkliwa zębów ludzkich*, Ann. Acad. Med. Gedan. **35**, 23 (2005).

    Punktacja ministerstwa — 3

12. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Application of the perturbation method to modeling the enamel caries progress*, Proceedings of the Eleventh National Conference on Application of Mathematics in Biology and Medicine, Zawoja, 21-24 September 2005, 79-84.

    Punktacja ministerstwa — 12

13. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in the formation of carious lesion*, Proceedings of the Eleventh National Conference on Application of Mathematics in Biology and Medicine, Zawoja, 21-24 September 2005, 85-89.

    Punktacja ministerstwa — 12

14. K.D. Lewandowska, P. Boguś, *Wielomodalne obrazy medyczne*, Ann. Acad. Med. Gedan. **34**, 203 (2004).

    Punktacja ministerstwa — 3

15. K.D. Lewandowska, P. Boguś, T. Bandurski, *Analysis of nuclear medicine images by using multimodal techniques*, Proceedings of the Tenth National Conference on application of mathematics in biology

and medicine, Święty Krzyż, 22-25 September 2004, 119-123.

Punktacja ministerstwa — 12

16. P. Boguś, K.D. Lewandowska, J. Jakitowicz, *Short-time methods in EEG signals analysis*, Proceedings of the Ninth National Conference on Application of Mathematics in Biology and Medicine (ed. M. Markun, J. Stefaniak), Piwniczna, 9-13 September 2003, 7-12.

    Punktacja ministerstwa — 6

17. P. Boguś, K.D. Lewandowska, F. Masulli, *Regularization background of clustering algorithms*, Neural Networks and Soft Computing: proceedings of the Sixth International Conference of Neural Networks and Soft Computing (ed. L. Rutkowski, J. Kacprzyk), Zakopane, Poland, 11-15 June 2002, 584-589.

    Punktacja ministerstwa — 6

3) Referaty wygłoszone na konferencjach

- **Konferencje o charakterze międzynarodowym**

  1. *Hyperbolic subdiffusive impedance*, International Conference on Statistical Physics, Larnaca, Cyprus, 11-15 July 2011.

  2. *Anomalous transport in a system with chemical reactions*, 5th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems, Kyiv, May 21–24, 2010.

- **Konferencje krajowe**

  1. *Wybrane zastosowania hipergeometrycznych równań rożniczkowych z pochodnymi ułamkowymi*, Sesja naukowa: ułamkowy rachunek różniczkowy, Częstochowa, 24 czerwca 2010 r.

  2. *Zastosowanie pochodnych ułamkowych w modelowaniu rozwoju próchnicy*, Sesja naukowa: ułamkowy rachunek różniczkowy, Łódź, 26 czerwca 2009 r.

  3. *Pomiar parametrów subdyfuzji w szkliwie zębów*, 12th National Conference on Application of Mathematics in Biology and Medicine, Koninki, 26-29 September 2006.

4. *Zastosowanie metody perturbacyjnej do modelowania rozwoju próchnicy*, 11th National Conference on Application of Mathematics in Biology and Medicine, Zawoja, 21-24 September 2005.

5. *Analiza obrazów medycyny nuklearnej przy użyciu technik multimodalnych*, 10th National Conference on application of mathematics in biology and medicine, Święty Krzyż, 22-25 September, 2004.

4) Komunikaty i streszczenia konferencyjne

- **Konferencje o charakterze międzynarodowym**

1. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Hyperbolic subdiffusive impedance*, International Conference on Statistical Physics, Larnaca, Cyprus, 11-15 July 2011.

2. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Nonextensive entropy approach versus fractional model to describe subdiffusion*, International Conference on Statistical Physics, Larnaca, Cyprus, 11-15 July 2011.

3. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *The nonextensive entropy approach versus the fractional model to describe subdiffusion*, 24th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland, September 17-22, 2011.

4. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, M. Piwnik, *The perturbation method to solve subdiffusion-reaction equations*, 24th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland, September 17-22, 2011.

5. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in a system with chemical reactions*, 8th Liquid Matter Conference, Wien, Austria, September 6-10, 2011.

6. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in a membrane system*, 8th Liquid Matter Conference, Wien, Austria, September 6-10, 2011.

7. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Application of equations with fractional derivative to model subdiffusion process*, Program, Abstracts and Attendants, Third International Conference on Boundary Value Problems, Integral Equations and Related Problems, Beijing, and Baoding, Hebei, China, 20 – 25 August 2010.

8. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Anomalous transport in a system with chemical reactions*, 5th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems, Kyiv, May 21–24, 2010.

9. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Anomalous diffusion in a membrane syste*, 5th International Conference Physics of Liquid Matter: Modern Problems, Kyiv, May 21–24, 2010.

10. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusion in a composite medium*, 22nd Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland, September 12-17, 2009.

11. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *The scaling method to study the subdiffusion and subdiffusion-reaction equations*, 22nd Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland, September 12-17, 2009.

12. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion in a spatially restricted membrane system*, 21th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, Poland, September 13-18, 2008.

13. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Perturbative method to model enamel caries progress*, 20th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane, September 22-27, 2007.

14. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Numerical study of subdiffusion-reaction equation*, MECO32: The 32nd Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, Lądek Zdrój, April 16th – 18th, 2007.

15. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Application of the perturbation method to model the enamel caries process*, 392 WE-Heraeus-Seminar: Transport, localization and fluctuations in complex systems, Ilmenau, Germany, 2-5 September 2007.

16. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Quasistatic approximation to solve subdiffusion-reaction equation*, 392 WE-Heraeus-Seminar. Transport, localization and fluctuations in complex systems, Ilmenau, Germany, 2-5 September 2007.

17. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion and chemical reactions in a porous medium*, 373 WE-Heraeus-Seminar. Anomalous Transport: Experimental Results and Theoretical Challenges,

Bad Honnef, Germany, 12-16 July 2006.

18. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, M. Penkowski, *Application of hyperbolic subdiffusion equation to study the electrochemical impedance*, Centennial Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Kraków, May 14-17, 2006.

19. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion in caries process*, 3rd Nordic Network Meeting on Statistical Physics, Soft Matter, and Biological Physics, Copenhagen, 8th - 11th May, 2006.

20. M. Penkowski, B. Truyen, K.D. Lewandowska, P. Bottenberg, L. Henin, J. Wtorek, J. Cornelis, *Reassessing whole tooth electrical impedance spectroscopy measurements*, Abstracts of the 53rd Annual ORCA Congress, Glasgow, UK, July 5-8, 2006, Caries Res. **40**, 347 (2006).

21. M. Penkowski, K.D. Lewandowska, *Intact enamel impedance: reproducibility and humidity dependence*, Workshop: Intraoral digital subtraction radiography, and its applications to caries detection, Brussels, Belgium (2006).

22. M. Penkowski, K.D. Lewandowska, *Method of preparation of histological slices from extracted teeth*, Workshop: Intraoral digital subtraction radiography, and its applications to caries detection, Brussels, Belgium (2006).

23. T. Kosztołowicz, K.D. Lewandowska, *Subdiffusive reaction front in the enamel caries process*, Diffusion fundamentals (eds. J. Kärger, P. Grinberg, P. Heitjans), Leipziger Universitätsverlag, Leipzig 2005.

24. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion in caries process*, 18th Marian Smoluchowski Symposium on Statistical Physics, Zakopane , Poland, September 3-6, 2005 and Workshop on Biophysics of Cancer and Ionic Transport Processes, Zakopane, Poland, September 7-9, 2005.

25. M. Penkowski, K.D. Lewandowska, K. Dąbrowski, *Practical considerations with regard to electrical conductivity measurements on extracted human teeth*, Workshop: Contribution to the development of a novel method of spectroscopic Electrical Impedance Tomography: with application to the assessment of hidden caries, Brussel, March 1, 2005.

- **Konferencje krajowe**

  1. K.D. Lewandowska, T. Kosztołowicz, *Subdiffusion in a system with chemical reactions*, 3rd Warsaw School of Statistical Physics, Kazimierz Dolny, Poland, 27 June – 4 July 2009.

  2. K.D. Lewandowska, P. Boguś, *Segmentation of multimodal MRI images using chossen clustering algorithms*, Abstracts of the XII Conference of Polish Biophysical Society, Wrocław, September 15-17, 2004, Curr. Top. Biophys. **A28**, 35 (2004).

  3. K.D. Lewandowska, P. Boguś, *Wybrane metody grupowania danych w segmentacji wielomodalnych obrazów medycznych*, Materiały XXXVII Zjazdu Fizyków Polskich (pod red. J. Rybickiego i A. Witkowskiej), Gdańsk, 15-18 września 2003.

5) Współpraca naukowa

Współpraca z dr hab. Tadeuszem Kosztołowiczem, prof. UJK (fizyk teoretyk i matematyk) i dr Kazimierzem Dworeckim (fizyk doświadczalnik) zatrudnionymi w Uniwersytecie Jana Kochanowskiego w Kielcach.

6) Uczestnictwo w projektach badawczych

1. Projekt badawczy MEiN nr 1P03B 136 30 *Doświadczalne i teoretyczne badania subdyfuzji* zrealizowany w latach 2006–2008. Kierownik projektu badawczego — dr Tadeusz Kosztołowicz. Udział w projekcie — wykonawca.

2. Projekt badawczy współfinansowany przez Ministry of the Flemish Community i KBN *Intraoral digital subtraction radiography, and its applications to caries detection*, zrealizowany w latach 2004–2006. Kierownik projektu badawczego — prof. Jan Cornelis. Udział w projekcie — wykonawca.

7) Dydaktyka

Prowadzone zajęcia dydaktyczne:

1) Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki dla studentów kierunków: lekarskiego, lekarskiego – English Division, lekarsko – dentystycznego, farmaceutycznego, analityki medycznej, technik dentystycznych, fizjoterapii.

2) Matematyka dla studentów kierunku elektroradiologii.

3) Technologia informacyjna dla studentów kierunków: elektroradiologii, pielęgniarstwa, położnictwa, ratownictwa medycznego.

Zajęcia z przedmiotu matematyka prowadziłam według przygotowanego przeze mnie programu. Przygotowałam sylabusy z przedmiotu matematyka. Uczestniczyłam także w opracowaniu programu nauczania przedmiotu technologia informacyjna.

8) Działalność organizacyjna

1) Sekretarz Komisji Egzaminacyjnej ds. naboru kandydatów w latach 2009, 2010 i 2011.

2) Członek Komisji Egzaminacyjnej ds. naboru kandydatów w 2008 roku.

3) Obserwator zewnętrzny w Przedmiotowym Zespole Egzaminacyjnym z fizyki podczas egzaminów maturalnych w latach 2006 i 2007.

Katarzyna Lewandowska