



**UCHWAŁA Nr 14/2013**  
Rady Wydziału Fizyki i Astronomii  
Uniwersytetu Wrocławskiego  
z dnia 22 stycznia 2013 r.

Rada Wydziału Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego poparła poniższe zasady rekrutacji na studia doktoranckie na rok akademicki 2013/2014 oraz limity miejsc:

Zasady rekrutacji na studia doktoranckie astronomii na roku akad. 2013/2014

Forma studiów:  
stacjonarne

Kierownik Studium Doktoranckiego :  
dr hab. prof. UWr. Arkadiusz Berlicki tel. 71 3729374  
e-mail: berlicki@astro.uni.wroc.pl

Termin składania dokumentów:  
Do 13 września 2013 r. do godziny 15:00

Miejsce składania dokumentów:  
Sekretariat Instytutu Astronomicznego U.Wr.,  
ul. Kopernika 11, 51-622 Wrocław  
lub  
Biblioteka Instytutów Fizyki U.Wr., pl. M.Borna 9, 50-204 Wrocław.

Miejsce egzaminu kwalifikacyjnego:  
Instytut Astronomiczny U.Wr., ul. Kopernika 11, 51-622 Wrocław

Termin egzaminu kwalifikacyjnego:  
18 września 2013 r. o godz. 10:00

Zakres tematyczny egzaminu kwalifikacyjnego: astrofizyka lub fizyka Słońca.  
Lista zagadnień do egzaminu znajduje się poniżej.

Limit miejsc wynosi obecnie 10 (w tym 5 ze stypendium).

Na studia doktoranckie może być przyjęta osoba, która spełnia łącznie następujące warunki:

- posiada tytuł zawodowy magistra, magistra inżyniera, lub inny równorzędny,
- ma ogólny wynik studiów nie mniejszy niż 4,0 albo przedłoży listy rekomendacyjne od dwóch pracowników instytucji naukowych prowadzących badania w dziedzinie astronomii,
- zdała egzamin kwalifikacyjny na studia doktoranckie z zakresu astrofizyki lub fizyki Słońca,

- uzyskała zgodę pracownika Instytutu Astronomicznego U.Wr. ze stopniem co najmniej doktora na opiekę naukową w czasie studiów doktoranckich.

Opiekunem naukowym może być nauczyciel akademicki lub pracownik naukowy Instytutu Astronomicznego posiadający co najmniej stopień doktora habilitowanego w zakresie danej lub pokrewnej dyscypliny naukowej oraz aktualny dorobek naukowy z okresu ostatnich 5 lat.

Osoby niebędące obywatelami polskimi mogą podejmować i odbywać studia doktoranckie astronomii na zasadach określonych w odrębnych przepisach. Dążyć się będzie do stosowania takich samych zasad rekrutacji jak w przypadku obywateli polskich.

Przyjęcie na studia następuje w drodze konkursu według listy rankingowej sporządzonej na podstawie liczby punktów uzyskanych przez kandydatów podczas egzaminu wstępnego. W trakcie egzaminu kandydat dostaje do omówienia 3 zagadnienia z zakresu astrofizyki lub fizyki Słońca, w zależności od planowanej specjalizacji doktoranta. Listę zagadnień do egzaminu można znaleźć poniżej. Za każde z omawianych zagadnień kandydat jest oceniany w skali od 0 do 10. Listę rankingową sporządza się według sumy punktów uzyskanych na egzaminie, przy czym wyniki egzaminu określa się według następującej skali: 25-30 punktów - wynik bardzo dobry, 20-24 punktów - wynik dobry, 15-19 punktów - wynik dostateczny. Warunkiem zdania egzaminu jest uzyskanie co najmniej 15 punktów.

Decyzję w sprawie przyjęcia kandydatów ubiegających się o przyjęcie na studia doktoranckie na zasadach obowiązujących obywateli polskich podejmuje Komisja Rekrutacyjna. W przypadku cudzoziemców ubiegających się o przyjęcie na studia na warunkach innych niż obowiązujące obywateli polskich decyzję taką podejmuje Rektor.

Przy ubieganiu się o przyjęcie na Studia Doktoranckie Astronomii (SDA) od kandydatów wymagane są następujące dokumenty:

#### A. Obywatele Polski

- podanie o przyjęcie na studia doktoranckie
- informację o zamiarze ubiegania się o stypendium doktoranckie,
- kwestionariusz osobowy wydrukowany z systemu IRKa podpisany przez kandydata;
- kserokopia dowodu osobistego,
- odpis dyplomu ukończenia szkoły wyższej,
- 1 fotografia legitymacyjna (35 x 45 mm),
- zaświadczenie o średniej ze studiów, co najmniej 4,0 lub dwa listy polecające od pracowników naukowych instytucji prowadzących badania w dziedzinie astronomii,
- opinia o przydatności do pracy naukowej wraz ze zgodą przyszłego opiekuna naukowego na podjęcie się tej funkcji,
- egzemplarz pracy magisterskiej do wglądu dla członków komisji rekrutacyjnej podczas egzaminu.
- dodatkowe dokumenty określone w szczegółowych zasadach rekrutacji.

#### B. Obcokrajowcy

- podanie o przyjęcie na studia doktoranckie
- CV,

- informację o zamiarze ubiegania się o stypendium doktoranckie (dotyczy tylko obywateli Unii Europejskiej)
- kwestionariusz osobowy wydrukowany z systemu IRKa podpisany przez kandydata;
- kserokopia paszportu,
- odpis dyplomu ukończenia szkoły wyższej,
- 1 fotografia legitymacyjna (35 x 45 mm),
- zaświadczenie o średniej ze studiów, co najmniej 4,0 (jeśli kandydat ukończył studia na polskiej uczelni) lub dwa listy polecające od pracowników naukowych instytucji prowadzących badania w dziedzinie astronomii,
- opinia o przydatności do pracy naukowej wraz ze zgodą przyszłego opiekuna naukowego na podjęcie się tej funkcji,
- dokument potwierdzający dobrą znajomość języka angielskiego
- egzemplarz pracy magisterskiej do wglądu dla członków komisji rekrutacyjnej podczas egzaminu.
- dodatkowe dokumenty określone w szczegółowych zasadach rekrutacji.

Zakres egzaminu wstępnego na studia doktoranckie astronomii:

Astrofizyka:

- Geometria sfery niebieskiej.
- Układy współrzędnych sferycznych używane w astronomii.
- Ruch roczny Słońca.
- Ruch własny gwiazd.
- Instrumenty astronomiczne: konstrukcje teleskopów optycznych, wady optyczne teleskopów.
- Fotometria gwiazd, systemy fotometryczne ekstynkcja atmosferyczna i międzygwiazdowa, kalibracje, wykresy H-R gromad.
- Astrometria. Spektroskopia i spektrografy.
- Klasyfikacja widmowa gwiazd.
- Wyznaczanie temperatur efektywnych, średnic kątowych, prędkości rotacji, prędkości radialnych gwiazd; układy podwójne.
- Wyznaczanie mas, promieni gwiazd.
- Wyznaczanie odległości obiektów astronomicznych.
- Interferometria optyczna, polarymetria.
- Wykres Hertzsprunga-Russella jako podstawowy sposób porównania własności fizycznych gwiazd. Skale czasowe.
- Równanie stanu: gaz doskonały, ciśnienie promieniowania, materia zdegenerowana.
- Równania budowy wewnętrznej gwiazd: równowaga hydrostatyczna, twierdzenie o wiriale, równowaga termiczna, równanie transportu energii.
- Transport energii: promienisty, konwektywny, przewodnictwo.
- Reakcje jądrowe we wnętrzach gwiazd: tempa produkcji energii i zmiana składu chemicznego. Nieprzezroczystości materii.
- Modele politropowe: równanie Lane'a Emdena.
- Zależność masa-jasność.
- Modele ewolucyjne gwiazd: kontrakcja na ciąg główny, ewolucja podczas palenia wodoru w jądrze, ewolucja po ciągu głównym gwiazd masywnych i małowasywnych.
- Interpretacja diagramu HR dla gromad gwiazdowych.
- Modele gwiazd rotujących: prawo von Zeipela, cyrkulacja południkowa, ewolucja rotacji.
- Późne etapy ewolucji gwiazd masywnych: fizyka kolapsu i wybuchu supernowej (SN Ibc, II).
- Nukleosynteza poprzez wychwyty neutronów: procesy r i s.
- Ostatnie etapy ewolucji gwiazd: białe karły, gwiazdy neutronowe, czarne dziury.
- Ewolucja gwiazd w ciasnych układach podwójnych.
- Dyski akrecyjne wokół gwiazd.
- Gwiazdy wybuchowe.
- Wyzwania dla teorii ewolucji gwiazd: gorące podkarły, gorące węglowe białe karły, gwiazdy

helowe.

#### Fizyka Słońca:

- Widmo Słońca.
- Stała słoneczna. Liczba Wolfa.
- Prawo Hale'a.
- Wykres motylkowy.
- Pociemnienie brzegowe.
- Podstawy magnetohydrodynamiki.
- Teoria generacji pól magnetycznych na Słońcu, innych gwiazdach i planetach (teoria dynamo). Reakcje jądrowe we wnętrzu Słońca.
- Podstawy teorii plazmy.
- Równania budowy wewnętrznej Słońca: równowaga hydrostatyczna, twierdzenie o wirale, równowaga termiczna, równanie transportu energii.
- Transport energii: promienisty, konwektywny, przewodnictwo cieplne.
- Teoria promieniowania radiowego Słońca.
- Korona słoneczna.
- Wiatr słoneczny.
- Teoria rozbłysków słonecznych.
- Promieniowanie ultrafioletowe i rentgenowskie Słońca.
- Fotosfera Słoneczna.
- Transport promieniowania w atmosferze słonecznej.
- Widmo chromosfery i korony – interpretacja teoretyczna.
- Magnetosfera Ziemi i innych planet.
- Jonosfera.
- Plamy słoneczne.
- Przejawy aktywności magnetycznej Słońca.
- Protuberancje.
- Rozbłyski.
- Wielkoskalowe pola magnetyczne na Słońcu.
- Obserwacje chromosfery i korony.
- Widmo chromosfery i korony.
- Promieniowanie radiowe Słońca.
- Eksperymentalne badania wiatru słonecznego, magnetosfery Ziemi i jonosfery.
- Oddziaływania Słońca na Ziemię.

Warunki rekrutacji na Studia Doktoranckie Fizyki w roku ak. 2013/14

Forma studiów:

stacjonarne

Kierownik Studium Doktoranckiego :

dr hab. Zbigniew Jaskólski tel.071 375-92-72

e-mail: jask@ift.uni.wroc.pl

Termin egzaminu kwalifikacyjnego:

6 września 2013 r. o godz. 10

Miejsce egzaminu kwalifikacyjnego:

sala 320 (IFD)

sala 422 (IFT)

pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław

Termin składania dokumentów:

Do 5 września 2013 r.

Miejsce składania dokumentów:

Biblioteka Instytutów Fizyki UWr.,

pl. M. Borna 9, 50-204 Wrocław

Limit miejsc:

20 miejsc, w tym:

10 miejsc – Instytut Fizyki Doświadczalnej (w tym 5 miejsc ze stypendium)

10 miejsc – Instytut Fizyki Teoretycznej (w tym 5 miejsc ze stypendium)

Dokumenty niezbędne przy ubieganiu się obywateli Polski o przyjęcie na studia doktoranckie:

- podanie o przyjęcie na studia doktoranckie
- informacja o zamiarze ubiegania się o stypendium doktoranckie
- kwestionariusz osobowy wydrukowany z systemu IRKa podpisany przez kandydata;
- kserokopia dowodu osobistego
- jedna fotografia zgodna z wymiarami stosowanymi przy wydawaniu dowodów osobistych (35 mm x 45 mm);
- poświadczona przez uczelnię kserokopia dowodu osobistego
- odpis dyplomu ukończenia szkoły wyższej,
- zaświadczenie o średniej ze studiów, co najmniej 4,0 (ze studiów I i II stopnia lub jednolitych studiów magisterskich) lub dwa listy polecające od pracowników naukowych,
- opinia opiekuna naukowego, zawierająca zgodę na opiekę naukową nad kandydatem,

Dokumenty niezbędne przy ubieganiu się obywateli zagranicznych o przyjęcie na studia doktoranckie:

- podanie o przyjęcie na studia doktoranckie
- CV
- kwestionariusz osobowy wydrukowany z systemu IRKa podpisany przez kandydata;
- dyplom ukończenia studiów II stopnia lub jednolitych studiów magisterskich uzyskany w Polsce lub opatrzony apostille dyplom lub inny dokument ukończenia studiów za granicą (oryginał wraz z tłumaczeniem dokonany przez tłumacza przysięgłego), uznany zgodnie z przepisami w sprawie nostryfikacji dyplomów ukończenia studiów wyższych uzyskanych za granicą lub na podstawie umowy międzynarodowej, za równorzędny z polskim dyplomem ukończenia studiów drugiego stopnia lub jednolitych studiów magisterskich
- zaświadczenie o średniej ze studiów, co najmniej 4,0 (jeśli kandydat ukończył studia na polskiej uczelni) lub dwa listy rekomendacyjne od pracowników naukowych,
- opinia opiekuna naukowego, zawierająca zgodę na opiekę naukową nad kandydatem,
- dokument potwierdzający biegłą znajomość języka angielskiego,
- kserokopia strony paszportu ze zdjęciem,
- kopia wizy lub karty pobytu albo innego dokumentu uprawniającego do pobytu na terytorium RP
- zaświadczenie lekarskie wystawione w języku polskim lub wystawione w języku obcym wraz z tłumaczeniem na język polski dokonane przez tłumacza przysięgłego, stwierdzające brak przeciwwskazań do podjęcia studiów,
- polisa ubezpieczeniowa na wypadek choroby lub następstw nieszczęśliwych wypadków na okres kształcenia w Polsce lub Europejską Kartę Ubezpieczenia Zdrowotnego lub pisemne zobowiązanie przystąpienia do ubezpieczenia zdrowotnego w NFZ po rozpoczęciu kształcenia,
- jedna fotografia zgodna z wymiarami stosowanymi przy wydawaniu dowodów osobistych (35 mm x 45 mm);
- informacja o zamiarze ubiegania się o stypendium doktoranckie (dotyczy tylko obywateli Unii Europejskiej)

Zasady przyjęć:

O przyjęcie na studia może ubiegać się osoba, która spełnia łącznie następujące warunki:

- a) posiada tytuł zawodowy magistra, magistra inżyniera lub inny równorzędny w dziedzinie związanej z wybranym kierunkiem studiów doktoranckich,
- b) ma średnią ze studiów nie mniejszą niż 4,0 lub przedłożyła listy polecające od dwóch pracowników naukowych,
- c) uzyskała zgodę samodzielnego pracownika IFD lub IFT na opiekę naukową w czasie studiów doktoranckich,
- d) zdała egzamin kwalifikacyjny na studia doktoranckie.

Przyjęcie na studia następuje na podstawie listy rankingowej punktów uzyskanych przez kandydatów podczas ustnego egzaminu wstępnego organizowanego odrębnie dla kandydatów w dziedzinie fizyki doświadczalnej i fizyki teoretycznej. W trakcie egzaminu kandydat odpowiada na 4 pytania. Pierwsze z nich, to krótka, ustna prezentacja tezy pracy magisterskiej kandydata.

Kolejne pytania dotyczą trzech zagadnień z zakresu sprecyzowanego w dodatku do niniejszych warunków rekrutacji. Odpowiedź na każde pytanie oceniana jest w skali 10 punktowej. Warunkiem zdania egzaminu jest uzyskanie co najmniej 15 punktów. Listę rankingową sporządza się wg sumy punktów uzyskanych na egzaminie przy czym wyniki egzaminu określa się wg następującej skali:

- 30-40 punktów – wynik bardzo dobry,
- 21-29 punktów – wynik dobry,
- 15-20 punktów – wynik dostateczny.

Decyzję o przyjęciu na studia kandydatów z Polski i Unii Europejskiej podejmuje Wydziałowa Komisja Rekrutacyjna. Decyzję o przyjęciu na studia obcokrajowców spoza Unii Europejskiej podejmuje Rektor.

**UWAGA !** Opiekunem naukowym może być każdy samodzielny pracownik naukowy Instytutu Fizyki Doświadczalnej lub Instytutu Fizyki Teoretycznej w zależności od wybranej dziedziny badań.

### *Zakres egzaminu wstępnego na studia doktoranckie*

Instytut Fizyki Doświadczalnej

Zagadnienia egzaminacyjne dla kandydatów na studia doktoranckie w Instytucie Fizyki Doświadczalnej:

1. Wiązania chemiczne w kryształach.
2. Sieć krystalograficzna (translacje, symetrie, sieci Bravais'go, ważniejsze struktury krystalograficzne).
3. Sieć odwrotna, strefy Brillouina.
4. Elektrony swobodne w metalu (model Sommerfelda, rozkład Fermiego).
5. Równanie Schrödingera dla trzech wymiarów, okresowe warunki brzegowe.
6. Model elektronów prawie swobodnych.
7. Przybliżenie adiabatyczne i jednoelektronowe.
8. Metoda Liniowej Kombinacji Orbitali Atomowych ( LCAO ) i model ciasnego wiązania dla struktury elektronowej.
9. Drgania cieplne łańcucha atomów i trójwymiarowego kryształu. Równania, zależności dyspersyjne, natura drgań opisanych poszczególnymi gałęziami.
10. Ciepło właściwe ciał stałych. Zależności doświadczalne, modele Einsteina i Debye'a.
11. Gęstość stanów elektronowych w kryształach.
12. Gęstość stanów wibracyjnych w kryształach.
13. Elektronowe ciepło właściwe, przewodnictwo elektryczne i związek między nimi.
14. Model pasmowy półprzewodnika samoistnego.
15. Półprzewodniki domieszkowane.
16. Złącze p-n i mechanizm formowania bariery potencjału na tym złączu.
17. Dioda półprzewodnikowa, fotodioda, dioda luminescencyjna.
18. Laser półprzewodnikowy, budowa i działanie.
19. Praca wyjścia.
20. Emisja elektronowa z metali.
21. Zjawisko tunelowania.
22. Wybrane metody doświadczalne fizyki powierzchni:
  - o fotoemisja
  - o spektroskopia fotoelektronów
  - o LEED
  - o emisja polowa i jonowa
  - o STM
  - o AFM
23. Nadprzewodniki – podstawowe pojęcia, efekt Meisnera.
24. Równanie Londonów.
25. Podstawy teorii BCS.
26. Nadprzewodniki wysokotemperaturowe.
27. Defekty punktowe w kryształach.

28. Dyfuzja w kryształach.

29. Stopy (uporządkowane i nieuporządkowane, wykresy fazowe, parametry uporządkowania, przejście porządek-nieporządek).

30. Przejścia fazowe – definicja i przykłady przejść pierwszego i drugiego rodzaju.

Sugerowana literatura

H. Ibach, H. Lüth: *Fizyka ciała stałego*

C. Kittel: *Wstęp do fizyki ciała stałego*

A. Oleś: *Metody eksperymentalne fizyki ciała stałego*

Instytut Fizyki Teoretycznej

Każdego kandydata obowiązuje znajomość podstaw mechaniki kwantowej. Oprócz tego kandydaci wybierają jedną z pięciu grup zagadnień bardziej szczegółowych:

1. teoria pola i cząstek elementarnych;
2. teoria materii skondensowanej i fizyki statystycznej;
3. fizyka matematyczna;
4. teoria układów złożonych;
5. metody komputerowe fizyki.

Podstawy mechaniki kwantowej

1. Stany i obserwable w mechanice kwantowej.
  - o Przestrzeń stanów.
  - o Zasada odpowiedniości i związki komutacyjne dla operatorów reprezentujących wielkości fizyczne.
  - o Widmo i stany własne operatorów pędu i położenia.
  - o Widmo i stany własne operatora energii oscylatora harmonicznego.
  - o Zupełny zbiór obserwabli i reprezentacje. Pojęcie funkcji falowej.
2. Fizyczna interpretacja formalizmu mechaniki kwantowej.
  - o Możliwe wyniki pomiarów wielkości fizycznych.
  - o Prawdopodobieństwo uzyskania w pomiarze wielkości fizycznej określonych wartości (obserwable z widmem dyskretnym i ciągłym).
  - o Wpływ pomiaru na stan układu.
  - o Statystyczne charakterystyki stanów i obserwabli: wartość średnia i nieoznaczoność.
  - o Zasada nieoznaczoności Heisenberga.
3. Rozwój czasowy układów kwantowych.
  - o Równania ruchu w mechanice kwantowej.
  - o Obraz Schrödingera i równanie Schrödingera z czasem, stany stacjonarne.
  - o Obraz Heisenberga i równanie Heisenberga.
  - o Równanie Ehrenfesta.
  - o Prąd prawdopodobieństwa.
  - o Ruch cząstki swobodnej, rozptywanie się paczek falowych.
  - o Stany związane i rozproszeniowe.
  - o Sformułowanie zagadnienia rozpraszania w jednym wymiarze.
4. Potencjały schodkowe w jednym wymiarze.
  - o Skończona studnia potencjału.
  - o Próg i bariera potencjału, zjawisko tunelowania.
5. Moment pędu
  - o Podstawowe własności operatorów składowych i operatora kwadratu momentu pędu.
  - o Widmo operatorów składowych i operatora kwadratu momentu pędu, orbitalna i magnetyczna liczba kwantowa.
  - o Funkcje własne operatorów składowych i operatora kwadratu momentu pędu,
  - o Moment pędu i energia kinetyczna, ruch w polu sił centralnych.
6. Symetrie w mechanice kwantowej.
  - o Unitarne operatory przesunięcia i obrotu.
  - o Prawa zachowania pędu i momentu pędu.

7. Atomu wodoru bez spinu.
  - Sprowadzenie do zagadnienia ruchu względnego.
  - Widmo operatora energii ruchu względnego, liczby kwantowe, degeneracja.
  - Interpretacja fizyczna i potwierdzenia doświadczalne.
8. Naładowana cząstka w zewnętrznym polu elektromagnetycznym.
  - Hamiltonian oddziaływania cząstki naładowanej z zewnętrznym polem elektromagnetycznym, przekształcenia cechowania.
  - Atom wodoru w zewnętrznym polu magnetycznym, normalne zjawisko Zeemana.
  - Atom wodoru w zewnętrznym polu elektrycznym, liniowe zjawisko Starka.
9. Spin
  - Podstawy doświadczalne (anomalne zjawisko Zeemana, struktura subtelna atomu wodoru, doświadczenie Sterna-Gerlacha, zakaz Pauliego i budowa układu okresowego pierwiastków).
  - Opis spinowych stopni swobody, przestrzeń stanów i operatory składowych spinu.
  - Spinowe stopnie swobody układu dwóch cząstek ze spinem.
  - Oddziaływanie cząstki ze spinem  $\frac{1}{2}$  z zewnętrznym polem elektromagnetycznym, równanie Pauliego.
  - Cząstki identyczne, symetria funkcji falowych układu wielu cząstek.
  - Zakaz Pauliego i związek spinu ze statystyką.

#### Literatura:

- R.L. Liboff, *Introductory Quantum Mechanics*
- L.I. Schiff, *Quantum Mechanics*,
- A.S. Dawydow, *Quantum Mechanics*
- L.D. Landau, L.L. Lifshits, *Quantum Mechanics. Non-Relativistic Theory*

#### Zagadnienia szczegółowe

1. Teoria pola i cząstek elementarnych
  - Relatywistyczna mechanika kwantowa (równanie Diraca)
    - Wyprowadzenie równania Diraca.
    - Rozwiązania dla cząstki swobodnej (spin, pęd).
    - Własności transformacyjne względem grupy Lorentza.
    - Sprzężenie ładunkowe, antycząstki.
  - Literatura: J.D. Bjorken, B. Drell, *Relativistic Quantum Mechanics*.
  - Podstawowa wiedza o cząstkach elementarnych i oddziaływaniach.
    - Klasyfikacja cząstek i oddziaływań elementarnych.
    - Prawa zachowania (ładunek, liczba barionowa, liczba leptonowa, dziwność, ...) w oddziaływaniach cząstek elementarnych.
    - Elementy modelu kwarkowego (grupa SU(3), multiplety barionów i mezonów).
    - Budowa najważniejszych cząstek z punktu widzenia modelu kwarkowego.
    - Konstrukcja modelu Weinberga-Salama (podstawowe motywacje, pola lewo- i prawoskrętne, mechanizm Higgsa).
  - Literatura: D.H. Perkins, *Introduction to High Energy Physics*,
  - Podstawowa wiedza z teorii pola.
    - Formalizm lagranżowski, twierdzenie Noether, własności transformacyjne pól (pole skalarne, pole Maxwella).
    - Kwantowanie pola swobodnego, operatory kreacji anihilacji, przestrzeń Focka.
    - Teoria oddziałująca, obraz oddziaływania, rachunek zaburzeń, diagramy Feynmana.
  - Literatura: J.D. Bjorken, B. Drell, *Relativistic Quantum Mechanics*, M.E. Peskin, D.V. Schroeder, *An Introduction to Quantum Field Theory*
2. Teoria materii skondensowanej i fizyka statystyczna.
  - Sieci i struktury krystaliczne: sieć prosta, sieć odwrotna, klasyfikacja sieci.



- o Cząstka kwantowa (elektron) w zewnętrznym potencjale okresowym (teoria pasmowa), przybliżenie silnego wiązania.
- o Klasyczna i kwantowa teoria drgań sieci krystalicznej w przybliżeniu harmonicznym.
- o Magnetyzm: diamagnetyzm, paramagnetyzm i ferromagnetyzm, model Heisenberga, model Hubbarda.
- o Formalizm drugiego kwantowania.
- o Mechanika statystyczna i termodynamika idealnych gazów kwantowych.
- o Zjawiska kolektywne – przemiany fazowe w gazach i kryształach.

Literatura: N.W. Ashcroft, N.D. Mermin, *Solid State Physics*, Holt, Rinehart and Winston 1976 (*Fizyka ciała stałego*, PWN, Warszawa 1986), G.H. Wannier, *Elements of Solid State Theory*, Cambridge 1959 (*Podstawy teorii ciała stałego*, PWN 1962), S.R.A. Salinas, *Introduction to Statistical Physics*, Springer 2001, P.A. Martin, F. Rothen, *Many-Body Problems and Quantum Field Theory*, Springer 2002

### 3. Fizyka matematyczna

- o Dystrybucje i przekształcenia Fouriera
  - Przestrzeń  $S$  funkcji próbnych (funkcji gładkich na  $\mathbb{R}^n$  i szybko malejących w nieskończoności).
  - Dystrybucje temperowane  $S'$ .
  - Operacje na dystrybucjach (mnożenie przez funkcje, różniczkowanie).
  - Transformaty Fouriera funkcji całkowalnych na  $\mathbb{R}^n$ .
  - Transformaty Fouriera na  $S$  i na  $S'$ .
- o Przestrzeń Hilberta i operatory liniowe.
  - Baza, dopełnienie ortogonalne w przestrzeni Hilberta.
  - Operacje nad prz. Hilberta (suma prosta, iloczyn tensorowy).
  - Operatory ograniczone, norma operatora, operatory unitarne, hermitowskie, macierze gęstości.
  - Operatory nieograniczone, obserwable.

Literatura: M. Reed, B. Simon, *Methods of Modern Mathematical Physics*, vol. 1 chapters II,VI, VIII 1-2, vol. 2 chapter IX 1-4.

### 4. Teoria układów złożonych

- o Podstawy mechaniki statystycznej układów równowagowych.
  - Funkcje stanu. Entropia. Związki między funkcjami stanu (przekształcenie Legendre'a).
  - Warunki równowagi i stabilności układów termodynamicznych.
  - Zespół statystyczny, jego związek z wielkościami termodynamicznymi i rola granicy termodynamicznej.
  - Klasyczne zespoły statystyczne (mikrokanoniczny, kanoniczny i wielki kanoniczny) i ich związki z termodynamiką.
  - Kwantowe zespoły statystyczne (swobodny gaz fermionowy i jego własności termodynamiczne, swobodny gaz bozonowy i jego własności termodynamiczne).
- o Elementy teorii przejść fazowych.
  - Współczesna klasyfikacja przejść fazowych.
  - Różnice między ciągłymi i nieciągłymi przejściami fazowymi z punktu widzenia teorii i doświadczenia (przykłady konkretnych przejść fazowych).
  - Opis ciągłych przejść fazowych w ramach teorii Landaua.
  - Wykładniki krytyczne i klasy uniwersalności.
  - Metoda pola efektywnego na przykładzie modelu Isinga, porównanie z wynikami ścisłymi.
  - Algorytm Metropolis dla modelu Isinga.

Literatura: S. Salinas, *Introduction to Statistical Physics*, K. Huang, *Introduction to Statistical Physics*, M. Plischke, B. Bergersen, *Equilibrium Statistical Physics*, J. J. Binney, N. J. Dowrick, A. J. Fisher, M. E. J. Newman *The Theory of Critical Phenomena: An Introduction to the Renormalization Group*.

- Metody numeryczne.
  - Metody rozwiązywania układów równań liniowych.
  - Interpolacja, aproksymacja, ekstrapolacja.
  - Całkowanie i różniczkowanie numeryczne.
  - Charakterystyczne cechy arytmetyki komputerowej: całkowitej (w reprezentacji kodu uzupełnień do dwóch) i zmiennopozycyjnej (IEEE 754).
  - Powstawanie i propagacja błędów numerycznych.

Literatura: G. Dahlquist & A. Björck, *Numerical Methods*, Dover Publications, 2003.  
 J. Stoer, R. Bulirsch, *Introduction to Numerical Analysis*, Springer, 2002.

- Metody symulacji komputerowych
  - Rodzaje generatorów liczb losowych i ich właściwości.
  - Metody generowania dyskretnych i ciągłych zmiennych losowych.
  - Symulacje Monte Carlo, próbkowanie proste, przykłady zastosowań w fizyce.
  - Całkowanie metodą Monte Carlo.
  - Algorytm Metropolisa, termalizacja, błędy statystyczne.
  - Symulacje ze zmienną liczbą cząstek.
  - Zależność wyników symulacji od rozmiarów układu, skalowanie.
  - Metoda kinetycznego Monte Carlo.

Literatura: David P. Landau, *A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics*, K. Binder & D.W. Heermann, *Monte Carlo Simulations in Statistic*