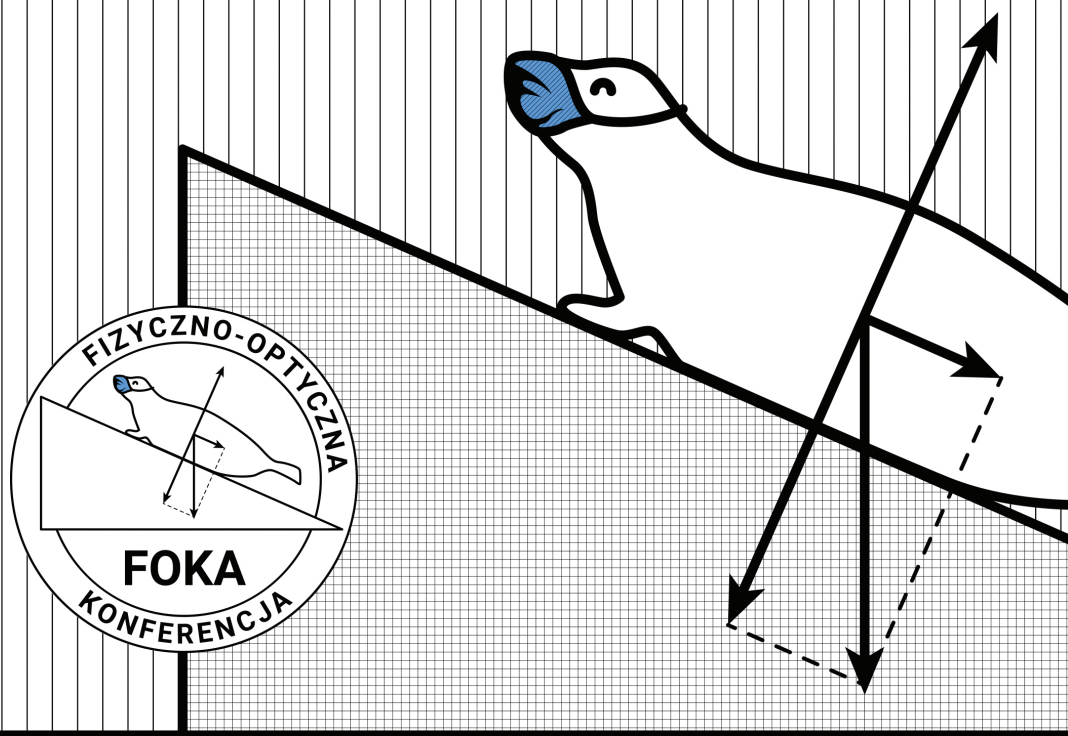


# FOKA 2020

V Ogólnopolska Studencka  
Fizyczno-Optyczna Konferencja

11-13.  
grudnia

Wydarzenie  
Online



**VNABIA**  
KOŁO NAUKOWE FIZYKÓW

[nabla.pwr.edu.pl](http://nabla.pwr.edu.pl)



Politechnika  
Wrocławska



SOLARIS  
NARODOWE CENTRUM  
PROMIENIOWANIA  
SYNCHROTRONOWEGO



**X T P L**

 nanores

# Spis treści

1	Wykłady zaproszone	1
2	Sponsorzy	5
3	Fizyka teoretyczna	9
4	Fizyka doświadczalna	23
5	Optyka	43
6	Plakaty	59



# WYKŁADY ZAPROSZONE

## Ekscytony i fonony w dwuwymiarowych perowskitach

Paulina Płochocka<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Laboratoire National des Champs Magnetiques Intenses, CNRS-UJF-UPS-INSA, Toulouse, France*

<sup>2</sup>*Katedra Fizyki Doświadczalnej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika  
Wrocławska, Wrocław, Polska*

Wysoka stabilność środowiskowa i zaskakująco wysoka wydajność ogniw słonecznych opartych na dwuwymiarowych perowskitach ponownie wzbudziły zainteresowanie tymi materiałami. Te naturalne studnie kwantowe składają się z płaszczyzn ośmiościanów metalohalogenkowych (ang. metal-halide octahedra), oddzielonych organicznymi separatorami (ang. spacer). Co niezwykle, we właściwościach optoelektronicznych tych związków kluczową rolę odgrywają organiczne separatory. Charakterystyczne dla kryształów jonowych oddziaływanie form ekscytonowych z drganiami sieci stała się szczególnie istotna w przypadku miękkiej sieci perowskitowej. Nietrywialne wzajemne zależności między dynamiką sieci, organicznymi separatorami i wzbudzeniem elektronowym przejawiają się w złożonym widmie absorpcyjnym i emisyjnym, którego szczegółowe pochodzenie jest przedmiotem nieustannych kontrowersji. Najpierw omówię właściwości elektroniczne perowskitów 2D o różnych grubościach warstw ośmiościennych i dwóch rodzajach organicznych separatorów. Pokażę, że odstęp energii cech ekscytonowych zależy od organicznego separatora, ale bardzo słabo zależy od grubości warstwy ośmiościanów. Wskazuje to na progresję wibroniczną, która jest potwierdzona badaniami w wysokich polach magnetycznych do 67T. Na koniec pokażę, że w 2D perowskitach zniekształcenia narzucane przez organiczne separatory decydują o efektywnej masie nośników. W rezultacie, w przeciwieństwie do innych półprzewodników, masę efektywną 2D perowskitów można łatwo dostroić.



---

## **Epoka miedzi oraz żelaza w fizyce ciała stałego, czyli jak dostać wejściówki do najlepszych klubów nocnych.**

**Jacek Herbrych**

*Katedra Fizyki Teoretycznej, Politechnika Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska*

Wyniki zaprezentowane w 1987 r. na tzw. “Woodstocku Fizyki” (1987 American Physics Society March Meeting) do dziś pozostają największą zagadką fizyki ciała stałego. Od ponad 30 lat staramy się zrozumieć nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe i mimo ogromnych wysiłków, mechanizm powodujący to zjawisko pozostaje nieznan. Wiele teoretycznych i eksperymentalnych badań, w szczególności nad materiałami na bazie miedzi, wskazuje, że nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe jest ściśle związane ze stanem izolatora elektrycznego wywołanego przez interakcje między elektronami. W konsekwencji dużo uwagi poświęcono zrozumieniu korelacji elektronowej i związanego z tym efektem magnetyzmu. W 2006 roku, ku zaskoczeniu wielu, istotność tych wyników została zakwestionowana przez pomiary w materiałach zawierających żelazo, które mają zupełnie inny stan elektryczny w pobliżu nadprzewodnictwa. W swoim wystąpieniu opowiem, dlaczego na konferencji naukowej w 1987 r. rozdawano zaproszenia do najlepszych nowojorskich klubów, jak wygląda diagram fazowy nadprzewodników na podstawie miedzi i żelaza, czym się one różnią i czemu sądzimy, że magnetyzm kwantowy jest tak ważny.



## **Symulacje kwantowe w sieciach optycznych**

**Barbara Grygiel**

*Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN  
Oddział Teorii Materii Skondensowanej, Okólna 2, 50-422 Wrocław*

W ostatnich latach układy ultrazimnych gazów atomowych w sieciach optycznych stały się bardzo popularne ze względu na możliwość precyzyjnej kontroli ich własności. Dzięki temu mogą one zostać wykorzystane jako symulatory kwantowe. W prezentacji przedstawię podstawowe informacje dotyczące chłodzenia oraz pułapkowania gazów atomowych, jak również przykłady zastosowania sieci optycznych do symulacji kwantowych.



# SPONSORZY

## Ultraprecyzyjna depozycja nanomateriałów

Piotr Kowalczewski

*XTPL*



Zaprezentowana zostanie technologia ultraprecyzyjnej depozycji nanomateriałów rozwijana przez XTPL. W prezentacji przedstawione zostaną trzy kluczowe obszary, nad którymi pracujemy: proces druku, drukarkę oraz tusze oparte na nanomateriałach, a także zastosowania. Pokazane zostanie jak technologia XTPL może zostać wykorzystana do efektywnego prototypowania urządzeń mikroelektronicznych nowej generacji.





## Zastosowanie dwuwiązkowych mikroskopów SEM FIB wraz z przykładami

Maciej Jaworski<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Nanores Sp. z o.o. Sp. k. ul. Bierutowska 57-59, 51-317 Wrocław

<sup>2</sup> Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław  
[maciej.jaworski@nanores.pl](mailto:maciej.jaworski@nanores.pl)  
[maciej.jaworski@pwr.edu.pl](mailto:maciej.jaworski@pwr.edu.pl)



Nanores to niezależne, nowoczesne laboratorium badawczo-rozwojowe z Wrocławia. Realizujemy się w dziedzinie nanotechnologii wykonując zlecenia dla instytutów naukowych, uczelni oraz przemysłu. Dodatkowo pracujemy nad własnymi projektami. Wykorzystujemy dwuwiązkowe mikroskopy SEM/FIB w celu , np. obrazowania SEM; wykonywania przekrojów FIB/PFIB; analizy składu pierwiastkowego; prototypowania układów MEMS, NEMS; preparatykę próbek TEM; rekonstrukcji 3D. Podczas seminarium zaprezentujemy możliwości sprzętu i jego zastosowanie wraz z konkretnymi przykładami wykonanych zleceń, dzięki czemu będziemy mogli przybliżyć potencjalne aplikacje, które mogą przyczynić się do rozwiązania realnych problemów technicznych w Państwa codziennej pracy.

## Nowe możliwości charakterystyki materiałów w SOLARIS

Marcin Zajac

*Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS,  
Uniwersytet Jagielloński, Kraków, Polska*



SOLARIS to Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego i źródło światła trzeciej generacji zbudowane w Krakowie. Pierścień akumulacyjny jest repliką jednego z dwóch pierścieni zainstalowanych w MAXIV Laboratory w Lund w Szwecji. Pierścień akumulacyjny składa się z komórek typu achromat o podwójnym ugięciu (ang. double bend achromat) oraz z sekcji prostych charakteryzujących się zerową dyspersją tworząc 12-krotną symetrię. Przy obwodzie 96 m i energii elektronów 1,5 GeV, jego silne skupienie i ultra-kompaktowa siatka pozwala na osiągnięcie naturalnej emitancji 5,98 nrad [1]. Ośrodek SOLARIS rozpoczął działalność z użytkownikami w połowie 2018 r. z dwiema w pełni sprawnymi liniami pomiarowymi (PEEM/XAS i UARPES) jako partner konsorcjum CERIC [2]. Obecnie codzienna praca odbywa się przy prądzie 400 mA, a szczególne parametry operacji i rzeczywiste parametry pierścienia akumulacyjnego opisano w [3,4]. W dniu dzisiejszym SOLARIS oferuje kilka możliwości eksperymentalnych na różnych stacjach końcowych w celu przykładowego scharakteryzowania właściwości materiałów w wielu obszarach badawczych. Przedstawiamy aktualny stan dostępnych stacji pomiarowych oraz krótko omawiamy możliwości eksperymentów na budowanych/uruchamianych stanowiskach. Przedstawione zostaną wyniki kilku przeprowadzonych eksperymentów, w tym m.in. niedawno wyjaśniona struktura momentów magnetycznych antyferromagnetyk (AFM) / ferromagnetyk (FM) w układzie CoO/Fe(110) [5]. Omówiony zostanie plan rozwoju obiektu w najbliższej przyszłości. Podkreślone zostaną najważniejsze kamienie milowe przyszłej działalności.

[1] MAXIV Detailed Design Report, <http://www.maxiv.lu.se/accelerators-beamlines/accelerators/accelerator-documentation/max-iv-ddr/>

[2] CERIC consortium, <https://www.ceric-eric.eu/>

[3] A. I. Wawrzyniak et al., in Proc. 8th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'17), May 2017, pp. 2490-2494. doi:10.18429/JACoW-IPAC2017-WEOCA1

[4] R. Panaś et al., in Proc. 10th Int. Particle Accelerator Conf. (IPAC'19), May 2019, pp. 1541-1543 doi:10.18429/JACoW-IPAC2019-TUPGW059

[5] M. Ślęzak et al., Scientific Reports 9889 (2019)



# FIZYKA TEORETYCZNA

## Wielostanowy model q-wyborcy z niezależnością i ograniczonym zaufaniem

Maciej Doniec

*Katedra Fizyki Teoretycznej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Opowiem o wielostanowym modelu q-wyborcy z niezależnością, będącym uogólnieniem podstawowego dwustanowego modelu. Przedstawię motywację, która doprowadziła do tego uogólnienia oraz podstawowe założenia, na których bazuje ten model. Następnie przejdę do klasy modeli z tzw. ograniczonym zaufaniem i pokażę jak wielostanowy model może być jeszcze bardziej uogólniony poprzez wprowadzenie promienia oddziaływań między stanami. W końcu opowiem, jak wygląda dynamika oraz przejścia fazowe w takim modelu na podstawie uzyskanych wyników analitycznych oraz symulacji wykorzystujących metodę Monte Carlo.



# Nie wiem, więc dekoheruję - o losie niezmiernych kubitów

Marcin Kępa<sup>1</sup>, Jan A. Krzywda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Ludwika Pasteura 5, 02-093

<sup>2</sup>Instytut Fizyki PAN, Aleja Lotników 32/46, 02-668 Warszawa

Unitarna ewolucja układu kwantowego, zachowując zdolność do interferencji amplitud prawdopodobieństwa umożliwia potencjalne wykorzystanie kwantowej przewagi, np. w obliczeniach kwantowych [1]. Opisuje ona jednak mikroskopowy układ zamknięty, nieoddziałujący ze swoim otoczeniem, układem pomiarowym a w szczególności z człowiekiem. Czynniki te są tym samym dla kwantowego bitu (kubitu), co opory ruchu dla równań Newtona. Powodują zarówno dyssypację energii jak i wprowadzają losową fazę, wynikającą z braku kontroli nad pojedynczymi elektronami w laboratorium, która w konsekwencji uśredniania uniemożliwia wspomnianą interferencję.

Przykładem takiego zjawiska jest dekoherencja typu "którą drogą"(which way/path decoherence [2,3]), w przypadku której informacja o stanie kubitów, nadrukowana jest na rozproszony na nim foton, którego zgubienie jest jednoznaczne z częściową utratą koherencji fazowej kubitów.

W poniższej pracy prezentujemy pomysł oraz pierwsze symulacje przeprowadzone na komputerze kwantowym IBM Q [4], ilustrujące powyższy mechanizm na przykładzie dwóch oddziałujących kubitów, z których jeden z nich poddawany jest nieniszczącemu pomiarowi rzutowemu. Pokazujemy jak wynik pomiaru, prowadzi do obrotu kubitów niemierzonych (teleportacja bramek logicznych [5]). W szczególności odkrywamy, że brak odczytu wyniku pomiaru (np. zapisanie wyniku na dysku), może prowadzić do utraty koherencji fazowej kubitów niemierzonych.

[1] F. Arute et al., "Quantum supremacy using a programmable superconducting processor", *Nature* **574** (2019)

[2] K. Roszak et al., "'Which path' decoherence in quantum dot experiments", *Phys. Lett. A* **351**, 251 (2006)

[3] M. Krzykowski et al., "'Which-way' Spin Decoherence in a Coupled Quantum Dot System", *Quantum Information and Measurement (QIM)* (2019)

[4] <https://quantum-computing.ibm.com/>

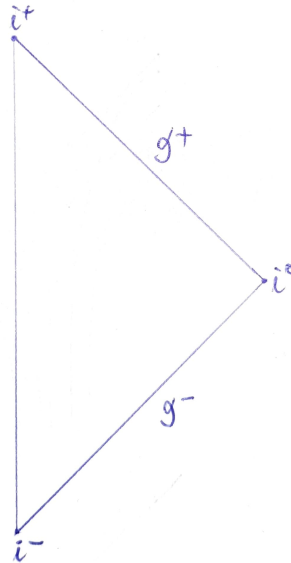
[5] K. S. Chou et al., "Deterministic teleportation of a quantum gate between two logical qubits", *Nature* **561** (2018)

## Diagramy Penrose'a-Cartera

Artur Krawczyk

Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika,  
Grudziądzka 5, 87-100, Toruń

Jak na skończonej kartce papieru zmieścić nieskończoną czasoprzestrzeń? Odpowiedzi udzielają sir Roger Penrose oraz Brandon Carter. Tytułowe diagramy ukazują czasoprzestrzeń w sposób globalny, poprzez transformację konforemną sprowadzają ją do skompaktfikowanego obszaru, jednocześnie zachowując przyczynową strukturę czasoprzestrzeni. Diagramy Penrose'a-Cartera są użytecznym narzędziem do badania przyczynowości, m.in. gdy chcemy zbadać, z których zdarzeń w czasoprzestrzeni obserwator znajdujący się w danym punkcie może otrzymać informację[1]. Są również pomocne przy badaniu kwantowych efektów zachodzących w pobliżu czarnej dziury[2]. Konforemna konstrukcja pozwala sformułować asymptotyczne warunki dla pól fizycznych. Przedstawię w jaki sposób otrzymać diagram Penrose'a, podam przykłady diagramów dla kilku czasoprzestrzeni oraz ich zastosowania.



Rysunek 3.1: Diagram Penrose'a przestrzeni Minkowskiego.

[1] J. Hartle, Grawitacja, Wprowadzenie do ogólnej teorii względności Einsteina, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa, 2010 [152].

[2] S. Hawking, R. Penrose, The nature of Space and Time, Princeton University Press, Princeton, 1996 [41].



# Model Bianconi-Barabasiego i kondensacja Bosego-Einsteina w sieciach złożonych

Arkadiusz Lipiecki

*Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Minimalny model sieci dynamicznej Barabasiego-Alberta pozwala odtworzyć bezskalowowy charakter obserwowany w sieciach rzeczywistych, takich jak WWW czy sieć cytowań publikacji naukowych. Ewolucja sieci Barabasiego-Alberta jest jednak zdominowana przez zjawisko przewagi pierwszego gracza ("first-mover-advantage"), co powoduje, iż najwięcej połączeń pozyskuje najstarszy węzeł sieci. W rzeczywistości ewolucja węzłów sieci nie zależy jednak tylko od ich wieku, pojawia się zatem potrzeba uwzględnienia innych efektów. Bardziej realistyczne zachowanie sieci dynamicznej oddaje model Bianconi-Barabasiego. W porównaniu do modelu Barabasiego-Alberta uwzględnia on dodatkowo parametr adaptacji, który zmienia mechanizm preferencji połączeń i pozwala nowym węzłom konkurować ze starszymi. Oprócz bardziej zbliżonego do rzeczywistych sieci rozkładu stopni węzłów, model Bianconi-Barabasiego umożliwia pojawianie się w pewnych warunkach efektu kondensacji Bosego-Einsteina.

[1] Bose-Einstein Condensation in Complex Networks Ginestra Bianconi and Albert-László Barabási DOI: 10.1103/PhysRevLett.86.5632

[2] Network Science, Albert-László Barabási

## Weryfikacja odporności protokołów DIQKD za pomocą prostych ataków

**Karol Łukanowski<sup>1,2</sup>, Antonio Acín<sup>3</sup>, Jan Kołodyński<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

<sup>2</sup>Centrum Optycznych Technologii Kwantowych, Centrum Nowych Technologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Banacha 2c, 02-097 Warszawa

<sup>3</sup>ICFO – Institut de Ciències Fotòniques, The Barcelona Institute of Science and Technology, 08860 Castelldefels Barcelona

Bezpieczeństwo standardowych protokołów kryptograficznych kwantowej dystrybucji klucza opiera się zazwyczaj na szeregu założeń dotyczących używanych układów kwantowych, takich jak wymiar przestrzeni Hilberta lub doskonałe działanie stosowanych urządzeń kwantowych. W paradygmacie DIQKD (*device-independent quantum key distribution*) rezygnuje się z tych dodatkowych założeń i formułuje dowody bezpieczeństwa jedynie na podstawie statystycznych korelacji wyników, które uzyskują rozmówcy (Alicja i Bob) za pomocą swoich urządzeń. Dzięki takiemu podejściu w naturalny sposób uwzględnia się niedoskonałości w stosowanej implementacji protokołu kryptograficznego, a także możliwość tego, że podsłuchiwaniec (Ewa) ingeruje bez wiedzy rozmówców w używane przez nich układy kwantowe.

W niniejszej pracy odwołujemy się do standardowego protokołu DIQKD, w którym Alicja i Bob generują klucz kryptograficzny na podstawie binarnych wyników pomiarów dokonywanych przez ich urządzenia kwantowe. W odwołaniu do praktycznych realizacji zakładamy, że urządzenia te cechują się skończoną wydajnością pomiarową  $\eta \leq 100\%$ , przez co z pewnym prawdopodobieństwem wykonywane przez rozmówców pomiary mogą nie zwrócić żadnego wyniku; jak i białym szumem, przez który z pewnym prawdopodobieństwem  $\delta$  urządzenia mogą generować zupełnie nieskorelowane wyniki.

Naszym celem jest weryfikacja tego jaki wpływ na bezpieczeństwo protokołu muszą mieć powyższe niedoskonałości. Aby to zrobić, proponujemy prosty, ale zaskakująco wydajny atak, dzięki któremu podsłuchiwaniec Ewa jest w stanie poznać klucz jeżeli wydajność jest niewystarczająca lub/i wyniki są dostatecznie zaszumione. Dzięki temu jesteśmy w stanie wyznaczyć dolne ograniczenia na wydajność dektorów i maksymalne wartości szumu, poza którymi nie mogą istnieć bezpieczne protokoły DIQKD, nawet gdyby ulepszone zostały dzisiejsze dowody bezpieczeństwa. Otrzymane wartości dolnych ograniczeń na  $\eta$  mieszczą się w granicach ok. 75 – 85% w zależności od form *preprocessingu*, który rozmówcy stosują na swoich bitach, zaś górne ograniczenia na szum  $\delta$  wynoszą ok. 8 – 10%





## Splątanie kwantowe w uczeniu maszynowym

**Michał Łukomski, Janusz Twardak, Marek Kowalik, Bartosz Rzepkowski**

*Katedra Fizyki Teoretycznej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki,  
Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Wraz z rozwojem architektury pozwalającej na przeprowadzanie obliczeń kwantowych z wykorzystaniem coraz większej liczby kubitów, rośnie zainteresowanie zastosowaniem tej technologii w dziedzinie uczenia maszynowego. W niniejszej pracy używamy wariacyjnego obwodu kwantowego w uczeniu przez wzmacnianie. Nasz model bazuje na ideach zaciągniętych z *Q-learning*'u (takich jak *experience replay* oraz *target network*) i transformując je na formalizm obwodów kwantowych jest w stanie sprawnie sterować agentem w odgórnie narzuconym środowisku. Głównym celem pracy jest zbadanie, jak zmienia się entropia splątania stanu wyjściowego obwodu kwantowego (służącego do podejmowania decyzji, jaką akcję w danej sytuacji powinien wykonać agent) na przestrzeni kolejnych etapów uczenia się modelu. W celu zbadania wspomnianej własności wybraliśmy środowisko *Frozen Lake*, w którym celem agenta jest dotarcie do celu, z ominięciem napotkanych przeszkód, na planszy przypominającej szachownicę.



## Porównanie właściwości topologicznych sieci kwadratowej z nieporządkiem oraz sieci fraktalnej

Weronika Pasek

*Katedra Fizyki Teoretycznej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Właściwości topologiczne układów fizycznych zależą od ich wymiaru przestrzennego. Jedną z najlepiej poznanych faz topologicznych - całkowity kwantowy efekt Halla (IQHE) - występuje w dwuwymiarowym gazie elektronowym, lecz nie może istnieć w układach trójwymiarowych. Faza ta jest charakteryzowana przez liczbę Cherna, niezmiennik topologiczny kwantujący przewodnictwo Halla oraz określający liczbę par stanów krawędziowych chronionych topologią. Własności topologiczne układu IQHE są odporne na nieporządek, dopóki nie przekroczy on pewnego krytycznego poziomu. Najprostszym modelem realizującym fazę IQHE na sieci dyskretnej jest model Hofstadtera [1].

Fraktale są przykładem obiektów, których wymiar Hausdorfa jest mniejszy niż wymiar topologiczny i często przyjmuje wartości ułamkowe. Przykładem struktury fraktalnej jest dywan Sierpińskiego, który można traktować jako sieć kwadratową z występującym nieporządkiem. W swojej pracy badam przejście między modelem Hofstadtera na sieci kwadratowej z wprowadzonym losowym nieporządkiem a tym samym modelem w geometrii dywanu Sierpińskiego. Wyznaczone zostały liczby Cherna, indeksy Botta oraz poziomy energetyczne układów.

[1] D. R. Hofstadter, *Energy levels and wave functions of Bloch electrons in rational and irrational magnetic fields*, Phys. Rev. B 14, 2239 (1976).

## Czy niezależność jest potrzebna do wystąpienia nieciągłego przejścia fazowego w modelu q-wyborcy?

Angelika Abramiuk, Jakub Pawłowski, Katarzyna Sznajd-Weron

*Katedra Fizyki Teoretycznej, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Pokazujemy, że w przeciwieństwie do poprzednich wyników [1], nieciągłe przejście fazowe jest możliwe w modelu q-wyborcy z antykonformizmem. Jak dotąd, tylko poprzez wprowadzenie nonkonformizmu w postaci niezależności można było uzyskać takie zachowanie. Rezygnując jednak z założenia o równouprawnieniu dwóch rodzajów odpowiedzi społecznej, mogliśmy zaproponować uogólniony model, w którym wielkości grup wpływów niezbędnych dla konformizmu ( $q_c$ ) i antykonformizmu ( $q_a$ ) były od siebie niezależne. Dzięki tej modyfikacji uzyskaliśmy zarówno ciągłe jak i nieciągłe przejścia fazowe, w zależności od wartości  $q_c$  i  $q_a$ . Analizę przeprowadzono najpierw na grafie pełnym, co pozwoliło na przeprowadzenie szczegółowych obliczeń analitycznych [2]. Następnie zbadano model na sieciach losowych, w celu przeanalizowania wpływu samej sieci na zachowanie układu.

[1] Piotr Nyczka, Katarzyna Sznajd-Weron, and Jerzy Cisko (July 2012). "Phase transitions in the q-voter model with two types of stochastic driving." *Physical Review E* 86.1, p. 011105. issn: 15393755. doi: 10.1103/PhysRevE.86.011105. arXiv: 1204.3151.

[2] Angelika Abramiuk, Jakub Pawłowski, and Katarzyna Sznajd-Weron (May 2019). "Is independence necessary for a discontinuous phase transition within the q-voter model?" *Entropy* 21.5. issn: 10994300. doi: 10.3390/e21050521.



## **„Mixmaster Universe”**

**Magdalena Pawłowska**

*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Ludwika Pasteura 5, 02-093, Warszawa  
m.pawlowska27@student.uw.edu.pl*

W prezentacji przedstawię model wszechświata Mixmaster. Model został zaproponowany przez Charles'a Misner'a w celu wyjaśnienia dynamiki wczesnego wszechświata. Używa się go do wyjaśnienia jednorodności i izotropii. Opisuje ewolucję wokół początkowej osobliwości, także to co dzieje się wewnątrz czarnych dziur.



# Kosmologia w geometrycznej skalaro-tensorowej teorii grawitacji

Marcin Postolak

*Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki i Astronomii, Uniwersytet Wrocławski,  
plac Maxa Borna 9, 50-204, Wrocław*

Skalaro-tensorowe teorie grawitacji stanowią najprostszą grupę alternatywnych teorii wobec ogólnej teorii względności Alberta Einsteina. W trakcie ostatnich kilkudziesięciu lat zainteresowanie takimi teoriami wzrosło na skutek pojawienia się nowych koncepcji, takich jak teoria Kaluzy-Kleina, teoria strun czy też model inflacji kosmologicznej pierwotnie zaproponowany przez Alana Gutha [1]. Wiąże się to z faktem, iż teoria Einsteina sprawdzająca się bardzo dobrze w większości zastosowań fizycznych nie jest w stanie opisać pewnych aspektów kosmologicznych takich jak początkowe etapy ewolucji Wszechświata.

Szczególnym przypadkiem takiego podejścia jest teoria skalaro-tensorowa, w której pole skalarne związane jest z geometrią czasoprzestrzeni. Formalizm ten uzyskać można przy pomocy uogólnienia Weyla geometrii riemannowskiej, gdy pole cechowania odpowiada 1-formie [2]. Taką strukturę czasoprzestrzeni określa się mianem całkowalnej czasoprzestrzeni Weyla (WIST–Weyl integrable spacetime). Wówczas do działania Einsteina-Hilberta dołączyć należy człon odpowiadający bezmasowemu polu skalarnemu, które interpretować należy jako pole geometryczne w sensie geometrii Weyla [3].

W swoim wystąpieniu omówię podstawy geometrycznej skalaro-tensorowej teorii grawitacji z potencjałem skalarnym. Następnie omawiana teoria zostanie zastosowana w pewnych modelach kosmologicznych w przypadku, których człon związany z materią może zostać pominięty wskutek dominacji energii potencjalnej pola skalarnego. Główną częścią wystąpienia będzie analiza prostego modelu kosmologicznego, w którym faza przyspieszonej ekspansji Wszechświata spowodowana jest jedynie geometrią [4]. W podsumowaniu przedstawione zostaną wnioski wynikające z takiego modelu kosmologicznego.

[1] A. H. Guth, *Phys. Rev. D* 23, 347 (1981).

[2] Kozak, A.; Borowiec, A. Palatini frames in scalar–tensor theories of gravity. *Eur. Phys. J. C* 2019, 79, 335.

[3] Almeida, T.S.; Pucheu, M.L.; Romero, C.; Formiga, J.B. From Brans-Dicke gravity to a geometrical scalar-tensor theory. *Phys. Rev. D* 2014, 89, 064047.

[4] Pucheu, M.L.; Alves Junior, F.A.P.; Barreto, A.; Romero, C. Cosmological models in Weyl geometrical scalar-tensor theory. *Phys. Rev. D* 2016, 94, 064010.

## Obiekt Thorne-Żytkow: postępy w badaniu i poszukiwaniu

Uliana Pylypenko

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Ludwika Pasteura 5, 02-093, Warszawa

Chociaż obiektu Thorne-Żytkow jeszcze nie zaobserwowano, w ciągu ostatnich 40 lat przeprowadzono dużo badań związanych z ich powstawaniem, ewolucją, strukturą i metodami detekcji, a także znaleziono kilka gwiazd, które wzbudziły dyskusję o ich przynależność do tej klasy obiektów. W prezentacji zostaną omówione główne wyniki tych badań.

Obiekt Thorne-Żytkow (OTŻ) – to hipotetyczny typ gwiazdy, zaproponowany przez Kipa Thorne’a oraz Annę Żytkow w 1975 roku. Jest to masywna czerwona gwiazda, w której środku znajduje się gwiazda neutronowa. Wyróżnia się dwie klasy OTŻ: OTŻ olbrzym i OTŻ nadolbrzym. OTŻ olbrzym składa się z powłoki o masie  $< 8 M_{\odot}$  oraz gwiazdy neutronowej o masie  $1 M_{\odot}$ . 97% energii takiej gwiazdy pochodzi z akrecji materii na gwiazdę neutronową i tylko 3% z reakcji termojądrowych. Natomiast OTŻ olbrzym ma powłokę o masie  $> 12 M_{\odot}$  przy takiej samej masie gwiazdy neutronowej. W tym przypadku na energię pochodzącą z akrecji przypada tylko 5%. Reszta 95% powstaje ze szczególnej reakcji termojądrowej, której produktem są niektóre pierwiastki ciężkie (Mo, Y, Rb, Zr itp.) – procesu irp. OTŻ olbrzymy i OTŻ nadolbrzymy różnią się także sposobami formacji. Uważa się, że pierwsze powstają wskutek kolizji gwiazdy ciągu głównego diagramu Hertzsprunga-Russella i gwiazdy neutronowej w gromadzie kulistej. Drugie – to najprawdopodobniej jeden z końcowych etapów ewolucji masywnych rentgenowskich układów podwójnych.

Poszukiwania OTŻ nadal trwają. Zaobserwowanie tego obiektu oznaczałoby znalezienie nowego źródła pierwiastków ciężkich we Wszechświecie i potwierdzenie teoretycznie przewidzianego losu rentgenowskich układów podwójnych. Do tego czasu większość naukowców starających się zaobserwować OTŻ skupiała się na OTŻ nadolbrzymach. Przyczyną tego jest to, że proces irp częściowo przebiega w strefie konwektywnej gwiazdy, czyli charakterystyczne dla niego pierwiastki ciężkie sprowadzają się na jej powierzchnię i muszą być widoczne jak odpowiadające im linie absorpcyjne. Także przewidziany jest nadmiar Li jako produktu mechanizmu transportu Be.

Niektóre gwiazdy były jednak podejrzewane o bycie OTŻ. Najbardziej znaną z nich jest HV2112 z Małego Obłoku Magellana. Kilka lat później nowe obserwacje wskazały na to, że HV2112 prawdopodobnie jest pulsującą termicznie gwiazdą AGB.

Wszystkie opisane powyżej tematy zostaną omówione dokładniej w trakcie prezentacji.

[1] Kip S. Thorne, Anna N. Żytkow, *Red giants and supergiants with degenerate neutron cores*, "The Astrophysical Journal" (1975)

[2] Robert C. Cannon, *Massive Thorne-Żytkow objects: structure and nucleosynthesis*, "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" (1993)

[3] Philipp Podsiadlowski, Robert C. Cannon, Martin J. Rees, *The evolution and final fate of massive Thorne-Żytkow objects*, "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society" (1995)

[4] Garrett T. Biehle, *Observational prospects for massive stars with degenerate neutron cores*, "The Astrophysical Journal" (1994)

[5] Andrew D. Vanture, Daniek Zucker, George Wallerstein, *Is U Aquarii a Thorne-Żytkow object?*, "The Astro-

---

physical Journal"(1999)

[6] Marc J. Kuchner et al., *A spectroscopic search for massive Thorne-Żytkow objects*, *Stellar Collisions, Mergers and their Consequences*, ASP Conference Proceedings"(2002)

[7] Cédric Foellmi, Anthony F.J. Moffat, *Are peculiar Wolf-Rayet Stars of type WN8 Thorne-Żytkow Objects?*, *Stellar Collisions, Mergers and their Consequences*, ASP Conference Proceedings"(2006)

[8] Emily M. Levesque et al., *Discovery of a Thorne-Żytkow object candidate in the Small Magellanic Cloud*, "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society"(2014)

[9] J. Wang, *Neutron star high-mass binaries as the origin of SGR/AXP* *Astronomical Notes*"(2016)

[10] Emma R. Beasor et al., *A critical re-evaluation of the Thorne-Żytkow object candidate HV2112*, "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society"(2018)

[11] Anna J. G. O'Grady et al., *Cool, Luminous, and Highly Variable Stars in the Magellanic Clouds from ASAS-SN: Implications for Thorne-Żytkow Objects and Super-Asymptotic Giant Branch*, "The Astrophysical Journal"(2020)

[12] H. M. Tabernero, R. Dorda, I. Negueruela, E. Marfil, *On the nature of VX Sagittarii. Is it a TŻO, a RSG or a high-mass AGB star?*, *Astronomy and Astrophysics*"(2020)



## **Dynamika spinu domieszki jonowej w ultrazimnym gazie Fermiego**

**Agata Wojciechowska**

*Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego*

Rezonanse Feshbacha to kluczowe narzędzie dające możliwość kontrolowania oddziaływań pomiędzy atomami w kwantowych gazach, które doprowadziło do wielu przełomowych odkryć. Kolejnym krokiem w rozwoju ultrazimnej fizyki jest obserwacja tych rezonansów w mieszaninach ultrazimnych atomów z jonem, pożądana, chociażby ze względu na zastosowanie w symulacjach oraz komputerach kwantowych. Do niedawna ultrazimny reżim był nieosiągalny dla jonów. Kwantowy gaz atomów litu z jonem baru jest pierwszym układem, w którym rezonanse Feshbacha mogą zostać zaobserwowane. W mojej pracy przedstawiam numeryczne symulacje rozpraszania w polu magnetycznym, prowadzące do przewidzenia i opisanie tych rezonansów. Badam między innymi ich położenie dla różnych stanów struktury nadsubtelnej oraz analizuję dynamikę spinu podczas zdezerzenia. Rozważam również rezonanse obecne w temperaturach wyższych niż definiuje ultrazimny reżim. Wyniki wielu takich obliczeń służą potwierdzeniu obserwacji rezonansów w trwających doświadczeniach na Uniwersytecie we Freiburgu.





# FIZYKA DOŚWIADCZALNA

## Wpływ podstawników na odpowiedź optyczną polimerów metakrylowych zawierających w łańcuchu bocznym barwniki azowe oparte na 8-hydroksychinolinie

**D. Chomicki<sup>1</sup>, O. Kharchenko<sup>2</sup>, A. Kozanecka-Szmigiel<sup>3</sup>, D. Szmigiel<sup>4</sup>, Ł. Skowroński<sup>5</sup>, J. Kowalonek<sup>6</sup>, O. Krupka<sup>2</sup>, B. Derkowska-Zielińska<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Wydział Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Grudziądzka 5, 87-100 Toruń, Polska

<sup>2</sup> Wydział Chemii, Kijowski Uniwersytet Narodowy im. Tarasa Szewczenki, Wołodymyrska 60, 01033 Kijów, Ukraina

<sup>3</sup> Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa, Polska

<sup>4</sup> Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Elektronowej, Al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa, Polska

<sup>5</sup> Instytut Matematyki i Fizyki, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz, Polska

<sup>6</sup> Wydział Chemii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Gagarina 7, 87-100 Toruń, Polska  
chomicki@doktorant.umk.pl

Pochodne azobenzenu są szeroko badaną grupą barwników ze względu na ich właściwości spektroskopowe i fotochromowe, które czynią je atrakcyjnymi kandydatami do takich zastosowań jak limityery optyczne, optyczne przetwarzanie sygnału, optyczne przechowywanie danych oraz holografia. Azobenzen składa się z dwóch pierścieni fenyłowych połączonych mostkiem azowym. Cząsteczka ta występuje w dwóch formach izomerycznych, stabilnej formie trans oraz metastabilnej formie cis, a odwracalna reakcja fotoizomeryzacji trans-cis jest jedną z jej najważniejszych właściwości. Innym ciekawym zjawiskiem zachodzącym w azobenzenu jest fotoindukowana orientacja. Gdy cząsteczka zostaje wzbudzona światłem spolaryzowanym liniowo, po cyklu przejść trans-cis-trans ma ona tendencję do ustawiania się w taki sposób, że oś długa molekuly jest prostopadła do kierunku polaryzacji światła. Jeśli swobodny ruch cząsteczek zostanie ograniczony, na przykład poprzez umieszczenie ich w matrycy polimerowej, po wystarczająco długim czasie naświetlania orientacja molekuł staje się anizotropowa, a materiał staje się dwójłomny i dichroiczny. Z kolei, jeśli cząsteczki azobenzenu zostaną związane kowalencyjnie z łańcuchem polimeru, a powierzchnia materiału zostanie oświetlona przez dwie interferujące ze sobą wiązki światła, to może nastąpić makroskopowa migracja łańcuchów polimerowych, skutkująca powstaniem sinusoidalnych pofałdowań powierzchni polimeru. Wytworzona w ten sposób struktura reliefowa stanowi siatkę dyfrakcyjną dla światła o długościach fali leżących poza pasmem absorpcji azopolimeru. W pracy tej przedstawione zostaną wła-

---

ściwości foto-fizyczne polimerów metakrylowych zawierających barwniki azowe oparte na 8-hydroksychinolinie. Celem przeprowadzonych przez nas eksperymentów było zbadanie wpływu różnych podstawników w strukturze chromoforu na właściwości spektroskopowe i fotochromowe materiału oraz jego zdolność do tworzenia reliefowych siatek dyfrakcyjnych [1]. Zrozumienie zależności między strukturą a właściwościami materiału jest ważne przy wytwarzaniu materiałów dostosowanych do konkretnych zastosowań.

[1] D. Chomicki i inni, Physico-Chemical and Light-Induced Properties of Quinoline Azo-dyes Polymers, International Journal of Molecular Sciences 21 (2020), 5755.



## Zastosowanie układów mikroelektromechanicznych do detekcji wielkości subnanometrowych

Ewelina Gacka

*Katedra Nanometrologii, Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechnika Wroclawska, ul. Janiszewskiego 11/17, 50-372 Wrocław*

Nanotechnologia jest obecnie dynamicznie rozwijającą się dziedziną nauki, umożliwiającą wytwarzanie nanomateriałów i produkcję nanourządzeń. W związku z tym istotny jest rozwój nanometrologii – nauki o pomiarach w nanoskali, która w procesie oceny ilościowej określa właściwości badanych struktur. Systemami zdolnymi do pomiarów wielkości fizycznych są układy mikroelektromechaniczne (MEMS – z ang. microelectromechanical system). MEMS zbudowany jest z ruchomej części mechanicznej, której jeden z wymiarów charakterystycznych nie przekracza 100  $\mu\text{m}$ . Idealny system MEMS powinien zapewnić możliwość sterowania i detekcji pomiarów jego wychyleń. Najpopularniejszym przykładem MEMSu jest mikrobeltka. Jej najważniejszymi parametrami, definiowanymi w procesie produkcji, są powiązane ze sobą częstotliwość rezonansowa, sztywność i dobroć. Wartości te mogą być eksperymentalnie wyznaczone poprzez pomiar wibrometrem laserowym szumu termomechanicznego belki, a także wychyleń belki podczas aktuacji elektromagnetycznej i termicznej [1].

Podczas prezentacji zostaną omówione trzy przykłady MEMSów: belka piezorezystywna, której wychylenie w pomiarach mikroskopem sił atomowych jest kontrolowane z precyzją poniżej 0.1 nm [1] oraz belka z wytworzonym technologią zogniskowanej wiązki jonów ostrzem diamentowym. Przedstawiona zostanie także belka z warstwą złota [2] do pomiarów oddziaływań optomechanicznych, pozwalająca na wyznaczenie siły fotonów z rozdzielczością 175 fN. Zaprezentowana zostanie metoda analizy właściwości tego typu struktur przez skojarzoną analizę szumu termomechanicznego, odpowiedzi elektrycznej i analizy wielkosygnałowej.

[1] Majstrzyk, W., et al. „Thermomechanically and electromagnetically actuated piezoresistive cantilevers for fast-scanning probe microscopy investigations.” *Sensors and Actuators A: Physical* 276 (2018): 237-245.

[2] Di Barba, Paolo, et al. „Optimal design of electromagnetically actuated MEMS cantilevers.” *Sensors* 18.8 (2018): 2533.



## Spektroskopia odbiciowa w podczerwieni - narzędzie do charakteryzacji ultracienkich warstw epitaksjalnych azotku boru

Jakub Iwański, A. K. Dąbrowska, M. Tokarczyk, J. Binder,  
R. Stępniewski, A. Wysmołek

Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa

Azotek boru (BN), podobnie jak inne materiały z grupy azotków, wykazuje dużą stabilność chemiczną, dobre przewodnictwo cieplne [1] oraz przerwę energetyczną około 6 eV [2]. To sprawia, że materiał ten stał się naturalnym kandydatem do wielu zastosowań, między innymi w optoelektronice w zakresie dalekiego ultrafioletu [3]. Spośród różnych odmian alotropowych BN na szczególną uwagę zasługuje ta o heksagonalnej strukturze podobnej do grafitu. Heksagonalny azotek boru (hBN) łączy właściwości szerokopasmowych azotków z tymi charakterystycznymi dla materiałów warstwowych. Cienka warstwa hBN może być częścią składową hybrydowych struktur (tzw. heterostruktur van der Waals'a), w których łączone są materiały dwuwymiarowe o diametralnie różnych właściwościach, np. grafen jako warstwa przewodząca, dichalkogenki metali przejściowych jako elementy półprzewodnikowe i azotek boru w roli cienkich barier izolujących [4]. Tak powstałe struktury, nazywane również NanoLego otwierają szeroki zakres potencjalnych zastosowań, np. w tworzeniu elastycznej elektroniki, ultraszybkich tranzystorów czy źródeł pojedynczych fotonów ważnych dla rozwoju kryptografii kwantowej [5].

Sukces aplikacyjny wymienionych rozwiązań jest ściśle związany z umiejętnością wytwarzania wysokiej jakości warstw epitaksjalnych azotku boru. W tym kontekście kluczowe jest wykorzystanie efektywnych metod charakteryzacji. W niniejszym komunikacie skupiamy się na wykorzystaniu spektroskopii FTIR (Fourier Transform InfraRed) w modzie odbiciowym. Jest to metoda nieniszcząca, pozwalająca scharakteryzować materiał na dużych powierzchniach. Opracowany przez nas sposób analizy ultracienkich epitaksjalnych warstw azotku boru, wykorzystujący pomiary z wiązką skupioną na obszarze o rozmiarach  $50 \times 50 \mu\text{m}$  z użyciem mikroskopu FT-IR pozwala na określenie grubości i jakości krystalicznej warstw epitaksjalnych. Metoda ta jest bardzo czuła i pozwala na wykrycie nawet pojedynczych warstw hBN na podłożach  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Otrzymywane wartości wykazują dużą zgodność z wynikami otrzymanymi m.in. z reflektometrii rentgenowskiej.

**Podziękowanie:** Praca współfinansowana przez Narodowe Centrum Nauki, grant 2019/33B/ST5/02766

- [1] L. Song et al., *Adv. Mater.* **24**, 4878 (2012)
- [2] M. Xu et al., *Chem. Rev.* **113**, 3766 (2013)
- [3] Y. Liu et al., *Nat. Rev. Mater.* **1**, 16042 (2016)
- [4] A. K. Geim, I. V. Grigorieva, *Nature* **499**, 419-425 (2013)
- [5] M. Koperski et al., *Nanophotonics* **6**, 1289 (2017)

## Synteza nanocząstek srebra metodą wyładowania łukowego wysokiego napięcia

Joanna Jabłońska<sup>1,2</sup>, Krzysztof Jankowski<sup>1,2</sup>, Mirosław Szybowicz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej, Zakład Spektroskopii Optycznej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

<sup>2</sup>Akademia im. Jakuba z Paradyża w Gorzowie Wielkopolskim, Wydział Techniczny, Instytut Nanotechnologii i Nanobiologii, Teatralna 25, 66-400 Gorzów Wielkopolski.  
joanna.w.jablonska@doctorate.put.poznan.pl

Nanocząstki to grupa określonych materiałów, których rozmiar jest wyrażany w nanoskali ( $10^{-9}$ m). Ze względu na swój niewielki rozmiar nanocząstki mogą tworzyć stabilne roztwory koloidalne. Wykazano, że nanocząstki metali mają inne właściwości fizyczne i chemiczne niż materiały w skali makro. Nanocząstki stanowią pomost między obiektami w skali makro (widocznymi dla obserwatora) i materiałami składającymi się z dziesiątek lub setek atomów danego pierwiastka. Ze względu na swoje właściwości biobójcze, przeciwbakteryjne i przeciwwirusowe nanocząsteczki srebra znajdują szerokie zastosowanie w medycynie i opiece zdrowotnej, jak i innych dziedzinach nauki i techniki, np. analizie chemicznej (SERS), elektronice. Ich specyficzne zastosowania ściśle zależą od metody syntezy, która obejmuje: kondensację gazu obojętnego, radiolizę, zol-żel, implantację jonów, chemiczne osadzanie z fazy gazowej (CVD), polimeryzacja lub synteza metodą redukcji chemicznej z soli srebra i prekursorów metaloorganicznych. Jedną z najprostszych i najtańszych metod jest wyładowanie łukiem krytym. Polega ona na wytworzeniu wyładowania łukowego pomiędzy elektrodami srebrnymi zanurzonymi w rozpuszczalniku wodnym. Wytwarzana wysoka temperatura związana z przepływem prądu zwarciovego prowadzi do ablacji materiału stałego elektrod z utworzeniem metalowych nanoobjektów. Modyfikacja metody wyładowania łuku zanurzeniowego poprzez generowanie łuku elektrycznego prądu przemiennego o wysokim napięciu pozwala na przyspieszenie procesu wytwarzania nanocząstek i stabilizuje łuk elektryczny między elektrodami za pomocą transformatora mikrofalowego (MOT), aż do uzyskania stabilnego wyładowania łukowego prądu przemiennego. Zastosowanie tego typu transformatora (MOT) jest najprostszym sposobem na uzyskanie wyładowania łukowego wysokiego napięcia, ponieważ są one solidne, tanie i łatwe do podłączenia do elektrod oraz dzięki odpowiednim systemom zasilania tworzy łuk między elektrodami. Układ mechaniczny jest klasycznym reaktorem stosowanym w procesach metody wyładowania łukowego.

Nanocząstki srebra zsyntetyzowano metodą wyładowania łukowego poprzez zastosowanie wyładowania prądu przemiennego o wysokim napięciu między elektrodami srebra (prętami) w środowisku ciekłym bez użycia sprzętu próżniowego, wymienników temperatury i gazów obojętnych. W eksperymentach napięcie wyjściowe autotransformatora wynosiło 100 V, co generowało napięcie 1100 V na wyjściu transformatora wysokiego napięcia (MOT). Podczas procesu nie stosowano stabilizatorów ani substancji zmieniających pH wody. Otrzymane nanocząsteczki poddano testom UV - VIS, FTIR i DLS oraz wykonano pomiary potencjału zeta. Obrazowanie przeprowadzono również przy użyciu techniki TEM.

- 
- [1]. Cushing, B.L., Kolesnichenko, V.L. and O'Connor, C.J., 2004. Recent Advances in the Liquid – Phase Syntheses of Inorganic Nanoparticles, *Chemical Reviews*, 104, 9, pp. 3893-3946.
  - [2]. Yu, F., Oduro, H., Tam, W., & K., Tsang, E., 2008. Chemical methods for preparation of nanoparticles in solution. *Handbook of Metal Physics* 5, pp. 1–385.
  - [3]. Buffat, Ph.; Borel, J.P., 1976. Size effect on the melting temperature of gold particles. *Physical Review A*, 13 (6), pp. 2287–2298.
  - [4]. Minchin, R. 2008. Nanomedicine: sizing up targets with nanoparticles. *Nature Nanotechnology*, 3 (1), pp. 12–13.
  - [5]. Granqvist, C. G., Buhrman, R. A., 1976. Ultrafine metal particles. *Journal of Applied Physics*, 47 (5), pp. 2200–2219.
  - [6]. Yin, H., Yamamoto, T., Wada, Y., Yanagida, S., 2004. Large-scale and size-controlled synthesis of silver nanoparticles under microwave irradiation. *Mater. Chem. Phys.*, 83, pp.66–70.

## Charakteryzacja i badanie procesu starzenia się fotokatod do detektorów gazowych o precyzyjnym czasie pomiaru

**Marta Lisowska<sup>1,2</sup>, Florian Maximilian Brunbauer<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław, Polska

<sup>2</sup>Europejska Organizacja Badań Jądrowych (CERN), 1211 Genewa 23, Szwajcaria

Przyszłe eksperymenty w fizyce wysokich energii, takie jak Wielki Zderzacz Hadronów o Dużej Światłości (*ang. High Luminosity Large Hadron Collider*) [1], wzbudziły intensywne zainteresowanie rozwojem urządzeń o precyzyjnym czasie pomiaru. Ogromna ilość zderzeń cząstek na jednostkę czasu narzuca konieczność uzyskania niezwykle wysokiej rozdzielczości czasowej. W ramach kolaboracji "Picosec Micromegas" opracowywana jest koncepcja detektora gazowego o rozdzielczości czasowej na poziomie dziesiątek pikosekund [2], co stanowi poprawę o dwa rzędy wielkości w porównaniu do konwencjonalnych detektorów gazowych. Aby była ona odpowiednia do zastosowań fizycznych, niezbędne jest wdrożenie kilku ulepszeń, w tym optymalizacja fotokatody, będącej rdzeniem detektora "Picosec".

Detektor "Picosec" wykorzystuje półprzezroczystą fotokatodę wykonaną z CsI o wysokiej wydajności kwantowej, jednakże pogarszanie się jakości CsI w czasie pracy urządzenia stanowi problem dla rozwoju tej koncepcji. W związku z tym konieczne jest przeprowadzenie pomiarów pozwalających na ilościowe określenie degeneracji fotokatod oraz znalezienie alternatywnych materiałów, które mogłyby zostać użyte w przyszłych wersjach detektora "Picosec". Charakteryzacja fotokatod odbyła się przy użyciu konfiguracji pomiarowej "ASSET" [3] znajdującej się w laboratorium grupy Rozwoju Detektorów Gazowych w Europejskim Ośrodku Badań Jądrowych (CERN) w Szwajcarii. Układ eksperymentalny zapewnia możliwość pomiaru wydajności kwantowej w reżimie długości fal należących do VUV (120 - 200 nm), zarówno w trybie odbiciowym, jak i transmisyjnym, oraz pozwala zbadać proces przyspieszonego starzenia się fotokatod pod wpływem promieniowania rentgenowskiego. W ramach pracy wykonano pomiary dla fotokatod wykonanych z 4 różnych materiałów: CsI, DLC, B<sub>4</sub>C oraz HND. Wyniki doświadczalne pokazują, że CsI nadal cechuje się najwyższą wydajnością kwantową, jednakże proces degeneracji B<sub>4</sub>C oraz HND jest znacznie wolniejszy, co może stanowić silny argument przy wyborze materiału na fotokatody do przyszłych detektorów gazowych o precyzyjnym czasie pomiaru.

[1] S. White, *Experimental challenges of the European strategy for particle physics*, International Conference on Calorimetry for the High Energy Frontier, CHEF 2013

[2] F. J. Iguaz et al., *PICOSEC: Charged particle timing at sub-25 picosecond precision with a Micromegas based detector*, Nucl. Instr. Meth. A, 903, 317-325 (2018)

[3] M. Lisowska, *ASSET - Photocathode characterisation device*, RD51 Mini-Week and DLC workshop, February 2020, [https://indico.cern.ch/event/872501/contributions/3726017/attachments/1985809/3308869/Marta\\_Lisowska\\_-\\_RD51\\_Mini\\_Week\\_-\\_Asset\\_photocathode\\_characterisation\\_device.pdf](https://indico.cern.ch/event/872501/contributions/3726017/attachments/1985809/3308869/Marta_Lisowska_-_RD51_Mini_Week_-_Asset_photocathode_characterisation_device.pdf)





## Badanie wpływu cieczy na czas życia nośników ładunku elektrycznego w $\text{MoS}_2$ za pomocą fotoindukowanego odbicia mikrofal

**Kamil Miszta, Artur Herman, Robert Kudrawiec**

*Katedra Inżynierii Materiałów Półprzewodnikowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki,  
Politechnika Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Dichalkogenki metali przejściowych (ang. transition metal dichalcogenides - TDMs) są związkami półprzewodnikowymi o ogólnym wzorze  $\text{MX}_2$ , gdzie M oznacza atom metalu przejściowego (np. Mo, W), natomiast X jest atomem chalkogenu takim jak S lub Se. Materiały te cieszą się dużym zainteresowaniem badawczym ze względu na ich wyjątkowe właściwości i potencjalne zastosowania [1, 2]. W naszej pracy skupiamy się na pomiarach wpływu cieczy na czas życia nośników ładunku elektrycznego w  $\text{MoS}_2$  za pomocą fotoindukowanego odbicia mikrofal - ang. microwave photoconductivity decay ( $\mu$ -PCD). Metoda ta jest szeroko stosowana do pomiarów czasu życia w półprzewodnikach i czas ten zależy od koncentracji wzbudzonych nośników (par elektron-dziura) za pomocą wiązki laserowej. Sygnał fotoprądu jest proporcjonalny do liczby tych par, występujących w objętości próbki. Pomiar polega na monitorowaniu przy pomocy oscyloskopu zmiany mocy mikrofal odbitych od poddanej pomiarom próbki [3]. W niniejszej pracy poprzez zastosowanie wody amoniakalnej ( $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{NH}_3$ ) w funkcjonalizacji powierzchni oraz perhydrołu ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) w podstawieniu atomu tlenu za atom siarki modyfikujemy procesy zaniku występujące w eksfoliowanych kryształach objętościowych  $\text{MoS}_2$ . Pokazujemy, że wspomniane ciecze wpływają na zwiększenie czasu życia nośników ładunku elektrycznego w badanych materiałach. Ponadto wskazujemy, że zmiana czasu życia z wykorzystaniem  $\text{H}_2\text{O}\cdot\text{NH}_3$  jest procesem fizycznym, ze względu na powrót procesów zaniku do stanu pierwotnego po wyschnięciu próbki, a zmiana powstała na skutek użycia  $\text{H}_2\text{O}_2$  jest procesem chemicznym związanym z podstawieniem obcego atomu do struktury kryształu.

- [1] Wang, Q., Kalantar-Zadeh, K., Kis, A. et al. Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides. *Nature Nanotech* 7, 699–712 (2012)
- [2] Juan Xia, Jiaxu Yan, Ze Xiang Shen, Transition metal dichalcogenides: structural, optical and electronic-property tuning via thickness and stacking. *FlatChem* 4, (2017)
- [3] M.E. Rodrigues, A. Mandelis, G. Pan, J. A.Garcia, V. Gorodokin, and Y. Raskin. Minority carrier lifetime and iron concentration measurements on p-Si wafers by infrared photothermal radiometry and microwave photoconductance decay. *Journal of Applied Physics* 87, 8113 (2000)



## **Analiza zmian fazowych w cienkich warstwach ZnO z wykorzystaniem metod spektroskopowych**

**Ewelina Nowak, Edyta Chłopocka, Mirosław Szybowicz, Alicja Stachowiak**

*Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Piotrowo 3A, 61-138 Poznań  
ewelina.k.nowak@doctorate.put.poznan.pl*

Tlenek cynku (ZnO) jest półprzewodnikiem grup II-VI o szerokiej przerwie energetycznej, wynoszącej około 3,4 eV w temperaturze 300 K [1]. Dzięki wysokiej energii wiązania ekscytonu (około 60 meV), wysokiej energii fononu LO wynoszącej 72 meV oraz wysokiej stabilności i odporności na uszkodzenia radiacyjne stanowi on dobrą alternatywę dla dużo droższych materiałów o podobnych właściwościach, takich jak GaN czy SiC [2, 3].

Z uwagi na potrzeby współczesnej elektroniki, jedną z najczęściej wykorzystywanych struktur na bazie ZnO są cienkie warstwy. Z uwagi na dużą elastyczność półprzewodnika, do wytworzenia zarówno cienkich warstw jak i warstw epitaksjalnych wykorzystywany może być szereg metod fizycznych i chemicznych, przy czym największą zaletą materiału jest możliwość jego syntezy z wykorzystaniem tzw. „mokrej chemii” [3]. Jedną z nich jest metoda zol-żel, która dzięki braku konieczności stosowania bardzo wysokich temperatur czy aparatury próżniowej [4].

Faza materiału oraz orientacja krystalitów w cienkiej warstwie silnie zależy od metody osadzania [5]. Czynnikiem, który może znacząco przyczynić się do uzyskania odpowiedniej fazy materiału, orientacji krystalograficznej, jak i wielkości ziaren w warstwie jest rekrytalizacja, czyli końcowa obróbka cieplna w temperaturach 400-1200 K.

Prezentacja stanowi szczegółowy przegląd zmian fazowych w warstwach tlenku cynku pod wpływem zmian temperatury. Poza analizą strukturalną, przeanalizowane zostaną również właściwości optyczne oraz elektryczne analizowanych warstw.

[1] Klingshirn CF. ZnO: Material, physics and applications. ChemPhysChem. 2007; 8(6):782-803.

[2] Klingshirn C, Fallert J, Zhou H, et al. 65 years of ZnO research - old and very recent results. Phys Status Solidi Basic Res. 2010; 247(6):1424-1447.

[3] Look DC. Recent advances in ZnO materials and devices. Mater Sci Eng B Solid-State Mater Adv Technol. 2001; 80(1-3):383-387.

[4] Znaidi, L. Sol-gel-deposited ZnO thin films: A review. Mater. Sci. Eng. B Solid-State Mater. Adv. Technol. 174, 18-30 (2010).

[5] Norrman K, Larsen NB. 6 Studies of spin-coated polymer films. 2005:174-201.

## Jak złapać antymaterię?

Joanna Peszka

*College of Science, Swansea University, Singleton Park, Sketty, Swansea SA2 8PP, United Kingdom*

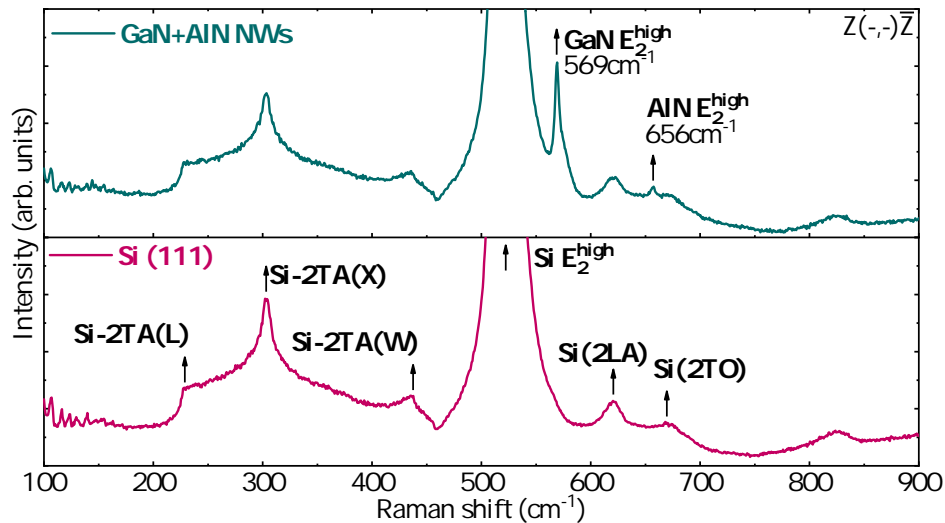
Antymateria, a w szczególności atom antywodoru, jest jednym z wielu ciekawych systemów do badań nad podstawowymi symetriami w przyrodzie. Asymetria barionowa, czyli przytłaczająca dominacja materii nad antymaterią w obecnym wszechświecie, sugeruje że nieznanne zjawiska fizyczne mogą być powiązane właśnie z antymaterią. Łamanie symetrii CP obserwowane w rozpadach mezonów jest niewystarczające do wyjaśnienia asymetrii barionowej, dlatego w antywodorze upatruje się kandydata na łamanie podstawowych symetrii. Czy jest to łamanie symetrii CPT, odmienne oddziaływanie grawitacyjne czy przejaw nieznannej piątej siły? Nie wiemy, jednak naszym celem jest przeprowadzenie jak najbardziej precyzyjnych pomiarów dotyczących antywodoru i porównanie ich do właściwości "normalnego" wodoru. W tym celu musimy wyprodukować i spułapować odpowiednie ilości antyprotonów i pozytonów do syntezy antywodoru, a następnie uwięzić atomy antywodoru na czas pomiaru. Do tego celu służą pułapki jonowe i atomowe, na których skupię się w mojej prezentacji. Postaram się przedstawić podstawy fizyczne i techniczne umożliwiające nam pułakowanie antymaterii i wyjaśnić ile prawdy, a ile fikcji jest w "walizce z antymaterią".

- [1] Murphy T. J. & Surko C. M. Positron trapping in an electrostatic well by inelastic collisions with nitrogen molecules. *Phys. Rev. A* 46, 5696 (1992),
- [2] Andresen, G. B. et al. Evaporative cooling of antiprotons to cryogenic temperatures. *Phys. Rev. Lett.* 105, 013003 (2010),
- [3] Amole C. et al. Experimental and computational study of the injection of antiprotons into a positron plasma for antihydrogen production. *Phys. Plasmas* 20, 043510 (2013),
- [4] Amole C., Andresen G.B., Ashkezari M.D. et al. The ALPHA antihydrogen trapping apparatus. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 735 (2014), <https://doi.org/10.1016/j.nima.2013.09.043>,
- [5] Andresen G. B., Ashkezari M. D., Baquero-Ruiz M. et al. Trapped Antihydrogen, *Nature* 468, 673–676 (2010), <https://doi.org/10.1038/nature09610>,
- [6] Andresen G. B., Ashkezari M. D., Baquero-Ruiz M. et al. Confinement of antihydrogen for 1,000 seconds, *Nature Physics* 7, 558–564 (2011), <https://doi.org/10.1038/nphys2025>,
- [7] Andresen G.B., Ashkezari M.D., Bertsche W. et al. Antihydrogen annihilation reconstruction with the ALPHA silicon detector, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 684 (2012), <https://doi.org/10.1016/j.nima.2012.04.082>,
- [8] Ahmadi M., Alves B.X.R., Baker C.J. et al. Antihydrogen accumulation for fundamental symmetry tests, *Nat Commun* 8, 681 (2017). <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00760-9>

## Fonony w nanodrutach AlGaN-owych. Pomiary i analiza widm Ramana.

R. Szymon

Katedra Technologii Kwantowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika  
Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław



Rysunek 4.1: Widmo Ramana podłoża Si(111) (dolne) i wzrastanych na nim nanodrutów GaN-owych z AlN-owym wierzchołkiem oraz *shellem* (górne)

Rozwój technologii wytwarzania nanostruktur doprowadził inżynierię materiałową na nowy obszar badań eksperymentalnych strukturyzowanych materiałów w skali nano. Postęp ten nie ominął również i półprzewodników, które mają obecnie nieoceniony wkład w branżach tele-informatycznej, elektronicznej i fotowoltaicznej. Choć historia półprzewodników grup III-V, do których zalicza się GaN oraz AlN to już spory rozdział tych branż, nie powiedziano tutaj jeszcze ostatniego słowa, stąd podjęcie się tego tematu.

Analizie poddano próbki nanodrutów  $GaN/Al_xGa_{1-x}N$ -owych z pomocą spektroskopii ramanowskiej, która służy obserwacji wzbudzeń fononowych w strukturach. Zauważenie charakterystycznych modów AlN i GaN:  $E_2^{high}$  oraz  $A_1(LO)$  oraz ich analiza pozwoliły na szeroką charakterystykę uzyskanych nanostruktur między innymi: opis własności optycznych to jest rozpoznanie wzbudzeń fononowych, strukturalnych w tym określenie orientacji krystalograficznej oraz oszacowanie składu chemicznego, a także analiza własności elektrycznych, dokładnie wyznaczenie koncentracji nośników.



# Opóźniona luminescencja w granacie $Gd_3Ga_3Al_2O_{12}$ domieszkowanym jonami ziem rzadkich (Ce, Pr, Tb)

Kamila Rajfur<sup>1</sup>, Paweł Głuchowski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław

<sup>2</sup>Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, ul. Okólna 2, 50-422 Wrocław  
[p.głuchowski@intibs.pl](mailto:p.głuchowski@intibs.pl)

Pierwsze znane nam doniesienia o zaobserwowaniu zjawiska opóźnionej luminescencji pochodzą z XVII wieku. Zaobserwowane została wtedy emisja światła o czerwono-pomarańczowej barwie z minerału  $BaSO_4$ , znanego potem jako kamień boloński, po wystawieniu na działanie słońca [1]. Charakter tego zjawiska został poznany dużo później. Dopiero w 2012 zostały przeprowadzone dokładne badania na tym samym mineralu, które udowodniły, że świecenie to nie pochodzi od barytu, raczej od  $BaS$  i zachodzi za pomocą defektów w strukturze i domieszki metali przejściowych. Luminescencja z tego materiału została opisana jako przejścia  $3d^94s^1 \rightarrow 3d^{10}$  w jonach  $Cu^+$ , dlatego też kamień boloński został uznany za historycznie pierwszy materiał z opóźnioną luminescencją [2].

Termin opóźniona luminescencja dotyczy termoluminescencji aktywowanej w temperaturze pokojowej, od czasu lepszego zrozumienia zjawiska zostało wynalezionych wiele mniej lub bardziej wyszukanych związków wykazujących opóźnioną luminescencję. Dużą część z nich dzisiaj domieszkuje się jonami lantanowców, najbardziej wydajne z nich emitują światło przez wiele godzin po naświetleniu. Od czasu uzyskania tak długiej luminescencji materiały z opóźnioną luminescencją znalazły wiele zastosowań praktycznych [3].

Szczególnie efektywne luminofory udało się uzyskać z wykorzystaniem jonów  $Eu^{2+}$ , głównie z powodu bardzo korzystnego położenia jego stanu podstawowego względem struktury pasmowej sieci. Mimo to wciąż poszukuje się nowych materiałów z opóźnioną luminescencją, ponieważ domieszkowanie europem jest bardzo drogie. Zastosowania opóźnionej luminescencji obejmują czujniki temperatury lub zmiany ciśnienia, sygnalizację awaryjną lub sygnalizację podłogową w kabinach samolotów aż po zastosowania w obrazowaniu biomedycznym [3].

W swojej pracy magisterskiej badam zjawisko opóźnionej luminescencji w materiałach GGAG domieszkowanych  $Ce^{3+}$ ,  $Tb^{3+}$  i  $Pr^{3+}$ .

This work was supported by the National Science Centre, Poland under grant no. 2017/26/D/ST5/00904.

[1] Journal of Luminescence 2019, 205, 581-620

[2] Eur. J. Mineral. 2012, 24, 885-890

[3] Electrochemical Society 2009, Interface 18(4)



## Organizacja molekularna w warstwach Langmuira utworzonych z dyskopodobnych molekuł

**Justyna Stachera, Tomasz Martyński, Ewa Chrzumnicka**

*Institut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej, Zakład Mikro - i Nanostruktur,  
Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska,  
Piotrowo 3, 61 - 138 Poznań*

Spintronika lub elektronika spinowa, w przeciwieństwie do konwencjonalnej elektroniki, wykorzystuje spin elektronów do wykrywania, przechowywania informacji, transportu i przetwarzania. Zaletami niewątpliwie jest zwiększona szybkość przetwarzania danych czy większe gęstości integracji w porównaniu z konwencjonalnymi urządzeniami półprzewodnikowymi. Molekuły o kształcie dysku uważane są za interesujące ze względu na właściwości, np. są w stanie samodzielnie tworzyć zróżnicowane konstrukcje kolumnowe. Cienkie folie tworzone przez materiały zawierające rodniki wykazują niezwykle właściwości optyczne i fizyczne [1]. Badane zostały m.in. monowarstwy Langmuira tworzące anizotropową warstwę, dla których orientacja oraz agregaty molekularne wpływają na właściwości fizykochemiczne.

W porównaniu z organicznymi materiałami półprzewodnikowymi, np. pojedyncze kryształy, polimery przewodzące molekuły o budowie dyskotypycznej posiadają wiele zalet. Przede wszystkim mogą być w łatwy sposób syntezowane, a właściwości optyczne, elektryczne, magnetyczne mogą być dostosowane poprzez odpowiednie modyfikacje chemiczne, np. dołączanie wolnych rodników, łączenie pierścieni aromatycznych [2]. Dostępność tworzenia filmów jest jedną z fundamentalnych cech inteligentnych materiałów dla spintroniki. Molekuły o budowie dysków mają tendencję do samodzielnej organizacji w kolumny, w związku z tym występuje trudność z przetwarzalnością, a co za tym idzie orientacja molekuł w żądanym kierunku może być ograniczona. Struktura rdzenia precyzuje właściwości elektroniczne w zakresie molekularnym, podczas, gdy zmiany między elastycznymi łańcuchami, a rdzeniem kontrolują samoorganizację. Metody syntezy również decydują o parametrach dyskotypycznych ciekłych kryształów [3].

Wytworzono warstwy Langmuira dla związków o różnej długości łańcucha alkilowego. Podczas ich sprężania zostały zarejestrowane izotermie ciśnienie powierzchniowe - powierzchnia przypadająca na pojedynczą molekułę, tzw.  $\pi - A$  oraz obrazy tekstur przy pomocy mikroskopu polaryzacyjnego kąta Brewstera. Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano informacje o upakowaniu molekularnym, konformacji, a przede wszystkim o możliwości utworzenia stabilnej monowarstwy na bazie rodników dyskotypycznych obdarzonych spinem oraz rodników dyskotypycznym pozbawionych właściwości paramagnetycznych.

Badania były w części finansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego 0511/SBAD/0016 realizowanego na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej.

[1] M. Jasiński, Sz. Kapuściński, P. Kaszyński, Stability of a columnar liquid crystalline phase in isomeric derivatives of the 1,4-dihydrobenzo[e][1,2,4]triazin-4-yl: Conformational effects in the core, Journal of Molecular Liquids 277 (2019), 1054 – 1059.

- [2] A. Gowda, S. Kumar, Recent advances in discotic liquid crystal-assisted nanoparticles, *Materials* (2018), 11, 382.
- [3] H. K. Bisoyi, S. Kumar, Discotic nematic liquid crystals: science and technology, *Chemical Society Review* (2010), 39, 264 – 285.





## Wpływ warstwy $TiO_2$ na osadzanie się kwasu oktadecylofosfonowego (ODPA) i hydroksyapatytu (HA) na powierzchni stopu tytanu Ti6Al4V ELI

Joanna Szczuka<sup>1,3</sup>, Tomasz Buchwald<sup>1</sup>, Mariusz Sandomierski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Instytut Badań Materiałów i Inżynierii Kwantowej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań,

<sup>2</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej, ul. Bedrychowo 4, 60-965 Poznań  
email: joanna.p.szczuka@doctorate.put.poznan.pl

Jednym z najczęściej stosowanych materiałów do budowy endoprotez są stopy tytanu domieszkowane aluminium (Al) i wanadem (V), wykorzystuje się go do budowy trzpieni przynasadowych oraz panewek. Stopy te posiadają dobre właściwości mechaniczne przy niskiej gęstości oraz korzystny stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granic plastyczności- wartości zbliżone do części zbitej kości udowej dorosłego człowieka [1-3]. Dodatkowo tytan i jego stopy ulegają procesowi pasywacji- warstwa  $TiO_2$  poprawia biogodność materiału, to w nią są wbudowywane jony wapnia i fosforu [4]. Każdego roku, praktycznie we wszystkich krajach obserwuje się wzrost wykonywanych operacji endoprotezoplastyki [5-7]. Niestety liczba wykonywanych operacji rewizyjnych, w zależności od kraju, wynosi około 9-10%. Jedną z najczęstszych przyczyn ponownej operacji wskazywane są obluzowania oraz zakażenia [6]. Dlatego tak istotne jest ciągle doskonalenie biomateriałów i szukanie nowych rozwiązań. Celem badań jest modyfikacja stopu tytanu poprzez wytworzenie warstwy ODPA na jego powierzchni. Związek ten wykazuje sorpcję z hydroksyapatytem, tworzy warstwy samoorganizujące się oraz wykorzystuje się go do wytwarzania powłok antykorozyjnych [9-10]. W niniejszej pracy zbadano wpływ warstwy tlenków, powstałych w procesie wygrzewania, na osadzanie się ODPA i wytrącanie HA.

Do badań wykorzystano płytki stopu tytanu Ti6Al4V ELI (firmy Wolften), wykonane w oparciu o normę ASTM F 136/1472, o wymiarach 30 mm x 15 mm x 11 mm. W celu uzyskania jednorodnej warstwy  $TiO_2$  część płytek została poddana procesowi wygrzewania w 600°C. Powierzchnię płytek modyfikowano związkami- ODPA (poprzez odparowanie rozpuszczalnika) oraz HA (w procesie wytrącania).

Do analizy modyfikowanej powierzchni stopu tytanu wykorzystano konfokalny spektroskop ramanowski (Reinshaw). Pomiarów wykonywano z zastosowaniem wiązki lasera o długości fali 785 nm i mocy 20 mV. Badania w pierwszej kolejności polegały na wykonaniu pomiarów widm spektralnych, a następnie mapowaniu powierzchni o wymiarach 100  $\mu m$  x 100  $\mu m$ .

Analiza uzyskanych wyników pozwala stwierdzić iż warstwa tlenków uzyskana w procesie wygrzewania stopu tytanu w 600°C wpływa na sposób osadzania się ODPA a w następstwie HA - na stopie tytanu z naniesioną warstwą ODPA nie zaobserwowano wytrącania się HA.

Podziękowania: Badanie zostało sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego





- 
- [1] B. Świczko-Żurek, *Materiały biomedyczne*, Gdańsk: Politechnika Gdańska, 2009
- [2] M. Biel, *Mikrostruktura i właściwości biomateriałów tytanowych po obróbce powierzchniowej*, Kraków: Akademia Górniczo-Hutnicza, 2006
- [3] *Laboratorium Nauki o Materiałach- Materiały Biomedyczne*, Łódź, Politechnika Łódzka, 2010
- [4] T. Wierzchoń, E. Czarnowska i D. Krupa, *Inżyniera powierzchni w wytwarzaniu biomateriałów tytanowych*, Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2004
- [5] *Health at a Glance 2019*, OECD, <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/4dd50c09-en>
- [6] *Realizacja świadczeń endoprotezoplastyki stawowej w 2013 r. na podstawie danych z Centralnej Bazy Endoprotezoplastyk Narodowego Funduszu Zdrowia*, Narodowy Fundusz Zdrowia, 2014.  
<https://www.nfz.gov.pl/o-nfz/publikacje/>
- [7] *Realizacja świadczeń endoprotezoplastyki stawowej w 2018 r. na podstawie danych z Centralnej Bazy Endoprotezoplastyk Narodowego Funduszu Zdrowia*, Narodowy Fundusz Zdrowia, 2018.  
<https://www.nfz.gov.pl/o-nfz/publikacje/>
- [8] *Demographics of Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty - Annual Report*, Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry, raporty z lat 2009-2019.  
<https://aoanjrr.sahmri.com/annual-reports-2019/>
- [9] M. Pietrzyńska. *Experimental and in silico investigations of organic phosphates and phosphonates sorption on polymer-ceramic monolithic materials and hydroxyapatite.*, *European Journal of Pharmaceutical Sciences* 93, 2016, pp. 295-303
- [10] C. Dai, i inni. "Fast formation of superhydrophobic octadecylphosphonic acid (ODPA) coating for self-cleaning and oil/water separation." *Soft Matter* 10.40 (2014): 8116-8121



## **Automatyczne wykrywanie chmur z pomocą soczewki „rybie oko”**

**Joanna Szulc**

*Andoya Space Center, Andenes, 8480, Norwegia*

Celem projektu była rewitalizacja i automatyzacja istniejącego systemu służącego do automatycznego wykrywania chmur nad obserwatorium Alomar.

Oryginalny system został wyprodukowany w 1995 r. pod nazwą „All-Sky” i składał się z soczewki typu „rybie oko”, grzałek, filtrów, mechanicznej przesłony, kamery oraz pomocniczej elektroniki. Usprawnienie i automatyzacja procesu wymagały szeregu prac serwisowych rozpoczętych w 2018 r. i zakończonych latem 2020 r. Większość prac obejmowała aktualizację oprogramowania napisanego w językach C++, C# i .NET, integrację skryptów w języku Python, szeroki przegląd możliwości wykorzystania nowych metod procesowania obrazów podczas wykrywania chmur oraz testowanie zautomatyzowanego systemu.

W wyniku prac udało się uzyskać nową, poszerzoną funkcjonalność systemu wykrywania chmur, oraz usprawnioną automatyzację. Pobocznym, ale interesującym wynikiem był przegląd dostępnych narzędzi i metod wykorzystywanych obecnie do wykrywania i klasyfikacji chmur obejmujących zastosowanie zarówno sprawdzonych metod procesowania obrazów jak i wciąż rozwijającego się uczenia maszynowego.



## Synteza oraz określenie właściwości optycznych nanocząstek $\text{Gd}_2\text{O}_3: \text{Er}^{3+}, \text{Yb}^{3+}, \text{Mg}^{2+}$

Aleksandra Wosztyl<sup>1,2</sup>, K. Fronc<sup>1</sup>, T. Wojciechowski<sup>1</sup>, B. Sikora<sup>1</sup>, R. Minikayev<sup>1</sup>,  
K. Sobczak<sup>3</sup>, P. Kowalik<sup>1</sup>, I. Kamińska<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk, aleja Lotników 32/46, 02-668, Warszawa*

<sup>2</sup>*Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski, Pasteura 1, 02-093, Warszawa*

<sup>3</sup>*Wydział Chemii, Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego,  
Żwirki i Wigury 101, 02-089, Warszawa*

W celu uzyskania spektakularnych mechanizmów, gwarantowanych przez mechanikę kwantową, wytworzono nanocząstki tlenku gadolinu domieszkowane jonami ziem rzadkich: erbem ( $\text{Er}^{3+}$ ) i iterbem ( $\text{Yb}^{3+}$ ). Zbadano transfer energii pomiędzy jonami i uzyskano wzmocnienie efektywności emisji anty-Stokesowskiej poprzez domieszkowanie nanostruktur dodatkowo jonami magnezu ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

Do syntezy użyto metody współstrącenia homogenicznego w temperaturze 85°C. Użytko uporządkowanie struktury krystalicznej za pomocą wygrzania w temperaturze 990°C przez 3h. Strukturę krystaliczną określono za pomocą promieniowania rentgenowskiego (XRD). Średnica nanostruktur została zmierzona za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego jak i transmisyjnego mikroskopu elektronowego (SEM, TEM). Właściwości optyczne zmierzono za pomocą fotoluminescencji.

Nanocząstki wykazują luminescencję w obszarze widzialnym. Maksima emisji występują przy długości fali 565 nm ( $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ,  $^2\text{H}_{11/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ) oraz 663 nm ( $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ) podczas pobudzenia laserem półprzewodnikowym o długości fali 980 nm (praca ciągła). Otrzymano 8-krotny wzrost luminescencji czerwonej dla stężenia 2.5%  $\text{Mg}^{2+}$  w porównaniu z nanocząstkami niedomieszkowanymi jonami magnezu ( $\text{Gd}_2\text{O}_3: 1\% \text{Er}^{3+}, 18\% \text{Yb}^{3+}$ ) przy gęstości mocy lasera  $12 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$ . Średnice uzyskanych nanocząstek wynoszą odpowiednio  $302 \pm 37 \text{ nm}$  oraz  $278 \pm 36 \text{ nm}$  (po wygrzaniu).

## Badanie rozkładu koncentracji elektrycznie aktywnych i pasywowanych zanieczyszczeń w A(III)-B(V) za pomocą spektrometrii mas jonów wtórnych z wykorzystaniem wiązki jonów pierwotnych o ultra niskiej energii (ULIE-SIMS)

A. Wójcik<sup>1,2</sup>, W. Kolkowski<sup>3</sup>, I. Pasternak<sup>3,4</sup>, W. Strupiński<sup>3,4</sup>, S. Kozdra<sup>1</sup>, P. P. Michałowski<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Zakład Badań Strukturalnych i Charakteryzacji Materiałów, al. Lotników 32/46, 02-668 Warszawa*

<sup>2</sup>*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, L. Pasteura 5, 02-093 Warszawa*

<sup>3</sup>*VIGO SYSTEM, Poznańska 129/133, 05-850 Ożarów Mazowiecki*

<sup>4</sup>*Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa*

Precyzyjna charakteryzacja materiałów pod kątem przestrzennego rozmieszczenia aktywnych elektrycznie zanieczyszczeń jest kluczowa dla możliwości praktycznego zastosowania półprzewodników.

Standardowe pomiary metodą spektrometrii mas jonów wtórnych (SIMS) pozwalają na otrzymanie profili wglębnych wszystkich atomów zanieczyszczeń występujących w próbce bez możliwości rozróżnienia ich części aktywnej i nieaktywnej elektrycznie. Wykorzystanie innych powszechnie stosowanych technik takich jak metoda elektrochemicznego profilowania pojemnościowo-napięciowego (ECV) pozwala na uzyskanie rozkładu wglębnej koncentracji wszystkich nośników występujących w strukturze. Brakuje natomiast uniwersalnego narzędzia, które pozwoliłyby na jednoczesny pomiar całkowitego rozkładu zanieczyszczeń oraz rozdzielenie ich części aktywnej od części nieaktywnej.

W naszych badaniach wykorzystaliśmy spektrometrię mas jonów wtórnych z zastosowaniem wiązki jonów pierwotnych o ultra niskiej energii (ULIE-SIMS) w celu pokonania ograniczeń standardowej metody SIMS [1]. Stworzono nową procedurę mierzenia profili wglębnych aktywnego Zn w GaAs/Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As:Zn opartą na monitorowaniu złożonego sygnału As<sub>3</sub>Zn, będącego markerem aktywnego cynku. Ponadto wykorzystano zdolność metody SIMS do pomiaru sygnału wodoru w celu uzyskania profili zanieczyszczeń pasywowanych wodorem, będących poza zasięgiem innych metod profilowania. Prezentowane podejście pozwala na kompleksowy pomiar całkowitej koncentracji zanieczyszczeń oraz ich aktywnego i nieaktywnego wkładu przy jednoczesnym zachowaniu subnanometrowej rozdzielczości wglębnej ULIE-SIMS. Technika ma szczególne znaczenie dla charakteryzacji domieszkowanych struktur A(III)-B(V), w których pasywacja wodorem jest zjawiskiem często występującym. Opracowana metoda może być również użytecznym narzędziem do optymalizacji procesów wzrostu, kontrolowania poziomu aktywacji zanieczyszczeń oraz projektowania urządzeń optoelektronicznych.

[1] Wójcik A., Kolkowski W., Pasternak I., Strupiński W., Kozdra S., Michałowski P. P. (2020). Electrically active and hydrogen passivated Zn in GaAs/AlGaAs specifically distinguished during secondary ion mass spectrometry depth profiling. *J. Anal. At. Spectrom.* <https://doi.org/10.1039/d0ja00369g>



## Perowskitowe ogniwa słoneczne: rewolucja w fotowoltaice?

Wiktor Żuraw<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Inżynierii Materiałów Półprzewodnikowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki,  
Politechnika Wroclawska, Wrocław, Polska*

<sup>2</sup>*Saule Research Institute, Wrocław, Polska*

Perowskitowe ogniwa słoneczne w ostatnim czasie stały się bardzo popularnym tematem odnośnie pozyskiwania energii odnawialnej. Szybki rozwój technologii ogniw słonecznych sprawia, że w najbliższych latach ogniwa perowskitowe mogą zrewolucjonizować branżę fotowoltaiczną. Niestety pomimo, że nowa technologia wygląda bardzo obiecująco, wymaga ciągłych badań. Aktualnie jednym z najszerzej badanych materiałów perowskitowych są organiczno-nieorganiczne perowskity halogenkowe, które umożliwiają produkowanie ogniw słonecznych na lekkich elastycznych podłożach, co daje nowe możliwości zastosowań w porównaniu do ogniw krzemowych. Wartości efektywności elastycznych ogniw są jednak zazwyczaj niższe niż w przypadku ich szklanych odpowiedników. W prezentacji przedstawiono podstawowe aspekty umożliwiające zrozumienie funkcjonowania perowskitowych ogniw słonecznych, ich budowę oraz metody charakteryzacji. Praca pokazuje, jak krok po kroku wytworzyć ogniwo, jakie problemy są z tym związane i gdzie szukać możliwości poprawy wydajności wytwarzanych ogniw.

# OPTYKA

## Światłowody gradientowo skręcone i ich zastosowania

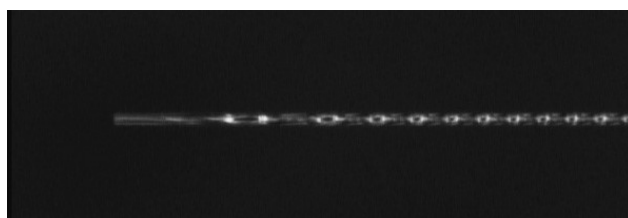
**Marta Bernaś, Gabriela Statkiewicz-Barabach, Maciej Napiórkowski,  
Wacław Urbańczyk**

*Katedra Optyki i Fotoniki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Rozwój technologii umożliwił kształtowanie geometrii i strukturyzowanie światłowodów dające im nowe właściwości. Otworzyło to dużą grupę włókien do zastosowań specjalnych, w tym czujnikowych. Jednym z przykładów są światłowody skręcone, wprowadzone w 1979 roku, dziś badane dokładniej, ze względu na ulepszenie metod wytwarzania i numerycznego modelowania. Skręcanie włókien wokół osi symetrii płaszcza może zmienić warunki propagacji poszczególnych modów, znacznie zmodyfikować właściwości dwójłomne światłowodu czy też doprowadzić do sprzężeń między nieoddziałującymi wcześniej modami.

Włókna o spiralnym rdzeniu (HCF), ze względu na pochylenie rdzenia względem osi symetrii płaszcza, mają pewne praktyczne ograniczenia. Prawdopodobnie największym jest niska efektywność wprowadzania do nich światła, co ujawnia się jeszcze silniej w przypadku spawania z włóknami standardowymi (SMF). Jako metodę usprawnienia tego procesu, alternatywną do znacznego przewężania [1], zaproponowano częściowe odkręcenie wejściowego końca włókna (Rysunek 1) w obszarze płomienia palnika wodorowego [2]. Pokazano numerycznie i potwierdzono eksperymentalnie, że dla takiej obróbki efektywność sprzężenia między HCF a SMF może wzrosnąć z kilku do ponad 60% (co jest ograniczone jedynie przez niedopasowanie rozkładów pól modów). Zaproponowane rozwiązanie pozwala również na kontrolowanie pobudzenia modów wyższego rzędu, czy wytwarzanie modów wirowych.

Badania przeprowadzono w ramach grantu MAESTRO 8 DEC-2016/22/A/ST700089.



Rysunek 5.1: Włókno o spiralnym rdzeniu z odkręconym końcem.

- 
- [1] H. Kim, J. Kim, Y. Jung, L. A. Vazquez-Zuniga, S. J. Lee, G. Choi, K. Oh, P. Wang, W. A. Clarkson, and Y. Jeong, *Simple and reliable light launch from a conventional single-mode fiber into a helical-core fiber through an adiabatically tapered splice*, Opt. Express 20(23), 25562-25571 (2012).
- [2] G. Statkiewicz-Barabach, M. Napiorkowski, M. Bernas, L. Czyzewska, P. Mergo and W. Urbanczyk, *A method for increasing coupling efficiency between helical-core and standard singlemode fibers*, wysłany do Opt. Express
- [3] H. C. Huang, *Fiber-optic analogs of bulk-optic wave plates*, Appl. Opt. 36(18), 4241-4258 (1997).



## **Zastosowania wirtualnej rzeczywistości w optyce i optometrii**

**Maciej Dymczyk**

*Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,  
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2, 61-614 Poznań  
maciejdymczyk@wp.pl*

Artykuł porusza tematykę związaną z kwestią wykorzystania wirtualnej rzeczywistości w optyce i optometrii. Autor zwraca uwagę na postęp urządzeń cyfrowych, który wpływa na coraz większą liczbę implikacji wymienionej technologii. W artykule omówiony jest schemat działania urządzeń VR oraz możliwość ich niestandardowego wykorzystania, a więc nie tylko w grach, bowiem technologia ta znajduje swoje zastosowanie również w medycynie czy w szeroko rozumianej wojskowości. Może ona jednak również zostać wykorzystana również w terapii wzrokowej, w procesie leczenia amblyopii, zezów oraz zaburzeń akomodacyjno-konwergencyjnych.





## Modelowanie samoorganizujących się struktur fotonicznych

Aleksandra Hernik<sup>1</sup>, Piotr Lesiak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa*

Nematyczne ciekłe kryształy domieszkowane nanocząstkami złota mają zastosowanie w różnych układach fotonicznych. W zależności od rodzaju nanocząsteczek (metaliczne, ferroelektryczne, dielektryczne itp.), ich wielkości, kształtu, stężenia lub powłoki powierzchniowej, ciekłe kryształy domieszkowane nanocząstkami mogą wykazywać różne właściwości [1–4]. Metaliczne nanocząsteczki wydają się bardzo obiecujące w zastosowaniach w urządzeniach, ze względu na ich zdolność do poprawy parametrów ciekłego kryształu. Ciekawym efektem w takim kompozycie jest również zaobserwowane dwa lata temu samorzutne tworzenie struktury fotonicznej [5]. Spontaniczne formowanie się wzorców obserwowane w eksperymencie można naśladować i odtwarzać w formalizmie systemów reakcji-dyfuzji. Formalizm został wprowadzony przez Alana Turinga w 1952 roku [6] w celu wyjaśnienia zjawiska morfogenezy. Jego podejście zostało później z powodzeniem zastosowane do generowania wzorów występujących na muszlach, rybach, zebrach, lampartach, żyrafach itp. W takich systemach dwa czynniki lub substancje chemiczne (aktywator i inhibitor) oddziałują i rozpraszają się. Te interakcje można postrzegać jako funkcje zastosowane do aktualnych stężeń, określone przez nieliniowe równanie różniczkowe cząstkowe. Jeśli szybkości dyfuzji obu chemikaliów nie są równe, to początkowo dobrze wymieszany, jednorodny stan stężenia chemikaliów może prowadzić do przestrzennie niejednorodnych wzorów, takich jak plamy lub paski. W kontekście omawianego w prezentacji eksperymentu optycznego [5], nanocząstki złota pełnią rolę aktywatora. Ich liczba maleje w procesie autokatalitycznym, w którym domena izotropowa powoli rozprzestrzenia się, odpychając nanocząstki złota, a zmniejszenie ilości tych nanocząstek samoczynnie wymusza wzrost domeny. Odpychane nanocząstki złota koncentrują się w wydzielonych obszarach i podwyższając temperaturę krytyczną przejścia z fazy nematycznej do izotropowej, zmniejszają prawdopodobieństwo powstania fazy izotropowej w tych obszarach, a tym samym działają hamująco.

- [1] T. Hegmann, et al. Nanoparticles in liquid crystals: synthesis, selfassembly, defect formation and potential applications, *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.* 17 (3) (2007) 483–508
- [2] O. Stamatiou, et al. Nanoparticles in liquid crystals and liquid crystalline nanoparticles, in: C. Tschierske (Ed.), *Liq. Cryst. Top. Curr. Chem.*, vol. 318, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011
- [3] U. Shivakumar, et al. Nanoparticles: complex and multifaceted additives for liquid crystals, *Liq. Cryst.* 38 (11–12) (2011) 1495–1514
- [4] S. Orlandi, et al. Doping liquid crystals with nanoparticles. A computer simulation of the effects of nanoparticle shape, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 18 (2016) 2428–2441. [5] S.K. Prasad, K.L. Sandhya, G.G. Nair, U.S. Hiremath, C.V. Yelamagad
- [5] Lesiak, et al. Self-Organized, One-Dimensional Periodic Structures in a Gold Nanoparticle-Doped Nematic Liquid Crystal Composite. *ACS Nano* 2019, 13, 10154–10160
- [6] Turing, A. M. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B.* 237 (641): 37–72, 1952

## Wzrok w czasach edukacji on-line

**Izabela Kamińska, Agnieszka Józwik**

*Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Katedra Optyki i Fotoniki, Politechnika Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław - izkamin@wp.pl*

Pandemia wirusa SARS-CoV-2 zmieniła tryb codziennego funkcjonowania znacznej części społeczeństwa. Sytuacja epidemiczna wpłynęła w sposób istotny na wzrost liczby godzin spędzanych przez osoby uczące się i pracujące przed ekranami monitorów.

WzmóŜona praca przy komputerze moŜe być przyczyną takich dolegliwoŝci jak Zespól Suchego Oka (ZSO), Cyfrowe Zmęczenie Oczu (CVS) zmęczenie mięśni współpracujących z gałką oczną lub dolegliwoŝci związanych z bólem kręgosłupa, które powodowane są brakiem ruchu. Pozostawanie w stałej pozycji ciała czy teŜ ustawienie głowy podczas pracy przy komputerze, ma wpływ nie tylko na kręgosłup. Wspomniane czynniki mogą równieŜ powodować zmianę ciśnienia wewnątrzgałkowego [1].

Światło niebieskie emitowane między innymi z monitorów oraz światła sztucznego, moŜe być równieŜ przyczyną braku produkcji melatoniny. W sytuacji kiedy ekspozycja na to światło jest intensywna albo długa, tran-retinal kumuluje się co moŜne prowadzić do uszkodzenia fotoreceptorów oraz moŜe przyspieszać tworzenie się AMD czyli zwyrodnienia plamki zwiazanego z wiekiem. W Stanach Zjednoczonych AMD było przyczyną 54,9 % ubytków wzroku i szacuje się, ŝe w 2050 ta liczba podwoi się i dotknie około 17,8 mln Amerykanów[2].

PodwyŜszenie ciśnienia wewnątrzgałkowego moŜe być związane z ryzykiem wystąpienia jaskry, czyli jednej z groźniejszych chorób układu wzrokowego. Nie moŜna tracić z pola widzenia, iŜ najczęŝiej występującym zagroŜeniem podczas spędzania czasu przed ekranami jest ryzyko wystąpienia i progresji miopii czyli krótkowzrocznoŝci.

Według Amerykańskiej Akademii Pediatrii młodzi uŜytkownicy urządeń elektronicznych powyŜej 13 roku ŝycia mogą spędzać przed ekranem 2-3 godzinny dziennie[3]. Z badań przeprowadzony w 2018 roku wynikało, ŝe w 2000 roku odsetek osób krótkowzrocznych wynosił 22,5 %, a z przeprowadzonych analiz wynikało, ŝe w 2050 roku będzie to 49,8 %[4][5], natomiast w obecnej sytuacji na świecie moŜna spekulować, ŝe realna liczba osób w roku 2050 będzie duŜo większa w konsekwencji pandemii.

Wysoka krótkowzrocznoŝć jest równieŜ przyczyną rozwoju jaskry, co w połączeniu z podwyŜszaniem ciśnienia wewnątrzgałkowego moŜe powodować znaczny przyrost osób które, utraciły częŝciowo lub całkowicie wzrok poprzez tą chorobę.

Trudno jest okreŝlić jak wpłynie w przyszłoŝci epidemia na nasz układ wzrokowy. Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań oraz opinie ekspertów wskazują na niekorzystne konsekwencje przeniesienia naszego codziennego ŝycia do sfery online.

[1] Rękas M., Jaskra, Wrocław, Wydawnictwo Medyczne Urban&Partner,2019

[2]Arnault S.P.E, New discoveries and therapies in retinal phototoxicity, France Univerity,2013

[3] Ambroziak M.A „ Krótkowzrocznoŝć w czasach zarazy”, Optyka 4(65)2020

[4] B.A. Holden, T.R. Fricke, D.A. Wilson, M. Jong, K.S. Naidoo, P. Sankaridurg, T.Y. Wong, T.J. Naduvilath

[5]A. Michalski, M.Maleszka-Kurpiel, M.Rogaczewska, M.Stopa, „Omówienie metod zmniejszania rozwoju krótkowzrocznoŝci”, Optyka 4/2018



## Mikroskopia ramanowska w obserwacji żywych komórek biologicznych

**M.Królikowska, P. Wasylczyk**

*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, Ludwika Pasteura 5, 02-093, Warszawa, Polska  
mm.krolikows@student.uw.edu.pl*

Komórka biologiczna jest podstawowym budulcem wszystkich organizmów żywych. Poznanie budowy i procesów zachodzących w pojedynczej komórce pomaga w zrozumieniu przyczyn i mechanizmów rozprzestrzeniania się chorób. Obrazowanie pojedynczych, żywych komórek stało się możliwe dzięki rozwojowi technik mikroskopowych. W ostatnich latach dużą popularnością cieszą się techniki umożliwiające nie tylko obserwację struktur wewnątrzkomórkowych, ale także identyfikację substancji chemicznych je tworzących, co jest możliwe dzięki wykorzystaniu metod spektroskopowych. W prezentacji przedstawiony zostanie przegląd i porównanie technik mikroskopowych umożliwiających obserwację pojedynczych komórek, ze szczególnym uwzględnieniem technik optycznych dalekiego pola, a wśród nich mikroskopii ramanowskiej.

- [1] Stender, A. S., Marchuk, K., Liu, C., Sander, S., Meyer, M. W., Smith, E. A., ... Fang, N., Single Cell Optical Imaging and Spectroscopy., *Chemical Reviews*, 113(4), pp.2469–2527 2013
- [2] Srinivisan, G., *Vibrational Spectroscopic Imaging for Biomedical Applications*, 1st Edition, McGraw-Hill Education, 2010
- [3] Lee, H. J., & Cheng, J.-X., Imaging chemistry inside living cells by stimulated Raman scattering microscopy., *Methods*, 128, pp. 119–128, 2017

## Nowe horyzonty w obrazowaniu jedno-pikselowym - hiperspektralność, rozdzielczość czasowa i *Machine Learning*

Filip Łabaj

*Instytut Mikromechaniki i Fotoniki, Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska*

Intensywnie rozwijana na przestrzeni ostatniej dekady dziedzina obrazowania jedno-pikselowego (*single-pixel imaging* - SPI), pozwala na zastąpienie klasycznych matryc detektorów pojedynczym elementem. Jedną z metod realizacji SPI jest modulacja amplitudową i/lub fazową sceny odpowiednio dobranymi maskami co umożliwia całkowitą rekonstrukcję numeryczną jej obrazu [1, 4].

Taki sposób obrazowania pozwala między innymi na pracę w zakresach spektralnych niedostępnych dla obecnie produkowanych matryc światłoczułych. Ponadto akwizycja sygnału tylko jednym detektorem jest szybsza niż zbieranie go z wieloelementowej matrycy, co z kolei pozwala na osiągnięcie wysokiej rozdzielczości czasowej pomiarów [2, 3].

Poniższy referat skupi się na przeglądzie osiągnięć w tej dziedzinie w ostatnich latach, w szczególności w obszarach integracji SPI z obrazowaniem hiperspektralnym i czasowo-rozdzielczym [3]. Omówione zostaną także możliwe korzyści wynikające z zastosowania w SPI zyskujących na popularności metod uczenia maszynowego [4].

[1] Donoho, David L. 'Compressed sensing.' IEEE Transactions on information theory 52.4 (2006): 1289-1306.

[2] Gibson, Graham M., Steven D. Johnson, and Miles J. Padgett. 'Single-pixel imaging 12 years on: a review.' Optics Express 28.19 (2020): 28190-28208.

[3] Rousset, Florian, et al. 'Time-resolved multispectral imaging based on an adaptive single-pixel camera.' Optics express 26.8 (2018): 10550-10558.

[4] Zhang, Zibang, et al. 'Hadamard single-pixel imaging versus Fourier single-pixel imaging.' Optics Express 25.16 (2017): 19619-19639.



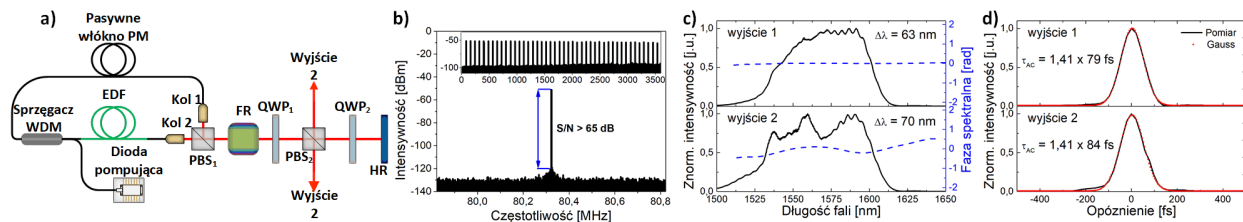
## Zarządzany dyspersyjnie ultraszybki laser światłowodowy z nieliniowym lustrem wzmacniającym

Zbigniew Łaszczych, Grzegorz Soboń

Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław

Nieliniowe lustro wzmacniające (NALM) jest techniką używaną do pasywnej synchronizacji modów podłużnych lasera i stanowi alternatywę dla szeroko stosowanych materiałowych nasycalnych absorberów (SA). Wśród zalet NALM można wymienić stosunkowo wysoki próg zniszczenia, samowzбудną pracę impulsową oraz możliwość zastosowania światłowodów utrzymujących stan polaryzacji (PM). Lasery oparte na NALM znalazły zastosowanie w jak optyczne zegary atomowe [1] oraz systemy typu LIDAR [2]. Schemat oscylatora bazującego na NALM przedstawiono na Rys. 1(a). Laser składa się z dwóch segmentów: światłowodowego NALM oraz odbiciowego przesuwnika fazy (RTPS) umieszczonego w objętościowym ramieniu. Sztuczna nasycalna absorbcja jest efektem zmiany transmisyjności pętli światłowodowej powodowanej poprzez zmianę całkowitej różnicy faz pomiędzy wiązkami propagującymi w przeciwnych do siebie kierunkach. Nieliniowa część różnicy faz zależy od asymetrii ułożenia włókna aktywnego, podczas gdy zastosowany w prezentowanym układzie RTPS wprowadza dodatkową różnicę faz.

Zarządzanie dyspersją zostało zrealizowane w celu optymalizacji energii impulsów oraz czasu ich trwania. Prezentowany oscylator zbudowany wyłącznie z elementów PM i oparty na NALM został zbadany w funkcji wypadkowej dyspersji rezonatora zmienianej w zakresie  $-0,034 \text{ ps}^2$  do  $0,006 \text{ ps}^2$ . Impulsy o czasie trwania 79 fs i energii 83 pJ zostały uzyskane na wyjściu pierwszym w rejonie zmiany znaku wypadkowej dyspersji wewnątrz ( $-0,001 \text{ ps}^2$ ).



Rysunek 5.2: Schemat układu (a). WDM: sprzęgacz w podziałem długości fali; EDF: włókno domieszkowane jonami erbu; kol: kolimator; PBS: polaryzacyjny dzielnik wiązki; FR: Rotator Faradaya; QWP: ćwierćfalówka; HR: lustro. Wyniki pomiarów dla wypadkowej dyspersji równej  $-0,001 \text{ ps}^2$ : elektryczne generowanych impulsów z wyjścia pierwszego (b), widmo optyczne obu wyjść wraz z fazą spektralną (c), wynik pomiaru autokorelacji impulsów generowanych z obu wyjść (d).

Finansowanie: Fundacja na rzecz Nauki Polskiej (FNP, First TEAM/2017-4/39)

[1] M. Lezius et al., Space-borne frequency comb metrology, *Optica* 3, 1381-1387 (2016)

[2] Y. Li et al., Large-scale absolute distance measurement with dual free-running all-polarization-maintaining femtosecond fiber lasers., *Chinese Optics Letters* 17, 9 (2019)



## Przeciwstawne działanie rozmiaru oraz kształtu nanocząstek złota w Hiperrozpraszaniu Rayleigha na przykładzie nanopryzmatów

Krzysztof Nadolski<sup>1,2</sup>, Emmanuel Benichou<sup>2</sup>, Nina Tarnowicz-Staniak<sup>1</sup>, Andrzej Żak<sup>3</sup>, Christian Jonin<sup>2</sup>, Katarzyna Matczyszyn<sup>1</sup>, Pierre-François Brevet<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii i Modelowania Materiałów Zaawansowanych, Wydział Chemiczny, Politechnika Wroclawska, Polska

<sup>2</sup>Institut Lumiere Matiere, Universite Claude Bernard Lyon 1, Francja

<sup>3</sup>Pracownia Mikroskopii Elektronowej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Wroclawska, Polska  
krzysztof.nadolski@pwr.edu.pl

Nanoobiekty metaliczne, takie jak nanocząstki złota, srebra czy platyny, cieszą się dużym zainteresowaniem naukowców, które zawdzięczają Zlokalizowanym Powierzchniowym Rezonansom Plazmonowym (Localized Surface Plasmon Resonance, LSPR), które są oscylacją elektronów pasma walencyjnego[1]. Jedną z zalet tego zjawiska jest możliwość jego spektralnego przesunięcia poprzez zmianę rozmiaru, kształtu, materiału, czy też środowiska nanocząstek. Nieliniowe właściwości optyczne nanocząstek złota zostały już szeroko opisane w literaturze, w tym Generacja Drugiej Harmonicznej (Second Harmonic Generation, SHG), która polega na jednoczesnej absorpcji dwóch fotonów i emisji jednego, którego energia jest równa ich sumie[2]. Hiperrozpraszanie Rayleigha (Hyper Rayleigh Scattering, HRS) to metoda wyznaczania pierwszej hiperpolaryzowalności materiałów, opierająca się na efekcie SHG[3]. Badania HRS plazmonicznych nanocząstek centrosymetrycznych, takich jak nanokulki[4], nanopłyty[5], czy nanokostki[3] wykazały, że generacja drugiej harmonicznej odbywa się na powierzchni materiału. W niniejszej pracy zbadano wpływ niecentrosymetryczności układu na jego odpowiedź. Dzięki obecności w roztworze znacznej ilości nanokulek, stwierdzono także dominację nanopryzmatów[6].

[1] C. Louis, O. Pluchery, Gold Nanoparticles for Physics, Chemistry, and Biology. Imperial College Press: 2012.

[2] R. Deska, J. Olesiak-Banska, E. Glowacki, M. Samoc, K. Matczyszyn. Two-photon excited luminescence and second-harmonic generation in quinacridone microstructures. Dyes and Pigments 2020, 177, 108628.

[3] I. Russier-Antoine, H. J. Lee, A. W. Wark, J. Butet, E. Benichou, C. Jonin, O. J. F. Martin, P-F. Brevet. Second Harmonic Scattering from Silver Nanocubes. The Journal of Physical Chemistry C 2018, 122, 17447-17455.

[4] E. C. Hao, G. C. Schatz, R. C. Johnson, J. T. Hupp. Hyper-Rayleigh scattering from silver nanoparticles. Journal of Chemical Physics 2002, 117, (13), 5963-5966.

[5] Y. El Harfouch, E. Benichou, F. Bertorelle, I. Russier-Antoine, C. Jonin, N. Lascoux, P-F. Brevet. Hyper-Rayleigh Scattering from Gold Nanorods. The Journal of Physical Chemistry C 2014, 118, 609-616.

[6] K. Nadolski, E. Benichou, N. Tarnowicz-Staniak, A. Żak, C. Jonin, K. Matczyszyn, P-F. Brevet. Adverse Role of Shape and Size in Second-Harmonic Scattering from Gold Nanoprisms. The Journal of Physical Chemistry C 2020, 124, (27), 14797-14803.



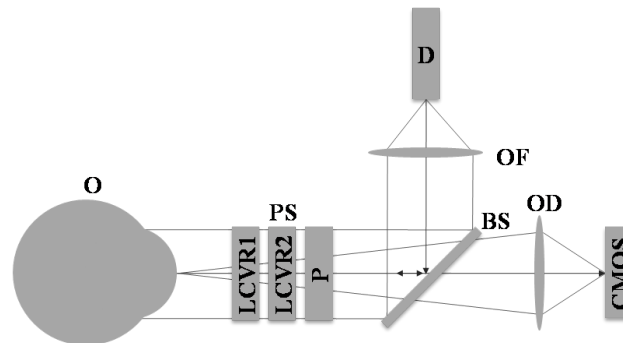


## Polarymetryczna metoda pomiaru właściwości dwójłomnych rogówki oka in vivo

**Monika Owczarek, Marcelina Sobczak, Władysław A. Woźniak**

*Katedra Optyki i Fotoniki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław - monika.owczarek@pwr.edu.pl*

Metoda pomiaru właściwości dwójłomnych rogówki oka człowieka in vivo oparta jest na układzie polarymetru (Rys.1), którego konstrukcja umożliwia wykonywanie pomiarów w wiązce światła odbitego [1]. Rolę generatora i analizatora stanów polaryzacji światła pełni w nim polarymetr Stokesa, który składa się z dwóch przesuwników ciekłokrystalicznych (LCVR) i liniowego polaryzatora. Poprzez elektrooptyczną modulację LCVR możliwe jest uzyskanie sześciu różnych stanów polaryzacji światła - czterech liniowych o kątach azymutu  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $+45^\circ$ ,  $-45^\circ$  oraz dwóch kołowych - prawo- i lewoskrętnego. Spolaryzowana wiązka światła dwukrotnie przechodzi przez rogówkę za sprawą odbicia od tęczęwki. Analiza zmian stanów polaryzacji światła, które nastąpiły na skutek tego przejścia, umożliwia wyznaczenie właściwości dwójłomnych rogówki, traktowanej jako niedichroiczny, liniowy ośrodek dwójłomny. Polaryzatory liniowe tworzą cztery układy polaryskopów liniowych równoległych, a polaryzatory kołowe - dwóch polaryskopów kołowych skrzyżowanych. Tym samym rozkład kąta azymutu i różnicy faz wprowadzanej przez rogówkę są wyznaczone na podstawie równań polaryskopowych.



Rysunek 5.3: Schemat układu: D - źródło światła, OF - obiektyw fotograficzny, BS - dzielnik wiązki, PS - polarymetr Stokesa (P - polaryzator, LCVR1, LCVR2 - przesuwniki ciekłokrystaliczne), O - oko, OD - obiektyw odwzorowujący, CMOS - kamera

Proponowana metoda polega na pomiarze sześciu rozkładów natężeń światła na wyjściu układu. Wynikiem każdego pomiaru jest sześć obrazów oczu i sześć obrazów tła dla kolejnych sześciu układów polaryskopowych. Obrazy te poddawane są komputerowej obróbce, która polega m.in. na ich wycentrowaniu i odjęciu tła. Właściwości dwójłomne rogówki są wyznaczone dla części paracentalnej, metodą w pełni optyczną, a otrzymane wyniki są zgodne z przeprowadzonymi symulacjami numerycznymi.

[1] M. Sobczak, P. Kurzynowski, W. A. Woźniak, M. Owczarek, S. Drobczyński, Polarimeter for measuring the properties of birefringent media in reflective mode, *Opt. Express* 28, 249-257 (2020)

## Uczulanie termometrów luminescencyjnych bazujących na emisji jonów lantanowców przez jony metali przejściowych

Wojciech Piotrowski, Karolina Knieć, Łukasz Marciniak

*Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk, Okólna 2, 50-422,  
Wrocław  
w.piotrowski@intibs.pl*

Temperatura jest jednym z najważniejszych parametrów termodynamicznych sterujących procesami fizycznymi, chemicznymi i biologicznymi. Jest również niezawodnym narzędziem diagnostycznym wykorzystywanym w technice, biologii i medycynie [1], [2]. Pomimo, że opracowano wiele różnych technik pomiaru temperatury zdecydowana większość z nich pracuje w tak zwanym trybie kontaktowym, który uniemożliwia ich wykorzystania w niektórych specyficznych zastosowaniach. Dlatego szczególnie pożądanym jest opracowanie bezkontaktowego sposobu odczytu temperatury. Jedną z najprężniej rozwijanych w ostatnich latach tego typu technik jest termometria luminescencyjna, która wykorzystuje temperaturowo zależne parametry spektroskopowe do zdalnego odczytu temperatury. Ze względu na ich liczne zalety, istotną grupę materiałów stosowanych w termometrii luminescencyjnej są materiały domieszkowane jonami lantanowców ( $\text{Ln}^{3+}$ ). Pomimo faktu, że badania nad termometrami luminescencyjnymi są ostatnio szczególnie popularne, jednym z głównych ograniczeń wielu termometrów jest ich stosunkowo niska czułość. Z tego względu proponujemy metodę zwiększenia czułości termometrów luminescencyjnych bazujących na emisji jonów  $\text{Ln}^{3+}$  poprzez wykorzystanie transferu energii pomiędzy jonami metali przejściowych (TM) a jonami  $\text{Ln}^{3+}$ . Ze względu na niedopasowanie energetyczne pomiędzy poziomami wzbudzonymi TM i  $\text{Ln}^{3+}$  prawdopodobieństwo tego transferu jest silnie zależne od temperatury. Dlatego poprzez współdomieszkowanie termometrów luminescencyjnych bazujących na  $\text{Ln}^{3+}$  jonami TM możliwe jest znaczne zwiększenie ich czułości. Poza czułością względną zaproponowane rozwiązanie pozwala na zwiększenie intensywności emisji luminoforu oraz poszerzenie spektralnego zakresu umożliwiającego wzbudzenie jonów  $\text{Ln}^{3+}$ . W celu eksperymentalnego potwierdzenia prawdziwości tych hipotez wykorzystano w tej pracy granat itrowo-glinowy (YAG) współdomieszkowany jonami  $\text{Tb}^{3+}$  i  $\text{Eu}^{3+}$ , którego czułość względna jest relatywnie niska ( $\text{SR} = 0.09\%/^{\circ}\text{C}$ ). Natomiast w roli uczulacza zbadano wpływ reprezentatywnych jonów TM:  $\text{Mn}^{4+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  oraz  $\text{Ti}^{3+/4+}$ . We wszystkich przypadkach zaobserwowano korzystny wpływ jonów metali przejściowych, który jakościowo objawia się poprawą wartości  $\text{SR} = 0.15, 0.28, 0.30\%/^{\circ}\text{C}$  odpowiednio dla  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$  i  $\text{Ti}^{3+/4+}$ . Pierwsze optymistyczne wyniki potwierdzają istotny potencjał aplikacyjny proponowanego rozwiązania.

Podziękowania: Ta praca była wspierana z funduszu polskiego Narodowego Centrum Nauki (NCN) w ramach projektu No. DEC- UMO-2018/31/G/ST5/03258.

[1] L. D. Carlos and F. Palacio, Thermometry at the Nanoscale. The Royal Society of Chemistry, 2016.

[2] J. C. G. Bünzli, "Lanthanide luminescence for biomedical analyses and imaging," Chem. Rev., 2010, doi: 10.1021/cr900362e.





## Metody spektroskopowe wykorzystywane w astrofizyce

Marta Podgórnay

*Wydział Chemii, Uniwersytet Wrocławski,  
ul. Fryderyka Joliot-Curie 14, 50-383 Wrocław  
marta.podgorny@gmail.com*

Już od tysięcy lat ludzie obserwują nocne niebo i ruchy gwiazd zdobywając tym samym coraz bardziej szczegółową wiedzę na ich temat. Od nawigacji i pomiarów odległości między miastami, poprzez model heliocentryczny, ciała niebieskie umożliwiały zdobywanie wiedzy na temat Ziemi. Równoległe badano je same przypisując im konkretne położenie czy mierząc ich odległość od naszej planety. Do XIX wieku nie sądzono jednak, iż uda się poznać informacje na temat ich składu pierwiastkowego, pola magnetycznego czy temperatury, ponieważ w trakcie obserwacji wykorzystywano głównie teleskopy optyczne. Przełomem w astronomii okazała się możliwość wykorzystywania w tym celu metod spektroskopowych.[1] Metody pomiarowe znane głównie z wykorzystania w laboratorium chemicznym znalazły szerokie zastosowanie we współczesnej astrofizyce i obecnie stanowią istotną gałąź tej dziedziny. Dzięki zaadaptowaniu metod spektroskopowych na potrzeby badań kosmosu możliwe stało się uzyskanie takich informacji jak skład pierwiastkowy oraz molekularny, temperatura, ciśnienie, gęstość oraz prędkość poruszania się wybranego ciała niebieskiego.[2-3] Obecnie badane są widma spektralne całych galaktyk odległych o miliony lat świetlnych umożliwiając w ten sposób lepsze poznanie ewolucji Wszechświata, jak i naszego układu słonecznego. Wykorzystując nowoczesne techniki pomiarowe jesteśmy dzisiaj w stanie szukać potencjalnych egzoplanet, określać wiek układów gwiazdnych czy wykrywać fale grawitacyjne. Możliwe stało się zdobywanie wiedzy dosłownie „z prędkością światła”. Celem prezentacji będzie przybliżenie wykorzystania rozmaitych technik spektroskopowych w dziedzinie astronomii. Chemiczna wiedza z zakresu analityki instrumentalnej zostanie przedstawiona w odmienny niż dotychczas sposób.

[1] C. R. Kitchin, *Optical Astronomical Spectroscopy*. Institute of Physics Publishing, 1995

[2] J. B. Hearnshaw, *The Analysis of Starlight: Two Centuries of Astronomical Spectroscopy*, Second Edition, Cambridge University Press, 2014

[3] J. Tennyson, *Astronomical Spectroscopy. An Introduction to the Atomic and Molecular Physics of Astronomical Spectra*, Imperial College Press, 2005



## Pomiar interferometryczny dyspersji międzymodowej w światłowodzie mikrostrukturalnym o wysokiej dwójłomności

**Karolina Stefańska, Tadeusz Martynkien oraz Karol Tarnowski**

*Katedra Optyki i Fotoniki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Liczne parametry światłowodów, takie jak dwójłomność, dyspersja, długość fali odcięcia, determinują ich potencjalne zastosowania. Interferometria pełni istotną rolę w wyznaczeniu charakterystyki spektralnej tych wielkości. Dzięki niej możliwe jest określenie dyspersji prędkości grupowej światłowodów jednomodowych, dwójłomności grupowej włókien dwójłomnych oraz dyspersji międzymodowej w światłowodach wielo- lub kilkumodowych.

Pomiary wykonaliśmy w oparciu o zaproponowaną przez Hlubinę [1] metodę, wykorzystującą układ z interferometrem Michelsona typu tandem, w którym można w sposób bezpośredni wyznaczyć grupową różnicę dróg optycznych. Metoda ta jest stosunkowo prosta w implementacji, ponadto nie wymaga wysokorozdzielczego spektrometru, co korzystnie wpływa na koszt układu.

W referacie przedstawimy wyniki uzyskane w światłowodzie mikrostrukturalnym o wysokiej dwójłomności grupowej. Na przykładzie pomiarów interferencyjnych modów  $LP_{01}^x$  i  $LP_{01}^y$  omówimy wpływ długości włókna na kontrast prążków, odległości międzyprążkowe oraz możliwą do uzyskania rozdzielczość pomiarów. Przedstawimy też zmierzone względne opóźnienia grupowe modów  $LP_{11}$  i  $LP_{01}$  dla obu polaryzacji. Wyniki otrzymane w układzie z interferometrem typu tandem porównamy z uzyskanymi poprzez rejestrację pojedynczego interferogramu, a także za pomocą symulacji numerycznych przeprowadzonych w oprogramowaniu COMSOL.

Wykorzystana metoda stanowi bardzo skuteczną podstawę charakteryzacji modów wyższych rzędów w światłowodzie. Jest to niezwykle istotne z punktu widzenia zastosowań telekomunikacyjnych, w których coraz częściej rozważa się wykorzystanie specjalnie zaprojektowanych światłowodów wielomodowych np. [2] do multipleksacji przestrzennej. Pomiar względnych opóźnień grupowych pozwala na określenie warunków dopasowania fazowego, co toruje drogę do kontrolowania procesu międzymodowego mieszania czterofalowego [3].

[1] P. Hlubina, *White-light spectral interferometry to measure intermodal dispersion in two-mode elliptical-core optical fibres*, Opt. Communications **218**, 283 (2003).

[2] M. Guasoni, *et al.*, *Novel Fiber Design for Wideband Conversion and Amplification in Multimode Fibers*, ECOC Conference (2017).

[3] S. M. M. Friis, *et al.*, *Inter-modal four-wave mixing study in a two-mode fiber*, Opt. Express **24**, 30338 (2016).



## Demonstracja superkontinuum i efektu samo-przesunięcia częstotliwości solitonów w światłowodach mikrostrukturalnych do zastosowań jako źródła do światłowodowych wzmacniaczy tulowych

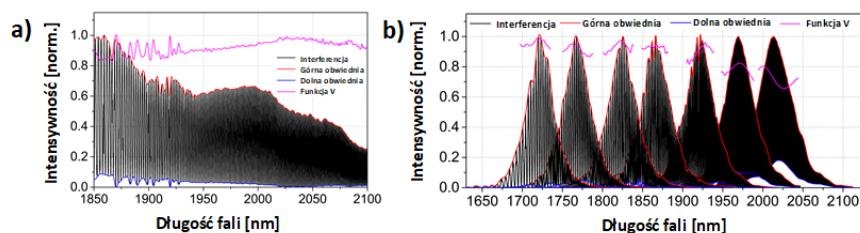
Olga Szewczyk<sup>1</sup>, Aleksander Głuszek<sup>1</sup>, Tadeusz Martynkien<sup>2</sup>, Karol Tarnowski<sup>2</sup>,  
Paweł Mergo<sup>3</sup>, Grzegorz Sobon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław

<sup>2</sup>Katedra Optyki i Fotoniki, Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław

<sup>3</sup>Pracownia Technologii Światłowodów, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, pl. Marii Curie-Skłodowskiej 5, 20-400 Lublin

Stabilne źródła impulsów femtosekundowych w zakresie bliskiej i średniej podczerwieni charakteryzujące się wysoką koherencją i niskimi szumami są niezwykle pożądane ze względu na ich szerokie zastosowania w spektroskopii, obrazowaniu biomedycznym oraz przemyśle. Do generacji promieniowania impulsowego w tym zakresie spektralnym mogą zostać wykorzystane efekty nieliniowe zachodzące w światłowodach o kształtowanej charakterystyce dyspersji (tzw. mikrostrukturalnych), takie jak samo-przesunięcie częstotliwości solitonu (ang. *soliton self-frequency shift*, SSFS) oraz generacja superkontinuum. Celem przedstawianej pracy było zbadanie właściwości dwóch światłowodów mikrostrukturalnych, które przy pompowaniu laserem femtosekundowym prowadzą do generacji efektów nieliniowych, jako potencjalnych źródeł dla światłowodowych wzmacniaczy tulowych. Przeprowadzono pełną charakterystykę właściwości szumowych impulsów emitowanych na wyjściach z obu światłowodów poprzez pomiar koherencji, stabilności amplitudowej (za pomocą dyspersyjnej transformaty Fouriera) oraz szumów amplitudowych RIN (ang. *relative intensity noise*). Uzyskane wyniki wskazują na wysoką koherencję (przedstawioną na rysunku 1) i stabilność szumową impulsów dla obu światłowodów, jednak z lepszymi rezultatami uzyskanymi dla solitonów. Impulsy zostały również wzmocnione w układzie światłowodowego wzmacniacza tulowego, osiągając dla przestrajalnych solitonów czas trwania 88 fs i średnią moc optyczną 365 mW, co odpowiadało energii 2,92 nJ natomiast dla superkontinuum 92 fs i moc średnią 360 mW, co było równoważne energii 2,8 nJ.



Rysunek 5.4: Wyniki pomiaru koherencji dla superkontinuum (a) oraz solitonów (b) wygenerowanych w światłowodach mikrostrukturalnych.

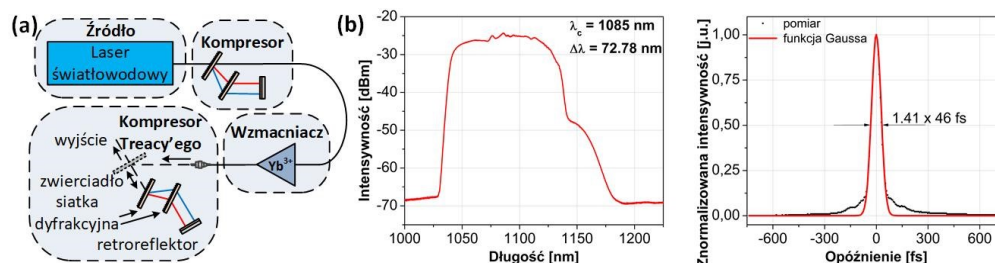
Finansowanie: Fundacja Nauki Polskiej (POIR.04.04.00-00-434D/17-00), Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (POIR.04.01.01-00-0037/17)

## Wzmacnianie ultrakrótkich impulsów laserowych o długości fali $1,03 \mu\text{m}$ w reżimie zarządzania wzmocnieniem

Dorota Tomaszewska, Grzegorz Soboń

Katedra Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki,  
Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław

Źródła laserowe o wysokiej energii i krótkim czasie trwania impulsów są przedmiotem zainteresowania zarówno nauki, jak i przemysłu. Technika wzmacniania w reżimie zarządzania wzmocnieniem (GMN – ang. gain-managed nonlinearity) zaprezentowana po raz pierwszy przez grupę Franka Wise’a z Cornell Univeristy pozwala na osiąganie spektrum szerszego od krzywej wzmocnienia ośrodka [1,2]. W tym reżimie wzmacniania widmo impulsu i widmo krzywej wzmocnienia ewoluują i przekształcają się wzajemnie. Układ eksperymentalny przedstawiono na rys. 1(a). Laser źródłowy to światłowody laser z włóknem aktywnym domieszkowanym jonami iterbu o częstotliwości repetycji 30,44 MHz, środkowej długości fali 1031 nm i szerokości połówkowej 11 nm. Czas trwania impulsu wynosił 235 fs przy średniej mocy 67 mW. Impulsy wprowadzono do wzmacniacza, który składał się z 8-metrowego włókna aktywnego domieszkowanego jonami iterbu z podwójnym płaszczem, utrzymującego polaryzację. Wzmacniacz pompowano diodą laserową o długości fali 918 nm. Najkrótszy wzmocniony impuls, który udało się uzyskać miał czas trwania 46 fs, centralną długość fali 1085 nm oraz szerokość połówkową 72 nm (Rys. 1(b) i (c)). Moc średnia tego impulsu wynosiła 1,4 W, co odpowiada energii impulsu równej 46 nJ oraz mocy szczytowej równej 1 MW. W przyszłości planowane jest wykorzystanie nowego reżimu wzmacniania jako pompy do procesów nieliniowych, np. pompy do optycznego oscylatora parametrycznego.



Rysunek 5.5: Układ eksperymentalny dla wzmacniacza w reżimie zarządzania wzmocnieniem (a). Widmo optyczne (b) oraz autokorelacja (c) impulsu wzmocnionego w reżimie zarządzania wzmocnieniem.

Finansowanie: Fundacja na rzecz Nauki Polskiej (FNP, First TEAM/2017-4/39), Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Diamentowy Grant, DG2018 006648)

[1] P. Sidorenko et al., “Nonlinear ultrafast fiber amplifiers beyond the gain-narrowing limit,” *Optica* 6, 1328-1333 (2019).

[2] P. Sidorenko, and F. Wise, “Generation of 1  $\mu\text{J}$  and 40 fs pulses from a large mode area gain-managed nonlinear amplifier,” *Opt. Lett.* 45, 4084-4087 (2020).



# PLAKATY

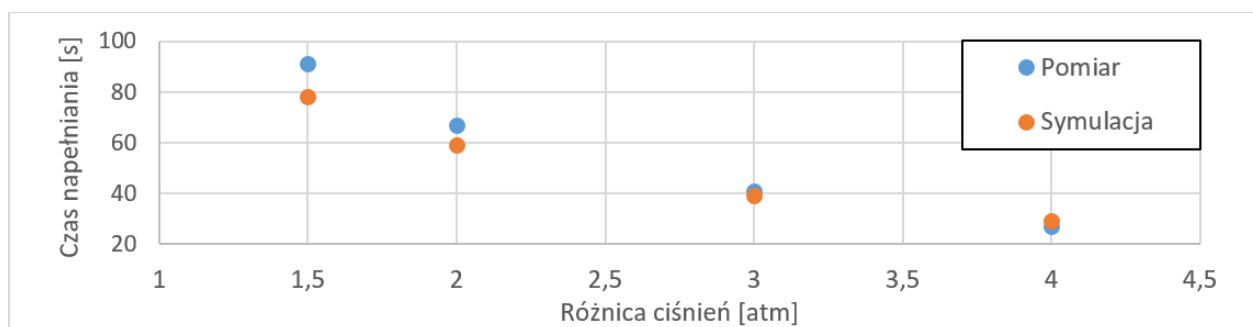
## Komputerowe symulacje napełniania światłowodów antyrezonansowych typu hollow-core

Piotr Bojeś<sup>1</sup>, Karol Krzempek<sup>1</sup>, Piotr Jaworski<sup>1</sup>, Paweł Kozioł<sup>1</sup>, Ziemowit Malecha<sup>2</sup>,  
Grzegorz Dudzik<sup>1</sup>, Fei Yu<sup>3</sup>, Krzysztof Abramski<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Elektroniki, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław,  
Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland

<sup>2</sup> Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370,  
Wrocław

<sup>3</sup> R&D Center of High Power Laser Component, Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Shanghai, China  
piotr.bojes@pwr.edu.pl



Rysunek 6.1: Porównanie czasów napełniania uzyskanych w pomiarze rzeczywistym oraz w symulacji w przypadku modelu 2D.

Jedną z najbardziej unikatowych cech światłowodów typu hollow-core, jest możliwość napełnienia ich pożądanym materiałem. Dzięki temu, włókna tego typu są szeroko stosowane w badaniach spektroskopowych, szczególnie w laserowej spektroskopii gazów, gdzie poprzez pomiar widma absorpcyjnego światła przechodzącego przez badaną mieszanekę gazu, jesteśmy w stanie określić jej skład. Jednym z głównych problemów pojawiających się podczas projektowania czujników bazujących na tego typu włóknach, jest ich czas odpowiedzi. Rozmiar rdzenia światłowodu typu hollow-core jest zazwyczaj rzędu dziesiątek mikrometrów – wpływa to znacząco na możliwe do uzyskania prędkości przepływu przez daną strukturę, w szczególności dla długich odcinków. Dodatkowo, kształt pustej struktury w antyrezonansowych światłowodach typu hollow-core, dalece odbiega od kształtu prostego kanału, co powoduje duże problemy przy oszacowywaniu czasów

napełniania tego typu włókien. W niniejszej pracy, zaprezentowane zostaną efekty pracy nad komputerowymi symulacjami przepływów gazów w światłowodach antyrezonansowych typu hollow-core. Model fizyczny przepływu został oparty na równaniach Naviera-Stokesa (przepływ nieściśliwy, laminarny). Symulacje zostały przeprowadzone i porównane z wynikami uzyskanymi dla pomiaru czasu napełniania światłowodu o średnicy rdzenia  $d = 84\mu\text{m}$ , dla odcinka światłowodu o długości 15 metrów. Gazy użyte podczas pomiarów – metan i azot. Symulacje przeprowadzone zostały na dwóch rodzajach modeli – uproszczonym modelu 2D oraz modelu 3D. Uzyskane zgodności między pomiarami czasu napełniania a wynikami symulacji komputerowej zawiera się w zakresie od 75% do 96%.



## Wpływ domieszki miedzi na strukturę i właściwości spektralne cienkich warstw tlenku cynku

**Edyta Chłopocka, Ewelina Nowak**

*Wydział Inżynierii Kwantowej i Fizyki Technicznej, Politechnika Poznańska,  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań  
chlopockae@gmail.com*

Tlenek cynku jest półprzewodnikiem, który znalazł zastosowanie w elektronice i optoelektronice dzięki szerokiej przerwie energetycznej wynoszącej 3,3eV w temperaturze 300K. Cechą charakterystyczną jest przezroczystość przez co rozważano go pod kątem materiału do transparentnej i elastycznej elektroniki [1]. Tak dokładnie zbadany materiał [2-5] jest dobrą podstawą pod kolejne badania. Pierwszym krokiem w projekcie było wytworzenie cienkich warstw tlenku cynku oraz warstw domieszkowanych miedzią metodą zol-żel. Głównym punktem są badania ramanowskie, które pozwoliły określić występowanie zlokalizowanych modów wibracyjnych pochodzących od miedzi oraz ich zmianę wraz z zawartością domieszki. Badania zostały rozszerzone o zbadanie struktury przy pomocy dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego. Przeprowadzono również badania UV-VIS i fluorescencji, które pozwolą na określenie wpływu zmiany struktury na właściwości optoelektroniczne. Ostatnim punktem są cztero-sondowe badania elektryczne. Badania oporu oraz ruchliwości nośników pozwolą na ocenienie właściwości elektrycznych wytworzonych warstw przed i po domieszkowaniu.

- [1] A.C. Mofor, A.S. Bakin, B. Postels, M. Suleiman, A. Elshaer, A. Waag, (2008) *Thin Solid Films*, 516, 7, 1401-1404
- [2] C. W. Bunn, (1935) *Proc. Phys. Soc.*, 47, 835
- [3] E. Mollwo, (1954) *Zeitschrift fur Angewandte Physik*, 6, 257.
- [4] T. C. Damen., S. P. S. Porto, B. Tell (1966) *Physical Review*, 142, 570.
- [5] H. Morkoç, Ü. Özgür „General Properties of ZnO” Wiley-VCH, 2009 Weinheim





---

## Wpływ zdalnego nauczania na problemy wzrokowe studentów

**Justyna Chojnacka, Agnieszka Józwik**

*Katedra Optyki i Fotoniki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław  
chojnacka.justyna.1998@gmail.com*

Syndrom zmęczenia komputerowego jest inaczej nazywany cyfrowym zmęczeniem oczu i jest on spowodowany długotrwałym korzystaniem z urządzeń elektronicznych, takich jak komputer, telefon czy tablet. Do najczęstszych objawów możemy zaliczyć suchość oka, podrażnione oczu, ból głowy czy ból w szyi, ramionach i plecach.

W ramach pracy przeprowadzono ankietę online w okresie semestru letniego w 2020 roku, kiedy studenci zostali zobligowani do pracy zdalnej w wyniku ograniczeń związanych z rozwojem epidemii COVID. Zbadano wpływ zwiększonej ilości spędzonego czasu przed komputerem w związku ze zdalnym nauczaniem na problemy wzrokowe studentów ze szczególnym uwzględnieniem Syndromu Widzenia Komputerowego (CVS, ang. Computer Vision Syndrom). Ankietowani odpowiedzieli na 25 pytań dotyczących w głównej mierze czasu pracy przy komputerze, oceny jakości widzenia (ostrość wzroku do dali i bliży, postrzeganie kolorów), a także zauważanych symptomów ze strony układu wzrokowego oraz symptomów pozaocznych charakterystycznych dla CVS. Uwzględniono także pytania skierowane tylko do użytkowników soczewek kontaktowych.



## **Propagacja impulsu w aksonie komórki nerwowej – przewodnictwo skokowe w neuronach z otoczką mielinową i mikro-przewodnictwo skokowe we włóknach C**

**Monika Laska, Witold Jacak**

*Katedra Technologii Kwantowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wroclawska,*

*Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

Komórka nerwowa jest niezwykle skomplikowaną strukturą, która stanowi istotny element ludzkiego organizmu. Opis przewodnictwa impulsów nerwowych jest jednak trudny do wykonania. Powstało kilka modeli fizycznych wyjaśniających ten mechanizm. Jedną z nich jest teoria kabla, która wykorzystuje klasyczną fizykę przewodów elektrycznych. Nie znajduje ona jednak zastosowania w neuronach z otoczką mielinową, gdzie występuje tzw. przewodnictwo skokowe, dzięki któremu impuls przesyłany jest znacznie szybciej. Dla tego typu komórek nerwowych został zaproponowany model plazmono-polarytonowy. Zakłada on, że w periodycznej strukturze, jaką tworzą osłonki mielinowe, występuje sprzężenie plazmonu i fali elektromagnetycznej, w analogii do łańcuchów nanocząstek metalicznych. Niedawno zostały zaobserwowane większe niż przewidywane prędkości impulsu we włóknach C - neuronach odpowiadających za odczuwanie bólu. Ze względu na periodyczność struktury, powstał pomysł, że występuje w nich tzw. mikro-przewodnictwo skokowe, które można opisać modelem plazmono-polarytonowym.

[1] New wave-type mechanism of saltatory conduction in myelinated axons and micro-saltatory conduction in C fbres, J. E. Jacak, W. A. Jacak, European Biophysics Journal, 2020 [2] Saltatory conduction in unmyelinated axons: clustering of Na<sup>+</sup> channels on lipid rafts enables micro-saltatory conduction in C-fibers, Ali Neishabouri and A. Aldo Faisal, Front. Neuroanat., 2014



## Pojemność stratnego kanału fotonowego z pomiarem liczby fotonów

Karol Łukanowski<sup>1,2</sup> i Marcin Jarzyna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski, ul. Pasteura 5, 02-093 Warszawa*

<sup>2</sup>*Centrum Optycznych Technologii Kwantowych, Centrum Nowych Technologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Banacha 2c, 02-097 Warszawa*

Podstawową wielkością charakteryzującą kanały komunikacji optycznej jest ich pojemność, która określa maksymalną teoretycznie możliwą przepustowość przesyłu informacji danym kanałem. Fundamentalne ograniczenia na pojemność określone są przez kwantową naturę światła; w ogólności, rozważenie zjawisk kwantowych pozwala na zadanie fundamentalnych ograniczeń na pojemność, przekraczających te wyprowadzane w świetle fizyki klasycznej. Analityczne wyrażenia na kwantową pojemność zostały znalezione dla wielu modeli optycznych kanałów komunikacyjnych. Ważny przykład stanowi kanał czysto stratny, w którym amplituda wysłanego sygnału optycznego doświadcza tłumienia, co przekłada się na skończone prawdopodobieństwo utraty każdego z fotonów wysłanych kanałem. Jeżeli w kanale nie ma strat, przy założeniu średniej energii wysyłanych sygnałów pojemność można osiągnąć posługując się w komunikacji zespołem stanów o określonej liczbie fotonów (stanów Focka) o dyskretnym, geometrycznym rozkładzie prawdopodobieństwa lub zespołem stanów koherentnych o ciągłym, gaussowskim rozkładzie prawdopodobieństwa. Gdy w kanale pojawiają się straty, zespół stanów Focka przestaje być optymalny, zaś zespół stanów koherentnych nadal pozwala osiągnąć pojemność. Optymalny pomiar, którego powinien dokonywać odbiorca na wyjściu kanału znany jest jednak tylko dla pierwszego z tych zespołów i jest nim pomiar zliczania fotonów. Co więcej, zespół stanów Focka z pomiarem liczby fotonów w reżimie wysokich energii osiąga asymptotycznie połowę pojemności, zaś w reżimie niskich energii wysycają. Interesujące staje się więc porównanie osiąganych przezeń wyników z wynikami zespołu stanów koherentnych przy pomiarze liczby fotonów oraz z protokołami opartymi na detekcji kwadratur światła, które stają się optymalne w reżimie wysokich energii.

W naszej pracy obliczamy numerycznie pojemność optycznego kanału stratnego dla zespołu stanów Focka oraz zespołu stanów koherentnych przy założeniu pomiaru liczby fotonów na wyjściu kanału i pokazujemy, że drugi z nich zawsze osiąga gorszą pojemność niż pierwszy. Badając zachowanie pojemności przy użyciu zespołu stanów Focka w granicy wysokich strat, przy utrzymywaniu stałej średniej liczby fotonów na wyjściu kanału, otrzymujemy pojemność kanału poissonowskiego. Pokazujemy, że w reżimie niskich strat i średnich liczb fotonów mierzonych na wyjściu kanału, zespół stanów Focka z pomiarem liczby fotonów pozwala na osiągnięcie lepszych rezultatów niż protokoły detekcji kwadratur. Biorąc pod uwagę niedawny postęp w produkcji detektorów liczb fotonów oraz niskich stanów Focka, nasze rezultaty mogą okazać się znaczące dla scenariuszy komunikacji na krótkich dystansach, na przykład w interfejsach optycznych.



## Zastosowanie metod spektroskopii oscylacyjnej do badania rotorów molekularnych ze statorami steroidowymi

**Karolina Olszewska<sup>1</sup>, Izabella Jastrzębska<sup>2</sup>, Rosa Santillan<sup>3</sup>, Andrzej Łapiński<sup>4</sup>,  
Tomasz Runka<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Politechnika Poznańska, Instytut Badań Materiałowych i Inżynierii Kwantowej,  
ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.*

<sup>2</sup> *Uniwersytet w Białymstoku, Wydział Chemii,  
ul. Ciołkowskiego 1K, 15-245 Białystok.*

<sup>3</sup> *Departamento de Química, Centro de Investigación y de Estudio Avanzados del IPN,  
México D. F. Apdo. Postal 14-740, 07000, México.*

<sup>4</sup> *Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk,  
ul. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań.  
karolina.j.olszewska@doctorate.put.poznan.pl*

Określenie maszyna molekularna odnosi się do cząsteczek, które naśladują funkcję maszyn działających na poziomie makroskopowym. Mogą to być proste systemy wewnątrzkomórkowe, izolowane układy molekularne, czy nawet skomplikowane zespoły molekuł, zdolne do wykonywania kolektywnej pracy. Przykładem maszyn molekularnych są rotory molekularne stworzone na podobieństwo żyroskopów. Są to cząsteczki molekularne, które składają się z masywnych statorów oraz wirującego rotatora (wirnika) osadzonego na osi rotacji. Układy takich cząsteczek, w postaci kryształów amfidynamicznych, mogą wykazywać uporządkowanie i mogą być zdolne do wykonywania wspólnego ruchu. Tak skonstruowane materiały mogą znaleźć zastosowanie w technikach pomiarowych bazujących na modulacji rotacji wirników pod wpływem bodźców pochodzących ze środowiska zewnętrznego. Pojedyncze rotory, umieszczone w środowisku wewnątrzkomórkowym, mogą posłużyć do mierzenia lepkości wewnątrzkomórkowej. Większe układy mogą posłużyć do stworzenia na ich podstawie materiałów o przestrajalnych właściwościach elektrycznych i optycznych. Wpływ szybkości rotacji na przewodność takiego kryształu została już potwierdzona.

Zaprojektowanie działającego kryształu amfidynamicznego nie jest jednak proste i wymaga spełnienia kilku warunków. Ruch wirującego rotatora nie może być zakłócany, dlatego jako statory stosowane są duże cząsteczki, których zadaniem jest odseparowanie sąsiednich wirników od siebie. Spośród związków organicznych, często wykorzystywanym rodzajem statora są cząsteczki steroidowe. Ważna jest również symetria rotacyjna samego rotatora i osi rotacji. Preferowane są grupy o dużej symetrii, i dlatego w formie rotatora bardzo często wykorzystywana jest grupa 1,4-dietynylofenylenowa.

W tej pracy porównano widma Ramana i IR-ATR czterech rotorów molekularnych z różnymi statorami steroidowymi. Analiza widm i przypisanie pasm zostały wsparte obliczeniami teoretycznymi wykonanymi dla molekuly jednego z rotorów. Analizę porównawczą wykonano ze szczególnym uwzględnieniem oscylacji wiązań rotatora i osi rotacji.



## Obliczenia własności ekscytonów w dwuwymiarowych kryształach półprzewodnikowych

K. Sadecka<sup>1</sup>, M. Bieniek<sup>1,2</sup>, P. Hawrylak<sup>2</sup>, A. Wójs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Katedra Fizyki Teoretycznej, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska*

<sup>2</sup>*Department of Physics, University of Ottawa, Ottawa, Ontario, Canada K1N 6N5*

Monowarstwy dichalkogenków metali przejściowych (TMD)  $\text{MX}_2$  (gdzie  $M=\text{Mo}, \text{W}$  oraz  $X=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ ) otwierają szerokie perspektywy badań ze względu na nowe własności fizyczne. Są one szczególnie ciekawe z punktu widzenia badań podstawowych [1,2] z uwagi na m.in. niskoenergetyczną strukturę pasmową opisaną modelem masywnych fermionów Diraca, obecność tzw. dolin pozwalających na selektywne pobudzanie spolaryzowanym kołowo światłem, nietrywialną topologię prowadzącą do dolinowego efektu Zeemana [4] oraz badanie fizyki spinowo-dolinowo sprzężonych stopni swobody nośników. Interesującym zjawiskiem jest także silne oddziaływanie elektronowe prowadzące do powstawania tzw. ekscytonów o energiach wiązania rzędu 500 meV [2,4]. Co ciekawe, struktura subtelna tych kompleksów optycznych zależy od topologicznych własności funkcji falowych opisujących elektrony i dziury tworzące ekscytony [3].

W niniejszej pracy zaprezentowane zostaną modele ciasnego wiązania [4] dla pojedynczych warstw TMD's dla związków  $\text{MX}_2$ ,  $M=\text{Mo}, \text{W}$  oraz  $X=\text{S}, \text{Se}, \text{Te}$ . Zostały one skonstruowane poprzez dopasowanie wielowymiarowej przestrzeni parametrów Slatera-Kostera do dyspersji elektronowej otrzymanej metodami teorii funkcjonału gęstości. Następnie modele te zostaną wykorzystane w celu obliczeń struktury subtelnej ekscytonów za pomocą równania Bethe-Salpetera. Omówiony zostanie wpływ składów orbitalnych funkcji falowych na strukturę subtelną ekscytonów oraz przedstawiona zostanie nowa metoda aproksymacji pozwalająca na szybkie obliczenia oddziaływań bezpośrednich pomiędzy wytworzonymi optycznie elektronami i dziurami.

[1] A. K. Geim and I. V. Grigorieva, „Van der Waals heterostructures”, *Nature* 499, 419 (2013),

[2] G. Wang, A. Chernikov, M. M. Glazov, T. F. Heinz, X. Marie, T. Amand, and B. Urbaszek, „Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides”, *Žev. Mod. Phys.* 90, 021001 (2018),

[3] M. Bieniek, L. Szulakowska, and P. Hawrylak, „Band nesting and exciton spectrum in monolayer  $\text{MoS}_2$ ”, *Phys. Rev. B* 101, 125423 (2020),

[4] M. Bieniek, M. Korkusiński, L. Szulakowska, P. Potasz, I. Ozfidan, and P. Hawrylak, „Band nesting, massive Dirac fermions, and valley Landé and Zeeman effects in transition metal dichalcogenides: A tight-binding model”, *Phys. Rev. B* 97, 085153 (2018)

## Wpływ podłoża na właściwości optyczne monowarstwy $WS_2$ o dużej powierzchni

N. Sokołowski, J. Kopaczek, R. Kudrawiec

*Katedra Inżynierii Materiałów Półprzewodnikowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki,  
Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*

$WS_2$  należy do rodziny materiałów nazywanych dichalkogenkami metali przejściowych (ang. TMDs), które są opisywane wzorem  $MX_2$ , gdzie M to metal przejściowy, a X to chalkogenek. Jest to materiał warstwowy, który posiada silne wiązania w obrębie warstwy oraz słabe wiązania Van der Waalsa między warstwami. Z tego powodu można wyizolować pojedynczą warstwę takiego materiału (warstwę metalu przejściowego między warstwami chalkogenków).

Zmiana wymiarowości z 3D do 2D - pojedynczej warstwy zmienia m.in. właściwości elektryczne, mechaniczne i optyczne materiału, np. dla  $WS_2$  zmienia się przerwa energetycznej ze skośnej na prostą, absorbując do 10% światła widzialnego i ma dobrą właściwości emisyjne, co czyni ten materiał odpowiednim do zastosowań optoelektronicznych. Posiada silne oddziaływanie spin-orbit oraz dodatkowy stan swobody zwany doliną, możliwy do kontrolowania za pomocą polaryzacji światła, co czyni ten materiał obiecującym do zastosowań w spintronice i valleytronice. Bardzo duża energia wiązania ekscytonu (do 700meV) jest spowodowana m.in. przez efekt ekranowania dielektrycznego, więc właściwości optyczne TMDs są czułe na otoczenie, w którym się znajdują, a co za tym idzie, na podłożu na którym się znajdują. Dodatkowo podłożu powoduje naprężenie w materiale z powodu różnej stałej sieciowej.

Najbardziej popularną metodą otrzymywania monowarstw materiału jest mechaniczne naklejanie i odklejanie taśmy klejącej na materiał. Jest to metoda bardzo dobra do badań laboratoryjnych, lecz próbki wyprodukowaną tą metodą są mikroskopowe i niepowtarzalne, więc nie nadają się do zastosowań przemysłowych. W tej pracy próbki o makroskopowych rozmiarach, zostały wytworzone przez metodę chemicznego osadzania z fazy gazowej, która to technika nadaje się dużo bardziej do produkcji na przemysłową skalę.

Pojedyncze warstwy  $WS_2$  osadzone na trzech różnych podłożach (szkło, krzem, szafir), zostały zbadane za pomocą spektroskopii fotoodbiciowej i fotoluminescencji w funkcji temperatury. Fotoodbicie jest absorpcyjną techniką, która bardzo precyzyjnie pozwala wyznaczyć proste przejścia optyczne, dodatkowo jest nieczuła na defekty oraz efekt lokalizacji nośników. Fotoluminescencja polega na detekcji fotonów emitowanych z materiału.

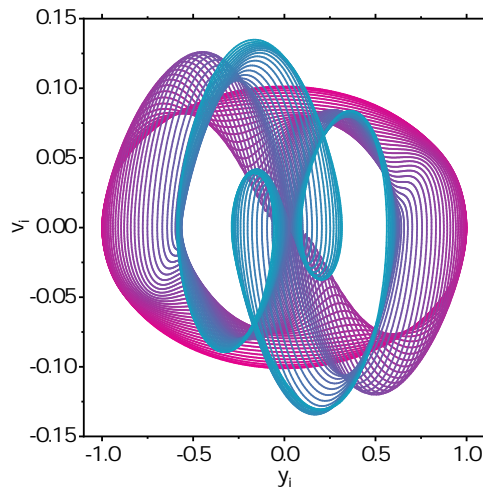
Nasze badania pokazały, że energie przejść optycznych zależą w znaczącym stopniu od podłoża oraz różni się zależność temperaturowa energii przejść optycznych, jednak znacząco dopiero dla temperatury 300+K. Porównując ww. techniki spektroskopowe uważaliśmy bardzo dużą różnicę między energią prostego przejścia optycznego, a energią emitowanych fotonów, co świadczy o bardzo dużej lokalizacji nośników w materiale, niezależnie od doboru podłoża, której przyczyny powinno zostać lepiej zbadane.



## W drodze od chaosu do porządku w problemie Fermiego-Pasty-Ulama

R. Szymon

*Katedra Technologii Kwantowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika  
Wrocławska,  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370, Wrocław*



Rysunek 6.2: Ruch w przestrzeni fazowej jednego z ogniw łańcucha oddziaływującego nieliniowo z najbliższymi sąsiadami

Przywołanie w tym miejscu tego od dawien znanego zagadnienia, które historycznie otworzyło nowy rozdział historii nauki jakim jest rozwój metod numerycznych, nie jest bynajmniej przypadkiem. W ramach projektu, którego celem jest redakcja książki stanowiącej elementarny podręcznik do modelowania komputerowego w fizyce, odświeżono spojrzenie na wieloletnio dyskutowany model Fermiego-Pasty-Ulana (FPU). [1]

Problem FPU skupia się na rozważeniu ewolucji układu jednowymiarowego łańcucha mas punktowych oddziałujących ze sobą nieliniowo. Wielkim zaskoczeniem podczas eksperymentów z takim układem była obserwacja kwaziperiodyczności, co stało się w przeciwieństwie do przewidywanej termalizacji układu oraz hipotezą ergodyczną.

W ramach tego projektu jeszcze raz spojrzano na zagadnienie FPU, analizując je przez obserwację zależności parametrów w przestrzeniach fazowych. W szczególności skorzystano z bazy modów podstawowych, co pozwoliło uporządkować chaotyczny ruch poszczególnych ogniw. Dla układu badano także między innymi: zasadę zachowania energii, zjawisko mieszania się częstości oraz energię rozproszenia. W ramach modelu zastosowano algorytm Rungego-Kutty czwartego rzędu do rozwiązywania równań różniczkowych metodami numerycznymi.

[1] *Elementy Modelowania Komputerowego w Fizyce od praktyki do umiejętności i wiedzy* P. Scharoch, M.P. Polak, R. Szymon



## **Analiza własności elektronowych skręconych dwuwarstw grafenu przy użyciu metody dokładnej diagonalizacji**

**A. Wania Rodrigues<sup>1</sup>, M. Kupczyński<sup>1</sup>, P. Potasz<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Katedra Fizyki Teoretycznej, Politechnika Wroclawska, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Polska*

<sup>2</sup>*Department of Physics, University of Texas at Austin, TX 78712-1192*

Na plakacie zostaną przedstawione własności elektronowe skręconych dwuwarstw grafenu. Dwie monowarstwy grafenu ułożone na sobie i skręcone o pewien niewielki, tak zwany „magiczny”, kąt  $\theta = 1.05^\circ$ , charakteryzują się występowaniem pasm bezdyspersyjnych [1]. Na takich płaskich pasmach własności fizyczne układu elektronowego determinowane są przez oddziaływania wielociałowe, co prowadzi do powstania silnie skorelowanych stanów materii takich jak nadprzewodnictwo [2] oraz faza izolatorów Cherna [3]. Prezentowane badania będą opierać się na metodzie dokładnej diagonalizacji. Wykorzystanie tej metody pozwala na dokładną analizę korelacji elektronowych, jednak pozwala ona badać jedynie stosunkowo niewielkie układy. W badaniach wykorzystano rozszerzenie metody dokładnej diagonalizacji zawężając wymiar przestrzeni Hilberta, poprzez pominięcie konfiguracji elektronów, których element diagonalny w Hamiltonianie jest względnie mały. Za pomocą tej metody przeanalizowano własności skręconych dwuwarstw grafenu w zależności od kąta skręcenia, stałej dielektrycznej oraz podłoża.

[1] E. Bistritzer and Allan H. MacDonald, PNAS 108, 12233 (2011).

[2] Y. Cao, V. Fatemi, S. Fang, K. Watanabe, T. Taniguchi, E. Kaxiras P. Jarillo-Herrero, Nature 556, 43 (2018).

[3] A. L. Sharpe, E. J. Fox, A. W. Barnard, J. Finney, K. Watanabe, T. Taniguchi, M. A. Kastner, and D. Goldhaber-Gordon, Science 365, 605 (2019).





## Azot i bizmut – idealna para dla inżynierii przerwy energetycznej w półprzewodnikach grupy III-V?

Wiktor Żuraw<sup>1</sup>, Wojciech M. Linhart<sup>1</sup>, Jordan Occena<sup>2</sup>, Tim Jen<sup>2</sup>, Jared. W. Mitchell<sup>2</sup>, Rachel S. Goldman<sup>2</sup>, Robert Kudrawiec<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Materiałów Półprzewodnikowych, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska, Wrocław, Polska

<sup>2</sup>Department of Materials Science and Engineering, Uniwersytet Michigan, Michigan, Stany Zjednoczone

Związki półprzewodnikowe grupy III-V rozcieńczane bizmutem stały się interesującymi materiałami ze względu na znaczną redukcję przerwy energetycznej przy dość niskich koncentracjach bizmutu. Redukcja ta wynika ze zwiększenia energii rozszczepienia między wierzchołkiem pasma walencyjnego a odszczepionym pasmem spin-orbita. Zaproponowano, że związki rozcieńczane bizmutem mogą mieć obniżoną wrażliwość temperaturową przerwy energetycznej z porównaniu z konwencjonalnymi materiałami. Wczesniejsze badania bazowały jednak na fotoluminescencji, która jest metodą emisyjną i wrażliwą na stany zlokalizowane, szczególnie w niskich temperaturach. W przedstawionej pracy do badań zależności temperaturowych wykorzystano spektroskopie fotoodbiwozą, która pozwala na pomiary przejść optycznych między stanami zdelokalizowanymi. Do grupy związków mocno niedopasowanych, oprócz półprzewodników rozcieńczanych bizmutem zaliczamy również związki III-V rozcieńczane azotem, które są równie atrakcyjne w zastosowaniach optoelektronicznych. Zasadniczą różnicą między tymi związkami jest odmienny wpływ na strukturę pasmową: związki rozcieńczane azotem powodują głównie zmiany w paśmie przewodnictwa, natomiast rozcieńczane bizmutem - w paśmie walencyjnym. Zarówno wprowadzenie bizmutu jak i azotu powoduje redukcję przerwy energetycznej, jednak ze względu na różnice w wielkości atomów azotu i bizmutu skutkują tym, że azot zmniejsza stałą sieciową a bizmut ją zwiększa. Dodając jednocześnie oba pierwiastki do GaAs, jesteśmy w stanie obniżyć wartość przerwy energetycznej przy jednoczesnym zachowaniu dopasowania stałych sieciowych GaAsNBi i podłoża wykonanego z GaAs.

W pracy zbadano zależność przerwy energetycznej związków  $\text{GaAs}_{1-x-y}\text{N}_x\text{Bi}_y$  w zakresie temperatur 20-300 K. Uzyskane wyniki dopasowano zależnością Varshniego i Bosego-Einsteina oraz porównano również z modelem niekrzyżujących się pasm, który uwzględnia oddziaływanie między stanami GaAs a stanami zlokalizowanymi wynikającymi z wprowadzenia atomów bizmutu i azotu. Redukcja przerwy energetycznej w badanym zakresie temperatur wyniosła 80 – 100 meV.