

Однако вернемся в переломные годы становления современной кинетической теории. Смолуховский ответил на упомянутые выше парадоксы возврата Цермело и необратимости Лошмидта тем, что указал на зависимость самого определения необратимости данного процесса от реализации в этом конкретном эксперименте какой-либо иерархии характерных времен. А именно, если время наблюдения мало по сравнению со средним временем возврата в первоначальное состояние, который диктуется теоремой Пуанкаре, то процесс можно считать необратимым, несмотря на обратимый динамический характер основных законов механики, которые описывают элементарные акты взаимодействия составляющих макроскопическую систему классических микрочастиц. В противоположном случае больших времен наблюдения динамические отклонения от стандартной релаксации к равновесному состоянию могут быть выявлены. Следует, однако, иметь в виду, что подобные «большие» времена для объектов лабораторного размера на много порядков превышают время жизни нашей Метагалактики, так что второй закон термодинамики исчерпывающе определяет эволюцию подобной макроскопической системы.

Смолуховскому принадлежит также объяснение невозможности «обхода» второго закона термодинамики с помощью некоторого устройства молекулярных размеров, управляющего флуктуационными процессами. Такое устройство, или эквивалентное ему в смысле динамики маленькое разумное гипотетическое существо, появилось на свет в результате фантазии Максвелла и получило название «демон Максвелла». Представим себе, что между двумя сосудами с газом имеется маленькое отверстие с дверцей. Демон, расположившийся возле отверстия, сортирует молекулы следующим образом. Пусть из левого сосуда к дверце подлетает «быстрая» молекула с энергией, превышающей среднюю тепловую энергию молекул, которая определяется температурой этого сосуда. В этом случае бдительный демон открывает дверцу, и молекула влетает в правый сосуд. Эта процедура повторяется каждый раз, когда слева оказывается очередная подходящая молекула. Аналогично демон регулирует и прохождение отверстия молекулами, появляющимися со стороны правого сосуда. Только теперь он пропускает налево лишь «медленные» молекулы, энергия которых меньше средней (тепловой), присущей правому сосуду.

Понятно, что вследствие такой целенаправленной сортировки через определенное время средняя энергия молекул, содержащихся в левом сосуде, уменьшится, т.е. понизится температура этого сосуда и заполняющего его газа. Очевидно, что температура правого сосуда, напротив, возрастет. В результате указанных процессов в системе, состоящей из соединяющихся сосудов с изначально равной температурой, произойдет самопроизвольная передача тепловой энергии от одной его части к другой, причем без выполнения работы каким-либо внешним устройством. Такое перераспределение энергии явно противоречит второму закону термодинамики, поскольку в замкнутой макроскопической систе-

ме происходит самопроизвольное отклонение от наиболее вероятного состояния.

Иными словами, наличие демона привело бы к осуществлению вечного двигателя второго рода, чего быть не может. Допустив возможность демона с описанными свойствами, мы пришли к парадоксу. Его блестяще разрешил Смолуховский. Согласно его соображениям, суть дела заключается в том, что сортировочное устройство (или, если угодно, демон) с необходимостью должно быть молекулярных размеров или включать в себя соответствующий фрагмент. А такой объект будет подвержен нерегулярным тепловым флуктуациям и в силу этого будет неспособным к целенаправленному отбору необходимых молекул.

Другим выдающимся достижением Смолуховского было объяснение голубого цвета неба. Собственно говоря, такое объяснение вроде бы уже существовало. Крупнейший английский ученый лорд Рэлей еще в 1871 году показал, что интенсивность света, рассеянного на большом количестве посторонних объектов, малых по сравнению с длиной его волны, пропорциональна четвертой степени частоты света. Поэтому и в атмосфере Земли голубая составляющая солнечного излучения рассеивается интенсивнее, чем красная. Этот рассеянный свет, попадая на сетчатку нашего глаза, формирует зрительный образ голубого неба. (Кстати, а почему цвет неба не фиолетовый – для соответствующих лучей длина волны еще меньше? Оказывается, все дело в том, что чувствительность сетчатки уменьшается для этого спектрального участка видимого света по сравнению с чувствительностью к голубым лучам.)

Однако Рэлей ошибался относительно того, на каких именно маленьких частицах рассеивается свет в атмосфере Земли. Он считал, что ими являются сами молекулы, которые двигаются в разные стороны с различными скоростями. Такое отождествление оказалось неверным, что было доказано выдающимся русским ученым Л.Мандельштамом в 1907 году: несмотря на движение молекул, рассеянные волны, исходящие от разных элементарных объемов газа, компенсируют друг друга. Уже на следующий год Смолуховский нашел правильное решение, предположив *неоднородность* среды, присущую ей из-за непрекращающихся тепловых флуктуаций. Тогда центрами рассеяния можно считать флуктуации плотности молекул газов, образующих атмосферу. Он подтвердил свою теорию собственноручно проведенным экспериментом – наблюдая голубой оттенок чистого (профильтрованного) воздуха в трубе, через которую были направлены лучи света от искусственного источника. Окончательную точку поставил Эйнштейн, получивший формулу для интенсивности рассеянного света на основании идеи Смолуховского. Интересно, что рассчитанная зависимость интенсивности от длины волны (частоты) и объема, на котором происходит рассеяние, совпадает с соответствующими зависимостями, найденными Рэлеем, т.е. несмотря на неверные исходные соображения британский ученый, руководствуясь своей фантастической интуицией, получил верную формулу!