

Экзаменационные билеты

- 1) Уравнение Лиувилля для одночастичной функции распределения. Сохранение фазового объема. Качественный вывод ур. Больцмана со столкновительным членом для классических и квантовых газов. Ур. Больцмана в Ферми жидкости (обсуждение только особенностей формы уравнения). Пределы применимости ур. Больцмана.
- 2) Уравнение Лиувилля для многочастичной функции распределения. Сохранение фазового объема. Цепочка уравнений Боголюбова-Борна-Грина-Кирквуда (ББГК). Уравнение ББГК для одночастичной функции распределения (случай, $n=1$). Приближение слабых корреляций, уравнение Власова.
- 3) Локально-равновесное распределение (указать пределы применимости). Уравнение теплового (и энергетического) баланса. Уравнение баланса энтропии. Обоснование формулы, выражающей поток тепла через функцию распределения. Можно ли теплу (потoku тепла) сопоставить квантовый оператор? Обобщенные силы и обобщенные потоки (привести для иллюстрации пример из задания).
- 4) Кинетическое уравнение на одночастичную функцию распределения (общий вид интеграла столкновений). Вывести закон сохранения числа частиц и уравнение баланса энергии. Сформулировать H-теорему. Может ли энтропия убывать? Если да, то привести пример (для ур. Паули) и качественно обосновать.
- 5) Уравнение баланса энтропии (надо уметь выводить). Обобщенные силы и обобщенные потоки. Теоремы Онзагера (без доказательства). Привести примеры выполнения теорем Онзагера из задания. Привести примеры, когда в матрице кинетических коэффициентов $L_{12} = L_{21}$ и $L_{12} = -L_{21}$.
- 6) Обобщенные силы и обобщенные потоки. Теоремы Онзагера (без доказательства). Термоэлектрические эффекты. Эффект Зеебека. Термоэлектрический коэффициент α в металле и полупроводнике (вычислить и сравнить). Может ли в матрице кинетических коэффициентов $L_{12} = -L_{21}$? Если да, то привести пример.
- 7) Обобщенные силы и обобщенные потоки. Теоремы Онзагера (без доказательства). Эффект Пельтье на контакте металла и полупроводника. Коэффициенты Пельтье в металле и полупроводнике (вычислить и сравнить). Привести примеры, когда в матрице кинетических коэффициентов $L_{12} = L_{21}$ и $L_{12} = -L_{21}$.
- 8) Случайные процессы. Марковский случайный процесс. Пропагатор. Уравнение Чепмена-Колмогорова в интегральной и дифференциальной форме. Уравнение Чепмена-Колмогорова для детерминистического процесса. Вывести уравнение Лиувилля.
- 9) Уравнение Чепмена-Колмогорова для детерминистического процесса. Дифференциальное уравнение Чепмена-Колмогорова для марковских процессов с «кусочно-непрерывными» траекториями. Получить кинетическое уравнение Больцмана со столкновительным членом общего вида, используя уравнение Чепмена-Колмогорова. При каких физических условиях столкновительный член кинетического уравнения становится локальным в координатном пространстве? Каковы пределы применимости такого кинетического уравнения? Можно ли его использовать для описания кинетики жидкости или плотных газов?
- 10) Марковский случайный процесс. Пропагатор. Уравнение Чепмена-Колмогорова в интегральной форме. Запись пропагатора через функциональный интеграл. Почему

квантовая механика не может интерпретироваться в терминах марковских случайных процессов?

- 11) Случайные процессы. Марковский случайный процесс. Пропагатор. Дискретные марковские случайные процессы. Однородные Марковские цепи. Обратимая марковская цепь, условие детального баланса. Дискретная форма ур. Чепмена-Колмогорова. Привести пример дискретной марковской цепи из задания.
- 12) Рассеяние электронов на примесях. Вывод интеграла столкновения. Транспортное время и транспортное сечение рассеяния. Проводимость. Какое из неравенств верно: а) $\tau_{tr} < \tau$, б) $\tau_{tr} > \tau$?
- 13) Феноменологическая гидродинамика. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера. Уравнение баланса импульса. Тензор потоков импульса, тензор напряжений. Приделы применимости гидродинамики. В задаче о диффузии тяжелой частице в газе легких частиц, когда можно использовать формулу Стокса, а когда нельзя?
- 14) Феноменологическая гидродинамика, неидеальная жидкость. Тензор вязкости, обосновать его форму. Уравнение Навье-Стокса в двух видах: 1) в тензорной форме, через тензор потоков импульса, 2) в векторной форме. Обосновать, почему коэффициент (первая вязкость) в тензоре вязкости должен быть в общем случае положительным. Приделы применимости гидродинамики.
- 15) Вывести уравнения Навье-Стокса из кинетического уравнения Больцмана.
- 16) Марковский случайный процесс. Пропагатор. Вывести уравнение Фоккера Планка из уравнения Ланжевена в общем случае, используя уравнения Чепмена-Колмогорова. Соотношения Эйнштейна. Как случайные силы связаны с трением (на примере осциллятора)? Сформулировать ФДТ.
- 17) Диффузия в импульсном пространстве. Вывести уравнение Фоккера Планка (ФК) из уравнения Ланжевена, используя кинетическое уравнение Больцмана. Обосновать, при выводе ФК, почему коррелятор случайной силы и функции распределения можно считать равным нулю. Соотношения Эйнштейна. Как случайные силы связаны с трением (на примере осциллятора)? Сформулировать ФДТ.
- 18) Вывести уравнение Смолуховского, исходя из уравнения Ланжевена. Использовать кинетическое уравнение Больцмана. Обосновать, при выводе ФК, почему коррелятор случайной силы и функции распределения можно считать равным нулю. Соотношения Эйнштейна. Как случайные силы связаны с трением (на примере осциллятора)? Сформулировать ФДТ.
- 19) Марковский случайный процесс. Пропагатор. Дифференциальное уравнение Чепмена-Колмогорова для вероятности квазинепрерывного случайного марковского процесса (процесс с разрывными траекториями). Вывести уравнение Фоккера-Планка из столкновительного члена. Диффузионный случайный процесс. Пропагатор диффузионного процесса.
- 20) Двухвременные функции Грина (ФГ). Запаздывающая, опережающая и Келдышевская. Фурье представление функций Грина в случае усреднения по равновесной матрице плотности. Доказать, что ФГ зависят только от разности времен в этом случае. Флуктуационно-диссипативная теорема (ФДТ).
- 21) Представление Шредингера, Гейзенберга и взаимодействия. Операторы наблюдаемых и матрица плотности в этих представлениях. Теория Линейного отклика. Выразить поправку к среднему от наблюдаемой \hat{x} в момент времени t через запаздывающую функцию Грина оператора \hat{x} и оператора взаимодействия \hat{V} . Пусть $\hat{V} = -\hat{y}f(t)$. Найти обобщенную восприимчивость α и выразить $\langle \hat{x} \rangle$ через α .

- 22) Диссипация энергии в теории линейного отклика. Показать, что мнимая часть обобщенной восприимчивости α положительна на всех положительных частотах в устойчивых системах. Сформулировать ФДТ (через обобщенную восприимчивость). Можно ли доказать, исходя из ФДТ, что $\text{Im } \alpha > 0, \omega > 0$. Найти обобщенную восприимчивость осциллятора с трением, на который действует внешняя сила $F(t)$.
- 23) Соотношения Крамерса-Кронига. Их доказательство. Флуктуационно-диссипативная теорема для обобщенной восприимчивости. Найти флуктуацию координаты осциллятора с трением в пределе высоких температур.
- 24) Флуктуации под действием случайных сил в теории линейного отклика. Флуктуационно-диссипативная теорема и спектральная плотность флуктуаций случайных сил. На осциллятор с трением действуют случайные силы. Найти спектральную плотность их флуктуаций.
- 25) Флуктуации под действием случайных сил в теории линейного отклика. Флуктуационно-диссипативная теорема и спектральная плотность флуктуаций случайных сил. Вывести формулу Найквиста для тепловых флуктуаций напряжения на резисторе.
- 26) Теория линейного отклика. Тождество Кубо. Альтернативная форма записи обобщенной восприимчивости (без коммутаторов). Высокотемпературный предел обобщенной восприимчивости.
- 27) Формула Кубо для тензора проводимости. Оператор обращения времени в квантовой механике. Доказать соотношение Онзагера для тензора проводимости.
- 28) Теория открытых систем. Редуцированная матрица плотности. Операторы Крауса. Уравнение Линдблада. Уравнение Линдблада для наблюдаемых. Привести пример ур. Линдблада для спина-1/2 или двухуровневой системы. Где при выводе уравнений Линдблада использовалось Марковское приближение?
- 29) Уравнение Линдблада. Переход к уравнению Паули (Master equation). Условие детального баланса. Доказательство Н-теоремы для ур. Паули. Привести пример физической системы, описываемой уравнениями Паули, где энтропия будет немонотонно зависеть от времени (например, возрастать и убывать).
- 30) Описание плазмы с помощью кинетического уравнения. Бесстолкновительная плазма. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы. Спектр продольных волн в плазме. Затухание Ландау.
- 31) Описание плазмы с помощью кинетического уравнения. Бесстолкновительная плазма. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы. Спектр поперечных волн в плазме. Затухание Ландау.