

УДК 11+167

В. А. Гречанова, С. Н. Почебут

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

К ВОПРОСУ О ФИЛОСОФСКИХ ОСНОВАНИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ В КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

Посвящается исследованию проблемы неопределенности в классической термодинамике и механике. Подробно рассматривается взаимосвязь понятий определенности и неопределенности как противоречий, лежащих в основе становления любых систем. Приводится ретроспектива данной проблемы в науке. Сделан вывод, что, как и в классической механике, в термодинамике состояние неопределенности можно интерпретировать как скачок в поведении системы, где под поведением системы следует понимать не механическое перемещение как один из видов физической формы движения материи, а изменение физических свойств в пределах качества системы, т. е. изменение самого качества. Таким образом, подкрепляется утверждение, что скачок поведения системы можно рассматривать как переход к другому ее качеству.

Неопределенность, противоречие, термодинамика, система, механика

В современной науке не вызывает сомнения эпистемологический факт, что научное знание было бы невозможным без представлений о детерминизме. Это означает, что идея определенности возможных состояний физических систем лежит в основе любого научного поиска. В теории детерминизма значение термина «определенность» длительное время соотносилось с представлением об однозначной жесткой связи между явлениями и их свойствами. Неопределенность же оказывалась категорией, выражающей отсутствие любой упорядоченности, характеристикой нерегулярности процессов развития, беспорядка в состоянии или структуре, являющейся синонимом неясности, скрытости, не установленности. Также неопределенность может выступать и характеристикой того, что еще не открыто, и выражать ошибочность знания. Неопределенность рассматривается и как ошибочность, следствие ложных выводов и множественных интерпретаций, ограниченности языка описания, связи, взаимодействия субъекта и объекта, меняющего акты объективного познания. Все это делает необходимым философское осмысление этой категории. Интерес к данной проблематике обусловлен еще и тем, что перспективы развития термодинамики сегодня можно рассматривать в двух основных плоскостях. Во-первых, в теоретической плоскости, где основные положения термодинамики уже определились и характеризуются выходом термодинамики за пределы анализируемой системы, а во-вторых, в практической или прикладной плоскости, где под прикладной плоскостью понимается направление, которое развивается в связи с приложениями нового расширенного термодинамического аппарата и развитием некоторых практически важных задач современной техники, биологии, а в последнее время и экономики. Независимо от сложности системы процессы, происходящие в этих областях научного знания, неизбежно подчинены законам термодинамики.

Это связано с включением в рассмотрение окружения системы, состоящей из равновесной окружающей среды и источников энергии, веществ, находящихся в неравновесном, но заторможенном состоянии. Все это приводит к необходимости философского переосмысления самих законов термодинамики, глубокого философского анализа категории неопределенности, начиная с классической термодинамики, поскольку эта проблема крайне недостаточно освещена в современной литературе.

Как и классическая механика, классическая термодинамика относится к теориям, построенным на фундаментальных экспериментальных фактах, и формулирует свои принципиальные положения также в виде динамических закономерностей. Естественно поэтому предположить, что классической термодинамике могут быть свойственны те же самые источники неопределенности, которые присущи и классической механике.

Однако, как показал И. Пригожин, существует принципиальная разница между законами механики и термодинамики [1, с. 124–126, 169–174]. Их различие коренится как в различии их предметов, так и в вытекающем из него различии методов описания и подходов к исследованию объекта. Мир механики статичен по самой сущности действующих в нем законов. Это область бытия, где все предопределено, и поэтому та неопределенность, которая обнаруживается в этих законах, выражает внутреннее противоречие самого бытия как такового, взятого в форме мира механики. Противоположность этому – термодинамика, наука о процессах, более того, о направленных процессах. Для мира механики различие между прошлым, настоящим и будущим условно и зависит от самих процессуальных законов термодинамики. Поэтому в нем все обратимо. Для мира термодинамики же напротив: прошлое, настоящее и будущее различаются вследствие специфики законов термодинамики, которым характерен свой уровень объективной определенности. При анализе физических процессов посредством законов термодинамики обнаруживается неопределенность, что невозможно сделать при помощи законов классической механики. В частности, если в классической механике прошлое всегда однозначно и, следовательно, с абсолютной определенностью порождает настоящее, а анализ настоящего позволяет в принципе с любой степенью точности воспроизвести прошлое, то в термодинамике одно и то же состояние системы может быть следствием различных начальных состояний. Таким образом, законы термодинамики допускают неопределенность детерминации, невозможную для механической причинности. Точно так же любое данное состояние не может однозначно определить последующий ход событий, что опять-таки порождает качественную неопределенность процесса.

С чем же связана неопределенность, которая следует из законов термодинамики? Во-первых, согласно Пригожину, в классической механике причинности как таковой, как аспекта взаимодействия просто нет. То есть именно это отсутствие реальной причинности позволяет представить мир механики в форме абсолютной, однозначной причинно-следственной связи. В противоположность этому в термодинамике учитывается взаимодействие, а оно с неизбежностью порождает и неопределенность. Но поскольку взаимодействие – это всегда противоречие, поэтому именно противоречивость, существующая в термодинамическом описании, порождает неопределенность. Во-вторых, предметом термодинамики являются сами законы процессов, а всякий процесс по своей сути противоречив. Он предполагает становление и порождаемую им неопределенность. Время при этом получает реальное основание и перестает быть чем-то иллюзорным, субъективным, как в классической механике. Вместе с тем классическая термодинамика получила дальнейшее развитие и объяснение в статистической термодинамике, где сама проблема неопределен-

ности также была поставлена существенно иным образом, чем в классической механике. Действительно, в отличие от классической механики, статистическая термодинамика содержит неопределенность уже в основополагающих принципах, в частности во втором начале термодинамики. Кроме того, из статистической физики известно, что сами термодинамические параметры имеют статистический смысл. Известно, что термодинамика изучает закономерности превращения энергии в различных физических, химических и других процессах и представляет собой в самом общем смысле науку об энергии и ее свойствах. Поскольку энергия есть общая мера различных форм материального движения, то термодинамика описывает процессы превращения качественно различных форм движения материи друг в друга. Поэтому неопределенность, если она имеется, должна проявляться каким-либо образом и в математическом описании соответствующих процессов.

Анализ соотношения объективного и субъективного в статистической термодинамике выявляет неопределенность трех основных типов: 1) неопределенность, связанную с заданием начальных условий, проявляющуюся в форме погрешностей измерения; 2) неопределенность, содержащуюся в самих законах; 3) принципиальную неопределенность, свойственную термодинамическим параметрам и законам, имеющим статистический смысл. Учитывается ли неопределенность, объективно содержащаяся в начальных условиях, термодинамикой? В классической термодинамике под начальными условиями подразумевается исходное состояние термодинамической системы, заданное неизменными внешними условиями (отсутствием взаимодействия с внешними телами), т. е. рассматриваются замкнутые или изолированные системы. Поэтому, несмотря на то, что в действительности любая термодинамическая система находится во взаимодействии с внешней средой, представляющей собой совокупность термодинамических систем, считается, что любую термодинамическую систему можно полностью охарактеризовать ограниченным числом термодинамических параметров, функциональная связь которых дает уравнение состояния.

Но поскольку внутренние параметры являются функциями взаимодействия всех систем (в реальных условиях существование абсолютно изолированных систем невозможно), то сами эти параметры, строго говоря, даже при первом приближении должны описываться системой уравнений для всей группы взаимодействующих систем. Однако для однозначного задания начальных условий этими параметрами необходимо было бы учесть их изменение внутри системы хотя бы за время релаксации, в течение которого термодинамическая система приходит в равновесное состояние. Таким образом, неопределенность, объективно содержащаяся в начальных условиях, не учитывается классической термодинамикой [2, с. 7]. Конкретно это проявляется в том, что термодинамические системы рассматриваются как изолированные, а квазиравновесные термодинамические процессы – как совокупность дискретных равновесных состояний. На первый взгляд кажется, что в этих идеализациях полностью сохраняются принципы однозначного детерминизма. Действительно, если неизменные внешние условия однозначно определяют начальное состояние, то каждое последующее состояние системы будет однозначно определяться предыдущим, а значит, наличию однозначной детерминации всего процесса внешними условиями. Между тем, чтобы судить о физических свойствах реальной термодинамической системы, необходимо располагать данными о ее поведении в конкретных физических условиях, поэтому на практике начальное состояние системы, как и все последующие, определяется эмпирически. Отсюда неопределенность начальных условий должна обязательно сохраниться в погрешности измерения термодинамических параметров, которые принципиально не могут быть заданы

однозначно, так как в природе не существует «истинных значений» этих параметров. Например, при построении изотермического процесса измеряются давление, объем и температура газа, которую, как считается, возможно поддерживать постоянной на все время опыта. Тем не менее, при многократном повторении эксперимента получаются изотермы, не совпадающие друг с другом. Однако неопределенность конечного результата является не только следствием неопределенности начальных условий. Если предположить, что точно учитывается эта неопределенность, то и тогда не будет совпадения экспериментальных и теоретических зависимостей из-за неточности теоретических закономерностей, т. е. будет иметь место неопределенность, скрытая в самой форме закона. Являясь абстракцией при обобщении множества опытных данных, закон устанавливает связи, существенные в данных условиях, исключая все несущественное. Вместе с тем термодинамические соотношения, например уравнения состояния реальных газов, отличаются от динамических закономерностей классической механики большей гибкостью, а именно: для одних и тех же условий существует несколько уравнений состояния вещества, которые в известных пределах описывают это состояние с различной степенью точности, т. е. содержат большую или меньшую неопределенность, причем уменьшить ее в какой-то мере можно в пределах этой же теории, используя дополнительные принципы. Иначе говоря, субъективная неопределенность динамических законов выступает здесь более рельефно, нежели в классической механике. Кроме того, несмотря на кажущуюся абсолютную определенность, проявляющуюся как однозначный математический детерминизм динамических закономерностей, уже классическая термодинамика отражает объективную неопределенность. Действительно, при анализе расчетной диаграммы видно, что форма изотерм Ван-дер-Ваальса меняется в зависимости от температуры, при которой осуществляется изотермический процесс с газом. В таком случае изотермы при температурах меньших, чем критическая, имеют волнообразные участки, на которых одному значению давления соответствуют три значения объема. Объем относится к неустойчивому участку, по достижении которого вещество не может оставаться в прежнем, например в газообразном, состоянии, а значит, должно скачком перейти в новое, жидкое состояние. В 1868 г. Эндрюс экспериментально получил эти изотермы для углекислоты и показал, что на самом деле выделить объем невозможно, так как переход вещества из одной фазы в другую совершается практически при постоянном давлении. Более тщательные опыты дали возможность лишь частично получить участки изотерм, близкие к точкам их перегибов, причем для этого понадобилось ввести некоторые практические допущения, связанные с прямым изменением исследуемой системы. Например, участок изотермы, соответствующий перегретому пару, можно обнаружить экспериментально, если очистить пар от центров конденсации, т. е. приблизить его к равновесному состоянию. Но и тогда небольшое возмущение в системе вызывает переход из состояния фазового равновесия к неустойчивому состоянию фазового перехода. При этом, как показали расчет и эксперимент, разница в значении некоторых термодинамических параметров может достигать до 100 % и более. С ростом температуры протяженность волнообразного участка уменьшается, точки максимума и минимума, являющиеся границей неустойчивого участка, сливаются в одну. На изотерме с исчезающей малой длиной волнообразной части имеется точка, в которой все три корня уравнения Ван-дер-Ваальса совпадают. Это и есть та самая критическая точка вещества, в которой первая и вторая производные давления по объему равны нулю. Она характеризуется критическими параметрами: объемом, давлением и температурой. Термодинамика констатирует факт отсутствия различия между жидкостью и паром в критической точке, поэтому вещество в этом состоянии с равным основанием можно

классифицировать как то и другое одновременно. При критической температуре всегда имеет место максимальная неопределенность термодинамического процесса по сравнению с неопределенностью, заложенной в начальных условиях, независимо от того, какое вещество рассматривается. Таким образом, приведенные примеры объективной неопределенности позволяют сделать вывод, что, так же как и в классической механике, в термодинамике состояние неопределенности можно интерпретировать как скачок в поведении системы. Однако под поведением системы в данном случае следует понимать не механическое перемещение как один из видов физической формы движения материи, а изменение физических свойств в пределах качества системы, изменение самого качества; скачок поведения есть переход к другому качеству. Еще при анализе механического движения неопределенность рассматривалась, по существу, как качественный переход, как изменение определенного качества движения, связанного с перерывом его постепенности. При этом отмечалось, что механизм неопределенности заключается в изменении соотношения противоположностей, обуславливающих данный вид движения. Это изменение носит характер перехода противоположностей друг в друга, в частности, вся кинетическая энергия с необходимостью переходит в потенциальную. В точке неопределенности линия потенциальной энергии имеет вид экстремальной кривой, и первая, и вторая производные пути по времени также равны нулю, поэтому при возобновлении движения в том или другом направлении знак производной меняется на противоположный. Аналогичная ситуация наблюдается в термодинамике, поскольку определенное качество вещества обусловлено в сущности законом изменения соотношения основных процессов в нем, проявляющимся как определенная тенденция в изменении свойств вещества. При скачкообразном изменении качества скачок одновременно является процессом изменения соотношения основных процессов в самом веществе, но так как термодинамика описывает превращения различных форм движения материи друг в друга, то, в отличие от классической механики, где изменение направления движения происходит внутри механической формы движения материи и качественные изменения не нарушают меры, она рассматривает качественный переход от одного состояния к другому и, следовательно, смену одних законов другими [3, с. 17–18].

В классической термодинамике не ставится вопрос о причине, порождающей скачок, она рассматривает линейную взаимосвязь количественных и качественных изменений. Поэтому, пользуясь средствами классической термодинамики, неопределенность можно интерпретировать лишь как тождественность по всем направлениям свойств вещества, возникающую во время скачка к новому качеству, противоположному старому [4]. Вскрыть механизм скачка изнутри можно, лишь прибегнув к молекулярно-кинетической теории, объясняющей критическую температуру как эффект действия молекулярных сил, выделяя при этом силы взаимного притяжения и кинетическую энергию движения молекул в качестве основных взаимодействующих противоположностей.

В зависимости от того, как развивается отношение этих противоположностей, наблюдается то или другое агрегатное состояние вещества. Температура ниже критической обусловлена тем, что энергия движения молекул меньше, чем энергия взаимодействия, и вещество находится в жидкой фазе. При обратных условиях вещество находится в газообразном состоянии. Условие равенства энергии притяжения молекул и энергии их относительного теплового движения определяет критическую температуру, т. е. наблюдается неопределенность в поведении термодинамической системы.

Итак, объективная неопределенность на макроуровне всегда детерминирована качественным изменением, а именно изменением отношения доминирования противоположностей.

Молекулярно-кинетическая теория не только дает качественное описание состояния вещества, но и отвечает на вопрос о причине неопределенного поведения термодинамических систем, так как принципиально отличается от термодинамики. Например, термодинамические параметры (температура, количество тепла, давление) выражают результат совместного действия очень большого числа частиц, причем статистический смысл этих параметров обосновывается здесь как следствие объективно случайного движения молекул. В частности, статистическая теория газов прямо вводит случайность как условие взаимодействия молекул.

Объяснить свойства газов, учитывая движение каждой молекулы, невозможно не из-за того, что это практически невозможно, а потому что движение любой одной молекулы детерминировано не какой-то одной причиной, а сложной их совокупностью. Если иметь в виду одну, пусть даже самую существенную и внешнюю причину, то и она каждый раз будет различной вследствие бесконечности взаимодействия во времени и пространстве. Как подсчитал Э. Борель, перемещение одного грамма вещества на один сантиметр на какой-нибудь не слишком отдаленной звезде изменит гравитационное поле Земли, а такое изменение начального положения и скоростей молекул газа сделает невозможным определение их движения для отрезка времени свыше одной миллионной доли секунды. Поэтому даже предположение, что движение одной молекулы подчиняется строгой динамической закономерности, случайно и неопределенно, поскольку каждый раз может произойти так, а может и иначе, ведь случайность и неопределенность являются ничем иным как следствием объективной сложности и бесконечности мира.

В статистической термодинамике для характеристики свойств пользуются средними значениями термодинамических параметров, так как они являются флуктуирующими, неопределенными. Именно к такому выводу приходят многие специалисты, изучающие вопросы, связанные с термодинамикой [5]–[9]. Например, давление газа неодинаково на различных участках поверхности сосуда и отличается от среднего на величину флуктуаций, которые являются следствием неопределенности, сложившейся в случайном движении молекул. Очевидна принципиальная невозможность абсолютно точного измерения, поскольку его можно было бы осуществить лишь при отсутствии случайных взаимодействий, т. е. теплового шума. По сути дела принцип неопределенности, аналогичный, но не тождественный квантово-механическому, мог бы быть сформулирован для молекулярного уровня раньше, чем принцип неопределенности в квантовой физике. На молекулярном уровне также имеется уровень неопределенности, порождаемый тепловым шумом, проявляющимся на макроуровне как броуновское движение. Этот уровень неопределенности устанавливает предел точности измерений для макроуровня. Молекулярный уровень неопределенности детерминирован спецификой молекулярной формы движения материи и представляет собой беспорядочные движения молекул с энергией порядка kT на каждую степень свободы (где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура) и не является проявлением квантовых свойств материи. Но так как высшие формы движения материи обязательно включают низшие, то неопределенность квантово-механического уровня также должна проявляться на молекулярном уровне.

Наконец, большое значение для трактовки принципиальной неопределенности в термодинамике имела фундаментальная идея о связи вероятности и энтропии (впервые она была высказана Больцманом) для вероятностной интерпретации второго начала термодинамики. Такая идея сформировалась на принципиально новом положении, заключающемся в отказе от абсолютности термодинамической необратимости. Это означает, что микропроцессы, приводящие систему в состояние термодинамического равновесия, обратимы, поэтому они могут протекать в направлении как повышения, так и понижения энтропии.

Макроскопическая необратимость появляется в результате преобладания прямого направления, т. е. возрастания энтропии. Таким образом, необратимость процесса обусловлена большей вероятностью в направленности микропроцессов. Сама же энтропия трактуется Больцманом не как однозначная функция состояния системы, а как некоторая функция вероятности ее состояния. Наиболее вероятным состоянием является хаотическое движение молекул, поэтому энтропию можно рассматривать как беспорядок или хаос в движении молекул, иначе говоря, как неопределенность их движения.

Таким образом, в статистической физике многие термодинамические параметры имеют статистический смысл, т. е. неопределенность является необходимой, неотъемлемой стороной всех термодинамических параметров. Применение Больцманом вероятностных методов в молекулярно-кинетической теории позволило поставить вопрос о взаимоотношении статистических и динамических закономерностей и рассматривать его через соотношение определенности и неопределенности. Отсюда вытекает методологическое требование о возможности найти такой круг определяющих факторов, который однозначно обуславливал бы некоторую группу событий, принадлежащих данной системе. Осмысление этой проблемы привело к постановке вопроса о неудовлетворительности аналитико-каузального образа детерминационного процесса, о пересмотре точки зрения на характер возможных изменений. Благодаря этому, в рамках уже неклассических представлений определенность и неопределенность рассматриваются как стороны объективной необходимости с преобладанием определенности. В рамках этого рассматриваются, например, представления об информационной определенности. Здесь детерминация связана с общей формой определенности, обнаруживаемой в процессах превращения возможности в действительность. Характер этой определенности предполагает широкие возможности для изменения и развития, а сам ход изменения детерминируется наиболее существенными из возможностей. В этом случае постулируется, что в той или иной системе складывается сложная совокупность условий, от которых зависит реализация вполне определенных путей изменения объекта. К этим условиям относится качественная градация уровней организации объекта, существование иерархии в соподчинении таких уровней. При этом предполагается, что изменения на одном уровне относительно независимы от изменений на другом. Важной характеристикой системы в этом случае является существование устойчивых механизмов отклика на внешние, зачастую случайные воздействия.

Подобный взгляд оставляет открытым вопрос отличия существенных возможностей от несущественных. И все же стоит отметить, что хаосу, как и случайным переменам степени реализующейся возможности, в подобной картине уже не может быть места.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой / пер. с англ.; общ. ред. В. И. Аршинова, Ю. Л. Климонтовича, Ю. В. Сачкова. М.: Прогресс, 1986.
2. Вукалович М. П., Новиков И. И. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1968.
3. Ноздрев В. Ф. Курс термодинамики. 2-е изд. М.: ГИФМЛ, 1961.
4. Горбач В. И. Проблемы диалектических противоречий. М.: Наука, 1972.
5. Берд Д. Физика. От теории к практике: в 2 кн. Кн. 1: Механика, оптика, термодинамика. М.: Додэка, 2006.
6. Буданов В. В., Максимов А. И. Химическая термодинамика. М.: Академкнига, 2007.
7. Гросс Д. Х. Э. Микрোকвантовая термодинамика. М.: Научный мир, 2010.

8. Ильин В. Н. Термодинамика и социология: физические основы социальных процессов и явлений. М.: КомКнига, 2015.

9. Степин П. А. Теоретические основы физического материаловедения. Статистическая термодинамика модельных систем: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2016.

V. A. Grechanova, S. N. Pochebut

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

REVISITING PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF UNCERTAINTY IN CLASSICAL PHYSICS

The article addresses the problem of uncertainty in classical thermodynamics and mechanics. The relation of concepts of certainty and uncertainty is studied in detail, and they are considered opposites forming the basis of any system. In addition, a scientific retrospective of this problem is given. It is concluded that both in classical mechanics and thermodynamics the state of uncertainty can be interpreted as a leap in system behaviour, and by it we mean not mechanical motion as a type of physical motion of matter but the change of physical properties within the system quality, i.e. change of its quality. Thus the article confirms that a leap in system behaviour can be considered a transition to a different system quality.

Uncertainty, opposite, thermodynamics, system, mechanics

УДК 304.2

О. В. Гуторович

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского

ОБЩЕСТВО БУДУЩЕГО: КАКИМ ОНО БУДЕТ?

Посвящается проблемам, связанным со стремительным развитием науки и техники в XXI в. Перед автором стоит задача не просто показать масштабность изменений в этой сфере, о чем свидетельствует развитие конвергентных технологий, а заострить внимание на последствиях, с которыми предстоит столкнуться человеку и обществу будущего. Дается характеристика формирующего сетевого общества, определяющую роль в развитии которого играют компьютерные сети; раскрывается его сущность и принципы построения; рассматриваются особенности сетевой культуры. Не менее важно показать читателям, что последствия научно-технического развития сопряжены с разными рисками, и не всегда мы вправе ожидать исключительно положительных последствий. Тем не менее человеку предстоит принять и освоить парадигмы и смыслы, на которых будет выстроено общество будущего.

Научно-техническая революция, конвергентные технологии, информационно-коммуникационные технологии, нейронет, сетевое общество, сетевая личность

Начало XXI в. ознаменовалось масштабными изменениями в сфере науки и техники. Среди ярких научных открытий следует назвать успешное секвенирование генома человека, обнаружение квантовой телепортации, экспериментальное подтверждение существования графена, создание первой синтетической бактериальной клетки, получение «этичных» стволовых клеток, разработку первого искусственного автономного сердца, создание биомеханических устройств и протезов, контролируемых усилием мысли, и многое другое. Основные направления научно-технологического развития связаны с поиском новых источников энергии, совершенствованием компьютерных и телекоммуникационных технологий, робототизацией.

Но все чаще говорят о стремительном развитии конвергентных технологий — о так называемой «большой четверке», в которую входят информационно-коммуникационные,