

ному адиабатному сжатию до тех пор, пока его давление не достигнет заданного значения  $p$ . Согласно закону Нернста *нулевая адиабата совпадает с изотермой абсолютного нуля* (рис. 212), и, следовательно, энтропия и температура тела останутся равными нулю. Теперь начнем нагревать тело, сохраняя давление на него неизменным, и будем так нагревать его до тех пор, пока температура его не достигнет заданного значения  $T$ . Когда нагревают тело при постоянном давлении, то, чтобы повысить температуру тела на  $dT$ , надо каждый раз сообщать телу теплоту  $C_p dT$ , при этом энтропия его возрастет на  $dS = \frac{C_p dT}{T}$ . Сумма (интеграл) этих величин, взятая для всего интервала температур от 0 до  $T$ , будет представлять собой абсолютное значение энтропии:

$$S = \int_0^T \frac{C_p dT}{T} \quad (25)$$

(интегрирование производится при постоянном давлении).

Здесь самое важное — то, что для вычисления абсолютного значения энтропии достаточно знать, как теплоемкость тела  $C_p$  изменяется в зависимости от температуры, и нет надобности знать, как она зависит от давления (или же от плотности) тела.

## § 106. О так называемой «тепловой смерти» мира

Нередко можно наблюдать, что выводы точных наук, вполне достоверные в той области, для которой эти выводы предназначены, проникая в философию, дают почву для смелых, но неубедительных обобщений. Примером может служить проблема так называемой «тепловой смерти» мира. Этой проблеме было уделено немало внимания и философами и физиками, несмотря на то, что сама постановка этой проблемы в корне ошибочна.

Из термодинамической теоремы о возрастании энтропии изолированной системы (при необратимых процессах) неосмотрительно было сделано заключение, что энтропия мира стремится к некоторому максимуму. Когда этот максимум будет достигнут, дальнейшее возрастание энтропии сделается невозможным, все процессы прекратятся, и мир погрузится в состояние «тепловой смерти». Мы постоянно наблюдаем, что самопроизвольно возникающие процессы всегда протекают в направлении выравнивания температур или часто в направлении выравнивания давлений и других факторов интенсивности. Под состоянием «тепловой смерти» подразумевают такое состояние мира, когда во всех участках мира температура делается одинаковой и когда распределение других факторов интенсивности окажется таким, что больше не будет уже существовать причин, способных вызвать возникновение каких бы то ни было процессов.

Легко понять, почему идеалисты ухватились за выдумку о «тепловой смерти». Им нетрудно было использовать эту выдумку для религиозной пропаганды. Действительно, если звездному миру предстояло бы когда-то прийти к состоянию «тепловой смерти», то спрашивается, почему же мир не пришел раньше к этому состоянию? На этот вопрос напрашивается ответ, что, следовательно, мир не существовал вечно. Но если мир не существовал вечно, то он когда-то возник, а если он когда-то возник, встает вопрос: кто был его творцом? Так идеалисты изобретают «доказательства» существования бога.

Попытаемся выяснить сущность методологической ошибки, породившей эту ложную проблему «тепловой смерти» мира.

Всегда, когда мы намерены сделать какое-либо обобщение, мы должны прежде всего взвесить, законно ли это обобщение, не перейдем ли мы, идя по пути обобщений, через ту грань, где количество переходит в качество. Пример теорема о возрастании энтропии верна и для больших и для малых тел, но она теряет смысл, если ее применить к слишком малым крупностям вещества, размеры которых соизмеримы с размерами молекул; для таких крупностей вещества понятие энтропии лишено физического содержания. К таким крупностям нельзя прилагать второе начало термодинамики по той простой причине, что для них стирается различие между понятиями работы и тепла.

Некоторые физические понятия и законы испытывают глубокое качественное изменение, когда мы переходим от макрофизических к микрофизическим явлениям. Недооценка этого качественного изменения одно время привела классическую физику к конфликту с теорией квантов. Нечто аналогичное мы имеем при переходе от макрофизических процессов к процессам космических масштабов (супрафизическим).

Сущность методологической ошибки в постановке вопроса о «тепловой смерти» мира заключается в игнорировании качественного изменения (при распространении термодинамики на мир в целом) всех основных понятий, используемых в теореме о возрастании энтропии: понятий изолированной системы, энтропии, равновесного состояния.

Когда в термодинамике мы говорим об изолированной системе, мы имеем в виду такую совокупность тел, на которую извне не производится механических и тепловых воздействий, но для хода доказательств в термодинамике важно, что при желании такие воздействия на систему могут быть произведены. В термодинамике изолированная система — это «часть», а не «целое». Звездный мир представляет собой нечто целое, это «изолированная система» в философском, а не в термодинамическом смысле; это такая изолированная система, которая по самой своей сути никогда не может ни отдавать, ни получать тепло. Стало быть, к звездному миру в целом никак нельзя применять понятие термодинамической системы, и уже по одному этому на мир в целом нельзя распространять теоремы термодинамики.

Чтобы разобраться в качественном изменении понятий «равновесное состояние» и «энтропия», обратимся к простому, но поучительному сопоставлению. Следуя полету фантазии, вообразим, что из крайнего удаления можно охватить взором весь звездный мир. Вообразим, что издалека мы смотрим на звездный мир как на сгусток вещества, как смотрим на воду в стакане. Мы не могли бы различить отдельные звезды. Звездный мир нам представился бы как некое сплошное супракосмическое тело. Применяя к нему по аналогии понятие равновесного состояния, мы, возможно, решили бы, что звездный мир уже находится в некоем суправывесном состоянии. Тогда с точки зрения некой «надзвездной термодинамики» звездный мир, несмотря на все богатство его жизни, представился бы уже находящимся как бы в состоянии «тепловой смерти». Так с точки зрения обычной термодинамики равновесное состояние воды, молекулы которой находятся в вечном движении, ложно кажется нам состоянием «тепловой смерти» воды.

Энтропия представляет собой величину, зависящую от термодинамических параметров — температуры, давления, плотности и т. д. Движение тела в целом, его перемещение в пространстве в термодинамике не рассматривается, а если и учитывается, то посредством сочетания выводов термодинамики с законами механики. Во всяком случае в выражение энтропии скорость тела, движущегося как целое, не входит.

Небесные тела реют в мировом пространстве подобно молекулам газа. В жизни звездного мира первенствующее значение имеют распределение небесных тел в пространстве и направление их скоростей. Но как раз эти величины не входят в величину энтропии небесного тела; они не входят также и в сумму энтропий небесных тел.

Вместе с тем очевидно, что для характеристики состояния звездных скоплений важными являются как раз эти величины — скорости движения небесных тел и распределение небесных тел в пространстве. Поэтому, если уж образовывать понятие энтропии мира, то было бы неправильно рассматривать такую величину как сумму энтропий небесных тел. Статистическое понимание термодинамики указывает, что такая величина, как энтропия мира, должна была бы быть более всего зависит от «звездной температуры» (т. е. от средней скорости движения небесных тел) и от «звездной плотности» (т. е. от числа звезд в космической единице объема), а не от температуры и плотности звезд. Кроме того, в такой величине — в энтропии мира — должны были бы найти отражение все особенности звездного мира, скопления звезд в обширные системы, подобные той (Галактике), в которую входит наше Солнце, поступательные и вращательные движения этих неимоверно громадных звездных скоплений; факторы, определяющие возникновение новых звездных скоплений и т. п. Поэтому, если существует такая величина, которая заслуживает названия энтропии мира, то это есть совершенно особая величина, некая с у п р а э н т р о п и я, не имеющая ничего общего с суммарной м а к р о э н т р о п и е й небесных тел, входящих в состав мира, и уже во всяком случае не равная ей.

Термодинамический закон возрастания макроэнтропии небесных тел предвещает направление процессов, протекающих в недрах и на поверхности небесных тел. Но этот закон ничего не может нам сказать о судьбе мира в целом. Для хода супракосмических процессов, в которые вовлечены миллиарды звезд, совершенно не существенно, где и когда какая-либо звезда погаснет и где возникает новая звезда.

Из всего сказанного ясно, что нельзя наивно делать выводы из термодинамики вне пределов ее применимости.

Современная наука со всей решительностью отвергает выдумки о возможности «тепловой смерти» мира. Все приобретенные человечеством знания указывают, что мир бесконечен, что развитие его происходило вечно и будет вечно продолжаться.

### § 107. Уравнения Гиббса — Гельмгольца и Клапейрона — Клаузиуса

Важной задачей термодинамики является изучение процессов *качественного изменения вещества*: перехода тела из одного агрегатного состояния в другое, химических реакций, растворения веществ и т. д. В этих случаях изотермическая теплота представляет собой скрытую теплоту качественного превращения вещества: скрытую теплоту испарения, скрытую теплоту плавления, скрытую теплоту растворения и т. д. Мы будем считать, что она отнесена к 1 молю вещества.

Пусть  $v_{ж}$  есть объем 1 моля жидкости при температуре  $T$  и при давлении  $p$  и  $v_{пар}$  есть объем 1 моля насыщенного пара при той же температуре и при том же давлении. Процесс кипения протекает при неизменной температуре и при неизменном давлении. Это есть, следовательно, процесс *изотермический и в то же время изобарный*. Производимая при этом системой работа равна произведению давления на приращение объема:

$$A = p(v_{пар} - v_{ж}).$$

Скрытая теплота испарения (теплота парообразования), теплота плавления и т. д. — каждое из этих количеств тепла идет на при-