

SYLABUS

DOTYCZY CYKLU KSZTAŁCENIA 2019/20-2020/21

(skrajne daty)

Rok akademicki 2019/2020

1. PODSTAWOWE INFORMACJE O PRZEDMIOCIE

| | |
|---|---|
| Nazwa przedmiotu | Fizyka fazy skondensowanej |
| Kod przedmiotu* | |
| Nazwa jednostki prowadzącej kierunek | Kolegium Nauk Przyrodniczych |
| Nazwa jednostki realizującej przedmiot | Kolegium Nauk Przyrodniczych / Instytut Nauk Fizycznych |
| Kierunek studiów | Fizyka |
| Poziom studiów | Studia drugiego stopnia, po studiach inż. |
| Profil | Ogólnoakademicki |
| Forma studiów | Studia stacjonarne |
| Rok i semestr/y studiów | Rok I, semestr 1 |
| Rodzaj przedmiotu | Kierunkowy |
| Język wykładowy | Polski |
| Koordinator | dr hab. Małgorzata Sznajder, prof. UR |
| Imię i nazwisko osoby prowadzącej / osób prowadzących | |

* -opcjonalnie, zgodnie z ustaleniami w Jednostce

1.1. Formy zajęć dydaktycznych, wymiar godzin i punktów ECTS

| Semestr (nr) | Wykł. | Ćw. | Konw. | Lab. | Sem. | ZP | Prakt. | Projekt | Liczba pkt. ECTS |
|--------------|-------|-----|-------|------|------|----|--------|---------|------------------|
| 1 | 45 | 25 | | | | | | 5 | 5 |

1.2. Sposób realizacji zajęć

- zajęcia w formie tradycyjnej
 zajęcia realizowane z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość

1.3 Forma zaliczenia przedmiotu (z toku) (egzamin, zaliczenie z oceną, zaliczenie bez oceny)

WYKŁAD – EGZAMIN

ĆWICZENIA – ZALICZENIE Z OCENĄ

PROJEKT – ZALICZENIE Z OCENĄ

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Wiedza z zakresu podstaw fizyki (kinematyki, mechaniki, elektromagnetyzmu, optyki i budowy atomu), analizy matematycznej (rachunek całkowy i różniczkowy). Znajomość zagadnień z fizyki kwantowej dotyczących rozwiązań stacjonarnego równania Schroedingera dla cząstki w studni potencjału, barier potencjału, efektu tunelowego, wiedza na temat spinu elektronu, zakazu Pauliego, momentów magnetycznych, rachunku zaburzeń dla przypadku niezdegenerowanego oraz zdegenerowanego.

3. CELE, EFEKTY UCZENIA SIĘ, TREŚCI PROGRAMOWE I STOSOWANE METODY DYDAKTYCZNE

3.1 Cele przedmiotu

| | |
|----|---|
| C1 | Nabycie przez studenta gruntownej wiedzy na temat własności fizycznych ciał stałych: metali, półprzewodników, dielektryków, magnetyków, nadprzewodników i materiałów amorficznych |
| C2 | zaznajomienie z podstawami metodami obliczeniowymi struktury pasmowej ciał stałych |
| C3 | zaznajomienie z podstawową metodyką badań eksperymentalnych w fizyce ciała stałego |
| C4 | wykształcenie umiejętności intuicyjnego rozumienia omawianych zjawisk fizycznych i posługiwania się poprawną terminologią fizyczną |
| C5 | zdobycie wiedzy umożliwiającej prowadzenie badań naukowych w zakresie wybranych zagadnień fizyki fazy skondensowanej |

3.2 Efekty uczenia się dla przedmiotu

| EK (efekt uczenia się) | Treść efektu uczenia się zdefiniowanego dla przedmiotu | Odniesienie do efektów kierunkowych |
|------------------------|--|-------------------------------------|
| EK_01 | Absolwent zna i rozumie w pogłębionym stopniu zagadnienia z zakresu własności fizycznych ciał stałych, w tym metali, półprzewodników, dielektryków, magnetyków oraz ciał amorficznych, jak i znaczenie fizyki fazy skondensowanej dla postępu nauk ścisłych i przyrodniczych | K_Wo1 |
| EK_02 | Absolwent zna i rozumie aktualne kierunki rozwoju i najnowsze odkrycia w zakresie eksperymentalnych metod wytwarzania nowoczesnych półprzewodników, w tym pracujących w ekstremalnych warunkach wysokich mocy, częstotliwości i temperatur | K_Wo6 |
| EK_03 | Absolwent zna i rozumie fundamentalne dylematy współczesnego rozwoju fizyki | K_Wo7 |
| EK_04 | Absolwent potrafi zaplanować badania struktury krystalicznej materiału metodą rozpraszania promieniowania rentgenowskiego, efektu Halla, przerwy energetycznej materiału | K_Uo1 |
| EK_05 | Absolwent potrafi w sposób krytyczny ocenić wyniki | K_Uo2 |

| | | |
|-------|--|-------|
| | eksperymentów, obserwacji i obliczeń teoretycznych dotyczących struktury pasmowej materiału, wartości energii adsorpcji pierwiastka na powierzchni materiału, potrafi ocenić eksperymentalne zależności temperaturowe podstawowych charakterystyk metali i półprzewodników i na podstawie ich przebiegu zidentyfikować typ materiału, a także przedyskutować błędy pomiarowe | |
| EK_o6 | Absolwent potrafi przedstawić wyniki badań w postaci samodzielnie przygotowanego raportu zawierającego opis i uzasadnienie celu pracy, przyjętą metodologię, wyniki oraz ich analizę | K_Uo4 |
| EK_o7 | Absolwent jest gotów do uznania ograniczeń własnej wiedzy i potrzeby zasięgnięcia opinii ekspertów w przypadku trudności z samodzielnym rozwiązaniem problemu dotyczącym fizyki fazy skondensowanej | K_Ko2 |
| EK_o8 | Absolwent jest gotów do systematycznego zapoznawania się z czasopismami naukowymi i popularnonaukowymi, podstawowymi dla fizyki fazy skondensowanej, w celu poszerzania i pogłębiania wiedzy oraz rozwijania dorobku zawodowego | K_Ko6 |

3.3 Treści programowe

A. Problematyka wykładu

| |
|---|
| Treści merytoryczne |
| Wstęp. Stany skupienia - faza skondensowana – kryształy, materiały amorficzne, materiały polikrystaliczne, kryształy ciekłe, szkła– usystematyzowanie podstawowych własności. |
| Krystalografia Zagadnienia symetrii kryształów, pojęcie grupy symetrii, klasy symetrii, grupy przestrzennej kryształu, klasy krystalograficznej. Hierarchia układów krystalograficznych pod względem symetrii. Wybrane struktury krystaliczne (np. wurcyt, perowskit i przykłady nowoczesnych materiałów krystalizujących w tych strukturach). Zjawisko politypizmu na przykładzie żelaza i węgla krzemowego. Wskaźniki Millera dla układu heksagonalnego. Porównanie metod LEC, Czochralskiego i Bridgmana wzrostu monokryształów. |
| Wiązania chemiczne w ciałach stałych Wiązanie jonowe, kowalencyjne, wodorowe, metaliczne, van der Waalsa. |
| Dyfrakcja fal na kryształach Dyfrakcja fotonów, neutronów i elektronów na kryształach, mechanizm powstawania wiązki ugiętej na kryształach. Amplituda fali rozproszonej i analiza Fouriera. Wyprowadzenie równań Lauego przy wykorzystaniu pojęcia wektorów sieci odwrotnej. Warunek dyfrakcji sformułowany dla rozpraszania sprężystego i jego równoważność z warunkiem Lauego. Konstrukcja Ewalda. Sieci odwrotne do sieci sc, bcc, fcc oraz do sieci heksagonalnej. Czynnik struktury sieci fcc i bcc, czynnik atomowy. |
| Dynamika i własności termiczne sieci krystalicznej Drgania i fale w jednowymiarowej sieci krystalicznej z jednym oraz z dwoma atomami w komórce. Krzywe dyspersji: gałęzie akustyczne i optyczne. Prędkość grupowa i fazowa, przybliżenie długofalowe. Drgania cieplne sieci jednowymiarowej jako drgania normalne, Kwantowanie drgań sieci. Fonony. Drgania atomów w trójwymiarowej złożonej sieci krystalicznej. Funkcje termodynamiczne w ciele stałym. Gęstość stanów. Model Debye'a ciepła właściwego. Doświadczenia z niesprężystym rozpraszaniem neutronów w kryształach, procesy N oraz U. |
| Najważniejsze przybliżenia w teorii pasmowej ciała stałego Przybliżenie adiabatyczne. Przybliżenie jednoelektronowe. |

| |
|--|
| <p>Stany elektronowe w kryształach doskonałych</p> <p>Ogólne własności elektronu poruszającego się w polu periodycznym. Rozwiązanie równania Schrödingera w ramach przybliżeń elektronów swobodnych i prawie swobodnych oraz interpretacja graficzna rozwiązań. Mechanizm powstawania energetycznych przerw wzbronionych i schemat struktury pasmowej w zredukowanej strefie Brillouina. Diagramy energetyczne dielektryka, przewodnika, półprzewodnika i półmetal – różnice ze schematem pasmowym. Przykłady struktur pasmowych wybranych metali i półprzewodników. Twierdzenie Blocha i jego dowód. Wektor k jako liczba kwantowa, kwazipęd elektronu w kryształach. Warunki brzegowe Borna – Karmana dla funkcji falowej elektronu w kryształach. Kwantowanie stanów elektronowych w paśmie energetycznym. Ruch elektronów pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego, Tensor masy efektywnej. Funkcja gęstości stanów energetycznych.</p> |
| <p>Wybrane metody obliczeń struktury pasmowej ciał stałych</p> <p>Pojęcie pseudopotencjału, funkcji pseudofalowej oraz postać równania pseudofalowego. Metoda półempirycznego pseudopotencjału, idea obliczeń z pierwszych zasad metodą pseudopotencjału (<i>ab initio</i> pseudopotential methods). Przybliżenia LDA i GGA i ich ograniczenia. Metoda <i>kp</i>. Pojęcie masy efektywnej niezdegenerowanego pasma wyznaczonej metodą <i>kp</i>. Metoda ciasnego wiązania. Oznaczanie symetrii stanów energetycznych za pomocą nieprzywiedlnych reprezentacji grupy wektora falowego.</p> |
| <p>Elektrony swobodne w metalach</p> <p>Zwyrodniały gaz elektronowy w metalach. Funkcja rozkładu Fermiego-Diraca w różnych warunkach temperaturowych, opis ilościowy. Powierzchnia Fermiego w metalach i konstrukcje Harrisona. Doświadczalne metody badania powierzchni Fermiego: efekt de Haasa-van Alphen w ujęciu Onsagera. Poziomy Landaua elektronu swobodnego w polu magnetycznym. Struktury niskowymiarowe: nanodruki i kropki kwantowe. Grafen, podstawowe własności, metody wytwarzania, zastosowanie, nagroda Nobla z fizyki w 2010r.</p> |
| <p>Przewodnictwo elektryczne półprzewodników</p> <p>Masy efektywne w półprzewodnikach. Struktury pasmowe wybranych półprzewodników. Prawa dyspersji nośników ładunku. Ciężkie i lekkie dziury. Wyprowadzenie równań opisujących koncentracje równoważne swobodnych nośników ładunku w półprzewodnikach samoistnych, wyprowadzenie temperaturowej zależności koncentracji nośników oraz poziomu Fermiego. Wpływ domieszek na elektroprzewodnictwo półprzewodnika. Półprzewodniki pracujące w ekstremalnych warunkach wysokich mocy, temperatur i częstotliwości (SiC, AlN, GaN), wybrane metody wytwarzania heterostruktur półprzewodnikowych tych materiałów (MBE, MOCVD). Materiały azotkowe i nagroda Nobla z fizyki z 2014r. za osiągnięcia w dziedzinie ich wytwarzania.</p> |
| <p>Zjawiska transportu w metalach i półprzewodnikach</p> <p>Braki teorii Drudego przewodnictwa. Równanie Boltzmanna w przybliżeniu czasu relaksacji – człon polowy i człon zderzeniowy. Przewodnictwo elektryczne niezdegenerowanych półprzewodników o prostej strukturze pasmowej. Rodzaje mechanizmów rozpraszania nośników i ich wpływ na czas relaksacji. Efekt Halla w półprzewodnikach – stała Halla dla dwóch typów nośników większościowych. Wyznaczanie koncentracji i ruchliwości nośników. Kwantowe zjawisko Halla.</p> |
| <p>Dielektryki</p> <p>Dielektryk w polu elektrycznym, wektor polaryzacji, elektryczny moment dipolowy, podatność dielektryczna, straty dielektryczne, relaksacja dielektryczna. Ferroelektryki, prawo Curie-Weissa, zastosowanie ferroelektryków. Piezoelektryki, mechanizm powstania efektu piezoelektrycznego, materiały piezoelektryczne.</p> |
| <p>Magnetyczne własności ciał stałych</p> <p>Magnetyki – materiały. Kwantowa teoria paramagnetyzmu. Przenikalność magnetyczna, prawo Curie. Atom jako dipol magnetyczny. Spin. Uporządkowanie ferromagnetyczne, ferri- i antyferromagnetyczne. Temperatura Neela. Punkt Curie. Histereza magnetyczna. Pochodzenie domen magnetycznych, koercja.</p> |

Fizyka powierzchni i międzypowierzchni

Adsorpcja fizyczna i chemiczna. Rekonstrukcja powierzchni – projekt.

B. Problematyka ćwiczeń audytoryjnych

| |
|---|
| Treści merytoryczne |
| Symetria i struktura kryształów Obliczanie gęstości upakowania atomów w sieciach krystalicznych różnego rodzaju, liczby koordynacyjnej, konstruowanie dwuwymiarowej komórki Wignera-Seitza, identyfikowanie płaszczyzn sieciowych i kierunków w sieci za pomocą wskaźników Millera. Wyznaczanie elementów punktowych grup symetrii wybranych molekuł. |
| Rentgenografia Równoważność podejścia Bragów i Lauego. |
| Sieć odwrotna Obliczenie wektorów bazowych dla różnych typów sieci odwrotnych. Wykorzystanie twierdzeń o wektorze translacji sieci odwrotnej i płaszczyznach sieciowych. |
| Strefa Brillouina Konstrukcja strefy Brillouina dla sieci dwuwymiarowych. Wyznaczanie równań płaszczyzn strefy Brillouina. Budowa trójwymiarowej strefy Brillouina dla sieci regularnej powierzchniowo centrowanej. |
| Fonony Obliczanie częstości drgań optycznych i akustycznych dla jednowymiarowego łańcucha liniowego zbudowanego z dwóch rodzajów atomów. |
| Własności pasm energetycznych Prędkość grupowa elektronów. Masa efektywna – obliczenie składników. Obliczenie funkcji gęstości stanów. |
| Statystyka elektronów i dziur Obliczenie samoistnych koncentracji elektronów i dziur dla różnych półprzewodników przy różnych temperaturach. Określenie energii Fermiego. Obliczenie koncentracji elektronów i dziur dla różnych poziomów domieszkiowania półprzewodników przy różnych temperaturach. |
| Przewodnictwo elektryczne półprzewodników Obliczenie temperaturowej zależności przewodnictwa elektrycznego w wybranych półprzewodnikach. Określenie energii aktywacji. |
| Efekt Halla Obliczenie koncentracji i ruchliwości nośników ładunku na podstawie danych pomiarów efektu Halla i elektroprzewodnictwa. |
| Projekt Wstępna analiza zagadnień związanych z Projektami nr 2 i 3, przygotowanie danych wejściowych i ich konsultacja. Testowe obliczenia numeryczne. |

3.4 Metody dydaktyczne

Wykład z prezentacją multimedialną

Ćwiczenia: rozwiązywanie zadań, praca w grupach, dyskusja, praca z bazami danych materiałów półprzewodnikowych,

Projekt 1 – konstrukcje stref Brillouina na papierze milimetrowym dla różnych typów sieci,

Projekt 2 – konstrukcje Ewalda

Projekt 3 – wyznaczanie wartości przerwy energetycznej materiału na podstawie danych eksperymentalnych,

Projekt 4 – wyznaczenie wartości energii adsorpcji pierwiastka na powierzchni podłoża na podstawie danych numerycznych.

4. METODY I KRYTERIA OCENY

4.1 Sposoby weryfikacji efektów uczenia się

| Symbol efektu | Metody oceny efektów uczenia się (np.: kolokwium, egzamin ustny, egzamin pisemny, projekt, sprawozdanie, obserwacja w trakcie zajęć) | Forma zajęć dydaktycznych (w., ćw., ...) |
|---------------|--|--|
| EK_01 | OBSERWACJA W TRAKCIE ZAJĘĆ, ROZWIĄZANIE ZADANIA PROBLEMOWEGO, KOLOKWIMUM, EGZAMIN | ĆWICZENIA WYKŁAD |
| EK_02 | EGZAMIN | WYKŁAD |
| EK_03 | EGZAMIN | WYKŁAD |
| EK_04 | EGZAMIN | WYKŁAD |
| EK_05 | PROJEKT, OBSERWACJA W TRAKCIE ZAJĘĆ | PROJEKT, ĆWICZENIA |
| EK_06 | PROJEKT, OBSERWACJA W TRAKCIE ZAJĘĆ | PROJEKT, ĆWICZENIA |
| EK_07 | OBSERWACJA W TRAKCIE ZAJĘĆ, ROZWIĄZANIE ZADANIA PROBLEMOWEGO, KOLOKWIMUM, EGZAMIN | ĆWICZENIA WYKŁAD |
| EK_08 | OBSERWACJA W TRAKCIE ZAJĘĆ, ROZWIĄZANIE ZADANIA PROBLEMOWEGO, KOLOKWIMUM, EGZAMIN | ĆWICZENIA WYKŁAD |

4.2 Warunki zaliczenia przedmiotu (kryteria oceniania)

Zaliczenie przedmiotu uzyskiwane jest na podstawie zaliczonych ćwiczeń, zaliczonego projektu oraz uzyskaniu pozytywnej oceny z egzaminu. Student zalicza obowiązkowo Projekt nr 1 i 2 oraz dowolny projekt spośród numerów 3 i 4. Ocena końcowa z ćwiczeń jest średnią arytmetyczną ocen z dwóch kolokwiumów śród-semestralnych. Brana jest także pod uwagę aktywność studenta na zajęciach i zdobyte oceny cząstkowe. Egzamin pisemny składa się z 1-5 zagadnień do opracowania. Każdemu zadaniu odpowiada punktacja 0 – 4pkt. Część pisemna egzaminu jest zaliczona po zdobyciu przez studenta minimum 51% maksymalnej liczby punktów.

5. CAŁKOWITY NAKŁAD PRACY STUDENTA POTRZEBNY DO OSIĄGNIĘCIA ZAŁOŻONYCH EFEKTÓW W GODZINACH ORAZ PUNKTACH ECTS

| Forma aktywności | Średnia liczba godzin na zrealizowanie aktywności |
|--|--|
| Godziny kontaktowe wynikające z harmonogramu studiów | 75 |
| Inne z udziałem nauczyciela akademickiego (udział w konsultacjach, egzaminie) | 5 |
| Godziny niekontaktowe – praca własna studenta (przygotowanie do zajęć, egzaminu, napisanie referatu itp.) | 50 |
| SUMA GODZIN | 130 |
| SUMARYCZNA LICZBA PUNKTÓW ECTS | 5 |

* Należy uwzględnić, że 1 pkt ECTS odpowiada 25-30 godzin całkowitego nakładu pracy studenta.

6. PRAKTYKI ZAWODOWE W RAMACH PRZEDMIOTU

| | |
|----------------------------------|------|
| wymiar godzinowy | n.d. |
| zasady i formy odbywania praktyk | n.d. |

7. LITERATURA

Literatura podstawowa:

1. C. Kittel „Wstęp do fizyki ciała stałego” PWN, W-wa 1999
2. N. Ashcroft, N. Mermin, „Fizyka ciała stałego”, PWN, W-wa 1986
3. H. Ibach, H. Luth, „Fizyka ciała stałego”, PWN, W-wa 1996
4. A. Oleś, „Metody doświadczalne fizyki ciała stałego, WNT, W-wa, 1999
5. Andrzej Twardowski, „Wstęp do fizyki atomu, cząsteczki i ciała stałego” Warszawa, Wydawnictwa Uniwersytetu Warszawskiego, 2002
6. J. Spałek, „Wstęp do fizyki materii skondensowanej”, PWN, W-wa, 2015
7. W.L. Boncz-Brujewicz, S.G. Kałasznikow, „Fizyka półprzewodników”, PWN, Warszawa, 1985
8. K.W. Szalimowa, „Fizyka półprzewodników”, PWN, Warszawa, 1974
9. I.M. Cydilkowski, „Elektrony i dziury w półprzewodnikach”, PWN, Warszawa, 1976
10. K. Sierański, M. Kubisa, J. Szatkowski, J. Misiewicz, „Półprzewodniki i struktury półprzewodnikowe”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2002 – podręcznik udostępniany przez wykładowcę
11. Hennel, W. Szuszkiewicz – Zadania z fizyki atomu cząsteczki i ciała stałego, PWN, 1994

Literatura uzupełniająca:

12. Michael C. Petty “Molecular Electronics From Principles to Practice”, John Wiley & Sons, Ltd, 2008 – podręcznik udostępniany przez wykładowcę
13. O. Madelung, “Semiconductors: Data Handbook”, 3rd ed. Edited by O. Madelung, Springer, Berlin 2004 – podręcznik udostępniany przez wykładowcę
14. T. M. Al Tahtamouni, J. Y. Lin, H. X. Jiang, Appl. Phys. Lett. 101, 192106 (2012). – dostępny w sieci uczelnianej Biblioteki UR
15. Shuji Nakamura, Masayuki Seno and Takashi Mukai, Appl. Phys. Lett. 62, 2390 (1993). – dostępny w sieci uczelnianej Biblioteki UR
16. E. Dumiszewska, D. Lenkiewicz, W. Strupiński, A. Jasik, R. Jakieła, Epitaksja MOVPE Azotków III Grupy Układu Okresowego – Główne Problemy Technologiczne, Materiały Elektroniczne, T. 31 -2003 NR 3-4, str. 76-91. – dostęp online
17. Piotr Caban, Kinga Kościewicz, Włodzimierz Strupiński, K. Pągowska, R. Ratajczak, Marek Wójcik, Jarosław Gaca, Andrzej Turoś, J. Szmidt, Wpływ Trawienia Podłoża 4H-SiC Na Epitaksję GaN, Materiały Elektroniczne, T. 36-2008 NR 4, str. 5-16. – dostęp online