ВОЗРОЖДЕНИЕ И НОВОЕ ВРЕМЯ

О ФИЛОСОФСКО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПОСЫЛКАХ МЕХАНИКИ ГАЛИЛЕЯ

П. П. Гайденко

В историко-научных исследованиях, посвященных творчеству Галилея, неоднократно обсуждался вопрос о том, можно ли считать Галилея «платоником», а науку нового времени, одним из основоположников которой был Галилей, как бы продолжением и развитием принципов античного платонизма.

Вопрос этот гораздо серьезнее, чем может показаться на первый взгляд. Он касается методологических оснований современной науки, а не просто некоторых особенностей, так сказать, частностей и нюансов творчества выдающегося итальянского учёного. Еще в конце XIX – начале XX в. стало распространяться представление, что Галилей в своем отталкивании от Аристотеля и средневековой физики опирается на традицию платонизма и строит свою научную теорию на основе методологических принципов Платона и пифагорейцев. Особенно много труда для обоснования этой точки зрения было приложено неокантианцами марбургской школы, в частности Э. Кассирером. Эту точку зрения разделяют и многие современные историки науки, например А. Койре, А. Банфи [1] и др. Не будет преувеличением сказать, что такой взгляд на физику Галилея является сегодня господствующим.

В пользу этой точки зрения действительно говорит тот факт, что Галилей считал «книгу природы» написанной на языке математики, а потому видел в математике единственно надежный инструмент для построения системы физики. В этом, безусловно, сказывается сходство воззрений Галилея и Платона, объясняющее частые ссылки Галилея на античного философа и несомненное предпочтение платоновского понимания науки аристотелевскому: у Аристотеля, как известно, математика идет «после физики», которая мыслится как наука нематематическая, а математическое знание получает совершенно другое обоснование, чем у Платона и в его школе [2].

Однако на этом сходство Галилея с Платоном, пожалуй, и кончается. Ибо философско-теоретическое обоснование математики, как и ее содержательная интерпретация, оказываются у этих двух мыслителей совершенно различными. Что же касается вопроса, принципиального для Галилея, а именно о возможности создать физику – науку о движении – на базе математики, то здесь позиции Галилея и Платона прямо противоположны: Платон, как известно, не допускал возможности точного и строгого знания о мире изменчивости и становления. Неокантианцы потому только не уделяли должного внимания этому различию, что дали самому Платону и его научной программе не совсем адекватное истолкование, модернизировав греческого философа и представив его как прямого предшественника Галилея и Канта. В результате такого прочтения Платона для П. Наторпа и Э. Кассирера оказались в тени также и те моменты в понимании науки, которые связывали Платона с Аристотелем: различие научных программ Платона и Аристотеля Кассирер видит сквозь призму галилеевских работ. В результате происходит смещение реального положения вещей: Галилей становится слишком «платонизированным», а Аристотель превращается в плоского, формального логика, не знающего иных методов, кроме силлогизма, и примитивного эмпирика, каким он в действительности никогда не был.

Нет сомнения, что Галилей испытал сильное влияние Архимеда. На этот счет среди историков науки в общем-то нет разногласий. Однако для того, чтобы яснее увидеть специфические особенности метода Галилея, отличающие его как от Платона, так и от Архимеда, целесообразно, на наш взгляд, сопоставить произведения Галилея не только с работами античных и современных ему математиков, что давно и сделано историками науки, но и с философскими сочинениями эпохи Возрождения, в частности с трудами Николая Кузанского. Ибо вопреки довольно распространенному мнению о том, что Галилей был по преимуществу ученым-экспериментатором, а не философом-теоретиком, сочинения Галилея свидетельствуют о том, что он много размышлял над теоретическим обоснованием вводимых им методов. Оговоримся: конечно, Галилей не создал стройной и продуманной философской системы, как это сделал, например, Декарт; но он искал способа философски и логически обосновать новые методы изучения природы, и анализ этого обоснования помогает разрешить также и вопрос о «платонизме» галилеевской физики.

Как мы попытаемся показать в этой статье, различие между принципами Галилея и платоновско-пифагорейской научной программой проходит по той же линии, по какой наметилось различие между философией Николая Кузанского, с одной стороны, и античным платонизмом и неоплатонизмом — с другой. Как и Кузанец, Галилей критикует Аристотеля и почтительно отзывается о Платоне; но, опять-таки подобно Кузанцу, он в ряде принципиальных вопросов решительно отходит от Платона и от античной философии и математики вообще. Подготовляя фундамент науки нового времени, Галилей, как мы покажем в этой статье, опирается на принцип совпадения противоположностей, введенный Николаем Кузанским, и применяет этот принцип при разработке проблем бесконечного и неделимого.

В «Беседах и математических доказательствах», касаясь вопроса о причинах связности тел, Галилей высказывает несколько гипотетических положений о строении материи и в этой связи оказывается вынужденным поставить вопрос о природе континуума. «По моему мнению,— говорит Сальвиати, представляющий взгляды самого Галилея,— связность эта может быть сведена к двум основаниям: одно — это пресловутая боязнь пустоты у природы; в качестве другого (не считая достаточной боязнь пустоты) приходится допустить что-либо связующее, вроде клея, что плотно соединяет частицы, из которых составлено тело» [3]. При последующем обсуждении оказывается, что вторую причину нет надобности и допускать, поскольку для объяснения сцепления тел вполне достаточно первой причины. «... Так как каждое действие должно иметь только одну истинную и ясную причину, я же не нахожу другого связующего средства, то не удовлетвориться ли нам одной действующей причиной — пустотою, признав ее достаточность?» [4]

Обсуждение природы пустоты и ее возможности присутствия в телах в виде своего рода пор («мельчайших пустот» [5]) приводит Галилея к той проблеме, которая на протяжении средних веков была связана с гипотезой о существовании пустоты, а именно к проблеме непрерывности. Ведь допущение пустот в виде мельчайших промежутков между частями тела требует обсудить вопросы о том, что же такое само тело, представляет ли оно собой нечто непрерывное или же состоит из мельчайших «неделимых», и каково, далее, число этих последних — конечное или бесконечное?

Вопросы эти, нужно сказать, широко дискутировались в XIII и особенно в XIV в., и в самой постановке этих вопросов Галилей еще не выходит за рамки средневековой науки. Но вот в решении их,— пусть и гипотетическом, как он неоднократно это подчеркивает [6],— Галилей уже выступает отнюдь не как средневековый ученый и философ. Он допускает существование «мельчайших пустот» в телах, которые и являются источником силы сцепления в них, оказывающей подчас мощное сопротивление при попытке разъединить части тела.

Обратим внимание на интересное различие в постановке вопроса у Галилея и античных атомистов: у последних пустоты, поры в телах выступали как причина их разрушимости, почему и надо было Демокриту предположить, что атом только потому неразрушим, что он сплошной, в нем нет пустоты, которая разделяла бы его на части. У Галилея же, напротив, пустота выступает как сила сцепления. И происходит это потому, что о силе пустоты Галилей вслед за средневековыми физиками рассуждает в понятиях аристотелевской, а не атомистической программы: по Аристотелю, природа «боится пустоты», чем Аристотель и объясняет целый ряд физических явлений, в том числе движение жидкости в сообщающихся сосудах и т. д. К таким же объяснениям прибегали некоторые средневековые физики. Их принимает и Галилей, когда пишет: «Если мы возьмем цилиндр воды и обнаружим в нем сопротивление его частиц разделению, то оно не может происходить от иной причины, кроме стремления не допустить образования пустоты»[7].

Возможность наличия мельчайших пустот в телах Галилей доказывает сначала с помощью физического аргумента[8], а затем в подкрепление его обращается к аргументу философскому, а именно к вопросу о структуре континуума. К этому переходу побуждает Галилея естественный вопрос: как можно объяснить огромную силу сопротивления некоторых материалов разрыву или деформации с помощью ссылок на «мельчайшие пустоты»? Ведь, будучи мельчайшими, эти пустоты, надо полагать, имеют и ничтожную величину[9].

Чтобы разрешить возникшее затруднение, Галилей прибегает к допущению, сыгравшему кардинальную роль в становлении науки нового времени. Он заявляет, что «хотя эти пустоты имеют ничтожную величину (заметим, что величину, хоть и ничтожную, они все же имеют.— *П. Г.*) и, следовательно, сопротивление каждой из них легко превозмогаемо, но неисчислимость их количества неисчислимо увеличивает сопротивляемость (если можно так выразиться)»[10]. Неисчислимость количества ничтожно-малых пустот — это же в сущности бесконечное множество бесконечно-малых (инфинитезимальных), можно сказать, пустот и можно сказать, сил сопротивления. Впоследствии окажется, что этот метод суммирования бесконечно-большого числа бесконечно-малых — неважно чего: моментов времени, частей пространства, моментов движения и т. д.— является универсальным и необычайно плодотворным инструментом мышления.

Чтобы понять, какую революционизирующую роль сыграл этот предложенный Галилеем метод суммирования, достаточно сравнить античное и средневековое понимание суммирования частей — пусть даже очень малых, но конечных — с предложенным Галилеем способом суммирования бесконечно малых «частей». В «Беседах...» старый традиционный метод излагает Сагредо, собеседник Сальвиати: «... если сопротивление не бесконечно велико, то оно может быть преодолено множеством весьма малых сил, так что большое количество муравьев могло бы вытащить на землю судно, нагруженное зерном? В самом деле, мы ежедневно, наблюдаем, как муравей тащит зерно, а так как зерен в судне не бесконечное множество, но некоторое ограниченное число, то, увеличив это число даже в четыре или в шесть раз, мы все же найдем, что соответственно большее количество муравьев, принявшись за работу, может вытащить на землю и зерно, и корабль. Конечно, для того, чтобы это было возможно, необходимо чтобы и число их было велико: мне кажется, что именно так обстоит дело и с пустотами, держащими связанными частицы металла.

Сальвиати. Но если бы понадобилось, чтобы число их было бесконечным, то сочли бы вы это невозможным?

Сагредо: Нет, не счел бы, если бы масса металла была бесконечной, в противном случае...»[11].

Ясно, что хотел сказать Сагредо: в противном случае мы окажемся перед парадоксом, восходящим еще к Зенону. Как бы малы ни были составляющие элементы, но если они имеют конечную величину, то бесконечное их число в сумме даст и бесконечную же величину — неважно, идет ли речь о массе металла, длине линии или величине скорости. На этом принципе стоит как математика греков, так и их физика: ни та, ни другая не имеет дела с актуальными бесконечностями — будь то бесконечно-большие величины или же бесконечно-малые. Приведенный Сагредо пример с муравьями — лишь один из вариантов формулировки той самой аксиомы непрерывности Архимеда или аксиомы Евдокса, которая устанавливает, какого рода величины могут находиться между собой в отношении и что это значит — находиться в отношении [12].

Именно эту аксиому хочет оспорить Галилей. Вот что отвечает Сальвиати-Галилей задумавшемуся Сагредо: «В противном случае — что же? Раз мы уже дошли до парадоксов, то попробуем, нельзя ли каким-либо образом доказать, что в некоторой конечной непрерывной величине может существовать бесконечное множество пустот» [13]. Как видим, Галилей хочет доказать, что конечная величина может представлять собой сумму бесконечного числа — нельзя сказать, что величин, скажем пока — элементов, в данном случае — «пустот». В доказательство своего парадоксального утверждения Галилей обращается к знаменитому «колесу Аристотеля» — задаче, которой очень много занимались средневековые ученые и суть которой сформулирована в «Механических проблемах» [14]. В средневековой механике эта задача формулируется в виде вопроса: почему при совместном качении двух концентрических кругов больший проходит такое же расстояние, как и меньший, в то время как при независимом движении этих двух кругов пройденные ими расстояния относились бы как их радиусы? Галилей решает парадокс «Аристотелева колеса» совсем не так, как это делал автор «Механических проблем», работавший в рамках научной программы Аристотеля [15].

Чтобы решить задачу о качении концентрических кругов, Галилей начинает с допущения, которое ему позволяет сделать затем «предельный переход», играющий принципиально важную роль в его доказательстве: он рассматривает сначала качение равносторонних и равноугольных концентрических многоугольников [16]. При качении большего многоугольника должен двигаться также и вписанный в него меньший: при этом, как доказывает Галилей, меньший многоугольник пройдет пространство, почти равное пройденному бо́льшим, «если включить в пространство, пройденное меньшим, также и интервалы под дугами, не затронутые на самом деле никакой частью периметра меньшего многоугольника» [17]. При качении меньшего многоугольника, как показывает Галилей, происходят «скачки», как бы «пустые промежутки», число которых будет равно числу сторон обоих многоугольников. При возрастании числа сторон многоугольников размеры пустых промежутков уменьшаются пропорционально увеличению числа сторон. Однако пока многоугольник остается самим собой, то как бы ни возрастало число его сторон, они остаются все же конечной величиной, а потому и число пустых промежутков будет как угодно большим, но конечным числом.

Но если мы рассмотрим случай предельного перехода, когда многоугольник превращается в круг, то дело существенно меняется. «... Как в многоугольнике со ста тысячами сторон путь, пройденный при обороте, измеряется обводом большего многоугольника, т. е. отложением без перерыва всех его сторон, в то время как путь меньшего многоугольника также равен ста тысячам его сторон с прибавлением такого же числа, т. е. ста тысяч пустых промежутков, так и в кругах (представляющих собой многоугольники с бесконечно большим числом сторон) линия, образуемая непрерывным наложением бесконечно большого числа сторон большего круга, приблизительно равна по длине линии, образованной наложением бесконечно большого числа сторон меньшего круга, если включить в нее и промежутки: а так как число сторон не ограничено, а бесконечно, то и число промежутков между ними также бесконечно: бесчисленные точки в одном случае заняты все, в другом случае часть их занята, а часть пуста» [18].

Здесь Галилей делает допущение, на котором уже и держится все последующее его доказательство, а именно что круг представляет собой многоугольник с бесконечно большим числом сторон. Такое допущение не принималось математиками ни в античности, ни в средние века, оно дозволялось только в логистике для упрощения расчетов, которые всегда принимались как приблизительные. Допущение предельного перехода многоугольника с как угодно большим, но конечным числом сторон в фигуру другого рода — круг — позволяет Галилею ввести в оборот понятие актуальной бесконечности, вместе с которым в научное построение проникают парадоксы,— и на этих-то парадоксах, которые прежде в математику пытались не впускать, как раз и работает та новая ветвь математики, которая во времена Галилея носила название «математики неделимых», а впоследствии получила название исчисления бесконечно-малых. В «Беседах...» Галилея мы наглядно можем видеть, как формируется методологический базис этой новой математики, возникшей вместе с механикой нового времени как ее математический фундамент.

Весь парадокс теперь сосредоточивается в понятии «пустых точек», которые представляют собой промежутки, лишенные величины. Введение этих «пустых точек» служит для Галилея средством преодоления противоположности непрерывного и дискретного — противоположности, которую считал принципиальной для науки Аристотель и на которой базируется его научная программа в той же мере, в какой и математика Евклида. Насколько эта противоположность была принципиальна также и для средневековой науки, свидетельствует, в частности, трактат Брадвардина о континууме, где показано, к каким парадоксам и противоречиям приводит попытка составления континуума из неделимых (т. е. из точек).

Напротив, Галилей с большой убедительностью показывает, какие новые возможности открываются перед научным мышлением, если принять понятие актуальной бесконечности. «... Разделяя линию на некоторые конечные и потому поддающиеся счету части, нельзя получить путем соединения этих частей линии, превышающей по длине первоначальную, не вставляя пустых пространств между ее частями; но представляя себе линию, разделенную на неконечные части, т. е. на бесконечно многие ее неделимые, мы можем мыслить ее колоссально растянутой без вставки конечных пустых пространств, а путем вставки бесконечно многих неделимых пустот» [19].

Таким путем вводит Галилей чрезвычайно важное для науки XVII—XVIII вв. понятие неделимого, вызвавшее серьезную дискуссию между математиками, философами, физиками на протяжении более чем двухсот лет. Это новое понятие базируется на приеме, введенном в теоретическое мышление Николаем Кузанским,— на приеме предельного перехода, представляющем собой как бы псевдонаглядную демонстрацию принципа совпадения противоположностей. Именно псевдонаглядную, потому что не только нашему наглядному представлению, но даже нашему мышлению не под силу постигнуть совпадение противоположностей, о котором ведут речь и Кузанец и Галилей.

Заметим, как называет Галилей это новорожденное понятие-парадокс. Он дает ему несколько имен, каждое из которых несет на себе след того приема мысли, с помощью которого это понятие появилось на свет: «пустые точки», «неделимые пустоты», «неконечные части линии» и, наконец, просто «неделимые», или «атомы».

Вот тут, на исходе XVI в., впервые действительно появляются те самые «математические атомы», или «амеры», которые С. Я. Лурье нашел у Галилея и его ученика Кавальери и попытался — но без достаточных доказательств — обнаружить также и у Демокрита [20]. К такому сопоставлению С. Я. Лурье побудили, вероятно, некоторые высказывания того же Галилея [21].

Получив понятие «неделимого» в рамках математического рассуждения, Галилей, однако же, показывает, что это понятие вполне «работает» также и в физике. Более того, как мы помним, даже и математическое доказательство было предпринято им с целью найти средства для решения физической проблемы связности тел. «То, что я сказал о простых линиях,— пишет Галилей,— относится также и к поверхностям твердых тел, если рассматривать их как состоящие из бесконечного множества атомов. Если мы разделим тело на конечное число частей, то, без сомнения, не сможем получить из них тела, которое занимало бы объем, превышающий первоначальный, без того, чтобы между частями не образовалось пустого пространства, т. е. такого, которое не заполнено веществом данного тела; но если допустить предельное и крайнее разложение тела на лишенные величины и бесчисленные первичные составляющие, то можно представить себе такие составляющие растянутыми на огромное пространство путем включения не конечных пустых пространств, а только бесконечно многих пустот, лишенных величины. И таким образом допустимо, например, растянуть маленький золотой шарик на весьма большой объем, не допуская конечных пустот,— во всяком случае, если мы принимаем, что золото состоит из бесконечно многих неделимых» [22].

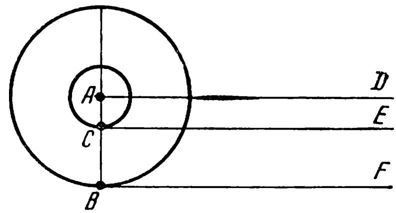
Не удивительно, что понятие «неделимого» или «бесконечно малого» на протяжении многих десятилетий отвергалось большим числом математиков и вызывало споры у физиков. Ведь в сущности Галилей в приведенном выше отрывке узаконивает апорию Зенона (служившую для элеатов средством доказательства того, что множество вообще не может быть мыслимо без противоречия), превращая ее из орудия разрушения в орудие созидания, но не снимая при этом противоречия, а пользуясь им как инструментом позитивной науки. В самом деле: Галилей утверждает, что из лишенных величины элементов (т. е. элементов, строго говоря, бестелесных, ибо тело — пусть самое наименьшее — всегда имеет величину) можно составить как угодно большое тело при условии, что этих лишенных величины составляющих будет бесконечное множество. Таким образом, одно непонятное — лишенная величины часть тела — Галилей хочет сделать инструментом познания с помощью другого непонятного — актуально существующего бесконечного числа, которого не принимала ни античная, ни средневековая математика. Последняя, правда, в лице некоторых своих теоретиков (как, например, Гроссетеста) признавала актуально бесконечное число, но Гроссетест оговаривал, что оно известно лишь богу, а человеческий разум оперировать этим понятием не в состоянии [23].

Как видно из рассуждений Галилея, понятие бесконечно-малого вводится им одновременно с понятием бесконечно-большого — эти два понятия взаимно предполагают друг друга.

«Неделимое», или бесконечно-малое, Галилея есть «абсолютный минимум» Николая Кузанского, а Галилеево «бесконечно-большое» — абсолютный максимум. И в основе галилеевского построения лежит идея тождества этих противоположностей, в конечном счете восходящая к тождеству Единого и беспредельного, составляющему центральный принцип учения Кузанца. Чтобы убедиться в этом еще раз, рассмотрим аргументацию Галилея, приводимую им для того, чтобы рассеять сомнения его современников в пригодности для науки предлагаемых Галилеем понятий-парадоксов.

Вот характерное возражение аристотелика Симпличио. Возвращаясь к примеру с качением концентрических окружностей, Симпличио вскрывает парадокс, состоящий в следующем: «Если окружности двух кругов равны двум прямым CE и BF,— последней сполна, а второй — с присоединением бесконечного множества пустых промежутков,— то каким образом линия AD, описанная центром, составляющим одну точку, может быть приравнена этому центру, в то время как состоит из бесконечного числа точек» [24].

Симпличио обращает внимание Сальвиати на тот самый парадокс, который в свое время обсуждал Николай Кузанский: как можно отождествить точку и линию? И точно так же как Кузанский не останавливался перед понятием этого парадокса, а принимал его как таковой и в его парадоксальности видел как раз признак его истинности, так и Галилей — он, пожалуй, еще больше — заостряет то противоречие, на которое, видимо, не раз обращали его внимание оппоненты-перипатетики.



Здесь важно отметить как общность метода Кузанца и Галилея, так и тот новый шаг, который делает Галилей в своем отождествлении противоположностей. Кузанец, допуская совпадение центра окружности с ее диаметром, если взять круг с бесконечно-большим радиусом, уже выходит за пределы собственно математики. Математические примеры играют у него, скорее, символическую роль, выступают в качестве демонстрации философско-теологических положений. Не то у Галилея. Он хотел бы остаться на почве математики, хотя при этом прекрасно сознает, что «бесконечное для нас, по существу, непостижимо, равно как и неделимое» [25],— и все-таки это «непостижимое», этот парадокс неудержимо влечет его к себе. Поэтому и его alter ego Сагредо удерживается от того, «чтобы разрушать такое прекрасное построение грубыми педантическими нападками» [26].

Что отождествление Галилеем «бесконечного» и «неделимого» восходит к совпадению максимума и минимума Николая Кузанского, нетрудно убедиться еще на одном примере. Опять-таки с помощью математического рассуждения Галилей пытается доказать тезис Кузанца о тождестве единого и бесконечного. Галилей считает само собой разумеющимся, что квадратов целых чисел должно быть столько же, сколько существует самих этих чисел, так как каждый квадрат имеет свой корень и каждый корень свой квадрат. А между тем «всех чисел больше, чем квадратов, так как бо́льшая часть их не квадраты. Действительно, число квадратов непрерывно и в весьма большой пропорции убывает по мере того, как мы переходим к большим числам; так, из числа до ста квадратами являются десять, т. е. одна десятая часть; до десяти тысяч квадратами будут лишь одна сотая часть; до одного миллиона — только одна тысячная часть. А в отношении бесконечного числа, если бы только мы могли постичь его, мы должны были бы сказать, что квадратов столько же, сколько всех чисел» [27]

В результате этого рассуждения Галилей делает неожиданный вывод: «Продолжая деление и умножая число частей в предположении приблизиться к бесконечности, мы на самом деле удаляемся от нее... Мы видели ... что, чем к большим числам мы переходим, тем реже попадаются в них квадраты и еще реже — кубы; отсюда ясно, что, переходя к бо́льшим числам, мы все более удаляемся от бесконечного числа; отсюда можно вывести заключение ... что если какое-либо число должно являться бесконечностью, то этим числом должна быть единица; в самом деле, в ней мы находим условия и необходимые признаки, которым должно удовлетворять бесконечно большое число, поскольку она содержит в себе столько же квадратов, сколько кубов и сколько чисел вообще» [28].

Это доказательство Галилея, где наиболее наглядно видна глубокая связь его со способом мышления Николая Кузанского, а именно с его диалектикой «совпадения противоположностей» [29], опять-таки представляет собой парадокс. Единица в понимании античных математиков и философов вообще не есть число [30], а является только «началом числа», или «принципом числа»; она — математический «представитель» того самого Единого, которое в конечном счете непостижимо. Единица, или единое порождает все числа при соединении с противоположным ему началом — беспредельным. Ни сама единица, ни беспредельное не суть числа, как поясняли пифагорейцы: первым числом у них является тройка (ибо двойка — это тоже еще не число, а символ беспредельного) [31].

У Галилея, как и у Николая Кузанского, единое и беспредельное оказываются тождественными, и единица, таким образом, есть бесконечное. Галилей, подобно Кузанцу, мыслит бесконечность как актуальную. Сам пример, приведенный Галилеем, представляющий собой утверждение о том, что множество квадратов равномощно множеству всех натуральных чисел, предвосхищает положения теории множеств Георга Кантора.

При этом Галилей прекрасно понимает, что понятие актуальной бесконечности не может быть получено на том пути, на котором мы приходим к понятию бесконечности потенциальной; то действие, которое мы осуществляем, деля, допустим, отрезок пополам, затем на четыре части, на восемь частей и т. д. до бесконечности, никогда не приведет нас к получению актуально бесконечного множества, ибо «такой процесс постепенного деления конечных величин необходимо было бы продолжать вечно; достигнуть же таким путем приближения к неделимым в конечный период времени совершенно невозможно» [32].

Конечная величина, подчеркивает Галилей, никогда не может превратиться в актуально-бесконечную путем постепенного увеличения,— напротив, как замечает Галилей, идя этим путем, мы удаляемся от актуальной бесконечности. Между конечным и актуально-бесконечным — непроходимый рубеж: как выражается Галилей, можно обнаружить своеобразное «противодействие природы, которое встречает конечная величина при переходе в бесконечность» [33]. Галилей приводит и пример такого противодействия природы: если мы будем увеличивать радиус круга, то длина окружности также будет увеличиваться, однако это будет происходить только до тех пор, пока радиус будет оставаться как угодно большой, но конечной величиной. При переходе к актуально-бесконечному радиусу (когда круг становится «большим из всех возможных» [34]), круг исчезает и на его месте появляется бесконечная прямая. Ясно, продолжает Галилей, что «не может быть бесконечного круга; отсюда как следствие вытекает, что не может быть ни бесконечного шара, ни другого бесконечного тела, ни бесконечной поверхности» [35]. Галилеев пример, как видим, заимствован у Николая Кузанского и должен пояснить то же, что пояснял и Кузанец: принципиальное различие между потенциальной бесконечностью, которая всегда связана с конечным (хотя и как угодно большим) числом, телом, временем, пространством и т. д., и бесконечностью актуальной, которая предполагает переход в иной род, изменение сущности, а не количества.

Античная математика, а также физика и астрономия, понятия которых были теснейшим образом связаны со свойствами круга, не допускали актуальной бесконечности и нашли способы избегать ее, тем самым освобождаясь от парадоксов, сопровождающих это понятие.

Коль скоро Галилей вводит понятие актуальной бесконечности, он принимает и все те следствия, которые с необходимостью вытекают из этого понятия-парадокса. Так, к понятию актуально-бесконечного неприменимы предикаты «больше», «меньше» или «равно». «...Такие свойства,— говорит Сальвиати,— как бо́льшая или меньшая величина и равенство, неприменимы к бесконечному, относительно которого нельзя сказать, что одна бесконечность больше или меньше другой или равна ей» [36]. Это почти цитата из Николая Кузанского, многократно подчеркивающего, что к бесконечному неприменимы те определения, которыми пользуется наш рассудок, имея дело с конечными вещами. При переходе к актуальной бесконечности теряют свою силу все те допущения и операции, на которых до сих пор стояла математика. Актуально-бесконечные множества, говорит Галилей, содержатся как в отрезке любой конечной длины, так и в бесконечной линии. Именно такое допущение делает Сагредо: «На основании изложенного,— замечает он,— мне кажется, нельзя утверждать не только того, что одно бесконечное больше другого бесконечного, но даже и того, что оно больше конечного». Ход мысли здесь понятен: поскольку в любом конечном отрезке, как бы мал он ни был, лишенных величины точек обязательно будет бесконечное число, то на этом основании он должен быть так же точно причислен к бесконечному, как и бесконечная линия. Вот почему Сальвиати соглашается с Сагредо: «...понятия „больший“, „меньший“,

„равный“ не имеют места не только между бесконечно большими, но и между бесконечно большим и конечным» [37].

Трудно более определенно сформулировать исходные предпосылки, которые были бы в противоречии не только с физикой и метафизикой Аристотеля, но и с математикой Евдокса—Евклида—Архимеда, т. е. в противоречии с методологическими основаниями античной науки в целом [38]. Чтобы окончательно разрушить тот барьер, который Аристотель поставил проникновению актуально-бесконечного в науку, чтобы доказать несостоятельность аристотелевского решения апорий Зенона и дать этим последним право гражданства в научной мысли, Галилей предпринимает еще одну дерзкую попытку. В ответ на возражение аристотелика Симпличио, что любую линию можно делить до бесконечности, но нельзя разделить на актуально-бесконечное множество неделимых точек (ибо линия, по Аристотелю, не состоит из неделимых, как и всякий континуум — будь то время или непрерывное движение), Галилей заявляет, что «разложение линии на бесконечное множество ее точек не только не невозможно, но сопряжено не с бо́льшими трудностями, чем разделение на конечные части» [39]. Производится же это разложение с помощью того самого предельного перехода от многоугольника с как угодно большим количеством сторон к многоугольнику с актуально-бесконечным количеством сторон. т. е. к окружности [40], который обычно применял и Кузанец. Предложенный Галилеем прием, по его словам, должен заставить перипатетиков «принять, что континуум состоит из абсолютно неделимых атомов» [41].

Именно от Галилея, как можно видеть из приведенного рассуждения, исходит представление о круге как наглядно данной актуальной бесконечности, т. е. о линии, актуально разделенной на бесконечно большое число — не частей, а неделимых.

Не только в науке, но и в философии нового времени круг становится символом актуальной бесконечности. Именно в этой роли мы встречаем его впоследствии даже у Гегеля, который противопоставляет актуально-бесконечное как истинно бесконечное «дурной», потенциальной бесконечности. Последняя для него воплощается в образе прямой линии, уходящей в бесконечность, а актуальная бесконечность в виде замкнутой линии, т. е. круга. При этом Гегель, как ни странно, убежден, что возвращается к исходным понятиям античной науки, прежде всего к Платону и Аристотелю, тогда как в действительности он стоит на почве, подготовленной Николаем Кузанским и Галилеем. В античности круг — это не образ актуально-бесконечного, а образ целого, которое отнюдь не тождественно актуально-бесконечному нового времени, хотя не один только Гегель произвел отождествление этих двух понятий.

В результате размышлений над проблемой бесконечного и неделимого Галилей, таким образом, приходит к выводу, что континуум состоит из неделимых атомов. Это утверждение возвращает его к той проблеме, в связи с которой он и предпринял свой анализ понятия бесконечного, а именно к проблеме связности частей твердого тела. Интересно, что теперь, получив столь парадоксальный результат, Галилей может отбросить ту вспомогательную гипотезу, к которой прибег в начале: гипотезу о пустых промежутках в твердых телах. «...Приняв, что тела состоят из неделимых частиц, мы можем, как мне кажется, понять и явления разрежения и сгущения тел, не прибегая для объяснения первого к понятию пустых промежутков, а второго — к проникновению одних тел в другие» [42].

Таким образом, предпосылки, на которых строится механика Галилея, не только отличаются от платоновских, но и вступают с ними в противоречие. Подобно тому как Евдокс и Евклид не допускали в математику понятия актуальной бесконечности, Платон в своей философии никогда не отождествлял Единое с беспредельным: подобное отождествление в корне подрывает основания платоновской философии. В этом пункте Галилей — последователь Николая Кузанского, переосмыслившего античный неоплатонизм с помощью метода совпадения противоположностей. Именно Николаю Кузанскому Галилей обязан идеей «предельного перехода», принципиально важной для математики нового времени. Не что иное, как предельный переход, служит у Галилея средством преодолеть противоположность двух миров — материального (мира движения и изменения) и идеального (неподвижности и покоя), противоположность, составлявшую фундамент античного платонизма. В этом решающем пункте Галилей — антиплатоник.

[1] См.: *Koyré A.* Etudes Galileénnes. P., 1939; *Banfi A.* Galileo Galilei. Milan, 1949.

[2] В этой связи совершенно справедливо замечание итальянского философа и историка науки Людовико Джеймоната: «Вполне можно допустить, что Галилеева физика имеет платонический характер, если платонизм отождествить просто с математизмом» (*Geymonat L.* Galileo Galilei. New York; Toronto; London, 1965, P. 33). Нельзя не согласиться и с А. Койре, когда он не идет дальше отождествления платонизма Галилея с его убеждением в необходимости строить физику на основе математики. «В истории философии, — пишет Койре, — существует много платонов и много платонизмов. Можно заметить два разных типа: платонизм, вернее, неоплатонизм флорентийской Академии, представляющий собой смесь мистики, числовой символики и магии, и платонизм математиков, Тартальи или Галилея, платонизм которых — это математизм и ничего больше» (*Koyré A.* Op. cit. P. 53).

[3] *Галилей Г.* Избр. тр. в 2-х т. М., 1964. Т. 2. С. 124.

[4] Там же. С. 130.

[5] Там же.

[6] «Скажу вам то, что сейчас пришло мне в голову, — говорит Сальвиати.— Выдаю это не за окончательную истину, но за домысел, связанный с немалыми затруднениями и требующий исследования. Посмотрите, не найдете ли вы тут чего-нибудь, что вам понравится; об остальном судите, как вздумается» (*Галилей Г.* Указ. соч. С. 130—131).

[7] Там же. С. 126.

[8] «Много раз я наблюдал, — пишет Галилей, — как огонь, проникая между частицами того или иного металла, столь крепко связанными между собой, в конце концов разделял и разъединял их и как затем по устра-

нении огня частицы возвращались в прежнее состояние связности... Я думал, что это можно объяснить тем, что тончайшие частицы огня, проникая в мельчайшие поры металла (через которые благодаря их ничтожной величине не могут проходить более грубые частицы воздуха или иных жидкостей), заполняют существующие между ними мельчайшие пустоты и освобождают частицы от действия той силы, которая держала их связанными друг с другом, и тем способствуют их разъединению» (*Галилей Г.* Указ. соч. С. 131).

9 При этом характерно, что, как подчеркивает оппонент Сальвиати, противник допущения пустоты Симпличио, «сопротивление образованию большой пустоты при разъединении двух больших частей твердого тела значительно меньше, чем то, которое держит в связанном состоянии мельчайшие частицы последнего» (Там же. С. 130). Этот парадокс надо разрешить, в противном случае объяснение причины сцепления «боязнью пустоты» будет несостоятельным.

10 Там же. С. 131.

11 Там же. С. 131—132.

12 Напомним аксиому Евдокса: «Говорят, что величины имеют отношение между собой, если они, взятые кратно, могут превзойти друг друга» (*Евклида.* Начала, кн. V, определение 4).

13 *Галилей Г.* Указ. соч. С. 132.

14 Автор «Механических проблем» формулирует задачу, названную впоследствии «колесом Аристотеля», следующим образом. «Многое удивительное, — пишет он, — происходит с движением кругов оттого, что на одной и той же линии, проведенной из центра, ни одна точка не движется с равной скоростью, но всегда более далекая от неподвижного конца движется быстрее» (см. перевод «Механических проблем», выполненный В. П. Зубовым, цитируется по кн.: *Зубов В. П., Петровский Ф. А.* Архитектура античного мира. М., 1940. С. 273—274).

15 Последний объяснял различие скоростей точек, находящихся на разном расстоянии от центра круга, ссылаясь на то, что круговое движение точек складывается из двух движений — «естественного» (тангенциального) и «насильственного» (центростремительного), отклоняющего точку с прямого пути. В малом круге центростремительное движение больше, чем в большом.

16 См.: *Галилей Г.* Указ. соч. С. 132—133.

17 Там же. С. 133.

18 Там же. С. 135.

19 Там же.

20 Об том подробно см. в кн.: *Гайденко П. П.* Эволюция понятия науки. М., 1980. С. 104—105, 108—109.

21 *Галилей Г.* Указ. соч. С. 135—136. По поводу последнего соображения, высказанного Сальвиати — Галилеем, аристотелик Симпличио замечает: «Мне кажется, что вы тут подходите к тем пустотам, которые признавал один древний философ» (Там же. С. 136). Симпличио, разумеется, имеет в виду Демокрита, и, возможно, такого рода замечания Галилея послужили для С. Я. Лурье толчком к поискам «математических неделимых» — амеров — у этого античного философа. Однако в действительности Демокрит признавал пустоты, но «не те же»; у него нет «пустых точек», «невидимых пустот», о которых идет речь в данном случае у Галилея; вероятно, этот последний имел в виду лишь то, что Демокрит тоже допускал «поры в телах», пустоты в них, не уточняя, идет ли речь о «конечных» или «бесконечно-малых» пустотах. Подробнее о проблеме «математических атомов» («амеров») у Демокрита см.: *Гайденко П. П.* Указ. соч. С. 100—111.

22 *Галилей Г.* Указ. соч. С. 112.

23 Отзвуки этого мы встречаем и у Галилея, который, вводя эти две бесконечности как объяснительные гипотезы, в то же время отмечает, что мы «имеем дело с бесконечными и неделимыми», постичь которые нашим конечным умом невозможно вследствие огромности одних и малости других. Мы убеждаемся здесь, что человеческая речь не приспособлена

для выражения таких понятий» (Там же. С. 136). Однако эта категория не мешает Галилею постоянно обращаться к этим понятиям-парадоксам, причем в самых решающих, узловых с методологической точки зрения пунктах своих рассуждений.

24 *Галилей Г.* Указ. соч. С. 136. Симпличио высказывает далее Галилею главное свое сомнение: «Кроме того, это составление линии из точек, делимого из неделимого, конечного из неконечного кажется мне нелегко преодолимым препятствием» (Там же. С. 136).

25 Там же. С. 139.

26 Там же. С. 138.

27 Там же. С. 141. Интересно, что Галилей здесь, принимая методологические принципы Кузанца, невольно выполняет и его требование — делает бесконечное «самой точной» мерой. «...Бесконечная линия есть точнейшая мера всех линий...» (*Николай Кузанский.* Соч.: В 2-х т. М., 1979. Т. 1. С. 73).

28 *Галилей Г.* Указ. соч. С. 144—145.

29 См. об этом: *Лурье С. Я.* Математический эпос Кавальери // Бонавентура Кавальери. Геометрия, изложенная новым способом с помощью неделимых непрерывного. М.; Л., 1940. С. 35—36.

30 См., напр.: *Секст Эмпирик.* Соч.: В 2-х т. М., 1975. Т. 1. С. 261—262.

31 «Пифагор говорил, что началом сущего является монада, по причастности к которой каждое из сущего называется одним. И она, мыслимая по своей собственной самости, мыслится как монада, а прибавленная к самой себе с точки зрения инаковости создает так называемую неопределенную диаду... Итак, два начала сущего: первая монада, по общению с которой все исчисляемые единицы мыслятся единицами, и неопределенная диада, по общению с которой определенные двойки являются двойками» (*Секст Эмпирик.* Указ. соч. С. 361—362).

32 *Галилей Г.* Указ. соч. С. 144.

33 Там же. С. 145.

34 Там же. С. 146.

35 Там же. С. 147. Из этого замечания Галилея нетрудно видеть, почему введение в оборот понятия актуальной бесконечности, его постепенная «реабилитация» в средние века и, еще более, в эпоху Возрождения с неизбежностью должно было привести к разрушению античного конечного космоса — ведь согласно античным представлениям не может быть бесконечного шара!

36 Там же. С. 140.

37 Там же. С. 142.

38 Галилей прекрасно сознает это. Вот что говорит Сагредо, подытоживая все, что было высказано Сальвиати: «Итак, бесконечное, отыскиваемое среди чисел, как будто находит свое выражение в единице; из неделимого родится постоянно делимое: пустота оказывается неразрывно связанной с *телами и рассеянной между их частями* (курсив мой.— *П. Г.*); в результате наши обычные воззрения меняются настолько, что даже окружность круга превращается в бесконечную прямую линию» (Там же. С. 150).

39 Там же. С. 152.

40 «Если... сгибание линии под углами так, чтобы образовался квадрат, или восьмиугольник, или многоугольник с сорока, ста или тысячью сторон, представляется вам достаточным для действительного выявления тех четырех, восьми, сорока, ста или тысячи частей, которые, как вы говорите, содержались потенциально в первоначальной прямой линии, то, когда я образую из прямой линии многоугольник с бесконечным числом сторон, т. е. когда я сгибаю ее в окружность, не могу ли я с таким же правом утверждать, что вызываю к действительности то бесконечное множество частей, которое первоначально, пока линия была прямой, содержалось в ней, по вашему утверждению, в потенции» (Там же. С. 153).

41 Там же. С. 153.

42 Там же.