

|    |                           |                                                        |
|----|---------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1. | Nazwa kierunku            | fizyka                                                 |
| 2. | Cykl rozpoczęcia          | 2017/2018 (semestr zimowy), 2018/2019 (semestr zimowy) |
| 3. | Poziom kształcenia        | studia drugiego stopnia                                |
| 4. | Profil kształcenia        | ogólnoakademicki                                       |
| 5. | Forma prowadzenia studiów | stacjonarna                                            |

**Moduł kształcenia:** Wstęp do teorii ciała stałego

**Kod modułu:** 0305-2F-12-60

**1. Liczba punktów ECTS:** 7

| 2. Zakładane efekty kształcenia modułu |                                                                                                                                                                                           |                             |                                |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| kod                                    | opis                                                                                                                                                                                      | efekty kształcenia kierunku | stopień realizacji (skala 1-5) |
| 2F_60_1                                | ma pogłębioną wiedzę z wybranych działów fizyki teoretycznej i doświadczalnej                                                                                                             | KF_W02                      | 3                              |
| 2F_60_2                                | posiada poszerzoną wiedzę z mechaniki kwantowej i fizyki statystycznej                                                                                                                    | KF_W03                      | 4                              |
| 2F_60_3                                | zna i rozumie opis zjawisk fizycznych w ramach wybranych modeli teoretycznych; potrafi samodzielnie odtworzyć i wyjaśnić podstawowe prawa fizyczne                                        | KF_U03                      | 3                              |
|                                        |                                                                                                                                                                                           | KF_W04                      | 4                              |
| 2F_60_4                                | ma pogłębioną wiedzę z zakresu fizyki fazy skondensowanej                                                                                                                                 | KF_W05                      | 4                              |
| 2F_60_5                                | Zna i potrafi zastosować formalizm matematyczny przydatny w konstruowaniu i analizie modeli fizycznych o średnim poziomie złożoności; rozumie konsekwencje stosowania metod przybliżonych | KF_U09                      | 1                              |
|                                        |                                                                                                                                                                                           | KF_W06                      | 4                              |

| 3. Opis modułu |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Opis           | <p>Podczas wykładu student poznaje następujące zagadnienia:</p> <p>Kwantowo mechaniczny, nierelatywistyczny opis stanów elektronowych w ciele stałym, twierdzenie Blocha, pęd elektronu w ciele stałym, identyczność elektronów, jej konsekwencje, formalizm drugiego kwantowania.</p> <p>Najprostsze układy wielociałowe opisywane w formalizmie drugiego kwantowania (układ dwupoziomowy, z różną liczbą elektronów)</p> <p>Ogólna postać Hamiltonianu opisującego własności elektronów w ciele stałym, jego połowa postać, przydatne bazy jednocząstkowe użyteczne przy zapisie ogólnej postaci Hamiltonianu, jednocząstkowa baza Blocha, Wanniera. Transformacja unitarna wiążąca obie te bazy. Rozbicie ogólnej postaci Hamiltonianu na 16 różnych typów.</p> <p>Najprostsza postać wielopasmowa Hamiltonianu dla elektronów w ciele stałym, przybliżenie swobodnych elektronów, przybliżenie ciasnego wiązania (TBA-tight binding approximations).</p> <p>Kohezja jej opis w przybliżeniu TBA, rola hybrydyzacji międzypasmowej w kohezji ciał stałych.</p> |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                          | <p>Kropki kwantowe, układy 1D,2D,3D w przybliżeniu TBA i najprostsze wielociałowe modele dla nich</p> <p>Propagator elektronowy w ciele stałym, operator rezolwenty, formalny szereg zaburzeń, jednocząstkowa gęstość stanów (DOS-density of states) jako podstawowa wielkość opisująca stany elektronowe, macierz rozpraszania.</p> <p>Układy nieuporządkowane opis jednocząstkowy nieporządku, nieporządek diagonalny i niediagonalny w macierzy krystalograficznej, metoda koherentnego potencjału (CPA-coherent potential approximation) i jej zastosowanie do stopów metali z różnych grup układu okresowego.</p> <p>Operator energii własnej (self energy operator), równanie Dysona, „gołe” i „ubrane” cząstki, koncepcja kwazicząstek, ich masa i czas życia.</p> <p>Teoria liniowej reakcji Kubo w układzie wielu ciał na zewnętrzne zaburzenie, uogólnione podatności na zewnętrzne zaburzenie elektryczne i magnetyczne.</p> <p>Prąd elektryczny w układzie w stanie bliskim stanowi równowagi, konstrukcja operatora prądu, tensor przewodnictwa elektrycznego, prawo Ohma.</p> <p>Przegląd najważniejszych, modelowych Hamiltonianów mających zastosowanie do ciała stałego (modele Hubbarda, Andersona, s-f, sieci Kondo, Isinga, Heisenberga), interpretacja parametrów w tych modelach.</p> <p>Najprostsze przybliżenia wielociałowe (przybliżenie pola molekularnego, przybliżenie RPA) stosowane do tych modeli, ich rezultaty i weryfikacja eksperymentalna.</p> <p>Teoria funkcjonału gęstości DFT-(Density Functional Theory) – podstawy, znaczenie jednocząstkowej gęstości stanów, układy fermionowe.</p> <p>Przybliżenia stosowane do DFT (LDFT, LSDFT, LDA+U), najważniejsze rezultaty otrzymane z tych przybliżeń, i interpretacja wyników otrzymanych z DFT. Uogólnienia na przypadek skończonych temperatur. Poprawki wielociałowe GW.</p> <p>Stany elektronowe w przybliżeniach zastosowanych do DFT dla ciał stałych, ich fizyczna interpretacja i weryfikacja eksperymentalna..</p> <p>Elementarna teoria fotoemisji z powierzchni ciała stałego, wyrażenie prądu fotoemisji przez gęstości spektralne efekty wielociałowe,.</p> <p>Uogólnienia teorii funkcjonału gęstości, TDFT (time dependent DFT), współczesne zastosowania.</p> <p>Podczas zajęć konwersatoryjnych student:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>opanuje techniki wykonywania obliczeń z wykorzystaniem operatorów kreacji i anihilacji</li> <li>uczy się stosować liniową teorię Kubo do wyznaczania reakcji układu na zaburzenie</li> <li>uczy się opisywać zjawiska fizyczne w języku drugiego kwantowania</li> <li>uczy się posługiwać się funkcjami Greena używanymi w teorii ciała stałego</li> <li>wyznacza podstawowe własności fizyczne modelowanych układów w różnych przybliżeniach</li> </ul> <p>Egzamin obowiązkowy</p> |
| <b>Wymagania wstępne</b> | <p>Ukończony wstępny kurs mechaniki kwantowej, znajomość podstaw analizy matematycznej zmiennej rzeczywistej i zespolonej, elementów funkcji analitycznych i algebry.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

| 4. Sposoby weryfikacji efektów kształcenia modułu |                        |                                                                                                                                                      |                                             |
|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| kod                                               | nazwa (typ)            | opis                                                                                                                                                 | efekty kształcenia modułu                   |
| 2F_60_w_1                                         | kolokwium              | 3 razy w semestrze; skala ocen 2-5. Ocena końcowa z konwersatorium oparta w znacznym stopniu na wynikach z kolokwium.                                | 2F_60_3, 2F_60_4, 2F_60_5                   |
| 2F_60_w_2                                         | aktywność na zajęciach | Rozwiązywanie wcześniej postawionych problemów. Wykonywanie przy tablicy obliczeń pojawiających się w trakcie zajęć.                                 | 2F_60_3, 2F_60_4, 2F_60_5                   |
| 2F_60_w_3                                         | egzamin ustny          | warunkiem przystąpienia do egzaminu jest zaliczenie konwersatorium, zakres materiału to – wybrane zagadnienia omawiane na wykładach; skala ocen 2-5; | 2F_60_1, 2F_60_2, 2F_60_3, 2F_60_4, 2F_60_5 |

| 5. Rodzaje prowadzonych zajęć |                           |                                                               |               |                                                                           |               |                                         |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|
| kod                           | rodzaj prowadzonych zajęć |                                                               |               | praca własna studenta                                                     |               | sposoby weryfikacji efektów kształcenia |
|                               | nazwa                     | opis (z uwzględnieniem metod dydaktycznych)                   | liczba godzin | opis                                                                      | liczba godzin |                                         |
| 2F_60_fs_1                    | wykład                    | Omówienie przez wykładowcę zagadnień będących tematem wykładu | 30            | Zapoznavanie się z notatkami z wykładów, studiowanie zalecanej literatury | 60            | 2F_60_w_1,<br>2F_60_w_2,<br>2F_60_w_3   |
| 2F_60_fs_2                    | konwersatorium            | rozwiązywanie zadań przy tablicy                              | 30            | Rozwiązywanie zadań zadanych przez prowadzącego konwersatorium            | 60            | 2F_60_w_2,<br>2F_60_w_3                 |