



---

## Б. Паскаль

1623—1662

---

### О равновесии жидкостей

Значение многих событий в истории физики определяется не только содержанием конкретных опытов, теорий и т. п., с которыми они связаны, но и той ролью, которую эти события сыграли в развитии науки в целом. Часто тот или иной эксперимент или теоретическая работа занимают в истории физики гораздо более заметное место, чем полученные в них результаты — в системе современных физических знаний. Примером таких экспериментов являются опыты Торричелли. Они, в частности, стимулировали исследования французского ученого Б. Паскаля, установившего один из основных законов гидростатики.

**Б**лез Паскаль родился 13 июня 1623 г. в Клермон-Ферране в семье юриста, интересовавшегося естествознанием и математикой и давшего своим детям широкое и глубокое образование.

У Паскаля очень рано проявились математические способности. Уже в 16 лет он написал оригинальное сочинение о конических сечениях, содержавшее одну из основных теорем проективной геометрии. Наиболее интенсивные математические исследования Паскаля относятся к 1640—1650 гг. Около 1642 г. он разработал арифметическую машину для автоматизации вычислений, которую не удалось построить вследствие низкого уровня развития техники. В области теории чисел он установил общий признак делимости любого целого числа на любое целое число, а также изобрел арифметический треугольник («треугольник Паскаля», 1654), с помощью которого можно находить биномиальные коэффициенты.

Следует отметить, что многие математические сочинения Паскаля не были опубликованы при жизни ученого. О полученных в них результатах современники узнавали из писем Паскаля и его друзей.

История издания других работ дает представление о характере научных контактов середины XVII в. Так, например, в июне 1658 г. Паскаль опубликовал анонимное объявление (что нередко делалось в то время) о конкурсе на решение задач, связанных

с циклоидой. На конкурс были представлены две работы, но они не были удостоены премии. Ответом самого Паскаля стала публикация сочинения «История циклоиды», которое кроме исторических сведений содержало большой оригинальный материал. Особое значение имел предложенный ученым геометрический интегральный метод решения задач на вычисление площадей фигур, объемов и площадей поверхностей тел, нахождение их центров тяжести, длины кривых и т. д. Позднее выдающийся немецкий философ и математик Г. Лейбниц признавался, что исследования Паскаля, касающиеся циклоиды, были полезны ему при разработке интегрального и дифференциального исчисления.

В 1653 г. Паскаль познакомился с Шевалье де Мере, любителем азартных игр. Он ввел ученого в круг проблем, связанных с этими играми, из которых в конечном счете выросла целая область математики — теория вероятностей. Переписка Паскаля и Ферма на эту тему составила важную страницу истории математики.

К концу 1640 — началу 1650 гг. относится увлечение Паскаля проблемами гидро- и аэростатики. Однако его плодотворные исследования законов равновесия жидкостей были прерваны. С начала 50-х годов в связи с печальными событиями в личной жизни (смерть отца, ухудшение и без того слабого здоровья) ученый постепенно отходит от науки — его все больше волнуют религиозные и нравственные проблемы. В 1655 г. он переезжает из Парижа в Пор-Рояль, где становится членом религиозной общины янсенистов — последователей голландского теолога К. Янсения, противопоставлявшего формальную веру истинной христианской вере, которая основана на высоких этических принципах. В это время янсенисты подвергались гонениям, которые возглавляли иезуиты. Паскаль сыграл выдающуюся роль в борьбе янсенистов, опубликовав знаменитые «Письма к провинциалу» (1656—1657), в которых разоблачил казуистику и бесчестную мораль иезуитов. Последние годы жизни Паскаль провел в Пор-Рояле, где вел жизнь аскета, работая над сочинением религиозно-философского содержания. Закончить это сочинение он не успел. Сохранились лишь отдельные фрагменты, которые были изданы после смерти Паскаля под названием «Мысли». Благодаря «Мыслям» Паскаль вошел в историю французской литературы. Он оказал влияние на творчество таких писателей, как Ф. Ларошфуко, Ж. Лабрюйер, М. Лафайет. Паскаль умер 19 августа 1662 г.

Исследования Паскаля по гидростатике начались сразу же после того, как он узнал об опытах Торричелли. Сначала он повторял эти опыты, используя вместо ртути воду и вино, а также менял форму трубок (в это время Паскаль жил в Руане, славившемся своими стеклодувами). Свои эксперименты Паскаль описал в небольшом сочинении «Новые опыты, касающиеся пустоты» (1647). В нем, однако, Паскаль еще не дал объяснения полученным результатам на основе идеи о существовании атмос-

ферного давления, поскольку считал эту идею недостаточно обоснованной. По инициативе Паскаля его зять провел в сентябре 1648 г. опыт на горе Пюи-де-Дом, в ходе которого было обнаружено уменьшение атмосферного давления с ростом высоты места, где оно измеряется. Это послужило решающим доводом в пользу объяснения Торричелли.

Однако на этом исследования Паскаля не закончились. Он начал работать над большим «Трактатом о равновесии жидкостей...», который был закончен в начале 1654 г., но увидел свет лишь после смерти Паскаля, в 1663 г. Это сочинение явилось дальнейшим развитием работ С. Стевина, Г. Галилея, Э. Торричелли. В нем Паскаль отчетливо высказал мысль о давлении, существующем внутри жидкостей, и на этой основе сформулировал закон, названный его именем.

## Трактат о равновесии жидкостей

Глава II

**Почему жидкости имеют вес, соответствующий  
высоте их стояния**

Из всех этих примеров видно, что тонкий столбик воды удерживает в равновесии большой груз. Остается показать, какова причина этого увеличения силы. Мы сделаем это на следующем опыте.

*Новый вид машины для увеличения сил.*

Если сосуд, наполненный водой и закрытый со всех сторон, имеет два отверстия, одно во сто раз больше другого, которые прикрыты точно пригнанными к ним поршнями, то один человек, надавливающий на малый поршень, уравнивает силу ста человек, надавливающих на поршень, в сто раз больший, и преодолевает силу девяносто девяти человек [рис. 24, а].

И каково бы ни было отношение этих отверстий, всегда, когда силы, приложенные к поршням, относятся друг к другу, как отверстия, силы эти будут в равновесии. Отсюда следует, что сосуд, наполненный водой, является новым принципом механики и новой машиной для увеличения сил в желаемой степени, потому что при помощи этого средства человек может поднять любую предложенную ему тяжесть.

Надо признать, что в этой новой машине проявляется тот же постоянный закон, который наблюдается и во всех прежних, как-то: рычаге, блоке, бесконечном винте и т. д., — и который заключается в том, что путь увеличивается в той же пропорции, что и сила. Ибо очевидно, что если одно из этих отверстий в сто раз больше другого, то человек, который давит на малый поршень и опускает его на дюйм, вытолкнет другой поршень лишь на одну сотую часть дюйма. В самом деле, этот толчок происходит вследствие непрерывности воды, соединяющей один поршень с другим и обуславливающей то, что один поршень не мо-

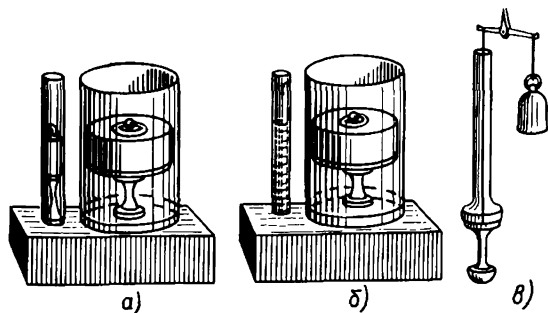


Рис. 24

жет двигаться, не толкая другого. Поэтому, когда малый поршень продвинется на один дюйм, вода, которую он вытеснил, встретит, толкая другой поршень, отверстие, во сто раз большее, и займет по высоте лишь сотую часть дюйма. Таким образом, путь относится к пути, как сила к силе. Это можно даже принять за истинную причину указанного явления, так как ясно, что совершенно безразлично, заставить ли сто фунтов воды пройти путь в один дюйм или один фунт воды — путь в сто дюймов. Если фунт воды так связан со ста фунтами ее, что сто фунтов не могут сдвинуться на один дюйм без того, чтобы не передвинуть один фунт на сто дюймов, то сто фунтов и один фунт воды необходимо должны находиться в равновесии, ибо один фунт имеет столько же силы, чтобы заставить сто фунтов сделать путь в один дюйм, сколько сто фунтов для того, чтобы заставить один фунт сделать путь в сто дюймов.

Для еще большего пояснения можно добавить, что вода под этими двумя поршнями сжата одинаково, потому что если один поршень несет груз, в сто раз больший, чем другой, то зато он касается и в сто раз большего числа частиц воды, так что каждый поршень давит одинаково. Следовательно, все частицы должны быть в покое, ибо нет никакого основания, почему бы одна должна была уступать другой. Таким образом, если сосуд, наполненный водой, имеет только одно отверстие размером, например, в один дюйм, в которое вставлен поршень, нагруженный весом в один фунт, то вес тот вследствие непрерывности и жидкого состояния воды оказывает давление вообще на все части сосуда. Чтобы определить, какое давление испытывает каждая часть, — вот правило: каждая часть размером, как и отверстие, в один дюйм подвергается такому же давлению, как если бы на нее действовал груз в один фунт (не считая веса воды, о котором я здесь не говорю, так как я имею в виду только груз на поршне), потому что именно этот вес в один фунт давит на поршень, находящийся в отверстии. Каждая часть сосуда, большая или меньшая по размеру, испытывает большее или меньшее давление, соответствующее в точности величине части сосуда, незави-

симо от того, находится ли она против отверстия, сбоку, далеко или близко, потому что непрерывность и жидкое состояние воды уравнивают и делают безразличными эти обстоятельства. Таким образом, нужно, чтобы материал, из которого сделан сосуд, имел во всех своих частях достаточное сопротивление, чтобы выдержать все эти условия. Если сопротивление какой-нибудь части будет меньше, то она лопнет; если больше, то она окажет нужное противодействие; однако излишек прочности в данном случае будет бесполезным. Точно так же, если сделать новое отверстие в этом сосуде, то, чтобы остановить воду, которая из него польется, необходима сила, равная тому сопротивлению, которое эта часть должна оказывать, т. е. сила в один фунт, если это отверстие таково же по величине, как и первое.

Вот еще одно доказательство, которое будет понятно только одним геометрам и может быть опущено другими.

Я принимаю за принцип, что никогда тело не движется под действием своего веса без того, чтобы центр тяжести его не понижался. Отсюда я вывожу, что два поршня, изображенные на рис. 24, а, находятся в равновесии.

Действительно, их общий центр тяжести лежит в точке, которая делит линию, соединяющую их частные центры тяжести, в отношении их весов. Пусть теперь эти поршни, если только это возможно, сдвинутся. При этом их пути будут относиться между собою, как мы уже показали, обратно их весам. Но если отыскать их общий центр тяжести для этого второго положения, то он окажется в том же точно месте, как и в первом случае, потому что он всегда лежит в точке, которая делит линию, соединяющую их частные центры тяжести, в отношении их весов. Таким образом, вследствие параллельности направлений их путей он всегда будет находиться на пересечении двух линий, соединяющих центры тяжести их в двух положениях. Значит, общий центр тяжести будет находиться в той же точке, как и прежде, и потому два этих поршня, рассматриваемые как одно тело, должны бы были сдвинуться без понижения их общего центра тяжести. Это, однако, противоречит принципу, и потому они сдвинуться не могут, а должны оставаться в покое, т. е. в равновесии, что и требовалось доказать.

Этим методом я доказал в небольшом Трактате по механике причину всех увеличений сил, которые имеют место во всяких других механических приборах, изобретенных до сего времени. Ибо я обнаруживаю повсюду, что неравные грузы, находящиеся в равновесии и обуславливающие выгодность применения машин, располагаются благодаря самому устройству этих последних таким образом, что общий центр тяжести грузов не может никогда понизиться, какое бы положение они ни занимали. Отсюда следует, что они должны оставаться в покое, т. е. в равновесии.

Итак, примем за несомненную истину, что если в сосуде, наполненном водой, имеются отверстия, к которым приложены силы, пропорциональные их площадям, то силы эти находятся в

равновесии. В этом состоит основание и смысл равновесия жидкостей, несколько примеров которого мы сейчас приведем.

*Этот новый механический прибор позволяет понять, почему жидкости имеют вес, соответствующий высоте их стояния.*

Этот механический прибор для увеличения сил, если хорошо понять его сущность, выявляет причину, по которой жидкости имеют вес, соответствующий высоте их стояния, а не ширине сосудов, во всех случаях, о которых мы говорили выше.

Так, на рис. 24, б видно, что вода в маленькой трубке уравнивает поршень, нагруженный ста фунтами. Действительно, нижний сосуд является сам по себе сосудом, наполненным водой и имеющим два отверстия. К одному из них примыкает большой поршень, а к другому — вода в трубке, являющаяся, в сущности, таким же поршнем и имеющая собственный вес, который и должен уравнивать вес другого поршня, если их веса относятся между собой, как площади соответствующих отверстий.

Так же и на рис. 24, в вода в тонкой трубке находится в равновесии с грузом в сто фунтов, потому что нижний сосуд, широкий, но небольшой по высоте, является сосудом, закрытым со всех сторон, наполненным водой и имеющим два отверстия — одно внизу, широкое, где находится поршень, и другое наверху, узкое, где помещена маленькая трубка. Вода в такой трубке является, вообще говоря, поршнем, имеющим собственный вес и уравнивающим другой вследствие пропорциональности весов и площадей отверстий, а также того обстоятельства, что, как уже указывалось выше, совершенно безразлично, расположены ли эти отверстия друг против друга или нет.

Отсюда видно, что вода в этих трубках играет ту же роль, как и медные поршни того же веса, ибо медный поршень, весящий одну унцию, будет точно так же находиться в равновесии с грузом в сто фунтов, как и маленький столбик воды, весящий одну унцию.

Таким образом, причина того явления, что небольшой груз уравнивает груз более тяжелый, которое наблюдается во всех этих примерах, лежит не в том, что тела, которые весят так мало и которые уравнивают гораздо более тяжелые, сами состоят из жидкого вещества.

Действительно, это не было непременно условием во всех опытах, потому что и там, где маленькие медные поршни уравнивали более тяжелые, оказывалось то же самое. Причина состоит в том, что вещество, которое содержится в сосудах и заполняет их от одного отверстия до другого, — жидкое, ибо именно это обстоятельство является общим для всех примеров. Это и есть истинная причина такого увеличения силы.

Точно так же если в примере на рис. 24, в вода, находящаяся в маленькой трубке, замерзнет, а вода, находящаяся в широком нижнем сосуде, остается жидкой, то понадобятся сто фунтов, чтобы удержать вес этого льда. Если же замерзнет вода, на-

ходящаяся в нижнем сосуде, то независимо от того, замерзнет ли вода в другом сосуде или останется жидкой, понадобится только одна унция, чтобы уравновесить ее.

Отсюда, кажется, становится вполне ясным, что жидкое состояние тела, простирающегося от одного отверстия до другого, является причиной увеличения сил. Это и есть основание тому, что, как мы уже говорили, сосуд, наполненный водой, представляет собой механический прибор для увеличения сил. (...)

---

#### Комментарий

Перевод с французского отрывков из трактатов Б. Паскаля выполнен А. Н. Долговым. Отрывки воспроизводятся по изданию: Начала гидростатики. М. — Л., 1933. Полное название сочинения Паскаля: «Трактат о равновесии жидкостей и весе массы воздуха, содержащие объяснение причин различных явлений природы, которые до сих пор не были достаточно известны, и в частности тех, которые приписывают боязни пустоты» (Traitez de l'equilibre des liquers et de la pesanteur de la masse de l'air. Contenant l'explication des causes de divers effects de la nature qui n'avoient point esté bien connus jusques — icy, & particulièrement de ceux que l'on avoit attribuez à l'horreur du Vuide).

---

#### Литература

- [1] Полное собрание сочинений Паскаля: Oeuvres de Blaise Pascal publiées selon l'ordre chronologique. T. 1—14. Paris, 1904—1914.
- [2] L'oeuvre scientifique de Pascal. Paris, 1964.
- [3] Кляус Е. М., Погребыцкий И. Б., Франкфурт У. И. Паскаль. М., 1971.
- [4] Тарасов Б. Паскаль. М., 1979.