

Университет Дмитрия Пожарского

**Программа дисциплины**

**«Статистическая физика II»**

Курс “Статистическая физика II” продолжает развитие идей предыдущего курса “Статистическая физика”. В нем дается углубленное изучение статистической физики периодически организованных структур (полимерных цепей, кристаллов), сил и химических реакций, приводящих к такой самоорганизации, а также неравновесных явлений в таких средах (распространение электронов, фотонов, фононов и т.д.).

1. Аннотация курса: Флуктуации и неравновесная термодинамика, кристаллы и само-формирующиеся структуры, статистика квантовых частиц, в том числе электронов, фотонов и фононов, магнетики, силы Ван-дер-Ваальса, диэлектрики, проводники, сверхпроводники, термодинамика химических реакций и кинетическая теория, явления переноса, повреждения при облучении.

2. Слушатели курса на момент начала его освоения должны владеть основными представлениями курсов математики, “Теории вероятности” и “Квантовой механики”, “Теории групп”, “Электродинамики”, “Механики”, “Динамических систем” и “Статистической физики”.

3. Предварительные темы лекционных и семинарских пар:

1. Флуктуации: корреляции, отклик и Флуктуационно-Диссипативная Теорема. Вероятность флуктуаций, нормальное распределение, дисперсия.

2. Неравновесная свободная энергия: принцип максимума свободной энергии, Теория фазовых переходов Ландау, параметр порядка, критерий Гинзбурга.

3. Симметрия кристаллов:Решетка Бравэ, основные кристаллические классы и пространственные группы, обратная решетка, нематические и холестерические жидкие кристаллы.

4. Само-формирующиеся структуры: Микрофазное расслоение полимеров, жидкокристаллическое упорядочение. Поверхностно-активные вещества и липиды в воде, амфифильные молекулы, мицеллы, двойные слои и “пузыри”, ионные насосы и микроканалы.

5. Статистика элементарных частиц: бозоны и фермионы, принцип Паули, Функции распределения, вывод из максимума энтропии, вырожденный электронный и бозе газы,Бозе-конденсация, черное излучение, сверхтекучесть.

6. Электроны в металле: Поверхность Ферми, электроны и дырки, Электроны в металлах. Энергия Ферми и квазичастицы, Теория Друде.

7. Фононы в кристалле: критерии плавления, модели Эйнштейна и Дебая, операторы рождения и уничтожения фононов.

8. Магнетики: Модели Изинга, Гейзенберга, теория среднего поля. Антиферро- и ферромагнетики. Осцилляции RKKY взаимодействия спинов. Спиновые волны, их спектр.

9. Межмолекулярные и поверхностные силы: Типы взаимодействия молекул, Ван-дер-Ваальсовские силы, потенциал Ленард-Джонса, Силы взаимодействия между поверхностями, Электростатические силы. Уравнения Пуассона-Больцмана и Дебая-Хуккеля.

10. Диэлектрики и полупроводники: p-n переход, принципы работы диодов, транзисторов, светодиодов - “старая” элементная база.

11. Сверхпроводимость: притяжение электронов в решетке и куперовские пары. Теория БКШ.

12. Теория Гинзбурга-Ландау: сверхпроводящий ток, Поверхностное натяжение, сверхпроводники I и II рода, вихревые нити. Джозефсоновские контакты, π-контакты (SFS), сквиды – принципы работы “новой” элементной базы.

13. Термодинамика химических реакций:закон Аррениуса, закон действующих масс. Диффузионно (компактное и некомпактное прохождение) - и реакционно- контролируемые реакции.

14. Кинетическое уравнение Больцмана: Интеграл столкновений, Принцип детального равновесия, H-теорема Больцмана, приближение времени релаксации.

15. Явления переноса: Теплопроводность, граничные условия, конвекция

Диффузия, коэффициенты диффузии и самодиффузии, подвижность и соотношение Эйнштейна, симметрия кинетических коэффициентов Онсагера.

16. Неравновесные явления: Инверсная среда, принцип работы лазеров.

Ядерные реакции. Повреждения конструкционных материалов при облучении.

\_\_\_\_

4. Курс “Статистическая физика II” является продолжением курса “Статистическая физика” цикла лекций о статистической физике сложных систем и необходимой ступенью для овладения курсом “Физика сложных систем”; изложение материала опирается на знание студентами основ теории прикладной математики, теории вероятности и квантовой механики, а также электродинамики и геометрической теории групп; обеспечена логическая связь с курсом “динамические системы”.

5. Примерный список задач:

- Найти распределение максимума из *N* одинаково распределенных случайных Гауссовых величин.

- Найти равновесное значение параметра порядка для системы, имеющей следующий вид разложения в ряд свободной энергии по степеням параметра порядка

считая, что *А=а(Т-Т\*)* и *a, C*и*B*– положительные константы. Показать, что в такой системе имеет место фазовый переход I рода и определить температуру фазового перехода.

- Показать, что в предыдущей модели симметричная фаза абсолютно неустойчива при температурах *T<T\*.* Найти температуру спинодали *Tsp*, при которой теряет устойчивость несимметричная фаза.

- Чем отличается теория Ландау от теории среднего поля? Выберите правильный вариант:

a) Тем, что в теории Ландау учитываются пространственные корреляции параметра порядка.

b) Теория Ландау тождественна теории среднего поля

c) Тем, что в теории Ландау не учитываются пространственные корреляции параметра порядка.

- Какое предположение о характере межмолекулярного взаимодействия приводит к теории среднего поля? Выберите правильный вариант:

a) Потенциал межмолекулярного взаимодействия не зависит от расстояния между молекулами.  
b) Потенциал межмолекулярного взаимодействия стремится к предельному значению (величине молекулярного поля) при увеличении расстояния между молекулами.

c) Потенциал межмолекулярного взаимодействия равен нулю при расстоянии между молекулами больше критического (определяемого из условия сохранения внутренней энергии системы).

- Какое условие является одним из критериев применимости теории Ландау? Выберите правильный вариант:

a) Условие малости флуктуации параметра порядка по отношению к его равновесному значению.

b) Условие малости среднего значения параметра порядка по сравнению с его термодинамическими флуктуациями.

c) Условие примерного равенства среднего значения параметра порядка и его флуктуаций.

- Вычислить статистическую сумму одномерной цепочки невзаимодействующих Изинговских спинов во внешнем поле.

- вывести выражение для намагниченности магнитной системы, состоящей из *N* спинов, взаимодействующих друг с другом с одинаковым потенциалом, равным *J/N* в термодинамическом пределе *N->http://lion.icp.ac.ru/e-learn/razumov/lection04/%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%87%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C.gif.*

*-* Почему не может существовать дальний ламеллярный порядок в системе с короткодействующими взаимодействиями частиц?

*-* Найти число квантовых состояний фотона в интервале энергий от *E* до *E+dE.*

*-* Найти среднее число частиц в квантовом состоянии без учета принципа тождественности.

- Найти силу Ван-дер-Ваальса между двумя шарами заданного радиуса, находящимися на заданном расстоянии друг от друга.

- Найти элементарную работу поляризации диэлектрика, связанную с движением зарядов, создающих поле.

- Может ли существовать сверхпроводящее состояние магнетиков? Если да, то при каких условиях?

- Притягиваются или отталкиваются вихревые нити в сверхпроводнике II рода?

- Почему сверхпроводники ведут себя в магнитном поле как диамагнетики?

- Найти распределение температуры в пространстве между двумя концентрическими сферами с радиусами *R1* и *R2>R1* заполненном од­нородным теплопроводящим веществом, если температуры сфер *Т1* и *Т2*.

В качестве отчетности студенты должны предоставить решение задач по теме курса, которые будут представлены и наиболее трудные моменты которых будут разобраны на семинарских заданиях. Кроме того, студенты могут выбрать тему из курса для более глубокого изучения и предоставить по ней реферат.

6. Литература:

*Р. Фейнман*, Статистическая механика. Курс лекций. — М.: Мир, 1978.

*Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. — М.: Наука, 1986.

*Лифшиц, Е. М., Питаевский, Л. П.* Статистическая физика. Часть 2. Теория конденсированного состояния. — М.: [Физматлит](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BB%D0%B8%D1%82), [2004](https://ru.wikipedia.org/wiki/2004_%D0%B3%D0%BE%D0%B4).

*Де Жен. П.* Идеи скейлинга в физике полимеров. — М.: Мир, 1982.

Для более глубокого изучения физики твердого тела:

О. Маделунг, *Теория твердого тела*. М: Наука, 1980 (в двух томах).

**Физика сложных систем**

Курс “Физика сложных систем” продолжает развитие идей предыдущих курсов “Статистическая физика” и “Статистическая физика II”. В курсе изучается самоорганизация материи в виде случайных фрактальных и мультифрактальных структур, иерархическая внутренняя структура и память таких систем. Рассматривается срыв жидкого течения в турбулентный режим и свойства турбулентности, топологические дефекты и зацепления, физика разрушения, а также структура и свойства основных биологических объектов - белков, РНК и ДНК.

1. Аннотация курса: Фракталы, ренормализационная группа и скейлинг, мультифракталы, деформированные энтропии и термодинамика мультифракталов, перемежаемость, топологические дефекты, иерархические системы, ассоциативная память, турбулентность, топологические зацепления, биополимеры, физика разрушения материалов.

2. Слушатели курса на момент начала его освоения должны владеть знаниями курсов “Механики”, “Динамических систем”, “Статистической физики” и “Статистической физики II”

3. Предварительные темы лекционных и семинарских пар:

1. Что такое фракталы? Примеры, фрактальная размерность, Самоподобие, фрактальность временных рядов, показатель Херста, применение к финансам.

2. Ренормализационная группа (РГ): – на примере модели Изинга, Фазовая диаграмма и фиксированные точки. Ренормализационная группа для полимеров.

3. Скейлинговое поведение вблизи точек фазового перехода II рода: Аналогия полимер-магнетик, концепция блобов в полимерах, Перколяция и модель Поттса с *n* состояниями (*n*→0), скейлинговое описание бесконечного кластера и решеточных зверей.

4. Критическая динамика вблизи точки фазового перехода: гидродинамические и флуктуационные движения, гипотеза динамического подобия.

5. Мультифракталы: Спектр мультифрактала и его обобщенная размерность, особенности спектра, фрактальная, информационная и корреляционная размерности.

6. Применение мультифракталов: переход Андерсона, химические реакции, “мультифрактальная прогулка вдоль Уолл-стрит”.

7. Деформированные энтропии: (Реньи и Цаллиса) и распределение Парето, неаддитивность, Деформированная статистика. Термодинамика мультифрактального фазового пространства.

8. Перемежаемость: когда “среднее по больнице” не характеризует систему: Мультипликативный случайный процесс, Случайная кластеризация. Логнормальные случайные процессы. Метод оптимальной траектории: Локализация электронов (а также полимеров) в случайной среде.

9. Топологические дефекты: вакансии и междоузлия, вихри, дислокации и дисклинации в кристаллах, рост кристаллов, Переход Костерлица-Тауллесса, дефекты в жидких кристаллах.

10. Иерархические системы: состояния частичного равновесия: Что такое стекла? Модель Шерингтона – Кирпатрика, старение, ультраметричность состояний и нарушение эргодичности.

11. Турбулентное течение: Переход к турбулентности - два сценария: Ландау и странных аттракторов, удвоение периода, перемежаемость.

12. Развитая турбулентность: иерархия масштабов и распределение энергий, турбулентные струи.

13. Ассоциативная память: Обучающиеся системы: – модель Хопфилда, принцип квантового распознавания.

14. Топологические зацепления в полимерах: Топологические инварианты, решение для двух зацепленных цепей. Модель трубки зацеплений. Расплав полимерных колец – упаковка ДНК в ядре. Динамика зацепленных полимеров, рептационное движение цепочек

15. Физика биополимеров (ДНК, РНК, белки): Первичная, вторичная и третичная структуры, переходы между ними, эволюционные модели, Принципы секвенирования ДНК.

16. Физика разрушения материалов: Прочность, хрупкое и пластическое разрушение, рост трещин (мультифрактальная модель). Эволюция иерархической дефектной структуры при пластической деформации, вынуждено-эластичный разрыв полимеров.

\_\_\_\_

4. Курс “Физика сложных систем” является продолжением курса “Статистическая физика II” цикла лекций о статистической физике сложных систем; изложение материала опирается на знание студентами основ теории прикладной математики, механики, теории вероятности и квантовой механики, а также электродинамики и геометрической теории групп; обеспечена логическая связь с курсом “Сложные сети”.

5. Примерный список задач:

**-** Найти размерность фракталов Кантора

- Какие характерные значения имеет корреляционная длина вблизи точки фазового перехода? Выберите правильный вариант:

a) Top of Form

a)Много меньше характерного размера потенциала межмолекулярного взаимодействия.

b) Одного порядка с характерным размером потенциала межмолекулярного взаимодействия.

c) Много больше характерного размера потенциала межмолекулярного взаимодействия.

- Какие значения имеют критические индексы корреляционной длины и параметра порядка в теории среднего поля?

- Как связаны между собой критические показатели в теории фазовых переходов 2-го рода? Выберите правильный вариант:

a) Являются независимыми величинами, характеризующими критическое поведение термодинамических коэффициентов, связанных со вторыми производными различных термодинамических потенциалов.

b) Связаны между собой и могут быть выражены через любые два

c) Могут быть разбиты на две группы независимых критических индексов.

- Для перколяции на одномерной решетке найти порог перколяции *pc*, вероятность существования перколирующего кластера, вероятность образования кластера размера *s* и средний размер кластеров.

- Найти корреляционную функцию, корреляционную длину и критический индексы для случая одномерной перколяции.

- построить преобразование ренормгруппы для двумерной модели Изинга на квадратной решетке в отсутствие поля.

- Как изменяется число Рейнольдса в сужениях?

- Привести пример ультраметричных состояний

- Вывести выражение для скорости роста кристалла с учетом диффузионного механизма подвода вещества.

- Вычислить диаметр трубки зацеплений моделируемой квадратичным потенциалом, действующим на мономеры полимерной цепи.

- Что происходит с молекулами яица при его варке?

- С чем связано усиление прочности композитных материалов?

В качестве отчетности студенты должны предоставить решение задач по теме курса, которые будут представлены и наиболее трудные моменты которых будут разобраны на семинарских заданиях. Кроме того, студенты могут выбрать тему из курса для более глубокого изучения и предоставить по ней реферат.

6. Литература:

*А. И. Олемской*, Синергетика сложных систем: Феноменология и статистическая теория. - М.: Красанд, 2009.

*Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Гидродинамика. — М.: Наука, 1986

*Лифшиц, Е. М., Питаевский, Л. П.* Физическая кинетика. — изд. 2. — М.: [Физматлит](https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BB%D0%B8%D1%82_(%D0%B8%D0%B7%D0%B4%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE)&action=edit&redlink=1), [2007](https://ru.wikipedia.org/wiki/2007_%D0%B3%D0%BE%D0%B4).

*М. В. Волькенштейн*, *Молекулярная биофизика*. М.: Наука, 1975.

Для более глубокого изучения физики сложных систем:

*Я. Б. Зельдович, С. А. Молчанов, А. А. Рузмайкин, Д. Д. Соколов*, “Перемежаемость в случайной среде,” *Успехи Физических Наук*, т. 152, N. 1, C. 3–32, 1987.

*П. А. Головинский*, Математические модели Теоретическая физика и анализ сложных систем От нелинейных колебаний до искусственных нейронов и сложных систем. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012.

Для более глубокого изучения ренормгруппы:

*А. З. Паташинский and В. Л. Покровский,* Флуктуационная теория фазовых переходов, 2-e, перер.  М.: Наука, 1982.

Для более глубокого изучения физики иерархического разрушения материалов:

*А. И. Олемской, И. А. Скляр*, “Эволюция дефектной структуры твердого тела в процессе пластической деформации,” *Успехи Физических Наук*, т. 162, N. 6, C. 29, 1992.