Эпистемология и философия науки
2016. Т. 49. № 3. С. 198–215
УДК 167.7
Epistemology & Philosophy of Science
2016, vol. 49, no. 3, pp. 198–215
DOI: 10.5840/eps201649359

Философия индуктивных наук, опирающаяся на их историю

Том 1. Книга III. Философия механических наук Глава VI. Об установлении принципов статики

Уильям Хьюэлл

Данный текст продолжает серию переводов книги Уильяма Хьюэлла (1794–1866) «Философия индуктивных наук, опирающаяся на их историю» (Книга III Философия механических наук, Глава VI Об установлении принципов статики). Глава посвящена становлению таких понятий статики и динамики, как равновесие, мера статических сил, центр тяжести, разнонаправленные силы, параллелограмм сил. Хьюэлл обосновывает фундаментальные принципы механики по аналогии с аксиомами геометрии, однако необходимый характер механических законов обосновывается исходя из идеи причинности. Перевод выполнен А.Л. Никифоровым, комментарии – И.Т. Касавиным и Т.Д. Соколовой.

Philosophy of the Inductive Sciences, Founded upon Their History

Volume 1. Book III. Philosophy of the mechanical sciences. Chapter VI. On the establishment of the principles of statics

William Whewell

The text continues the translation series of William Whewell's (1794-1866) book «The Philosophy of the Inductive Sciences, founded upon their history» (Book III The Philosophy of the Mechanical Sciences, Chapter VI On the Establishment of the Principles of Statics). The chapter devoted to the establishment of such concepts of statics and dynamics, as equilibrium, measure of statical forces, gravity, oblique forces, and the parallelogram of forces. Whewell substantiates the fundamental principles of mechanics by analogy with the axioms of geometry, but his justification of the necessity of mechanical laws is based on the idea of causality. Translated by A.L. Nikiforov, comments by I.T. Kasavin and T.D. Sokolova.

1. *Предмет этой главы*. – В данной и последующих главах мы должны показать, каким образом общие аксиомы причинности позволяют нам построить науку механику. В первую очередь нужно рассмотреть, как эти аксиомы преобразуются в определенные фундаментальные механические принципы, являющиеся очевидно и необходимо истинными благодаря их зависимости от общих аксиом причинности и образующие, таким образом, основание для целостной структуры этой науки – системы истин столь же необходимых, как и сами фундаментальные принципы, поскольку они выведены из этих принципов посредством строгих рассуждений.

Такой подход к построению науки механики, сколь бы общим он ни был, в своих деталях приобретает чисто технический характер и, вероятно, будет не вполне понятен тем, кто незнаком с механикой как математической наукой.

Моя работа будет неполной, если я опущу эту часть моего анализа, однако могу заметить, что главная ее цель заключается в том, чтобы более конкретно доказать то, что я уже провозгласил в общем: в механике, как и в геометрии, существуют фундаментальные принципы, обладающие аксиоматической очевидностью и необходимостью; эти принципы получают аксиоматический характер из идеи, содержащейся в них, а именно идеи причинности; благодаря соединению принципов такого рода вся наука механика, включая ее наиболее сложные и отдаленные результаты, существует как целостная совокупность твердых и универсальных истин.

2. *Статика и динамика*. – Сначала мы должны обратить внимание на техническое разделение механики на две части согласно тому, производят ли силы, о которых мы говорим, покой или движение. Первая часть называется *статикой*, вторая – *динамикой*. Если камень падает или некоторая тяжесть приводит машину в движение, то проблема относится к динамике; но если камень покоится на каком-то основании или вес лишь поддерживается машиной, вопрос относится к статике.

3. *Равновесие*. – В статике силы *уравновешивают* друг друга или удерживают друг друга в *равновесии*. И силы, уравновешивающие друг друга, явно и с необходимостью равны. Если мы видим, как два мальчика, схватившись за концы одной веревки, тянут ее каждый к себе и при этом ни один ничуть не уступает другому, то перед нами тот случай, когда две силы находятся в равновесии. Эти две силы очевидно равны и представляют собой статическое проявление действия и противодействия, о котором говорит третья аксиома причинности. То же самое проявление встречается во всех случаях равновесия. Точка или тело могут оставаться в покое только в том случае, если действующие на них противоположные силы равны. Когда камень лежит на полу, давление камня вниз уравновешивается равным давлением пола вверх. Если камень покоится на некотором склоне, то его стремление скользить вниз парализуется равной и противоположной силой, возникающей, быть может, из сопротивления поверхности любому движению. Каждый случай покоя есть случай равновесия, а каждый случай равновесия есть случай равных и противоположно направленных сил.

Самые сложные сооружения, поддерживающие тяжести, например кровля здания или канаты какой-то машины, все еще являются примерами равновесия. В этих случаях у нас имеется множество сил, уравновешивающих друг друга, и это равновесие обеспечивается различными условиями распределения направлений и величин приложенных сил. Чтобы понять, каковы эти условия, мы должны сначала спросить, что понимается под величиной таких сил, т. е. какова мера статических сил.

4. *Мера статических сил.* – Кажется, мы могли бы надеяться на то, что поскольку статические силы подводятся под общее понятие причины, постольку способ их измерения можно вывести из второй аксиомы причинности, говорящей о том, что причины измеряются по их следствиям. Однако мы обнаружили, что применение этой аксиомы ограничено условием, на которое мы указали после формулировки этой аксиомы, а именно: причины должны допускать сложение. Далее, как мы видели, статическая сила производит лишь тот эффект, что уравновешивает какую-то другую статическую силу, следовательно, мера статических сил с необходимостью зависит от их равновесия, т. е. от равенства действия и противодействия.

Тот факт, что *статические силы могут складываться*, включен уже в само понятие о таких силах. Когда два человека тянут канат в одном направлении, применяемые ими силы складываются вместе. Когда два тяжелых тела кладут в корзину, подвешенную на веревке, их веса складываются и веревка удерживает сумму этих весов.

Из этих соображений становится видно, что мера статических сил уже с необходимостью задана фундаментальным принципом равенства действия и противодействия. Поскольку две противоположные силы, уравновешивающие друг друга, равны, постольку каждая сила измеряется той, которая ее уравновешивает, а вследствие того, что силы могут складываться, сила любой величины измеряется посредством сложения надлежащего числа таких равных сил. Так, тело, которое подвешено к гибкой ветке дерева и сгибает ее на один дюйм вниз, может быть принято в качестве единицы веса. Если мы найдем другое тело, которое согнет ту же ветку на такую же величину, то это будет такая же единица веса. Аналогичным образом мы можем найти третье и четвертое тело, равные первому. Складывая вместе два, три или четыре таких тела, мы получим силу, которая в два, три или четыре раза будет больше нашей единицы. С помощью такого набора тел или *весов* можно легко измерить все другие силы. Принцип равенства действия и противодействия сразу же приводит к тому принципу, что любая статическая сила измеряется весом, который она удерживает.

Как уже было сказано, на первый взгляд может показаться, что в этом случае нашу аксиому, говорящую, что причины измеряются по их следствиям, можно применить иным способом. Скажем, если в качестве единицы веса принято тело, сгибающее ветку дерева на один дюйм, то тело, сгибающее эту ветку на *два* дюйма, будет равно *двум* единицам и т. д. Однако мы уже установили, что меры веса должны выполнять то условие, что их можно складывать. Поэтому в качестве такой меры мы не можем принять величину изгиба ветки до тех пор, пока не установили, а это может дать нам лишь опыт, что под тяжестью двух равных весов изгиб ветки будет вдвое больше, чем под тяжестью одного из них. Последнее предположение неистинно или, по крайней мере, не очевидно и не необходимо истинно. Хотя причины измеряются по своим следствиям, в этом, как и во всех других случаях, только опыт может подсказать нам, как нужно интерпретировать эти следствия, чтобы получить истинную и не приводящую к противоречиям меру.

Однако в отношении меры статической силы или веса философы не встречали особых трудностей, когда они впервые начали размышлять об этом предмете. Нетрудно было заметить, что если мы берем какой-то однородный материал, скажем, древесину, камень или железо, то когда его порции геометрически равны, должны быть также равны и их статические силы, поскольку это уже было заложено в гипотезу об однородности материала. Тело, которое в десять раз больше другого тела из того же материала, будет в десять раз тяжелее. Но для того чтобы разумно обосновать условия, при которых тяжести находятся в равновесии, нужно было к мере сил добавить некоторые другие принципы. Введенные для этой цели принципы все еще были следствием понятия о равенстве действия и противодействия, однако требовалась немалая острота ума, чтобы правильно выбрать их и успешно использовать. В определенной мере это было осуществлено греками, и трактат Архимеда «*О центре тяжести*»[1] опирался на принципы, которые до сих пор можно рассматривать как подлинное основание рассуждений о статике. Я выскажу несколько замечаний о наиболее важном принципе из тех, которые использовал Архимед.

5. *Центр тяжести* [*Gravity*]. – Наиболее важным принципом доказательств Архимеда является следующий: «Каждое тело имеет центр тяжести», – подразумевая под этим некоторую точку, в которой как бы сосредоточена вся материя тела. Последующие авторы выражали этот принцип в разных формах, например считали, что достаточно принять более простой случай, и утверждали, что для двух равных тел их центр тяжести расположен в точке, лежащей между ними. Было замечено, что из этого утверждения следует не только то, что эти два тела будут находиться в *равновесии* на опоре, помещенной в этой точке, но также, что они будут оказывать на эту опору *давление, равное их сумме*. Поскольку эта точка является центром тяжести, можно представить, что вся материя этих двух тел сконцентрирована в данной точке, следовательно, весь вес будет приходиться на эту точку. Таким образом, рассматриваемый принцип выглядит так: *когда два равных по тяжести тела опираются на точку, расположенную посредине между ними, давление на опору равно сумме весов этих двух тел*.

[1] Здесь Хьюэлл не дает ссылку и, вероятно, опирается на втористочники, поскольку сохранились только отрывки этой работы Архимеда. В целом его определение центра тяжести реконструируется по компилятивным трудам Герона и их последующим переложениям. См.: *Лурье С.Я.* Архимед. М.; Л., 1945. С. 83–96 (примеч. ред.).

Ясное понимание природы и оснований этого принципа приводит к важным следствиям: именно он является основой значительной части науки механики. И если можно показать, что благодаря нашим фундаментальным идеям этот принцип является необходимо истинным, то едва ли можно усомниться в том, что существует множество других истин того же рода. Нельзя получить правильного понимания убедительности и сферы человеческого познания до тех пор, пока мы не раскрыли природы этих первых принципов.

Приведенный выше принцип, гласящий, что давление на опору равно сумме поддерживаемых тел, в начале книг по механике часто формулируется в качестве аксиомы. Согласно высказанным нами соображениям, это кажется истинным местом для данного принципа. Данная аксиома зависит от нашего понятия о действии и противодействии. Из того, что два веса поддерживаются, следует, что поддерживающая сила должна быть равна силе давления поддерживаемых весов.

Для того чтобы продвинуться дальше в раскрытии оснований этого принципа, можно поставить вопрос: если он не является аксиомой, получающей свою истинность из фундаментального понятия о равенстве действия и противодействия, то каков источник его несомненности? Этот принцип никогда не подвергался сомнению или отрицанию, он считался само собой разумеющимся еще до того, как был сформулирован. Никто не усомнится в том, что он не только является истинным, но истинным столь же строго и универсально, как аксиомы геометрии. Скажет ли кто, что он извлечен из опыта? Опыт никогда не может доказать универсальную и строгую истинность какого-либо принципа. Кроме того, когда мы на опыте доказываем, что какое-то суждение обладает большой точностью и общностью, то при таком доказательстве речь идет о степени: убеждение становится более строгим, истина – более несомненной, по мере того, как мы накапливаем попытки. Однако ничего подобного нет в обсуждаемом случае. Нет перехода от меньшей к большей степени несомненности, нет колебаний, предшествующих уверенности. С самого начала мы убеждены в том, что эта аксиома точно и безусловно истинна. Для уверенности в ней нам не нужны многочисленные попытки, требуется лишь ясное понимание самого утверждения.

На самом же деле попытки не только не являются необходимыми для доказательства, но они и не усиливают его. По-видимому, никто и никогда не пытался показать, что давление на опору равно сумме двух весов. Человек, обладающий ясными механическими понятиями, никогда не захотел бы предпринять такой попытки, чтобы убедиться в истинности этого положения или сделать его истинность более ясной. А если бы опыт показался противоречащим данному принципу, то человек пришел бы к выводу о том, что не принцип сомнителен, а что-то не в порядке с опытом. Так что нельзя думать, будто эта истина извлечена из опыта.

Мы настаиваем на том, что равенство механического действия и противодействия является принципом, который не вытекает из опыта, а регулирует его. Наблюдаемые нами факты должны соответствовать этому принципу, мы не можем интерпретировать их как проявления данного принципа. Опыт не может показать, что механическое давление не сопровождается равным и противоположным давлением, как не может показать, что два прямых угла не равны. Если мы допустим такие неравенства, то пространство перестанет быть пространством, сила перестанет быть силой, материя перестанет быть материей. Вот это равенство действия и противодействия, рассматриваемое для случая, когда два тела действуют на одну опору, приводит к аксиоме, которую мы сформулировали выше и которая является одной из главных основ науки механики.

6. *Разнонаправленные* [oblique] *силы*. – С помощью этой аксиомы и некоторых других греки достигли некоторого прогресса в науке статике. Однако после некоторых успехов они столкнулись с проблемой разнонаправленных сил, с которой так и не смогли справиться и над которой математики работали вплоть до нового времени. В неопубликованных рукописях Леонардо да Винчи, написанных в пятнадцатом столетии, и в работах Стевина[2] и Галилея шестнадцатого века мы находим первые прочные основания для рассуждений о силах, действующих под углом друг к другу. Овладев всеми механическими принципами, необходимыми для решения проблем относительно равновесия, математики вскоре построили законченную науку статику. Последующие авторы представляли эту науку в разных формах, поскольку было обнаружено, что в механике, как и в геометрии, в качестве исходного пункта могут быть приняты разные суждения и что совокупность истин, интересующих механика, может развертываться в разных последовательностях с помощью удовлетворительных доказательств. Фундаментальные понятия силы и сопротивления, как и понятия пространства и числа, могут рассматриваться с разных точек зрения, каждая из которых опирается на аксиомы или принципы, используемые в качестве аксиом. Следовательно, основания истин статики можно устанавливать разными способами. Проанализировать их с достаточной полнотой и проследить их связь с фундаментальными идеями потребовало бы достаточно много времени. Поэтому здесь я не буду этим заниматься. Однако философская важность обсуждае-

[2] Simon Stevin (1548–1620) – выдающийся фламандский математик, физик, военный инженер, крупный чиновник в армии и образовании. Основатель инженерной школы в университете Лейдена. Переводчик латинской математической и механической терминологии на голландский язык (примеч. ред.).

мого предмета заставляет высказать хотя бы несколько замечаний о некоторых главных принципах, включаемых в различные способы представления статики в виде строго доказательной науки.

7. *Сила может действовать на любую точку, лежащую на ее направлении*. – Из истории механики[3] известно, что Леонардо да Винчи и Галилей пришли к истинному способу измерения разнонаправленных сил посредством приблизительно одних и тех же рассуждений. Принцип, на который опирались эти рассуждения, выражен в названии данного параграфа. Когда мы еще не вполне привыкли рассматривать наши понятия силы и ее действия на материю в абстрактной манере, мы без особого труда согласимся с этим принципом в его общем виде. Однако в конкретном случае он становится еще более очевидным.

Представим себе колесо, вращающееся вокруг оси и переносящее некоторый груз (как, например, одно из колес, посредством которых осуществляются удары церковного колокола). Этот груз удерживается на веревке, прикрепленной к одной из спиц колеса. Принцип, о котором идет речь, утверждает, что если веревка по прямой линии пересекает разные спицы колеса, то независимо от того, к *какой* спице *прикреплена* веревка, механический эффект приложенной силы будет одним и тем же. В любом случае прикрепление веревки к колесу служит лишь для того, чтобы производить движение вокруг центра, и поскольку сила действует по одной и той же линии, эффект будет одним и тем же, на какой бы точке веревки ни заканчивалась линия действия[4].

Эта аксиома помогает нам легко оценивать воздействие сил, действующих под углом. Когда некоторая сила действует на одно плечо рычага под косым углом, мы предполагаем, что другое плечо, выходящее из центра движения, подобно другой спице колеса, расположено перпендикулярно к направлению действующей силы. Мы можем, вслед за Леонардо, назвать это плечо *виртуальным рычагом*. Опираясь на аксиому, мы предполагаем, что сила действует и там, где направление ее действия встречается с этим плечом, и, таким образом, сводим наш случай к тому, когда сила действует перпендикулярно на плечо рычага.

---

[3] *Whewell W.* History of the Inductive Sciences. Vol. 2. Book VI. Ch. I, Sec. 2 and Note (A). L., 1937. P. 14–17, 122–123.

[4] Здесь Хьюэлл приводит пример, неочевидный для отечественного читателя. Существует два варианта колокольного звона: раскачивание языка колокола (распространен в России) и раскачивание купола колокола (распространен в Западной Европе). Кроме того, в Великобритании была разработана техника «full-circle ringing» – «звон по полному кругу», при которой колокол крепится к центру вертикально установленного колеса и приводился в движение пропущенной через оси колеса веревкой. При такой технике звона купол колокола раскачивается по окружности колеса вверх и вниз, тем самым замыкая круг. Данная техника звона до сих пор распространена в английских церквях (примеч. ред.).

Основанием этой аксиомы выступает то обстоятельство, что в статике материя мыслится как *передающая* [*transmitting*] силу: силу можно передать от одного места к другому; в наши понятия материи и силы включены предположения о том, что мы можем толкать палкой, тянуть с помощью веревки. Как мы уже сказали, материя есть то, что воспринимает силу, и упомянутые выше примеры являются простейшими случаями действия этого восприятия. А поскольку в каждом из этих случаев сила встречает противодействие, равное самой силе, и реакция в каждом случае равна, постольку и действие в каждом случае является необходимо равным. Таким образом, силы могут передаваться от одной точки к другой без возрастания или уменьшения.

Свойство материи передавать действие силы предстает в разных видах. Прочность веревки позволяет нам тянуть за нее, жесткость палки дает нам возможность толкать с ее помощью; та же самая палка обнаруживает иную жесткость, благодаря которой мы можем использовать ее в качестве рычага: здесь жесткость противостоит изгибанию и передает силу, которая вращает тело вокруг точки опоры. Существует, далее, жесткость, благодаря которой твердое тело противостоит *искривлению* [*twisting*]. Из этих видов жесткости первый является как раз тем, о котором говорит наша аксиома. Но чтобы завершить список элементарных принципов статики, нужно сформулировать также аксиомы относительно других видов жесткости[5]. Однако здесь я этого делать не буду, поскольку они не включают какого-либо нового принципа. Как и сформулированная выше аксиома, они образуют часть нашего фундаментального понятия материи; они не являются результатом какого-либо опыта, но представляют собой гипотезы, к которым мы неизбежно приходим, когда освобождаем наши размышления о силе и материи от связи с результатами опыта. Мы не можем даже вообразить себе (если вообще обладаем сколько-нибудь ясными механическими понятиями), что сила, проявляемая концом палки, отлична от той силы, которую мы воспринимаем на другом ее конце.

8. *Для сил существуют эквивалентные силы, подставляемые вместо них. Параллелограмм сил.* – Как уже было отмечено, для доказательства учений статики мы можем в качестве своего исходного пункта принимать разные принципы, и тем не менее всегда можно найти такой ход рассуждения, который даст обоснование важнейших суждений, относящихся к данной области. Так, вместо того чтобы начинать наши рассуждения с того случая, в котором силы действуют на разные точки одного и того же тела по одному направлению и противодействие этих сил обусловлено тем, что материя передает

[5] Эти аксиомы приведены в небольшой работе («*Механический Евклид*»), которую я включил в свои «Основы механики». [Хьюэлл ссылается на свою работу: *Whewell W.* The Mechanical Euclid, Containing the Elements of Mechanics and Hydrostatics. L., 1837. 223 p. (примеч. ред.).]

воздействие силы от одной точки к другой, мы можем предположить, что разные силы воздействуют на одну и ту же точку, и начать наши рассуждения с рассмотрения сил, отвлекаясь от сопротивления или жесткости материи. Две статические силы, воздействующие на одну и ту же математическую точку, во всех отношениях эквивалентны некоторой одной силе, действующей на ту же самую точку. Равновесие было бы обеспечено действием равной этой одной силе и противоположно направленной силой. Правило, посредством которого эта одна сила выводится из двух действующих сил, обычно называется *параллелограммом сил*. Оно выражается суждением: если величина и направление двух действующих сил представлены в виде сторон параллелограмма, то результирующая сила может быть представлена в виде диагонали этого параллелограмма. Современные авторы часто помещают это суждение в начало изложения науки механики, и благодаря его простоте это место кажется вполне подходящим. Однако для того чтобы вывести из него другие элементарные суждения этой науки, относящиеся, например, к рычагу, нам нужна аксиома, сформулированная в последнем параграфе.

9. *Параллелограмм сил является необходимой истиной.* – В цепи рассуждений, к которым мы сейчас приступаем, наша главная задача заключается в том, чтобы прояснить природу и основания некоторых научных истин. Поэтому мы должны спросить, является ли суждение о параллелограмме сил необходимо истинным, и если так, то на какие основания в конечном итоге опирается его необходимость. Мы находим, что, как и другие фундаментальные учения статики, это суждение справедливо претендует на демонстративную несомненность. В 1726 г. Даниил Бернулли дал первое доказательство этого важного суждения, опираясь только на принципы статики, и благодаря этому, как он сказал, «доказал, что теоремы статики столь же необходимо истинны, как теоремы геометрии»[6]. Если мы проанализируем это доказательство Бернулли, чтобы найти, на какие принципы оно опирается, мы обнаружим, что в нем используются аксиомы, подобные следующей: если из сил, находящихся в равновесии на некоторой точке, устранить другие силы, которые также находятся в равновесии на той же самой точке, то оставшиеся силы будут находиться в равновесии. Это можно выразить в более общем виде: если силы можно разложить на другие, эквивалентные им силы, то последние можно разделить, группировать и комбинировать любым способом, причем результат будет оставаться эквивалентным тому, который был вначале. Так, две

[6] Comm. Petrop. Vol. 1. [Цитата уточнена: Bernoulli D. Examen Principiorum Mechanicae, et Demonstrationes Geometricae de Compositione et Resolutione Virium (Исследование принципов механики и геометрическое доказательство сложения и уравновешивания сил) // Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae (Комментарии Санкт-Петербургской императорской Академии наук). Vol. 1. 1726–1728. P. 127 (примеч. ред.).]

рассматриваемые силы в доказательстве Бернулли обозначены буквами P и Q; P разлагается на две другие силы X и U; а Q при определенных условиях разлагается на Y и V. Далее предполагается, что эти силы могут быть объединены в пары X, Y и U, V. Если показано, что X и Y уравновешивают друг друга, то их можно устранить, тогда силы P и Q оказываются эквивалентными U, V и производят тот же самый результат, который был первоначально.

Ясно, что предполагаемые здесь принципы являются подлинными аксиомами, зависящими от нашего понимания природы эквивалентности сил и от их способности к сложению и объединению. Если силы P, Q эквивалентны силам X, U, Y, V, то они эквивалентны им независимо от того, в каком порядке эти последние силы складываются или объединяются. Здесь дело обстоит так же, как с геометрической фигурой, которая с точки зрения нашего понятия пространства эквивалентна своим частям, в каком бы порядке их ни складывали. Осознание сил как обладающих величиной, как состоящих из частей, как способных к композиции приводит в статике к таким же аксиомам, к которым в геометрии приводит понимание пространства. Поэтому истины статики, опирающиеся на такие основания, столь же не зависят от опыта, насколько не зависят от него истины геометрии.

Доказательство параллелограмма сил, данное Даниилом Бернулли, было не только первым, но также одним из наиболее простых доказательств этого суждения, известных к настоящему времени. Для этого суждения были предложены и многие иные доказательства. Немецкий математик Якоби собрал и проанализировал восемнадцать из них[7]. Все они зависят либо от принципов, подобных только что

---

[7] Они принадлежат следующим математикам: Д. Бернулли (1726); Ламберту (1771); Scarella (1756); Venini (1764); Araldi (1806); Wachter (1815); Kestner, Marini, Eytelwein, Salimbeni, Duchayla; два разных доказательства дал Foncenex (1760); три – Даламбер, а также Лаплас и Пуассон. [Карл Густав Якоб Якоби (1804–1851) – выдающийся немецкий математик и механик, брат изобретателя, физика и академика Российской академии науки Бориса Семеновича Якоби. Скорее всего, Хьюэлл делает отсылку к нескольким работам Якоби 1842–1843 гг., которые впоследствии вошли в восьмитомное собрание его сочинений (Jacobi C.G.J. Vorlesungen über Dynamik. Gehalten an der Universität zu Königsberg im Wintersemester 1842–1843 und nach einem von C.W. Borchart ausgearbeiteten hefte. hrsg. von A. Clebsch. B., 1884).

Иоганн Генрих Ламберт (1728–1777) – знаменитый физик, математик и философ. Скорее всего, в данном месте Хьюэлл ошибается и имеется в виду более ранняя работа Ламберта: *Lambert J.H.* Theoria staterum ex principiis mechanices universalis exposita (Статическая теория, изложенная согласно принципам универсальной механики) // Acta Helveticae physico-mathematico-anatomico-botanico-medica. 1758. Vol. III. P. 13–22.

Джованни Баттиста Скарелла (1711–1779) – итальянский теолог, физик и математик. Хьюэлл имеет в виду его работу: *Scarella G.B.* Physica generalis et particularis methodo mathematica tractata (Трактат по общей физике и особенностях математического метода). Vol. 1–3. Brixiae, 1756.

установленному: силы как угодно можно заменять эквивалентными им силами – либо от вышеустановленного для рычага и говорящего о том, что силу можно переносить от одной точки к другой в направлении ее действия. В любом случае они представляют собой результат наших понятий статики и не зависят от каких-либо наблюдаемых законов движения и от понятия актуального движения.

Существует еще один класс допустимых доказательств параллелограмма сил, включающих в себя рассмотрение движения, производимого силами. Однако такого рода рассуждения являются совершенно посторонними для статики. Как мы уже видели, в этой науке силы измеряются не производимым ими движением, а силами, которых их уравновешивают. Соединение двух сил, производящих – одновременно или последовательно – движение в одном и том же теле, относится к той части механики, которая имеет дело с движением, и должно рассматриваться с привлечением законов движения. Композицию движений (когда человек движется в лодке, а лодка движется по воде) постоянно смешивали с композицией сил. Однако несмотря на то, что это делали и весьма известные математики, необходимо помнить о том, что это совершенно разные вещи, чтобы понять реальную природу основания истины в каждом случае. Условия равновесия двух сил на рычаге или трех сил на точке могут быть установлены без какой-либо ссылки на те движения, которые при *других* условиях могли бы произвести эти силы. А поскольку это можно сделать, то это и есть единственная научная процедура. Доказывать такие суждения каким-то иным способом значило бы подкрепить их истинность с помощью внешних и неубедительных оснований. Для наших целей это не нужно, ибо нас интересует не только знание, но основания нашего знания.

Скорее всего, Хьюэлл имеет в виду Франческо Венини (1737–1820) – итальянского математика и поэта, автора ряда сочинений по гармонии в поэтике и музыке.

Мишель Аральди (1740–1813) – итальянский врач и математик, а также историк физики и математики. Скорее всего, Хьюэлл ссылается на: Memorie dell Istituto Nazionale Italiano. Classe di Fisica e Matematica. Vol. 1. Bologna, 1806 – сборник научных работ, в подготовке которого Аральди принимал участие.

Фридрих Людвиг Вахтер (1792–1817) – немецкий математик и астроном, ученик Гаусса. Скорее всего, Хьюэлл имеет в виду его переписку с учителем.

Иоганн Альберт Айтелвайн (1764–1849) – немецкий инженер. Скорее всего, здесь имеется в виду его работа: *Eytelwein J.A*. Handbuch der Statik fester Körper. Vol. 1–3. B., 1808.

Леонардо Салимбени (1752–1823) – итальянский математик и инженер, имеется в виду его работа: *Salimbeni L*. Degli Archi e delle volte (Арки и своды). Verona, 1787.

Дюшайла – французский математик, предложивший в 1804 г. одно из уравнений для обоснования параллелограмма сил.

Франсуа Давье де Фонсенекс (1734–1799) – военный, математик и механик из Савойи, ученик Лагранжа.

Симеон Дени Пуассон (1781–1840) – французский математик и физик, одна из его работ в области статики: *Poisson S.-D.* Mémoire sur les équations générales de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques et des fluides // Journal de l'École Polytechnique. 1831. Vol. 13. P. 1–174 (примеч. ред.).

10. *Центр тяжести находится в самом низком месте.* – Упомянутые выше принципы образуют достаточный базис для статики в ее самых широких и разнообразных применениях, и условия равновесия самых сложных комбинаций механизмов можно вывести из этих принципов со строгостью, не уступающей строгости геометрии. Однако в некоторых более сложных случаях результаты длинной цепи рассуждений можно предвидеть благодаря определенным положениям, которые кажутся самоочевидными, хотя бывает нелегко проследить точную зависимость этих положений от наших фундаментальных понятий силы и материи. К их числу относится следующее утверждение: при любой комбинации удерживаемой материи центр тяжести опускается в самое нижнее положение, допускаемое связью частей. Нетрудно заметить, что эта максима обобщает тот принцип, который принимали уже греческие математики: каждое тело имеет центр тяжести, т. е. такую точку, в которой можно было бы собрать всю материю тела и ничего бы не изменилось. Греки утверждали это лишь относительно отдельной жесткой массы, а наша максима говорит о любых массах, связанных веревками, стержнями, сочленениями и т. п. Мы уже видели, что большинство авторов, пишущих о механике, стремятся в качестве фундаментальных принимать настолько широкие принципы, насколько это абсолютно необходимо, поэтому они не признают аксиому греков во всей ее общности. Они ограничиваются лишь утверждением о том, что два *равных* веса имеют общий центр тяжести, находящийся между ними. Однако принцип, гласящий, что каждое тело, каким бы оно ни было, имеет центр тяжести и будет удерживаться, если удерживается этот центр, настолько очевиден, что его можно использовать в качестве фундаментальной истины, если нельзя разложить на более простые истины. Исторически он и был принят греками как вполне очевидный. Еще более широкий принцип, утверждающий, что совокупность тел, например гибкая цепь, висящая на одной или нескольких опорах, также имеет центр тяжести и что эта точка будет занимать самое низкое положение, как и в случае отдельного тела, также принимался в разные периоды истории механики, в частности его принимали в качестве предположения, когда математики-философы сталкивались с новыми трудными проблемами. Почти в каждом случае философы стремились свести решение таких проблем к ясной зависимости от наиболее простых аксиом.

11. *Доказательство Стевина для косых сил.* – Пример такого способа решения проблем дает рассуждение Стевина относительно наклонной плоскости, которое, как мы установили в «Истории механики», было первым корректным опубликованным решением данной проблемы. Стевин берет наклонную плоскость, обвитую цепью, состоящую из соединенных вместе шаров одинакового веса, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга, и начинает

рассуждать. Такая цепь будет неподвижна, говорит он[8], ибо, если бы она начала двигаться, ее движение продолжалось бы вечно, что невозможно. Можно было бы спросить: откуда следует невозможность вечного движения? И к этому вопросу можно было бы добавить, что, хотя невозможность вечного двигателя можно доказать в качестве отдаленного результата принципов механики, эта невозможность едва ли может быть признана в качестве самоочевидной истины. На это мы ответили бы, что эта невозможность действительно очевидна в случае, рассматриваемом Стевином, ибо мы не можем представить себе, как эта цепь будет вечно двигаться вокруг своей опоры под влиянием собственной тяжести. Основанием нашей убежденности в том, что этого не может быть, является следующее рассуждение: когда цепь движется под воздействием собственного веса, мы рассматриваем ее движение как стремление достигнуть такого положения, в котором она остановится, – как шар в широкой чаше движется до тех пор, пока не остановится в ее низшей точке. Это воздействие веса цепи мы можем представить, вообразив, что вся материя цепи сосредоточена в одной точке, которая подвешена тем или иным образом. Каким бы способом ни была подвешена эта тяжелая точка (центр тяжести цепи), существует некоторое положение покоя, и она в конце концов найдет это положение. Поэтому для цепи всегда будет существовать положение, в котором она должна остановиться. Вечного движения от одного положения к другому без предрасположенности к остановке в каком-то положении не может существовать.

Таким образом, демонстрация свойства наклонной плоскости Стевином зависит от принципа, который хотя и не является простейшим из тех, к которым можно свести этот случай, тем не менее является и истинным, и очевидным. Очевидность этого принципа, зависящего от предположения о центре тяжести, носит такой же характер, как очевидность статических доказательств греков – самых ранних успехов науки.

12. *Принцип виртуальных скоростей*. – Мы уже упоминали о том, что исходя из простых принципов механики можно доказать невозможность вечного движения. В действительности, однако, простейшее доказательство этой невозможности для механизма, действующего только под влиянием силы тяжести, можно получить из самого сформулированного выше принципа: центр тяжести ищет и находит самую низшую точку – или из какого-то похожего суждения. Если же мы, как многие авторы, хотим доказать невозможность вечного движения посредством суждения, включающего условия равновесия и называемого *принци-*

[8] *Стевин С.* Начала статики, Livre I, prop. 19. [Ссылка уточнена: Œuvres Mathematiques de Simon Stevin de Bruges. Vol. IV. Leyde, 1634. P. 448–452. Симон Стевин (1548(49)–1620) – фламандский математик, механик и инженер. Симон Стивен (см. примеч. 2) известность получил за описание арифметики для десятичных дробей (примеч. ред.).]

пом виртуальных скоростей[9], то мы сталкиваемся с необходимостью сначала доказать этот принцип в общей форме. А если это делают лишь посредством перечисления каких-то случаев (скажем, приняв те пять случаев, которые называют *механическими силами*), то при этом все-таки сохраняются некоторые сомнения относительно того, насколько полным является перечисление возможных механических комбинаций. Некоторые авторы пытались дать независимые и общие доказательства принципа виртуальных скоростей, и эти доказательства опирались на допущения того же типа, как то, о котором идет речь. Так обстоит дело, например, с доказательством Лагранжа, которое зависит от того, что он называет *принципом множественных блоков,* или полиспаста (*Principle of Pulleys*). Этот принцип говорит о том, что вес, протягиваемый с помощью веревки вокруг любого количества блоков, расположенных как угодно, будет покоиться только тогда, когда он уже не может опуститься ниже при любом бесконечно малом перемещении точек системы. Таким образом, тот принцип, что если есть возможность, то вес будет опускаться, предполагается в качестве базиса этого доказательства.

Как мы уже сказали, необязательно принимать такие принципы в качестве основания нашей науки механики. Однако в разных обстоятельствах полезно обращать внимание на те случаи, в которых истины, предстающие вначале в сложной и производной форме, затем могут быть сведены к их более простым элементам. Проницательный и изобретательный человек формулирует эти истины как самоочевидные, а теперь они кажутся нам несомненными благодаря доказательству. Едва ли можно сомневаться в том, что в таких случаях люди приходили к своим открытиям не вследствие каприза или произвольного выбора, а благодаря более острому и глубокому проникновению в суть тех отношений, которые были предметом их изучения. Сейчас можно сказать, что к своим допущениям они пришли благодаря тому, что обладали ясными и четкими понятиями о механических причинах и следствиях – о действии и противодействии – о силе и природе ее действия.

13. *Жидкости оказывают равное давление во всех направлениях*. – Учения о равновесии жидкостей зависят от принципов, не менее точных и простых, чем учения о равновесии твердых тел, и греки, которые, как мы видели, выработали ясное понимание некоторых принципов статики, положили начало родственной науке гидростатики. У нас есть трактат Архимеда «О плавающих телах», содержащий правильные решения различных проблем из этой области, некоторые из которых отнюдь не являются простыми. В качестве фундаментального допущения в этом трактате принято следующее: «Допустим, что природа жидкости такова, что части, испытывающие меньшее давление, уступают тем частям, которые испытывают большее давление».

[9] См.: *Whewell W.* History of the Inductive Sciences. Vol. 2. Book VI, Chapter II, Sec. 4. L., 1937. P. 163–173.

Из этого допущения или аксиомы следует, что давление, оказываемое на жидкость в одном направлении, создает давление в другом направлении. Таким образом, вес жидкости, направленный вниз, производит боковое давление на стенки сосуда, в котором находится жидкость. Давление не только расходится по всем направлениям, но по всем направлениям оно одинаково. Этот принцип, содержащийся в рассуждениях Архимеда, до сих пор является базисом всех трактатов по гидростатике и выражается утверждением о том, что *жидкости оказывают равное давление во всех направлениях*.

Относительно этого, как и относительно ранее отмеченных принципов, мы должны спросить: можно ли сказать, что он выведен из опыта? Как и в предыдущих случаях, ответ будем тем же самым: это суждение не взято из опыта в любом обычном и точном смысле этого слова. Я постараюсь проиллюстрировать это. В физике существует множество элементарных суждений, познание которых бесспорно зависит от опыта, и в этих случаях совсем нетрудно усмотреть очевидность этой зависимости. В таких случаях *эксперименты*, доказывающие закон, в явном виде описываются в сочинениях о предмете: описание включает в себя точные измерения и средства, позволяющие избежать ошибок. Более поздние эксперименты либо придают закону, сформулированному ранее, более точный вид, либо указывают на необходимые исправления. Имена и первооткрывателей закона, и его последующих уточнений хорошо известны. Например, суждение «Сила упругости воздуха зависит от его плотности» первоначально было доказано Бойлем посредством операций, которые подробно изложены в «*Defence*» («Защита доктрины, относящейся к упругости и весу воздуха», 1662), включенной в его работу «*Пневматические эксперименты*»[10], и Мариоттом в его «Traite de l'Equilibre des Liquides» («Трактат о равновесии жидкостей»)[11], благодаря которому он и стал называться законом Мариотта. После того как он был подтвержден многими другими экспериментаторами, возникли подозрения в том, что этот закон не вполне точен, и Французская Академия наук учредила комиссию, состоящую из нескольких выдающихся философов[12],

10 См.: Shaw. Boyle, Vol. ii, p. 671. [Здесь Хьюэлл ссылается на известное издание Бойля: Peter Shaw, ed., The Philosophical Works of the Honourable Robert Boyle. L., 1725 (примеч. ред.).]

11 Хьюэлл, вероятно, допускает здесь неточность, путая между собой названия трактата Б. Паскаля «Traité de l'équilibre des liqueurs» (1663), посмертно опубликованной работы М. Мариотта «Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides» (1686) и труда Ж. Даламбера «Traité de l' équilibre et du mouvement des fluides : pour servir de suite au traité de dynamique» (1744) (примеч. ред.).

12 [Философов в смысле «natural philosophers» (примеч. ред.).] Членами комиссии были Прони [Гаспар Клер Франсуа Мари Риш, барон де Прони, Gaspard Clair François Marie Riche, baron de Prony, 1755–1839 – французский математик и инженер-гидравлик, профессор (примеч. ред.)], Араго, Ампер, Жирар (Пьер Симон Жирар, Pierre-Simon Girard, 1765–1836 – французский инженер, математик, фи-

которая должна была подтвердить или опровергнуть эти подозрения. Результаты проведенных исследований показали, что закон точен, насколько позволяют судить неизбежные погрешности наших измерений. Здесь мы имеем пример чрезвычайно простого закона, однако не можем удовлетвориться его простотой и очевидной вероятностью и подвергаем его строгой проверке с помощью опыта. В этом случае утверждение о том, что данный закон зависит от опыта, включает в себя ссылку на хорошо известные эпизоды истории науки.

С принципом, говорящим о том, что жидкость оказывает равное давление во всех направлениях, дело обстоит совершенно иначе. Действительно, в работах по гидростатике часто утверждают, что этот принцип получен из опыта, и иногда описывают некоторые эксперименты, в которых он проявляется. Но эти эксперименты скорее иллюстрируют и поясняют, а не доказывают истинность этого принципа: их никогда не осуществляли с той точностью измерения и с такой частотой, которые необходимы для обоснования чисто экспериментальной истины. И в истории науки такие эксперименты не были какими-то важными шагами. Представляется, что и мысленный эксперимент Архимеда не является необходимым для подтверждения истинности этого закона, напротив, он формулирует его точно в таком виде, в котором устанавливают аксиомы статики и даже геометрии, а именно в виде допущения. Никакой образованный человек, изучающий этот предмет, никогда не сталкивался с трудностями в признании этого фундаментального принципа гидростатики. Эксперимент не был нужен для его открытия, эксперимент не является необходимым для его доказательства, и, можем мы добавить, хотя эксперимент способен помочь нам легче понять это суждение, он ничего не добавляет к нашей убежденности в его истинности.

14. *Основание приведенной выше аксиомы*. – Однако естественно спросить, на чем основывается наше убеждение в том, что жидкость оказывает равное давление во всех направлениях? На это я отвечаю, что причины этого убеждения заключены в нашей идее жидкости, которая рассматривается как материя, следовательно, как способная воспринимать, оказывать сопротивление и передавать силу согласно общему пониманию материи. Жидкость рассматривается как материя, которая также обладает частями, свободно движущимися относительно друг друга. Из этих предположений следует, что если жидкость находится в ограниченном объеме, то давление на одну стенку содержа-

зик – (примеч. ред.) и Дюлонг. Эксперименты проводились при давлении в двадцать семь атмосфер, и ни в одном случае разница между наблюдаемой и вычисленной величиной упругости не превышала одной сотой, и эта разница не возрастала при росте давления. – Fechner, Repertorium, i., 110 [Хьюэлл ссылается здесь на физический трактат Фехнера, которого немногие историки науки рассматривали в качестве физика: *Gustav Theodor Fechner*. Repertorium der Experimental physik. Leipzig: Leopold Voss, 1832 (примеч. ред.).]

щего ее сосуда может образовать выпуклость на любой другой стенке, которая окажется неспособной противостоять этому давлению изнутри. Интенсивность этого давления, когда оно передается в направлении, отличном от первоначального, не изменяется. Любая разница в этих двух давлениях рассматривалась бы как дефект *совершенной* текучести, ибо чем более полно и без потерь передается давление во всех направлениях, тем более текучей считается жидкость. Если, например, боковое давление было бы меньше, чем вертикальное, то это нельзя было бы понять иначе, как указание на жесткость или сцепление частей жидкости. Когда текучесть совершенна, два давления, действующие в двух разных частях жидкости, в точности уравновешивают друг друга: они являются действием и противодействием, следовательно, должны быть равны в силу той же необходимости, как две противоположные силы в статике.

Можно, однако, продолжать настаивать на том, что, даже если это понятие совершенной жидкости как тела, все части которого свободно движутся относительно друг друга, с необходимостью приводит нас к принципу равенства гидростатического давления во всех направлениях, само это понятие все-таки получено из опыта или внушено наблюдением. И на это мы можем ответить, что понятие жидкости, рассматриваемое в механике, нельзя считать выведенным из опыта, если только не иметь в виду тот слабый смысл, в котором понятие твердого и жесткого тела можно считать усвоенным посредством опыта. Если вообразить сосуд, наполненный маленькими гладкими шариками, то это множество шариков представило бы нам природу жидкости, части которой свободно движутся относительно друг друга, и по мере того, как шарики становятся все меньше и все более гладкими, текучесть жидкости возрастает. Такое множество шариков обладало бы также статическими свойствами жидкости, поскольку, подобно жидкости, передавало бы вертикальное давление в боковом (и любом другом) направлении. Таким образом, совокупность шариков обладает таким же свойством, как и жидкость, поэтому гидростатика не заимствует из опыта каких-то новых принципов в дополнение к тем, которые уже содержатся в статике относительно твердых тел. А поскольку в статике, как мы уже видели, ни один из ее принципов не зависит от какого-либо конкретного опыта, постольку и учения гидростатики также доказываются не опытом, а получают статус необходимых истин из отношений наших идей.

Конечно, едва ли можно надеяться на то, что приведенные выше рассуждения сразу же покажутся убедительными для читателя, если он уже предварительно не познакомился с элементарными учениями науки гидростатики и не исследовал некоторые цепочки рассуждений, обосновывающие давление жидкостей, например те, которые объясняют так называемый *гидростатический парадокс*. Необходимость совершить такую работу, для того чтобы вполне включиться в эту часть наших рассуждений, естественно, уменьшает их популярность, однако это неизбежный недостаток нашего общего плана. Нельзя надеяться пролить свет на философию, обращаясь к успехам, достигнутым в математических и физических науках, до тех пор, пока мы ясно не поймем тех учений, которые прочно обоснованы в этих науках. Такая подготовительная работа для философствования иногда может показаться утомительной, однако она необходима, если мы хотим заниматься спекулятивными истинами, опираясь на те преимущества, которые дает нам современное состояние человеческого познания.

К этому мы можем добавить, что следствия изложенных выше соображений имеют чрезвычайно важное значение для выработки общего понимания природы человеческого познания. Я надеюсь, что выводы, к которым мы пришли в результате предшествующего обсуждения, помогут нам дать иллюстрацию некоторых важных различий, разрешить некоторые сложные парадоксы и высказать предположения о дальнейшем расширении нашего знания. Однако, прежде чем перейти к этим общим вопросам, я должен рассмотреть основания остальных частей механики.

Перевод А.Л. Никифорова