



UNIWERSYTET
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU

Spintronika: podstawy i zastosowania Sylabus zajęć

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Fizyka Specjalność INFORMACJA KWANTOWA I SPINTRONIKA Jednostka organizacyjna Wydział Fizyki Poziom studiów studia drugiego stopnia Forma studiów studia stacjonarne Profil studiów profil ogólnoakademicki	Cykl dydaktyczny 2023/24 Kod zajęć 04FIZIKSS.21S.03358.23 Języki wykładowe polski Obligatoryjność Obowiązkowy Blok zajęciowy Przedmioty specjalnościowe	
Koordinator zajęć	Anna Dyrdał	
Prowadzący zajęcia	Anna Dyrdał, Józef Barnaś	
Okres Semestr 1	Forma zajęć / liczba godzin / forma zaliczenia • Wykład: 30, Egzamin • Ćwiczenia: 30, Zaliczenie z oceną • Laboratorium: 30, Zaliczenie z oceną	Liczba punktów ECTS 7

Cele kształcenia dla zajęć

Kod	Cel
C1	Zapoznanie z podstawowymi zjawiskami fizycznymi leżącymi u podstaw nanoelektroniki spinowej opartej na nanoskopowych układach magnetycznych, w której aktywną rolę oprócz ładunku odgrywa również spin elektronu, oraz zapoznanie z eksperymentalnymi metodami badania tych zjawisk
C2	Zapoznanie z praktycznymi zastosowaniami elektroniki spinowej w sensorach pola magnetycznego, technologiach informatycznych (główki odczytujące, pamięci magnetyczne), oraz w innych obszarach nanoelektroniki
C3	Wykształcenie umiejętności rozwiązywania prostych problemów teoretycznych związanych z elektroniką spinową (wykorzystując metody analityczne oraz numeryczne)
C4	Wykształcenie praktycznej umiejętności doświadczalnej weryfikacji wybranych efektów w ramach elektroniki spinowej

Efekty uczenia się dla zajęć

Kod	Efekty uczenia się dla zajęć w zakresie	Efekty uczenia się dla kierunku	Metody weryfikacji osiągnięcia efektów uczenia się dla zajęć
Wiedzy - Student/ka:			
W1	zna podstawowe teorie i modele magnetyzmu (w tym mikroskopowe mechanizmy oddziaływań wymiennych), potrafi scharakteryzować materiały magnetyczne	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W02, FIZ_K2_W03, FIZ_K2_W04	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
W2	zna i potrafi opisać międzywarstwowe oddziaływanie wymienne oraz zjawisko gigantycznego i tunelowego magnetooporu	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W02, FIZ_K2_W03, FIZ_K2_W04	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
W3	zna koncepcje i zasady działania pamięci magnetycznych i magnetycznych główek odczytujących	FIZ_K2_W04	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
W4	zna definicje prądu spinowego i spinowego momentu siły indukowanego transferem spinu	FIZ_K2_W01	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt
W5	potrafi wyjaśnić proces magnetycznego przełączania i indukowanej prądem spinowym dynamiki magnetycznej	FIZ_K2_W01	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt
W6	zna i potrafi wyjaśnić istotę oddziaływania spin-orbita; potrafi wymienić i opisać typy oddziaływań spinowo-orbitalnych występujących w heterostrukturach półprzewodnikowych (oddz. spin-orbita Rashby, Dresselhausa)	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W02	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt
W7	zna i potrafi wyjaśnić efekty transportowe indukowane oddziaływaniem spin-orbita (anomalny i spinowy efekt Halla, indukowana prądem polaryzacja spinowa, spinowo-orbitalny moment siły)	FIZ_K2_W01	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna

Kod	Efekty uczenia się dla zajęć w zakresie	Efekty uczenia się dla kierunku	Metody weryfikacji osiągnięcia efektów uczenia się dla zajęć
W8	zna podstawowe koncepcje w elektronice spinowej wykorzystującej topologiczne własności materii (topologiczne izolatory, kwantowe efekty transportowe - kwantowy spinowy i anomalny efekt Halla)	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W02, FIZ_K2_W04	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
W9	potrafi opisać ścianki domenowe i skyrmiony oraz potrafi wskazać ich aplikacje w układach spintronicznych	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W04, FIZ_K2_W05	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt
W10	zna podstawowe koncepcje związane ze spintroniką opartą na heterostrukturach van-der-Waalsa oraz na materiałach antyferromagnetycznych i nadprzewodzących	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W02, FIZ_K2_W04, FIZ_K2_W05	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt
W11	zna koncepcję wykorzystania spinu elektronu w informatyce kwantowej	FIZ_K2_W01, FIZ_K2_W02, FIZ_K2_W04, FIZ_K2_W05	Egzamin ustny, Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
Umiejętności - Student/ka:			
U1	potrafi samodzielnie sformułować i rozwiązać (analitycznie i numerycznie) proste problemy teoretyczne związane z efektami spinowymi w elektronice spinowej	FIZ_K2_U01	Kolokwium ustne, Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
U2	potrafi wykonać eksperymentalne pomiary dotyczące wybranych zjawisk związanych z elektroniką spinową	FIZ_K2_U03, FIZ_K2_U04	Kolokwium ustne, Raport, Prezentacja multimedialna
U3	posiada umiejętność czytania specjalistycznej literatury z zakresu spintroniki i potrafi na jej podstawie przeprowadzić analizę wybranego zagadnienia opracowywanego w ramach zajęć	FIZ_K2_U01, FIZ_K2_U02, FIZ_K2_U03	Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
Kompetencje społecznych - Student/ka:			
K1	nabiera umiejętność pracy zespołowej i samokształcenia w oparciu o najnowszą literaturę przedmiotu	FIZ_K2_K01, FIZ_K2_K02	Projekt, Raport, Prezentacja multimedialna
K2	zna współczesne trendy rozwoju inżynierii materiałowej w kontekście zapotrzebowań elektroniki spinowej	FIZ_K2_K01, FIZ_K2_K02	Raport, Prezentacja multimedialna

Treści programowe dla zajęć

Lp.	Treści programowe dla zajęć	Efekty uczenia się dla zajęć	Formy zajęć
1.	Podstawowe wiadomości nt. spinu elektronu i magnetyzmu; magnetyzm orbitalny i spinowy, magnetyzm zlokalizowany i wędrowny, rodzaje oddziaływań wymiennych, rodzaje materiałów magnetycznych.	W1	Wykład

Lp.	Treści programowe dla zajęć	Efekty uczenia się dla zajęć	Formy zajęć
2.	Wykorzystanie własności magnetycznych w konwencjonalnej elektronice (pasywna rola spinu); magnetyczne pamięci, magnetyczne głowice odczytujące	W1, W2, W3	Wykład, Ćwiczenia, Laboratorium
3.	Magnetyczne heterostrukтуры; międzywarstwowe oddziaływanie wymienne; gigantyczny (GMR) i tunelowy (TMR) magnetoopór; zawory spinowe (aktywna rola spinu)	W1, W2, W3, U2, K1, K2	Wykład, Ćwiczenia, Laboratorium
4.	Zastosowania GMR i TMR w sensorach pola magnetycznego i technologiach informatycznych: głowice odczytujące oparte na zaworach spinowych, magnetyczne pamięci szybko dostępne (MRAM)	W1, W2, W3, U2, K2	Wykład, Laboratorium
5.	Inne układy wykazujące GMR lub TMR; heterostrukтуры półprzewodnikowe; jedno-elektronowa i molekularna elektronika spinowa; magnetyczny tranzystor jednoelektronowy	W1, W2, W3, K2	Wykład, Ćwiczenia
6.	Prąd spinowy i spinowy moment siły indukowany transferem spinu; magnetyczne przełączanie i indukowana prądem spinowym magnetyczna dynamika	W1, W4, W5, U3, K2	Wykład
7.	Spinowo-orbitalne oddziaływania; spinowy efekt Halla; spinowo-orbitalny moment siły; dynamika magnetyczna indukowana oddziaływaniami spinowo-orbitalnymi	W1, W4, W6, W7, U1, U3, K1, K2	Wykład, Ćwiczenia, Laboratorium
8.	Nowe kwantowe materiały dla spintroniki: struktury van der Waalsa; izolatory topologiczne; nadprzewodniki	W1, W10, W7, W8, U1, U3, K1, K2	Wykład, Ćwiczenia, Laboratorium
9.	Niekolinearne struktury magnetyczne w spintronice - skyrmiony i ścianki domenowe	W1, W9, U1, U3, K1, K2	Wykład
10.	Spin elektronu jako qubit; konstrukcja bramek logicznych wykorzystujących oddziaływanie wymienne do wykonania procesów kwantowych obliczeń	W11, U1, U3, K1, K2	Wykład, Ćwiczenia

Informacje dodatkowe

Forma zajęć	Metody i formy prowadzenia zajęć
Wykład	Wykład z prezentacją multimedialną wybranych zagadnień
Ćwiczenia	Praca z tekstem, Uczenie problemowe (Problem-based learning), Rozwiązywanie zadań (np.: obliczeniowych, artystycznych, praktycznych), Praca w grupach
Laboratorium	Rozwiązywanie zadań (np.: obliczeniowych, artystycznych, praktycznych), Metoda laboratoryjna, Metoda badawcza (dociekania naukowego)

Forma zajęć	Warunki zaliczenia zajęć
Wykład	<p>Egzamin ustny (100%). Student otrzyma 4 pytania otwarte (zagadnienia) z których wybiera 3. Każde z pytań oceniane jest oddzielnie. Ocena z egzaminu jest średnią ocen za odpowiedzi na poszczególne pytania.</p> <p>Kryteria oceny: bardzo dobry (5,0): 90-100% możliwych punktów dobry plus (4,5): 80-89% możliwych punktów dobry (4,0): 70 - 79% możliwych punktów dostateczny plus (3,5): 60-69% możliwych punktów dostateczny (3.0): 50-59% możliwych punktów niedostateczny (2.0): 0-49% możliwych punktów</p>
Ćwiczenia	<p>Na ocenę końcową składają się oceny z Projektu (60%) i Kolokwium ustnego (40%), przy czym student musi uzyskać minimum ocenę dostateczną zarówno z Projektu jak i z Kolokwium ustnego.</p> <p>Projekt ma zostać przygotowany w formie pracy pisemnej, w której znajduje się opis teoretyczny problemu (przygotowany w oparciu o literaturę specjalistyczną z zakresu spintroniki) oraz wyniki własne studenta (obliczenia numeryczne i/lub analityczne) i analiza otrzymanych wyników. Podczas Kolokwium ustnego student przedstawia wyniki pracy zawarte w raporcie i odpowiada na pytania zadane przez prowadzącego dotyczące projektu.</p> <p>Kryteria oceny: bardzo dobry (5,0): 90-100% możliwych punktów dobry plus (4,5): 80-89% możliwych punktów dobry (4,0): 70 - 79% możliwych punktów dostateczny plus (3,5): 60-69% możliwych punktów dostateczny (3.0): 50-59% możliwych punktów niedostateczny (2.0): 0-49% możliwych punktów</p>
Laboratorium	<p>Podstawą do zaliczenia Laboratorium jest wykonanie wszystkich przewidzianych ćwiczeń (doświadczalnych i komputerowych) i przygotowanie raportów zawierających otrzymane na ćwiczeniach wyniki.</p> <p>Raporty będą przygotowywane w formie pisemnej lub w formie prezentacji multimedialnej zawierającej wprowadzenie teoretyczne, uzyskane wyniki i podsumowanie.</p> <p>Kryteria oceny: bardzo dobry (5,0): 90-100% możliwych punktów dobry plus (4,5): 80-89% możliwych punktów dobry (4,0): 70 - 79% możliwych punktów dostateczny plus (3,5): 60-69% możliwych punktów dostateczny (3.0): 50-59% możliwych punktów niedostateczny (2.0): 0-49% możliwych punktów</p>

Literatura

Obowiązkowa

1. S. Bandyopadhyay, M. Cahay, "Introduction to Spintronics", CRC Press 2015

Dodatkowa

1. S. Datta, Quantum Transport: Atom to Transistor, Cambridge 2005
2. M. Ziese, M. J. Thornton (Eds.), Spin Electronics, Springer; (rozdziały 1, 4, 7, 12, 19)

Nakład pracy studenta i punkty ECTS

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane rodzaje zajęć
------------------------	---

Wykład	30
Ćwiczenia	30
Laboratorium	30
Przygotowanie do zajęć	15
Czytanie wskazanej literatury	15
Przygotowanie projektu	15
Przygotowanie do zaliczenia	10
Przygotowanie prezentacji multimedialnej	15
Przygotowanie raportu	15
Przygotowanie do egzaminu	30
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 205
Liczba punktów ECTS	ECTS 7

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Efekty uczenia się dla kierunku

Kod	Treść
FIZ_K2_K01	Absolwent/ka jest gotów/gotowa do krytycznej oceny posiadanej wiedzy i odbieranych treści
FIZ_K2_K02	Absolwent/ka jest gotów/gotowa do uznania znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych oraz zasięgania opinii ekspertów (także z innych dyscyplin naukowych) w przypadku trudności z samodzielnym rozwiązaniem problemu
FIZ_K2_U01	Absolwent/ka potrafi wykorzystać posiadaną wiedzę do formułowania i rozwiązywania złożonych i nietypowych problemów z zakresu nauk fizycznych; dobrać i zastosować odpowiednie metody i narzędzia niezbędne do rozwiązania danego problemu (w tym zaawansowane techniki informatyczne), jak również odpowiednio przystosować metody i narzędzia już istniejące lub opracować zupełnie nowe
FIZ_K2_U02	Absolwent/ka potrafi znajdować niezbędne informacje w literaturze fachowej, bazach danych i innych źródłach, w szczególności w czasopismach naukowych podstawowych dla fizyki, oraz dokonać krytycznej analizy, syntezy i twórczej interpretacji zebranych informacji
FIZ_K2_U03	Absolwent/ka potrafi formułować oraz testować hipotezy związane z prostymi problemami badawczymi z zakresu fizyki (planować i wykonywać obserwacje, eksperymenty, obliczenia teoretyczne lub symulacje komputerowe oraz w sposób krytyczny ocenić i przedyskutować otrzymane wyniki)
FIZ_K2_U04	Absolwent/ka potrafi przygotować dla różnych kręgów odbiorców wystąpienia ustne oraz opracowania pisemne przedstawiające w sposób komunikatywny tematy specjalistyczne z obszaru nauk fizycznych, jak również prowadzić debatę na takie tematy
FIZ_K2_W01	Absolwent/ka zna i rozumie w pogłębionym stopniu wybrane fakty, zjawiska, koncepcje i teorie właściwe dla fizyki oraz złożone zależności między nimi (stanowiące zaawansowaną wiedzę ogólną z zakresu nauk fizycznych oraz reprezentujące zarówno kluczowe jak i inne wybrane zagadnienia z zakresu zaawansowanej wiedzy szczegółowej w tej dyscyplinie)
FIZ_K2_W02	Absolwent/ka zna i rozumie w pogłębionym stopniu wybrane metody i narzędzia badawcze oraz modele matematyczne stosowane w fizyce
FIZ_K2_W03	Absolwent/ka zna i rozumie w pogłębionym stopniu wybrane metody obliczeniowe oraz techniki informatyczne stosowane do rozwiązywania złożonych problemów z zakresu fizyki
FIZ_K2_W04	Absolwent/ka zna i rozumie główne tendencje rozwojowe w dyscyplinie nauk fizycznych
FIZ_K2_W05	Absolwent/ka zna i rozumie rolę nauk fizycznych w kontekście fundamentalnych dylematów współczesnej cywilizacji