



Проблемы логики и методологии науки

**ОШИБКА ОБРЕТАЕТ (ИСТОРИЧЕСКИЙ) СМЫСЛ:
ОШИБКА КАК УКАЗАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИЯХ
КЕПЛЕРА И ГАЛИЛЕЯ***

Г. Хон

Всеобщее убеждение, что мы обретаем «историческую перспективу», все более отдаленную, как мне кажется, крайне искажает действительную ситуацию. То, что мы получаем, есть просто уверенность в обобщениях, которые мы никогда не отважились бы делать, если бы нам было доступно все богатство фактов того времени.

О. Найгебауэр [1].

Историография ошибки

Историки и философы науки все больше и больше обращают внимание на обширную и многостороннюю проблему ошибки – и как на вероятностный эпистемологический феномен, и как на неотъемлемую трудность в наблюдении и экспериментировании [2]. Этот возрастающий интерес к концепции ошибки связан со смещением центра внимания, произошедшим в истории и философии науки. Существующие в научном исследовании будничные, но ничем не заменимые практические подходы – эти «медные гвоздики», скрепляющие науку, получают свое заслуженное место в ее летописи. Прошли те времена, когда можно было не-

* Публикуется с разрешения автора. Перевод с англ. А.Ю.Сторожук.

брежно заметить, что «коль скоро [ошибки измерения и другие формы экспериментальной ошибки]... не были приняты в расчет, мы можем переключить свое внимание на логико-математическую структуру» [3]. Появление ошибок, особенно в наблюдении и экспериментировании, являет собой постоянную особенность, которая заслуживает надлежащего внимания. Сегодня мы осознаем, что существует проблема ошибки: ошибка – не побочный эффект научного поиска, и она заслуживает внимания со стороны философов и историков науки. Как заметил несколько лет назад Хью Меллор, ошибку не следует рассматривать как «докучающий, но ничтожный нарост на четкой и ясной дедуктивной структуре науки» [4].

Бернард Гольдштейн особо останавливается на этой проблеме в своей исчерпывающей работе, посвященной Леви Бен Герсону (1288–1344). Как показывает Гольдштейн, Леви Бен Герсон подробно рассматривал три источника ошибки, которая, могла исказить величину высоты звезды, определяемую при помощи астролябии. Основные трудности, которые распознал Леви Бен Герсон, были связаны с выравниванием астролябии и разрешением шкалы: «Ошибки при конструировании [астролябии] ... появляются по многим причинам [букв.: со многих сторон]: во-первых, из-за наклона диаметра инструмента; во-вторых, из-за недостатков конструкции алидады... с двумя проходящими пластинами... и, в-третьих, из-за трудности определения направления алидады [с точностью] до долей градуса в момент наблюдения» [5].

Гольдштейн замечает, что с трудностями должны быть сопряжены изготовление инструмента и его использование: направление диаметра инструмента может не совпадать с направлением в зенит; линия зрения может не совмещаться с разметкой шкалы алидады; и наконец, плохое разрешение самой шкалы может помешать прочтению показаний шкалы с точностью до угловых минут [6]. Леви Бен Герсон не ограничился указанием на эти источники ошибки, – он предложил способы их преодоления. Не говоря уже о том, что он настаивал на тщательном изготовлении инструмента и на тщательном же его применении, он изобрел новый способ разметки шкалы. Изобретенная Леви Бен Герсоном трансверсальная шкала, которая нашла успешное применение спустя 250 лет благодаря Тихо Браге, была разработана специально для того, чтобы увеличить разрешение с градусов до минут [7].

Исключительный для своего времени человек, Леви Бен Герсон сознавал критическую важность роли ошибки в научной практике. Он не только сделал существенный вклад в теоретическую астрономию, но так-

же искал, как заметил Гольдштейн, «надежную основу для астрономического исследования и в этом контексте он заинтересовался научными инструментами и методами астрономических наблюдений» [8].

Глубокий интерес Леви Бен Герсона к проблеме экспериментальной ошибки был необычен для Средневековья. Г.Фрейденталь убедительно показывает, что этот необычный интерес вызван верой Леви Бен Герсона в то, что изучение астрономии и приобретение знания о законе (nomos) мира обеспечивают бессмертие души. Согласно Фрейденталю, Леви Бен Герсон стремился обеспечить бессмертие своей души и с этой целью он искал истинные черты божественного творения. Любая ошибка, даже маленькая, могла помешать этому. Следовательно, щепетильность в отношении возможных источников ошибки, могущей воспрепятствовать получению точных наблюдений, – основа познания божественного творения [9]. Здесь мы видим ясную связь между ошибкой, метафизикой и методологией.

В настоящем исследовании я использую понятие ошибки с целью четко обозначить различия между Кеплером и Галилеем с точки зрения научной методологии и ее метафизических оснований. Мой подход заключается в изучении взглядов Кеплера и Галилея на понятие ошибки и ее возможное появление в их собственных и чужих исследованиях. Поэтому меня интересует не выявление ошибок у Кеплера и Галилея [10], а скорее изучение взглядов этих ученых на возможность появления ошибки и предпринимаемых ими (с позиций собственного понимания проблемы) предосторожностей. Как показал пример Леви Бен Герсона, изучение представлений об ошибке может пролить свет на методологию [11]. То есть я интересуюсь здесь не примерами ошибок и неверных рассуждений, выявленных сегодня в работах Кеплера и Галилея, а скорее представлениями этих знаменитых ученых относительно феномена ошибки, которая, несомненно, могла случиться в их исследованиях. Я рассматриваю концепцию ошибки как указание, как средство выявления характерных особенностей подхода того или иного исследователя к науке. Концепция ошибки не нейтральна и не универсальна, – по крайней мере, она не была таковой в XVII столетии. Подобно другим концепциям, она также являет собой пример исторических исследований, ибо она есть носитель метафизических предположений и методологических подходов. Коротче говоря, я интересуюсь здесь не ошибками, которые мы можем найти сегодня в текстах Кеплера и Галилея, а скорее точками зрения на возможность появления ошибки в научных исследованиях, которых придерживались эти ученые.

Источники достоверности у Кеплера и Галилея

Прежде всего остановимся на том, *что* Кеплер и Галилей понимали под достоверным научным знанием, под требованием, что знание не может быть ошибочным, под знанием, в отношении которого можно дать *объективную* гарантию, что в нем никто не ошибается. Здесь я целиком полагаюсь на недавнее исследование Питера Баркера и Бернарда Гольдштейна, посвященное теологическим основаниям астрономии Кеплера. Это новаторская работа, она идет вразрез со стандартными и традиционными интерпретациями. В ней предлагается новое прочтение Кеплера, базирующееся на предположении, что именно теология, и прежде всего лютеранская теология, соединяет в астрономии Кеплера физические аргументы с математическими [12]. Баркер и Гольдштейн утверждают, что «если изучение натурфилософии должно привести лютеран к Богу, то эта деятельность предполагает, что предопределенное устройство мира доступно человеческому интеллекту. Божественный план мира в принципе познаваем человеком» [13]. Кеплер полагал, что это действительно возможно сделать, а именно, он претендовал на то, чтобы, по словам Баркера и Гольдштейна, «раскрыть раз и навсегда структуру божественного предопределения относительно космоса в целом, и в частности относительно расположения планет» [14]. В этом аспекте натурфилософия Кеплера имеет существенно теологический характер. С помощью ряда аргументов в ней обосновывается «единственность упорядочивания многогранников, утверждается, что существовал один-единственный способ получить правильные числа – *априорная* демонстрация» [15]. Это фактически то, что делает божественный план познаваемым: оказывается, он носит существенно геометрический характер. Знание, обеспеченное таким способом, буквально гарантируется Богом, так что никаких других эпистемологических гарантий не требуется. Такое знание достижимо благодаря естественному свету разума, который ручается за знание математических истин и морального закона [16]. Следствием естественного света разума являются архетипы, которые в методологии Кеплера стоят отдельно от законов, при этом последние суть результат фактических наблюдений природы.

Будучи вечно неизменными в качестве первоисточника предопределения, установленные архетипы таковы, что никто не может заблуждаться относительно них [17]. Таким образом, расположение многогранников составляет знание, которое, согласно Баркеру и Гольдштейну, Кеплер

отстаивал с «теологической убежденностью» [18]. Кеплер даже представить себе не мог, что он может заблуждаться в суждениях относительно архетипов.

Если фундаментальные принципы рассматривать как теологические, то они дают уверенность Кеплеру и другим лютеранам, что божественный план постижим человеческим разумом и нельзя ошибиться относительно этого плана. Как пишут Баркер и Гольдштейн, «убежденность в том, что Бог создал мир по постижимому разумом плану, который он, Кеплер, открыл, лежит в основе его требований к знанию, и в “Священной тайне космоса”, и в “Новой астрономии, основанной на причинах”» [19]. Однако в первой, космологической, работе именно естественный свет разума гарантирует достоверность *априорной* демонстрации структуры мира, в то время как во второй, астрономической, работе, согласно Баркеру и Гольдштейну, именно некоторый вид аргумента лежит в основе знания законов, с помощью которых Бог управляет предопределенным миром [20]. Если знание космологического плана является несомненным, то знание законов может быть ошибочным. Действительно, «Новая астрономия» – отчет о собственных ошибках и неверных начинаниях на извилистом пути поиска законов движения планет. Как замечает Кеплер, «говоря о Колумбе, Магеллане и Португальце, мы не просто игнорируем ошибки, благодаря которым первый открыл Америку, второй – Китайское море, а третий – побережье Африки, – скорее, мы не желаем забывать о них, так как это лишило бы нас огромного удовольствия, которое мы получаем при чтении [об этих открытиях]. Точно так же я не хочу, чтобы мне зачли за ошибку то, что я с тем же интересом для читателя следую тем же курсом в настоящей работе» [21].

Так или иначе, ошибка становится движущей силой на пути к открытию истины, позволяя выявить истину сравнением череды ложных путей («*comparatione multorum falsorum eliciatur veritas*») [22].

Итак, знание неизменного плана, т.е. структуры божественного предопределения относительно космоса (расположение планет), является достоверным и не может быть ошибочным. Поэтому не должно удивлять то, что ранняя работа Кеплера – «Священная тайна космоса» была вместе с ним на протяжении всей его жизни. Кеплер издал эту книгу в 1596 г., а в 1621 г. вышла вторая редакция с рядом примечаний, связывающих «гнездовую» структуру с новыми фундаментальными открытиями. Как замечает Бернанд Коэн, «далекий от мысли отказаться от этого “закона” [расположения многогранников] как от юношеского сумасбродства, Кеплер постоянно возобновлял свою веру в его истинность и важность» [23].

Однако знание управляющих движением динамических законов не может быть несомненным: оно не возникает из архетипов, так как не выводится только лишь из математико-геометрических оснований.

В отличие от теологической достоверности Кеплера представления о достоверности, которые выдвигал Галилей, навлекли на него гнев со стороны церкви. В конце Первого дня «Диалога о двух главнейших системах мира – птолемеевой и коперниковой» в контексте обсуждения пределов человеческого разума Сальвиати, выразитель мнения Галилея, проводит различие между интенсивными и экстенсивными способами понимания. Экстенсивное человеческое понимание с точки зрения неограниченных интеллектуальных возможностей есть ничто. «Но если взять познание интенсивно, то, поскольку термин “интенсивное” означает совершенное познание какой-либо истины, то я утверждаю, что человеческий разум познает некоторые истины столь совершенно и с такой абсолютной достоверностью, какую имеет сама природа» [24].

Неудивительно, что суждения, которые человеческий интеллект схватывает интенсивно, с совершенным пониманием, являются суждениями геометрии и арифметики. Через Сальвиати Галилей утверждает: «...В тех немногих [истинах], которые постиг человеческий разум, я думаю, его познание по объективной достоверности равно божественному, ибо оно приходит к пониманию их необходимости, а в высшей степени достоверности не существует» [25].

Другими словами, что касается математических доказательств, то здесь Галилей ставит божественную мудрость наравне с человеческим интеллектом: «...Истина, познание которой нам дают математические доказательства, та же самая, какую знает и божественная мудрость» [26]. Однако он осторожно добавляет, что суждения, которые человеческий интеллект схватывает с предельной достоверностью, – это «общие положения, далекие от всякой тени дерзости или смелости; они не наносят никакого ущерба величию божественной мудрости» [27]. Несмотря на это, тот факт, что Галилей некоторым образом уравнивал божественный разум и разум человеческий, церковь расценила как оскорбление [28].

Теперь ясно различие между набожным Кеплером и Галилеем, современным, если не сказать – светским, мыслителем. Лютеранская доктрина привела Кеплера к вере в то, что структура космоса является достоверно познаваемой через архетипы, в то время как Галилей положился непосредственно на природу математических суждений, где необходимость – единственный критерий объективной достоверности. В этом духе Галилей критикует Гильберта за то, что тот не представил строгие осно-

вания при обосновании теории магнетизма. Согласно Галилею, гильбертовские аргументы – это аргументы «недостаточной силы, которая бесспорно должна присутствовать в тех представлениях как необходимое и вечное научное заключение». Галилей предпочел бы, чтобы Гильберт был «немного больше математиком и, в частности, был лучше осведомлен в геометрии» [29]. Характерно, что Галилей указывал на природу, а не на Бога: «...Я считал бы скорее, что природа сначала создала вещи по своему усмотрению, а затем создала умы человеческие, способные постигать (и то с большим трудом) кое-что в ее тайнах» [30]. Отсюда следует вывод: у Кеплера достоверность научного знания подтверждает теология, в то время как у Галилея основания знания обеспечивает именно математика. Исходя из этого я исследую соответствующее отношение Кеплера и Галилея к ошибкам.

Ошибка – выражение несоответствия

Ошибка – это выражение расхождения, признаком которого является несоответствие – несоответствие, возникающее в результате применения оценок, отличающихся от принятых. Природа этого несоответствия, причина его возникновения, его трактовка и его эпистемологические следствия, вытекающие из его восприятия и понимания, составляют обширный предмет проблемы ошибки [31]. Кеплер прямо говорит, что цель его «Новой астрономии» – «реформировать (*emendare*) астрономическую теорию» так, чтобы «вычисления по таблицам соответствовали (*respondeant*) астрономическим явлениям (*coelestibus apparentiis*)» [32]. Таким образом, важнейшим критерием является достижение соответствия, устранение расхождения между данными наблюдения и вычисления. Во введении к этой книге Кеплер отмечает: «До настоящего времени не было возможности сделать это с достаточной уверенностью. Известно, что в августе 1608 г. Марс не дошел на четыре градуса до положения, полученного вычислением по прусским таблицам. В августе и сентябре 1593 г. эта ошибка составила немного меньше пяти градусов, в то время как в моем новом вычислении эта ошибка полностью устранена (*povo meo calculo penitus est sublatus*)» [33].

Итак, ошибку характеризует несоответствие, которое осознается посредством процедуры сравнения, оценивания – процедуры, которая в астрономии осуществляется как раз применительно к данным наблюдений и вычислений. Следует, однако, подчеркнуть, что вовсе не очевидно, что выбрано стандартом в этой процедуре сравнения: наблюдение или

вычисление. Соответственно неясно, что является проверяемым суждением [34]. Одно из самых больших достижений Кеплера в «Новой астрономии» – устранение несоответствия между наблюдением и вычислением посредством выбора, наперекор обычной практике, наблюдения в качестве стандарта и вытеснения теории как причины расхождения результатов, – это, как пишет Кеплер, привело к «преобразованию всей астрономии (*totam Astronomiam reformandam*)» [35].

Концепция ошибки у Галилея

Подобно Кеплеру, Галилей утверждает, что «главная цель чистых астрономов состоит только в том, чтобы дать объяснение явлениям, происходящим с небесными телами, и приспособить к ним и к движениям звезд такие структуры и комбинации кругов, чтобы вычисленные движения по ним соответствовали этим явлениям» [36]. Таким образом, наиболее общая посылка состоит в том, что «если бы наблюдения... были правильны, и если бы вычисления... не заключали ошибки, то в результате и тех и других получалось бы всегда в точности одно и то же удаление» [37]. Тем не менее, как сообщил Галилей о сделанных Киарамонти вычислениях расстояния от Земли до новой 1572 г., ни одно из них, не соответствует другому. Такова судьба астронома: «если последние (вычисления. – *Перев.*) до некоторой степени и удовлетворяли чистого астронома-вычислителя, то не доставляли ни удовлетворения, ни покоя астроному-философу» [38]. Впоследствии Симпличио вынужден был принять, что «все они (вычисления Киарамонти. – *Перев.*) были неправильны или по вине вычислителя, или в силу неточности, допущенной наблюдателями; и самое большее, что можно было бы сказать и что я сказал бы, – это что, может быть, один какой-нибудь результат и верен, но я не знаю, какой выбрать» [39]. Именно в этом контексте Галилей (предлагая вниманию свои собственные вычисления) развивает элементарную теорию ошибки, своего рода предварительный статистический анализ астрономических наблюдений, который облегчает правильный выбор наблюдений и вычислений, ведущих в конце концов к надежному результату [40].

Существенное значение для этой теории имеет галилеевская концепция отношения между абстрактным и конкретным, между наблюдением и вычислением. По-видимому, несоответствие между данными наблюдения и данными вычисления неизбежно, и поэтому оно может являть собой постоянную особенность физических наук. Устами Симпличио Галилей высказывает точку зрения, что «в естественных науках незачем

искать совершенно математической очевидности» [41]. То есть приходится ожидать, что в физике, включая астрономию, постоянно будет иметь место несоответствие между теоретическим, математическим результатом и данными наблюдения физически конкретного. В свете приведенного выше определения ошибки в физических науках, согласно Симпличио, ошибка является неотъемлемой. Что бы ни предпринималось для того, чтобы примирить абстрактное и конкретное, несоответствие там останется принципиально. Итак, утверждает аристотелианец Симпличио, «математические тонкости... истинно абстрактны, в приложении же к чувственной и физической материи они не оправдываются. Так, например, пусть математики доказывают на основании своих принципов, что *sphaera tangit planum in puncto** – положение, подобное нашему, но, как только дело дойдет до материи, все происходит иначе; то же самое хочется мне сказать об этих углах касания и пропорциях; они все ни к чему, когда дело доходит до вещей материальных и чувственных» [42].

Это проблема идеализации. Галилей (его идеи выражает Сальвиати) осознает проблему и подходит к ней весьма тонко, но у него ничего не получается. Галилеевская теория ошибки есть по существу теория случайностей, – в конечном счете ошибка является погрешностью вычисления: «Было бы большой неожиданностью, если бы вычисления и действия, производимые абстрактно над числами, не соответствовали затем конкретно серебряным и золотым монетам и товарам. Но знаете ли, синьор Симпличио, что происходит на самом деле и как для выполнения подсчетов сахара, шелка и полотна необходимо скинуть вес ящиков, обертки и иной тары; так и философ-геометр, желая проверить конкретно результаты, полученные путем абстрактных доказательств, должен сбросить помеху материи, и если он сумеет это сделать, то, уверяю вас, все сойдется не менее точно, чем при арифметических подсчетах. Итак, ошибки заключаются не в абстрактном, не в конкретном, не в геометрии, не в физике, а в вычислителе, который не умеет правильно вычислять» [43].

Теория ошибки Галилея оказывается непосредственно связанной с объективной достоверностью, которую он обнаруживает в математических суждениях и которая необходима для того, чтобы они были истинными и связанными с физической реальностью. Сальвиати учит Симпличио, что «астрономы и математики нашли путем геометрии и арифметики безошибочные правила, чтобы... в точности находить удаленность возвышенных предметов» [44]. Руководимый Сальвиати, Симпличио

* Сфера касается плоскости в точке (лат.) – Прим. перев.

предполагает, что различия в оценках высоты новой звезды 1572 г. должны быть отнесены не к дефектам в правилах геометрии и арифметики, а «должны зависеть от неточности измерения расстояний... и углов» [45]. «Всякий раз, когда из подсчетов вытекает, что два угла A и E [в некотором треугольнике] больше двух прямых, сразу становится очевидным, что наблюдения ошибочные» [46]. И в этом же контексте отмечается, что «на наблюдения, относящие звезду в невозможные места, вовсе нельзя полагаться, так как они бесконечно ошибочны и ложны, и что следует брать только те, которые помещают ее не в невозможные места» [47]. Эта проблема не относится к гуманитарной сфере, где, как выразился Галилей, «нет ни истинного, ни ложного», но составляет предмет наук о природе, «выводы которых истинны и необходимы и где человеческий произвол ни при чем, нужно остерегаться... не стать на защиту ложного, так как... и тысячи Аристотелей будут выбиты из седла любым заурядным умом, которому посчастливилось открыть истину» [48]. Репутация Аристотеля действительно под угрозой, поскольку если бы новая звезда должна была быть расположена выше Луны, это доказало бы ошибку Аристотеля, так как появление новой звезды есть изменение небесного свода, который предполагается неизменным.

Осознание Галилеем того, что существуют наблюдательные ошибки, может объяснить его интерес к построению математических теорий аппаратуры и пертурбаций, которые позволили бы вносить вычисленные поправки в результаты наблюдений [49]. Например, в своей работе «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки» Галилей обсуждает два таких идеализированных предположения о движении снаряда, как бесконечная горизонтальная плоскость движения и бесконечно малое сопротивление среды. «...Когда мы хотим проверить на практике в конечном пространстве те выводы, которые сделаны в предположении бесконечного удаления, — пишет он, — необходимо, кроме точно доказанного, учесть значение не бесконечной удаленности нашей от центра, хотя последнюю можно считать огромной по сравнению с малым размахом действий, которые мы применяем» [50].

Относительно же сопротивления среды Галилей замечает: «Что касается, далее, неблагоприятного влияния сопротивления среды, то оно более значительно; при этом действие сопротивления среды настолько разнообразно в отдельных случаях, что подвести его под одно твердое правило и разъяснить его невозможно. Если даже мы будем рассматривать одно только сопротивление изучаемому нами движению со стороны воздуха, то найдем, что оно вносит изменения во все движения, и притом

изменения бесконечно разнообразные, в зависимости от бесконечного разнообразия формы, веса и скорости тела... в отношении них невозможно дать какие-либо определенные правила. Поэтому для научного толкования такого предмета необходимо сперва отвлечься от всего этого, а найдя и доказав положения, не приняв во внимание сопротивление, пользоваться ими на практике в тех пределах, которые укажет опыт... То, что при обычно применяемых нами приспособлениях малость размеров делает почти незаметными внешние и случайные воздействия, наибольшим из которых является сопротивление среды, я могу показать вам на двух примерах» [51].

Читатель не может не быть впечатлен изобретательностью Галилея и атмосферой современного научного духа, которые мы видим в его тексте. Такой образ мышления обусловлен верой Галилея в то, что Вселенная, книга мудрости природы, написана на языке математики [52], так что ошибки действительно исходят от вычислителя, который не знает, как произвести правильный подсчет.

Этот подход заставил Галилея еще более критически посмотреть на использование инструментов в научном исследовании, и особенно в астрономии. Галилей отчетливо понял, что точности достигнуть трудно – «как и из-за недостатков астрономических инструментов, подверженных влиянию многих факторов, так и по вине тех, кто ими пользовался с меньшей тщательностью, чем это было необходимо» [53]. Возьмем, например, его комментарии относительно использования квадранта и секстанта. В Третий день «Диалога о двух системах мира...», продолжая упорно защищать коперниканскую систему, он обращается к Симпличио таким образом: «И, по правде говоря, кто может быть уверен в том, что работая с квадрантом или секстантом, имеющим сторону самое большее в 3 или 4 локтя длиной, он не ошибется при установлении отвеса или диоптра на две или три минуты, которые на дуге инструмента занимают место не больше поперечника просяного зерна? Кроме того, почти совершенно невозможно изготовить и сохранять инструмент абсолютно точным» [54].

В другом месте «Диалога...» Галилей указывает на то, что ошибка «может возникнуть при пользовании инструментами, так как наблюдатель не может установить центр зрачка в центре секстанта» [55]. Интересно, был ли знаком Галилей с отрывком из «Астрономии» Леви Бена Герсона, в котором приблизительно за триста лет до этого говорилось о точно таких же трудностях? Но Галилей идет дальше, замечая, что «орган зрения даже сам по себе чинит помехи» [56]. Возьмем, например, сужение

и расширение зрачка: в общем, рассуждает Галилей, «разница между расширением и сужением зрачка может быть более чем десятикратной. Отсюда ясно, что когда зрачок сильно расширяется, то угол схождения лучей неизбежно становится более удаленным от глаза; так бывает при рассматривании слабо светящихся предметов» [57]. Галилей продолжает продумывать эксперимент, который позволит измерить этот эффект и изобрести метод наблюдения, учитывающий данную помеху [58].

Однако, спрашивает Симпличио, «если инструменты и сами наблюдения так сомнительны, то как можем мы в конце концов получить достоверные знания», как можем мы «освободиться от ошибок» [59]? Галилея эта ситуация не удручает, – напротив, он критикует Киарамонти за то, что тот использует эти трудности, чтобы высказать неверное утверждение, что новая звезда находится ниже сферы Луны [60]. Тем не менее неудивительно, что Галилей призывает совершенствовать астрономические инструменты: «...В наш век богу угодно было даровать человеческому разуму столь удивительное изобретение, которое может совершенствовать наше зрение, увеличивая его в 4, 6, 10, 20, 30 и 40 раз» [61]. Галилей предлагает взять в помощь невооруженному глазу телескоп, применение которого «приятно и легко» [62].

Верный своему методу, Галилей отдает себе отчет в том, что у телескопа есть недостатки, а потому здесь нужны слишком строгие процедуры и рассчитанные поправки, не говоря уже о средствах улучшения эксплуатационных качеств телескопа [63]. Галилею приходилось бороться с тем, что «настоящие и чистые перипатетики, смеясь над теми, кто занимается такими, по их мнению, глупостями», сочтут «все эти явления пустой игрой стекол и таким путем без большого труда освободят себя от обязанности думать дальше» [64]. Феномен солнечных пятен – именно такой случай. Вначале Галилей стремился установить, что «они – реальные объекты и не простые видимости или иллюзии глаз или линз телескопа (*e prima, che esse siano cose reali, e non semplici apparenze o illusions dell' occhio o de i cristalli*)». Действительно, геометрическая аргументация и вычисления доказывают, что «наблюдаемые пятна – не телескопические иллюзии или оптические дефекты» [65]. Таким же образом доказывается существование «четырех внутренних планет» и опровергается заявление Шейнера о пятой планете [66].

Вера Галилея, в то что математика – геометрия и арифметика – является источником достоверности в естествознании, и особенно в астрономии, лежит в основе его понимания того, как появляются, распределяются и оцениваются ошибки в наблюдении. Прежде всего

он недвусмысленно замечает, что «даже при определении одной только высоты полюса посредством одного и того же инструмента в одном и том же месте одним и тем же наблюдателем, которое может быть повторено тысячу раз, всегда получается разница в пределах минуты, а часто даже и нескольких минут» [67]. Таким образом, ошибки в наблюдениях «обязательно содержатся» [68], а потому встает насущный вопрос о природе этого расхождения, т.е., так сказать, об их математическом поведении. Галилей вынуждает Симпличио согласиться с утверждениями, что результаты наблюдения, например, высоты звезды над горизонтом «могут... отклоняться от истины как в большую, так и в меньшую сторону, т.е. ошибочно считать ее то выше, чем в действительности, то ниже». Таким образом, в наблюдениях «можно одинаково легко ошибаться как тем, так и другим образом» [69]. Фундаментальное предположение состоит, конечно, в том, что истинное значение некоторого результата наблюдения действительно существует. Однако Галилей не делает никакой попытки связать это понимание симметрического распределения ошибки относительно истинного значения с элементарной теорией вероятности, которую он развивает в своем исследовании, касающемся игры в кости [70]. Стохастической теории ошибки пришлось подождать до следующего столетия, до работ Симпсона и Ламберта [71].

Более того, Галилей осознает, что результаты чувственных наблюдений восприимчивы к результатам вычислений. Результат вычисления расстояния от Земли до небесного тела прямо зависит от углового наблюдения, так что «малейшие ошибки наблюдающего посредством инструмента делают место [небесного тела] определенное и возможное – бесконечным и невозможным» [72]. Соответственно «при больших расстояниях... исправление очень немногих минут отодвигает звезду на громаднейшее пространство» [73]. Отсюда Галилей заключает, что «величину ошибок, так сказать, инструментальных следует оценивать не по результату вычисления, но по количеству тех градусов и минут, которые отсчитываются на инструменте» [74]. Галилей явно стремится разорвать порочный круг аргументации и проводит различие между разрешением шкалы и рассчитываемыми поправками. Теперь «те наблюдения должны называть более точными и менее ошибочными, которые путем прибавления или отнятия немногих минут возвращают звезду в возможное место» [75]. Более того, «среди возможных мест [небесного тела] истинное местонахождение, надо думать, будет то, вокруг которого группируется наибольшее число рас-

стояний, вычисленных на основе наиболее точных наблюдений» [76]. Таким образом, наряду с пониманием роли, которую наблюдательная ошибка может играть в вычислении, Галилей демонстрирует понимание процесса усреднения, который базируется на некотором прототипе метода оценивания наблюдательных результатов [77].

При том что «можно ожидать со стороны исследователей скорее меньших, чем больших ошибок» [78], они, однако, ошибаются, и «если мы все же хотим из столь великих трудов извлечь какой-либо плод, то необходимо внести коррективы, исправляя все наблюдения» [79]. Но, как учит Галилей, «самым подходящим будет внести поправки и исправления, наименьшие и наиболее близкие, какие только возможно, для того, чтобы свести наблюдения из области невозможного в область возможного» [80]. Принцип здесь следующий: «значительно меньшие поправки требуется внести в наблюдения, дающие для помещения звезды бесконечную высоту, для помещения звезды на небесном своде, чем в подлунной области» [81]. На основе этого математического анализа ошибки наблюдения Галилей приходит к заключению, что «все эти изыскания говорят в пользу мнения тех, кто помещает звезду среди неподвижных звезд» [82], – в данном случае необходимые исправления являются наименьшими. С точки зрения Галилея, эта аналитическая процедура, опровергающая результаты вычислений, сделанных Киарамонти, согласно которым новая звезда есть подлунный феномен, демонстрирует, «насколько более вероятным представляется» то, что новая должна быть помещена в самую отдаленную область неба [83]. Халд следующим образом сформулировал принципы, лежащие в основе галилеевского анализа наблюдательных ошибок [84]:

(i) существует только *одно число*, выражающее расстояние от центра Земли до звезды – *истинное расстояние*;

(ii) *все* наблюдения сопряжены с ошибками, связанными с наблюдателем, инструментами и другими обстоятельствами наблюдения;

(iii) наблюдения распределены *симметрично* относительно истинного значения, т.е. *ошибки распределены симметрично относительно нуля*;

(iv) *маленькие ошибки случаются чаще, чем большие*;

(v) поскольку вычисленное расстояние есть функция наблюдаемых углов, постольку ошибки влияют на вычисленные расстояния так, что маленькая поправка к результатам наблюдений может значительно скорректировать эти расстояния.

Известно, что Галилей применял эти принципы скорее интуитивно и не формализовал их. Тем не менее опровержение им заключения Ки-

рамонти – это *tour de force** соединения математической аргументации с физической оценкой возможных источников ошибок, которые могут возникнуть при использовании аппаратуры для астрономических наблюдений, при этом побуждающий принцип таков: «что происходит конкретно, имеет место и в абстракции» [85]. Ученому математику (*filosofo geometra*) необходимо произвести правильный подсчет, если он хочет «проверить конкретно результаты, полученные путем абстрактных доказательств» [86]. Здесь Галилей проявляет себя истинно современным ученым. Он намного опередил свое время. Как отмечает Халд, астрономы не приняли этот метод оценки данных, пока спустя более чем столетие его не использовал Бошкович [87].

В своей статье «Кривые плотности в теории ошибки» Оскар Шейнин замечает в сноске: «...Трудно представить себе, что Кеплер не знал всего этого» [88]. Безусловно, как я однажды уже доказывал, Кеплер знал о проблеме экспериментальной ошибки [89], но, насколько я знаю, нигде в его произведениях мы не найдем отчетливого описания математического анализа ошибки, даже элементарного, подобного анализу, который представил Галилей.

Концепция ошибки у Кеплера

В противоположность Галилею, Кеплер представлял природу как обладающую внутренней неопределенностью (*gap*). Природа имеет некоторую степень свободы, некоторую нечеткость, которая не охватывается математикой. Мы видим, что Кеплер явно нащупывает пути объяснения проблемы ошибки. В самом деле, он обеспокоен возможностью появления цепочки ошибок: «...Хотя я подошел к этому анализу посредством тончайшей логической процедуры, определяемой силой демонстрации и требованиями наличия предпосылок, все же я не желаю, чтобы кто-либо убедил себя, что таким способом были получены абсолютно достоверные значения. Ибо может случиться, что именно это удаление ошибки явится причиной дальнейших ошибок» [90].

Но кроме этого Кеплер выдвигает идею, что физической системе присуща внутренняя неопределенность, и наиболее отчетливо это проявляется в *конкретной* системе, а именно, в системе планет. Иными словами, в кеплеровской картине мира природе присуще то, что можно назвать

* Сложное дело (франц.) – Прим. перев.

немецким словом Spiel*. Таким образом, галилеевский метод устранения материальных помех при выявлении в конкретном эффектов, которые были обнаружены в абстрактном, применим лишь до определенного момента, до некоторой точности, за пределами которой природа проявляет свою степень свободы. Ученый, действуя как вычислитель, должен осознать феномен Spiel и допустить его влияние. Именно этот так называемый феномен Spiel делает возможной гипотезу вложенных многогранников и позволяет признать гармонию небесных сфер. Ошибка, следовательно, может случиться не только из-за неверных вычислений, как об этом говорится у Галилея, но также из-за внутренне присущего природе феномена Spiel.

Следует подчеркнуть, что Галилей совершенно исключает возможность неопределенности (gar). Согласно Галилею, сказать, что «события имеют место благодаря некоей нерегулярности траекторий» все равно, что сказать, «я не знаю, почему они имеют место». Нерегулярные траектории, – это, по Галилею, те линии, которые не имеют «никакой закономерности вообще, но неопределенны и случайны и, следовательно, неопределимы; никакое свойство таких линий не может быть показано, – одним словом, ничего нельзя узнать о них». Вводить такие траектории, с точки зрения Галилея, «ничуть не лучше, чем привлекать “симпатии”, “антипатии”, “тайные свойства”, “влияния” и другие термины, используемые некоторыми философами как уход от правильного ответа, которым будет “я не знаю”». Галилей отдает явное предпочтение «искренней честности», а не «обманчивой двуличности» и поэтому выбирает ответ «я не знаю» [91].

Сравним эту точку зрения Галилея с опровержением Кеплером аргумента совершенства круговой орбиты, который древние выводили из совершенства круглой фигуры: «Во-первых, если бы движения небесных тел были порождены работой ума, как полагали древние, тогда заключение, что орбиты планет являются совершенно круглыми, было бы правдоподобным... Но движения небесных тел порождены не работой ума, а природой, т.е. естественной силой тел, или же работой духа, действующего в согласии с этими телесными силами; и нет тому более обоснованных доказательств, чем наблюдения астрономов, которые, справедливо отодвинув в сторону то, что является обманом зрения, обнаруживают, что эллиптическая орбита передает действительное и весьма истинное движение планеты; а эллиптичность являет собой до-

* Игра (нем.) – Прим. перев.

казательство существования естественных телесных сил, указывает на излучение, исходящее от тел, и их звездную величину. Тогда, даже если мы вообразим, что они наделены разумом, они, несмотря на это, не могут достигнуть того, к чему стремятся, а именно, совершенства круга... ибо кроме разума для движения нужны также природные и животные способности, и эти способности влекут за собой свои собственные стремления и не подчиняются полностью велению разума, которое не осознается, и многое делается исходя из материальной необходимости. Так что неудивительно, если эти способности, смешанные вместе, не могут достигнуть полного совершенства» [92].

Ключевое понятие в этом опровержении аргумента совершенства круглой орбиты – «материальная потребность». Фактическая орбита планеты зависит от многих причин, которые заключаются не только в умственных, но также в естественных и животных способностях, и все они, «смешанные вместе», порождают «эллиптическую фигуру вращения... действительное и истинное движение планеты» [93]. Следует сделать очень важное замечание: Кеплер недвусмысленно отстраняется от «обманов зрения», прежде чем на основании наблюдений и с учетом различных причин выдвинуть аргумент пустоты, о котором говорили древние [94].

Однако, как полагает Шейнин, по-видимому, основная форма – это действительно круг, но он подвергается деформации из-за случайных влияний [95]. Безусловно, одна из архетипических причин предполагает, что силы уменьшаются с расстоянием, и этот архетип, несомненно, постоянно и систематически влияет на формирование орбиты. Учитывая такое систематическое влияние, можно было бы ожидать, что планеты могли бы возвратиться к положению, занимаемому ими в момент происхождения, но это не так! Кеплер заканчивает свою раннюю работу «Mysterium» тем, что отвергает это утверждение: «...Движения находятся в иррациональных пропорциях по отношению друг к другу и поэтому они никогда не вернутся к той же самой отправной точке, даже если бы длились бесконечно, поскольку никогда не будет достигнута, даже если время бесконечно делимо, общая мера, повторение которой позволило бы установить конечную точку всех движений» [96].

Это означает, что конец мира невозможен, ибо в конце концов, как предполагает Кеплер, «если бы астрономия была правильной, ей следовало бы принять гипотезы, которые были бы удовлетворительны, если бы Вселенная была вечной» [97]. Однако, учитывая открытый позже гармонический закон, приведший к краху его ранней аргументации, в более

позднем издании «Mysterium» Кеплер вновь задает вопрос: «... Возможно ли обнаружить точное возвращение движений к их отправной точке?». И сам же отвечает: «Я заявляю, что такое возвращение не может быть обнаружено... при этом средние движения планет... невыразимы и несоизмеримы с самыми отдаленными движениями всех планет» [98].

Несоизмеримость, т.е. наличие иррациональных и случайных элементов, лежит в основе возвращения к представлению о вечности.

Осознание Кеплером того, что я называю Spiel, сыграло важнейшую роль в формировании его знаменитой гипотезы вложения многогранников. Кеплер столкнулся с серьезными трудностями в применении архетипа, соответствующего пяти правильным телам в коперниканской системе: при попытке согласовать эти пять тел с коперниканскими сферами и соответствующими движениями планет возникли большие несоответствия. Это поставило Кеплера в тупик, и он признается что «пребывал в сомнении относительно того, как продолжать, подобно человеку, который не знает, как соединить снова разрозненные детали механизма». На выручку пришел его учитель: «Мэстлин успокоил меня, или скорее отговорил меня от такой детальной точности. “Мы не можем, – сказал он, – исчерпать все сокровища Природы; нельзя устранить глубокий изъян; и мы должны быть более терпимыми и снисходительными к этому, если можно так выразиться, поврежденному человеческому телу, а не подвергать больного человека таким радикальным операциям, сопряженным с прямой опасностью для его жизни”. В качестве примера он привел Ретика с его вниманием к каждой детали, столь же пристальным, как и у меня, и по своей сути столь же критическим по отношению к Копернику» [99].

Признавая неопределенность (gap) в системе (глава XXI «Mysterium» называется «Что должно быть выведено из неполного (deficiency)»), Кеплер в некоторой степени примиряет различные элементы, однако это примирение устраивает его не полностью. Поэтому он призывает других завершить задачу и достигнуть адекватного решения [100]. Как хорошо известно, только сам Кеплер и ответил на этот призыв.

После публикации гипотезы вложения многогранников должно было пройти более 20 лет, прежде чем было доказано наличие феномена Spiel. Гармонический закон (третий закон Кеплера) гласит, что «ни тела, ни число (figure) по отдельности не регулируют интервалы между планетами, и при этом не существует никаких других соотношений между движениями, которые не зависели бы от конкретного случая» [101]. Как объясняет Кеплер в работе «Воплощение коперниканской астрономии», «архе-

тип подвижного мира составляют не только пять правильных многогранников (определяющих колесницы планет и номера орбит (course)), но также гармонические соотношения, в которые эти орбиты выстроились, согласно идее музыки небесных сфер или гармонического созвучия шести голосов. И коль скоро такое музыкальное украшение потребовало неоднородности движения каждой планеты – различия между самым медленным и самым быстрым движением, и это различие обусловлено изменением интервала между планетой и Солнцем, и поскольку размеры или пропорции этих изменений у разных планет должны быть разными, следовательно, необходимо было, чтобы из интервалов, представленных одинаковыми и неизменными цифрами, была изъята очень маленькая величина и чтобы композитор мог по своей воле изображать соразмерность движения... и чтобы, тем не менее, то, что телам присуще собственное [движение], не исключало этих небольших отклонений» [102].

Для того чтобы изменить интервалы на «очень маленькую величину» и выявить ее, так что «композитор» мог бы свободно настраивать движения, с тем чтобы сделать их гармоничными, необходимо наличие в системе феномена Spiel. Отсюда важно, что «цифры сами по себе еще не определяют эти интервалы [например, между Юпитером и Марсом] или какие-либо другие абсолютно точно, но это дело оставлено на долю украшения гармонических движений, которые требуют некоторой свободы в процессе точного определения этих интервалов» [103].

Завершая свою работу «Гармонические движения планет», Кеплер размышляет о развитии своих астрономических исследований. Введя представление об этих пяти правильных многогранниках, он смог объяснить и число планет, и почти правильный размер интервалов, а для того чтобы объяснить остающееся несоответствие, он обратился к проблеме точности астрономии. В течение 20 лет точность астрономических исследований, замечает Кеплер, повышалась, и все же оставалось несоответствие между расстояниями и многогранниками, и это явилось причиной того, что очень неравномерное распределение эксцентриситетов среди планет все еще было неочевидным. «Конечно в этом космическом здании я не искал ничего, кроме камней – более изящной формы, но формы, свойственной камням, – не зная, что Архитектор придал им форму, детально отображающую живое тело. Так понемногу, особенно в последние три года, я приближался к гармонии, лишая многогранники тонких деталей, – и потому, что первые основаны на формах, запечатленных рукой Всевышнего, но, тем не менее, являют собой фигуры из материи, которая в космосе представлена множеством тел и пустым протяженным про-

странством, и потому, что первые приводили к эксцентриситету, чего последние даже не обещали. То есть первые составляли нос и глаза и прочие части статуи, для которой последние лишь предписали несущественное количество массы. Следовательно, так же как тела живых существ еще не были сделаны и каменная масса еще не обработана по образцу некоторой геометрической фигуры, но при этом кое-что удалено из внешних круглых очертаний, однако эта форма изящна (хотя правильное количество объема остается), так что тело может обрести органы, необходимые для жизни, и камень подобен живому существу, точно так же пропорция, которую многогранники должны были предписать планетарным сферам, будучи более низшим и имеющим отношение только к телу определенного размера и материи, должно было уступить место гармонии, настолько, насколько первым было необходимо быть способными находиться близко и украшать движения планет» [104].

Вновь заметим, что решение было получено путем удаления чего-то из чистой формы, т.е., в наших терминах, путем образования Spiel. Для того чтобы планета была расположена в Солнечной системе, этой планете должен быть предписан многогранник, но этого недостаточно, так как для гармонии движения требуется некоторая свобода – Spiel. «С позиций этого анализа оказывается, что Кеплер считает нужным рассмотреть еще один источник ошибки, который не может быть объяснен с помощью математики. В самом деле, Кеплер предупреждает, что “иногда наблюдатель, приписывая слишком много своему собственному усердию и тщательности, которые он проявил при наблюдении вещей, и допуская, что положение небесного тела можно установить абсолютно точно, рискует попасть в сложное положение: природа света, с которой сопряжено непостоянство оптических процессов, не всегда позволяет получить точные показания инструментов”» [105].

Это очень реалистичное замечание, которое полностью опирается на практическое знание специалиста в области наблюдательной астрономии. «Непостоянство оптических процессов» не может быть изложено математически, и галилеевский *filosofo geometra* не может в принципе устранить эту помеху с помощью математической точности. Добавим, что «разум... не следует математической точности» [106] и из астрономических наблюдений можно получить представление об источниках ошибки, отличающееся от концепции Галилея. Для Кеплера «физическая сторона дела не являет чувство зрения как причину ошибки», в отличие от чувственной стороны, которая может создать «фантомы» [107]. Астроном, добавляет Кеплер, «заставляет без обид осознать, что чувство зрения –

[источник] ошибки» [108]. В своей работе «*Paralipomena*» Кеплер посвящает этой проблеме целый раздел, – это раздел 5 главы 5: «Вещи, которые обращают средства наблюдения против астрономии, или Об искаженном видении» [109].

Кеплер, подобно Галилею, демонстрирует многосторонность в подходе к ошибке с математической точки зрения. Одна из самых отчетливых иллюстраций тому – использование камеры-обскуры и требуемых коррекций вычислений [110]. Другой пример – метод корректирования эксцентриситета, выведенный мимоходом в «*Новой астрономии*» [111]. Но как я уже отметил, Кеплер не развивает математическую теорию ошибки в направлении, в котором следовал Галилей.

Заключение

Можно сформулировать различие между представлениями о появлении ошибки у этих двух прославленных мыслителей, обратившись к возможному различию между понятиями погрешности (*mistake*) и ошибки (*error*). Согласно Св. Августину, нельзя сбиваться с пути истинного иначе, как по незнанию: «...*Nec nisi rerum ignorantia possit errari*» [112]. Незнание, однако, может быть либо преодолимым, либо непреодолимым. Можно неверно истолковать текст из-за недостаточного знания языка, но он также может быть неверно истолкован из-за того, что некоторые касающиеся его обстоятельства не были известны его толкователю [113]. Соответственно я предлагаю различать две возможности двигаться в неправильном направлении: путь погрешностей и путь ошибок. Погрешность я связываю с преодолимым незнанием. Погрешностей можно избежать, коль скоро способы проверки известны и доступны. Ошибка, напротив, связывается с непреодолимым незнанием, когда методы применяются к новым явлениям, когда отсутствует хорошо изученный принятый стандартный метод – когда движение происходит, если можно так выразиться, на ощупь во тьме. Образно говоря, погрешность имеет место, когда кто-то сбивается с пути по *terra firma*, но заблудившийся в исследовании *terra incognita* приходит к ошибке. Конечно, слова «погрешность» и «ошибка» я использовал здесь условно, это не демонстрация обычного использования соответствующих английских слов. Я придерживаюсь скорее старой идеи: «из-за погрешности вы отклонитесь от истинного пути, [тогда как] из-за ошибки вы заблудитесь» [114].

Таким образом, получается, что у Галилея в идеале присутствуют только погрешности, в то время как во взглядах Кеплера наряду с погреш-

ностями есть и ошибки, являющиеся непреодолимыми. Галилей придерживается точки зрения, что помехи можно вычислить и устранить, так что идеализация сможет остаться точной. Кеплер, напротив, считает, что сохранится несоответствие. Эти противоположные подходы отражают различие во взглядах протагонистов на философию науки.

В заключение позвольте мне повторить вслед за Кеплером похвалу неясности: «...Вся астрономия держится на этих затмениях ясности, до такой степени, что эти затемнения суть глаза астрономов, эти недочеты – рог избытка *теории*, эти изъяны озаряют умы смертных, являя перед ними самые драгоценные *картины*. Прекрасная тема, достойная всеобщей похвалы, – тема *похвалы неясности!*» [115]. Можем ли мы заменить слово «неясность» на слово «ошибка»? Хвала ошибке, понимание которой озаряет ум и освещает путь науки.

* * *

Я благодарю Питера Баркера и Алана Бауэна за их поучительные замечания. Я благодарю Иакова Зика за сведения, касающиеся работы Галилея с телескопом.

Примечания

1. *Neugebauer O.* The exact sciences in antiquity. – N.Y.: Dover. –1969. – P. viii.
2. См., например: *Mayo D.H.* Error and the growth of experimental knowledge. – Chicago; London: Chicago Univ. Press. – 1996; *Hon G.* Exploiting errors // *Studies in History and Philosophy of Science.* – 1998. – V. 29. – P. 465–479.
3. *Sellars W.* The language of theories // *Current Issue in the Philosophy of Science.* – Minnesota center for philosophy of Science; New York: Holt, Rinehart and Winston, 1961. – P. 73.
4. *Mellor D.H.* Imprecision and explanation // *Philosophy of Science.* – 1967. – V. 34. – P. 6.
5. Цит. по: *Goldstein B.R.* Levi Ben Gerson: On instrumental errors and the transversal scale // *Journal for the History of Astronomy.* – 1977. – V. 8. – P. 106.
6. *Ibid.* – P. 102.
7. *Ibid.* – P. 104–106.
8. *Ibid.* – P. 102.
9. См.: *Freudenthal G.* Rabbi Lewi ben Gerschom (Gersonides) und die Bedingungen wissenschaftlichen Fortschritts im Mittelalter: Astronomie, Physik, erkenntnistheoretischer Realismus und Heilslehre // *Archiv für Geschichte der Philosophie.* –1996. – Bd. 74. – S. 173, 174; *Gersomdes: Levi ben Gershom (1288–1344)* // *History of Islamic Philosophy / S.H.Nasr and O.Leaman (eds.).* – London; New York: Routledge, 1992. – Part I. – P. 748. О подходе Леви Бен Герсона к процедурам аппроксимации см.: *Mancha J.L.* Heuristic reasoning: Approximation procedures in Levi ben Gerson's astronomy // *Archive for History of Exact Sciences.* – 1998. – V. 52. – P. 13–50.

10. См., например: *Cohen I.B.* Galileo's fallacy // *Isis*. – 1958. – V. 49. – P. 344, 345; *Drake S.* Galileo's fallacy // *Ibid.* – P. 345, 346; *Hall A.R.* Galileo's fallacy // *Ibid.* – P. 342–344; *Koyre A.* Galileo studies. – New Jersey: Humanities Press, 1978; *Wilson C.* The error in Kepler's acronyal data for Mars // *Centaurus*. – 1969. – V. 13. – P. 263–268.
11. *Hon G.* If this be error: Probing experiment with error // *Experimental Essays – Versuche zum Experiment* / M.Heidelberger and F.Steinle (eds.) – Baden-Baden: Nomos, 1998. – P. 227–248.
12. См.: *Barker P., Goldstein B.R.* Theological foundations of Kepler's astronomy // *Osins*. – 2001. – V. 16. – P. 111. См. также примечания в указанной работе 72, 73.
13. *Ibid.* – P. 97.
14. *Ibid.* – P. 99.
15. *Ibid.* – P. 101.
16. *Ibid.* – P. 101, 102.
17. О предварительных попытках Кеплера см.: *Kepler J.* The harmony of the world (*Harmonice mundi*) / E.J.Aiton, A.M.Duncan and J.V.Field (trs.) / Philadelphia: Amer. Philos. Soc., 1997. – V. 2097. – P. 489.
18. *Ibid.* – P. 108.
19. См.: *Barker P., Goldstein B.R.* Theological foundations of Kepler's astronomy. – P. 112.
20. *Ibid.* – P. 112, 113.
21. *Kepler J.* New astronomy / W.H.Donahue (tr.). – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1992. – P. 78, 79.
22. *Kepler J.* The six-cornered snowflake. – Oxford: Clarendon Press, 1966. – P. 27.
23. См.: *Kepler J.* The secret of the Universe (*Mysterium cosmographicum*) / A.M.Duncan (tr.), introduction and commentary E.J.Aiton, preface I.B.Cohen. – Norwalk, CT: Abaris Books, 1999. – P. 8.
24. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира – птолемеевой и коперниковой // *Галилей Г. Избранные труды: В 2 т. – М.: Наука, 1964. – Т. 1. – С. 201.*
25. Там же.
26. Там же. – С. 202.
27. Там же. – С.201.
28. Там же. – С. 614 (прим. к с. 199).
29. Там же. – С. 499.
30. Там же. – С. 363.
31. *Hon G.* Exploiting errors. – P. 466.
32. *Kepler J.* New Astronomy. – P. 48. См. также: *Kepler J.* *Astronomia nova: Gesammelte Werke* / M.Caspar (ed.). – München: C.H.Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1990. – Bd. III. – S. 20.
33. *Ibid.*
34. См.: *Hon G.* Going wrong: To make a mistake, to fall into an error // *Review of Metaphysics*. – 1995. – V. 49. – P. 8, 17.
35. *Kepler J.* *Astronomia nova*. – S. 286. См. также: *Hon G.* On Kepler's awareness of the problem of experimental error // *Annals of Science*. – 1987. – V. 44. – P. 564, 565.
36. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира... – С. 436.
37. Там же. – С. 378.
38. Там же. – С. 436.

39. Там же.
40. См.: *Hald A.* Galileo's statistical analysis of astronomical observations // *International Statistical Review.* – 1986. – V. 54. – P. 211–220; *Id.* A history of probability and statistics and their applications before 1750. – N.Y.: Wiley-Interscience Publ., 1990. – P. 149–160; *Maistrov L.E.* Probability theory: A historical sketch. – New York; London: Academic Press, – 1974. – P. 30–34.
41. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира... – С. 330.
42. Там же. – С. 302, 303.
43. Там же. – С. 307.
44. Там же. – С. 384.
45. Там же.
46. Там же. – С. 386.
47. Там же. – С. 388.
48. Там же. – С. 151.
49. *Koertge N.* Galileo and the problem of accidents // *Journal of History of Ideas.* – 1977. – V. 38. – P. 389–408.
50. *Галилей Г.* Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки // Галилей Г. Избранные труды: В 2 т. – М.: Наука, 1964. – Т. 2. – С. 310.
51. Там же. – С. 311, 312.
52. См.: *Galileo G.* Discoveries and opinion of Galileo / S.Drake (tr.). – N.Y.: Doubleday, 1957. – P. 238.
53. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира... – С. 481.
54. Там же.
55. Там же. – С. 413.
56. Там же. – С. 430.
57. Там же. – С. 457.
58. Там же. – С. 456, 457.
59. Там же. – С. 481.
60. Там же. – С. 414.
61. Там же. – С. 430.
62. Там же. – С. 491. Ср.: Там же. – P. 464.
63. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира... – С. 432; *Galileo G.* Sidereus Nuncius, or The Sidereal Messenger / A. van Helden (tr), Chicago; London: Chicago University Press. – 1989. – P. 14, 15. Подробнее см.: *Zik Y.* Galileo and the telescope: The status of theoretical and practical knowledge and techniques of measurement and experimentation in the development of the instrument // *Nuncius.* – 1999. – V. 14. – P. 31–69; *Id.* Galileo and optical aberrations // *Nuncius.* – 2002. – V. 16. – P. 455–466.
64. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира... – С. 447.
65. *Galileo G.* Le opere di Galileo Galilei / A.Favaro (ed.). – Florence: G.Barbera, 1964–1966. – P. 95; *Id.* Discoveries and opinion of Galileo. – P. 90, 91.
66. *Galileo G.* Discoveries and opinion of Galileo. – P. 138, 139; *Id. G.,* Sidereus Nuncius... – P. 16–20, 64–86.
67. *Галилей Г.* Диалог о двух системах мира... – С. 387.
68. Там же. – С. 386.
69. Там же. – С. 389.

70. См.: *Galileo G. Sopra le scoperte dei dadi* // David F.N. Games, gods and gambling. – L.: Griffin, 1962. – P. 192–195; *Maistrov L.E. Probability theory...*; *Hald A.A. History of probability and statistics...* – P. 41.
71. См., например: *Sheynin O. B. Density curves in the theory of errors* // Archive for History of Exact Sciences. – 1995. – V. 49. – P. 164–167; *Id. The theory of probability: Its definition and its relation to statistics* // Archive for History of Exact Sciences. – 1998. – V. 52. – P. 104.
72. *Галилей Г. Диалог о двух системах мира...* – С. 390.
73. Там же. – С. 398.
74. Там же. – С. 390.
75. Там же.
76. Там же. – С. 390, 391.
77. См.: *Galileo G. Dialogues concerning two new sciences* / H.Crew and A. de Salvio (trs.). – N.Y.: Dover, 1954. – P. 84, 179.
78. *Галилей Г. Диалог о двух системах мира...* – С. 405.
79. Там же. – С. 388.
80. Там же. – С. 387.
81. Там же. – С. 405.
82. Там же.
83. Там же. – С. 406.
84. См.: *Hald A. Galileo's statistical analysis...* – P. 212 (выделено в оригинале). См. также: *Maistrov L. E. Probability theory...* – P. 32–34.
85. *Галилей Г. Диалог о двух системах мира...* – С. 307.
86. Там же.
87. См.: *Hald A. A history of probability and statistics...* – P. 160.
88. *Sheynin O.B. Density curves in the theory of errors.* – P. 165.
89. См.: *Hon G. On Kepler's awareness of the problem of experimental error* // Annals of Science. – 1987. – V. 44. – P. 545–591.
90. *Kepler J. The secret of the Universe.* – P. 183.
91. См.: *Galileo G. Discoveries and opinion of Galileo.* – P. 241.
92. *Kepler J. Epitome of Copernican astronomy (Epitome Astronomiae Copernicanae). IV and V* / C.G.Wallis (tr.). – Chicago: Encyclopedia Britannica, 1952. – P. 932.
93. *Ibid.* См. в другом контексте, как Кеплер использует аргумент «материальной необходимости» (*materiali necessitate*), для того чтобы объяснить форму конденсата при образовании снежинок (*Кеплер И. О шестиугольных снежинках*: Пер. с лат. Ю.А.Данилова. – М.: Наука, 1982. – С. 30, 31).
94. Об обмане зрения см.: *Kepler J. Optics: Paralipomena to Witelo and optical part of astronomy (Ad Vitellionem paralipomena quibus astronomiae pars optica traditur)* / W.H.Donahue (tr.). – Santa Fe; New Mexico: Green Lion Press, 2000. – P. 171.
95. *Sheynin O.B. J.Kepler as a statistician* // Bulletin of the International Statistical Institute. – 1975. – P. 349; См. также: *Brackenridge J.B. Kepler, elliptical orbits, and celestial circularity: A study in the persistence of metaphysical commitment (Part 1)* // Annals of Science. – 1982. – V. 39. – P. 117–143.
96. *Kepler J. The secret of the Universe.* – P. 223.
97. *Ibid.* – P. 183.
98. *Ibid.* – P. 225.
99. *Ibid.* – P. 183–185.

100. Ibid. – P. 213.
101. Ibid.
102. *Kepler J.* Epistome of Copernican astronomy. – P. 871.
103. Ibid. – P. 872.
104. *Kepler J.* The harmony of the world. – P. 489, 490.
105. *Kepler J.* Optics: Paralipomena to Witelo and optical part of astronomy. – P. 6.
106. Ibid. – P. 350, 351.
107. Ibid. – P. 338, 339.
108. Ibid. – P. 338.
109. Ibid. – P. 226–236.
110. Ibid. – P. 67–71. См. также: *Hon G.* On Kepler's awareness of the problem of experimental error. – P. 580, 581.
111. *Kepler J.* Astronomia nova // *Kepler J. Gesammelte Werke / M. Gaspar (ed.)*. – München: C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, 1990. – Bd. III. – P. 475, 476.
112. См.: *Sancti Augustini Enchiridion ad Laurentium, sive de fide, spe et charitate // Opera omnia*. – Paris: Apud Gaume Fratres, Maurist ed. – 1837. – V. 6. – P. 352; *St. Augustine faith, hope and charity // The Fathers of the Church / R.J. Deferrari et al. (eds.)*. – Washington, D.C.: Catholic Univ. of America Press, 1966. – V. 2. – P. 381.
113. См.: *Momigliano A.* Historicism revisited // *Momigliano A. Essays in ancient and modern historiography*. – Oxford: Blackwell, 1975. – P. 368.
114. *Austin J. L.* A plea for excuses // *Austin J.L. Philosophical papers / J.O. Urmson and G.J. Wamock (eds.)*. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1979. – P. 201, 202. См. также: *Hon G.* Going wrong: To make a mistake, to fall into an error. – 1995. – V. 49. – P. 3–20.
115. *Kepler J.* Optics: Paralipomena to Witelo and optical part of astronomy. – P. 16 (выделено в оригинале).

Философский факультет
Университета Хайфы,
г. Хайфа, Израиль