



Symetrie w układach krystalicznych

Karta opisu przedmiotu

Informacje podstawowe

Kierunek studiów Fizyka Techniczna	Cykl dydaktyczny 2025/2026	
Specjalność Wszystkie	Kod przedmiotu JFTCS.IIi1.12381.25	
Jednostka organizacyjna Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej	Języki wykładowe polski	
Poziom kształcenia Studia magisterskie inżynierskie II stopnia	Obligatoryjność Obowiązkowy	
Forma studiów Stacjonarne	Blok zajęciowy Przedmioty specjalnościowe	
Profil studiów Ogólnoakademicki	Przedmiot powiązany z badaniami naukowymi Tak	
Koordynator przedmiotu	Radosław Strzałka	
Prowadzący zajęcia	Radosław Strzałka	
Okres Semestr 1	Forma zaliczenia Zaliczenie	Liczba punktów ECTS 4
	Forma prowadzenia i godziny zajęć Wykład: 15 Ćwiczenia projektowe: 30	

Cele kształcenia dla przedmiotu

C1	Zapoznanie studenta z podstawowymi symetrami w strukturze atomowej ciał stałych, w szczególności w kryształach periodycznych i aperiodycznych.
C2	Pokazanie związku symetrii (periodyczności) z budową atomową i konsekwencje tego związku dla metod analizy strukturalnej kryształów.
C3	Zapoznanie studenta z powszechnie stosowanymi narzędziami informatycznymi do analizy strukturalnej kryształów; wykorzystanie tych narzędzi do konkretnych zastosowań w krytalografii.

Efekty uczenia się dla przedmiotu

Kod	Efekty w zakresie	Kierunkowe efekty uczenia się	Metody weryfikacji
Wiedzy - Student zna i rozumie:			
W1	pojęcie symetrii w strukturze atomowej i jej wpływu na budowę atomową kryształów	FTC2A_W01, FTC2A_W03, FTC2A_W04	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji
W2	cechy obrazu dyfrakcyjnego, metody jego powstawania i związku ze strukturą atomową kryształów	FTC2A_W01, FTC2A_W03, FTC2A_W04	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji
W3	ideę udokładniania struktury w oparciu o dane dyfrakcyjne, problemy z tym związane i przykłady metod	FTC2A_W01, FTC2A_W03, FTC2A_W04	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji
W4	co to są kryształy periodyczne i aperiodyczne, jakie są różnice w budowie atomowej, obrazie dyfrakcyjnych i metodach krystalograficznych do ich opisu	FTC2A_W01, FTC2A_W03, FTC2A_W04	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji
Umiejętności - Student potrafi:			
U1	dokonać analizy obrazu dyfrakcji proszkowej na kryształach przy użyciu dedykowanych i samodzielnie opracowanych narzędzi	FTC2A_U01, FTC2A_U04	Wykonanie ćwiczeń, Projekt, Zaangażowanie w pracę zespołu
U2	przeprowadzić udokładnienie prostych struktur krystalicznych przy pomocy dedykowanych narzędzi	FTC2A_U01, FTC2A_U04	Wykonanie ćwiczeń, Projekt, Zaangażowanie w pracę zespołu
U3	przeprowadzić podstawową analizę obrazu dyfrakcyjnego i struktury atomowej w układach aperiodycznych	FTC2A_U01, FTC2A_U04	Wykonanie ćwiczeń, Projekt, Zaangażowanie w pracę zespołu
Kompetencje społecznych - Student jest gotów do:			
K1	wzięcia udziału w dyskusji nt. zadanego problemu oraz przedstawienia wyników własnych rozwiązań problemu na forum grupy.	FTC2A_K01	Udział w dyskusji, Zaangażowanie w pracę zespołu
K2	współpracować w małym zespole i większej grupie nad danym zagadnieniem, wykorzystując swoją wiedzę i umiejętności w celu rozwiązania złożonego problemu	FTC2A_K02	Udział w dyskusji, Zaangażowanie w pracę zespołu

Treści programowe zapewniające uzyskanie efektów uczenia się dla modułu zajęć

Wykłady dotyczące zagadnień teoretycznych oraz dyskutujące dostępne metody i narzędzia w analizie strukturalnej kryształów oraz zajęcia praktyczne (projektowe), służące zapoznaniu się z funkcjonalnością tych narzędzi i samodzielnemu zastosowaniu ich w danych zagadnieniach fizyki kryształów.

Nakład pracy studenta

Rodzaje zajęć studenta	Średnia liczba godzin* przeznaczonych na zrealizowane aktywności
Wykład	15
Ćwiczenia projektowe	30
Przygotowanie projektu, prezentacji, pracy pisemnej, sprawozdania	30

Przygotowanie do zajęć	15
Samodzielne studiowanie tematyki zajęć	30
Łączny nakład pracy studenta	Liczba godzin 120
Liczba godzin kontaktowych	Liczba godzin 45

* godzina (lekcyjna) oznacza 45 minut

Treści programowe

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
1.	Podstawy krystalografii (przypomnienie): symetrie, struktury krystaliczne, komórka elementarna, czynnik strukturalny, dyfrakcja na kryształach, podstawy analizy strukturalnej	W1	Wykład
2.	Symetria w kryształach: elementy symetrii; sieci krystaliczne; grupy punktowe, przestrzenne, klasy Lauego; układy krystalograficzne; symetrie wielowymiarowe	W1	Wykład
3.	Dyfrakcja rentgenowska na kryształach: symetria kryształu a obraz dyfrakcyjny; rozwiązanie struktury, mapa gęstości atomowej; problem fazowy	W2	Wykład
4.	Podstawy metod udokładniania struktur periodycznych: odzyskiwanie fazy; model struktury atomowej; metody iteracyjne; przykłady udokładnień	W3	Wykład
5.	Struktury modulowane: wektor modulacji, modulacja współmierna i niewspółmierna; obraz dyfrakcyjny; idea metody wielowymiarowej (superspace); przykłady	W2, W3, W4	Wykład
6.	Kwazikryształy: struktura atomowa i obraz dyfrakcyjny; rodziny kwazikryształów; podstawowe właściwości i zastosowania; metody modelowania; udokładnianie; metoda wielowymiarowa.	W1, W2, W3, W4	Wykład
7.	Metoda statystyczna opisu kwazikryształów: pojęcie średniej komórki elementarnej; modelowanie nieporządku; związek z metodą wielowymiarową	W3, W4	Wykład

Lp.	Treści programowe	Efekty uczenia się dla przedmiotu	Formy prowadzenia zajęć
8.	1. Modelowanie i wizualizacja struktury atomowej (program VESTA) 2. Dyfrakcja na kryształach (proszkowa i na monokryształach): wskaźnikowanie obrazu dyfrakcyjnego, rozwiązywanie struktury (CrysAlis, FullProf) 3. Udokładnianie struktur monokrystalicznych (program JANA2006) 4. Odzyskiwanie fazy, mapy gęstości atomowej (structure solution): metoda bezpośrednia, metoda LDE, charge flipping (program Superflip, lodemac) 5. Analiza dyfrakcyjna i strukturalna kwazikryształów: metoda statystyczna i wielowymiarowa (dedykowane programy, pakiet QUASI)	U1, U2, U3, K1, K2	Ćwiczenia projektowe

Informacje rozszerzone

Metody i techniki kształcenia :

Dyskusja, Praca grupowa

Rodzaj zajęć	Metody zaliczenia	Warunki zaliczenia przedmiotu
Wykład	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji	brak
Ćwiczenia projektowe	Aktywność na zajęciach, Udział w dyskusji, Wykonanie ćwiczeń, Projekt, Zaangażowanie w pracę zespołu	udział w ćwiczeniach i realizacja zadań, lub wykonanie projektu

Dodatkowy opis

Wykład ma charakter teoretyczny, wprowadzający w zagadnienia analizy strukturalnej kryształów. W ramach ćwiczeń projektowych student ma możliwość zastosowania wiedzy teoretycznej oraz dedykowanych i własnych narzędzi do analizy wybranych przykładów struktur krystalicznych na dwa sposoby: (1) przez uczestnictwo w zajęciach i wykonywanie ćwiczeń pod nadzorem prowadzącego, lub (2) przez wykonanie projektu (samodzielnie lub w małych zespołach). Ścieżka (1) udziału studenta w ćwiczeniach wymaga od niego korzystania z własnego sprzętu komputerowego (laptopa). W ścieżce (2): tematy projektów zostaną określone przez prowadzącego na początku zajęć. Projekty można oddawać w formie opracowania (esej, raport + programy komputerowe, jeśli takie powstały), lub w trakcie prezentacji na ostatnich zajęciach.

Warunki i sposób zaliczenia poszczególnych form zajęć, w tym zasady zaliczeń poprawkowych, a także warunki dopuszczenia do egzaminu

W trakcie zajęć oceniane są:

- aktywność studenta w trakcie wykładów i ćwiczeń (udział w dyskusji, zaangażowanie w pracę)
- realizacja zadań w trakcie ćwiczeń, w tym samodzielność, stopień opanowania narzędzi, otrzymanie wyników (ścieżka (1))
- projekt, w tym stopień zaawansowania tematu i poprawnej realizacji tematu, sposób prezentacji wyniku (ścieżka (2))

Sposób obliczania oceny końcowej

Podstawą obliczenia oceny końcowej (nota 2-5) jest: ocena realizacji wykonania zadań w trakcie ćwiczeń (ścieżka (1)) lub ocena za projekt (ścieżka (2)). Ocena może być dodatkowo powiększona o aktywność w trakcie wykładu i/lub ćwiczeń.

Sposób i tryb wyrównywania zaległości powstałych wskutek nieobecności studenta na zajęciach

Samodzielna praca nad poruszonym w trakcie zajęć zagadnieniem, konsultacja z prowadzącym w celu ew. wyjaśnienia wątpliwości.

Wymagania wstępne i dodatkowe

Wiedza z zakresu fizyki ciała stałego (dot. struktury krystalicznej), podstawowa wiedza z zakresu matematyki na poziomie I stopnia studiów (algebra, analiza matematyczna), podstawowa umiejętność programowania (w wybranym języku).

Zasady udziału w poszczególnych zajęciach, ze wskazaniem, czy obecność studenta na zajęciach jest obowiązkowa

1. Udział w wykładzie jest nieobowiązkowy (zgodnie z Regulaminem Studiów AGH)
2. Udział w ćwiczeniach projektowych jest:
 - o obowiązkowy, jeśli student wybierze ścieżkę (1) realizacji zajęć (wykonywanie na bieżąco ćwiczeń zaleconych przez prowadzącego)
 - o nieobowiązkowy, jeśli student wybierze ścieżkę (2) realizacji zajęć (projekt)

Literatura

Obowiązkowa

1. "Fundamentals of Crystallography", C. Giacovazzo, H.L. Monaco, G. Artioli, D. Viterbo, G.Ferraris, G. Gilli, G. Zanotti, M. Catti, z serii IUCr Texts on Crystallography, Oxford University Press 2002 (lub starsze/nowsze)
2. "Rentgenografia strukturalna monokryształów", P. Luger, PWN Warszawa 1989.
3. "Crystallography of Quasicrystals. Concepts, Methods and Structures", W. Steurer, S. Deloudi, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009.
4. "Quasicrystals. A Primer", C. Janot, z serii Oxford Science Publications, Oxford University Press, New York 1992.

Dodatkowa

1. Statistical approach to diffraction of periodic and non-periodic crystals - review / Radosław STRZAŁKA, Ireneusz BUGAŃSKI, Janusz WOLNY // Crystals [Dokument elektroniczny]. — Czasopismo elektroniczne ; ISSN 2073-4352. — 2016 vol. 6 iss. 9, [art. no.] 104, s. [1-19]. — Wymagania systemowe: Adobe Reader. — Tryb dostępu: <http://www.mdpi.com/2073-4352/6/9/104/pdf> [2016-09-27]. — Bibliogr. s. 17-19, Abstr.. — Publikacja dostępna online od: 2016-08-26
2. Model refinement of quasicrystals / Janusz WOLNY, Ireneusz BUGAŃSKI, Radosław STRZAŁKA // Crystallography Reviews ; ISSN 0889-311X. — 2018 vol. 24 no. 1, s. 22-64. — Bibliogr. s. 58-64, Abstr.. — tekst: <https://www-1tandfonline-1com-15qtywsv0030c.wbg2.bg.agh.edu.pl/doi/pdf/10.1080/0889311X.2017.1340276>

Badania i publikacje

Badania

1. "Badania strukturalne kwazikryształów dekadonalnych i ikozaedrycznych - nieporządek atomowy, budowa klastrowa i własności fizyczne." - projekt NCN OPUS 2020-2022, kierownik prof. Janusz Wolny
2. "Badanie struktury kwazikryształów ikozaedrycznych - analiza dyfrakcyjna i modelowanie" - projekt NCN PRELUDIUM 2015-2017, kierownik dr Radosław Strzałka
3. "Własności strukturalne i mechaniczne metali - od prostych struktur do złożonych stopów metali na przykładzie kwazikryształów i innych układów międzymetalicznych" - projekt NCN OPUS 2014-2016, kierownik prof. Janusz Wolny

Publikacje

1. Model refinement of quasicrystals / Janusz WOLNY, Ireneusz BUGAŃSKI, Radosław STRZAŁKA // *Crystallography Reviews* ; ISSN 0889-311X. — 2018 vol. 24 no. 1, s. 22-64. — Bibliogr. s. 58-64, Abstr.. — tekst:
<https://www-1tandfonline-1com-15qtywsv0030c.wbg2.bg.agh.edu.pl/doi/pdf/10.1080/0889311X.2017.1340276>
2. Statistical approach to diffraction of periodic and non-periodic crystals - review / Radosław STRZAŁKA, Ireneusz BUGAŃSKI, Janusz WOLNY // *Crystals* [Dokument elektroniczny]. — Czasopismo elektroniczne ; ISSN 2073-4352. — 2016 vol. 6 iss. 9, [art. no.] 104, s. [1-19]. — Wymagania systemowe: Adobe Reader. — Tryb dostępu:
<http://www.mdpi.com/2073-4352/6/9/104/pdf> [2016-09-27]. — Bibliogr. s. 17-19, Abstr.. — Publikacja dostępna online od: 2016-08-26
3. <https://bpp.agh.edu.pl/autor/?idA=06874&fodR=0&fdoR=2021&fagTP=4&fagIF=0&fagPM=0&afi=1&vt=c#vtype>

Kierunkowe efekty uczenia się

Kod	Treść
FTC2A_K01	potrafi myśleć i działać w sposób kreatywny, doceniając rolę ciągłego dokształcania oraz właściwie określać priorytety stosując zasady etyki zawodowej
FTC2A_K02	potrafi współdziałać w środowisku interdyscyplinarnym oraz rozumie pozatechniczne skutki stosowania metod fizyki technicznej (w tym jej wpływu na środowisko) i związanej z tym odpowiedzialności za podejmowane decyzje
FTC2A_U01	potrafi zastosować metody i techniki z zakresu fizyki do rozwiązywania złożonych, interdyscyplinarnych problemów technicznych i naukowych, w sposób nieszablonowy, ze świadomością uwarunkowań ekonomicznych, prawnych i środowiskowych
FTC2A_U04	potrafi formułować i testować hipotezy związane z rozwiązywaniem złożonych zadań inżynierskich i prowadzeniem prac badawczych, w tym zastosować zaawansowane metody analizy statystycznej
FTC2A_W01	ma pogłębioną i rozszerzoną wiedzę z zakresu matematyki i fizyki niezbędną do zrozumienia podstawowych procesów zachodzących w przyrodzie
FTC2A_W03	ma pogłębioną wiedzę o trendach rozwojowych w wybranych działach fizyki oraz jej zastosowaniach we współczesnych technologiach
FTC2A_W04	dysponuje pogłębioną znajomością metod matematycznych i numerycznych niezbędnych do analizy procesów fizycznych i technologicznych