



Э. Торричелли

1608—1647

Об атмосферном давлении

С позиций современной физики существование атмосферного давления не относится к числу фундаментальных фактов, лежащих в основе этой науки. Однако в ретроспективе открытие атмосферного давления является событием исключительной важности, знаменующим еще одно крупное поражение старой физики. Центральным действующим лицом в обосновании идеи об атмосферном давлении стал итальянский ученый Э. Торричелли.

Э ванджелиста Торричелли родился 15 октября 1608 г. в небольшом итальянском городе Фаэнца в небогатой семье. Воспитание он получил у своего дяди, бенедиктинского монаха. Во время учебы в иезуитском колледже Торричелли проявил большие математические способности и был направлен в Рим к известному математику, одному из талантливейших учеников Галилея аббату Б. Кастелли, который сделал молодого человека своим секретарем. Жизнь в Риме и общение с Кастелли и его учениками способствовали развитию таланта Торричелли. В 1641 г. он закончил свое первое научное произведение «О движении тел, опускающихся естественным путем», в котором развивались идеи Галилея. По рекомендации Кастелли Галилей пригласил Торричелли к себе для помощи в разработке неоконченных исследований. В октябре 1641 г. Торричелли переехал в Арчетри и начал работать над дополнением к «Беседам» Галилея. Однако совместная работа начинающего исследователя и маститого ученого продолжалась недолго. В январе 1642 г. Галилей умер. Торричелли, потрясенный случившимся, хотел покинуть Флоренцию, но Великий Герцог предложил ему занять пост, ранее принадлежавший Галилею, — пост «философа и первого математика Его Высочества». Торричелли принял это предложение и остался во Флоренции, где работал до своей безвременной кончины (25 октября 1647 г.). Флорентийский период оказался наиболее плодотворным в жизни ученого.

Труды Торричелли, оставшиеся по большей части неопубликованными до его смерти, касаются различных разделов матема-

тики, физики и метеорологии. В книге «Opera geometrica», получившей европейскую известность, Торричелли развил методы, предложенные другим учеником Кастелли — Б. Кавальери. В механике он впервые высказал идею о движении тел по касательной, сформулировал «принцип Торричелли», согласно которому движение системы, предоставленной самой себе, возможно лишь при понижении положения центра тяжести, рассмотрел «параболу безопасности» (границу области, недоступной для тела, брошенного под углом к горизонту с заданной скоростью) и т. д. В гидродинамику вошла «формула Торричелли» для скорости истечения жидкости из сосуда. Торричелли является одним из создателей жидкостного термометра. В оптике он достиг исключительного мастерства в изготовлении линз. Наконец, с именем Торричелли связана первая правильная в общих чертах теория образования ветров как следствия циркуляции атмосферных масс.

Соединяя в себе талант первоклассного математика и способности блестящего экспериментатора, Торричелли всей своей научной деятельностью продолжал дело Галилея по разработке основ нового естествознания, опирающегося, с одной стороны, на математику, а с другой — на эксперимент.

Наиболее известным экспериментальным исследованием Торричелли являются его опыты со ртутью, доказавшие существование атмосферного давления. По меткому замечанию В. П. Зубова, «опыты Торричелли являются, пожалуй, одним из очень ярких примеров, позволяющих показать коллективный и кумулятивный характер научных исследований: наука создается в результате совместных усилий многих людей и постепенно накапливает положительные результаты своих достижений». У этих экспериментов имеется большая предыстория. В ней можно выделить два основных направления. Первое — теоретическое — берет свое начало от Аристотеля, который утверждал, что существование пустого пространства (вакуума) невозможно вследствие присутствия Природе «боязни пустоты» (*hoi hoggos vacui*). Второе направление — практическое — было связано с известным мастерам-водопроводчикам фактом: вода с помощью обычного насоса не может быть поднята на высоту, большую 18 флорентийских локтей ($\approx 10,5$ м). Этот факт отмечал в своих «Беседах» Галилей, который отказался от представлений перипатетиков о *hoi hoggos vacui*, но приписал пустоте некую способность к сопротивлению. Отметим, что ограниченность эффективности насосов отмечалась рядом авторов (голландцем Бекманом, итальянцем Балиани) еще до публикации «Бесед» (1638). Более того, тот же Балиани в письме к Галилею в 1630 г. высказал гипотезу о существовании атмосферного давления. По некоторым причинам Галилей не принял идею Балиани (это несколько странно, поскольку Галилей первым определил вес воздуха). Неясно, до какой степени Торричелли был в курсе обсуждения вопроса о пустоте между Галилеем и Балиани, но, во всяком случае, он наверняка был

хорошо осведомлен о позиции Галилея. Поэтому нет ничего удивительного, что в 1644 г. он вместе с другим учеником Галилея В. Вивiani занялся исследованием вопроса, над которым размышлял учитель. Заслугой Торричелли является то, что он решил перейти к жидкости, обладающей большей плотностью, чем вода, — к ртути. Это позволило сделать эксперименты относительно легко воспроизводимыми. Однако не следует думать, что в середине XVII в. постановка и воспроизведение опытов Торричелли были простым делом. В те времена было довольно трудно изготовить необходимые стеклянные трубки, о чем свидетельствуют неудачи некоторых ученых в постановке аналогичных опытов независимо от Торричелли и задержка их повторения в других странах после того, как стало известно о его успехе.

О результатах своих опытов ученый сообщил в письме к своему другу Микельанджело Риччи, жившему в Риме. Хотя это письмо не было опубликовано, оно разошлось в списках по всей Европе и стимулировало появление работ других авторов (в том числе Б. Паскаля, О. Герике, Р. Бойля). Эти опыты послужили катализатором исследований, которые вышли далеко за пределы той проблемы, решению которой они были посвящены.

Торричелли — Микельанджело Риччи

Преславный синьор и ученейший мой покровитель!

⟨...⟩ Я уже упоминал раньше¹, что занимался производством некоего философского эксперимента, касающегося пустоты, не для того, чтобы просто произвести пустоту, но для того, чтобы сделать прибор, который показывал бы перемены воздуха, то более тяжелого и густого, то более легкого и тонкого. Многие говорили, что пустоты не существует, другие — что она существует, но Природа испытывает к ней отвращение, и что создание такой пустоты требует усилий. Уже не помню, кто-то говорил, что она существует, не требуя усилий и без того, чтобы Природа ее образованию противилась. Я рассуждал так: если бы можно было найти совершенно явную причину, от которой проистекало бы такое сопротивление, ощущаемое нами, когда хотят произвести пустоту, то, как мне кажется, тщетна была бы попытка приписать именно пустоте подобное действие, которое явно проистекает от другой причины. Однако, произведя некоторые весьма простые расчеты, я нашел, что причина, мною предложенная (т. е. тяжесть воздуха), сама по себе взятая, должна была бы оказывать большее противодействие, чем это имеет место тогда, когда пытаются образовать пустоту². Говорю это для того, чтобы какой-нибудь философ, видя, что нельзя избежать признания тяжести воздуха за причину противодействия, ощущаемого нами при образовании пустоты, не сказал бы, что

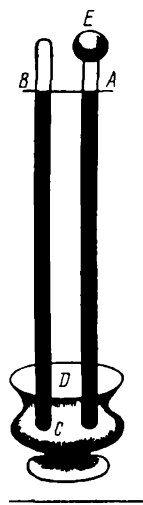


Рис. 23

хотя он готов допустить действие тяжести воздуха, но продолжает настаивать, что и Природа содействует в этом случае своим отвращением к пустоте.

Мы живем погруженные на дно океана воздушной стихии, о которой посредством неоспоримых опытов известно, что она имеет тяжесть, и притом такую, что наиболее густой воздух, по соседству с земной поверхностью, имеет вес, составляющий примерно $1/400$ веса воды. Авторы сочинений о «вечерних зорях» заметили³, что видимый воздух, наполненный парами, достигает высоты над нами примерно 50 или 54 миль. Тем не менее я не думаю, чтобы высота была столь большой, ибо я показал, что в таком случае пустота должна была бы оказывать гораздо большее противодействие, чем она это делает. Правда, остается выход: утверждать, что под весом, который указан Галилеем, следует понимать вес самого нижнего воздуха, в котором живут люди и животные, но что над вершинами высоких гор воздух начинает становиться совершенно чистым и имеющим гораздо меньший вес, чем $1/400$ веса воды.

Мы сделали много стеклянных сосудов, подобных тем, которые изображены здесь [рис. 23] и обозначены буквами *A* и *B*, — широкие, с шейкой длиной в два локтя. Когда они были наполнены ртутью, а затем отверстие закрыто пальцем и сосуды эти были погружены в чашку *C*, где находилась ртуть, можно было видеть, что они становились пустыми и ничего не поступало в опустошающийся сосуд. Однако шейка *AD* оставалась всегда наполненной до высоты $1\frac{1}{4}$ локтя и еще одного пальца. Дабы показать, что сосуд был совершенно пустым, нижняя чашка наполнялась водой до *D*, и если сосуд постепенно поднимали, можно было видеть, что, когда отверстие сосуда достигало воды, ртуть опускалась из шейки, а вода целиком наполняла сосуд со страшным напором (*con impeto horrible*) вплоть до знака *E*. Пока сосуд *AE* был пустым и ртуть, хотя и обладающая большой тяжестью, продолжала держаться в шейке *AC*, мы рассуждали так: до сих пор существовало мнение, будто сила, не позволяющая ртути, вопреки ее природному свойству, падать вниз, находится внутри сосуда *AE*, т. е. заключается либо в пустоте, либо в веществе предельно разреженном. Однако я утверждаю, что эта сила — внешняя — и что сила берется извне. На поверхность жидкости, находящейся в чашке, действуют своей тяжестью 50 миль воздуха. Что же удивительного, если ртуть, не имея ни стремления, ни отвращения находиться в стеклянном сосуде *CE*, проникает туда и поднимается настолько, чтобы уравновесить тяжесть наружного воздуха, который ее гонит.

Далее, вода в аналогичном, но гораздо более длинном сосуде будет подниматься почти до 18 локтей (т. е. до высоты, во столько раз большей, во сколько раз ртуть тяжелее воды).

Я подтвердил приведенное рассуждение, произведя одновременно эксперимент с сосудом *A* и трубкой *B*. Ртуть останавливалась в них на том же уровне *AB* — почти верный знак того, что сила не находилась внутри. Ведь сосуд *AE* обладал бы большей силой и разреженное и притягивающее вещество, в нем находящееся, должно было бы быть благодаря большему объему более действенным, нежели вещество в совсем маленьком пространстве *B*. <...>

Должен сказать еще, что главное мое намерение не могло осуществиться, а именно определить при помощи прибора *EC*, когда воздух бывает более густым и тяжелым и когда он более тонкий и легкий, ибо уровень *AB* меняется еще и от другой причины (чего я никак не думал), а именно — от теплоты и холода, и притом весьма ощутимо, совершенно так, как если бы сосуд *AE* был полон воздуха.

*Вашей преславной милости преданнейший
и премного обязанный слуга Э. Торричелли
Флоренция, 11 июня 1644 г.*

Комментарий

Перевод письма Э. Торричелли с итальянского выполнен В. П. Зубовым. Приводится только та его часть, в которой речь идет о барометрических опытах. Перевод печатается по публикации: Зубов В. П. Из переписки между Эванджелиста Торричелли с Микельанджело Риччи. Вопросы истории естествознания и техники. М., 1959. Вып. 8, С. 95—101.

¹ Письмо, на которое ссылается Торричелли, не сохранилось.

² Оценки Торричелли и других ученых основывались на данных о высоте атмосферы $H = 50$ миль (73 600 м) и измерениях Галилея, касающихся веса воздуха (1/400 веса воды). При оценках полагалось, что, говоря современным языком, плотность воздуха не меняется с высотой. Нетрудно показать, что рассчитываемое на основе этих предположений атмосферное давление должно составить 20 атм. О предложениях Торричелли относительно причин расхождения расчета и данных опыта см. ниже текст письма.

³ Здесь речь идет о ряде трактатов, в которых рассматривалось явление атмосферной рефракции.

Литература

- [1] Собрание сочинений Э. Торричелли: Torricelli E. Opera. Faenza. Vols. 1—3, 1919; vol. 4, 1944.
- [2] Кудрявцев П. С. Эванджелиста Торричелли. М., 1958.
- [3] Зубов В. П. Флорентийские опыты Торричелли — Вивьяни // Вестник истории мировой культуры, 1958, № 5, с. 54—66.

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3