

П.С. КУДРЯВЦЕВ



# ЭВАНДЖЕЛИСТА ТОРРИЧЕЛЛИ

Серия VIII, вып. II, № 18

*издательство „знание“  
1958*

ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЩЕСТВО  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ ПОЛИТИЧЕСКИХ И НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

---

---

Профессор  
П. С. КУДРЯВЦЕВ

ЭВАНДЖЕЛИСТА  
ТОРРИЧЕЛЛИ  
*(К 350-летию со дня рождения)*

---

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»

Москва

1958

По решению Всемирного Совета Мира в 1958 году отмечается 350-летие со дня рождения выдающегося итальянского ученого Эванджелисты Торричелли.

В брошюре рассказано о жизни и трудах ученика Галилея — Торричелли, которому принадлежит открытие атмосферного давления и ряд важных математических работ.

---

Триста пятьдесят лет назад родился Эванджелиста Торричелли, один из участников великого научного движения, ведущего начало от трудов Николая Коперника. Это движение было подлинной научной революцией; оно привело в конечном итоге к возникновению современного естествознания.

В XVI—XVII веках были сделаны крупнейшие географические открытия. В 1492 году Колумб достиг Америки. Спустя пять лет Васко да Гама, обогнув Африку с юга, проложил морской путь в Индию. В 1512—1522 годах экспедиция Магеллана совершила первое кругосветное путешествие. Тем самым был нанесен сокрушительный удар средневековым представлениям о Вселенной и расчищен путь для нового мировоззрения.

Дальние морские путешествия способствовали развитию астрономических знаний, необходимых для кораблеводства. С астрономией тесно переплетались задачи механики и оптики. Именно эти науки: астрономия, механика и оптика — положили начало научной революции, провозглашенной Коперником, продолженной Галилеем и Кеплером и завершенной Гюйгенсом и Ньютоном.

Однако задолго до Коперника, в XV веке, ученые начали осознавать необходимость нового подхода к явлениям природы. Они понимали, что учение «о высшей истине», проповедуемое одобренными церковью книгами, несостоятельно, противоречит опыту, практике. Все чаще и чаще раздавались голоса, указывающие на необходимость обращения в поисках истины к опыту и доводам разума. Родиной нового «движения умов» была Италия, давшая миру в XV веке величайших художников-гуманистов, подлинных титанов «по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учености», к плеяде которых принадлежал и пионер опытного естествознания Леонардо да Винчи (1452—1519). В Италии начал свою научную деятельность великий революционер в науке Николай Коперник (1478—1543). Первым возвестившим о новом мировоззрении был мученик науки итальянский мыслитель Джордано Бруно (1550—1600). Соотечественником Винчи и Бруно был основоположник опытной и математической физики Галилео Галилей (1564—1642), осужденный церковью за

смелую защиту учения Коперника. Галилей до последних дней жизни продолжал под неусыпным оком инквизиции в Арчетри разработку новых идей. Ослепший, он передавал свои идеи молодым ученикам, которые продолжали начатое им дело. У смертного одра Галилея находились два его ученика: Винченцо Вивиани (1622—1703) и Эванджелеста Торричелли (1608—1647).



Эванджелеста Торричелли родился 15 октября 1608 года в Фаэнце, в знатной семье. Рано лишившись отца, Торричелли воспитывался своим дядей — ученым монахом, отдавшим его в иезуитскую школу.

Орден иезуитов возник в XVI веке для защиты католицизма от получившего широкое распространение протестантского движения. Иезуиты были злейшими врагами прогрессивной мысли, однако они понимали, что бороться старыми методами, т. е. путем огульного отрицания науки, нельзя. Они создавали светские школы, чтобы сохранить свое влияние на молодое поколение, и принимали деятельное участие в научном движении, преследуя, однако, свои цели, не имевшие ничего общего с наукой. Так получилось, что иезуиты, добившиеся в 1632 году осуждения Галилея, воспитывали его с особенным интересом и любовью занимался математикой. Его дядя поощрял математические занятия племянника. Восемнадцатилетнего юношу отправили в Рим для продолжения математического образования. В Риме Торричелли сблизился с учеником и последователем Галилея — Бендетто Каstellи (1577—1644). Каstellи был доминиканским священником и профессором математики. Такое сочетание не должно нас удивлять: образование все еще находилось в руках церкви, а духовная карьера была довольно обычной для лиц дворянского происхождения, к числу которых принадлежал и Каstellи.

Каstellи рано примкнул к учению Галилея и сделался верным помощником и другом великого ученого. В частности, он помогал Галилею в наблюдениях над поверхностью Солнца. Каstellи предложил метод изучения этой поверхности, отбрасывая изображение Солнца, получаемое в зрительной трубе, на белый экран. Используя метод Каstellи, Галилей наблюдал солнечные пятна и установил их изменчивость. Это открытие имело важное значение для борьбы со сторонниками схоластической философии, которые, опираясь на учение греческого мыслителя Аристотеля, объявляли небесный мир, в том числе Солнце, Луну, планеты и звезды, вечным, неизменным и неразрушимым. Противоположностью был земной «элементный» мир, состоящий из четырех основных элементов: земли,

воды, воздуха и огня. Солнечные пятна убедительно доказывали, что и на Солнце происходят изменения.

С помощью наблюдений над пятнами Галилей доказал, что Солнце вращается вокруг своей оси. Итоги своих наблюдений он резюмировал так: «Эти пятна суть вещество, связанное с поверхностью солнечного тела; они то появляются на ней в большом количестве, то расплываются, одни — быстрее, другие — медленнее, перемещаясь вместе с обращением солнца вокруг оси...». Такой «ереси» не могли вынести церковники. Иезуит Шейнер, претендовавший на приоритет в открытии солнечных пятен, высказал гипотезу, что пятна — не солнечного происхождения, а объясняются движениями темных тел подлунного мира, которые проектируются на поверхность Солнца. Шейнер подверг также критике астрономические воззрения Галилея. Галилей ответил на брошенный ему вызов статьей, написанной в форме трех писем к аугсбургскому бургомистру Вельзеру. Во втором из этих писем Галилей сообщает о методе Кастелли и утверждает его приоритет. Выступления Галилея озлобляли церковников. В письме к Галилею от 14 декабря 1613 года Кастелли сообщает, что церковники-профессора считают взгляды Галилея несовместимыми со священным писанием.

Галилей ответил Кастелли знаменитым письмом, в котором подчеркнул, что научные истины, добываемые с помощью опыта и разума, не должны отвергаться из-за авторитета священных книг, «ибо не каждое изречение писания имеет такую строгую норму, как каждое действие природы». Галилей указывал, что нельзя прибегать к священным авторитетам «с целью подтвердить то или другое научное заключение, которое позже, вследствие наблюдения и бесспорных аргументов, придется, быть может, изменить в противоположное. И кто возьмет на себя поставить предел человеческому духу? Кто решится утверждать, что мы знаем все, что может быть известно в мире?».

Письмо Галилея к Кастелли — это подлинный манифест пробудившейся научной мысли, отстаивающей свое право на свободное исследование. Недаром это письмо широко распространялось в копиях и недаром доносчики послали одну из таких копий вместе с доносом в инквизицию. Факт, что Галилей написал Кастелли такое письмо, свидетельствует о том, что Кастелли был человеком передовых убеждений и преданным другом Галилея.

В 1628 году Кастелли опубликовал в Риме два трактата по гидравлике: «Об измерении текущей воды» и «Геометрические доказательства относительно измерения текущей воды». В этих работах содержится первый важный принцип гидродинамики стационарного течения жидкости по трубам или

каналам: скорость течения обратно пропорциональна сечению канала.

Таким образом, Кастелли мог познакомить Торричелли с передовыми научными идеями своего времени и дать толчок к самостоятельному научному творчеству.

Тридцатые годы XVII века в развитии итальянской науки были отмечены крупнейшими событиями. В 1632 году вышел знаменитый «Диалог о двух системах мира» Галилея, за которым последовал процесс и осуждение Галилея. Однако, находясь под надзором инквизиции, ученый не сложил оружия.

В 1638 году было напечатано его последнее и наиболее важное сочинение «Беседа о двух науках». Это сочинение оказало сильное влияние на Торричелли, и под его впечатлением он написал сочинение «О естественном ускорительном движении», в котором развивал идеи Галилея.

Рукопись Торричелли его учитель Кастелли, уезжая из Рима в Венецию, захватил с собой и по дороге, побывав у Галилея, ознакомил его с ней. Работа Торричелли настолько понравилась Галилею, что он пригласил к себе молодого ученого.

В октябре 1641 года Торричелли прибыл в Арчетри и начал работать над завершением «Бесед», однако его совместная работа с Галилеем продолжалась недолго. 8 января 1642 года Галилей скончался.

Герцог Тосканский предложил Торричелли занять должность Галилея. Торричелли согласился и в этой должности провел остаток своей короткой жизни. В этот небольшой период времени в мировой и итальянской науке происходили важные события.

Возникшее научное движение искало соответствующих организационных форм. Университеты были цитаделью схоластической науки, в них пока еще не могли обсуждаться и разрабатываться новые проблемы. Возникла потребность в организации кружков, обществ, из которых позднее сложились научные учреждения — академии. Родиной академий была Италия. Они начали возникать здесь в эпоху Возрождения, в период увлечения древнегреческой культурой. Само слово «академия» взято в подражание академии Платона.

Первые итальянские академии были учреждениями преимущественно гуманистического характера. Так, в 1603 году в Риме князь Чези учредил «Академию рысьеглазых» (*Accademia dei Lincei*), членом которой был и Галилей. В ней обсуждались вопросы науки, искусства и литературы. Еще раньше, в 1540 году, из кружка флорентийцев образовалась «Флорентийская академия». Одной из главных ее задач была борьба за культуру народного итальянского языка, против церковной латыни. В 1580 году эта академия разделилась на две: научную — Флорентийскую академию и филологическую —

«Академию отрубей» (Accademia della Crusca). Последняя ставила своей задачей очищение итальянского языка от «отрубей», т. е. от засорений его чуждыми духу языка словами и выражениями. Здесь Торричелли прочитал свои изящные лекции: об ударе тел, о легкости и тяжести, о ветре, о славе, об архитектуре, о наступлении «золотого века». Эти лекции были изданы во Флоренции только в 1715 году.

После смерти Галилея его два ученика — Торричелли и Вивiani — работали в тесном содружестве. Теперь их главной задачей было утверждение экспериментального метода. К Торричелли и Вивiani примкнуло еще несколько лиц. Из этого кружка и родилась знаменитая Флорентийская академия опыта (Accademia del Cimento), получившая свое организационное оформление 19 июня 1657 года, спустя десять лет после смерти Торричелли.

\* \* \*

Из сказанного выше следует, что научная деятельность Торричелли была органически связана с научным творчеством Галилея и его школы. Поэтому для рассмотрения научных работ Торричелли необходимо хотя бы вкратце познакомиться с проблемами, которыми занимался Галилей.

Стержнем научного творчества Галилея является борьба против аристотелевского понимания природы, за утверждение новых принципов познания. Старому аристотеле-птоломеевскому представлению о мире Галилей противопоставил коперниканское представление о Вселенной и защищал это представление всеми силами разума и опыта.

Оружием борьбы против аристотелевских взглядов на природу материи и движения Галилею служило новое понимание движения, основанное на опыте и точном анализе опытных данных. Схоластическому методу познания, основанному на толковании авторитетов и изощренной софистике диспутов, Галилей противопоставил метод научного эксперимента и математического анализа.

Исходным пунктом научного творчества Галилея была практика. В своих работах он опирался на обширный опыт итальянских строителей, флорентийских водопроводчиков, венецианских артиллеристов и ясно представлял себе необходимость научного обобщения этого богатого опыта, а также понимал значение новой науки для развития техники. Технику того времени преимущественно составляли различные механические устройства. Поэтому первая задача нового естествознания состояла в том, чтобы разобраться в законах механики. Решению этой задачи была посвящена жизнь Галилея.

Механика Аристотеля исходила из следующей классификации движений, основанной на наблюдениях космических

явлений: движение небесных светил и действие тяготения. Суточное видимое вращение небосвода наводило на мысль, что небесным телам присуще круговое движение. Кругу приписывались мистические свойства. Такие же свойства приписывались и небесным телам. Движение тел под действием силы тяжести объявлялось естественным стремлением тяжелых тел к центру Вселенной, за который принимался центр Земли.

Столь же естественным объявлялось стремление «легких по природе» тел от центра (таково стремление «огня» вверх). Все прочие движения на Земле считались «насильственными», или «смешанными». Тело, например, не может само по себе двигаться равномерно и прямолинейно; такое движение может осуществляться только насильственно, под действием внешней причины. Для брошенного тела или стрелы, пущенной из лука, такой причиной может быть «боязнь пустоты», присущая природе. Стрела, расталкивая воздух, образует пустоту, которая должна быть заполнена материей стрелы. Сила, толкающая стрелу, постепенно ослабевает, и стрела естественным движением стремится вниз. Чем тяжелее тело, тем скорее оно падает; скорость падения пропорциональна весу.

Таковы основные положения механики Аристотеля, которые надлежало разбить Галилею и его ученикам.

Галилей правильно понял роль воздуха в явлениях движения. Воздух не является движущей силой, как думал Аристотель, наоборот, трение о воздух является причиной сопротивления движению, и если отвлечься от этого сопротивления, то все тела падают одинаково. Галилей нашел законы свободного падения, он же установил, что движение тела, брошенного горизонтально, складывается из движения равномерного, по инерции, и ускоренного падения. Результатом этого будет движение по параболе.

Надо отметить, что этот вывод был сделан Галилеем в его последнем сочинении «Беседы», и именно он привлек внимание Торричелли.

Уже в римский период жизни Торричелли стоял на пороге фундаментального открытия — открытия давления воздушного океана. Однако пока его внимание привлекает новая динамика. В сочинении «О естественном ускорительном движении», которое было представлено Кастелли Галилею и издано в расширенном виде во Флоренции в 1641 году на итальянском языке под заглавием «Трактат о движении тяжелых тел» (латинский перевод трактата в двух книгах вышел в 1644 году), Торричелли развивает механику Галилея.

Галилей и независимо от него голландский ученый Стевин решили долго не поддававшуюся усилиям математиков задачу о равновесии тяжелого тела на наклонной плоскости. Торричелли получает условие равновесия как наклонной пло-

скости, так и весов (рычага) из следующего общего принципа: два связанных друг с другом тела будут находиться в равновесии под действием силы тяжести, если они расположены так, что их общий центр тяжести не опускается и не поднимается при их сдвиге. Этот общий принцип Торричелли является одной из первых формулировок важного начала статики: начала возможных перемещений. Вместе с тем принцип Торричелли соответствует тому важному принципу аналитической статики, согласно которому равновесие системы тел, взаимодействующих друг с другом центральными силами, достигается, когда потенциальная энергия системы имеет экстремальное значение (т. е. минимальное или максимальное значение).

Торричелли рассматривает далее движение тела, брошенного под углом к горизонту, и показывает, что траекторией такого тела будет парабола (если пренебречь сопротивлением воздуха). Он указывает, что при одинаковой величине скорости бросания максимальная дальность достигается при угле бросания в  $45^\circ$ . Далее он находит, что для двух направлений бросания, одного превышающего угол  $45^\circ$  на некоторую величину  $x$ , другого меньшего угла  $45^\circ$  на ту же величину  $x$ , дальность полета будет одинаковой. Наконец, он устанавливает, что при одной и той же величине начальной скорости, но при разных направлениях бросания, получающаяся парабола имеет огибающую поверхность в виде параболоида вращения с фокусом в начальной точке бросания, а для парабол, лежащих в одной плоскости, их огибающей будет также парабола (рис. 1).

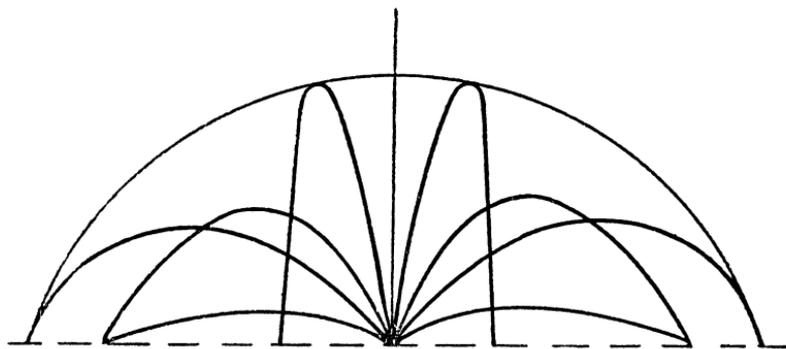


Рис. 1.

Таким образом, Торричелли был первым ученым, решившим баллистическую задачу о траектории брошенного тела в однородном поле тяжести в отсутствие сопротивления воздуха.

В настоящее время в связи с созданием сверхдальних ракетных снарядов и запуском искусственных спутников ученые решают неизмеримо более сложные задачи баллистики, учитывая характер поля тяжести, сопротивление воздушной среды, вращение Земли. Но начало решения таких сложных задач было положено исследованиями Галилея и Торричелли.

Современная наука решает труднейшие задачи механики, используя средства высшей математики. Во времена Галилея и Торричелли эти средства еще не были найдены. Но исследования Торричелли были начальным этапом в развитии математического анализа (дифференциального и интегрального исчисления).

Основными понятиями математического анализа являются переменная величина и связи между переменными величинами, носящими название функциональных зависимостей.

В механике одной из переменных величин является время, другой — расстояние, пройденное движущейся точкой. Закон движения известен, когда задан вид функциональной зависимости пути от времени. Важной характеристикой процесса является его скорость, которая сама может быть функцией времени. Эта функция может быть найдена из функциональной зависимости пути от времени с помощью некоторой математической операции, называемой нахождением производной или дифференцированием. Говорят, что скорость есть производная пути по времени. Нахождение производной от данной функции и является задачей дифференциального исчисления — первой части математического анализа. Задача, обратная нахождению производной, называется интегрированием. Интегрирование заключается в том, чтобы по известной производной найти саму функцию, от которой эта производная была взята. На языке механики это значит: по известной скорости найти пройденный путь.

Возникает вопрос, как же Торричелли мог находить скорость брошенного тела, не зная операции дифференцирования. Оказывается, он подошел к этой операции геометрическим путем. В этом отношении ученый также следовал примеру Галилея, который первый начал изображать графически зависимость от времени; в частности, так он изображал зависимость скорости равноускоренного движения от времени.

Если нарисовать график, показывающий зависимость одной переменной величины  $y$  от другой  $x$ , то получится кривая, представляющая функциональную зависимость  $y$  от  $x$ . Скорость изменения этой функции представляется наклоном касательной к кривой в рассматриваемой точке. Это значит, что с геометрической точки зрения нахождение производной от функции сводится к нахождению касательной к кривой, изображающей данную функцию.

Торричелли (и независимо от него французский математик Роберваль) разработал метод нахождения касательной к кривой. Суть его состоит в том, что движение, траектория которого исследуется, разлагается на два прямолинейных: горизонтальное и вертикальное движения. Если построить в данной точке траектории скорости горизонтального и вертикального движений в виде прямолинейных отрезков в определенном масштабе, то диагональ получившегося прямоугольника представит по величине и направлению скорость криволинейного движения и она будет направлена по касательной к траектории в данной точке.

Поясним метод Торричелли рассмотренным им примером параболического движения брошенного тела. Для простоты возьмем случай горизонтального бросания с начальной скоростью  $v_0$ , параллельной горизонтальной оси  $x$ . Точку бросания примем за начало отсчета и вертикальную ось  $y$  направим вниз (рис. 2). Тогда, как показал Галилей, движение по горизонтальной оси будет равномерным  $x = v_0 t$ , а падение вертикальной оси будет равноускоренным

$$y = \frac{at^2}{2}$$

(здесь  $a$  — ускорение тяжести). Связь между  $y$  и  $x$  получится, если возвести первое уравнение в квадрат и разделить почленно на второе

$$\frac{x^2}{y} = \frac{2v_0^2}{g}$$

или

$$x^2 = 2py,$$

где

$$p = \frac{v_0^2}{g}.$$

Эта зависимость представлена на графике кривой, так называемой параболой. Для того чтобы найти по методу Торричелли касательную к этой кривой в точке, координаты которой суть  $y$  и  $x$ , построим в этой точке отрезки, представляющие горизонтальную и вертикальную скорости. По Галилею, эти скорости

$$\begin{aligned} v_x &= v_0 \\ v_y &= gt = \frac{g}{v_0} x. \end{aligned}$$

Отсюда тангенс угла наклона касательной и вертикальной оси (ось параболы) будет:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0^2}{gx} = \frac{p}{x} = \frac{x}{2y}.$$

Если продолжать касательную до ее пересечения в точке  $A$  с вертикальной осью, то из данного отношения следует, что  $AO = 2y$ , и, следовательно,  $OA = y$ . Это дает простое правило для проведения касательной к параболе в любой точке.

Торричелли, используя свой метод построения касательной, показал, что касательная к эллипсу, гиперболе или параболе делит пополам угол между направлениями радиусов-векторов данной точки. Он построил касательные и к некоторым другим кривым (циклоиде и архимедовой спирали).

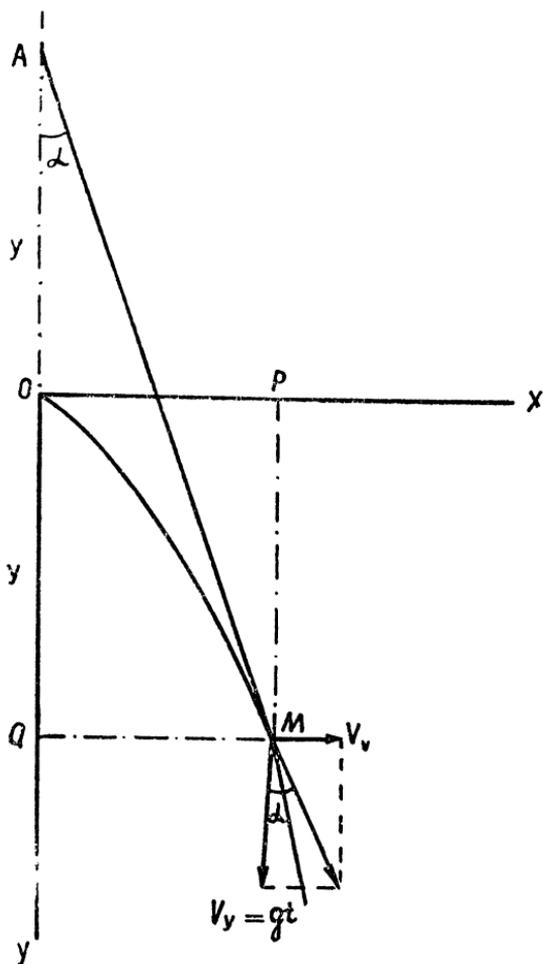


Рис. 2.

Установленное Торричелли положение, что параболические траектории имеют огибающую в форме параболы, сыграло важную роль в развитии дифференциального исчисления.

Торричелли решал и задачи, относящиеся к области интегрального исчисления, следуя опять-таки примеру Галилея,

показавшего, что путь равноускоренного движения геометрически представляется площадью графика скорости этого движения, т. е. площадью прямоугольного треугольника  $OAB$  (рис. 3), где  $OA$ —график скорости,  $OB=t$ ,  $AB=at$ . Тогда площадь

$$\Delta OAB = S = \frac{at^2}{2}.$$

Торричелли развил эту идею дальше и вычислил площади фигур, ограниченных криволинейным графиком, в частности параболой. Он вычислил также объем тела, образованного вращением около одной из ее асимптот равноугольной гиперболы (рис. 4). К области интегрирования относится также задача о спрямлении дуг кривых, т. е. вычисление длины отрезка данной кривой. Торричелли, в частности, вычислил длину дуги логарифмической спирали.

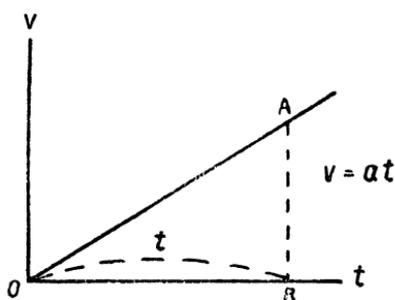


Рис. 3.

Математические исследования Торричелли являются интересным историческим доказательством того факта, что такая, казалось бы, абстрактная область знания, как высшая математика, родилась из практических потребностей развивающегося естествознания.

Наиболее замечательным результатом работ Торричелли по механике является открытие им законов истечения жидкости из отверстия в сосуде. Это

открытие, примыкающее к исследованиям его учителя Кастелли, создало ему славу основателя гидравлики.

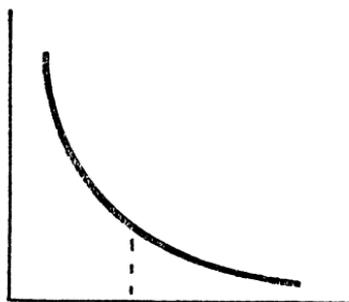


Рис. 4.

Торричелли установил, что вода, вытекающая из отверстия в боковой стенке сосуда, подчиняется законам движения брошенного тела, вследствие чего водяная струя имеет пара-

болическую форму. Струя бьет на наибольшее расстояние, если отверстие расположено в середине стенки. Расстояния, на которые бьет струя из отверстий, расположенных выше и ниже среднего отверстия, на одинаковых от него расстояниях, одинаковы (рис. 5).

Далее Торричелли установил количественные соотношения, связывающие скорость истечения жидкости с расстояниями отверстий от верхнего уровня. Он показал, что скорость истечения пропорциональна корню квадратному из этого расстояния

$$v = a\sqrt{h}.$$

Это — известная в гидравлике и гидродинамике формула Торричелли. Она была уточнена в XVIII веке братьями Иоганном и Даниилом Бернулли, придавшим ей вид

$$v = \sqrt{2gh}.$$

Следует отметить, что своим законом Торричелли исправил ошибку своего учителя Кастелли, полагавшего, что скорость истечения жидкости пропорциональна расстоянию отверстия от верхнего уровня. Торричелли показал, что два одинаковых сосуда с одинаковыми отверстиями в дне сосуда, но с разными уровнями жидкостей опорожняются в разные времена, причем

$$t_1 : t_2 = \sqrt{h_1} : \sqrt{h_2}.$$

Законы истечения жидкости, установленные Торричелли, обнаруживают очевидную аналогию их с законами движения брошенного тела. Торричелли показал, что эта аналогия еще более полная. Если сосуд имеет отверстие в дне и если разбить полное время вытекания жидкости из сосуда на равные промежутки, то количества жидкости, вытекающие за одинаковые промежутки времени, окажутся неодинаковыми.

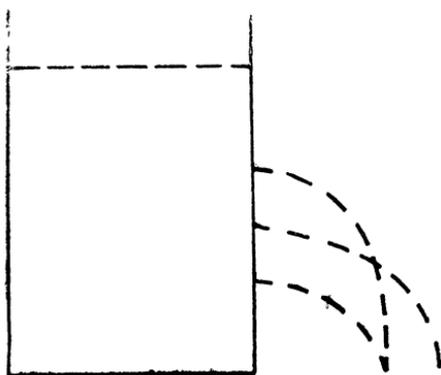


Рис. 5.

Если принять количество жидкости, вытекающее за последний интервал времени, за единицу, то за предпоследний про-

межутков времени вытекает 3 единицы, за предшествующий ему 5 единиц и т. д., возрастая пропорционально ряду нечетных чисел. По такому же закону изменяются пути, пройденные за равные последовательные промежутки времени телом, брошенным вертикально вверх. Поэтому Торричелли заключил, что фонтан, бьющий из боковой отводной трубки из водоема, никогда не может быть выше уровня воды в водоеме.

\* \* \*

Исследования Торричелли по гидродинамике привлекли впоследствии внимание Энгельса как пример ведущей роли практики в научных исследованиях. Отмечая в «Диалектике природы», что «уже с самого начала возникновение и развитие наук обусловлено производством»<sup>1</sup>, он писал: «Торричелли, Галилей,— первый, в зависимости от промышленных гидротехнических сооружений, изучает впервые движение жидкостей...»<sup>2</sup>.

В письме к Штаркенбургу, касаясь вопроса об определяющей роли производства в развитии естествознания, Энгельс писал: «Вся гидростатика (Торричелли и т. д.) вызвана была к жизни потребностью регулировать горные потоки в Италии в XVI и XVII веках»<sup>3</sup>. И действительно, именно проблема водоснабжения Флоренции привела Торричелли к его наиболее важному открытию, благодаря которому его имя ныне известно каждому школьнику.

\* \* \*

Существование воздуха известно человеку с древнейших времен. Греческий мыслитель Анаксимен, живший в VI веке до нашей эры, считал воздух основой всех вещей. Вместе с тем воздух представляет собой нечто неуловимое, как бы невещественное — «дух». В замечательном историческом очерке А. Г. Столетова «Очерк развития наших сведений о газах» приведено много выдержек из сочинений по истории философии об одухотворении воздуха древними, приписывающих ему даже разумное сознание. «Воздух есть душа, поэтому он одарен жизнью и разумом... Ибо без разума он не мог бы распределиться так, чтобы все сохраняло должную меру: лето и зима, ночь и день, дождь, ветер и ведро, все, на что ни помотришь, устроено наилучшим образом»<sup>4</sup>. И Столетов правильно заключает:

<sup>1</sup> Ф. Энгельс. Диалектика природы, стр. 145. Госполитиздат. 1952.

<sup>2</sup> Там же, стр. 146.

<sup>3</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс. Избранные произведения, стр. 484. Госполитиздат. 1955.

<sup>4</sup> А. Г. Столетов. Собрание сочинений, т. II, стр. 59 — 60. ГТТИ. 1941.

«Уже на этих первых ступенях философской мысли мы видим, какое глубокое впечатление на ум человека производила эта незримая, неосязаемая, подвижная «сфера паров», представляющая как бы переход от телесного к невещественному, сверхчувственному. С этих пор или даже раньше примесь *воздушного* в понятии о *духовном*, примесь *духовного* в понятии о воздушном стали как бы неизбежны, неиско- ренимы»<sup>1</sup>.

Тем не менее здоровый материализм древних греков преодолевал опасность идеалистического отождествления природы с духом. Древние атомисты Демокрит, Эпикур и Лукреций не сомневались в материальной природе воздуха, атомы которого, по их мнению, обладают подвижностью и круглой формой. Более того, они считали, что сама душа имеет атомистическую природу, атомы души особенно легки, малы и подвижны. Аристотель, причисляя воздух к одним из четырех материальных элементов, полагал, что воздух имеет вес, и даже думал, что ему удалось это подтвердить опытом, взвешивая «пустой» и надутый воздухом пузырь. Аристотель уже хорошо знал всасывающее действие разреженного пространства и обобщил этот факт в виде принципа «природа не терпит пустоты». Всасывающие водяные насосы, по-видимому, древнего происхождения. За 150 лет до нашей эры уже была известна пожарная машина с нагнетательным насосом. Большое количество пневматических приборов было изобретено Героном, считавшим, что воздух состоит из частиц, разделенных малыми пустотами. Однако существование больших пустот он считал противным природе и этим объяснял всасывание, действие насосов, сифонов, а также другие явления, ныне объясняемые атмосферным давлением.

В эпоху раннего средневековья представление об атмосфере высказал египетский ученый Ал Хайсама (Альгазена), живший в XI веке. Он не только знал, что воздух имеет вес, но что плотность воздуха уменьшается с высотой и этим уменьшением объяснял атмосферную рефракцию. На основе продолжительности сумерек Альгазен оценивал высоту атмосферы примерно в 40 км. Однако средневековая Европа вернулась к аристотелевской концепции четырех элементов и принципу «боязни пустоты», оставив надолго изучение физических свойств воздушного океана.

Первыми, кто практически измерил давление воздушного океана, были итальянские колодезники. Вот как об этом факте рассказывается в «Беседах» Галилея:

«Я видел,— говорит один из собеседников Сагрето,— однажды колодец, в который был помещен насос для накачи-

<sup>1</sup> А. Г. Столетов. Собрание сочинений, т. II, стр. 59 — 60.

вания воды кем-то, кто думал таким образом доставать воду с меньшим трудом или в большем количестве, нежели просто ведрами. Этот насос имел поршень с верхним клапаном, так что вода поднималась всасыванием, а не давлением, как то делается в насосах с нижним клапаном. Пока колодез был наполнен водою до определенной высоты, насос всасывал и подавал ее прекрасно, но как только вода опускалась ниже этого уровня — насос переставал работать. Заметив первый раз такой случай, я подумал, что насос испорчен, и позвал мастера для починки; последний заявил, однако, что все было исправно, но что вода опустилась до той глубины, с которой она не может быть поднята насосом вверх; при этом он прибавил, что ни насосами, ни другими машинами, поднимающими воду всасыванием, невозможно поднять воду и на волос выше восемнадцати локтей; будут ли насосы широкими или узкими — предельная высота остается той же самой»<sup>1</sup>.

Галилей считал, что предельная высота водяного столба 18 локтей (10 м) является мерой «боязни пустоты». «Так как медь в девять раз тяжелее воды, то сопротивление разрыву медного стержня, обусловленное боязнью пустоты, равняется весу двух локтей стержня той же толщины», — писал Галилей в «Беседах»<sup>2</sup>.

Другими словами, «боязнь пустоты» (т. е. сила атмосферного давления) уравнивается либо весом водяного столба в 10 м, либо весом медного столба высотой в 1,12 м, т. е. составляет, по оценке Галилея, около 1 кг на квадратный сантиметр. Таким образом практики с достаточной точностью оценили силу атмосферного давления, и подсчеты Галилея правильны, хотя интерпретация его наблюдения, сделанного итальянскими мастерами, носит еще схоластический характер. Необходимо было сделать дальнейший шаг. Его сделал Торричелли.

Следует отметить, что историки науки далеко не единодушны в оценке значения этого шага. Одни считают его гениальным, другие, наоборот, утверждают, что после подсчетов Галилея додуматься до ртутного столба не представляло никакого труда. Важно, однако, другое. Почва для великого открытия была уже вполне подготовлена в школе Галилея. Вспомним процитированное выше место из лекций Торричелли «О физике на дне водяного, ртутного и огненного океанов». Со всей ясностью о воздушном океане пишет в 1630 году в письме к Галилею Джан-Батиста Балиани. Это письмо приведено в «Очерке» Столетова, откуда мы его заимствовали:

«Я уже не разделяю обычного мнения, будто нельзя по-

---

<sup>1</sup> Галилео Галилей. Сочинения, т. I, стр. 71—72. ГТТИ. 1934.

<sup>2</sup> Там же, стр. 73—74.

лучить пустоты... Я стал верить в возможность пустоты, когда нашел, что воздух имеет заметный вес, и когда вы научили меня в одном из ваших писем, каким образом можно точно найти этот вес, хотя мне до сих пор не удалось сделать опыта. Тогда у меня возникла такая мысль. Несправедливо думают, будто бы противно природе вещей получить пустоту, но получить ее трудно; нельзя достичь и этого без большого насилия и можно найти, как велико должно быть это насилие... Чтобы лучше объяснить мою мысль, замечу, что если воздух тяжел, то разница между воздухом и водой — чисто количественная, и потому лучше говорить о воде, вес которой значительнее, ибо то же самое придется потом приложить к воздуху.

Итак, я воображаю себя на дне моря, где глубина воды десять тысяч футов; если бы не потребность дышать, то, думаю, я стоял бы, хотя и чувствовал бы себя более сдавленным со всех сторон, чем теперь... От этого давления извне я не ощущал бы другой тягости и не более чувствовал бы вес воды, чем при летнем купании в море, когда, погружаясь в воду, имею над головой десять футов воды и не ощущаю ее веса. Но если бы я не был окружен водой, которая давит со всех сторон, а был бы — не скажу в пустоте, но в воздухе, и над головой у меня была бы вода, тогда бы я ощущал ее вес и не мог бы выдерживать его, не имея соразмерной силы. Таким образом, хотя при насильственном отделении верхних частей воды от нижних не оставалась бы пустота, а входил воздух, во всяком случае нужна была бы сила для такого разделения, но сила не бесконечная, а определенная, и тем большая, чем больше глубина воды, под которой я стою. Несомненно, что стоящий на дне 10 000 футов воды считал бы невозможным сделать сказанное разделение какой бы то ни было силой... и между тем очевидно, что это в самом деле невозможно, но затруднительно по неимению силы, достаточной, чтобы разделить воду.

То же самое, я думаю, бывает с нами в воздухе: будучи на дне неизмеримой атмосферы, мы не чувствуем ни ее веса, ни ее давления со всех сторон... Но если бы мы были в пустоте, то ощущали бы вес воздуха, лежащего над головой, — вес, полагаю, весьма большой. Ибо, хотя я думаю, что, чем выше воздух, тем он легче, все-таки неизмеримость его такова, что как бы мало он ни весил, вес всего лежащего сверху воздуха оказался бы очень большим, хотя не бесконечным, а определенным; соразмерной силой можно преодолеть его и, следовательно, произвести пустоту. Чтобы найти величину этой силы, следовало бы знать высоту воздуха и вес его на всех высотах<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> А. Г. Столетов. Собрание сочинений, т. II, стр. 100—101.

Идея носится в воздухе. Торричелли приходит в голову мысль измерить вес атмосферы весом ртутного столба. Эта мысль совершенно естественна после тех рассуждений, какие приводились выше. В 1643 году по его указанию эксперимент был произведен другом Торричелли, учеником и биографом Галилея Винченцо Вивиани. Опыт оправдал все ожидания, ртуть остановилась на заданной высоте, над нею образовалась «торричеллиева пустота».

Почему Торричелли не произвел опыта сам? Он был искусным экспериментатором. Укажем здесь в связи с этим, что Торричелли сам изготовил стеклянные шарики и показал, что они действуют как сильно увеличивающие лупы (простые микроскопы). Некоторые считают, что причиной отказа Торричелли от собственноручного эксперимента явилась недостаточность средств, не позволяющая ему купить дорогостоящую в то время стеклянную трубку. Вряд ли этот аргумент состоятелен. Торричелли, будучи придворным математиком и профессором, нашел бы деньги на приобретение трубки. Позже он повторил опыт с двумя трубками (рис. 6), о чем сообщает в письме к итальянскому математику Риччи от 11 июня 1644 года, которое является единственной публикацией о знаменитых опытах. Приведем выдержки из этого письма.

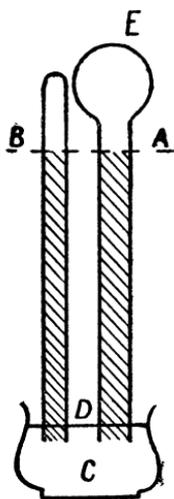


Рис. 6.

«...Многие утверждают, что пустоты вообще не существуют; другие же говорят, что получение ее достижимо лишь преодолением сопротивления природы и при том с большим трудом. Я полагаю, что во всех случаях, когда при получении пустоты явно обнаруживается противодействие, нет надобности приписывать пустоте то, что, очевидно, обусловлено совсем иной причиной. Говорю так потому, что некоторые ученые, видя невозможность отрицать факт противодействия, проявляющегося, вследствие тяжести воздуха, при образовании пустоты, не приписывают этого сопротивления давлению воздуха, а упорно утверждают, что сама природа препятствует образованию пустоты. Мы живем на дне воздушного океана, и опыты с несомненностью доказывают, что воздух имеет вес...

Нами было изготовлено много стеклянных пузырьков с трубкой длиною в два локтя; мы наполняли их ртутью, придерживая отверстие пальцем; когда затем трубки опрокидывали в чашку с ртутью, они опорожнялись, но лишь отчасти: каждая трубка оставалась наполненной ртутью до высоты локтя и одного пальца. Желая доказать, что пузырек (в верхней части трубки) совершенно пуст, подставленную

чашку доливали водой, и тогда, при постепенном поднимании трубки, можно было видеть, что, как только ее отверстие оказывалось в воде, из трубки выливалась ртуть, и весь пузырек, до самого верха, стремительно наполнялся водой. Итак, пузырек пуст, ртуть же держится в трубке. До сих пор принимали, что сила, удерживающая ртуть от естественного стремления опускаться, находится внутри верхней части трубки — в виде пустоты или весьма разреженной материи. Я не утверждаю, что причина лежит вне сосуда: на поверхность жидкости в чашке давит воздушный столб высотой  $50 \times 3000$  шагов — не удивительно, что жидкость входит внутрь стеклянной трубки (к которой она не имеет ни влечения, ни отталкивания) и поднимается до тех пор, пока не уравнивается с внешним воздухом. Вода же поднимается в подобной, но гораздо более длинной трубке во столько раз выше, во сколько раз ртуть тяжелее воды...»<sup>1</sup>.

Чтобы убедительней показать, что ртуть не удерживается никакими симпатиями или антипатиями, что форма пространства над ртутью не играет никакой роли и дело только во внешнем давлении воздуха, Торричелли поставил опыт с двумя трубками.

«Это соображение, — продолжает он в том же письме, — подтвердилось опытом, поставленным одновременно с двумя трубками *A* и *B*, в которых ртуть всегда устанавливалась на одинаковом горизонте *AB*, это вполне надежное указание на то, что сила не находится внутри (вакуума), так как большая сила должна быть внутри сосуда *AE*, в котором находится более разреженное притягивающее нечто, и она должна быть много сильнее по причине более полного разрежения, чем в очень малом пространстве *B*».

Торричелли нашел еще более важное доказательство внешней причины образования ртутного столба. Он заметил, что высота столба испытывала колебания; другими словами, давление атмосферы менялось. Трубка Торричелли была первым барометром. Его опытом началось научное наблюдение за погодой, важнейшими характеристиками которой являются давление и температура. Впрочем, эксперимент Торричелли был не безупречен. Данная им высота ртутного столба, если принять во внимание высоту Флоренции над уровнем моря, соответствует  $74,2$  см ртутного столба. Малое значение этой величины, по-видимому, можно объяснить тем, что в «торричеллиевой пустоте» оставалось еще некоторое количество воздуха. На это указывает и замечание Торричелли, что уровень ртути в его приборе изменялся не только от изменения давлений, «а и по другой причине, о которой я никогда не думал, а имен-

---

<sup>1</sup> Я. И. Перельман. Физическая хрестоматия. Вып. I. Механика твердых, жидких и газообразных тел, стр. 134—135. ГИЗ. 1924.

но от тепла и холода, и причем настолько заметно, как если бы сосуд *AE* был заполнен воздухом».

Борьба против учения о боязни пустоты не закончилась опытом Торричелли.

Гипотеза о силах, удерживающих ртутный столб, жила еще долго после смерти Торричелли. Знаменитые опыты Паскаля (1623—1662), доказавшего изменение высоты барометра с высотой и построившего водяной барометр, подтвердили выводы Торричелли. Но только изобретение воздушного насоса (Бойль, Герике) и эффективные опыты по демонстрации силы атмосферного давления, произведенные Герике, окончательно разбили концепцию боязни пустоты и похоронили представление о воздухе как о каком-то духовном начале. Герике доказал прямым опытом весомость воздуха, взвешивая откачанный сосуд и сосуд с воздухом. Этот опыт привел его к основному выводу: «Воздух несомненно является телесным нечто».

Таким образом в науке утвердилось представление о том, что воздух является одним из видов материи, которую можно удалить из занимаемого ею места и образовать «пустоту», «вакуум». Но сам этот вакуум не был метафизическим «ничто», он обладал определенными физическими свойствами, в частности способностью передавать свет. Почти через пятьдесят лет после Торричелли знаменитый голландский физик Христиан Гюйгенс, описав известный опыт с отсутствием звука в пустоте (к этому времени насос был уже усовершенствован, в том числе и самим Гюйгенсом, и снабжен тарелкой со стеклянным колоколом, из-под которого можно было откачивать воздух), сделал следующий вывод: «Из этого следует не только то, что не проходящий через стекло воздух является материей с помощью которой распространяется звук, но также и то, что свет распространяется не в самом воздухе, но в какой-то другой материи. Действительно, после того как воздух удален из колокола, свет, как и прежде, продолжает проходить сквозь него»<sup>1</sup>.

Последнее обстоятельство еще яснее доказывается знаменитым опытом Торричелли. В этом опыте стеклянная трубка, в которой удалена ртуть и в ней не остается воздуха, пропускает свет так же, как если бы в ней был воздух. «Это показывает, что в трубке находится какая-то материя, отличная от воздуха, и что эта материя должна проходить сквозь стекло или сквозь ртуть, или через оба эти непроницаемые для воздуха вещества».

Так в науку вошло представление о светоносном эфире, история которого составляет одну из самых ярких и драматических страниц в истории физики. Эта история начинается со знаменитого опыта Торричелли.

---

<sup>1</sup> Х. Гюйгенс. Трактат о свете, стр. 22. ОНТИ. 1935.

Успех опыта Торричелли означал также огромную победу нового экспериментального метода. Не случайно ученики Галилея и Торричелли основали научное содружество для опытного изучения природы — Флорентийскую академию опыта. В академии было девять членов (по числу греческих муз); среди них ученик Галилея и друг Торричелли — Вивиани, анатом Борелли, братья Буоно и другие. Труды академии вышли в 1667 году. Они представляли общий результат работы всех академиков; имена отдельных авторов в них не упоминались. В этих трудах описан барометр с чашечкой, деления которого отмечаются бусинками, первый термометр со спиртом и столбчатой шкалой, за основные точки которой были взяты наименьшая и наибольшая температуры во Флоренции. После закрытия академии в 1667 году один из академиков (Ренальдини) предложил взять в качестве основных точек термометра точку плавления льда и точку кипения воды.

Академики измеряли скорость звука, расширение тел от теплоты, изучали распространение теплоты лучами, капиллярные, электрические и магнитные явления. Они продолжали опыты Галилея с падением тел, исследовали сжимаемость воды. Их труды составили энциклопедию экспериментальной физики середины XVII века. С 1665 года начали выходить труды Лондонского Королевского общества, избравшего своим девизом: «Ничего на словах». Члены Королевского общества считали своей главной задачей опытную проверку идей, выдвигаемых учеными. Наступила блестящая и плодотворная эпоха экспериментальной науки, продолжающей свое победное шествие до наших дней.

\* \* \*

Короткая жизнь Торричелли оставила яркий, неизгладимый след в истории науки. Его математические исследования несомненно способствовали возникновению новой отрасли математики — математического анализа. Как установлено историей математики, эти исследования оказали непосредственное влияние на английских математиков: одного из основателей Лондонского Королевского общества Виллиса и учителя Ньютона — Барроу. Но это значит, что работы Торричелли сыграли свою роль в формировании научного мышления великого Ньютона. Его исследования о бросании тел положили начало внешней баллистике, увенчавшейся в наши дни успешным решением задачи о «бросании» сверхдальних снарядов в намеченную цель и задачи о выведении тел на заданную орбиту вокруг Земли. Его исследования истечения жидкости из сосуда положили начало гидродинамике, развившейся в наше время в мощную отрасль науки с важными практическими применениями.

Но венцом научного творчества Торричелли является открытие атмосферного давления. Нельзя переоценить значение этого открытия, оказавшего сразу огромное влияние на развитие науки и техники. Это открытие стимулировало создание воздушного насоса и тем самым положило начало вакуумной технике и физике вакуума.

Для современников Торричелли и его ближайших преемников открытие мощной силы воздушного давления послужило поводом для поисков возможностей использовать эту силу. Так возникли первые паровые машины, в которых использовалась сила воздушного давления, а пар служил средством получения пустоты. Как ни примитивны были эти машины, именно они возвестили о начале использования человеком «движущей силы огня».

Много тысячелетий прошло с тех пор, как человек научился использовать, а затем и получать огонь для согревания, приготовления пищи, защиты от зверей. Это был величайший шаг в развитии цивилизации. В эпоху позднего средневековья люди научились использовать силу огня для военных целей, изобретя порох. Но только гораздо позже люди научились применять огонь как источник «движущей силы», заменявшей силу людей и животных, силу воды и ветра, и тем самым открыли дорогу современной индустрии. В переживаемую нами эпоху люди добыли новый атомный «огонь», неизмеримо более мощный, чем огонь топлива и пороха.

Обращаясь к передовым людям прошлого, которые своей энергией и разумом способствовали триумфальному шествию науки и техники, современники отдадут должное одному из блестящих творцов физики Эванджелисте Торричелли.

---

### К ЧИТАТЕЛЯМ

Издательство «Знание» Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний просит присылать отзывы об этой брошюре по адресу: Москва, Новая площадь, д. 3/4.

Автор  
**Павел Степанович Кудрявцев**

Редактор **И. Б. Файнбойм**  
Техн. редактор **Л. Е. Атрощенко**  
Корректор **Л. С. Малышева**

Обложка художника **Е. Михельсона**

---

А09818. Подписано к печати 20/X 1958 г. Тираж 31 000 экз. Изд. № 194  
Бумага 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>—0,75 бум. л.=1,5 п. л. Учетно-изд. 1,55 л. Заказ 3343.

---

Типография изд-ва «Знание», Новая пл., д. 3/4

## К ЧИТАТЕЛЯМ — ПОДПИСЧИКАМ НА БРОШЮРЫ-ЛЕКЦИИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ЗНАНИЕ»

Издательство «Знание» информирует подписчиков,  
что в 1959 году будут выпускаться следующие  
10 серий брошюр-лекций:

Серия	Количество брошюр	Цена за год	Цена за полугодие
Первая — Историческая . . . .	40	24 руб.	12 руб.
Вторая — Философская . . . .	40	24 »	12 »
Третья — Экономическая . . . .	40	24 »	12 »
Четвертая — Научно-техническая . . . .	36	21 р. 60 к.	10 р. 80 к.
Пятая — Сельскохозяйственная . . . . .	32	16 р. 20 к.	8 р. 10 к.
Шестая — По вопросам литературы и искусства . . . . .	24	12 руб.	6 руб.
Седьмая — Международная . . . . .	24	14 р. 40 к.	7 р. 20 к.
Восьмая — По вопросам биологии и медицины . . . . .	24	14 р. 40 к.	7 р. 20 к.
Девятая — По вопросам химии и физики . . . . .	28	16 р. 20 к.	8 р. 10 к.
Десятая — Молодежная . . . . .	12	7 р. 20 к.	3 р. 60 к.

Подписка принимается городскими и районными отделами «Союзпечать», конторами, отделениями и агентствами связи, почтальонами, а также общественными уполномоченными по подписке на фабриках, заводах, в совхозах и колхозах, в учебных заведениях и учреждениях.

*Издательство «ЗНАНИЕ»  
Всесоюзного общества по распространению  
политических и научных  
знаний.*