

## Людвиг Больцман и атомистика



### 1. Элементы биографии. Материал с сайта

<http://fizika.edu.severodvinsk.ru/?module=page&id=istoria&sub=people&page=bolcman>

Людвиг Больцман родился 20 февраля 1844 года в Вене в семье обеспеченного австрийского чиновника. После окончания Венского университета, где курс физики читал Йозеф Стефан, он становится его ассистентом, а через два года Больцман уже профессор математической физики университета в Граце. Затем он занимает кафедры в Вене, Лейпциге, Мюнхене и снова в Вене. Частые переезды объясняются его принципиальностью и непримиримостью в идейной борьбе со своими противниками – профессорами университетов. Например, уход из Венского университета в 1900 году вызван нежеланием работать вместе с Э. Махом. Больцман возвращается в Вену лишь после ухода Маха из университета в 1902 году и возглавляет, помимо кафедры физики, кафедру натурфилософии («истории и теории индуктивных наук», как она называлась при Э. Махе). По той же причине он оставил и кафедру физики в Лейпциге, где работал такой противник атомизма, как Вильгельм Оствальд, хотя в жизни оба ученых были друзьями.

Если говорить о самых замечательных достижениях Больцмана, то к ним надо отнести следующие: открытие фундаментального закона – больцмановского распределения молекул, – обобщившего классическое распределение Максвелла для равновесного состояния газа на случай внешнего силового поля (знаменитая барометрическая формула и сегодня входит во все вузовские учебники как один из основных законов физической науки); вывод основного газокINETического уравнения, лежащего в основе современной физической кинетики; обоснование эмпирического открытия Й. Стефана о пропорциональности общей энергии излучения черного тела четвертой степени абсолютной температуры; этот закон Стефана – Больцмана, который М. Лауэ назвал ожерельем теоретической физики, явился результатом одновременного применения термодинамики и теории электромагнитного поля Максвелла к проблеме теплового излучения. Как известно, из этой проблемы и возникла вся квантовая физика.

Но наиболее крупным вкладом Больцмана в науку является его знаменитая H-теорема, которая гласит, что некоторая величина (средний логарифм функции распределения) с течением времени может изменяться только в одном направлении. Эта теорема положена в основу учения обо всех необратимых процессах. Связав H-функцию со статистическим весом данного состояния, Больцман показал, что наиболее вероятным состоянием и будет состояние теплового равновесия тел. Используя частный случай одноатомного идеального газа, он показал пропорциональность H-функции и энтропии и вывел формулу связи энтропии с вероятностью макроскопического состояния. М. Планк

использовал эту формулу для вывода квантового закона излучения. Эта же формула послужила фундаментом и современной теории информации.

Статистическая интерпретация второго принципа термодинамики, основанная на новом и наиболее общем определении энтропии, вытекающем из знаменитой формулы, позволила объединить старую термодинамику Карно – Клаузиуса с молекулярно-кинетической теорией материи. Объяснение вероятностного смысла второго принципа термодинамики дало Больцману возможность примирить обратимость механических явлений с необратимым характером тепловых процессов.

Сказанным далеко не исчерпывается необычайно широкое по диапазону и глубокое по содержанию творческое наследие австрийского физика. Все творчество Больцмана пронизывает идея атомной структуры материи, которую он страстно отстаивал в борьбе с представителями феноменологического, или «чистого», описания природных явлений, прежде всего Э. Махом и В. Оствальдом.

Больцман был мягким и доброжелательным человеком с легко ранимым сердцем. Жизнь его протекала внешне спокойно и всецело была посвящена любимой им науке. Еще при жизни Больцман получил всемирное признание, его избрали почти во все академии мира, приглашали работать в лучшие университеты. Трижды Больцман побывал в Америке, где читал курсы лекций по теории газов, статистической физике и термодинамике. Напряженный труд подорвал здоровье ученого, у него развилась в острой форме астма, приносявшая ему мучительные боли. В последние годы у Больцмана участились приступы душевной депрессии, он стал бояться ослабления своей духовной и творческой силы. Во время одного из таких приступов, находясь на летнем отдыхе, ученый покончил жизнь самоубийством. Это произошло 5 сентября 1906 года.

## **2. Отношение к работам Больцмана современников**

**< Фрагменты из книги: Я. М. Гельфер. “История и методология термодинамики и статистической физики”. Издание второе, переработанное и дополненное. Москва, «Высшая школа», 1981 г. >**

Работы Больцмана, посвященные статистическому обоснованию второго начала, в первое время почти не обратили на себя внимания. Можно указать на две основные причины такого положения.

Во-первых, вплоть до второй половины 80-х годов продолжались попытки дать чисто механическое обоснование второму началу путем обобщения вариационных принципов механики. Еще в 1884 г. Гельмгольц выступил с работой «Начала статики моноциклических систем». Большинство физиков продолжали стоять на позициях механицизма, полагая, что механическая концепция второго начала проще и нагляднее статистической.

Во-вторых, атомно-молекулярная теория рассматривалась в этот период еще как гипотеза, не имеющая под собой серьезного экспериментального фундамента, и поэтому выводы Больцмана расценивались как не имеющие серьезного научного значения.

Так продолжалось до начала 90-х годов. В качестве примера, иллюстрирующего подобное отношение к теории Больцмана, можно привести точку зрения Планка. На первых порах своей научной деятельности в области термодинамики он занимался только феноменологическими вопросами и не придавал значения молекулярно-кинетической теории и лежащей в ее основе

атомистике. К последней он относился *«не только равнодушно, но даже несколько отрицательно»*, как об этом сам писал в своей научной, автобиографии. Вследствие такой точки зрения, говорит Планк далее, *«принципу возрастания энтропии, как и принципу сохранения энергии, я приписывал тогда применимость во всех без исключения случаях, в то время как первый из указанных принципов является только вероятностным законом, который, как таковой, допускает исключения»*.

Естественно, что, находясь на таких позициях, Планк не смог принять статистическую концепцию Больцмана. Это обстоятельство долгое время не позволяло установиться между великими учеными дружескому согласию, несмотря на то что Планк, вообще говоря, очень ценил и уважал своего старшего коллегу как физика.

*«Так вышло,—вспоминал позже Планк,— что всю жизнь, как при последующих встречах, так и в своих публикациях и в нашей частной переписке, Больцман сохранял со мной раздраженный тон и лишь в последние годы, его жизни, когда я рассказал ему об атомистическом обосновании своего закона излучения, этот тон уступил место дружескому согласию»*.

Зная отрицательное отношение Планка к атомистике, Больцман в своей полемике против Маха и Оствальда не захотел принять услуг Планка в качестве «секунданта», и это несмотря на то, что последний относился резко отрицательно к философии махизма. Признав в 90-х годах статистическую интерпретацию второго начала термодинамики, Планк вскоре стал одним из лучших знатоков теории Больцмана. О глубоком его проникновении в существо ее идей говорит, например, тот факт, что Планк предложил весьма простой и оригинальный вывод формулы Больцмана, имеющей весьма общее значение. Этот вывод впервые изложен в классической монографии Планка «Теория теплового излучения», первое издание которой появилось в 1906 г.

В этой работе Планк уже последовательный сторонник концепции Больцмана. Содержание второго начала он видит в том, что *«в природе отдается предпочтение более вероятным состояниям по сравнению с менее вероятными»* и что *«энтропия является общей мерой физической вероятности»*.

Следующее утверждение Планка является логическим продолжением этой точки зрения: *«Энтропия физической системы, являющейся в определенном, состоянии, зависит исключительно от вероятности этого состояния»*. Это положение является законом природы и может быть выражено математически как постулирование некоторой функциональной связи между энтропией и вероятностью состояния...

Планк указывает на отличие выведенной им формулы Больцмана от ее первоначальной записи в «Лекциях по теории газов»:

*«Во-первых, у Больцмана отсутствует множитель  $k$ , что связано с тем, что Больцман производил вычисления не с действительными молекулами, а всегда только с грамм-молекулами. Во-вторых, что значительно важнее, у Больцмана, как и вообще в классической термодинамике, энтропия была определена только с точностью до некоторой аддитивной постоянной и соответственно этому оставался неопределенный множитель пропорциональности в значении вероятности»*

*В противоположность этому мы приписываем энтропии  $S$  совершенно определенную абсолютную величину. Это шаг принципиального значения, справедливость которого может быть доказана только проверкой вытекающих из него следствий. Он приводит... с необходимостью к «квантовой гипотезе» и отсюда, с одной стороны,— для лучистой теплоты —*

к определенному закону распределения энергии черного излучения, с другой стороны,— для теплоты — к тепловой теореме Нернста».

В другом месте относительно постоянной  $k$  — коэффициента пропорциональности между энтропией и логарифмом вероятности состояния — Планк писал:

*«Нередко она по понятной причине называется постоянной Больцмана. Необходимо, впрочем, заметить, что Больцман никогда не вводил этой постоянной  $k$ , насколько я знаю, вообще не думал о ее численном значении, так как для этого необходимо было ввести истинное число атомов. Эту последнюю задачу он целиком передал своему коллеге Лошмидту, а сам в своих вычислениях всегда имел в виду возможность того, что кинетическая теория газов представляет только механическую картину. Поэтому для него была достаточной постоянная, отнесенная к грамм-атому. Обозначение этой постоянной буквой  $k$  вводилось постепенно. После ее введения еще в течение многих лет вместо этой постоянной в вычислениях пользовались числом Лошмидта  $L$ , которое равно числу атомов в одном грамм-атоме».*

Эволюцию взглядов на статистическую концепцию Больцмана пережил не один Планк. И если раньше вывод Н-теоремы не обратил на себя должного внимания, то в 90-х годах физики проявили к ней живой интерес. Этот факт был связан в первую очередь с тем, что к этому времени атомистика уже вышла за рамки молекулярно-кинетической теории газов и наметилось ее проникновение в другие области физики, в частности в учение об электрических явлениях. С другой стороны, успешное объяснение термодинамических закономерностей на основе идей Больцмана также способствовало проявлению повышенного интереса к его теориям.

В 1894—1895 гг. на страницах английского естественнонаучного журнала «Nature» развернулась дискуссия вокруг работ Больцмана, связанных с Н-теоремой. Ряд английских физиков, и среди них С. Барбэри, Д. Лармор, Д. Фицджеральд и др., выступили с возражениями против статистической концепции Больцмана, основываясь на «парадоксе обратимости» Лошмидта. В дискуссии приняли участие и физики других стран: Липпман, Льенар, Бриллюен, а также Лошмидт и Цермело.

Больцман принял в дискуссии непосредственное участие, направив в редакцию «Nature» для опубликования ряд писем с возражениями против своих оппонентов.

Указанные физики критиковали главным образом физическую сторону теории Больцмана. Эта широкая дискуссия в истории статистического обоснования второго начала термодинамики имела большое значение, поскольку она способствовала выработке правильного понимания всей проблемы, в целом...

После того как Больцман установил статистическую природу Н-функции и нашел связь между энтропией и вероятностью состояния, он вновь возвращается к «парадоксу обратимости». В работе «Еще о замечаниях об одной проблеме механической теории тепла» (1878) он показывает, что Н-теорема в статистическом истолковании не противоречит «парадоксу обратимости» Лошмидта. Больцман еще раз подчеркивает, что, формулируя свой «парадокс», Лошмидт исходил из того, что динамические законы должны выполняться строго. В действительности же, в силу статистической природы второго начала, можно приписать определенную вероятность появлению во времени любой молекулярной конфигурации. Весь вопрос в том, какова величина вероятности появления данной конфигурации, сколь долго необходимо ждать, чтобы она появилась.

Больцман подробно развил свою точку зрения и в последующих публикациях, поскольку придавал «парадоксу обратимости» большое значение для правильного уяснения существа его теорий. Возвращаясь к этому вопросу в «Лекциях по теории газов», он писал:

*«Согласно Лошмидту, возможен случай, когда более вероятное распределение скоростей в результате молекулярных столкновений переходит в менее вероятное, что и влечет за собой возрастание  $H$ -функции. Это никоим образом не противоречит доказанному. В самом деле, сделанное там предположение о том, что распределение состояний молекулярно-неупорядоченное, здесь не выполняется, поскольку после точного обращения всех скоростей каждая молекула будет сталкиваться с другими молекулами не согласно законам вероятностей, но располагается как раз так, что столкновение должно происходить ранее вычисленным образом...*

*То, что  $H$  теперь возрастает, также не противоречит законам вероятностей; действительно, из этих законов вытекает лишь малая вероятность, но не невозможность увеличения  $H$ . Даже напротив, из них неизбежно вытекает, что любое, даже и такое невероятное распределение состояний, имеет хотя и малую, но все же отличную от нуля вероятность. Даже тогда, когда имеет место максвелловское 'распределение скоростей, случай, когда первая молекула имеет как раз ту скорость, которую она имеет в этот момент на самом деле, аналогично вторая и т. д., ничуть не более вероятен, когда все молекулы имеют одну и ту же скорость.*

*Но на том основании, что всякое движение, при котором  $H$  уменьшается при изменении направления всех скоростей на обратное, переходит в такое, при котором  $H$  увеличивается, делать заключение, что оба эти движения одинаково вероятны, было бы, очевидно, ошибкой».*

Таким образом, Больцман, соглашаясь с Лошмидтом в том, "что действительно может появиться состояние, сколь угодно мало отличающееся от максвелловского, не соглашается с ним относительно дальнейшего поведения газа. Именно газ в течение неизмеримо долгих промежутков времени будет пребывать в состоянии, близком к стационарному с максвелловским распределением скоростей, и только в течение очень малого промежутка времени "его состояние будет отличаться от-стационарного, причем эти промежутки времени будут тем меньше, чем больше это состояние будет отличаться от стационарного. Таким образом, здесь Больцман придает решающую роль фактору времени.

В письме к редактору английского журнала «Nature», озаглавленном «О некоторых вопросах теории газов», Больцман поясняет свою мысль на примере графического изображения  $H$ -функции. Большие флуктуации  $H$  значительно менее вероятны 'чем небольшие, но поскольку их вероятность отлична от нуля, то они время от времени должны происходить.

В связи со сказанным интересно отметить, что вскоре после открытия статистической природы второго начала Больцман опубликовал работу «Об отношении процесса диффузии ко второму началу механической теории теплоты», где, рассматривая возражение Т. Престона против тепловой теоремы Клаузиуса, основанного на рассмотрении процесса диффузии газа сквозь пористую перегородку, указывал:

*«Нельзя предполагать, что два диффундирующих газа смешаются и разделятся несколько раз в течение немногих дней. Время, в течение которого можно надеяться наблюдать разделение, настолько велико, что исключается любая возможность наблюдать такой процесс».*

Заслуживает внимания еще одно возражение против статистической концепции Больцмана, выдвинутое уже в 90-х годах. Речь идет еще об одном парадоксе («парадоксе периодичности»), выдвинутом немецким математиком Э. Цермело в нескольких работах 1896—1897 гг. Этот парадокс основан на теореме А. Пуанкаре, доказанной в 1890г. Согласно этой теореме о квазилериодичности механических систем, *любая механическая система, состоящая из конечного числа тел, движущаяся так, что все ее обобщенные координаты и импульсы находятся между конечными пределами, спустя достаточно долгое время обязательно должна будет еще раз сколь угодно близко подойти к своему начальному состоянию.*

В 1896 г. Цермело опубликовал работу «Об одной теореме динамики и механической теории теплоты», в которой, рассматривая молекулярную систему как систему механическую, состоящую из конечного числа молекул, пришел к следующему заключению: допустим, что газ, состоящий из очень большого числа молекул, заключен в некоторый объем и его состояние отвечает максвелловскому распределению скоростей. Поскольку скорости координаты' молекул газа постоянно изменяются (но в конечных пределах), то также будет изменяться и состояние газоставаясь, однако, стационарным. Но так как начальное состояние является, вообще говоря, одним из возможных состояний, через достаточно большой промежуток времени, согласно теореме Пуанкаре, начальное состояние должно повториться. Но это повторение означает, что газ (совокупность молекул) из состояния маловероятного вновь придет в такое же состояние и, таким образом, никакого стационарного состояния не будет. Вместо этого молекулярная система будет проходить периодически-через одни и те же состояния. Но последнее означает, что и энтропия системы соответственно будет периодически возрастать и, убывать, что противоречит Н-теореме. Отсюда Цермело делает вывод о несовместимости точек зрения феноменологической термодинамики и молекулярно-кинетической теории газов.

Подобные соображения развивал Цермело и в работе «О механическом объяснении необратимых процессов» (1897), «О при менении исчисления вероятностей к динамическим системам» (1899) и др. После дискуссии с Лшмидтом Больцману нетрудно было показать, что и «парадокс периодичности» основан на непонимание различия- между динамическими и статистическими- закономерностями. Так, в своем ответе на первую статью Цермело («Возражения против теории теплоты, развиваемой Цермело» (1897) Больцман писал:

*«Уже Клаузиус, Максвелл и другие показали, что законы теории газов 'имеют статистический характер. Я особенно часто и со всей ясностью, на какую был только способен, подчеркивал, что максвелловский закон распредел' ния скоростей молекул газа является не законом обычной механики, а зако-яам теории вероятностей. В связи с этим я .также подчеркивал, что второе начало с точки зрения молекулярной теории является только вероятностным заколом... . Однако сочинение Цермело «Об одной теореме динамики и механическая теория теплоты» показывает, что мои работы в этом направлении не были поняты»*

Отвечая на возражение Цермело по существу, Больцман весьма убедительно на конкретном примере показал несостоятельность «парадокса периодичности». Он рассмотрел следующий пример: как известно, в 1 см<sup>3</sup> газа содержится 10<sup>19</sup> молекул. Допустим, что средняя скорость этих молекул равна 500 м/с. Легко подсчитать, что среднее расстояние между молекулами равно 10<sup>-6</sup> см. При нормальных условиях за одну секунду каждая молекула будет испытывать около 4x10<sup>9</sup> столкновений. Предположив далее, что о возвращении в исходное

состояние можно говорить по крайней мере в том случае, когда различие в положении молекул не превышает  $10^{-7}$  см, а в скорости—1 м/с, Больцман затем оценивает период цикла Пуанкаре — Цермело. Он находит, что этот период, т. е., время возврата молекулярной системы в исходное состояние при указанных допущениях, составляет  $10^{10}$  с, тогда как время релаксации газа составляет всего лишь  $10^{-8}$  с. Ясно, заключает Больцман, что повторяемость начального состояния практически наблюдаться не будет, а потому говорить о периодическом возврате молекулярной системы в начальное состояние не имеет смысла. Таким образом, и в данном случае вероятность возврата не равна нулю. Но она настолько мала, что *«просто весьма маловероятно, чтобы прошлое вновь возвратилось»*.

В своей последней публикации по теории газов, написанной совместно с Дж. Наблом, «Возражения против применения статистического метода в теории газов» (1904) Больцман, подводя итоги дискуссии, писал по поводу рассмотренных «парадоксов», в частности «парадокса периодичности»:

*«Хотя эти соображения и дают очень много для объяснения теорем кинетической теории газов, они все же ни в коем случае не являются опровержением тех теорем, которые являются простыми теоремами теории вероятностей. То обстоятельство, что замкнутая система очень большого числа механических элементов, если время этой системы, длится произвольно долго, должна, еще раз принять маловероятное состояние, не есть опровержение теории газов; напротив, оно само вытекает из последнего, ибо для замкнутой системы конечного числа материальных точек вероятность того, что эта система примет произвольное состояние, отличное от состояния теплового равновесия, правда, чрезвычайно мала, но никогда математически не может быть равна нулю. Состояние теплового равновесия отличается только тем, что ему соответствуют наиболее часто встречающиеся распределения живой силы между механическими элементами, в то время как другие состояния являются редкими, исключительными. Только по этой причине всякое исключительное состояние, если проследить еще в его развитии вперед и в прошлое, приближается к тепловому равновесию и остается там в течение чрезвычайно большого времени, но не математически большого, если число механических элементов не есть математически бесконечно большое число. Следовательно, в чисто математическом отношении существует полнейшее согласие между основными уравнениями теории газов и теоремой, которую развил Цермело; последняя являлась бы опровержением теории газов только в том случае, если бы из нее вытекало, например, что за наблюдаемый промежуток времени следовало бы ожидать разделения продиффундировавших друг в друга газов.*

*Но это время настолько, к нашему успокоению, велико, что исключена всякая возможность наблюдения такого события»*.

Мы рассмотрели только основные возражения против статистической интерпретации второго начала и кинетической теории газов, основанные на противопоставлении динамических законов статистическим. В этот период методологические аспекты этой проблемы только намечались в работах Больцмана. Здесь еще оставалось много неясного, и несмотря на то, что в главном в своих ответах Лошмидту и Цермело Больцман был прав, указанные физики и их единомышленники не были полностью удовлетворены. Отсутствие в то время наглядного физического примера, из которого было бы видно, как, несмотря на существенную обратимость молекулярных процессов, получается впечатление термодинамической необратимости, также не способствовало признанию концепции Больцмана.

... Нападки на Больцмана далеко не исчерпывались критикой его Н-теоремы. Другая группа ученых — представителей «энергетизма» и «махизма» — обрушили огонь своей критики на фундамент статистической теории Больцмана — атомно-молекулярную теорию. Особенно непримиримыми к Больцману были «глава» венского «Кружка, физиков и философов» Э. Мах и его последователи. Истоки нападок на Больцмана этой группы физиков кроются прежде всего в том, что в последней трети XIX в. атомно-молекулярная теория, не имея еще достаточного экспериментального обоснования, рассматривалась многими физиками и химиками как рабочая гипотеза. Мало кто верил в реальность атомов и молекул. Мах, в частности, в совершенно категорической форме отрицал существование атомов. Больцман вспоминал, что во время академических заседаний, когда кто-нибудь позволял себе в присутствии Маха выступить в защиту атомистики, последний обычно спрашивал: «А вы видели хотя бы один атом?». Такое отношение Маха к атомно-молекулярному учению являлось логическим следствием проповедуемой им идеалистической философии, в основе которой лежал «принцип экономии мышления». Борясь против материализма во всех его проявлениях, Мах, естественно, не мог принять и атомистику — учение, материалистическое в своей основе. Не признавал атомистики и Оствальд в рассматриваемый период, поскольку она не укладывалась в логическую схему его «энергетики».

Авторитет Маха и Оствальда в научных кругах был весьма велик, так что выступать против них было практически бесполезно. Планк вспоминал позже, что *«нельзя было выступать против таких авторитетов, как В. Оствальд, Г. Гельм и Э. Мах»*

И все же, несмотря на такую неблагоприятную обстановку, Больцман решительно и смело выступил в защиту атомистики, нисколько не сомневаясь в том, что атомы и молекулы реально существуют ...

Полемика между Больцманом, с одной стороны, и махистами и «энергетиками» — с другой, ... проходила накануне великих революционных открытий в физике, в результате которых стали рушиться старые представления классической физики. Не удивительно поэтому, что выступления противников Больцмана носили резкий характер, подчас далеко выходящий за пределы чисто академического спора. Перед лицом многочисленных оппонентов Больцман был почти одинок. Нападки и травля в последние годы жизни со стороны его идейных противников привели Больцмана к трагическому концу. В 1906 г. великий ученый покончил жизнь самоубийством.

Мировоззрение Больцмана отражено не только в его научных трудах, посвященных кинетической теории, статистическому обоснованию термодинамики, но и в многочисленных выступлениях и популярных докладах. Здесь Больцман неустанно подчеркивал, что атомы и молекулы реально существуют, что никакими доводами не удастся изгнать атомистику из науки:

*«Те, кто думает устранить атомистику посредством дифференциальных уравнений, не видят за деревьями леса,—говорил он в одном из своих докладов.— Не может быть сомнения в том, что картина мира... будет атомистической».*

Больцман высоко ценил тех ученых, которые разделяли его взгляды на атомистику и верили в реальность атомов (таких в ту пору было очень мало). К их числу принадлежал и Лошмидт. В некрологе, посвященном памяти этого выдающегося австрийского физика, Больцман дал высокую оценку его деятельности в области молекулярно-кинетической теории, особо выделяя определение размеров атомов.

•



... Как уже неоднократно отмечалось, Больцман был решительным сторонником механицизма, особенно на первых порах своей научной деятельности. С позиций механического материализма он и выступал против Маха и Оствальда. Возражая Оствальду, который утверждал, что нужно вообще отбросить всякие попытки-механистического истолкования энергетических законов, Больцман говорил:

*«Из того обстоятельства, что в дифференциальных уравнениях механики можно изменить знак перед временем на обратный, г. Оствальд заключает, что механическое понимание природы не может объяснить, почему процессы совершаются в природе преимущественно в определенном направлении. В этом заключении, как мне кажется, упущено, что механические явления, определяются не только дифференциальными уравнениями, но и начальными условиями.»*

*В прямом противоречии с г. Оствальдом я указал, что одним из блестящих подтверждений механистического мировоззрения на природу служит то, что оно дает чрезвычайно верную картину рассеяния энергии, если только допустить, что мир исходил из начального состояния, удовлетворявшего определенным начальным условиям».*

Защищая механицизм от нападков «энергетиков», Больцман, тем не менее не закрывал глаза на факты, которые показывали слабость механистической физики. Одним из таких важнейших фактов явилось доказательство статистической природы второго начала, факта, показавшего своеобразие тепловой формы движения материи, несводимость его к механическому перемещению атомов и молекул тела. В этом отношении работы самого Больцмана имели большое философское и методологическое значение.

Больцман сознавал, что современный ему механицизм далеко не тот, каким он был во времена Декарта и Ньютона и даже середины XIX в.

*«Я сам когда-то ломал копыя за механистическое мировоззрение,— писал он в одной из своих последних статей,— но только в том смысле, что оно является колоссальным прогрессом по сравнению с прежним, чисто механическим.»*

*Взгляд же, что не может-быть никакого другого объяснения природы, кроме объяснения ее посредством движения материальных точек, законы которого определены центральными силами, уже давно оставлен почти всеми».*

Больцман посвятил большую работу специально доказательству несостоятельности «энергетизма», в которой дал обстоятельный разбор идей «отцов энергетики» Гельма и Оствальда.

Борьба между «энергетикой» и атомистикой закончилась победой последней. Тем самым восторжествовала материалистическая линия развития науки. И важнейшей вехой на пути этого развития являются труды Больцмана.

Через несколько лет, после смерти Больцмана его идеи получили блестящее подтверждение и дальнейшее развитие в трудах польского физика Мариана Смолуховского.

Под влиянием идей Больцмана некоторые физики пересмотрели свою точку зрения на философию Маха и Оствальда. В качестве примера опять можно сослаться на Планка. Выше уже отмечалась эволюция взглядов Планка на молекулярно-кинетическую теорию и на статистическое обоснование второго начала термодинамики. Именно признание статистической природы этого закона привело Планка в конечном итоге к гениальному открытию — квантовой теории. Поэтому в дальнейшем он выступал последовательно в защиту атомистики, неизменно отмечая ее роль в физике и заслуги Больцмана в ее развитии:

*«В течение некоторого времени атомистической теории, казалось, угрожала серьезная опасность со стороны энергетики... Потребовался глубокий анализ и непреклонный научный оптимизм Людвига Больцмана для того, чтобы не только примирить атомистику со вторым началом термодинамики, но даже объяснить основную идею второго начала при помощи атомистики».*

Не удивительно поэтому, что Планк в конце концов воспринял победу идей Больцмана как *«сам собой разумеющийся факт»*.

Значительную эволюцию претерпела и точка зрения Планка на философию махизма. Если в молодости он считал себя решительным сторонником философии Маха, то позже понял, что *«она обещала больше, чем могла дать»*.

В 1910 г., выступая с докладом «Теория физического познания Эрнста Маха», Планк подверг резкой критике философию махизма. Свой доклад он закончил так:

*«В качестве путеводной нити физического исследования принцип экономии мышления не приносит ни малейшей пользы, если даже трактовать его в самом широком смысле... Поэтому физик, желающий двигать вперед свою науку, должен быть реалистом, а не экономистом, т. е., изучая смену явлений, он должен руководствоваться одной целью: отыскать в них всё неизменное, непреходящее, независимое от человеческих восприятий. Экономия мышления является для него при этом лишь средством, но не может служить конечной целью. Так всегда было и так будет вопреки Эрнсту Маху и его мнимой антимеритафизике».*

<Вот что написал о Больцмане известный французский математик Давид Рюэль:

**David Ruel. Hasard et Chaos. Princeton University Press, 1991**

**Давид Рюэль. Случайность и хаос. Издательство РХД, Ижевск, 1991>**

Существует несколько способов заниматься сложным научным размышлением. Некоторые люди просто сидят за столом, уставившись на лист бумаги; другие — ходят из угла в угол. Лично мне нравится лежать на спине с закрытыми глазами. Ученый, который на самом деле трудится изо всех сил, может весьма напоминать человека, который прилег вздремнуть. Сложные научные размышления — это не только опыт, приносящий максимум плодов, но и тяжелая работа. Человеку приходится беспрестанно следовать за идеями, позволяя им овладеть собой. Если кажется, что возникает интересная возможность, то на нее нужно навести фокус, проверить, иногда оставить, но в большинстве случаев отвергнуть. Должны развиваться дерзкие идеи общего плана, но затем должны проверяться детали, в процессе чего часто вскрываются катастрофические ошибки. Тогда конструкцию приходится перестраивать или отбрасывать большие ее части. И этот процесс продолжается день за днем, неделя за неделей, месяц за месяцем. Конечно рке, далеко не каждый, кто выдает себя за ученого, трудится столь напряженно. Многие прекратили работать давным-давно, а некоторые даже и не начинали. Но для тех, кто является действующим игроком, а не просто попусту теряет время и только прикидывается, что работает, эта игра сложна, болезненна, она требует напряжения и выматывает человека. И если плод этого труда, результат этого напряжения, получается с надменностью и пренебрежением, то может произойти трагедия. Представьте себе человека, который открыл смысл фундаментального аспекта Природы. Из года в год он занимался своим исследованием, несмотря на все нападки и непонимание своих современников. Потом он состарился, заболел, и у него началась депрессия. Именно это

произошло с австрийским физиком Людвигом Больцманом. 5 сентября 1906 года он покончил жизнь самоубийством; ему было шестьдесят два года.

Роль чувствительной зависимости от начальных условий при понимании необратимости во времена Больцмана фактически не была оценена должным образом. И опять я позволил себе небольшой анахронизм. Глядя в прошлое, мы видим, что идеи Больцмана идеально сочетаются с тем, что мы узнали позднее. Но во времена Больцмана все было далеко не так ясно. Безусловно, он осознавал свою правоту. Другим же казалось, что работа Больцмана полностью основана на сомнительной «атомической гипотезе». Они видели, что он использует сомнительную математику для выведения необратимой временной эволюции из законов классической механики, которые явно являются обратимыми. Они так и остались при своем мнении.

... Он начал с *термодинамики* — теории, связанной с энтропией и необратимостью. Термодинамика находилась и до сих пор находится в точном соответствии с экспериментами. Великой инициативой жизни Больцмана стало стремление дать интерпретацию термодинамики в рамках «атомической гипотезы» через статическую механику. Если атомы никогда не обнаружили бы и если бы статистическая механика так и не приобрела большей предсказательной ценности, чем это было во времена Больцмана, то «истинность» его идей вряд ли имела бы большое значение для физиков. Но видение Больцмана стало реальностью, ведь сейчас доказано, что материя состоит из атомов, а формулу Больцмана для энтропии можно проверить экспериментально, да и статистическая механика приобрела огромное предсказательное значение (главным образом, благодаря усилиям Гиббса и последующих поколений физиков).

Но при всем этом идеи Больцмана об атомах были далеки от конечной истины. Ведь атомы — это не просто маленькие движущиеся шарики; они обладают достаточно сложной структурой, и для их описания необходима квантовая механика. Предубеждения Больцмана сослужили ему (и нам) хорошую службу, но они являются лишь одним шагом в понимании Природы. А будет ли последний шаг? Существует ли конечная истина в физике? Будем надеяться, что ответ на этот вопрос положителен и что конечная физическая теория материи будет открыта (и доказана) еще при нашей жизни. Но необходимо понимать, что важность идей Больцмана не зависит от окончательного открытия конечной физической теории.

В жизни Больцмана присутствует элемент романтики. Он покончил жизнь самоубийством, потому что был, в некотором смысле, неудачником. Тем не менее, теперь он считается одним из величайших ученых своего времени, гораздо более значительным, нежели те, кто выступал в роли его оппонентов. Совершенно очевидно, что он был прав слишком рано. Но каким образом человек умудряется узнать правду раньше других? Я полагаю, что частично благодаря предубеждению. Человеку необходимы какие-то предвзятые идеи относительно физики, которые отличались бы от общепринятой догмы, и человек должен следовать этим идеям с некоторым упрямством. Быть может, ошибочность этих идей уже была доказана ранее, но если вы все понимаете правильно и если вам повезет, то эти идеи дадут вам ключ к новому пониманию Природы. Совершенно ясно, что предубеждение Больцмана имело явно механистический характер. Ранее подобное механистическое предубеждение уже двигало Декартом, но он ни к чему не пришел, тогда как Ньютон, имевший другое предубеждение, основал современную физику. Но во времена Больцмана механистическое предубеждение было необходимо для понимания термодинамики, и оно сработало. Приведу еще несколько примеров предубеждений: что математика является языком природы

(Галилей); что наш мир лучший из всех возможных миров (Лейбниц); что законы Природы должны удовлетворять эстетическим требованиям (Эйнштейн). В любое время некоторые научные предубеждения модны, другие — нет, но, несмотря на это, они могут сделать вас знаменитым после вашей смерти...