

WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI	
KARTA PRZEDMIOTU	
Nazwa w języku polskim	Nanomagnetyzm i nadprzewodnictwo w nanoskali
Nazwa w języku angielskim	Nanomagnetism and nanoscale superconductivity
Kierunek studiów (jeśli dotyczy):	
Specjalność (jeśli dotyczy):	
Stopień studiów i forma:	I / II stopień* , stacjonarna / niestacjonarna *
Rodzaj przedmiotu:	obowiązkowy / wybieralny / ogólnouczelniany *
Kod przedmiotu	FZP001098W,S
Grupa kursów	TAK / NIE*

	Wykład	Ćwiczenia	Laboratorium	Projekt	Seminarium
Liczba godzin zajęć zorganizowanych w Uczelni (ZZU)	15				15
Liczba godzin całkowitego nakładu pracy studenta (CNPS)	30				30
Forma zaliczenia	zaliczenie na ocenę				zaliczenie na ocenę
Dla grupy kursów zaznaczyć kurs końcowy (X)					
Liczba punktów ECTS	1				1
w tym liczba punktów odpowiadająca zajęciom o charakterze praktycznym (P)					
w tym liczba punktów ECTS odpowiadająca zajęciom wymagającym bezpośredniego kontaktu (BK)	1				1

*niepotrzebne skreślić

WYMAGANIA WSTĘPNE W ZAKRESIE WIEDZY, UMIEJĘTNOŚCI I INNYCH KOMPETENCJI

Kompetencje w zakresie elementarnej znajomości mechaniki analitycznej i elektrodynamiki oraz fizyki kwantowej. Nie jest niezbędna znajomość fizyki ciała stałego w zakresie wykraczającym poza standardowy kurs fizyki ogólnej.

CELE PRZEDMIOTU

- C1. Nabycie podstawowej wiedzy, uwzględniającej jej aspekty aplikacyjne, w zakresie:
- C1.1. struktury i dynamiki magnetyzacji w układach nanoskopowych,
 - C1.2. struktury i dynamiki stanu nadprzewodzącego w nanodrutach,
 - C1.3. Fizyki solitonów i fal nieliniowych,
 - C1.4. Przejść strukturalnych (fazowych) w układach niskowymiarowych, z naciskiem na klasyczne i kwantowe obiekty topologiczne: ściany domenowe, wiry i antywiry, stanowiące podstawę nowych technologii o istotnym stopniu zaawansowania.
- C2. Zdobycie umiejętności jakościowego rozumienia wybranych procesów i opisu fizycznego wybranych obiektów.
- C3. Nabycie kompetencji, umożliwiających samodzielną ocenę efektywności niektórych, istniejących technologii i możliwości ich usprawnienia.

PRZEDMIOTOWE EFEKTY KSZTAŁCENIA osoby która zaliczyła kurs

z zakresu wiedzy:

- PEK_W01 – zna znaczenie obiektów topologicznych; ścian domenowych, wirów i antywirów dla nowych nanotechnologii klasycznych i kwantowych
- PEK_W02 – zna podstawy opisu dynamiki ferromagnetyków w nanoskali, w ramach idealizowanych modeli jedno- i dwuwymiarowych oraz symulacji numerycznych, podstawowe typy ścian domenowych w nanodrutach i nanowarstwach oraz wirów w nanowarstwach
- PEK_W03 – zna podstawy opisu dynamiki stanu nadprzewodzącego w nanodrutach w obszarze krytycznym parametrów termodynamicznych, modele klasycznych i kwantowych uślizgów fazy („phase slips”)
- PEK_W04 – zna pojęcia solitonu, solitonu topologicznego, solitonów jasnego i ciemnego, frontu fazowego, idee metody bezpośredniej (Hiroty) opisu solitonów.
- PEK_W05 – zna mechanizmy topologicznych przejść strukturalnych: anihilacja (kreacja) pary kink-antykink lub wir-antwir (mechanizm Berezinskiego-Kosterlitz-Thoulessa) oraz anihilacja (kreacja) pary frontów fazowych

Z zakresu umiejętności:

- PEK_U01 – potrafi wykonać analizę asymptotyki klasycznych stanów dwusolitonowych (zderzeń solitonów)
- PEK_U02 – potrafi wyznaczyć energię ściany domenowej (wiru) i pary ścian domenowych kink- antykink (pary wir-antwir) i oceniać stabilność tych obiektów
- PEK_U03 – potrafi przeprowadzić kwantowanie układu z parą kanonicznie sprzężonych zmiennych faza-ładunek (faza-liczba cząstek)

Z zakresu kompetencji społecznych:

- PEK_K01 – jest świadoma aktualnych problemów realizacji nowych nanotechnologii opartych na obiektach topologicznych w magnetykach i nadprzewodnikach
- PEK_K02 – jest świadoma granic przydatności opisu analitycznego i możliwości modelowania numerycznego obiektów topologicznych w ferromagnetykach i nadprzewodnikach w nanoskali
- PEK_K03 – podejmuje dyskusję potencjalnych możliwości nanotechnologii opartych na magnetykach i nadprzewodnikach

TREŚCI PROGRAMOWE

Forma zajęć - wykład		Liczba godzin
Wy1	Przedmiot zajęć: pojęcie ściany domenowej, wiru i antywiru (liczby topologiczne), obiekty topologiczne jako solitony, klasyczne i kwantowe przejścia fazowe w układach niskowymiarowych. Motywacja praktyczna: urządzenia spintroniczne na wirach magnetycznych i magnetycznych ścianach domenowych (nanooscylatory, super-gęsty zapis, realizacje logiki), q-bity na złączach Josephsona. Motywacja poznawcza: twierdzenia Mermin-	1

	Wagnera i Hohenberga, topologiczne przejścia fazowe (mechanizm Berezinskigo-Kosterlitz-Thoulesa, zjawiska bifurkacyjne).	
Wy2	Podstawowe oddziaływania spinowe w ferromagnetykach: wymienne, dipolowe, anizotropia jedno-jonowa, czynniki demagnetyzacji. Równanie Landaua-Lifszycy-Gilberta w jednym wymiarze z anizotropią dwuosiową, rozwiązanie typu ściany domenowej, statyczne ściany domenowe (typu Neela i Blocha). Kręty transferu spinu: normalny i anomalny. Dynamika ściany domenowej w obecności podłużnego pola magnetycznego i/lub prądu elektrycznego.	2
Wy3	Objętościowe i powierzchniowe ładunki magnetyczne, potencjał magnetyczny. Równanie Landaua-Lifszycy-Gilberta w dwóch wymiarach, rozwiązania typu ściany domenowej (Neela, Blocha, cross-tie), wiru i antywiru (Bielavina-Polyakova). Równanie Laplace'a w dwóch wymiarach (planarny model XY), rozwiązania typu ściany domenowej cross-tie, wiru i antywiru. Numeryczny mikromagnetyzm: symulacje struktury ścian domenowych w nanotaśmach i wirów/antywirów w nanokropkach ferromagnetycznych (propozycja: pakiet symulacyjny OOMMF).	2
Wy4	Energia ściany domenowej i energia wiru. Oddziaływania ścian domenowych i oddziaływania wirów. Anihilacja par kink-anty-kink (jednowymiarowy ferromagnetyk) oraz wir-antwir (planarny model XY). Symulacje zderzeń ścian domenowych w nanotaśmach (w obecności zewnętrznego pola magnetycznego): rola wirów i antywirów w strukturze ścian domenowych. Przejścia fazowe Berezinskigo-Kosterlitz-Thoulesa w planarnym modelu XY.	2
Wy5	Oddziaływanie Dzyaloshinskigo-Moriyi w magnetykach chiralnych i w międzypowierzchniach magnetyk-podłoże. Równanie Landaua-Lifszycy-Gilberta z członem Dzyaloshinskigo-Moriyi, rozwiązanie typu skyrmionu, energia i stabilność skyrmionu. Monowarstwy magnetyków chiralnych, model podwójnej wymiany i ferromagnetyczny sigma model, rozwiązania typu skyrmionu i antiskyrmionu, sieci skyrmionów, fazy taśmowe. Symulacje atomistyczne skyrmionów (propozycja: pakiet symulacyjny VAMPIRE).	2
Wy6	Ściany domenowe w układach krytycznych. Dynamiczne równanie Ginzburga-Landaua z zespolonym parametrem porządku (model XY) i równanie Grossa-Pitaevskiego w jednym wymiarze, rozwiązania typu ściany domenowej (Isinga, Blocha), para kink-anty-kink kontra ciemny soliton. Przejście strukturalne (bifurkacja) „Bloch-Ising”, fronty fazowe powyżej punktu bifurkacji, spontaniczna propagacja frontów faowych. Zastosowanie do nadprzewodników (ściany domenowe jako uślizgi fazy parametru porządku - „phase slips”), nadciężcy i układów reakcyjno-dyfuzyjnych (równanie Ginzburga-Landaua z zespolonymi współczynnikami). Zjawiska bifurkacyjne w nadprzewodzących nanodrutach (skoki krzywej prądowo-napięciowej).	2
Wy7	Kwantowanie ścian domenowych w jednym wymiarze („quantum phase slips”); kanoniczne sprzężenie ładunku i fazy. Równoważność stanów wielu ścian domenowych i łańcuchów kwantowych złącz Josephsona. Q-bity i łańcuchy q-bitów na złączach Josephsona	2

	(kwantowanie ładunku i kwantowanie strumienia magnetycznego). Energia układu kwantowych ścian domenowych, przejście fazowe Berezinskiego-Kosterlitz-Thoulesa w układzie kwantowym.	
Wy8	Nadprzewodnictwo w nanotaśmach – oscylacje własności nadprzewodników z rozmiarami (poprzeczne kwantowanie ruchu parametru porządku). Rola prądu nadprzewodnictwa w opisie „uślizgów fazy” parametru porządku (teoria Langera-Ambegaokara) i w opisie kwantowych uślizgów fazy (teoria Zaikina-Golubieva). Przejście fazowe nadprzewodnik – izolator w krótkim drucie a realizacja q-bitu. Symulacje numeryczne uślizgów fazy – rezultaty literaturowe.	2
	Suma godzin	15
Forma zajęć - seminarium		
Se1	Wybrane zastosowania równania sine-Gordon; fluksony w długich złączach Josephsona, samo-indukowana przezroczystość	2
Se2	Solitony na przykładzie równania sine-Gordon. Metoda Hiroty. Rozwiązania dwu-solitonowe: zderzenia solitonów, „breather”.	2
Se3	Solitony na przykładzie stacjonarnego równania sine-Gordon w dwóch wymiarach. Metoda Hiroty. Rozwiązania dwu-solitonowe: ściany domenowe, wiry, antywiry. Równanie Laplace’a jako przypadek graniczny.	2
Se4	Solitony w układach dyskretnych na przykładzie różniczkowo-różnicowego równania sine-Gordon. Metoda Hiroty dla równań różnicowych.	2
Se5	Wiry w układach dyskretnych na przykładzie różnicowego równania sine-Gordon.	2
Se6	Rozwiązania wielosolitonowe w formie wyznaczników Wrońskiego i pfaffianów typu-Wrońskiego, analogia do stanów wielo-fermionowych (wyznaczniki Slatera, pfaffiany), diagramy Mayi. Przykład: równanie sine-Gordon w jednym i dwóch wymiarach.	2
Se7	Kwantowanie równania sine-Gordon: kwantowe solitony optyczne i gaz fermionów w jednym wymiarze (Hallowskie stany krawędziowe)	3
	Suma godzin	15

STOSOWANE NARZĘDZIA DYDAKTYCZNE

- N1. Wykład tradycyjny z wykorzystaniem transparencji
N2. Konsultacje
N3. Praca własna – samodzielne studia i przygotowanie do seminarium

OCENA OSIĄGNIĘCIA PRZEDMIOTOWYCH EFEKTÓW KSZTAŁCENIA

Oceny (F – formująca (w trakcie semestru), P – podsumowująca (na koniec semestru))	Numer efektu kształcenia	Sposób oceny osiągnięcia efektu kształcenia
F	PEK_U01-PEK_U03	seminarium

P	PEK_W01÷PEK_W05 PEK_U01÷PEK_U03 PEK_K01÷PEK_K03	egzamin pisemno-ustny
---	---	-----------------------

LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA - Wykład

LITERATURA PODSTAWOWA:

- [1] A. Szewczyk, A. Wiśniewski, R. Puźniak, H. Szymczak, *Magnetyzm i nadprzewodnictwo*, PWN
- [2] J. Solyom, *Fundamentals of the Physics of Solids*, vol. 1 – Structure and Dynamics, Springer.
- [3] F. Altomare, A. M. Chang, *One-dimensional superconductivity in nanowires*, Wiley

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- [1] H.-B. Braun, *Topological effects in nanomagnetism: from superparamagnetism to chiral quantum solitons*, Adv. Phys. 61 (2012) 1
- [2] M. Klaui, *Head-to-head domain walls in magnetic nanostructures*, J. Phys: Condens. Matter 20 (2008) 313001
- [3] S. Parkin, S.-H. Yang, *Memory on the racetrack*, Nat. Nanotechnology 10 (2015) 195
- [4] W. van Saarloos, P. C. Hohenberg, *Fronts, pulses, sources and sinks in generalized complex Ginzburg-Landau equations*, Physica D 56 (1992) 303
- [5] A. Janutka, *Complexes of domain walls in one-dimensional ferromagnets near and far from phase transition*, Acta Phys. Pol. A 124 (2013) 23
- [6] N. Nagaosa, Y. Tokura, *Topological properties and dynamics of magnetic skyrmions*, Nat. Nanotechnology 8 (2013) 899
- [7] M. Ezawa, *Compact merons and skyrmions in thin chiral magnetic films*, Phys. Rev. B 83 (2011) 100408(R)

LITERATURA PODSTAWOWA I UZUPEŁNIAJĄCA - Seminarium

LITERATURA PODSTAWOWA:

- Se1: A Barone, F Esposito, CJ Magee, AC Scott, *Theory and applications of the sine-Gordon equation*, La Rivista del Nuovo Cimento 1 (1971) 227
- Se2: R. Hirota, *Exact Solution of the Sine-Gordon Equation for Multiple Collisions of Solitons*, J. Phys. Soc. Japan 33 (1972) 1459
- Se3: A. Nakamura, *Relation Between Certain Quasi-Vortex Solutions and Solitons of the Sine-Gordon Equation and Other Nonlinear Equations*, J. Phys. Soc. Japan 52 (1983) 1918
- Se4: S. Takeno, S. Homma, *A sine-lattice (sine-form discrete sine-Gordon) equation – one- and two-kink solutions and physical models*, J. Phys. Soc. Japan 55 (1986) 65
- Se5: S. Takeno, K. Hori, K. Ohtsuka, S. Homma, *Approximate (Asymptotically Exact) Solutions for Anharmonic Localized Modes and Vortex like Modes and Exact Static Vortex like Mode Solutions in the D-Dimensional Sine-Lattice Equation*, J. Phys. Soc. Japan 63 (1994) 1295,
- R. Hirota, *Discrete analogue of a generalized Toda equation*, J. Phys. Soc. Japan 50 (1981) 3785
- Se6: R. Hirota, *The direct method in soliton theory*, Cambridge Univ. Press,
- Se7: R. K. Bullough, M. Wadati, *Optical solitons and quantum solitons*, J. Opt. B 6 (2004) S205

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

- Se1: P. Maystre, M. Sargent III, *Elements of quantum optics*, Springer
- Se2, J. Rubinstein, *Sine-Gordon equation*, J. Math. Phys. 11 (1970) 258
- Se3: S. Takeno, *Multi-(Resonant-Soliton)-Soliton Solutions and Vortex-Like Solutions to Two- and Three-Dimensional Sine-Gordon Equations*, Prog. Theor. Phys. 68 (1982) 992,
R. Hirota, *Exact Solution of the Sine-Gordon Equation for Multiple Collisions of Solitons*, J. Phys. Soc. Japan 33 (1972) 1459
- Se4, Se5: R. Hirota, *Nonlinear partial difference equations III; discrete sine-Gordon equation*, J. Phys. Soc. Japan 43 (1977) 2079,
R. Hirota, *The direct method in soliton theory*, Cambridge Univ. Press
- Se7: P. B. Wiegmann, *One-dimensional Fermi system and plane xy model*, J. Phys. C 11 (1978) 1583

OPIEKUN PRZEDMIOTU (IMIE, NAZWISKO, ADRES E-MAIL)

Andrzej Janutka, Andrzej.Janutka@pwr.edu.pl

MACIERZ POWIĄZANIA EFEKTÓW KSZTAŁCENIA DLA PRZEDMIOTU
Nanomagnetyzm i nadprzewodnictwo w nanoskali
Z EFEKTAMI KSZTAŁCENIA NA KIERUNKU Inżynieria Kwantowa
I SPECJALNOŚCI – bez specjalności

Przedmiotowy efekt kształcenia	Odniesienie przedmiotowego efektu do efektów kształcenia zdefiniowanych dla kierunku studiów i specjalności (o ile dotyczy)**	Cele przedmiotu***	Treści programowe***	Numer narzędzia dydaktycznego**
PEK_W01	K1INK_W08	C1,C3	Wy1 – Wy8 Se1,Se7	N1,N3 N2,N3
PEK_W02	K1INK_W06, K1INK_W07, K1INK_W13	C1,C2,C3	Wy1-Wy5 Se1-Se6	N1,N2,N3 N2,N3
PEK_W03	K1INK_W06, K1INK_W07, K1INK_W08	C1,C2,C3	Wy1,Wy6-Wy8 Se2-Se7	N1,N2,N3 N2,N3
PEK_W04	K1INK_W02, K1INK_W06, K1INK_W13	C1,C2	Wy1-Wy7 Se2-Se7	N1,N3 N2,N3
PEK_W05	K1INK_W06, K1INK_W13	C1,C2	Wy1,Wy2- Wy4,Wy6,Wy7 Se7	N1,N3 N2,N3
PEK_U01	K1INK_U01, K1INK_U06, K1INK_U12	C1,C2	Wy4-Wy6 Se2,Se4	N1,N3 N2,N3
PEK_U02	K1INK_U01, K1INK_U06, K1INK_U12	C1,C2	Wy2-Wy7 Se1-Se5,Se7	N1,N3 N2,N3
PEK_U03	K1INK_U01, K1INK_U06, K1INK_U12	C1,C2	Wy7,Wy8 Se7	N1,N3 N2,N3
PEK_K01	K1INK_K01, K1INK_K05,	C1,C3	Wy1-Wy8 Se6,Se7	N1,N3 N2,N3
PEK_K02	K1INK_K01, K1INK_K05	C1,C2,C3	Wy3-Wy5,Wy8 Se1,Se6,Se7	N1 N2
PEK_K03	K1INK_K06, K1INK_K07	C3	Wy1-Wy8 Se1-Se7	N1,N3 N2,N3

** - wpisać symbole kierunkowych/specjalnościowych efektów kształcenia

*** - z tabeli powyżej