

Предисловие ко второму изданию

Предисловие к первому изданию

Введение

Глава 1. Молекулярно-кинетические представления

- § 1. Макроскопическая система как сплошная среда
- § 2. Макроскопический объект как система, имеющая внутреннюю молекулярную или атомарную структуру

Глава 2. Масштабы физических величин в молекулярной системе

- § 1. Массы
- § 2. Количество вещества
- § 3. Размеры молекул
- § 4. Газокинетические параметры

Глава 3. Термодинамические системы и их особенности

- § 1. Система многих частиц и ее параметры
- § 2. Нулевое начало термодинамики
- § 3. Термодинамическая аддитивность
- § 4. Начала термодинамики

Глава 4. Конкретизация термодинамической системы. Уравнения состояния

- § 1. Выбор способа макроскопического описания системы
- § 2. Собственно конкретизация системы
- § 3. Работа термодинамической системы
- § 4. Количество тепла и тепловое воздействие на систему

Глава 5. Физические ограничения термодинамической теории

- § 1. Квазистатические процессы
- § 2. Принцип максимальной работы

Глава 6. I начало термодинамики

- § 1. Математическое дополнение
- § 2. Дифференциальная форма I начала термодинамики
- § 3. Калориметрирование и уравнение теплового баланса

Глава 7. Идеальный газ; процессы, циклы

- § 1. Уравнение состояния идеального газа
- § 2. Математические дополнения
- § 3. Внутренняя энергия идеального газа
- § 4. Работа ΔW и количество тепла ΔQ для простейших процессов
- § 5. Адиабатический процесс
- § 6. Политропические процессы
- § 7. Циклические процессы, совершаемые идеальным газом
- § 8. Тепловая машина и тепловой насос
- § 9. Цикл Отто
- § 10. Цикл Карно
- § 11. Расчет механического эквивалента теплоты
- § 12. Барометрическое распределение плотности и давления идеального газа
- § 13. Четыре несложные задачи

Глава 8. II начало термодинамики

- § 1. Формулировки Карно и Клаузиуса
- § 2. Исторические формулировки II начала

Глава 9. Применение начал термодинамики к конкретным физическим проблемам

- § 1. Равновесие двухфазной системы
- § 2. Роль водяного пара в земной атмосфере
- § 3. Поверхностное натяжение. Капиллярные явления
- § 4. Равновесное электромагнитное излучение
- § 5. Основное следствие II начала термодинамики
- § 6. Теорема Карно о максимальном КПД тепловой машины
- § 7. Энтропия идеального классического газа
- § 8. Уравнение Ван дер Ваальса

Глава 10. II начало термодинамики для неквазистатических процессов (вторая часть II начала)

- § 1. Основное неравенство и следствия второй части II начала
- § 2. Несколько задач на расчет изменения энтропии при необратимых процессах

Глава 11. Микроскопическая теория (элементы кинетических представлений о природе теплового движения)

- § 1. Введение и математические дополнения
 - М-1. Понятие вероятности
 - М-2. Распределение Гаусса
 - М-3. Двух- и трехмерные распределения
- § 2. Классические газы. Распределение Максвелла
 - М-4. Об одном функциональном уравнении
- § 3. Примеры использования распределения Максвелла
- § 4. Распределение Максвелла--Больцмана
- § 5. Экспериментальная проверка распределения Максвелла по скоростям
- § 6. Явления переноса в газах
- § 7. Понятие "идеальный газ"
- § 8. Макроскопические проявления квантовых эффектов в свойствах термодинамических систем

Глава 12. Некоторые дополнительные вопросы

- § 1. Проблема замкнутости математического аппарата квазистатической термодинамики. III начало термодинамики
- § 2. Эффект Джоуля--Томсона
- § 3. Физика низких температур (некоторые проблемы)
- § 4. Квантовые газы и квантовые жидкости
- § 5. Фазовые переходы и их классификация
- § 6. Критические явления и гипотеза подобия

Заключение. Проблемы теории и задачи молекулярной физики

- § 1. Теория равновесных систем
- § 2. Теория неравновесных систем многих частиц
- § 3. Тепловые шумы и случайные процессы
- § 4. Реальная структура молекул
- § 5. Молекулярные проблемы экологии
- § 6. Проблема времени в механике и статистической физике

За прошедшее после выхода первого издания время, с одной стороны, произошла фактическая смена поколений, и приоритеты методов теоретических исследований сместились от аналитических в сторону компьютерных технологий; с другой стороны -- в области исследований характерных свойств термодинамических систем не произошло каких-либо открытий, которые поколебали бы научные основы термодинамики и статистической физики или задержали бы их истолкование, как это произошло, например, с явлением сверхпроводимости, в течение 47 лет ожидавшим своего научного обоснования (Нобелевская премия 1972 года). Последнее крупное достижение в области молекулярной физики -- получение и экспериментальное исследование графена -- двумерных слоев кристаллического графита (Нобелевская премия 2011 года) -- никакими необъяснимыми на теоретическом уровне явлениями не сопровождалось.

Уверившись в том, что статистическая теория не умерла (как это уже неоднократно происходило с целым рядом исторически вымерших представлений о наблюдаемых природных явлениях) и что поэтому изучение ее основ остается по сей день актуальным, заметим, что устойчивость таких теоретических дисциплин, как механика, электродинамика, квантовая механика и статистическая физика вместе с термодинамикой, связана с очень продуманной, многократно апробированной и логически замкнутой формулировкой ее основ (т.е. исходных аксиом, формирующих весь математический аппарат теории).

Этот процесс установления аксиоматики упомянутых разделов теоретической физики происходил по-разному. Например, основы классической механики были сформулированы в окончательном виде одним человеком -- Исааком Ньютоном (1687 г.), и в связи с этим она до сих пор остается однородной в смысле используемых в этой теории понятий, методов рассмотрения и даже общепринятых обозначений. С термодинамикой и статистической физикой все происходило иначе: год "рождения" термодинамики как науки -- 1824, год рождения статистической физики как молекулярной (т.е. микроскопической) теории -- 1860, а окончательное установление всех исходных понятий и аксиом произошло лишь к концу первой четверти XX века после утверждения основ квантовой механики. И за эти сто лет практически все ведущие физики XIX--XX веков старались вложить в эту термодинамическую молекулярную теорию элементы собственного ее понимания. Отзвуки этой первоначальной рыхлости в изложении основ рассматриваемой теории сохранились до наших дней и проявляются в учебных пособиях и лекционных курсах, посвященных данному разделу физики.

В связи с вышесказанным возникают проблемы, связанные с согласованием изложения исходных позиций молекулярной теории, реализуемого на школьных занятиях и на младших курсах вузов (в рамках соответствующего раздела курса общей физики) в упрощенных вариантах и с ощутимыми идейными огрехами и неточностями, с тем изложением, которое потом осуществляется на старших курсах университетов в рамках соответствующего раздела теоретической физики. Возникающая при этом необходимость переучивания (и школьников, и студентов) аналогична ликвидации клинических последствий неправильного лечения больного (не говоря уже о потере авторитета лечащего врача или ведущего педагога). Инерция мышления свойственна в той или иной мере всем людям, причем во всех сферах их деятельности -- и в науке и педагогике тоже. Ее преодолению часто мешают устоявшиеся привычки, боязнь что-либо менять (не было бы хуже), а порой -- давление авторитетов и профессорско-начальственные амбиции.

В предлагаемом читателю пособии автор уделил основное внимание исходным положениям термодинамического и статистического подхода к объяснению ряда

окружающих нас молекулярных явлений (конечно, не всех), а не аппаратным вопросам и сложным конкретным расчетам (так что это не сборник задач "олимпиадного" уровня, некоторые из которых напоминают несложные ребусы). С этим связан и порой используемый автором "литературный" стиль изложения, столь плохо воспринимаемый людьми с ортодоксальным характером мышления.

По характеру восприятия и использования освоенного материала учащиеся (а также порой и люди более старшего возраста) делятся, грубо говоря, на две категории: одни великолепно запоминают формулы, полагая, что именно в этом и состоит постижение науки, и часто удачно используют их, особо не вдаваясь в их исходный смысл; другие же интересуются в первую очередь тем, какие закономерности отражают эти формулы, каковы условия их применимости, в чем состоит процесс их получения и т.д. В своем изложении автор ориентировался в основном на последних, так как именно они и составляют тот резерв, который обеспечивает развитие научного прогресса.

Более полное и строгое в математическом отношении изложение обсуждаемых в данном пособии идей и приложений, касающихся молекулярных явлений, свойственных термодинамическим системам, содержится в цикле учебных пособий под общим заголовком "Термодинамика и статистическая физика" (том 1 -- Термодинамика, том 2 -- Статистическая физика равновесных систем, том 3 -- Теория неравновесных систем), написанном автором в расчете на уровень студентов 4-го курса физического факультета МГУ.

Введение

Нас окружает мир. Он бесконечно огромен. Он бесконечно разнообразен. Многообразие происходящих в этом мире явлений связано не только с бесчисленностью его объектов, его частей, но и с разнообразием связей между этими объектами. Не повторяя любимой фразы Козьмы Пруткина, заимствованной им якобы у Декарта, все же отметим, что человеческие возможности в области познания мира весьма ограничены не только в смысле возможностей человеческого мозга, но и просто как в пространственном отношении, так и во временном. В связи с этим можно разделить с достаточной степенью условности область исследований и сделать это прежде всего именно по пространственным и временным масштабам рассматриваемых явлений. При этом образуются как бы три большие части.

1. Вселенная, ее строение, ее эволюция. Масштабы (пространственные и временные) с обывательской точки зрения грандиозны. Информация, которая поступает к нам из Вселенной, -- это в основном электромагнитное излучение в широком диапазоне частот. Человек, изучающий далекий космос, во многих случаях наблюдает как бы мгновенные фотографии участков Вселенной, фиксирующие разные фазы сходных процессов, происходящих в разных ее частях. Изучая эти данные, люди обобщают их, строят теории, в той или иной мере объясняющие эти явления, и даже делают прогнозы.

2. Земля, отдельные находящиеся на ней объекты и ее ближайшее окружение. Эта часть окружающего нас мира доступна нам для проведения непосредственных измерений, осуществления заранее запланированных экспериментов, которые можно моделировать в лабораторных условиях, многократно повторять, уточняя получающиеся результаты, и т.д.

3. Микромир, строение молекул, из которых состоят окружающие нас предметы, строение отдельных атомов, составляющих молекулы, структура и свойства элементарных

частиц, из которых построены эти атомы, природа и особенности полей, обеспечивающих взаимодействие этих частиц друг с другом. Этим объектам исследователь непосредственно не видит, но он создает приборы (ускорители, нейтронные источники и т.д.) и с помощью уже существующих теоретических представлений об этих явлениях планирует, а затем проводит эксперименты, вскрывает новые закономерности микромира, углубляет свои теоретические знания в этой области и т.д.

Из этих трех областей, условно разделенных нами как бы по масштабному принципу, к нам относится вторая -- область исследования объектов, которые принято называть макроскопическими объектами, и связанных с ними явлений. Но даже ограничиваясь этой областью, мы не можем сразу заметить, что окружающие нас макроскопические системы очень сложны, а происходящие в них явления настолько многообразны, что описать или объяснить их с помощью одной (даже очень сложной) теории не удастся: невозможно написать универсальную формулу, которая давала бы ответ на все вопросы, касающиеся выбранной нами части мира.

В эпоху древнего мира наиболее образованные представители своего времени воспринимали окружающий мир как единое целое, объединяя свои представления о нем с определенными общими философскими построениями. Подобных философских школ было много, и они были достаточно разнообразны. До нас дошли упоминания о греческих философах начиная с VI в. до н.э., но их учения возникали не на пустом месте: не надо забывать, что существовали и более древние, чем греческая, цивилизации, в частности такая мощная как египетская. Дошедшие до нас общие рассуждения из области натурфилософии древних, а подчас и не очень древних мыслителей, несмотря на их образность, в целом умозрительны, достаточно расплывчаты и неконкретны, в связи с чем в продуктивном смысле они мало что дали для развития физики как науки (напомним только, что понятия, обозначаемые словами "физика" и "механика" были введены в обиход Аристотелем, жившим в IV в. до н.э.).

Дело становления физики как науки существенно сдвинулось лишь тогда, когда люди догадались, что целесообразно рассматривать не весь мир целиком, а выделять и анализировать отдельные группы характерных явлений, как бы обособляя их (искусственно или даже мысленно) от других. Так, на основе рассмотрения только перемещений окружающих нас предметов друг относительно друга и выявления закономерностей связанных с этими процессами явлений образовался раздел физики, называемый механикой. Основы ее как самостоятельной науки были окончательно сформулированы Исааком Ньютоном более 300 лет назад, именно он сформулировал ее как замкнутый аппарат, который позволил решать любые задачи о механическом движении и механическом равновесии тел на уровне математического расчета.

Анализ реакций систем по отношению к их нагреванию, сжатию или растяжению, исследование изменений состояния систем, не связанных с их перемещениями (в механическом понимании) привело полтора столетия назад к становлению раздела физики, называемого термодинамикой, а к концу XIX в. -- к ее молекулярной модификации, которую называют теперь статистической физикой (или статистической механикой, а иногда и статистической термодинамикой). Установление законов взаимодействия вещества с электромагнитным полем в конце XIX в. стало основой такого раздела физики как электродинамика, анализ особенностей спектров излучения и связанных с ними микроскопических явлений в начале XX в. привел к формулировке основных законов микроскопического движения на уровне отдельных молекул и атомов, к рождению и развитию физики квантовых явлений. Дальнейшее углубление в познании мира -- это изучение структуры ядер (ядерная физика) и далее -- структура самих

элементарных частиц и связанных с ними полей (квантовая теория поля, теория элементарных частиц) и т.д.

Каждый из упомянутых выше исторически образовавшихся разделов физики -- это не только этап, это как бы отдельная отрасль со своими исходными законами (называемыми часто "началами"), своим математическим аппаратом, своими методами исследования и, конечно, со своими исторически сложившимися кадрами специалистов, включая как основоположников, так и тех, кто продолжает развивать исследования в этих областях физики.

Конечно, в природе такой изолированности отдельных видов ее движения друг от друга нет, эта предполагаемая в отдельных разделах изолированность условна, это как бы предельные случаи, когда в каком-либо физическом явлении выделяются основные механизмы, движущие этими явлениями, а другими как бы пренебрегается. Рассмотрим в качестве простого примера известную задачу о том, как скатывается маленький шарик с наклонной плоскости. Естественно, что в первую очередь мы интересуемся механикой этого явления, измеряем время, определяем скорость, ускорение и т.д., т.е. решаем идеализированную модельную задачу, совершенно отвлекаясь от того, что в этом шарике (и в самой наклонной плоскости тоже) происходят и другие изменения. А между тем шарик может изменять свою температуру и объем, может немного изменить свою правильную форму, он взаимодействует с окружающей средой, что-то с него может испариться и наоборот -- что-то прилипнуть, он взаимодействует с электромагнитным излучением (благодаря последнему мы его видим и тем фиксируем последовательность его механических состояний), внутри его могут происходить и химические процессы, и ядерные (какой-либо неустойчивый изотоп распался за время эксперимента) и т.д. и т.п. Если эти сами по себе интересные, но в данном случае неучтенные эффекты регулярны, т.е. при каждом новом скатывании шарика они с абсолютной точностью воспроизводятся, то их можно соответствующими методами в конце концов учесть и рассчитать, добавив к решению механической задачи конкретную поправку. Но такая ситуация -- это редкий случай. Чаще всего неучтенные обстоятельства не являются регулярными и имеют, как говорят, случайный характер (или характер флуктуаций). В этом случае решение механической задачи определит лишь тот конечный результат, который при повторных скатываниях шарика будет воспроизводиться хотя и не всегда, но все же чаще, чем другие.

Математическое оформление каждого из упомянутых нами разделов физики в их современном состоянии не только специфично, приспособлено к решению задач только определенного типа, но часто и очень сложно (теперь аналитические методы решения задач во многих случаях срastaются с численными методами, связанными с использованием современной вычислительной техники). Это обстоятельство нашло отражение также и в научной литературе: научные журналы (объем которых, кстати, за последние десятилетия неимоверно увеличился) у нас и за рубежом специализированы по конкретным достаточно узким вопросам. Понятно поэтому, что при существующем теперь уровне развития физических наук невозможно быть одинаково высококвалифицированным специалистом сразу во всех областях физики. В лучшем случае исследователь имеет общее представление в целом о выбранной им отрасли, а специализируется он только в какой-либо узкой области (это в равной степени относится как к экспериментаторам, так и к теоретикам). Ситуация в этом отношении подобна той, которая складывается в оркестре, когда каждый его член может быть музыкантом в высоком понимании этого слова, но специалистом как правило только по отношению к одному выбранному им с детства инструменту. И при этом саму музыку делают все музыканты вместе.

Изложенная выше схема деления физической науки по отдельным отраслям несмотря на ее условность прижилась, она общепринята и оказалась достаточно удобной. Существуют и другие критерии разделения, например, принятое в официальных сферах деление естественных наук на математические, физические, химические, биологические и т.д. Сто лет назад такое деление, может быть, было естественным. Теперь же, когда современные экспериментальные методы физических исследований, доходящих до внутримолекулярного уровня, глубоко проникли в химию и биологию, когда без использования методов квантовой физики невозможно объяснить некоторые явления, считавшиеся раньше химическими или биологическими, когда без использования современных методов математической обработки невозможно извлечь необходимые результаты как из экспериментального материала, так и из теоретических разработок, такое разделение по "ведомственному" принципу уже не представляется безусловно рациональным.

И наконец, в последнее время начал обсуждаться еще один принцип деления, с которым, как это ни парадоксально, соглашаются не только некоторые известные физики, но и естествоиспытатели других профессиональных ориентаций: признается мир, происходящие в котором явления безусловно подчинены ненарушаемым законам (т.е. бесчисленное число раз проверенным на практике законам механики, термодинамики, электродинамики и т.д.), и признается параллельно ему существующий мир человеческой психологии, в котором есть место и религиозным представлениям, и разного типа парапсихологическим явлениям. Здесь открывается огромное поле для самых разнообразных заключений. В их оценке, однако, надо стараться сохранять меру: сколько бы мастер телекинеза ни напрягался, глядя на платиново-иридиевый эталон килограмма, его давление на подставку не изменится ни на сотую долю миллиграмма; точно так же, сколько бы воздушных плавков (даже транслируемых по телевидению) специалист по мануальной технике удлинения конечностей не производил над платиново-иридиевым эталоном метра, его длина не изменится ни на сотую долю миллиметра. Дело тут, конечно, не в примитивных международных эталонах: сложнейшие физические установки, такие, например, как гигантские ускорители, занимающие площадь целого города, рассчитанные на основе физических законов и построенные людьми, устойчиво и с невероятной точностью работают, выдавая устойчивые результаты, и никак не реагируют на "парапсихологическое" воздействие на них живущего в этом городе населения.

Итак, заканчивая введение, отметим в качестве общего вывода всего сказанного выше: приступая к изложению какого-либо конкретного раздела физики, мы должны прежде всего четко представить себе предмет исследования, выделив его из множества других, указав его характерные качества, а также особенности тех явлений, в которых эти качества проявляются.

Об авторе

Иридий Александрович КВАСНИКОВ

Авторитетный специалист в области статистической физики, опытный методист и преподаватель, пользующийся заслуженной любовью студентов многих поколений физического факультета МГУ.

С 1962 года является ведущим лектором и преподавателем по курсу "Термодинамика и статистическая физика" для студентов 4-го года обучения на физическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова и по курсу квантовой статистики для студентов-теоретиков 5-го года обучения.

В 1992 году автор стал лауреатом Ломоносовской премии "За создание уникального курса лекций и учебного пособия по статистической физике и термодинамике", которая была вручена впервые, а также был удостоен звания "Заслуженный преподаватель МГУ".