

метод к реальным телам, основывались на эргодной гипотезе. Однако она не была ими обоснована и применялась как возможная и весьма вероятная. Эренфесты подчеркнули важность этой гипотезы для обоснования статистической механики, указав, что если бы эта гипотеза была доказана, то выводы статистической физики приобрели бы характер непреложных законов, подобных законам механики. Действительно, в этом случае среднее значение по микроканоническому ансамблю, вычисленное с помощью аппарата статистической механики, в точности равнялось бы среднему по времени, наблюдаемому в действительности. Они писали:

«Если признать эргодную гипотезу, то уравнение (34) (уравнение, связывающее среднее по ансамблю и среднее по времени. — *Б. С.*) претендует быть чисто механической теоремой, независимой от каких-либо вероятностных предположений»¹⁾.

Что касается самой гипотезы, то Эренфесты не высказывались в ее пользу и скорее даже сомневались в ее правильности.

В 1913 г. Розенталь и Планшерель²⁾ независимо друг от друга доказали невозможность существования эргодных систем. Тогда вместо эргодной гипотезы была предложена так называемая квазиэргодная гипотеза. Согласно этой гипотезе, точка, изображающая состояние системы в фазовом пространстве, хотя и не проходит через каждую точку этого пространства, лежащую на поверхности постоянной энергии, но должна с течением времени подойти сколь угодно близко к любой точке этой поверхности. На основании этой гипотезы можно также предположить равенство средних по ансамблю средним по времени.

Многие физики и математики работали над доказательством справедливости квазиэргодной гипотезы и более общей проблемой доказательства равенств средних по времени средним по совокупности для статистических систем. Несмотря на то что в результате этих работ данная проблема значительно продвинулась вперед тем не менее ее до настоящего времени нельзя считать вполне решенной.

§ 56. ВОПРОС О ТЕПЛОВОЙ СМЕРТИ ВСЕЛЕННОЙ

Остановимся теперь кратко на так называемой проблеме «тепловой смерти Вселенной». Как отмечалось выше, основоположники термодинамики Клаузиус и Томсон полагали возможным распространить второй закон термодинамики на всю Вселенную и пришли к выводу о ее тепловой смерти. Для многих ученых такой вывод был неприемлемым, и это послужило одной из причин, заставивших искать возражения против всеобщности второго закона термодинамики в формулировке Клаузиуса или Томсона. Однако такие попытки в рамках термодинамики оказались неудачными. Несмотря на это, многие ученые и философы возражали против применения этого закона ко всей Вселенной.

¹⁾ E r e n f e s t P. und T. Begriffliche Grundlagen der Statistischen Auffassung in der Mechanik, S. 35.

²⁾ R o s e n t a l A. Ann. Phys. B. 42, 1913, S. 796; P l a n c h e r e l M. Ann. Phys. B. 42, 1913, S. 1061.

«В 1886 году, когда я был студентом в Граце, — писал по этому вопросу Нернст, — проф. Больцман (Boltzmann) произнес в Венской Академии наук вступительную речь на тему о втором законе термодинамики.

В ней он, между прочим, указывал, что все попытки спасти вселенную от так называемой «тепловой смерти» остались безуспешными и что он лично подобной попытки сделать не будет ¹⁾.

Это место его речи произвело на меня сильнейшее впечатление, и я всегда с тех пор стремился найти какой-либо выход из этого положения. Ибо, по существу, нельзя не сомневаться в том, что указанное следствие второго закона является весьма мало вероятным; и напротив, всякая естественнонаучная теория космоса должна будет исходить из того, что вселенная, вопреки этому выводу из термодинамических учений, находится в стационарном состоянии, так что в среднем столько же звезд исчезает вследствие их потухания, сколько возгорается новых ²⁾.

Многие ученые и философы рассуждали, как Нернст. Не отрицая научной ценности второго закона термодинамики, они не могли считать правильным применение его ко всей Вселенной. Н. Г. Чернышевский, например, подчеркивал, что принцип деградации энергии противоречит принципу вечности движения. В 60-х годах он писал:

«Формула, предвещающая конец движения во вселенной, противоречит факту, существования движения в наше время. Эта формула фальшивая ³⁾.

Энгельс, критикуя попытки распространить второй закон термодинамики на всю Вселенную, подчеркивал, что это приводит к противоречию с принципом вечности движения во Вселенной, выражающимся в законе сохранения и превращения энергии. Из положения Клаузиуса, писал Энгельс, следует что

«...энергия теряется, если не количественно, то качественно. *Энтропия не может уничтожаться естественным путем, но зато может создаваться.* Мировые часы сначала должны быть заведены, затем они идут, пока не придут в состояние равновесия, и только чудо может вывести их из этого состояния и снова пустить в ход. Потраченная на завод часов энергия исчезла, по крайней мере в качественном отношении, и может быть восстановлена только путем толчка извне. Значит, толчок извне был необходим также и вначале; значит, количество имеющегося во вселенной движения, или энергии, не всегда одинаково; значит, энергия должна быть сотворена; значит, она сотворима; значит она уничтожима. *Ad absurdum!* ⁴⁾.

Подобный же аргумент против признания тепловой смерти выдвинул Аррениус. Он писал:

«... если бы Клаузиус был прав, то эта «смерть тепла» за бесконечно долгое время существования мира давно бы уже наступила, чего, однако, не случилось. Или нужно допустить, что мир существует не бесконечно долго и что он имел свое начало; это, однако, противоречит первой части положения Клаузиуса, устанавливающей, что энергия мира постоянна, ибо тогда пришлось бы допустить, что вся энергия возникла в момент творения. Но это для нас совершенно непо-

1) Как увидим ниже, Больцман не выполнил этого обещания и приложил усилия, чтобы развеять призрак тепловой смерти.

2) Нернст В. Мироздание в свете современной науки. Пг., Научное изд-во, 1923, с. 7—8.

3) Чернышевский Н. Г. Избранные философские сочинения. Т. 3. М., Госполитиздат, 1951, с. 535.

4) Маркс К., Энгельс Ф. Соч. Изд. 2-е. Т. 20, с. 600.

Сам Пирогов, как следует из его дальнейших рассуждений, видимо, склонялся ко второй точке зрения. Несколько позже Больцман уже определенно и более обстоятельно высказывается за вторую точку зрения (независимо от Пирогова). В 1895 г. в одной из своих статей он писал:

«Закончу эту статью идеей моего старого ассистента Шутца.

Предположим, что вся вселенная находится и остается всегда в тепловом равновесии. Вероятность того, что какая-то одна (только одна) часть вселенной находится в отличном состоянии, тем меньше, чем больше это состояние отличается от состояния теплового равновесия; но эта вероятность тем больше, чем больше сама вселенная. Если мы будем считать вселенную достаточно большой, мы можем предположить вероятность какого-либо состояния относительно малой ее части (даже значительно отличного от состояния теплового равновесия) настолько большой, насколько это будет необходимо.

Мы можем считать эту вероятность даже настолько большой, что при тепловом равновесии всей вселенной наш мир находился бы в том состоянии, в котором он есть сейчас. Могут сказать, что мир так далек от теплового равновесия, что мы не можем представить такого невероятного состояния. Но мы можем представить, с другой стороны, насколько малую часть всей вселенной представляет наш мир. Если предположить, что вселенная достаточно велика, то вероятность того, что такая незначительная часть ее, как наш мир, находится в настоящем его состоянии, не будет уже такой незначительной.

Если это предположение правильно, то наш мир будет возвращаться все ближе и ближе к тепловому равновесию, но так как вся вселенная очень велика, то весьма вероятно, что когда-нибудь в будущем какой-либо другой мир может отклониться от теплового равновесия так же сильно, как наш мир в настоящем состоянии. Тогда вышеупомянутая *H*-кривая будет представлять то, что происходит во вселенной. Вершины кривой будут изображать миры, в которых имеет место движение и жизнь»¹⁾.

Несколько позже Больцман изложил эту гипотезу (получившую название флуктуационной гипотезы) в «Лекциях по теории газов» в несколько иной редакции, которая хорошо известна²⁾.

Флуктуационная гипотеза Больцмана была первой чисто научной, конкретной теорией, которая опровергала возможность применения второго закона термодинамики ко всей Вселенной и отрицала теорию ее тепловой смерти. Были выдвинуты и другие возражения против этой теории. Вместе с этим флуктуационная гипотеза Больцмана подверглась критическому рассмотрению. Возражения против флуктуационной гипотезы Больцмана в основном сводились к следующим соображениям. Трудно себе представить, что вся видимая часть Вселенной пришла в настоящее время в состояние, сильно отличающееся от состояния термодинамического равновесия в результате флуктуации. Вероятность такой громадной флуктуации очень мала. Гораздо вероятнее было бы наблюдать, что только ближайшая часть Вселенной не находится в состоянии теплового равновесия, например солнечная система или даже наша галактика, вся же остальная часть Вселенной пребывает в состоянии такого теплового равновесия³⁾.

1) Boltzmann L. Wissenschaftlichen Abhandlungen. B. II, SS. 543—544.

2) Больцман Л. Лекции по теории газов. М., Гостехиздат, 1955, с. 325—326.

3) См., например: Ландау Л. и Лифшиц Е. Статистическая физика. М.—Л. ГИТТЛ, 1951, с. 44.

нятно, и мы должны поэтому поискать случая, для которого формула энтропии Клаузиуса не приложима» 1).

Указывая на недопустимость распространения второго начала термодинамики на всю Вселенную, Энгельс считал, что Томсон и Клаузиус не решили проблему, а только ее поставили, так как наука не может мириться с признанием начала и конца мира. Задача науки в этом вопросе, по Энгельсу, и заключается в том, чтобы показать неприменимость второго начала ко всей Вселенной, найти процессы космического масштаба, опровергающие возможность такого применения. Этот вопрос, пишет Энгельс, еще не решен, так как наука еще недостаточно над ним трудилась:

«Неудивительно, что он еще не решен; возможно, что пройдет еще немало времени, пока мы своими скромными средствами добьемся его решения. Но он будет решен; это так же достоверно, как и то, что в природе не происходит никаких чудес и что первоначальная теплота туманности не была получена ею чудесным образом из внемировых сфер» 2).

Энгельс оказался прав: задачу, о которой он писал, заключающуюся в том, чтобы показать неприменимость второго закона термодинамики ко всей Вселенной, начали решать. Первые шаги в этом направлении были сделаны в связи с исследованием в области кинетической теории теплоты и статистической физики. Впервые вопрос о тепловой смерти Вселенной с точки зрения статистической физики затронул Больцман уже в 1877 г. Он высказал сомнение в возможности распространения статистики на всю Вселенную и писал:

«Но, быть может, выяснение того, что второе начало относится к области теории вероятности, законы которой с такой непреложностью выполняются при каждом проводимом эксперименте в лаборатории, делает его распространение на всю Вселенную весьма затруднительным» 3).

Однако Больцман, по-видимому, какое-то время сомневался в возможности опровергнуть теорию тепловой смерти Вселенной, даже учитывая статистический характер второго закона термодинамики. Так, в докладе, прочитанном в 1886 г., Больцман заявил:

«Все попытки спасти Вселенную от этой тепловой смерти остались безуспешными и для того, чтобы не возбудить ожиданий, которых я не в силах выполнить, я сразу отмечу, что я здесь не буду делать такого рода попытки» 4).

В это же время Н. Н. Пирогов, возражая Томсону и Клаузиусу, писал:

«Я полагаю, что, при настоящем состоянии наших сведений, с одинаковым успехом можно защищать два совершенно противоположные положения: 1) переместимость мира (т. е. термодинамическая вероятность. — Б. С.) постоянно возрастает, так как состояние мира неустойчивое, и 2) переместимость мира постоянна, так как состояние мира стационарно и те поражающие нас изменения, происходящие в мире, суть не более, как неизбежные колебания около типического стационарного состояния» 5).

1) Аррениус С. *Образования миров*. М., 1909, с. 147—148.

2) Маркс К., Энгельс Ф. *Соч.* Изд. 2-е. Т. 20, с. 599.

3) Boltzmann L. *Wissenschaftliche Abhandlungen*. В. II, s. 122.

4) Больцман Л. *Статьи и речи*. М., «Наука», 1970, с. 11.

5) Пирогов Н. Н. — *ЖРФХО*, т. 19, 1887, ч. физ., вып. 5, отд. первый, с. 175.

Против этого возражения Я. П. Терлецкий в свою очередь выдвинул контрвозражение. Он указал, что подсчет вероятности флуктуации обычно производится для простых систем без учета гравитационного поля и без учета релятивистских эффектов. Если же учесть гравитационное поле и релятивистские эффекты, то расчет вероятности больших флуктуаций космических масштабов может привести к совершенно противоположным результатам. В связи с этим он полагает, что флуктуационная гипотеза Больцмана с учетом дополнительных соображений может быть сохранена¹⁾.

Помимо флуктуационной гипотезы против применения второго закона термодинамики ко всей Вселенной советскими учеными К. П. Станюковичем и И. Р. Плоткиным были высказаны интересные соображения²⁾. Рассматривая Вселенную как систему, состоящую из бесконечно большого числа объектов с помощью теории множеств они показали, что для такой системы применение статистики приводят к иным результатам, нежели в случае конечных систем. Для такой системы в целом не существует наиболее вероятного состояния и представление о том, что система с течением времени должна стремиться к какому-либо определенному состоянию, теряет смысл.

Наконец, укажем еще те соображения, не допускающие теории тепловой смерти, уже не связанные со статистической природой второго закона термодинамики. Эти соображения вытекают из релятивистской термодинамики. Оказывается, как показал Толмен, применение термодинамики ко всей Вселенной с точки зрения теории относительности не приводят ни к какому выводу о тепловой смерти Вселенной³⁾.

Заканчивая рассмотрение развития статистической физики, следовало бы остановиться на вопросе о том, что появление и развитие этой области физических наук привело к новым идеям о характере физических законов вообще. Если до возникновения кинетической теории теплоты физики знали только один вид законов — динамические, то с возникновением и развитием этой теории все большее и большее значение приобретают статистические законы. Поэтому нужно было бы осветить историю возникновения понятия статистических законов, отношение к этим законам и т. д. Однако поскольку вопрос о статистических законах приобрел особое принципиальное значение в связи с развитием квантовой механики, то на нем мы остановимся позже, при рассмотрении развития этой современной области физических наук.

¹⁾ Терлецкий Я. П. Космологическая концепция Больцмана, ее значение и дальнейшее развитие. — В сб. История и методология естественных наук. Вып. II (физика). Изд-во МГУ, 1963, с. 114; Терлецкий Я. П. Статистическая физика. М., «Высш. школа», 1966, с. 139.

²⁾ Плоткин И. Р. ЖЭТФ, т. 20, 1950, с. 1051; «Вопросы философии», 1959, № 4; Станюкович К. П. ДАН СССР т. 69, 1949, № 6; Труды 6-го Совецания по вопросам космологии, 1959, с. 14.

³⁾ Tolman R. Relativity Thermodynamics and Cosmology. Oxford, 1934.