

SYLABUS PRZEDMIOTU

1.	Nazwa przedmiotu w języku polskim Fizyka grafenu	
2.	Dyscyplina: nauki fizyczne	
3.	Język wykładowy: angielski	
4.	Jednostka prowadząca przedmiot: Wydział Fizyki i Astronomii	
5.	Rodzaj przedmiotu (obowiązkowy lub do wyboru): do wyboru	
6.	Kierunek studiów: fizyka	
7.	Poziom studiów (I stopień lub II stopień): II	
8.	Rok studiów: 1	
9.	Semestr (zimowy lub letni): zimowy	
10.	Forma zajęć i liczba godzin: wykład – 20. konwersatoria – 4, laboratorium komputerowe - 6	
11.	Wymagania wstępne w zakresie wiedzy, umiejętności i kompetencji społecznych dla przedmiotu: licencjat z fizyki	
12.	Cele kształcenia dla przedmiotu: • podstawowe zrozumienie powiązań pomiędzy strukturą mikrofizyczną a właściwościami makroskopowymi grafenu jako supermateriału • rozwijanie umiejętności teoretycznego opisu zależności dyspersyjnych i zjawiska stożków Diraca w strukturze pasmowej grafenu • ćwiczenie obliczeń właściwości elektronowych przy użyciu skryptów Pythona w repozytorium gitlab • rozwijanie zrozumienia podstawowych zasad mechaniki kwantowej, kwantowej teorii pola, fizyki ciała stałego oraz fizyki statystycznej i teorii kinetycznej ze współczesnego dwuwymiarowego punktu widzenia grafenu	
13.	Treści programowe: Studenci otrzymują narzędzia niezbędne do zrozumienia i wykonywania podstawowych obliczeń dla materiałów dwuwymiarowych, takich jak grafen i materiałów pokrewnych (np. heksagonalny azotek boru). W szczególności wyjaśnione zostanie pochodzenie stożków Diraca w strukturze pasmowej i omówione zostaną powiązania z innymi teoriami dotyczącymi fermionów Diraca, dla których opracowano rachunek relatywistyczny w kwantowej teorii pola. Wykład dotyczący grafenu będzie wprowadzeniem do tematyki „materii chiralnej”, zbudowanej z bezmasowych fermionów Diraca i zjawisk z nią związanych, takich jak minimalne przewodnictwo (przejście Motta), paradoks Kleina i mechanizm tworzenia par Schwingera, faza Berry'ego itp. Skupimy się m.in. na ekranowaniu oddziaływań, tworzeniu stanów związanych i dysocjacji, ekscytonach i plazmonach w układach elektronowych i oddziaływaniu światła z materią w eksperymentach z użyciem lasera.	
14.	Zakładane efekty uczenia się są takie, że student:	Symbole odpowiednich

	zna: - strukturę elektronową idealnego grafenu i grafenu w polu magnetycznym - strukturę pasmową w polu magnetycznym i fazę Berry'ego - paradoks Kleina i jego zastosowanie do grafenu - właściwości termiczne grafenu, w tym korelacje w postaci ekscytonów i plazmonów - właściwości transportu, takie jak minimalne przewodnictwo i formułę Kubo, posiada umiejętności: - wyznaczenia zależności dyspersyjnych (struktura pasmowa) fermionów Diraca w grafenie - sformułowania problemu tunelowania Kleina dla jednowarstwowego grafenu - rozwiązywania równania kinetycznego powstawania nośników ładunku (mechanizm Schwingera) i wyliczania ich wpływu na prądy przewodzenia i polaryzacji pod wpływem zewnętrznych pól laserowych - używania sumy statystycznej w reprezentacji całki po trajektoriach i wykonania przybliżenia pola średniego oraz posługiwania się fluktuacjami Gaussa, potrafi rozwiązać: - strukturę pasmową dla grafenu jedno- i wielowarstwowego - zależność dyspersji w polu magnetycznym - dwuwymiarowe równanie Schrödingera dla problemu tunelowania Kleina - równanie kinetyczne tworzenia się par elektron-dziura w zależnych od czasu polach zewnętrznych	kierunkowych efektów uczenia się: F2_W01, F2_W02, F2_W04, F2_W05, F2_W07, F2_U01, F2_U05, F2_U06, F2_U08, F2_U10, F2_U11, F2_K02, F2_K03, F2_K04, F2_K05
15.	Literatura obowiązkowa: - notatki z wykładów udostępnione na platformie TEAMS - podręcznik „Fizyka grafenu” Michaiła Katsnelsona Literatura zalecana: - artykuły naukowe na temat najnowszych odkryć związanych z grafenem i podobnymi materiałami niskowymiarowymi, udostępnione przez e-print arXiv i na platformie TEAMS	
16.	Metody weryfikacji zakładanych efektów uczenia się: - ćwiczenia i rozwiązania związane z praktycznymi programami na githubie - przygotowanie prezentacji ustnej - egzamin	
17.	Warunki i forma zaliczenia poszczególnych komponentów przedmiotu: - stałe monitorowanie obecności i postępów w zakresie zajęć - egzamin pisemny (indywidualny) - przygotowanie i realizacja projektu (grupowego)	
18.	Nakład pracy studenta	
	Forma realizacji zajęć przez studenta (pozostawić właściwe)	Liczba godzin przeznaczona na zrealizowanie danego rodzaju zajęć
	zajęcia (wg planu studiów) z prowadzącym: - wykład: - konwersatoria: - laboratorium:	20 4 6
	praca własna studenta:	

	- przygotowanie do zajęć:	10
	- czytanie wskazanej literatury:	10
	- przygotowanie prac/wystąpień/projektów:	10
	- przygotowanie do sprawdzianów i egzaminu:	15
	Łączna liczba godzin	75
	Liczba punktów ECTS	3

COURSE SYLLABUS

1.	Course: The Physics of Graphene
2.	Scientific discipline: physical sciences
3.	Teaching language: English
4.	University department: Faculty of Physics and Astronomy
5.	Course/module type – mandatory (compulsory) or elective (optional): elective
6.	University subject (programme/major): physics
7.	Study level (I or II): II
8.	Year: 1
9.	Semester (autumn/spring) autumn
10.	Form of tuition and number of hours: lecture – 20, classes – 4, laboratory - 6
11.	Initial requirements (knowledge, skills, social competences) regarding the course/module: bachelor in physics
12.	Learning objectives for the subject: • basic understanding of the interconnection between microphysical structure and macroscopic properties of graphene as a super-material • developing skills of a theoretical description of the dispersion relations and the phenomenon of Dirac points in the band structure of graphene • practicing calculations of electronic properties using python scripts on a gitlab repository • developing an understanding of the basic principles of quantum mechanics, quantum field theory, solid state physics as well as statistical physics and kinetic theory from the modern two-dimensional point of view of graphene
13.	Course content: Students are provided with the necessary tools to understand and to perform basic calculations for 2-dimensional materials like graphene and its siblings, like hexagonal boron nitride. In particular the origin of Dirac points in the band structure will be explained and the relations to other theories involving Dirac fermions will be drawn for which a relativistic, quantum field theoretic calculus has been developed. The lecture on graphene shall give an introduction to the topic of "chiral matter", made of massless Dirac fermions, and the related phenomena like minimal conductivity (Mott transition), Klein paradox and Schwinger mechanism of pair creation, Berry phase etc. General topics like screening of the interaction, bound state formation and dissociation, excitons and plasmons in electronic systems and the light-matter interaction in experiments with lasers is in the focus.

14.	The expected learning outcomes are that the student knows: - the electronic structure of ideal graphene and graphene in a magnetic field - the band structure in a magnetic field and the Berry phase - the Klein paradox and its application to graphene - the thermal properties of graphene, including correlations as excitons and plasmons - the transport properties like minimal conductivity and Kubo formula, possesses skills to: - derive the dispersion relations (band structure) of Dirac fermions in graphene - formulate the Klein tunneling problem for single-layer graphene - solve the kinetic equation for the creation of charge carriers (Schwinger mechanism) and their effect on conduction and polarization currents under the influence of external laser fields - deal with the path integral representation of the partition function and perform the mean-field approximation as well as dealing with Gaussian fluctuations, is able to solve: - the band structure for single- and multi-layer graphene and graphene - the dispersion relation in a magnetic field - the 2-dimensional Schrödinger equation for the Klein tunneling problem - the kinetic equation for electron-hole pair creation in time-dependent external fields	Learning outcomes for F2_W01, F2_W02, F2_W04, F2_W05, F2_W07, F2_U01, F2_U05, F2_U06, F2_U08, F2_U10, F2_U11, F2_K02, F2_K03, F2_K04, F2_K05
15.	Obligatory literature: - lecture notes provided on the platform TEAMS - textbook „The Physics of Graphene” by Mikhail Katsnelson Recommended literature: - research articles on recent new findings related to graphene and similar low-dimensional materials, provided by the e-print arXiv and on TEAMS	
16.	Methods for verifying the assumed learning outcomes: - exercises and solutions related to the hands-on programs on github - preparation of an oral presentation - exam	
17.	Conditions and form of passing individual components of the subject: - constant monitoring of attendance and progress in the scope of classes - written exam (individual) - preparation and implementation of a project (group)	

18.	Student's workload	
	The form of carrying out classes by the student	Number of hours allocated to carry out a given type of classes
	classes (according to the study plan) with the instructor:	
	- lecture:	20
	- conversation classes:	4
	- lab:	6
	student's own work:	
	- preparation for classes:	10
	- reading the indicated literature:	10
	- preparation of works/speeches/projects:	10
	- preparation for tests and exams:	15
	Total number of hours	75
	Number of ECTS	3