

# 400 лет со дня рождения Отто фон Герике

В. П. БОРИСОВ

## ИЗОБРЕТЕНИЕ ВАКУУМНОГО НАСОСА И КРУШЕНИЕ ДОГМЫ «БОЯЗНИ ПУСТОТЫ»

### Понятие пустого пространства в Античную эпоху

Представление о пустоте, или вакууме, как основополагающем элементе натурфилософской системы идет от Левкиппа (около 500 г. до н. э.) и Демокрита (около 460–370 г. до н. э.).

Согласно их концепциям Вселенная состоит из пустого пространства и бесконечно-го множества неделимых мельчайших частиц — атомов.

Начала — атомы и пустота, все же остальное существует лишь в мнении ... [1, с. 61].

Атомы, по Демокриту, качественно однородные и неизменяемые частицы, различающиеся по форме и размерам. Они «носятся в бесконечном пустом пространстве, в котором вовсе нет ни верха, ни низа, ни середины, ни конца, ни края» (цит. по [2, с. 26]). Соединения атомов приводят к образованию всего, что есть в сущем мире.

В философской поэме Лукреция (около 99–55 г. до н. э.) «О природе вещей», излагающей основные положения учения Эпикура (341–270 г. до н. э.), движение атомов в пустоте сравнивается с «метанием» пылинок, видимых в лучах солнечного света.

Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает  
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,  
Множества маленьких тел в пустоте, ты увидишь, мелькая,  
Мечутся взад и вперед в лучистом сиянии света;  
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и битвах,  
В схватки бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя,  
Или сходясь, или врозь непрерывно опять разлетаясь.  
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно  
Первоначала вещей в пустоте необъятной мнутся.  
Так о великих вещах помогают составить понятие  
Малые вещи, пути намечая для их постиженья [3, с. 24].

С. И. Вавилов, хорошо знавший поэму Лукреция, назвал вышеприведенные строки вполне правильным эскизом теории броуновского движения.

В натурфилософских построениях Эпикура пустоте отводится важное место. У Лукреция об этом говорится так:

Если ж пространства иль места, что мы пустотой называем,  
Не было б вовсе, тела не могли бы нигде находиться  
И не могли б никуда и двигаться также различно [3, с. 15].

Умозрительный характер рассуждений не мешал древним атомистам приходиться иногда к точным физическим выводам. У Лукреция можно найти, например, утверждение, что разница в тяжести при свободном падении тел имеет значение лишь в материальной среде. В пустоте же все тела должны падать с одинаковой скоростью.

...никакую нигде не способна  
Вещь задержать пустота и явиться какой-то опорой,  
В силу природы своей постоянно всему уступая.  
Должно поэтому всё, проносясь в пустоте без препятствий,  
Равную скорость иметь, несмотря на различие в весе [3, с. 27].

Вместе с тем пустота у натурфилософов являлась предметом мысли, а не ощущения. Приняв гипотезу существования неизменных, неделимых и непроницаемых атомов, сторонники Левкиппа и Демокрита должны были допустить существование пустоты. Иначе трудно было объяснить возможность движения тел в сплошь заполненном пространстве, явления разрежения и уплотнения и т.п. Наличием пустых промежутков можно было трактовать и распространение различных излучений («истечений») — тепловых, световых, магнитных и т.п.

Другая философская концепция — отрицания существования пустоты — обычно ассоциируется с именем Аристотеля (384–322 гг. до н. э.). Однако представления, связанные со сплошной материей и невозможностью появления пустоты, можно встретить и у философов более ранней ионийской школы. Согласно Эмпедоклу (ок. 490–430 гг. до н. э.), «корни» всего сущего не допускают пустого пространства:

Нет во Вселенной нигде ни излишка, ни места пустого.

Или:

Нет во Вселенной нигде пустоты: и откуда ей взяться (цит. по [2, с. 12]).

Вакуум противоречил физической картине мира, разработанной Аристотелем. Пространство определялось великим мыслителем как граница окружающего тела относительно окружаемого, поэтому «пустое пространство было бы абсурдом, так как здесь “окружающее” ничего не окружает» [4, с. 300]. Кроме того, одним из основных элементов аристотелевской физики служили качества предметов, воспринимаемые нами через ощущения, — белое, черное, холодное и т.п. Пустота по существу не являлась носителем чувственно воспринимаемых качеств и не могла быть объектом физической реальности.

Одним из главных доводов атомистов в пользу существования пустоты было то, что без пустоты невозможно движение. Выпущенная из лука стрела летит вперед: следовательно, впереди стрелы существует пустота. Аристотель, однако, нашел контраргументы, укладывающиеся в рамки его континуальной концепции. Воздух расходится перед стрелой и сходит за ней, поэтому вакуум для движения не требуется. Чтобы доказать, что любые перемещения тел возможны без существования пустоты, Аристотель использовал понятие «антиперистасиса», обстоятельно изложенное в платоновском «Тимее». «Антиперистасис» — своего рода круговорот взаимосвязанных перемещений объектов, при котором тела как бы вытесняют друг друга, оказываясь на освобожденном месте. Общее пространство, занимаемое движущимися объектами, не меняется, так как обусловлено тем, что природа не допускает вакуума.

В диалоге «Тимей» возможность такого движения демонстрируется на примере человеческого дыхания:

Так как нет пустоты, в которую могло бы проникать что-либо движущееся, а дыхание движется у нас наружу, то ясно всякому, что оно выходит не в пустоту, а оттесняет с места то, что находится рядом; оттесняемое же гонит в свою очередь соседнее, и в силу такой необходимости всё увлекается вихреобразно в то самое место, откуда дыхание вышло, проникает туда и наполняет это место и опять следует за дыханием. И происходит это наподобие вращаемого колеса, оттого что нигде нет пустоты (цит. по [2, с. 43–44]).

Фактами, требовавшими дополнительной трактовки со стороны приверженцев континуальной концепции, были сжатие и расширение тел. Атомисты объясняли эти свойства наличием пустых промежутков между частицами. Аристотель отвергал такое объяснение, постулируя способность одного и того же количества материи занимать разный объем.

Философский спор, порожденный учениями Демокрита и Аристотеля, продолжался в течение двух тысячелетий. В умозрительных рассуждениях философов вакуум выступал как «абсолютная пустота». Открытие воздуха и изучение его свойств имели место позднее — с приходом новой физики. Тем не менее уже в античные времена, особенно в эллинский период, создавались различные технические устройства, работавшие при использовании разреженного воздуха.

Так, водяные насосы, действие которых основано на создании разрежения под поршнем, были известны уже во времена Аристотеля [5, с. 39]. До нас дошел рисунок пожарного насоса, изобретенного александрийским ученым Ктесибием (около 150 г. до н. э.). Водяной насос был по существу прообразом вакуумного поршневого насоса, появившегося спустя почти два тысячелетия.

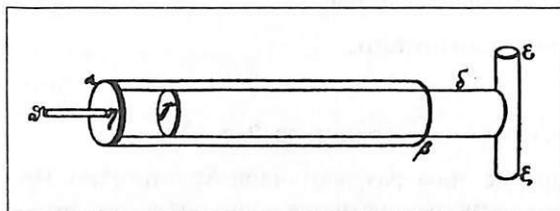


Рис. 1. Шприц Герона  
(I в. до н. э.)

Современник и ученик Ктесибия Герон Александрийский описал в трактате о пневматике разнообразные устройства, для успешной работы которых необходимо было достаточно высокое качество изготовления [6, с. 255]. Например, инструмент — «шприц для вытягивания гноя» (рис. 1) применялся в медицинских целях и представлял собой вакуумное устройство. Его действие было основано на создании разрежения воздуха под поршнем, что, в свою очередь, требовало при изготовлении тщательной подгонки поршня и цилиндра.

Одна из глав трактата Герона посвящена «теории вакуума». Поддерживая атомистическую теорию, Герон полагал, что пустота существует в промежутках между атомами, «подобно тому, как воздух находится между частицами песка на морском берегу» [6, с. 5]. Благодаря мелким пустотам сквозь воздух, воду и другие предметы проникают свет, тепло и другие «телесные силы». При смешивании вина и воды можно наблюдать, как частицы одной жидкости проникают в пустоты, имеющиеся в другой. В то же время накопление больших количеств пустоты Герон считал невозможным. В подтверждение он приводил пример с узкогорлым сосудом, при переворачивании которого вода не выливается. Объяснение данному факту Герон, подобно перипатетикам, видел в том, что «природа не терпит пустоты».

Идея существования пустоты двух видов встречается в трудах ученых на протяжении многих веков. Еще Стратон (ок. 270 г. до н. э.) подчеркивал различие пустоты «сплошной» и «рассеянной». Эти два вида пустоты стали называть *vacuum coacervatum* и *vacuum disseminatum*.

Описание разнообразных технических устройств, приведенное в трактате Герона, приводит к мысли, что уже эллинская техника располагала средствами, достаточными для создания воздушного насоса. И, казалось бы, шаг от водяного к вакуумному насосу, осуществленный Герике в XVII в., мог быть сделан значительно раньше. Тем не менее, чтобы прийти к осознанию возможности этого шага, потребовались почти два тысячелетия.

## Представления о вакууме в Средние века

В средневековый период вопрос о возможности существования пустоты оказывается в сфере догматически концептуальных обоснований христианской культуры. На смену умозрительным рассуждениям античных философов приходят доводы религиозно-мистического характера. Уже в период раннего христианства особая роль отводится окружающему воздуху, его значению для всего живого.

Жить значит дышать, — писал Тертуллиан (ок. 160–после 220), — и дышать значит жить (цит. по [7, с. 62]).

Дальнейшее развитие эта идея находит в трудах Августина (354–430):

Жизнь зверей есть жизненный дух, состоящий из воздуха и крови, животный, невидимый, но подлежащий чувству, имеющий память, но лишенный понимания, умирающий вместе с телом, рассеивающийся в воздух (цит. по [7, с. 63]).

Незримая и неосязаемая «сфера паров» представлялась как бы переходом от материального к невещественному, сверхчувственному. На многие века понятие духовного оказалось связанным с воздушным, а воздушного — с духовным.

В связи с этим понятие пустоты плохо укладывалось в картину мира. Сама мысль, что может существовать «пространство, которое не есть ни бог, ни творение, ни тело, ни дух, ни субстанция ни акциденция» (Ноэль; цит. по [7, с. 104]), уже казалась еретической.

Считая Демокрита и Лукреция своего рода идеологическими противниками, средневековые мыслители тем не менее обращались к образу мельчайших частиц, движущихся в пустоте. Так, Исидор Севильский (ок. 570–636) в своих «Началах» рассматривает основные положения античного учения об атомах:

Они, как говорят, порхают по пустоте мира в не знающих покоя движениях и носят туда и сюда, подобно тем тончайшим пылинкам, которые видны в лучах солнца, льющихся через окна. Из них, как полагали некоторые языческие философы, возникают деревья и травы, и всё сущее (цит. по [2, с. 65]).

Идеи античной атомистики можно встретить и у представителя шартрской школы Гильома Коншского (ок. 1080–1154). Однако в основе его комментариев к учению об атомах и пустоте лежала мистика платоновско-августиновской религиозности:

Нет столь ложной школы, которая не имела бы некоторой примеси истины, хотя эта истина и затемняется примесью чего-нибудь ложного. И в самом деле, говоря, что мир состоит из атомов, эпикурейцы говорили правду, однако их слова, что эти атомы безначальны и что, разделенные, они порхали по великой пустоте, и что затем они объединились в четыре великих тела, — басня, ибо ничто, кроме бога, не может быть безначальным и не имеющим своего места (цит. по [2, с. 69]).

Подвергнув атомистику Демокрита критическому анализу, Гильом создает собственную корпускулярную теорию. Частицы материи в его рассуждениях сохраняют свойство неделимости, но при этом приобретают качества теплоты, холода, сухости, влажности. Возможность существования пустого пространства Гильом полностью отрицал.

В XII в. по мере перевода с арабского и греческого языков на латинский сочинений Аристотеля, Евклида, Птолемея и других античных ученых в Европе возрос интерес к греко-римскому наследию. Философ и теолог Фома Аквинский (ок. 1225–1274) использовал переводы Аристотеля для приближения его учения к христианскому откровению и систематизации схоластики. Как отмечал Дж. Бернал, у средневековых мыслителей,

ярким представителем которых являлся Фома Аквинский, «вера всегда выше разума в том смысле, что есть вещи, которые один только разум никогда не мог бы постигнуть; но равным образом откровение и разум никогда не могут быть в конфликте. Поскольку ответы известны заранее, споры святых часто имеют вид специальной аргументации. Тем не менее они никогда не подвергались улучшениям и по сей день составляют основу католического учения» [8, с. 178].

В духе вышесказанного и средневековый Парижский университет подошел к христианизации положения «Природа не терпит пустоты». В 1277 г. богословы Сорбонны, возглавляемые епископом Парижа Э. Тампье, пришли к заключению, что отрицание всякой возможности существования вакуума «ограничило бы всемогущество Божие» [9, с. 100]. Специальным постановлением пустота была отнесена к категории *causae divini* — явлений, не существующих в природе, но возможных для Бога.

По статусу Парижского университета студенты давали клятву строго следовать догмам в вопросах, затрагивающих откровения. С таких позиций следовало подходить и к вопросу о возможности существования вакуума. Свидетельство этому можно встретить в романе Сирано де Бержерака «Иной свет, или Государства и империи Луны». Герой романа говорит: «На родине меня хотели посадить в тюрьму инквизиции за то, что я утверждал в лицо педантам, что существует пустота...» [10, с. 189].

Схоластика в вопросах о возможности существования пустоты господствовала до конца эпохи Возрождения. «Всякое пустое пространство Бог наполняет своей сущностью, устраняя всякое ничто», — так высказывался ученый-теолог А. Кирхер, современник Торричелли и Герике [11, с. 63].

### Первый физический опыт в вакууме и крушение догмы «боязни пустоты»

Развитие техники в средние века зачастую было связано с необходимостью учета свойств, проявляемых воздухом при разрежении. Был известен, в частности, факт, что с помощью насоса всасывающего типа нельзя поднять воду на высоту более 10 м. Поэтому, чтобы откачать воду из глубоких колодцев и шахт, устраивалась система более коротких труб, в каждой из которых двигался поршень. Изображение такой системы водяных насосов можно найти в труде немецкого ученого Г. Агриколы «О горном деле» [12, с. 158].

Полученные эмпирическим путем знания нуждались в научном объяснении. Если вода поднимается за поршнем из-за «боязни пустоты», то почему эта боязнь прекращается на определенной высоте? Галилей в своих «Беседах», вышедших в 1638 г., отмечал, ссылаясь на опыт флорентийских водопроводчиков: высота эта всегда одна и та же — примерно 18 локтей.

Размышляя над данным фактом, Галилей приходит к выводу, что сила «боязни пустоты» ограничена. Можно даже вычислить величину этой силы, если «определить вес воды, заключающейся в восемнадцати локтях трубы насоса, какого бы диаметра последняя ни была» [13, с. 129].

Подсчитаем, согласно Галилею, «силу боязни пустоты»:

$$F = 1\text{г/см}^3 \cdot 58,4\text{см} \cdot 18 = 1051\text{г/см}^2 = 1,051\text{кг/см}^2$$

Полученная таким образом «сила боязни пустоты» — это не что иное, как величина атмосферного давления ( $\approx 1,033\text{ кг/см}^2$ ).

Рассуждения Галилея об ограниченности «силы боязни пустоты» привлекли внимание многих ученых. Под влиянием возникшей дискуссии итальянец Гаспаро Берти в период 1639–1643 гг. оборудовал на фасаде своего дома в Риме сооружение, которое можно считать первой установкой для проведения физического опыта в вакууме [14, с. 200].

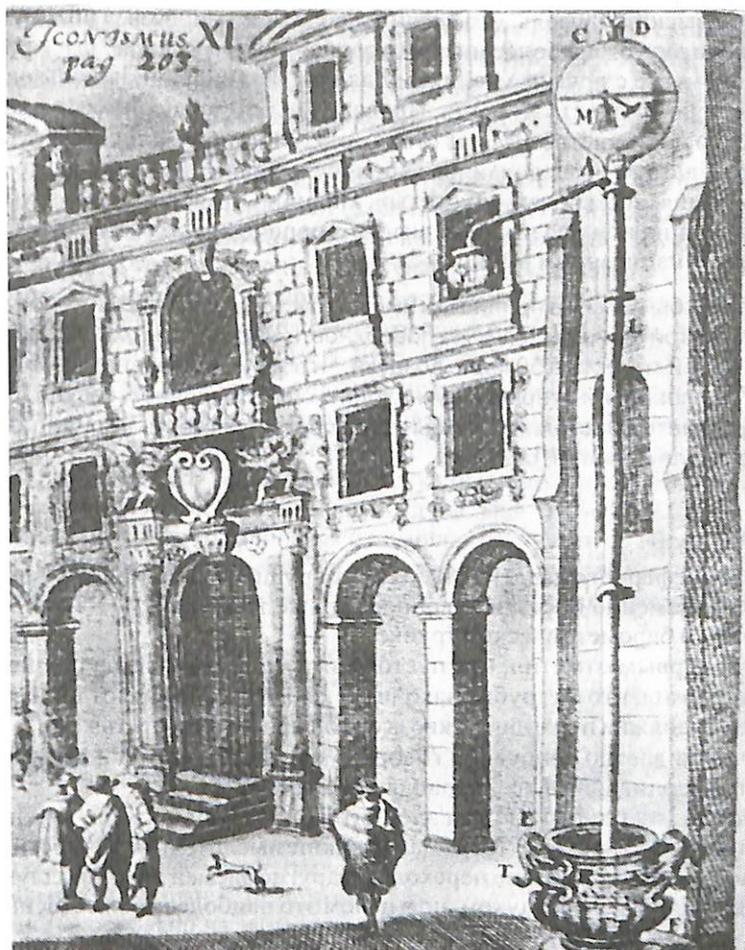


Рис. 2. Первый физический опыт в вакууме Берти (ок. 1640 г.)

Эта установка представляла собой вертикальную трубу, герметично соединявшуюся в верхней части со стеклянным сосудом *C* (рис. 2), которая заполнялась сверху водой (нижний кран *R* при этом закрыт). Затем верхние краны *Y* и *D* закрывались, а нижний *R* открывался. Водяной столб опускался до некоторого уровня *L*, превышавшего уровень воды в бочке *T* примерно на 10 м. В сосуде *C* образовывался вакуум, — что и использовал итальянский ученый Эмануэль Маньяно для проведения своего эксперимента.

Внутри сосуда он закрепил колокольчик *M* и молоток *N*. При поднесении снаружи магнита молоток ударял по колокольчику, слышался приглушенный звук. Значительного ослабления, а тем более исчезновения звука ожидать было трудно. «Бертиева» пустота, если учесть упругость паров воды, была на несколько порядков грубее торричеллиевой. Вакуум в установке Берти в лучшем случае не превышал нескольких десятков мм рт. ст. Однако установка Берти продемонстрировала способ удаления воздуха с помощью жидкостного поршня.

По существу установка Берти была не чем иным, как водяной барометрической трубкой, или, скорее, трубой. Ученый из Рима Рафаэло Маджотти, хорошо знавший

Берти, позже утверждал, что именно он сообщил об опытах Берти Торричелли. При этом Маджотти высказал мысль, что «если бы вода была морская, а потому более тяжелая, она остановилась бы на более низком уровне» [15, с. 181].

Торричелли вместе с другим учеником Галилея, В. Вивиани, использовал в опытах еще более плотную жидкость — ртуть. Проведение этих экспериментов наглядно свидетельствовало о постоянстве высоты столба ртути в торричеллиевых трубках.

Обобщая результаты исследований, Торричелли решительно порвал со схоластическими рассуждениями о «боязни пустоты». Наличие столба ртути в трубке является следствием давления атмосферы. Эти мысли Торричелли со всей ясностью изложил в письме к Риччи, написанном в 1644 г.:

...тщетна была бы попытка приписать именно пустоте действие, которое явно простекает от другой причины. <...> 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, проникает туда и поднимается настолько, чтобы уравновесить тяжесть наружного воздуха, который ее выталкивает [9, с. 97].

### Вакуум и эфир

Открытие атмосферного давления нанесло сокрушительный удар догме «боязни пустоты», но одновременно поставило вопрос: что же такое вакуум, образующийся над столбиком ртути в барометрической трубке.

Торричелли первым отметил, что пустота в трубке не является препятствием для света, и предположил, что «в трубке находится какая-то материя, отличная от воздуха, и что эта материя должна проходить сквозь стекло или сквозь ртуть» [16, с. 21]. Наблюдение Торричелли давало основания говорить о существовании в вакуумированном объеме некой материи, или эфира, проводящем свет.

Понятие эфира как одного из пяти элементов, образующих мир, можно встретить еще у Аристотеля. Эфир вечен, утверждал великий мыслитель античности, он не обладает тяжестью или легкостью и не переходит в другие элементы. В «подлунной» сфере эфир соседствует с огнем и воздухом, но в целом это наиболее «божественный» из всех пяти элементов [17, с. 111].

В науке XVII в. понятие эфира получает новое содержание. Р. Декарт проявил большой интерес к торричеллиевой пустоте, продолжая при этом утверждать, что пустоты как таковой в природе не существует. Протяженность, по Декарту, является свойством материи, поэтому везде, где есть протяженность, или пространство, обязательно присутствует материя. Сама материя состоит из частиц «разной тонкости» — земли, воздуха (неба) и огня. Поскольку абсолютная пустота невозможна, то всякое движение частиц приводит на их место другие. Вся материя находится в непрерывном движении, при этом образуется великое множество вихрей с разнообразными свойствами. Все физические объекты — не что иное, как результат вихревых движений в несжимаемом и нерасширяющемся эфире.

Теория эфира Декарта носила в большей степени философский, нежели физический, характер. Многие ее положения уже в скором времени были опровергнуты другими учеными. Новую науку интересовал «другой» эфир, в другом качестве — как среда для распространения света и звука, притяжения небесных тел и т. д. Тем не менее целостная и изящная теория Декарта оказала большое влияние на развитие науки. Некоторые авторы, говоря о современной физике вакуума, находят аналогии между картезианскими вихрями и колебаниями поля в понятиях квантовой механики [18, с. 27–28].

Р. Бойль — автор закона, связывающего объем и давление газа, — при обсуждении вопроса о воздушной субстанции избегал категоричности. Объясняя свойство упругости воздуха, Бойль давал читателю выбор между собственной гипотезой, представлявшей частицы воздуха наподобие гибких волосков или пружинок, и декартовской теорией, предполагавшей, что в основе перемещения частиц лежат движения «тонкой материи», или эфира [19, т. I, с. 11–12].

Вместе с тем Бойль подвергал резкой критике представления о субстанциональных формах, сохранившиеся с времен поздней схоластики: «Всё, что мы не можем объяснить без них, мы не можем разумно объяснить и при помощи них». Возможность существования нематериального эфира ученый допускал лишь в отношении одушевленных существ: «Я не знаю ни одной вещи в природе, которая состояла бы из субстанции, отличной от материи, за исключением человека, который один лишь создан из нематериальной формы и человеческого тела» [19, т. III, с. 47–48].

Получив возможность проводить опыты с использованием вакуумного насоса, Бойль делает попытку обнаружить признаки существования «тонкой материи» экспериментальным путем. Установка, с помощью которой Бойль надеялся осуществить свой план, показана на рис. 3. В герметичный сосуд были помещены небольшие мехи, имевшие в верхней части трубку для выхода воздуха. Над трубкой было установлено легкое перо. Сосуд тщательно откачивался с помощью вакуумного насоса. Затем, при повороте наружной рукоятки, происходило сжатие мехов под действием груза. Факт, что перо при этом не отклонялось, Бойль считал доводом против декартовской теории эфира [20].

Сложное, во многом противоречивое, отношение к эфиру было у Ньютона. Известный своим недоверием к «физике гипотез», Ньютон высказывался по поводу эфира весьма осторожно. Тем не менее к этой проблеме он возвращался на протяжении десятков лет.

В 1670 г., будучи еще молодым ученым, Ньютон написал обстоятельные комментарии к декартовской физике. Отрицание Декартом пустого пространства основано на заблуждении, считал Ньютон. У человека действительно нет никаких ясных и отчетливых идей о «ничто», потому что последнее не имеет свойств. Но пустое пространство, вакуум, не есть «ничто». Это — место действий Бога. Пространство и дух тесно связаны. «Ничто не может существовать, не имея отношения к пространству. Бог находится повсюду, а сотворенные создания — где-то» [21, с. 136].

Спустя пять лет Ньютон дает трактовку эфира как некоей непрерывной, или квазинепрерывной, среды, схожей по строению с воздухом [22, с. 391]. В 1679 г. в письме к Бойлю Ньютон усложняет эту модель, вводя понятие разнообразных степеней «тонкости» эфира.

Важным аспектом проблемы эфира для Ньютона был вопрос о природе тяготения.

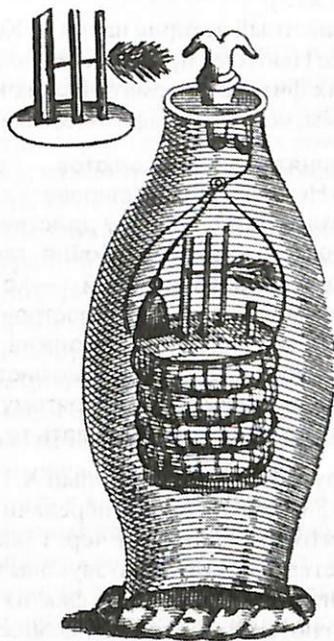


Рис. 3. Опыт Бойля по обнаружению эфира (1660-е гг.)

Высказывая в разные периоды свои взгляды по этой проблеме, Ньютон отрицал свою причастность к идее дальнего действия, согласно которой одно тело может притягивать другое через пустоту без всякого соприкосновения с ним. Тяготение вызывается внешним агентом, «постоянно действующим по определенным законам». При этом Ньютон подчеркивал, что он не приписывает термину «тяготение» никакого буквального смысла, не знает, является этот агент материальным или нематериальным, и не говорит о притяжении как о природном свойстве тел [23, с. 302].

Позже, в 1713 г., Ньютон делает предположение, что этим «агентом» может быть тончайший эфир, о свойствах которого в заключительной части «Математических начал натуральной философии» он говорит следующее:

Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем во все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, назлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувствование, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам. Но это не может быть изложено вкратце, к тому же нет и достаточного запаса опытов, коими действия этого эфира были бы точно определены и показаны (цит. по [24, с. 252–253]).

Наконец в 1717 г. Ньютон вполне определенно говорит о корпускулярном строении эфира. Частицы эфира «крайне малы сравнительно с частицами воздуха и даже света» [25, с. 273].

Известный историк науки А. Койре, в течение многих лет исследовавший научное наследие Ньютона, пришел к заключению, что в основе понятия эфира, так же как и многих других физико-математических концепций, сформулированных великим английским ученым, лежала метафизическая гипотеза — вера в духовное, нематериальное начало.

Принятие двух абсолютов — пространства и времени, — пишет Койре, — позволило Ньютону сформулировать три основных закона движения, так же как его вера в вездесущего и всюду действующего бога позволила ему выйти за пределы, как плоского эмпиризма Бойля, так и узкого рационализма Декарта, отказаться от механических объяснений и — хотя он и не признавал действия на расстоянии в качестве механического — построить свою систему мира как систему сил, математические законы которых должна установить натуральная философия; установить с помощью индукции, а не чистой спекуляции. И это потому, что мир создан одной только волей божьей; поэтому мы не должны приписывать ему никаких действий, но должны лишь открывать то, что создано [26, с. 131].

Другой известный ученый Х. Гюйгенс — автор волновой теории света — рассматривал эфир как среду для передачи колебательного движения. Голландский физик отметил, что свет проходит через такой вакуум, в котором звук не распространяется. Это свидетельство того, что звуковые и световые волны движутся в различных средах. Звук переносится в результате сжатия и расширения слоев воздуха. Световые волны распространяются в абсолютно несжимаемом эфире. Скорость света в таких условиях достигает бесконечной быстроты [27, с. 22].

Эфир как основа для различных теорий в оптике фигурирует в трудах и других ученых. Л. Эйлер объяснял цвета предметов своего рода резонансом с эфирными колебаниями разной частоты:

...Я принимаю, что свет в эфире, подобно звуку в воздухе, рождается колебательным движением, и основываю различие цветов на различной скорости колебаний, так что цвета различаются друг от друга так же, как высокие и низкие звуки; при помощи этого дается достаточно вероятное, как мне кажется, объяснение, почему одни цвета претерпевают большее, другие — меньшее преломление <...> Отдельные частички непрозрачного тела до тех пор, пока освещаются лучами, возбуждаются к определенному колебательному движению; это движение, сообщаемое окружающей эфирной жидкости, будет производить в ней подобное же колебательное движение, а следовательно, и лучи света <...> Отсюда мы находим истинное определение цвета тел, и тело, например, является красным, если его мельчайшие частички так построены, что от данного возбуждения издают в известное время определенное число колебаний (цит. по [24, с. 354–356]).

В вопросах небесной механики Эйлер выступал против концепции дальнего действия и объяснял силу тяготения как результат давления эфира. Эфир, окружающий небесные тела, получает вместе с ними вращательное движение. Так как окружная скорость тела увеличивается по мере удаления от центра, давление эфира, в соответствии с законами гидродинамики, будет больше у поверхности, нежели в центре тела. Это неравенство создает силу, направленную к центру Земли или планеты. Определив убывание давления эфира для разных небесных тел, можно получить известный закон обратной пропорциональности квадрату расстояния.

С помощью эфира Эйлер объяснял магнитные и электрические явления. В железе и магните имеются тонкие каналы, в которые проникают частицы эфира. Магнитные каналы обладают клапанами, направляющими движение эфирных частиц в одном направлении, наподобие клапанов для кровообращения. В результате вокруг магнитов возникают вихри эфирных истечений, что приводит к созданию разности давлений и появлению сил взаимодействия.

Электрические явления производятся частицами эфира, находящимися в порах тела. Поры разделяются на три вида в зависимости от их размера. Если эфир, заключенный в порах тел, находится в равновесии с окружающим эфиром, тело нейтрально. Нарушение такого равновесия является процессом электризации. Тело, в порах которого эфир имеет большую упругость, чем окружающий эфир, наэлектризовано положительно, в обратном случае — наэлектризовано отрицательно [24, с. 354–356].

Идею волновых процессов в эфире в своих работах использовал и М. В. Ломоносов. Русский ученый разделял частицы эфира на «три рода разной величины», соотносящиеся по размерам как 4:2:1. Этим частицам соответствуют три вида первичной материи: соляная, серная и ртутная. От эфира первого рода происходит красный, второго — желтый и от третьего рода — голубой цвета [28, с. 331–332].

Проявление трех видов энергии (теплота, свет, электричество) также связано с движением частиц эфира. Распространение света Ломоносов объяснял колебаниями («зыблющимся движением») эфира; что касается теплоты и электричества, то они передаются в результате вращательного движения эфирных частиц [28, с. 68–69].

Высокий авторитет Ньютона способствовал тому, что в вопросах о природе света продолжительное время доминировала его идея светонесущих корпускулов, движущихся с большой скоростью. Однако в конце XVIII столетия эта концепция вступила в противоречие с наблюдениями интерференции и поляризации света. В первой четверти XIX в. англичанин Т. Юнг и француз О. Френель вернулись к представлениям Гюйгенса о световых волнах, распространяющихся в мировом эфире. В работах Юнга и Френеля были обоснованы основные понятия волновой оптики: длина световых волн, явления интерференции, когерентности и дифракции. Результатом открытий стало развитие нового направления в этой области науки — оптики упругого эфира.

### Появление и развитие механических поршневых вакуумных насосов

Изобретатель механического вакуумного насоса бургомистр Магдебурга Отто фон Герике, по-видимому, знал об экспериментах Берти и Маньяно. Во всяком случае в книге Герике, вышедшей в 1672 г., приводится описание установки Берти со ссылкой на трактат Г. Шотта [29, с. 99]. Характерно, что в своем первом опыте, проведенном в 1652 г., Герике намеревался получить пустоту путем откачки воды из плотно закупоренной бочки. Эта попытка оказалась неудачной. К успеху Герике пришел лишь после того, как распорядился откачивать из толстостенного медного сосуда непосредственно воздух. Спустя некоторое время Герике усовершенствовал вакуумный насос, оборудовав его водяным уплотнением крана и более удобным приводом цилиндра (рис. 4). В его трактате, помимо хорошо известного опыта с магдебургскими полушариями,

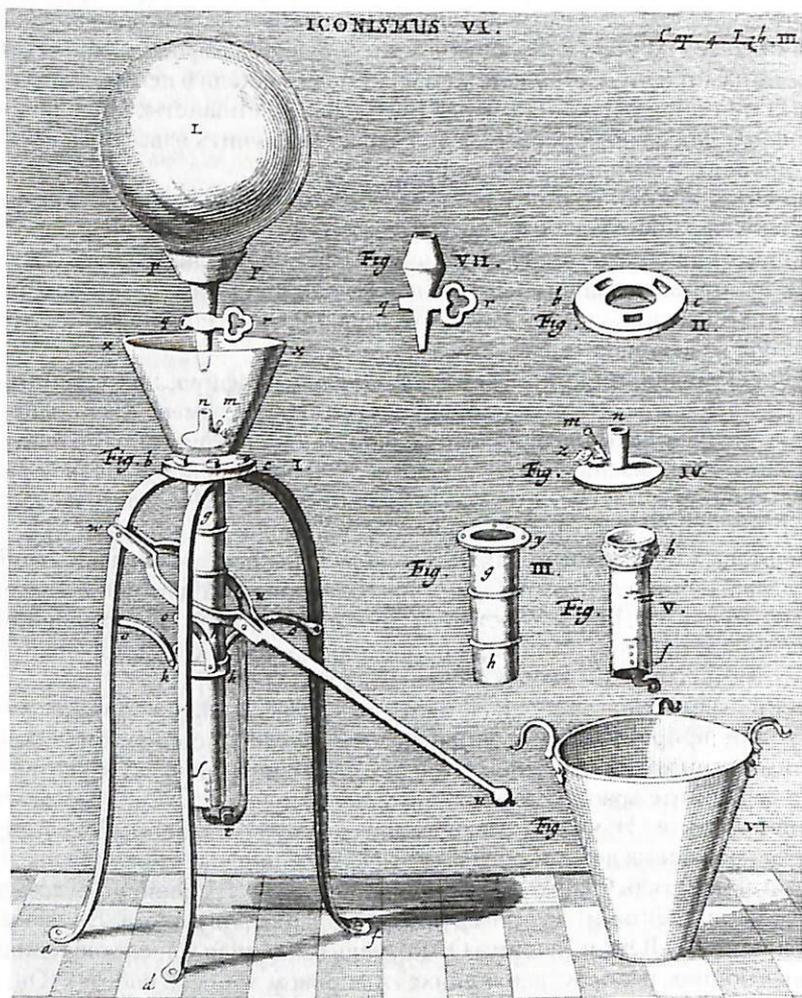


Рис. 4. Усовершенствованный насос Герике (1654 г.)

описана серия экспериментов с разреженным воздухом. Проведенные наблюдения свидетельствовали о том, что воздух обладает упругостью (смятый пузырь раздувается в «пустоте»), в откачанном сосуде не могут жить животные, гаснет свеча, звук колокольчика ослабевает [29, с. 68–69].

Вслед за Герике опыты с вакуумом проводили многие ученые. Собственные конструкции насосов сделали Р. Бойль (1660 г.), Д. Папен (1674 г.), Ф. Хауксби (1709 г.) и другие исследователи и механики. Во второй половине XVII в. опыты с «пустотой» вошли в моду, и многие мастера, особенно в Голландии, занимались изготовлением насосов на продажу.

Насос Бойля, изготовленный замечательным механиком Р. Гуком (рис. 5), был снабжен зубчато-реечной передачей, облегчавшей работу по перемещению поршня [19, т. I].

Насос Д. Папена содержал еще ряд важных усовершенствований: ножной привод, удобный двухходовой кран, устройство откачиваемого объема в виде колпака, установленного с уплотняющей замазкой на тарелке (рис. 6).

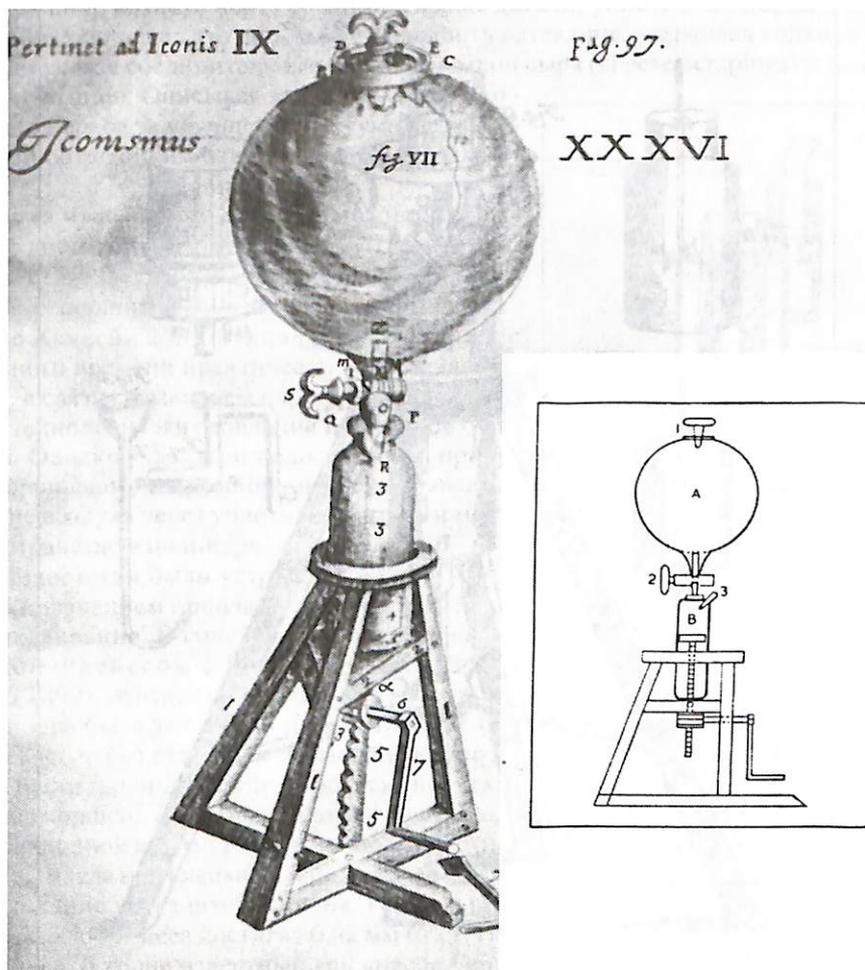


Рис. 5. Насос Бойля—Гука (1660 г.). Слева — внешний вид, справа — схема

Установка, сделанная Хауксби, имела, помимо насоса, ртутный барометр, измерявший давление внутри сосуда. В своем сочинении, опубликованном в 1709 г., Хауксби отмечал, что в результате продолжительной откачки давление в испытуемом объеме опускалось до величины, немногим ниже 1 дюйма (25,4 мм) ртутного столба [30].

Был ли вакуум, достигнутый Хауксби, предельным и для других механических насосов того времени? Попытаемся ответить на этот вопрос, используя современные методы расчета вакуумных систем. В качестве объекта для анализа используем вакуумную установку Бойля — Гука, отличавшуюся, по свидетельству современников, высоким качеством изготовления.

Откачиваемый объем установки *A* (см. рис. 5, справа) был равен 34000 куб. см — «30 винных кварт». Поршневой насос *B* имел диаметр 3 дюйма (7,6 см) и длину 14 дюймов (35,6 см), что дает внутренний объем около 1600 кв. см. Цикл откачки включал в себя открытие крана 2, закрытие пробки 3, движение поршня вниз, закрытие крана 2, открытие пробки 3, движение поршня вверх и т. д. Примем продолжительность цикла

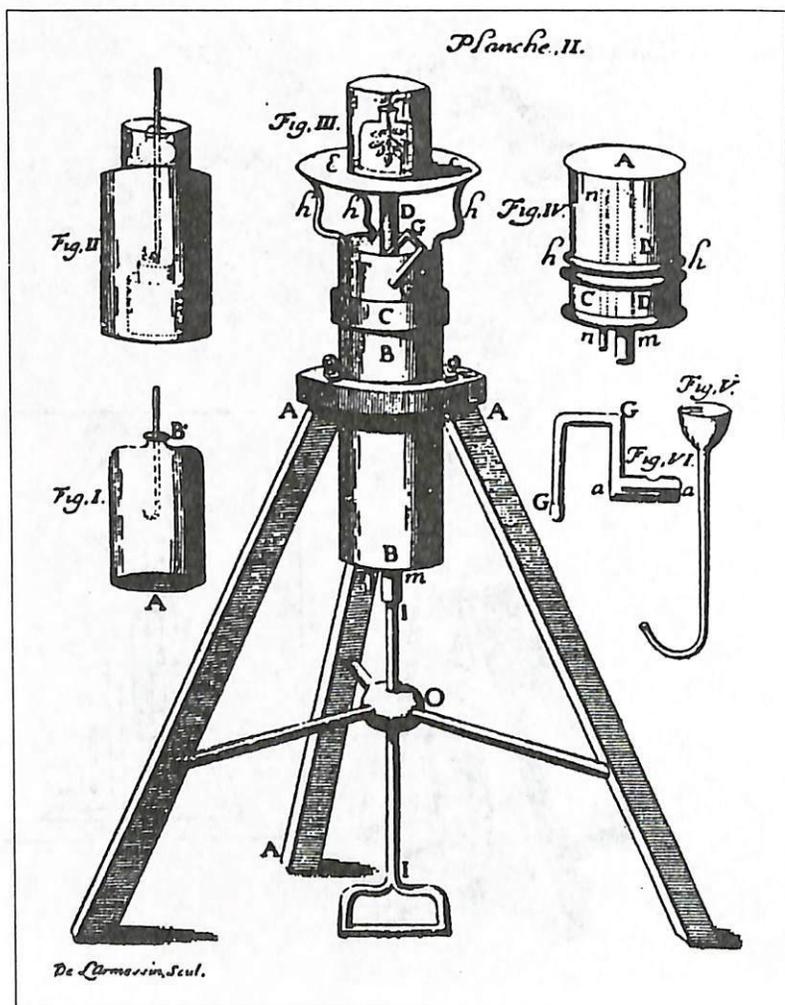


Рис. 6. Насос Папена (1674 г.)

возвратно-поступательного движения поршня равной 10 сек. и будем считать, что натекание в систему отсутствует, а режим течения газа является квазистационарным. При этих условиях откачка сосуда *A* объемом 34000 куб. см до давления 20 мм рт. ст. потребует одного часа непрерывной работы насоса Бойля — Гука [31, с. 60].

В реальности достижению такого результата препятствуют, по крайней мере, два фактора. Первым из них является наличие «мертвого» пространства над поршнем вблизи клапана *З*. Если на это пространство приходится хотя бы 12 мм длины внутренней части цилиндра, коэффициент компрессии не может быть больше 28, и давление ниже 25 мм рт. ст. будет недостижимым.

Заметим, что в основе подобных расчетов, широко используемых теперь в вакуумной и компрессорной технике, лежит закон, связывающий объем и давление газа, открытый Бойлем в 1662 г. В трудах Бойля, однако, нет свидетельств того, что автор открытия пытался применить свой закон для расчета времени откачки или степени достижимого вакуума.

Еще одним фактором, ухудшающим вакуум и увеличивающим время откачки, являются натекание воздуха через соединительные детали, уплотнение поршня и штока и т. п. Бойль осознавал это и пытался уменьшить натекание, устраивая водяное уплотнение, замазывая соединительные стыки стружкой сыра (cheese-scrapings) и даже птичьим клеем (lime). Описывая эти опыты, Бойль отмечал, что борьба за улучшение вакуума оказалась связанной со «стойким отвратительным запахом» [19, т. I].

Подводя итог нашего анализа, можно утверждать, что достигнутый Хауксби вакуум — порядка 20 мм рт. ст. — был, очевидно, предельным для механических поршневых насосов XVII–XVIII вв.

После Хауксби конструкция насоса в течение длительного времени практически не изменялась. В XIX в. в связи с развитием паровых машин улучшилась технология изготовления цилиндров с поршнями. Однако главными недостатками, присущими поршневому вакуумному насосу, оставались натекание воздуха через уплотнение штока и мертвое пространство в цилиндре.

Эти недостатки были устранены лишь в конце XIX в. с появлением производства электрических ламп накаливания. В конструкции насоса, разработанной Флейссом в 1892 г. (Britain Patent № 12686/1892), мертвое пространство в нижней части цилиндра было заполнено маслом (рис. 7). Откачка велась через отверстие *T*, расположенное в средней части цилиндра. Выпуск воздуха происходил, когда поршень *E* достигал верхней точки, поднимая выхлопной клапан *F*. Сальниковое уплотнение и слой масла над клапаном *F* полностью устраняли натекание через шток поршня. Предельный вакуум насоса Флейсса достигал 0,02 мм рт.ст. Насос Флейсса, больше известный как «насос Герике», выпускался в конце XIX — начале XX вв. в Германии, США и Англии.

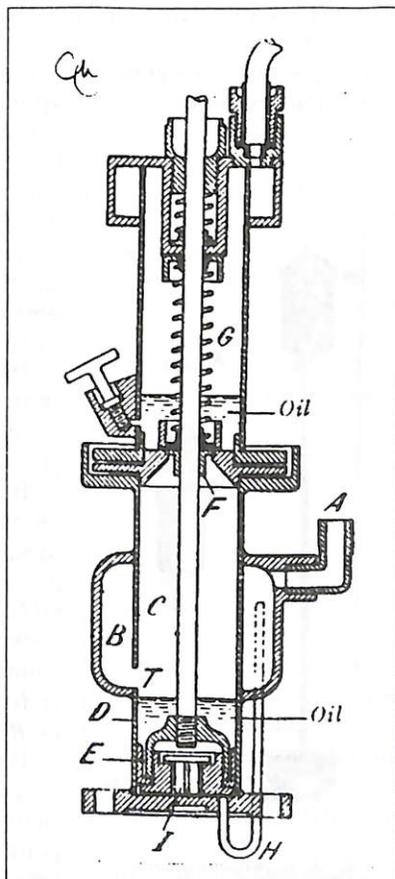


Рис. 7. Насос Флейсса («Герике», 1892 г.)

### Развитие ртутно-поршневых насосов

«Пустота», имевшая место над столбом жидкости в опытах Берти и Торричелли, продолжала вызывать интерес и после появления механического насоса Герике. В барометрической трубке пустоту можно было получить без долгого процесса откачки. Это натолкнуло ученых Флорентийской академии на мысль использовать торричеллиеву трубку как средство получения вакуума для экспериментов [32]. Насос флорентийских академиков (1657) представлял собой барометрическую трубку, имевшую в верхней части расширение и герметичную крышку для помещения испытуемых объектов (рис. 8). Вакуум создавался за один «ход» ртутного поршня после переворачивания трубки. Испытуемый объект при этом соприкасался с ртутью, что создавало большие неудобства. Естественно, в таком виде ртутно-поршневой способ получения вакуума не составил конкуренции «чистой» откачке с помощью насоса Герике.

Идея удаления воздуха с помощью ртутного поршня возродилась благодаря шведскому философу Сведенборгу. В 1722 г. он описал способ, позволявший удалять воздух из сосуда, не заполняя при этом его ртутью. Для этого откачиваемый объем необходимо соединить через трехходовой кран с барометрической трубкой, а сама трубка должна заканчиваться гибким шлангом с открытым сосудом с ртутью (рис. 9). При многократном поднимании и опускании сосуда с ртутью, открывая и закрывая каждый раз соединительный кран, можно откачать воздух из сосуда до торричеллиевой пустоты [33].

Способ, предложенный Сведенборгом, получил развитие в середине XIX в. в связи с проведением опытов с электрическим разрядом. Предельное разрежение, которое обеспечивали механические насосы, было недостаточным для всестороннего исследования разряда. Преуспевший в стеклодувном деле немецкий инструментальный мастер Г. Гейслер создал конструкцию ртутного насоса, позволявшего получать вакуум порядка  $10^{-2}$  мм рт. ст. и выше. Достижение такого давления требовало, однако, многочасового поднимания и опускания тяжелого сосуда с ртутью.

Насос Гейслера был усовершенствован в 1862 г. рижским профессором Теплером [34, с. 426] и в таком виде получил широкое распространение в разнообразных экспериментах.

В насосе Гейслера — Теплера (рис. 10) трубка *F*, соединяющая откачиваемый объем *R* с ртутной системой, не нуждается в поворотном кране. При поднимании сосуда *A* ртуть заполняет объем *B*, вытесняя воздух из него и трубки *C* через ртутный затвор *D* в атмосферу. При опускании сосуда *A* столб ртути снижается до уровня *E*, воздух из откачиваемого объема поступает через трубку *F* в *B*. Многократно поднимая и опуская сосуд *A*, можно откачать объем *R* до высокого вакуума.

В процесс совершенствования ртутно-поршневого насоса позже включился и Д. И. Менделеев, проявлявший значительный интерес к опытам с вакуумом. В 1874 г. русский ученый сделал собственную конструкцию насоса [35, с. 203], к сожалению, как и большинство аппаратуры из стекла, не сохранившуюся к настоящему времени.

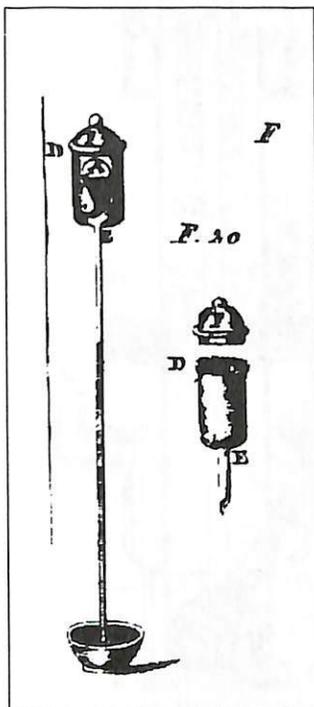


Рис. 8. Барометрический насос Флорентийской академии (1657 г.)

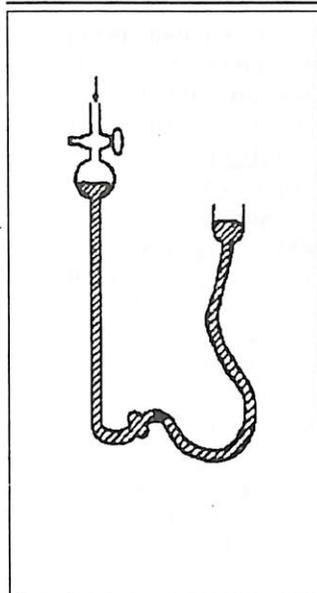


Рис. 9. Схема ртутно-поршневой откачки по Сведенборгу (1772 г.)

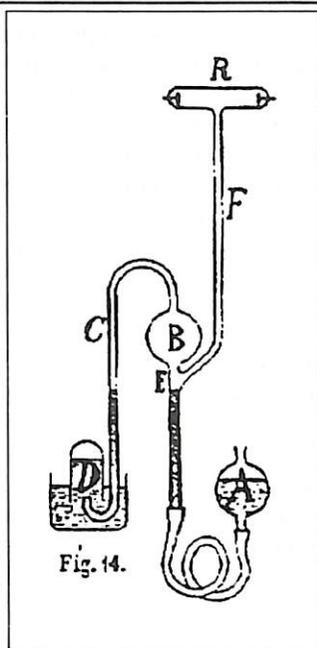


Рис. 10. Насос Гейслера—Теплера (1862 г.)

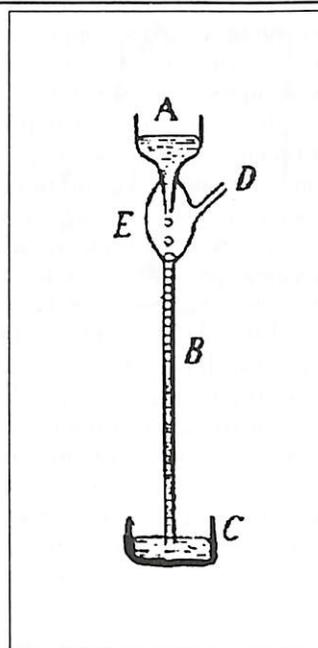


Рис. 11. Схема насоса Шпренгеля (1865 г.)

Существенно отличающаяся модификация ртутно-поршневого насоса была предложена в 1865 г. Шпренгелем [36, с. 594]. Ртуть в насосе Шпренгеля каплями падала из резервуара *A* в трубку *B* (рис. 11). Каждая капля при этом выполняла роль маленького поршня, захватывая из сосуда *E* порцию воздуха и выталкивая его через *C* в атмосферу. В откачиваемом объеме, присоединенном к трубке *D*, таким образом достигался высокий вакуум.

Данный способ не требовал непрерывного поднимания и опускания сосуда с ртутью, однако обеспечивал весьма малую скорость откачки — не более нескольких см<sup>3</sup>/сек.

Насосы Гейслера и Шпренгеля сыграли большую роль в проведении научных исследований, а в конце XIX в. — в производстве электрических ламп накаливания.

### Вакуум и создание устройств с пневматической и пареоатмосферной тягой

Уже в экспериментах Герике была продемонстрирована возможность применения силы «пустоты» для выполнения полезной работы (рис. 12). Для определения размеров этой силы Герике устроил опыт, в котором использовался цилиндр с плотно пригнанным поршнем, установленный на прочной деревянной раме. К штоку поршня был прикреплен канат, перекинутый через блок. К крану нижней части цилиндра подносился предварительно откачанный стеклянный шар. При открытии крана в полости цилиндра создавалось разрежение, и поршень двигался вниз с усилием, позволявшим «поднимать огромные тяжести». Герике отмечал, что его цилиндр развивает подъемную силу 2686 фунтов (1340 кг).

Такая возможность привлекла внимание изобретателей, работавших над двигателем. В XVII в. потребность в мощном двигателе была особенно настоятельной в горнодобывающей промышленности, в первую очередь для привода водоподъемных

устройство. Атмосферное давление, создающее усилие 1 кг на 1 кв. см площади поршня, было действительно огромной силой сравнительно с граммами или десятками граммов, приходящимися на 1 кв. см рабочей поверхности водяных или ветровых колес.

Непосредственное использование воздушного насоса для создания разрежения, как в приведенном опыте Герике, требовало затрат механической энергии и не обеспечивало экономичного действия двигателя. Необходимо было найти другой источник энергии, позволяющий получить вакуум без выполнения механической работы.

В 1680 г. Гюйгенс и спустя несколько лет Папен предпринимали попытки создать разрежение под поршнем путем охлаждения продуктов сгорания пороха в цилиндре. На рис. 13 представлена схема «пороховой машины» Папена, сделанной им в 1688 г.

В нижней части цилиндра находится стакан для пороха, поджигаемый рычагом с грузом. Поршень на рисунке изображен в верхнем положении, которое он занимает после сгорания пороха. В поршне имеется крышка-клапан, который по инерции открывается в конце хода поршня вверх, выпуская частично пороховые газы. Таким образом давление горячих газов внутри цилиндра сравнивается с атмосферным, крышка-клапан, ударившись о скобу, возвращается на прежнее место, закрывая полость цилиндра. Следующий за этим рабочий ход поршня вниз осуществляется за счет перепада давлений над поршнем (атмосферное) и под поршнем (вакуум, который Папен надеялся получить, охлаждая горячие газы внутри цилиндра).

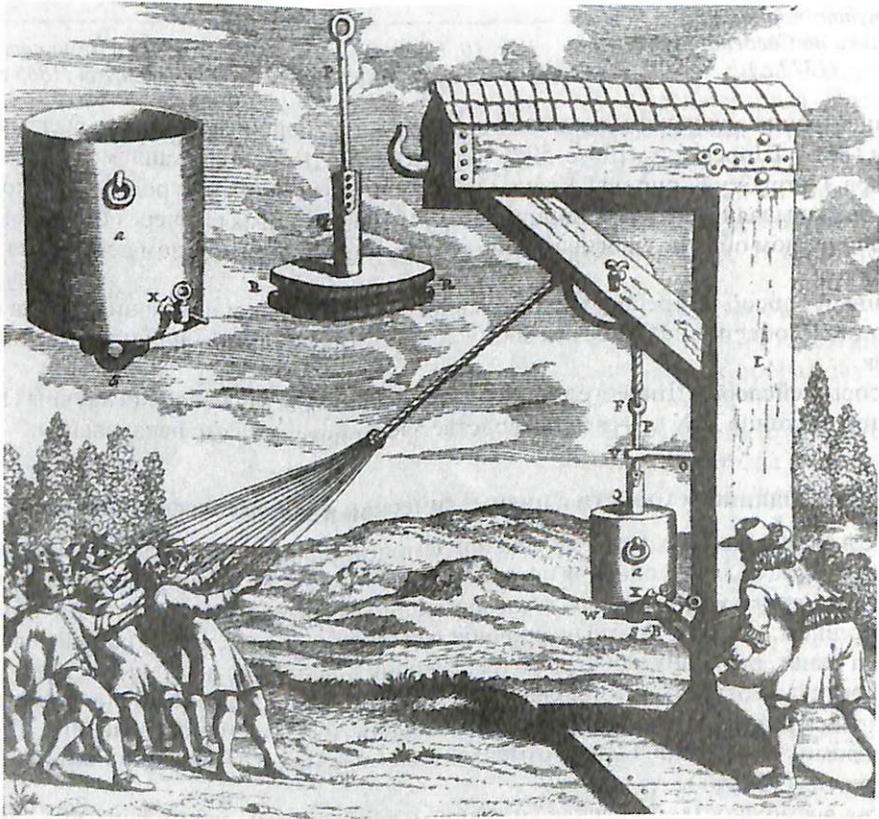


Рис. 12. Опыт Герике с цилиндром (1650-е гг.)

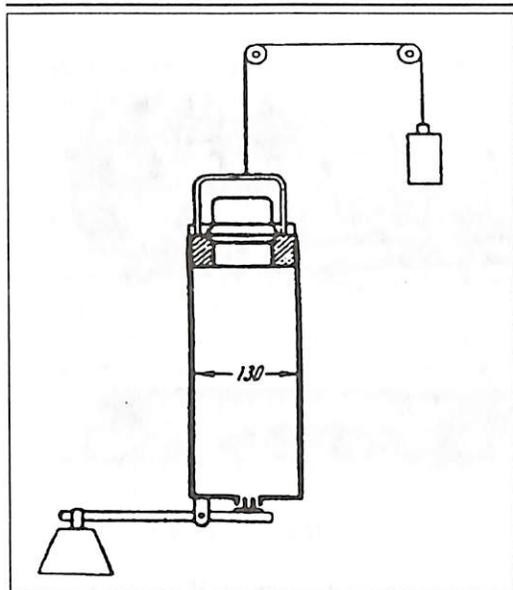


Рис. 13. «Пороховая машина» Папена (1688 г.)

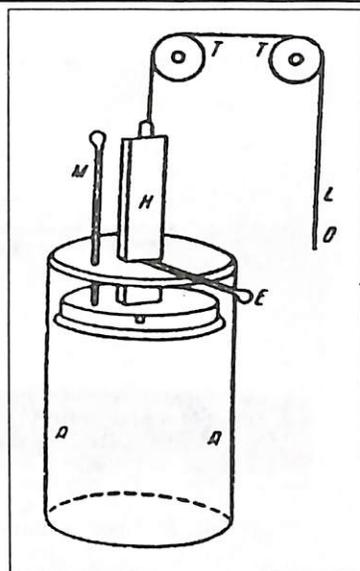


Рис. 14. Схема парового двигателя Папена (1698 г.)

Несмотря на все старания Папена, добиться достаточного разрежения под поршнем путем охлаждения газов ему не удалось. Это обстоятельство, а также необходимость перед каждым движением поршня вводить новый заряд пороха в цилиндр сделали дальнейшую работу над «пороховой машиной» нерациональной.

Вслед за этим Папен перешел к использованию в качестве теплоносителя водяного пара, свойства которого к тому времени были уже достаточно изучены. Построенный Папеном в 1698 г. двигатель (рис. 14) имел такой цикл: сначала цилиндр подогревался снизу огнем, вода, имевшаяся в нижней части цилиндра, испарялась, и поршень двигался вверх. Затем огонь удалялся, цилиндр охлаждался водой. Вынимался стопор *Е*, и поршень совершал рабочий ход вниз. При максимальном сокращении времени на эти операции двигатель Папена давал всего один ход в минуту. Другим недостатком устройства был чрезмерно большой расход топлива.

В том же 1698 г. было разработано первое устройство пароатмосферного типа, получившее практическое применение. Это был хорошо известный паровой насос английского механика Севери.

Проблема создания универсального теплового двигателя была решена в XVIII в. Хотя к тому времени теплоэнергетика сложилась в самостоятельную область, несомненна преемственность между изобретением вакуумного насоса и последующим созданием универсального теплового двигателя.

Появление вакуумных насосов положило начало развитию идеи пневматического транспорта. Мысль использовать давление воздуха для перемещения грузов по трубопроводам была впервые высказана Папеном в конце XVII в. [37]. На протяжении XVIII и XIX вв. многие изобретатели предлагали проекты пневматических транспортных устройств, движение которых должно было осуществляться в результате разрежения или нагнетания воздуха [38, с. 140].

В 1834 г. американский инженер Г. Пинкас разработал проект атмосферической железной дороги, действие которой основывалось на использовании вакуума [39].

Согласно проекту вдоль рельсовой колеи укладывается путевая труба *1* диаметром 0,5–1 м (рис. 15). В верхней части трубы имеется продольная прорезь, закрытая сверху

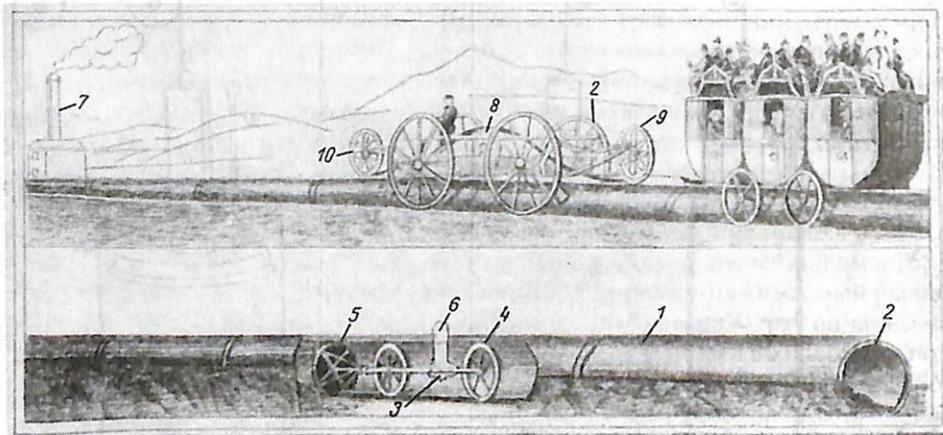


Рис. 15. Проект атмосферической железной дороги Пинкаса (1834 г.)

плотно прилегающим канатом 2', пропитанным жировой смазкой. Вдоль дороги на расстоянии 5–8 км располагаются паросиловые станции 7. Воздушные насосы, установленные на этих станциях, создают в путевой трубе разрежение порядка 0,5 атм. Роль локомотива, тянущего за собой экипаж с пассажирами, выполняет тележка, оснащенная в передней части ходовым поршнем 5. Ролик 8, находящийся на тележке, отводит канат 2' от прорези, в результате чего в трубу устремляется воздух. Под действием давления атмосферы поршень 5 движется вперед, увлекая за собой через тягу 6 весь состав. Ролик 9 в задней части тележки прижимает канат 2' снова к прорези, восстанавливая герметичность трубы.

Спустя несколько лет идея атмосферической железной дороги прошла опытную проверку. В 1840 г. пневматическими тяговыми устройствами был оснащен участок Западной лондонской железной дороги длиной 0,5 мили (0,8 км). Работа выполнялась по проекту Клегга и Сэмюда [40], в основных чертах повторявшему разработку Пинкаса. Путевая труба имела диаметр 9 дюймов (23 см), насосная установка приводилась в действие паровым двигателем мощностью 16 л.с.

По ряду технических данных атмосферическая железная дорога превосходила системы с паровозной тягой. При подъеме в гору крутизной 8% поезда весом 13,5 т развивали скорость 36 км/час [41]. Знаменитый паровоз Стефенсона «Ракета» с составом (весом 12,6 т) на горизонтальных участках двигался со скоростью лишь 25,5 км/час.

В 1840-е гг. было разработано наибольшее количество проектов железных дорог с пневматической тягой (как вакуумных, так и нагнетательных систем); только за пять лет — с 1843 г. по 1847 г. — в патентное ведомство с заявками на различные конструкции тяговых устройств обратились около 70 человек [38, с. 148].

Однако в процессе эксплуатации атмосферических железных дорог были обнаружены присущие им недостатки. Введенная в действие в 1845 г. атмосферическая дорога Форест-Хилл — Кройдон уже к 1847 г. оказалась неработоспособной. Большие трудности были связаны с уплотнением прорезей труб; в зимних условиях попадание снега и обледенение внутри труб полностью выводили дорогу из строя [42].

С развитием паровозостроения строительство железных дорог с пневматической тягой было признано нецелесообразным, за исключением специальных дорог малой протяженности в горной местности [43].

Вновь к идее пневматической тяги вернулись в 1860-е гг. при строительстве городских подземных железных дорог. Действующие модели туннельных пневматических дорог демонстрировались в Лондоне [44] и Нью-Йорке [45]. Однако и эти системы распространения не получили, главным образом из-за технических трудностей, связанных с эксплуатацией пневматических дорог.

Большее использование получила система пневматической почты. По аналогии с железными дорогами, первые опыты в этой области проводились с установками грузовой тележечной пневмопочты. Автор одного из проектов американец А. Бич предложил прокладывать путевые трубы пневматической почты на небольшой глубине под городскими мостовыми (рис. 16). Внутри трубы располагались вагонетки, перевозящие письма; концевая насосная станция создавала в трубе разрежение. Приемными станциями являлись фонарные столбы, в средней части которых были щели для писем, а в цоколе — барабаны для перегрузки писем в вагонетку [46].

Установки грузовой тележечной пневмопочты не получили распространения из-за большого энергопотребления и высокой стоимости. В практике закрепилась главным образом патронная пневмопочта ближнего действия. Первая установка такого типа была введена в действие в 1853 г. на Лондонском телеграфе. Она была оборудована всасывающим насосом и трубами диаметром 19 мм; длина трубопровода составляла около 100 м [47]. В 1862 г система доставки бланков в патронах с использованием сжатого воздуха была установлена на Петербургском телеграфе [48].

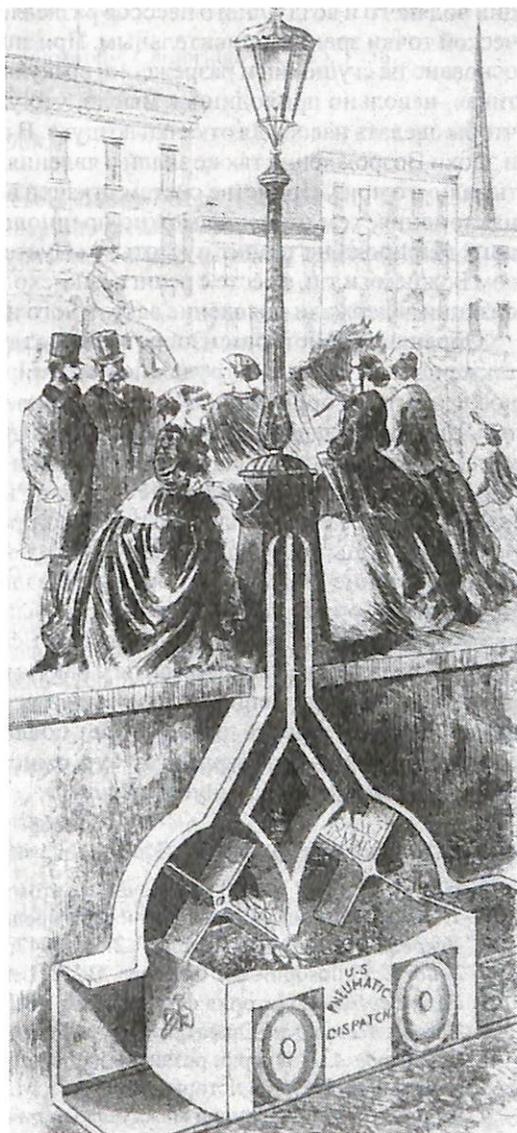


Рис. 16. Пункт приема писем городской пневмопочты по проекту Бича (1865 г.)

\* \* \*

Обращение к истории изобретения Отто Герике воздушного насоса в контексте развития представлений о пустоте и эфире дает определенную пищу для размышлений. Философские споры о возможности существования пустоты, начавшиеся в античные времена, так же как последующие средневековые схоластические догмы и запреты, не могли не воздействовать на умы ученых и изобретателей и в конечном счете на появление средств

получения вакуума. Приводимый в статье факт, что изобретение близких по конструкции водяного и воздушного насосов разделяет два тысячелетия, представляется, с технической точки зрения, удивительным. При знакомстве с устройствами, действие которых основано на сгущении и разрежении воздуха, описанными Героном в трактате «Пневматика», невольно приходишь к мысли, что уже эллинские мастера были близки к тому, чтобы сделать насос для откачки воздуха. В последующие века механики Средневековья и эпохи Возрождения также знали о явлениях, вызываемых разрежением воздуха, и учитывали его при устройстве систем откачки воды. История не допускает сослагательного наклонения, тем не менее можно предположить, что повсеместное распространение догм «Природа не терпит пустоты», «Пустота может быть создана лишь всемогуществом Божиим» и т.п. вместе с религиозно-схоластическими запретами и угрозой суда инквизиции задержали появление вакуумного насоса на несколько веков.

Обращаясь к истории изобретения воздушного насоса, можно обратить внимание также на следующее. В трудах по истории науки работы Герике обычно описываются после опытов Торричелли и Паскаля, приведших к получению торричеллиевой пустоты и открытию давления атмосферы. Нам представляется, что поводом для работ Герике послужили скорее всего опыты Берти и Маньяно с водяной барометрической трубкой, получившие известность не только в Риме, но и других городах Европы. Характерно, что Герике не занимался опытами с торричеллиевыми трубками, а начал свои эксперименты с попытки удалить воду из плотно закупоренной бочки.

Изобретение Герике и его опыты оказали значительное влияние на развитие науки. Во времена Торричелли и Бойля еще не было принято определять технико-экономический эффект от изобретений и открытий. Если бы Герике прожил еще триста лет, он мог бы утверждать, что эксперименты с вакуумом привели к существенному расширению наших знаний о строении материи (интересно, было бы это убедительным для чиновников?). Спустя триста пятьдесят лет после изобретения вакуумного насоса нельзя не отдать должное магдебургскому бургомистру, в заданное историей время выполнившего свою высокую научную миссию.

## Литература

1. *Маковельский А. О.* Древнегреческие атомисты. Баку, 1946.
2. *Зубов В. П.* Развитие атомистических представлений до начала XIX в. М., 1965.
3. *Лукреций.* О природе вещей. Т. 2. Л., 1947.
4. *Zeller E.* Philosophie der Griechen. Bd. 2. Leipzig, 1862.
5. *Розенбергер Ф.* История физики. Ч. 2. М.-Л., 1937.
6. *Heronis Alexandrini.* Opera quae supersunt omnia. Vol. 1. Pneumatica et automatica. Leipzig, 1899.
7. *Столетов А. Г.* Очерки развития наших сведений о газах // Собр. соч. Т. 2. М.-Л., 1941.
8. *Бернал Дж.* Наука в истории общества. М., 1956.
9. *Зубов В. П.* Из переписки между Э. Торричелли и М. Риччи // ВИЕТ. 1959. Вып. 8.
10. *Бержерак С.* Иной свет, или Государства и империи Луны. М.-Л., 1931.
11. *Guericke O.* Neue, «Magdeburgische» Versuche über den leeren Raum (1672), Leipzig, 1894.
12. *Agricola G.* Zwölf Bücher vom Berg-und Hüttenwesen (1556). Berlin, 1953.
13. *Галилей Г.* Избранные труды. Т. 2. М., 1964.
14. *Schotti H.G.* Technica Curiosa. 1664.
15. *Waard C.de.* L'expérience barométrique. Ses antécédents et ses explication. Thouars, 1936.
16. *Кудрявцев П. С.* Эванджелиста Торричелли. М., 1958.
17. *Рожанский И. Д.* Античная наука. М., 1980.
18. *Подольный Р.Г.* Нечто по имени ничто. М., 1983.
19. *Boyle R.* Works. Vol. I, III. London, 1772.
20. *Robert Boyle's Experiments in Pneumatics.* Cambridge, 1950.

21. *Newton I.* De Gravitatione et Aequipondio Fluidorum // Unpublished scientific papers of Isaac Newton. Cambridge, 1962.
22. *Newton I.* Correspondence. Cambridge, 1959.
23. Isaac Newton's Papers and letters on natural philosophy. Cambridge (Mass.), 1958.
24. Кудрявцев П. С. История физики. М., 1956.
25. Ньютон И. Оптика. М.-Л., 1927.
26. *Koyré A.* Études newtoniennes. Gallimard, 1968.
27. Гюйгенс Х. Трактат о свете. М.-Л., 1935.
28. Ломоносов М. В. Слово о происхождении света (1756) // Полн. собр. соч. Т. 3, 1952.
29. *Guericke O.* Experimenta Nova (ut vocantur) Magdeburgica de Vacuo Spatio. Amsterdam, 1672.
30. *Hawksbee F.* Physico-mechanical experiments on various subjects touching light and electricity etc. London, 1709.
31. Вакуумная техника. Справочник. М., 1992.
32. *Magalotti.* Saggi di naturali esperienze fatte nel Academia del Cimento (1667). Milano, 1806.
33. *Thompson S. P.* Development of the mercurial air pump. London, 1888.
34. *Toepler.* Dingler's Journal. Vol. 163. 1862.
35. Менделеев Д. И. Собр. соч. Т. 6. М.-Л., 1936.
36. *Sprengel.* Journal of Chemical Soc. № 3. 1865.
37. *Smiles S.* Industrial Biography: Iron Workers and Tool Makers. London, 1863.
38. *Остольский В. О.* Атмосферические железные дороги 40-х гг. XIX в. и проблема пневматического транспорта грузов // Труды Ин-та истории естествознания и техники. Т. 38. 1972.
39. *Francis J. A.* A History of the English railway (1820–1845). Vol. 2. London, 1851.
40. *Clegg S., Samuda J.* Atmospheric Railway. London, 1840.
41. *Marshall D.* Atmospheric railways: their past and possibilities // Engineer. Vol. CLIII. № 3983. 1932.
42. Кройдонская железная дорога // Журнал Главного управления путей сообщения. Кн. 3. 1847.
43. *Heusinger W.* Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik. Bd. I. Leipzig, 1870.
44. The Pneumatic railway in the grounds of the Crystal Palace // The Illustrated London News. Vol. XLV. № 1277. 1864.
45. Подземная пневматическая железная дорога в Нью-Йорке // Всемирная иллюстрация. № 67. 1870.
46. *Beach A. E.* The Pneumatic Dispatch. N. Y., 1868.
47. *Pauli H.-P.* Geschichtliche und technische Entwicklung der Rohrpostanlagen // Technische Rundschau. № 49. 1954.
48. Новое здание телеграфической станции в С. Петербурге // Русский художественный листок. № 35. 1862.