

1		
Статистический метод		
	Предисловие	7
	§ 1. Методы рассмотрения систем многих частиц	11
	Границы применимости модели материальной точки и абсолютно твердого тела. Модель материального тела. Массы атомов и молекул. Количество вещества. Агрегатные состояния вещества. Основные признаки агрегатных состояний. Модель идеального газа. Динамический метод. Статистический метод. Термодинамический метод	
	§ 2. Математические понятия	18
	Постановка задачи. Случайные события. Случайные величины. Вероятность. Частотное определение вероятности. Плотность вероятности. Сложение вероятностей взаимно исключающих событий. Нормировка вероятности. Сложение вероятностей в общем случае. Условная вероятность. Независимые события. Формула умножения вероятностей для многих событий. Среднее значение дискретной случайной величины. Среднее значение непрерывно изменяющейся величины. Дисперсия. Функция распределения	
	§ 3. Макроскопическое и микроскопическое состояния системы	33
	Определение системы. Макроскопическое состояние. Равновесное состояние. Микроскопическое состояние. Статистический ансамбль систем. Микроканонический ансамбль	
	§ 4. Постулат равновероятности и эргодическая гипотеза	35
	Различие микросостояний. Постулат равновероятности. Вычисление средних по ансамблю. Вычисление средних по времени. Эргодическая гипотеза. Связь постулата равновероятности и эргодической гипотезы	
	§ 5. Вероятность макросостояния	43
	Вероятность макросостояния. Формулы элементарной комбинаторики. Расчет вероятности макросостояния. Формула Стирлинга. Формула для вероятности макросостояния. Наиболее вероятное число частиц. Биномиальное распределение. Предельные формы биномиального распределения. Распределение Пуассона	
	§ 6. Флуктуации	55
	Среднее число частиц в объеме. Флуктуации. Относительная величина	
	§ 7. Канонический ансамбль. Распределение Гиббса	60
	Скоростные и энергетические микросостояния. Определение канонического ансамбля. Распределение Гиббса, или каноническое распределение. Нормировка распределения. Вычисление средних. Статистическая сумма. Флуктуации	
	§ 8. Распределение Максвелла	65
	Два подхода к изучению распределения. Плотность состояний. Распределение Максвелла. Температура. Характерные скорости распределения Максвелла. Распределение Гаусса. Частота ударов молекул о стенку. Число молекул в различных участках распределения Максвелла. Экспериментальная проверка распределения Максвелла. Принцип детального равновесия	
	§ 9. Распределение Больцмана	78
	Независимость плотностей вероятности координат и скоростей частицы. Распределение Больцмана. Смесь газов в сосуде. Связь распределений Максвелла и Больцмана. Атмосфера планет. Зависимость поляризации полярных диэлектриков от температуры. Экспериментальная проверка	
	§ 10. Давление	87
	Основное уравнение кинетической теории газов. Уравнение Клапейрона — Менделеева. Закон Дальтона. Закон Авогадро. Барометрическая формула. Подъемная сила. Измерение давления. Молярные и удельные величины	
	§ 11. Температура	95
	Термометрическое тело и термометрическая величина. Шкала температур. Зависимость температуры от термометрического тела и термометрической величины. Термодинамическая шкала температур. Термометры. Международная практическая шкала температур. Нуль кельвин	
	§ 12. Распределение энергии по степеням свободы	103
	Число степеней свободы. Метод <i>6л</i> -мерного фазового пространства. Вычисление средней величины, относящейся к одной степени свободы. Сложные частицы со многими степенями свободы. Теорема о равномерном распределении энергии	
	§ 13. Броуновское движение	110
	Сущность. Случайное блуждание. Расчет движения броуновской частицы. Вращательное броуновское движение	
	Задачи	115

2				
Термодинамический метод				
	§ 14. Первое начало термодинамики			119
	Задачи термодинамики. Работа. Теплота. Внутренняя энергия. Первое начало			
	§ 15. Дифференциальные формы и полные дифференциалы			125
	Дифференциальные формы. Полный дифференциал			
	§ 16. Обратимые и необратимые процессы			129
	Процессы. Неравновесные процессы. Равновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы			
	§ 17. Теплоемкость			132
	Определение. Внутренняя энергия как функция состояния. Теплоемкость при постоянном объеме. Теплоемкость при постоянном давлении. Соотношение между теплоемкостями. Соотношение между теплоемкостями идеального газа. Теплоемкость идеального газа. Расхождение теории теплоемкостей идеального газа с экспериментом.			
	§ 18. Процессы в идеальных газах			140
	Изобарический процесс. Изохорический процесс. Изотермический процесс. Адиабатический процесс. Работа при адиабатическом процессе. Политропический процесс. Уравнение политропы			
	§ 19. Энтропия идеального газа			148
	Определение. Физический смысл энтропии. Расчет изменения энтропии в процессах идеального газа. Специфичность теплоты как формы энергии			
	§ 20. Циклические процессы			152
	Определение. Работа цикла. Коэффициент полезного действия. Цикл Карно. Коэффициент полезного действия цикла Карно. Вычисление к. п. д. с помощью энтропии. Формулировка Кельвина второго начала термодинамики. Формулировка Клаузиуса. Эквивалентность формулировки Кельвина и Клаузиуса. Холодильная машина и нагреватель. О других возможных циклах			
	§ 21. Термодинамическая шкала температур			164
	К. п. д. обратимых машин, работающих по циклу Карно с одинаковыми нагревателями и холодильниками. Термодинамическая шкала температур. Отрицательная термодинамическая температура			
	§ 22. Второе начало термодинамики			171
	Вторая теорема Карно. Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Второе начало термодинамики. Статистический характер второго начала термодинамики. Изменение энтропии в необратимых процессах.			
	§ 23. Термодинамические функции и условия термодинамической устойчивости			186
	Некоторые формулы математики. Определение термодинамической функции. Термодинамическое тождество. Свободная энергия, или функция Гельмгольца. Термодинамическая функция Гиббса. Соотношения Максвелла. Другой вид дифференциалов внутренней энергии, энтальпии и энтропии. Формулы для теплоемкостей. Экспериментальные данные, необходимые для полного термодинамического описания вещества. Основной критерий термодинамической устойчивости. Критерий устойчивости для системы с постоянным объемом и энтропией. Критерий устойчивости для системы с постоянными давлением и энтропией. Критерий устойчивости для системы с постоянными объемом и температурой. Критерий устойчивости для системы с постоянными температурой и давлением. Принцип Ле Шателье — Брауна. Выражение термодинамических функций через статистическую сумму.			
	Задачи			196
	§ 24. Различные модели поведения частиц			
	Модель Максвелла — Больцмана. Неразличимость частиц. Модели Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака. Формулы статистики Максвелла — Больцмана как предельный случай формул статистик Бозе — Эйнштейна и Ферми — Дирака			
	§ 25. Распределение Ферми — Дирака			201
	Подсчет числа состояний. Распределение Ферми — Дирака. Предельный переход к распределению Гиббса. Определение параметра β . Определение параметра α			
	§ 26. Распределение Бозе — Эйнштейна			204
	Подсчет числа состояний. Распределение Бозе — Эйнштейна			
	§ 27. Электронный газ			205
	Свободные электроны в металлах. Определение параметра α для электронного газа. Анализ распределения Ферми — Дирака. Уровень Ферми. Характеристическая температура. Распределение импульсов электронов. Распределение электронов по скоростям. Распределение электронов по энергиям. Средняя энергия электронов. Внутренняя энергия и теплоемкость			
3				
Электронный и фотонный газы				

4
Газы
с межмолекулярным
взаимодействием
и жидкости

§ 28. Фотонный газ	212
Излучение абсолютно черного тела. Распределение фотонов. Распределение фотонов по частотам. Формула Планка. Закон Стефана – Больцмана. Закон смещения Вина	
Задачи	216
§ 29. Силы взаимодействия	219
Силы связи в молекулах. Ионная связь. Ковалентная связь. Межмолекулярные силы в твердых телах. Структура жидкостей. Силы Ван-дер-Ваальса. Потенциал межмолекулярного взаимодействия. Системы молекул	
§ 30. Переход из газообразного состояния в жидкое	228
Экспериментальные изотермы. Критическое состояние. Область двухфазных состояний. Насыщенный пар. Плотность насыщенного пара. Правило рычага. Свойства критического состояния. Критическая опалесценция. Поведение двухфазной системы при изменении температуры при постоянном объеме	
§ 31. Уравнение Клапейрона – Клаузиуса	234
Вывод уравнения. Фазовая диаграмма. Область применимости. Приближенный интеграл уравнения Клапейрона – Клаузиуса	
§ 32. Уравнение Ван-дер-Ваальса	237
Отклонение свойств газов от идеальных. Сжимаемость. Вирialное уравнение состояния. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Вирialная форма. Свойства многочленов третьей степени. Изотермы уравнения. Метастабильные состояния. Критические параметры. Закон соответственных состояний. Сравнение уравнения Ван-дер-Ваальса с экспериментальными данными. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Об интерпретации величин, входящих в уравнение Ван-дер-Ваальса. Уравнение состояния на основе теоремы вириала.	
§ 33. Эффект Джоуля – Томсона	253
Физическая сущность эффекта. Расчет дифференциального эффекта Джоуля – Томсона. Интегральный эффект. Эффект Джоуля – Томсона в газе Ван-дер-Ваальса. Сжижение газов. Свойства вещества вблизи 0 К	
§ 34. Поверхностное натяжение	262
Свободная поверхностная энергия. Поверхностное натяжение. Механизм его возникновения. Условия равновесия на границе двух жидкостей. Условия равновесия на границе жидкость – твердое тело. Давление под искривленной поверхностью. Капиллярные явления. Поверхностно-активные вещества	
§ 35. Испарение и кипение жидкостей	271
Испарение. Динамическое равновесие. Система пар – жидкость. Давление насыщенного пара вблизи искривленной поверхности жидкости. Кипение. Перегретая жидкость. Пузырьковые камеры. Переохлажденный пар. Камера Вильсона	
§ 36. Структура жидкостей. Жидкие кристаллы	278
Парная функция распределения. Вычисление потенциальной энергии. Зависимость свойств жидкости от строения молекул. Жидкие кристаллы. Виды жидких кристаллов. Сметтики. Нематики. Холестерики. Свойства и применение	
§ 37. Жидкие растворы	285
Определение. Количественные характеристики. Растворимость. Теплота растворения. Идеальные растворы. Закон Рауля. Закон Генри. Зависимость растворимости от температуры. Диаграммы состояния раствора	
§ 38. Кипение жидких растворов	289
Особенности кипения растворов. Диаграммы состояния бинарных смесей. Разделение компонент раствора. Повышение точки кипения раствора	
§ 39. Осмотическое давление	291
Механизм возникновения. Закономерности осмотического давления. Проявление осмотического давления	
§ 40. Химический потенциал и равновесие фаз	293
Химический потенциал. Условия равновесия. Химический потенциал для однокомпонентной фазы	
§ 41. Правило фаз	296
Проблема. Правило фаз. Диаграммы состояний.	
Задачи	297
§ 42. Симметрии твердых тел	301
Твердые тела. Определение симметрии. Ось симметрии n -го порядка. Плоскость симметрии. Центр симметрии. Зеркально-поворотная ось n -го порядка. Точечные группы симметрии. Зеркальные изомеры	
§ 43. Кристаллические решетки	304
Необходимость периодической структуры. Прimitивная решетка. Неоднознач-	

5
Твердые
тела

ность выбора базиса примитивной решетки. Трансляционная симметрия. Пространственные группы. Элементы симметрии решетки. Кристаллические классы. Симметрии сложных решеток. Кристаллографические системы координат. Обозначение атомных плоскостей. Обозначение направлений	
§ 44. Дефекты кристаллических решеток	312
Определение. Точечные дефекты. Дислокации	
§ 45. Механические свойства твердых тел	313
Деформация. Тензор деформации. Упругие напряжения. Коэффициент Пуассона. Всестороннее растяжение или сжатие. Связь между модулем объемного сжатия и модулем Юнга. Связь между модулем сдвига и модулем Юнга. Пластическая деформация. Текучесть. Молекулярный механизм прочности	
§ 46. Теплоемкость твердых тел	321
Классическая теория. Теплоемкость при низкой температуре. Модель Эйнштейна. Температура Эйнштейна. Недостаточность теории Эйнштейна. Элементарные возбуждения. Нормальные моды. Фононы. Модель Дебая. Дисперсионное соотношение. Определение числа мод. Плотность мод. Теплоемкость при низкой температуре. Температура Дебая. Теплоемкость при произвольной температуре. Вывод формулы для теплоемкости, исходя из представления о фононах. Теплоемкость металлов	
§ 47. Кристаллизация и плавление	334
Определение. Кристаллизация и сублимация. Фазовые диаграммы. Аномальные вещества. Поверхности в координатах p, V, T . Жидкий гелий. Полиморфизм. Фазовые переходы первого и второго рода	
§ 48. Сплавы и твердые растворы	343
Определение. Сплавы. Твердые растворы	
§ 49. Полимеры	345
Введение. Макромолекулы. Классификация макромолекул. Образование макромолекул. Конформация макромолекул. Кристаллическая структура полимеров. Складывание цепей. Форма макромолекулярных кристаллов. Дефекты	
Задачи	352
§ 50. Виды процессов переноса	355
Время релаксации. Теплопроводность. Диффузия. Вязкость	
§ 51. Кинематические характеристики молекулярного движения	356
Поперечное сечение. Средняя длина свободного пробега. Экспериментальное определение поперечного сечения столкновений. Частота столкновений. Поперечное сечение столкновений в модели твердых сфер. Средняя длина пробега	
§ 52. Процессы переноса в газах	363
Общее уравнение переноса. Теплопроводность. Вязкость. Самодиффузия. Связь между коэффициентами, характеризующими уравнение переноса. Взаимодиффузия в газе из различных молекул. Термическая диффузия. Парадокс Гиббса	
§ 53. Времена релаксации	374
Постановка задачи. Уравнение диффузии, зависящее от времени. Уравнение теплопроводности, зависящее от времени. Время релаксации. Время релаксации для концентрации. Время релаксации для температуры. Стационарные и нестационарные задачи теплопроводности и диффузии	
§ 54. Физические явления в разреженных газах	378
Вакуум. Теплопередача при малых давлениях. Диффузия при малых давлениях. Трение при малых давлениях. Сосуды, сообщающиеся через пористую перегородку. Обмен молекулами различных сортов через пористую перегородку. Взаимодействие молекул с поверхностью твердого тела	
§ 55. Явления переноса в твердых телах	383
Диффузия. Теплопроводность. Внешняя теплопроводность	
§ 56. Явления переноса в жидкостях	386
Диффузия. Теплопроводность. Вязкость	
§ 57. Элементы термодинамики необратимых процессов	388
Задачи термодинамики необратимых процессов. Потoki и действующие силы. Связанные потоки. Соотношения взаимности Онзагера. Производство энтропии. Выбор потоков и действующих сил. Производство энтропии в тепловом потоке. Производство энтропии электрическим током. Уравнения для термоэлектрических явлений. Эффект Зеебека. Связанные электрический ток и тепловой поток. Эффект Пельтье. Эффект Томсона. Термопара	
Задачи	396
Приложение 1. Единицы СИ, используемые в молекулярной физике	397
Приложение 2. Физические постоянные	398
Предметный указатель	399