

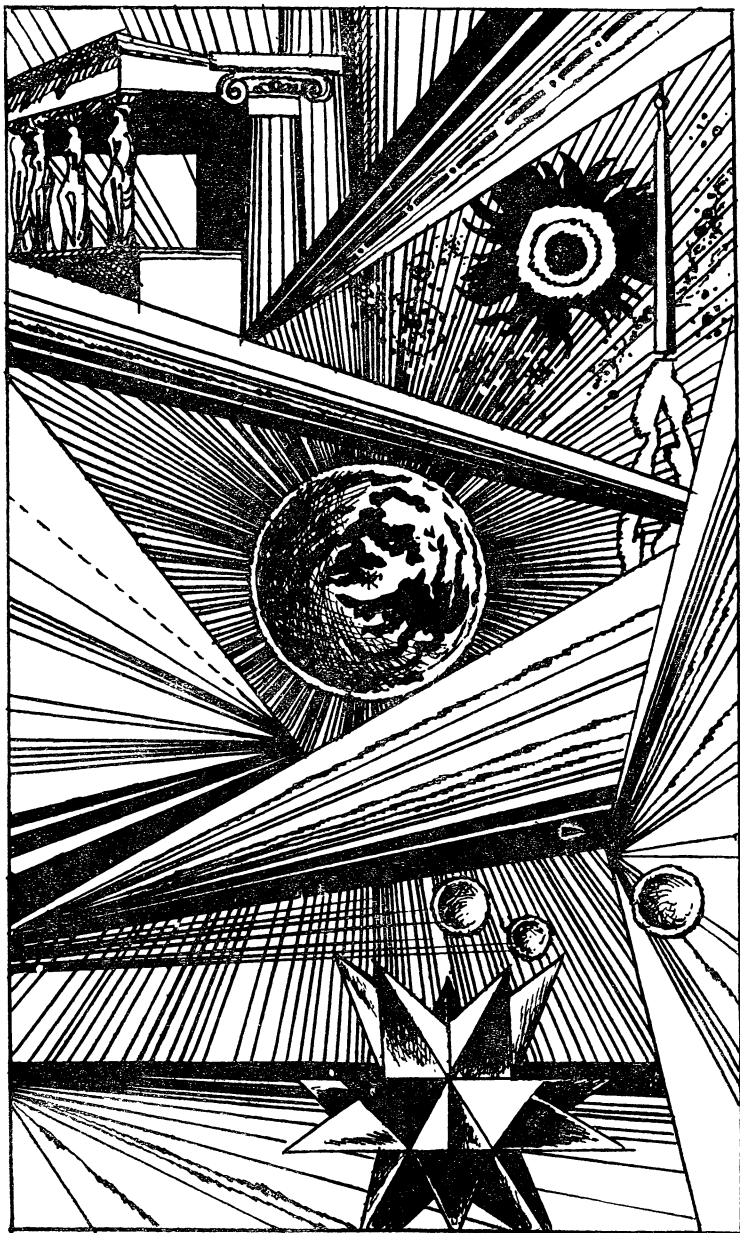
# ЖИЗНЬ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ ИДЕЙ

ЭНЕРГИЯ И ЭНТРОПИЯ—  
"ЦАРИЦА МИРА И ЕЕ ТЕНЬ".  
ВСЕ НА ЗЕМЛЕ ВОЗНИ-  
КАЕТ И РАЗВИВАЕТСЯ  
БЛАГОДАря ЭНЕРГИИ,  
ВСЕ РАЗРУШАЕТСЯ  
И УМИРАЕТ С РОСТОМ  
ЭНТРОПИИ. ЭНЕРГИЯ—  
ИСТОЧНИК И МЕРА  
ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ  
И ДЕЙСТВИЯ СИЛ,  
ЭНТРОПИЯ — МЕРА ИХ  
ПОСТЕПЕННОГО УГАСА-  
НИЯ. ПОНЯЛИ ЭТО ЛЮДИ  
ТОЛЬКО НЕМНОГИМ

Г. Н. АЛЕКСЕЕВ БОЛЕЕ СТА ЛЕТ НАЗАД...

# ЭНЕРГИЯ И ЭНТРОПИЯ

**ЖИЗНЬ  
ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ  
ИДЕЙ**



**Г. Н. Алексеев**

# **ЭНЕРГИЯ И ЭНТРОПИЯ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» Москва 1978

Алексеев Г. Н.

А47 Энергия и энтропия. М., «Знание», 1978.  
192 с. (Жизнь замечательных идей).

В книге рассказывается о тех сторонах развития общества, естествознания и техники, которые привели к формированию важнейших современных понятий «энергия» и «энтропия», к открытию законов сохранения энергии и возрастания энтропии, а также о действии этих законов в окружающем нас мире природы и техники.

А  $\frac{30301-055}{073(02)-78}$  24—78

31

6П2(09)

## Введение

### ЦАРИЦА МИРА

### И ЕЕ ТЕНЬ

---

Над всем, что совершается в беспредельном пространстве, в потоке преходящего времени властвует Энергия, как царица или богиня, озаряя своим светом и былинку в поле, и гениального человека, здесь дая, там отнимая, но сохраняясь в целом количественно неизменной... Но где свет, там и тень, имя которой — Энтропия. Глядя на нее, нельзя подавить в себе смутного страха — она, как злой демон, старается умалить или совсем уничтожить все то прекрасное, что создает светлый демон — Энергия. Все мы находимся под защитой Энергии, и все отданы в жертву скрытому яду Энтропии... Количество Энергии постоянно, количество же Энтропии растет, обесценивая Энергию качественно. Солнце светит, но тени становятся все длиннее. Всюду рассеяние, выравнивание, обесценивание...

Примерно так торжественно и пессимистично писал об энергии и энтропии один из авторов популярных книжек начала XX века.

Однако первые попытки научного определения этих понятий были предприняты немногим более 120 лет назад. Тысячелетиями же до этого люди пользовались тем что теперь называется энергией, не задумываясь над сущностью происходящего и не зная не только этого термина, но и самого понятия Энтропия же вообще находилась за пределами возможностей их созерцательного и эмпирического познания.

Наблюдая падение камня, стреляя из лука, а позже греясь у костра, древний человек не знал, что все это совершается за счет затраты различных видов некоей энергии (теперь бы мы сказали соответственно: гравитационной, упругостной и химической).

Постепенно человеческий ум стал обнаруживать между простыми эмпирическими наблюдениями частные причинные связи, потом — систематизировать их в более широкие закономерности, которые раскрывали истинную взаимозависимость событий, происходивших в окружающем мире, и сводили на нет религиозно-мистические «объяснения» их.

Все это стало возможным благодаря выделению обобщающих абстрактных определений — понятий, с которых начинается наука, — «вода», «земля», «огонь», «сила», «тепло» и т. д. Они выкристаллизовывались в сознании человека долгие тысячелетия на основе множества наблюдений, практической деятельности, развития техники и ее теории.

Процесс образования таких понятий, как «энергия», «энтропия» и связанных с ними — «сила», «работа силы», «импульс силы» (количество движения), неотделим от процесса практического развития энергетики, в котором можно наметить пять периодов.

Первый период — начало его теряется в глубине тысячелетий, конец — V—VII вв. Человек обходился мускульной силой (источником которой служила химическая энергия растительного и животного мира, поглощавшаяся с пищей), теплом Солнца, а позже — костра.

Второй период — с VIII до XVIII в. В это время были изобретены водяное колесо и ветряные крылья, в результате чего часть работы стали выполнять движущаяся вода и ветер.

Третий период — примерно с XVIII в. и до 1943 г., когда главной силой становится «движущая сила огня», а основным источником энергии — невозобновляемая химическая энергия минерального органического топлива: каменного угля, нефти, природного газа и т. п.

С 1943 г. начался четвертый, современный, период, характеризующийся овладением и все более широким использованием ядерной энергии, истощением химических энергоресурсов и загрязнением окружающей среды.

Если не будут открыты неизвестные сейчас источники энергии, то в будущем человечество ожидает, вероятно, пятый период, когда исчерпаются все невозобновляемые химические и ядерные энергетические ресурсы и придется жить в состоянии динамического равновесия, довольствуясь непрерывно возобновляющимися ресурсами: солнечным излучением, движением вод в реках и морях,

энергией ветра, теплом недр Земли и химической энергией растений.

Мускульная сила оценивалась величиной давления или тяги, то есть воспринималась в современном ее значении — как мера взаимодействия тел, например лошади и телеги. Теперь мы знаем, что чем больше сила и чем на большем пути она действует, тем большая совершается работа. Следовательно, механическая работа есть произведение силы на путь точки ее приложения (если направления силы и пути совпадают, а если нет, то надо еще умножить на косинус угла между ними). Количество работы, производимое в единицу времени, называют мощностью.

Позже стали обнаруживать новые виды взаимодействий. К ним относятся четыре элементарных — ядерные, электромагнитные, слабые (нейтринные) и ультраслабые (гравитационные) — и различные их производные. Им соответствуют свои силы и выражения работы.

Долгое время человек не выделял работу и мощность в особые понятия и обозначал их одним термином — «сила». Так, до нашего времени сохранилась единица мощности «лошадиная сила» (равная 75 килограммометрам в секунду). Эти значения «силы» стали применяться все чаще и шире, по мере того как наши предки осваивали все большее число рабочих процессов и операций: строительство жилищ, мостов, различные ремесла, обработку полей, полку зерна и т. д.

Потребность как-то оценить интенсивность механического движения стрелы, брошенного камня и т. п. привела к возникновению еще одного понятия — «количества движения», или импульса, определяемого теперь как произведение массы тела на векторную (зависящую от направления) величину его скорости —  $m\omega$ .

Когда же началось широкое использование «движущей силы огня» — появились паровые машины, в которых тепло, получаемое от сжигания топлива, превращалось в механическую работу, термин «сила» приобрел третье значение — энергии, то есть источника «деятельной силы», источника работы. Позже энергию движущейся системы, например, камня или газа, стали называть кинетической, а энергию системы, приведенной в состояние, которое позволяет получить движение, хотя такового пока и нет, — камень поднят над землей, газ сжат в баллоне — потенциальной. С открытием и исследованием по-



мимо механической других форм движения материи — электрической, электромагнитной, химической, тепловой и т. п. — энергия стала рассматриваться как их общая скалярная (не зависящая от направления) мера.

Научившись различать виды материи, формы ее движения и виды взаимодействий, естествоиспытатели и инженеры все чаще начали говорить: «механическая энергия», «электрическая энергия», «химическая энергия» и т. п. Так стихийно возникло, точно не определенное и в наше время еще одно понятие — «виды энергии». При этом было обнаружено, что где бы и какие бы ни происходили изменения в материальном мире, они всегда сопровождаются переходами энергии или превращениями ее видов.

В 1845—1847 гг. был открыт закон сохранения количества энергии при взаимопревращениях ее видов и осознана в полной мере выдающаяся роль энергии в жизни и прогрессе человечества — и ученые присвоили ей романтический титул «царицы мира». Заметив же, что все виды энергии превращаются в тепло, которое, передаваясь более холодным телам, в конечном итоге рассеивается в окружающей среде, излучаясь затем в мировое пространство, всего через 20 лет обнаружили и ее знаменитую «тень» — энтропию — меру этого рассеяния. Чем больше рассеивается, деградирует энергия, тем больше растет величина энтропии.

И энергия и энтропия — слова греческого происхождения. «Эн» означает «в» или «содержание», «эрг» — корень слова «работа», а «тропе» — «превращение». Выбирая эти термины, ученые хотели отразить в них сущность соответствующих им понятий: изменение энергии  $\Delta E = E_1 - E_2$  изолированной системы указывает максимальное количество работы  $A_{\max}$ , которое система могла бы совершить теоретически, переходя из состояния 1 в состояние 2, а изменение энтропии  $\Delta S = S_2 - S_1$  — ту часть  $Q_0 = T_0 \Delta S$  запаса энергии  $\Delta E$ , которая в реальных условиях перехода и данной окружающей среды температуры  $T_0$  превращается в тепло и рассеивается, уменьшая величину действительной работы до  $A_{\text{д}} = A_{\max} - T_0 \Delta S$ . Таким образом, можно сказать, что изменение энтропии характеризует величину «рассеяния» энергии в процессе взаимопревращений ее видов.

Различают два способа перехода энергии — совершение работы и теплообмен. Превращение видов энергии

происходит, да и то не всегда, только в первом случае, во втором же энергия переходит в неизменном виде — в виде тепла (при наличии разности температур и всегда к телам наинизшей в данной системе температуры).

Изменение энергии системы определяется только разностью ее значений в начальном и конечном состоянии перехода, в противном случае система стала бы источником энергии «из ничего», что противоречит закону сохранения энергии. Энтропия тоже есть функция состояния системы, но количество тепла  $Q = \int TdS$ , выражающее «потерю» энергии, зависит от характера совершающегося процесса, поскольку от него зависит как количество тепла, рассеивающееся вследствие прямого теплообмена системы с окружающей средой, так и количество тепла, выделяющееся и рассеивающееся вследствие трения. Поэтому в действительности получаемая работа тоже зависит от характера процесса и никогда не бывает равна максимальной, то есть изменению энергии системы. Она меньше последней на величину потерь энергии «через тепло» из-за трения и теплообмена. Но и та часть энергии, которая расходуется на совершение работы, затем тоже вследствие трения и теплообмена рассеивается в окружающей среде, еще более повышая ее энтропию. Так, вся энергия бензина, превращающаяся в автомобильном двигателе в тепло, а затем в механическую энергию, в конечном итоге рассеивается в атмосфере в результате трения кузова о воздух и колес о воздух и землю.

Поскольку все реальные процессы сопровождаются трением и теплообменом, энтропия всегда возрастает (конечно, в изолированных системах, не получающих энергии извне). Это навело некоторых ученых на мысль, что через какой-то, пусть весьма длительный, промежуток времени вся энергия, имеющаяся на Земле и в других частях Вселенной, превратится в тепло, а равномерное распределение последнего между всеми телами земной природы и Вселенной приведет к выравниванию температуры и полному прекращению каких бы то ни было превращений энергии — к «тепловой смерти Вселенной».

Эта теория не учитывала, однако, бесконечности Вселенной, где процессы рассеяния и концентрации энергии должны чередоваться во времени и в пространстве — иначе как объяснить наличие запасов энергии на Земле и в Солнечной системе? Ведь и теперь на Земле протекает естественный процесс концентрации энергии и уменьше-

ния энтропии — процесс фотосинтеза, при котором рассеянная энергия солнечных лучей превращается в концентрированную химическую энергию зеленой массы растений. В организмах же самых высокоупорядоченных на Земле систем — животных и человека — в процессе переваривания и усвоения пищи происходит дальнейшее уменьшение энтропии.

Кроме того, австрийский физик Л. Больцман на основе молекулярно-кинетической теории доказал, что закон возрастания энтропии — рассеяния энергии — неприменим к Вселенной еще и потому, что он справедлив лишь для статистических систем, то есть систем, состоящих из большого числа хаотически движущихся частиц, поведение которых подчиняется законам теории вероятностей. Возрастание энтропии таких систем указывает лишь наиболее вероятное направление протекания процессов и не исключается — более того, с необходимостью предполагается — возможность маловероятных событий — флуктуаций, когда энтропия уменьшается.

Таким образом, как сказал один физик, в гигантской фабрике естественных процессов закон возрастания энтропии выполняет роль директора, предписывающего вид и направление сделок, закон же сохранения энергии играет лишь роль бухгалтера, который сводит кредит и дебет.

Как уже отмечалось выше, формирование и развитие понятий «энергия» и «энтропия» неотделимо от практики и теории энергетики, последняя же составляет сердцевину научно-технического прогресса, протекающего в тесной взаимосвязи с политическими, экономическими, философскими, религиозными, психологическими и другими общественными явлениями. История свидетельствует, что в одних случаях эти явления задерживают прогресс, иногда на столетия, в других — ускоряют его. Борьба нового и старого, науки и суеверий, истины и лжи, добра и зла заполняет всю историю человечества и не прекращается по сей день. Поэтому изучение любых сторон развития науки и техники в прошлом, настоящем и тем более прогнозирование их будущего не может быть полноценным без анализа и учета взаимосвязи с особенностями общественного развития в соответствующие периоды. Нельзя не учитывать при этом и роль героев — мыслителей и ученых, один из которых, Демокрит, так выразил их одержимость в поисках истины: «Я бы предпочел найти ис-

тинную причину хотя бы одного явления, чем стать королем Персии». Почти через 2400 лет Ленин подтвердил эти слова: «Без человеческих эмоций, — писал он, — не бывало, нет и быть не может человеческого искания истины».

Только на этом фоне можно в полной мере проследить действительный процесс шествия Энергии и Энтропии по нашей планете. Этим мы и займемся дальше, помня, однако, что Царица мира и ее Тень были выведены из мрака неизвестности только ко второй половине XIX в. многовековыми трудами талантливейших мыслителей, естествоиспытателей и инженеров. До этого же они властвовали над природой и людьми невидимо, тайно, выступая под самыми различными именами — Сил богов и душ, Действия, Деятельности, Моменты, Импетуса (Импетуса), Работы, Количества движения, Моноад, Живых и Мертвых Сил природы и др. — или вообще безымянно.

Решающую роль в утверждении и дальнейшем развитии этих понятий сыграли труды К. Маркса, Ф. Энгельса и В. И. Ленина.

Марксистско-ленинская философия определяет материю как объективную реальность, существующую независимо от нашего сознания и отражающуюся в нем. Это определение конкретизируется и дополняется естественнонаучными данными о строении и свойствах материи, познание которых означает познание самой материи. Материя неразрывно связана с движением, пространством и временем, способна к саморазвитию, бесконечна в количественном и качественном отношении.

Имеется множество форм движения материи, которые изучаются различными науками, раскрывающими все новые ее свойства и особенности. Поэтому энергия как мера движения материи и энтропия как мера рассеяния энергии являются свойствами материи и не могут ни отождествляться с ней, ни отрываться от нее. На этой основе учение об энергии и энтропии развивается и в наши дни, успешно решая проблемы, возникающие в процессе научно-технической революции.

# ЦАРИЦА - НЕВИДИМКА

---

*Что бы ни сделал враг врагу или же  
ненавистник ненавистнику, ложно направ-  
ленная мысль может сделать еще худшее.*

*Дхаммапада, III. Глава о мысли  
(IV в. до н. э.)*

## Явился в зеркале Вселенной человек!

Земля возникла из хаоса, из случайно образовавшейся космической туманности, сгустка неравновесности — флуктуации в безбрежном океане космической материи. Ее возраст оценивают в 4,5—5 миллиардов лет. В течение 1,5—2 миллиардов лет формировалась земная кора — это период химической эволюции. Первые водоросли, бактерии и простейшие организмы появились 3 миллиарда лет назад; кораллы, губки, плеченогие, мшанки и иглокожие — 500 миллионов лет назад; папоротники и грибы — 350, насекомые — 300, рептилии (динозавры и др.) — 250, цветковые растения и птицы — 150, млекопитающие — 100 миллионов лет назад... И наконец

...стихийный вихрь событий  
Преобразил материки;  
Где бились грозные циклоны,  
Мысы подставили свои зубцы и склоны;  
Чудовищ диких род исчез; за веком век  
Слабел размах борьбы — ударов и падений, —  
И после тысяч лет безумия и тени  
Явился в зеркале Вселенной человек!

Э. Верхарн

Это произошло примерно около четырех миллионов лет назад... Но, конечно, не в один день. Процесс антропогенеза — возникновения и развития человека — занял сотни тысяч лет. И вся история, по Марксу, есть непрерывное изменение человеческой природы.

С первых шагов по Земле человек вынужден был

вступить в борьбу за существование с силами природы. Так, сила стала одним из первых представлений, а позже — и понятий, вошедших в его жизнь и начавшее пробуждаться сознание.

Первые предки человека питались тем, что могли собрать. Постепенно они обрели вертикальное положение, а с ним и руки. Этими руками, еще совсем «голыми», человек совершил первое убийство — более слабого и менее ловкого зверька — и стал охотником. Затем, заострив камень и привязав его к палке, он изобрел топор, а через некоторое время — копье, смертоносное оружие, которым пользовался много тысяч лет.

Долго не покорялась человеку всепожирающая сила огня. По некоторым преданиям, огонь был похищен у богов и спрятан в полых кусках деревьев и в камнях, поэтому его и можно было добывать трением этих предметов. «...Добывание огня трением, — писал Ф. Энгельс, — впервые доставило человеку господство над определенной силой природы и тем окончательно отделило человека от животного царства».

Поскольку вначале добывать и сохранять огонь было нелегко, появились первые его хранители, освобождавшиеся от других забот и дел. Стараясь возвыситься и упрочить свое выгодное положение, они стали постепенно «управлять» и другими «силами» и «представлять» помимо бога огня и других богов на Земле. Так появились жрецы — первые служители религий и идеологи...

Первобытный человек знал об окружающей действительности ничтожно мало, восполняя незнание верой, не требующей доказательств. В систематической форме такая вера входит в любую религию. Главным объектом фантастических представлений как раз и были «источники» сил — боги, невидимые и вездесущие, которые считались столь же реальными, как теперь энергия бензина или урана. И видимый естественный мир казался человеку лишь ничтожной частью огромного невидимого сверхъестественного мира, «управление» которым осуществлялось с помощью жертвоприношений, ритуальных танцев и т. п.

В «Анти-Дюринге» Ф. Энгельс писал, что всякая религия есть фантастическое отражение в головах людей внешних сил, господствующих над ними в их повседневной жизни, отражение, в котором земные силы принимают форму неземных. В начале истории объектами этого

отражения были силы природы, которые в процессе эволюции проходили у разных народов через самые разнообразные олицетворения. Этот первоначальный процесс прослежен при помощи сравнительной мифологии. Но вскоре, наряду с силами природы, с той же кажущейся естественной необходимостью над человеком стали господствовать общественные силы — силы так же чуждые ему и первоначально так же необъяснимые, как и силы природы. Фантастические образы, в которых отражались только таинственные силы природы, приобретают теперь и общественные атрибуты и становятся представителями исторических сил.

С огнем, который использовался пока только для технологических целей, жизнь человека резко изменилась. Появилась возможность из зерен диких злаков печь хлеб. Вскоре была изобретена первая мельница — из двух каменных жерновов, один из которых вертели вручную. Наблюдая за действием огня, человек постепенно обнаружил, что можно превращать руды в металлы, и на смену веку каменному пришел век бронзовый, а затем — железный. Научившись выплавлять золото, человек попутно открыл стекло (как побочный продукт при сплавлении золотоносного песка с содой). В Древнем Китае, Египте, а позже и в Средиземноморье искусство обработки стекла достигло высокого уровня.

Постепенно изобретались все новые и новые орудия, сначала для ловли диких зверей: гарпун, лассо, бола (ремни с грузами), накидная сеть, петля, набрасывавшаяся рукой, и другие. Наконец, наблюдения и практика привели человека к созданию самодействующих устройств, заменяющих в той или иной степени его самого, — машин. Все это позволило Б. Франклину определить человека как «животное, делающее орудия», а К. Марксу уточнить — «орудия труда с помощью орудий же».

Как мы знаем, любая машина представляет собой, по существу, преобразователь энергии. Однако различают машины-двигатели, или энергетические машины, и машины-орудия, или станки.

Немецкий этнограф Юлиус Липс (1895—1950) доказал, что первой машиной следует считать не водяную мельницу, как думали раньше, а самодействующую ловушку. По принципу действия ловушки можно разделить на четыре группы. В первой используется сила тяжести

животных (ямы), во второй — сила тяжести предметов, убивающих животных (камни, деревья), в третьей — упругостная сила отогнутой ветки, дерева (дуговые пружины), в четвертой — упругостная сила скрученных предметов. Пружинные приспособления использовались и для добывания огня, и для привода обрабатывающих машин, и... для казни рабов и военнопленных. Машинные ловушки появились 10—20 тысяч лет назад. Значит, уже тогда люди имели представление о законах рычага и умели применять их.

И только в IV в. начали строить водяные колеса, а в X — ветряные крылья, господствовавшие в энерготехнике наряду с мускулами вплоть до XVIII в., когда им на смену и в помощь пришла паровая машина. Но и в 1917 г. в России, например, работало 46 000 водяных колес, а их суммарная мощность достигала 40% всей установленной мощности в стране (за исключением железнодорожного и водного транспорта, где к этому времени уже утвердилась паровая машина, а позже — двигатели внутреннего сгорания).

Примерно 10 тысяч лет назад началось возвращение злаков и приручение животных. Возникло первое крупное разделение труда. У земледельцев появились свои сверхъестественные силы и боги, у скотоводов — свои.

Многие тысячелетия орудия для охоты, скотоводства и земледелия каждый человек делал сам для себя, но постепенно стали выделяться наиболее искусные, целиком посвящавшие себя этому занятию. Так на высшей ступени развития первобытнообщинного строя происходит второе крупное разделение труда — ремесло отделяется от земледелия.

Чем больше распространялась власть человека над природой, тем больше утверждалась и его власть над себе подобными. Начавшийся товарообмен привел к накоплению богатств в руках одних и обнищанию других. Меньшинство завладело орудиями производства и стало распоряжаться жизнью и свободой большинства. Образовались классы рабовладельцев и рабов.

У рабовладельцев появилось много свободного времени, которое можно было употребить на искусство и научные занятия, хотя в последних и не было практической потребности, ибо ничего не стоивший труд рабов не нуждался ни в облегчении, ни в повышении производительности. Один из крупнейших древнегреческих ученых



Аристотель (384—322 до н. э.) писал: «Когда оказалось налицо почти все необходимое и также то, что служит для облегчения жизни и препровождения времени, тогда стало предметом поисков... разумное мышление... Но как свободный человек, — говорим мы, это — тот, который существует ради себя, а не ради другого, так ищем мы и науку, так как она одна только свободна... она одна существует ради самой себя».

Итак, прожив на Земле много сотен тысяч лет, занимаясь охотой, обработкой земли, ремеслами, воюя, строя жилища, мосты, каналы, храмы, дворцы и гробницы своих владык, человек ни разу не притронулся к невозобновляемым источникам энергии, накопившимся в недрах Земли. Но это не помешало ему с помощью только химической энергии пищи, превращавшейся в организмах животных и рабов в механическую мускульную энергию — силу, и только таких орудий, как рычаг и наклонная плоскость, создать уникальные инженерные сооружения, вроде одного из «семи чудес света» — египетских пирамид, построенных 5000 лет назад всего за 20 лет. Самая крупная из них — Хеопса имеет высоту современного 50-этажного дома при длине 230 метров. Она сложена из 2,3 миллиона блоков, каждый весом в среднем 1,5 тонны (1,5 автомобиля «Жигули»), а самый тяжелый — 15 тонн! Щели между блоками не превышают 0,5 сантиметра, а длина сторон основания отличается всего на 2 сантиметра — 0,0009 процента! Грани пирамиды обращены точно на четыре стороны света.

Давно забыты приемы, с помощью которых были воздвигнуты столь технически и эстетически совершенные сооружения. Одно лишь ясно — строительство их потребовало огромных затрат энергии... Не случайно некоторые специалисты в последнее время стали приписывать многие творения древних таланту и силе неких «космических пришельцев».

## **От сил богов к силам душ в каждом предмете**

Говорят, что первая ступень мудрости — разоблачение лжи и только вторая — познание истины. Не удивительно поэтому, что история науки — это история самой

беспощадной борьбы. Дорога к истине пролежала через стихийно сложившиеся мистические верования и официально провозглашенные религиозные догмы, невежество одних и порочное тщеславие других, психологическую инерцию и заблуждения даже великих умов...

Если человек в донаучный период считал, что он «знает все», то наука даже в младенчестве лишала одних «знаний», других — положения, третьих — власти.

Накопление наблюдений и примет, на основе которых позже стали формироваться первые научные представления, начинается в доисторические времена. Уже несколько тысячелетий назад в восточных рабовладельческих монархиях Египта, Вавилонии, Ассирии, а также в Китае и Индии люди знали множество «секретов мудрецов», передававшихся от поколения к поколению сначала устно, а потом (с 4—5 тысячелетия до н. э.) через письмена и тесно переплетававшихся с фантастическими представлениями. Уже тогда были известны пять планет, их движение, ряд созвездий. Мудрецы умели определять периоды солнечных и лунных затмений, решать уравнения первой, второй, а иногда и третьей степени, определять площади фигур. Был изобретен календарь — год делился, как и теперь, на 12 месяцев, по 30 дней в каждом. Египетские жрецы имели немалые практические познания в химии и медицине, умели бальзамировать трупы.

Однако, несмотря на обилие собранных фактов, подняться до их обобщения и приведения в причинно обусловленную систему, то есть до создания основ науки, в те времена не могли, ибо даже мысль о возможности естественных закономерностей в природе не допускалась. Всем и вся на свете правили и двигали боги, наделенные сверхъестественными «силами».

И только греки в условиях демократии и свободы мысли, царивших в их рабовладельческих городах-государствах в VII—V вв. до н. э. (выборность администрации, свободное обсуждение любых политических вопросов, некоторая свобода языческих верований), сумели сделать первые шаги в выработке научных представлений о мире.

В многообразных формах греческой философии, писал Ф. Энгельс, уже имеются в зародыше в процессе возникновения почти все позднейшие типы мировоззрений. Поэтому и теоретическое естествознание, если оно хочет проследить историю возникновения и развития своих те-

перешних общих положений, вынуждено возвращаться к грекам. Последуем этому пути и мы.

Расцвет экономической жизни Греции начался в VI в. до н. э. на Малоазиатском побережье Средиземного моря — в городах Милет, Эфес, Смирна, на островах Хиос и Самос, которые населяли греки ионийского племени. Города эти, большую часть которых составляли купцы и ремесленники, располагались вблизи центров культуры Востока. Здесь-то, а затем и в других местах, вокруг выдающихся мыслителей стали возникать философские школы. Усомнившись в существовании богов, но не испытывая пока потребности в практических приложениях своих изысканий и не умея еще правильно ставить эксперименты, греческие мудрецы, основываясь на «философских принципах», созерцании природы и практическом опыте, стали придумывать всеохватывающие учения о природе — «натурфилософские» системы мира. Самым слабым звеном этих систем было объяснение источников и сущности действующих сил... Но греки смело и решительно старались отделить природу от мистики и объяснить ее «реальными» духовными или материальными началами, носившими часто механистический или антропоморфный характер.

Тем временем в Афинах победил демократический строй, а в Спарте — аристократы. В 449 г. до н. э. греческие города-государства выиграли войну за независимость с Персией и вступили в пору своего наивысшего расцвета.

Однако в 431 г. до н. э. между Афинами и Спартой началась Пелопоннесская война, закончившаяся через 25 лет победой Спарты, а в 379 г. до н. э. Афины были разграблены римлянами.

С середины IV в. до н. э. выдвинулась Македония. Ее царь Александр, окончательно разгромив персов, создал империю протяженностью от Балканского полуострова до Индии. Но после его смерти в 323 г. империя распалась на несколько эллинистических монархий, просуществовавших до нашествия римских легионов в 30 г. до н. э. Одна из них — царей Птолемеев в Египте с крупнейшим экономическим и культурным центром Александрией (основанной Александром Македонским) — стала новым средоточием развития науки древности (III—I вв. до н. э.). Этот период получил название «эллинистического» или «александрийского».

Самыми популярными греческими натурфилософскими школами в VII—VI вв. до н. э. были ионийская, пифагорейская и элеатская.

Ионийцы были стихийными материалистами и положили начало представлению о мире как о едином целом, в котором все явления — астрономические, физико-химические и биологические — вытекают из единого начала. При этом в основе каждой из разрабатывавшихся систем мира лежало одно «первовещество» — земля, вода, воздух, огонь или некая особая «первоматерия», — из которого под влиянием «воздействий» — тепла, холода, сухости и влажности — развивалось все. Исследовав возможные сочетания этих элементов, мы получим, ни разу не поперхнувшись архивной пылью, все натурфилософские системы того времени и даже некоторые упущенные.

У Фалеса Милетского (624—547 до н. э.) «началом всех начал» была вода, у его преемника Анаксимандра (610—546 до н. э.) — некая первоматерия апейрон (безграничный), у Анаксимена (588—525 до н. э.) — воздух, у Гераклита Эфесского (530—470 до н. э.) — огонь. В основе всех учений лежит идея развития мира, которая, например у Анаксимандра, приобретает такую конкретную форму: из влажного начала образуется вода, в ней появляются рыбы, а затем по мере «высыхания» образуется мир и другие существа — человек произошел от рыбы и вышел из воды на сушу. Основоположник диалектики Гераклит говорил: «Мир, единый из всего, не создан никем из богов и никем из людей, а был, есть и будет вечно живым огнем, закономерно воспламеняющимся и закономерно угасающим». «Очень хорошее изложение начал диалектического материализма», — писал В. И. Ленин об этом.

Примерно в то же время в городке Кротоне на берегу живописного Тарентского залива работала другая знаменитая школа — Пифагора Самосского (ок. 570—ок. 500 до н. э.), бывшего ученика ионийской школы, перешедшего на позиции идеализма. Пифагорейцы искали сущность окружающих их предметов и явлений в числах. Свойство одних чисел — справедливость, других — душа, третьих — ум, четвертых — удача и т. п. Но «нет худа без добра» — занявшись цифрами и измерениями, пифагорейцы обратили внимание на существование количественных зависимостей в мире.

В дальнейшем идеалистическое направление было

продолжено и развито Сократом (469—399 до н. э.) и его учеником Платоном (427—347 до н. э.). Сократ считал физическую природу вещей непознаваемой. Отсюда его формула «познай самого себя» и научись искусно жить — в этом твоя цель, если уж ты появился на свет. Заметим, что даже для себя он не смог использовать этот рецепт, — был приговорен к смертной казни и умер, выпив яд цукуту. Диалектика Сократа в отличие от материалистической диалектики Гераклита есть искусство достижения истины путем раскрытия противоречий в суждениях противника. Платон стал основателем объективного идеализма. Он учил, что мир вечных и неизменных идей образует истинное бытие, а мир изменчивых и преходящих вещей есть лишь тень мира идей...

Третья получившая широкую известность школа возникла в греческой колонии Элеи в Южной Италии в конце VI в. до н. э. Ее представители Ксенофан (6—5 вв. до н. э.), Парменид (р. ок. 540 до н. э.), Зенон (ок. 490—430 до н. э.), Мелисс выступали против ионийского учения о развитии и движении, указывая на противоречивость движения, пространства и времени (особенно апории Зенона) и делая из этого вывод о том, что не существует движения и множественности вещей, что бытие едино, непрерывно, неподвижно и неизменно.

Элеаты оказали влияние на так называемых младших натурфилософов-атомистов: Анаксагора (ок. 500—428 до н. э.), Эмпедокла (483—423 до н. э.), Левкиппа (ок. 500—440 до н. э.), Демокрита (ок. 460—370 до н. э.), Эпикура (341—270 до н. э.), принимавших в отличие от ионийской школы неизменность первоначального вещества, а в отличие от элейской — множественность вещей. Так, Эмпедокл (как и позже Аристотель) видел основу мира не в одном веществе, а сразу в четырех — земле, воде, воздухе и огне, из различных сочетаний которых образуется все.

Атомистическая гипотеза наилучшим образом была разработана в учении Демокрита Абдерского и его учителя и друга Левкиппа. Демокрит отверг утверждение Анаксагора о бесконечной делимости частиц и объявил, что пределом делимости является неделимая (по-гречески «атомос») частица — атом. Элементы различаются видами атомов — их формой и весом. Каждый элемент состоит из атомов одного вида, а соединения — из соединений атомов этих элементов (почти современные пред-

ставления!). Все вокруг состоит из пустого пространства и бесконечного числа атомов. Из ничего не может произойти ничего, и ничто существующее не может бесследно исчезнуть (это уже почти законы сохранения вещества и энергии!). Все атомы, по Демокриту, находятся в непрерывном движении — падении через бесконечное пространство. При этом крупные атомы падают быстрее мелких, наталкиваются на них и порождают боковые движения, или вихри, с помощью которых атомы объединяются в тела. Вихри лежат в основе образования Вселенной.

Эпикур и древние стоики Зенон из Китиона, Хрисипп и другие продолжили учение Демокрита и Левкиппа. Эпикур отрицал вмешательство богов в дела мира и видел цель философии в счастье человека, для достижения которого он считал необходимым познание природы, чтобы освободиться от страха перед богами и смертью.

Ярким популяризатором учения древних материалистов-атомистов был римский философ и поэт Тит Лукреций Кар (ок. 99—55 до н. э.), изложивший его в поэме «О природе вещей».

Таковы кратко положения учений древнегреческих мыслителей о строении материи. Сложнее обстояло дело с объяснением причин ее движения — естественной природой сил. О понятиях же «работа», «энергия» и «энтропия» даже намек найти трудно.

Несмотря на то что учения ионийцев пронизывает идея развития, эволюции, движения мира, они ничего не говорят о материальных источниках этих процессов — источниках движения.

У Фалеса мир полон богов и демонов, движущих всем. Правда, у него появляются и независимые движущие начала — «души». Движение могут вызывать только «одушевленные» предметы. Поэтому и магнит — «геркулесов камень» — имеет душу, в которой и сосредоточена его сила.

У Анаксимандра причиной возникновения и разрушения вещей является борьба противоположностей, которой, как и всем в мире, управляет неопределенная «первоматерия» — апейрон...

И только у Гераклита появляется материальный источник движения — огонь, то есть на современном языке — тепловая энергия, тепло. И движение у него объясняется стадиями развития огня. «Все обменивается на

огонь и огонь на все, как на золото товары, на товары золото». Ему, основателю диалектики, принадлежат знаменитые слова: «Все течет, все изменяется» и «никто не может дважды войти в одну и ту же реку».

Анаксагор движущим началом, силой считал «нус» — дух, разум, который сам «мельчайшее из всех вещей и чистейшее», но допускал, что простейшие движения могут осуществляться внутренними силами самой материи.

Эмпедокл разделил единственную всedвижущую силу — «нус» на две: силу любви (притяжения) и силу вражды (отталкивания). Это соответствовало тому пониманию любви, которое существовало тогда у греков. Герои древнегреческих драм Эсхила, Софокла, Еврипида и других одновременно неистово любят и неистово ненавидят одного и того же человека.

Демокрит с Левкиппом отвергали любые силы, лежащие вне атомов. Атомы же двигались у них под действием собственных «сил» — некоей прародительницы атомной энергии.

У идеалистов всем правят и движут как будто бы «идеи», «дух», но и они приближаются к материалистическим понятиям. Так, например, Платон, пытаясь создать в противовес механистической системе жизни и мира Демокрита и Левкиппа свою — «математическую», определяет характер всего существующего как способность действовать. Через 2100 лет Лейбниц скажет: «Действительно лишь то, что действует», а Оствальд в 1895 г. напишет еще точнее: «Наши органы чувств реагируют лишь на разницу энергий между ними и окружающей средой».

Таким образом, древние мыслители в той или иной степени подошли к законам сохранения вещества и «силы» (энергии), ввели представление о строгих причинных связях в природе, заложили основы диалектики и теории познания (движения от чувственного восприятия через мышление к открытию причинных связей). В атомизме древних содержалась основа механистического мировоззрения, развившегося в XVII — XIX вв.

Важную роль в формировании «земных» понятий «энергия» и «энтропия» сыграли представления о строе-нии Вселенной, без которых не обходилась ни одна натур-философская система. Платон даже создал учение о «параллельности» всего происходящего в космосе и на Земле: положение и ход планет определяют как судьбы отдельных людей, так и все события на Земле. Например,

течение крови в организме человека подобно обращению небесных светил и является круговым процессом; металлы находятся в некоторой связи с определенными планетами и т. п.

По Фалесу, Земля еще плавает в воде как дерево. Анаксимандр придает ей форму низкого цилиндра и помещает в центре Вселенной, где ее опоясывают три огненных кольца — солнечное, лунное и звездное.

Пифагорейцы, поскольку шар «самая совершенная» геометрическая фигура, объявили Землю шаром, вращающимся вокруг Центрального Огня вместе с Солнцем, Луной, Противоземлей и другими планетами. Без «Противоземли» число мировых сфер — Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, Солнце, Луна, звезды, Земля — не достигало «совершенного числа» десять, а также затрудняло объяснение затмений...

Вскоре, однако, Гераклит и пифагореец Экфант сделали Землю центром Вселенной, а вращение сфер объяснили вращением Земли вокруг своей оси. Анаксагор делает шаг назад — у него Земля уже не движется, а покоится в центре Вселенной. Солнце, планеты, звезды — раскаленные массы, удерживаемые от падения только вращением небосвода. Аристотель потом ловко перемещает эти учения, поместив Землю-шар тоже в центре Вселенной.

И уже тогда была предложена, первая и последняя до Коперника, гелиоцентрическая система мира, по которой в центре Вселенной располагалось Солнце, а вокруг него двигались планеты и звезды; Земля делала один оборот вокруг Солнца за год и один суточный оборот вокруг своей оси. Замечательно, что к этой системе ее автор Аристарх Самосский (ок. 320—250 до н. э.) — астроном, пифагореец, работавший некоторое время в Александрии, — пришел не случайно, а в результате вычислений расстояний от Земли до Солнца и Луны и размеров этих небесных тел (сказалась школа Пифагора!). Однако никто эту систему не признавал, и Копернику пришлось ее снова открывать через 1800 лет, а Бруно и Галилею вести отчаянную борьбу за ее утверждение в тяжелые времена инквизиции и схоластики.

Заметим в заключение, что «свободная» языческая религия и рабовладельческая демократия тоже не прощали упорства в отстаивании научных взглядов, придавая им ту или иную политическую окраску. Так, смерт-



ный приговор «за безбожие» был вынесен Анаксагору; немалых трудов стоило архистратегу — правителю Афин Периклу, ученику Анаксагора, заменить учителю казнь ссылкой. Пифагор, по одним преданиям, был убит в политической схватке, по другим — бежал в Метапункт и там в храме Муз уморил себя голодом. Сократа казнили за то, что его учение было признано опасным для афинской демократии. Когда же к власти в Афинах пришла аристократия и снова боги выступили как творцы существующего порядка, были признаны ложными, смешными и еретическими учения Гераклита, Демокрита и других материалистов; многих судили, а Демокрит, Аристарх Самосский (позже) и другие избежали трагической участи, покинув родные места. Эмпедокл, как пишет Гораций, бросился в пылающее жерло вулкана Этны, чтобы прослыть божеством... И даже великий Аристотель — учитель великого Александра Македонского, получив стандартное обвинение в «оскорблении богов», под угрозой смерти бежал из Афин и закончил жизнь в изгнании, покинутый и забытый всеми...

## **Энергия и ...прогулки, затянувшиеся на 2000 лет**

Впервые слово «энергия» появляется как будто бы в трудах Аристотеля. Однако его сочинения так часто переписывались, переводились, пересказывались и комментировались, что уверенно утверждать авторство Аристотеля нельзя. Тем более что ни ясного определения, ни математического выражения, ни широкого применения это понятие у него не имело, а представляло лишь некое «активное», «деятельное» начало.

В то бедное техникой время чаще всего приходилось иметь дело с силой тяжести и силой трения, которые зависели от веса тел. Одним из колоритных образцов этой техники были подъемные машины в театрах для опускания на сцену богов (отсюда «бог из машины» — искусственный бог). Боги в виде людей или макетов появлялись в конце спектаклей и разрешали конфликты.

При опускании и подъеме грузов имело значение время, а следовательно, и скорость. Поэтому у Аристотеля величина «действия» или «действующей силы»  $F$  пропор-

циональна весу движимого тела  $P$ , пути, на который оно передвинуто  $l$ , и обратно пропорциональна времени этого передвижения  $\tau$ , то есть  $F = f\left(\frac{Pl}{\tau}\right) = f(P\omega)$ , где  $\omega = \frac{l}{\tau}$  скорость.

Теперь эта величина называется мощностью, но и тогда эта «сила», по-гречески *dynamis*, переводилась на латынь как *potentia*, с латыни на французский язык как *puissance*, а с французского на русский как мощность. Отсюда и «лошадиная сила» — единица мощности.

Но дело в конце концов не в словах. Пусть бы эта величина называлась силой, а не мощностью, изменить терминологию несложно. Дело в том, что аристотелево определение силы стало источником многих ошибочных выводов. Так, если сила равна нулю, то и скорость будет нулевой. Но это противоречит очевидному факту: выпущенная из лука стрела продолжает лететь, хотя сила тетивы на нее уже не действует. То же можно сказать и о камне, выпущенном катапультой.

Это очевидное несоответствие Аристотель обходит так: стрелу несет воздух, приведенный в движение спущенной тетивой, а камень толкается воздухом, заполняющим пустоту, образующуюся за ним. Для подкрепления этой аргументации выдвигается принцип «природа боится пустоты».

Из того же определения «силы» получается, что тела большего веса должны падать на Землю с большей скоростью. Надежно доказать ошибочность этого положения удалось только через 2000 лет Галилею.

Однако еще при жизни Аристотеля многие понимали ошибочность толкования им «силы», во времена же эллинизма оно было заменено другим, близким к понятию «работа» (или более позднему — «живая сила», о котором речь дальше). Из аристотелевой формулы новое определение получается, если зачеркнуть в знаменателе время  $F = f(Pl)$ . Движение же тела многие объясняли сообщением ему в момент трогания с места «движущей силы»; когда эта «сила» израсходуется, движение прекратится.

Несмотря на это и множество других ошибочных, а иногда и просто нелепых положений, учение Аристотеля, пережив периоды некоторого забвения и почти тотального распространения, господствовало в умах людей 2000 лет! Этот поразительный факт заставляет нас ближе по-

знакомиться с основами этого учения, относящимися к нашей теме, а также с личностью его творца — сына своей эпохи, активного участника далеких событий.

Современники, а за ними и историки свидетельствуют, что Аристотель имел тощие ноги, маленькие глазки, шепелявил и выделялся своими нарядами, кольцами и прическами. Речи его были насыщены сарказмом, и, по словам Ф. Бэкона, он, «подобно восточным деспотам, душил своих противников». Родился Аристотель в городе Стагире (отсюда прозвище «Стагирит») на севере Греции в семье врача, ставшего вскоре придворным лекарем македонского царя Аминта. После смерти отца, оставившего значительное состояние, семнадцатилетний Аристотель отправился в школу Платона в Афины, где провел 20 лет — до смерти учителя. Это, впрочем, не помешало ему позже провозгласить: «Платон мне друг, но истина дороже!»

Царь Македонии Филипп II поручил Аристотелю воспитание сына Александра, который впоследствии говорил: «Я чту Аристотеля наравне с моим отцом потому, что если отцу я обязан жизнью, то Аристотелю — всем тем, что дает ей цену». Правда, после вступления на престол в 336 г. до н. э. Александру, видимо, стало не до Аристотеля... Через три года он двинул свои армии в первый поход против персов, и Аристотель вернулся в Афины. Здесь, вблизи Афин, в Ликейоне, он создает школу (отсюда в России и других странах появились позже «ликеи», превратившиеся затем в «лицей»), ставшую крупнейшим просветительским центром, который просуществовал около 800 лет! Учеников этой школы, а в дальнейшем и всех последователей, толкователей и комментаторов Аристотеля называли «перипатетиками», что по-гречески означало «прогуливающиеся», поскольку Аристотель любил вести занятия и споры, прогуливаясь по аллеям Ликейонского парка.

Аристотель написал 28 книг: «Физика» (8 книг), «Метафизика», «Категории», «Этика», «О душе», «Афинская политика», «Аналитика», «Поэтика», «О возникновении животных», «Органон» (логика), «Проблемы механики» (этот труд, по последним данным, написан одним из его учеников в III в. до н. э.) и другие, положив тем самым начало разделению наук и не оставив без объяснения ни одного вопроса ни в одной области.

Он учил своего сына во всем придерживаться золотой

середины, поэтов — не копировать жизнь, а «организовывать» ее, мыслителей — системе логики, ученых — методологии науки (для каждой науки свои постулаты, аксиомы и т. д.). Имея 28 книг Аристотеля, человек освобождался от необходимости самостоятельно думать, а нуждался лишь во времени для их зазубривания. Однако из-за объема трудов, запутанности и ошибочности многих положений на это не хватало целой жизни. Поэтому и появилось так много пересказчиков и комментаторов Аристотеля...

Хотя в сочинениях Стагирита объединены учения многих натурфилософов, в них нет рациональных «зерен», равных по масштабу диалектике Гераклита, атомизму Демокрита, гелиоцентрической системе Аристарха Самосского и т. д. Более того, эти зерна были им начисто вытравлены. Поэтому столь длительную популярность учения Аристотеля можно объяснить только уникально сложившимися историческими условиями, когда жизнь людей была целиком заполнена религиозными и политическими страстями да борьбой за существование или обогащение.

К тому же обилие наблюдений природы, внешне логическое изложение материала, всеохватываемость рассуждений, в которых идеализм переплетался с материализмом, восхищали инертное большинство ученых-догматиков, и они яростно защищали Аристотеля от выпадов мыслящих одиночек, особенно после канонизации его учения церковью в XIII в.

Аристотель считал, что только опыт и наблюдение снабжают нас материалом, из которого могут быть выведены общие принципы; логика лишь инструмент, придающий науке форму. Цель естествознания состоит в объяснении того, что верно наблюдалось нашими органами чувств. Однако из-за низкого уровня науки и техники того времени эксперимент сводился к простейшему повседневному опыту, наблюдение — к результатам прямых ощущений, а объяснение — к «здравомыслящим» или теологическим рассуждениям. Количественные характеристики почти не применялись; техника измерений находилась в зачаточном состоянии. В результате эти великие истины выродились в голословную декларацию, потонувшую в потоках умозрительных разглагольствований, и их пришлось заново открывать и отстаивать в XVII в. Гильберту, Галилею, Ф. Бэкону и другим.

Аристотель ополчился на идеализм своего учителя Платона, но именно в объяснении природы сил и движений остался, как мы увидим дальше, на позициях идеалистов и мистиков.

В основе всего сущего у него, как и у Эмпедокла, лежат земля, вода, воздух и огонь. Однако эти начала сами образуются из одного основного вещества — первоматерии путем воздействия на него сухости или влажности, тепла или холода. Так, под действием тепла из воды получается воздух, при охлаждении же из воздуха выпадает туман; земля и камни образуются, если высушивать воду.

Основное вещество пассивно, и для возникновения конкретной вещи его надо соединять с активным началом — формой, которая превращает возможность в действительность. Этот процесс тоже есть движение.

Началам свойственно стремление к «своим местам». Поэтому в центре Вселенной находится самое тяжелое начало — земля, над нею — вода, затем — воздух и, наконец, самое легкое — огонь. Эта «теория» завела механику жидкостей в тупик, ибо получалось, что вода не может оказывать давление на землю, а воздух — на воду и на землю.

Широко толкуя движение, Аристотель различает в нем пять начал:двигающее, движимое, направление, исходную точку и цель. Цель определяет вид движения: возникновение, разрушение, рост, уменьшение, качественное изменение и перемещение. Последнее бывает тягой, толчком, вращением или перемещением.

Как и его предшественники, Аристотель учит, что существующая «первоматерия» не может быть ни увеличена, ни уменьшена — материя не возникает снова, но и не исчезает, она лишь способна к изменениям. Поэтому никакой род движения не способен производить материю; тем более что и существующее в природе движение не может ни возникать, ни пропадать — оно бессмертно. Таким образом, задолго до Декарта (1620), Ломоносова (1750), Лавуазье (1770) и Майера (1842) Аристотель, хотя и умозрительно, априорно, но выдвинул принцип вечности материи и движения (энергии).

«Естественные» движения происходят сами собой, когда тела стремятся к «своим местам», на Земле к ним относятся только движения тяжелых тел вниз и легких вверх; круговые движения небесных тел тоже естествен-

ны, они совершенны и вечны. Для обоснования последнего положения Аристотель придумал пятое начало — эфир, из которого состоит небо и которому так же свойственно круговое движение, как земным телам — прямолинейное. Все остальные движения «насильственные», они вызываются толчком или давлением и прекращаются, когда исчезает вызвавшая их причина — сила.

Движение небесных тел осуществляется неким Перводвигателем — Душой Вселенной (позже ее место занял христианский бог). В противоположность Земле, где все меняется, в небе все неизменно и совершенно. Поскольку Земля состоит из самого тяжелого начала, она не может двигаться и покоится в центре Вселенной. Шарообразность ее естественна, так как все тела стремятся к ее центру как средоточию Вселенной. Вокруг Земли расположены сферы небесных светил: ближайшая — Луны и самая удаленная — неподвижных звезд. Сферы вращаются вокруг Земли вместе с закрепленными на них светилами. Небо и сфера неподвижных звезд, которая по природе своей движется равномерно и вечно, состоит из чистого эфира. Движению же планет не хватает строгой правильности, поскольку их вещество смешано с земными частями. Тепло и свет, исходящие от небесных тел, возникают от трения их о воздух, но поскольку тела вращаются вместе со сферами, то раскаляются не они, а воздух и притом сильнее всего в том месте, где находится Солнце...

Несмотря на внешнюю логичность, эта «космогоническая система» была одной из самых отсталых даже для эпохи Аристотеля.

Итак, тело, способное совершать лишь насильственное движение, без действия силы покоится. По существу это есть первая половина закона инерции, вторая же — «или сохраняет равномерное прямолинейное движение» — будет окончательно установлена только Ньютоном после трудов таких выдающихся мыслителей, как Леонардо да Винчи, Галилей, Декарт, Гюйгенс, и других.

Сила, по Аристотелю, необходима не только для возникновения и поддержания движения тела, но и для изменения его скорости. Однако ее величина пропорциональна не быстрой изменению скорости — ускорению (как покажет Ньютон), а величине скорости... В сочине-

нии же «О небе» Аристотель в качестве меры «силы» дает произведение «тяжести на скорость» и указывает, что тела, у которых эти произведения равны, обнаруживают равное действие. Таким образом, уже у Аристотеля появляется намек и на вторую (после энергии) меру движения — количество движения, или импульс, хотя он считает их «мерой силы».

Не прошел Аристотель (или кто-то из его учеников, которым приписывается авторство трактата «Механические проблемы») мимо проблемы о различии действия давления и удара, вокруг которой развернутся споры в XVII—XVIII в. Однако определенного ответа на этот вопрос он дать не сумел.

В указанном трактате, вероятно впервые, вводится термин «механика», что по-гречески буквально значит «хитрость», а в переносном смысле — свод приемов, мастерство, позволяющее преодолевать естественный ход вещей в природе на пользу людям.

В результате рычаг выдвигается как основа механических устройств: весов, весел, рулей, мачт с парусами, клина, пращи, зубо-врачебных щипцов и щипцов для раскалывания орехов и т. д. При этом статические задачи рассматриваются как бы с динамических позиций. Так, сравнивается движение равноплечего и неравноплечего рычагов вокруг точки опоры. При этом отмечается, что у последнего длинное плечо описывает дугу большого круга, а короткое — малого. Отсюда делается вывод: поскольку большее плечо делает большее движение, им можно поднять больший груз.

Таковы воззрения Аристотеля и его учеников в области механики. Несмотря на ошибочность многих из них, мы видим, как уже в те далекие времена, пусть в зародыше, но возникают основные понятия, положения, вопросы и проблемы, над которыми через 2000 лет придется снова работать, чтобы довести механику до современного состояния. К ним относятся понятия скорости, силы, работы, двух мер движения — количества движения и энергии, принцип инерции (покоя), закон сохранения «сил».

Для нашей темы представляет также интерес определение Аристотелем теплоты. Древние атомисты считали теплоту субстанцией (так же как и звук, магнетизм, цвет), у Аристотеля же теплота — движение частиц. С другой стороны, будучи основным свойством огня, она

присуща всем телам. Поэтому он различает два рода тепла — собственное и постороннее.

Как уже говорилось выше, закончил Аристотель свою жизнь трагически. Спасаясь от приговора антимакедонской партии — «смерть за оскорбление богов», — он бежал из Афин, дабы «избавить сограждан от вторичного (после казни Сократа. — Г. А.) преступления против философии». Самоизгнанник поселился в Халкиде на острове Эвбее, где вскоре и умер на 63 году. Труды его сохранялись некоторое время в пещере около дома, а потом были переданы в Александрийский музей. Правда, подлинные его рукописи туда не попали, а были позже привезены Суллой в Рим и размножены в 70 г. до н. э.

Любопытно, как бы развивалась наука в последующие 2000 лет, если бы его сочинения погибли? Ведь «поповщина убила в Аристотеле живое и увековечила мертвое» (В. И. Ленин). И в течение многих столетий людям пришлось страдать под этим духовным игом, навязанным церковью всему христианскому миру, а трезвым мыслителям — отчаянно бороться против него, растрачивая понапрасну силы и не достигая ничего. С другой стороны, и основной внешний двигатель науки — производство все это время тоже топталось на месте, довольствуясь источниками энергии и другими производительными силами, которые существенно не менялись тысячелетия. Следовательно, и без Аристотеля в сложившихся исторически условиях жизни общества наука, не имея стимулов для развития, вряд ли сделала бы заметные шаги вперед.

## **«Дайте мне точку опоры, и я подниму Землю!»**

После развала греческой империи Александра Македонского на историческую арену вышел Рим. В результате трех Пунических войн (264—146 гг. до н. э. с перерывами) с торгово-промышленным Карфагеном, использовавшим наемников, под власть земледельческого Рима с хорошо организованной армией подпали почти все страны Средиземноморья — образовалась Римская империя.

Усложнилась экономическая и политическая жизнь. Давно копившееся недовольство рабов прорвалось в 73—71 г. до н. э. крупнейшим восстанием под руководством Спартака. Совершенствуется военная техника: стенобитные машины, катапульты, баллисты, стрелометы и т. д.



Спартанский полководец назвал их «могилой солдатской доблести». В войсках появляются инженерные службы, возникает техническая литература.

Естественно, что в этих условиях происходит дальнейшее накопление знаний и делаются попытки обобщения их, но уже не в форме всеобъемлющих натурфилософских систем, а по отдельным наукам. Происходит также отделение естественных наук от философии, которая в этот период приходит в упадок, за исключением атеистической философии Эпикура и Лукреция.

Заметим, кстати, что уже Эпикур — почти современник Аристотеля — отрицал его принцип «природа боится пустоты». Пересказывая Эпикура, Лукреций пишет: «Составляют природу две вещи: это, во-первых, тела, во-вторых же, пустое пространство. Действовать иль подвергаться воздействию тело лишь может, быть же вместилищем тел может только пустое пространство». Отсюда Эпикур приходит к важнейшему антиаристотелевскому выводу: все тела в пустоте должны двигаться с одинаковой скоростью, так как «ничто не сталкивается с ними».

В этот период становится все более модным увлечение формализмом, логическими математическими построениями, а деятельность, связанная с практическими задачами, презируется. Поскольку практика, низкий уровень техники не выдвигали научных проблем, а возможности умозрительного построения систем мира были исчерпаны, взоры мыслителей стали чаще обращаться к небу, где все было загадкой и вместе с тем легко поддавалось математической обработке без знания физического смысла. Так земная физика и механика стали еще активнее, чем у древних греков, «переноситься на небо». В Александрии работал упоминавшийся выше первый творец гелиоцентрической системы Аристарх Самосский. Немало важных астрономических наблюдений было сделано директором Музея\* Эратосфеном (по преданию, рано уморившим себя голодом из-за внезапно наступившей слепоты) и особенно Гиппархом, составившим каталог 1022 звезд, непревзойденный до Тихо Браге (XVI в.).

Именно по сочинениям Гиппарха, применявшего для своих астрономических исследований распространенные в то время представления механики, было установлено, что аристотелево объяснение движения тел тогда уже

---

\* Храм Муз — крупнейший научный центр эллинизма.

многими не признавалось. Считалось, что не воздух, а некое активное начало — «двигатель» сообщает вылетающему камню «силу», которая поддерживает его движение, пока не израсходуется.

Александрийские астрономы, обнаружив множество несоответствий в системе мира Аристотеля, вместо того чтобы отказаться от нее, стали вносить поправки и усовершенствования. Особенно в этом преуспел Клавдий Птолемей (II в.), создавший законченную геоцентрическую систему мира, изложенную в 13-томном «Общем обзоре», который позже арабы почтительно называли «Ал-гаместом» — «Великим построением». Понадобилось более 1400 лет, чтобы разрушить это «построение» и привести теорию в соответствие с действительностью. Удивительно, что сам Птолемей не раз указывал на возможность движения Земли и объяснял ее неподвижность в своей системе желанием дать описание звездного неба, каким оно кажется с Земли. За такую оговорку в средние века он мог бы поплатиться жизнью...

Нельзя не упомянуть здесь и о выдающемся математике древности, тоже александрийце, Евклиде (V—IV вв. до н. э.), труды которого сыграли огромную роль в развитии методологии науки, а значит, и в формировании ее понятий, включая и такие, как сила, работа, энергия, импульс и т. п. В своих «Началах» он не только обобщил все, что было сделано до него в области математики, не только разработал систему элементарной геометрии, изучаемую и ныне, но и впервые создал тщательно обоснованную систему дедуктивных рассуждений — от общего к частному, которой потом следовали крупнейшие математики, механики, физики и даже философы. Дедуктивное построение наук и теперь считается наилучшим, поскольку наиболее полно и ясно раскрывает логику, содержание и возможности каждой науки.

«Начала» Евклида оказали сильное влияние и на великого Архимеда (287—212 до н. э.) — ученого из города Сиракузы, о котором один из консулов Рима — оратор, юрист, писатель, учитель Юлия Цезаря — Цицерон сказал, что «его гениальность несовместима с человеческой природой». Получив хорошую подготовку дома у отца, занимавшегося астрономией и бывшего в родстве с царем Гиероном (правившим Сиракузами с 269 по 215 г. до н. э.), Архимед отправился учиться в Александрию. Там он быстро приобрел такую популярность, что его

стали называть «альфой», то есть первым, удостоив директора Музея Эратосфена лишь звания «беты» — второго.

В отличие от многих ученых того времени Архимед сознательно строил свои исследования на основе сочетания опыта, наблюдения, дедуктивной логики и евклидовой математики. По этой методике им созданы научные теории: равновесия рычага и вообще твердых тел, плавления тел и т. д., изложенные в сочинениях «О равновесии плоских тел, или о центре тяжести плоских тел», «О плавающих телах» и других, дошедших до нас. Понятие «центр тяжести» введено Архимедом и им же разработана методика определения центров тяжести плоских фигур.

Ход рассуждений у Архимеда так же строг и логичен, как и у Евклида. Сначала он формулирует ряд постулатов или аксиом, а затем, часто прибегая к геометрическим методам, доказывает теоремы.

Так, в основу теории равновесия он кладет семь постулатов, часть из которых использует для вывода закона рычага. Доказав несколько вспомогательных теорем, Архимед доказывает основную — закон рычага для соизмеримых грузов: «Соизмеримые величины уравниваются на длинах, которые обратно пропорциональны тяжестим».

Восклицание Архимеда «Эврика!» («нашел!»), додумавшегося, сидя в ванной, до того, как проверить честность мастера, отлившего царю золотую (ли?) корону, стало крылатым. Но эта мысль послужила основой для дедуктивных рассуждений, приведших его к открытию знаменитого закона гидростатики: тела более легкие, чем жидкость, выталкиваются из нее с силой, равной превышению веса жидкости, взятой в объеме этих тел, над весом самих тел; а тела более тяжелые, чем жидкость, опускаются на дно сосуда, теряя в весе столько, сколько весит жидкость, взятая в объеме этих тел.

Как мы помним, у Аристотеля «сила» выражалась произведением веса тела на скорость его движения — можно сказать, «динамически». Архимед же строил свои машины на основе принципа рычага, который он вывел теоретически, исходя из теории равновесия — статики. Отсюда и «сила» у него равна произведению веса тела на пройденный им путь, что в наше время означает

работу. Таким образом, если у Аристотеля толкование «силы» (точно — мощность) ближе к понятию «энергия», то у Архимеда — к понятию «собственно силы».

Блестяще развив на основе принципа рычага теорию умножения сил — главную проблему того времени, — он реализовал ее почти в 40 изобретениях: полиспасте, водоподъемном винте, военных машинах и т. д.

Слова, вынесенные в заголовок этого рассказа, он будто бы произнес, когда сумел один с помощью сложной системы простых механизмов спустить на воду корабль — триеру, чего не смогли сделать силой мышц 300 человек.

Более того, он изобрел и построил знаменитую «Сферу» — механический планетарий, воспроизводивший движение небесных тел и даже затмение Солнца Луной. Цицерон, увидев «Сферу» через 150 лет, был настолько восхищен, что дал ее описание в ...философско-политическом труде «О государстве»! Предполагается, что она приводилась в движение пневматическим или паровым двигателем.

Сенсационный успех имели построенные Архимедом на основе научных изысканий приспособления и машины, использованные во время обороны Сиракуз от римлян в 215 г. до н. э. С их помощью жители обрушивали на врага со стен города град камней и стрел, не подпускали стенобитные машины и опрокидывали парусники и галеры. Римские солдаты обращались в бегство, завидев на стене бревно или веревку. В результате осада продолжалась 8 месяцев! Древний историк Полибий пишет: «...так велика была сила одного человека, так велико действие его гения! При тех значительных силах, которые осаждали город с суши и с моря, он должен был попасть в руки римлян при первом же нападении, не будь в Сиракузах этого старца».

Хотя легенда о сожжении Архимедом римских кораблей с помощью зажигательных зеркал подвергается сомнению, эксперименты 1973 г. подтвердили в принципе такую возможность.

Погиб Архимед, как и жил: погруженный в решение очередной задачи, он отказался следовать за римским солдатом, посланным главнокомандующим Мерцеллом, и солдат вонзил ему в спину меч. «Сфера» вместе с некоторыми другими машинами-трофеями была передана в

римский «Храм доблести», где хранилась на удивление потомкам 500 лет...

## Рождение «движущей силы огня»

Владыка мира Рим, сотрясаемый политическими, военными и религиозными столкновениями, довольствовался производительными силами, почти ни в чем не изменившимися за многие столетия рабского труда. Пример Архимеда, продемонстрировавшего выдающиеся возможности математизации науки и ее связи с практикой, не был подхвачен — общество оказалось к этому неподготовленным. Оригинальные труды и мысли становятся редкостью — изучение «мертвой» природы, когда вокруг клокочет бурная, играющая страстями жизнь, мало кого увлекает. Зато пышно расцветает шарлатанство — астрология и магия...

В 30 г. до н. э. после захвата римлянами Египта заканчивается второй после древнегреческого — александрийский, или эллинистический, период расцвета науки и культуры.

Император Август (63 г. до н. э. — 14 н. э.) установил военную диктатуру и фактически пользовался монархической властью, хотя и сохранял формально республиканские учреждения. Не желая терпеть свободомыслия александрийских ученых, он стал искать идеологическую опору своему режиму в прошлом, у древних греков, тем более что незадолго перед этим одиннадцатый преемник Аристотеля по Ликею Андроник Родосский размножает труды учителя, привезенные Суллой в Рим в качестве военной добычи. Так, после почти 200 лет забвения начинается новая волна интереса к аристотелевской натурфилософии, а достижения александрийского периода становятся чуть ли не крамольными...

Однако до этого два александрийских механика — бывший брадобрей Ктезибий и математик Герон, опередив свое время почти на 1800 лет, успели открыть совершенно новую область науки и техники — пневмо- и теплоэнергетику, а также развить гидромеханику. Причем их труды состояли не из умозрительных рассуждений, а сплошь из экспериментов, под которые подводилась и теоретическая база, не хватало лишь измерений и количественных зависимостей.

Ктезибий изобрел и изготовил подобие пневматического ружья, нагнетательный насос, водяные часы и да-

же... водяной орган. Энерготехнической вершиной многочисленных пневматических и паровых устройств, придуманных и построенных Героном, был первый тепловой двигатель — прообраз реактивной паровой турбины — эолопил («Эол» — бог ветра, «пил» — мяч, шар, а в то время считалось, что при подогреве воды получается не пар, а... воздух). Это был металлический шар с впаянными в него на противоположных полушариях открытыми трубками, концы которых загибались в противоположные стороны. В шар наливалась вода и подогревалась до кипения. Пар, выбрасывавшийся из трубок во время кипения, создавал реактивные силы, и шар вращался в трубчатых опорах.

Предполагается, что Герон был учеником Ктезибия, но учитель остался практиком, а ученик в трактате «Пневматика» не только привел описание многочисленных известных и изобретенных им и Ктезибием приборов, но и дал теоретическое объяснение их действия. Парадоксально, но в 1751 г. крупный физик Мушенбрук назовет «Пневматикой» «часть философии, трактующую о божестве, духах, ангелах и душах человека и животных»! Таков был регресс этой науки за 1900 лет!

Герон пишет в трактате: «Я счел необходимым изложить все то, что дошло до нас об этом предмете (о воздухе. — Г. А.), и прибавить то, что нашли мы сами. Этим будет оказана существенная услуга тем, которые пожелали бы заняться изучением математики, и сверх того... это может принести большую пользу на практике, а также служить предметом большого удивления».

В основу своих теоретических объяснений Герон кладет представления атомистов о наличии пустот между частицами. «Одни утверждают, — пишет он, — что пустоты вообще не существуют; другие же полагают, что пустота не может образовывать целых пространств, но что она может заключаться в промежутках между частицами воздуха, воды, огня и других тел. Последнему мнению мы отдаем предпочтение...» «Каким бы образом иначе свет, теплота или другие материальные силы могли проникать в воду, воздух и в другие тела?» Поэтому «смешение воды и вина есть результат проникновения частиц одной жидкости в поры другой», а «сжатие и расширение — это процессы уменьшения или увеличения пор при неизменном размере частиц тел». При отсутствии внешней силы тело занимает естественный объем, и, «наливая

воду в пустой на вид сосуд, мы, в сущности, тем самым удаляем из него столько воздуха, сколько наливаем туда воды». И так далее. Процесс нагрева тел заключается, по мнению Герона, в наполнении их пор «огненным телом».

В 76 разделах своей книги Герон рассказывает о множестве пневматических, тепловых и гидравлических приборов и игрушек: насосах, сифонах, автоматически открывающихся дверях, поющих птицах, фонтанах, паровых волчках, эолопиле и т. п.

Здесь мы видим явление исключительное в развитии науки и энерготехники. Прежде всего впервые в противоположность древнегреческой умозрительной натурфилософии *экспериментальный* метод так широко лег в основу исследований. Кроме того, впервые сознательно и активно были получены и использованы практически в реальных устройствах не существующие в природе *искусственные силы* (теперь бы мы сказали «виды энергии») сжатого воздуха и пара. И наконец, впервые было продемонстрировано экспериментально множество возможностей *практического* применения этих сил.

Таким образом, можно сказать, что уже во II—I вв. до н. э. была совершена *тихая, почти не замеченная* революция в принципах получения «движущей силы» — открыт и экспериментально проверен способ превращения тепла, получаемого от сжигания органического топлива, в механическую работу; более того, создана действующая модель, по существу, универсального теплового двигателя (эолопил). И если бы прогресс зависел только от научно-технических открытий, только от внутренней логики развития науки и техники, то промышленная революция XVII—XVIII вв., возможно, наступила бы на несколько столетий раньше...

## **Во тьме религиозных и политических потрясений**

Однако бремя страстей человеческих оказалось сильнее разума. Только что родившееся религиозное учение, выдвинувшее одного бога на смену многим, — христианство, вступив в борьбу с умирающим язычеством, сконцентрировало на ней все силы людей. Само помышление о материальных вещах природы стало преступным, ибо духовный мир человека отныне должна была целиком заполнить вера. Один из отцов церкви Евзений писал о на-

учных трудах древних греков: «Не из-за незнания этих вещей, а из-за презрения к бесполезным трудам этих древних мы думаем так низко о всех этих вещах». Другой — Августин: «Было бы для меня лучше, если бы я никогда не услышал имени этого Демокрита!» Третий — Ф. Лактанций: «Могут ли люди быть настолько безрассудными, чтобы верить, будто на противоположной стороне Земли злаки и деревья растут вершинами вниз, а у людей ноги находятся выше головы? Святое писание не упоминает о подобных существах в числе потомков Адама» (из книги «О ложной мудрости», 340 г.).

В результате служение сначала апостолу силы Риму, а затем апостолу веры христианству практически полностью остановило развитие науки и техники на столетия...

Одни тираны сменяли других, одна религия или ее разновидность, с помощью которой они захватывали бразды правления, уступала с боем место другой. Отдавая все силы утолению жажды власти и славы, фанатизму веры и преследованию инакомыслящих, борьбе за обогащение и самосохранение, погрязнув в холодных и горячих войнах, заговорах и интригах, человечество прекрасно обходилось без паровых машин и двигателей внутреннего сгорания, без телевизоров, без автомобилей и самолетов, а тем более без атомной энергии.

В IV—VII вв. могучий поток переселения на Запад германских, сарматских, славянских и других племен смел остатки рабовладельческой Римской империи. В 395 г. она распалась на Западную и Восточную (Византию). Но вскоре вестготы разграбили Рим, а в 476 г. вождь скифов Одоакр низложил последнего западноримского императора Ромула Августула. Византия же была разгромлена турками только в 1453 г.

В IV—VII вв. Византия была разлагающимся рабовладельческим государством, а затем феодальной империей, раскинувшейся на огромной территории и заселенной многими народами. Император обладал неограниченной властью, которая поддерживалась всей духовной мощью церкви. В 1204 г. часть Византии, включая Константинополь, была захвачена европейскими феодалами — участниками IV Крестового похода и преобразована в Латинскую империю, но через 21 год снова восстанавливается Византийская империя.

Византия, лучше чем другие государства, сохраняла наследие древнего мира, став крупным культурным цент-



ром Средневековья. Тем не менее уже в 529 г. император Юстиниан I запрещает афинские философские школы, прекращается и деятельность аристотелевского Ликейя. Окончательно приходит в упадок как центр науки и культуры Александрия. Ее величайшее в мире хранилище книг, сожженное частично Юлием Цезарем в 47 г. до н. э., уничтожается еще больше фанатиками-христианами в 390 г. и полностью — фанатиками-мусульманами в 640 г. Магомет говорил: «Если науки учат тому, что сказано в Коране, то они излишни; если же они учат другому — они безбожны и преступны».

Но и эти мрачные столетия проходят, и в VII—VIII вв. наступает некоторое оживление науки в арабских халифатах — феодальных государствах, образовавшихся в VII в. в результате арабских завоеваний в Западной Азии, Северной Африке и Юго-Западной Европе. Когда к блестящим дворам халифов стали стекаться богатства, а за ними — поэты, художники и ученые, яростные защитники мусульманской веры, нанешие последний удар древней науке, превратились в ее почитателей, правда, не добавивших к известному почти ничего нового...

Опять начались, как и во времена Римской империи Августа, переводы древних греков и прежде всего Аристотеля. Создавались целые переводческие академии. Однако, не будучи достаточно подготовленными, арабы не были в состоянии должным образом усвоить даже эту информацию, не говоря уже о ее развитии. Всякий, кто постигал то, что знали греки, считался великим ученым и передавал свою «ученость» другим. Развивается идолопоклонство перед учителями, слепая вера в авторитеты, школярское довольство раз установленным; к действительным явлениям добавляются мнимые и мистические.

Под давлением христианства в XI—XII вв. халифаты стали разваливаться, и арабской философии пришлось вести борьбу за существование, насаждая догматизм и фанатизм. Имя Аристотеля становится позорным, ученых снова начинают презирать, а их труды уничтожать... Поэтому сочинения даже великих арабов были малоизвестны в то время и не оказали существенного влияния на развитие науки.

Вскоре под эгидой христианской церкви в Европе устанавливается относительный покой. Однако теперь просто верить становится мало — необходимо владеть искусством обоснования догматов церкви. И в поисках

средств обучения логике, диалектике (понимаемой как искусство спора), полемике христианские проповедники — теперь уже вслед за римлянами и арабами — вынуждены обратиться опять-таки к трудам древнегреческих мыслителей и... к Аристотелю. Так возникает новый тип «ученых» — схоластов, которые, признавая веру основой познания, а библейское учение критерием истинности, стремятся поставить догматы церкви на рациональный фундамент.

Вершиной «науки» становится софистика \* и культ авторитетов. Все спорные вопросы решаются с позиций христианских идей и канонов. Объяснение и исследование реального мира подменяется объяснением и исследованием... трудов Аристотеля, вместо природы человека и животных «изучается» природа... ангелов, их язык, одежда, пищеварение...

Но при этом было упущено, что сочинения Аристотеля, не очень противореча догматам церкви, открывают все-таки путь к изучению мира, к развитию точных наук, то есть к отделению познания от веры. Началось оживление научно-педагогической деятельности, стали создаваться первые университеты в Болонье, Падуде, Салерно, Париже, Оксфорде.

Это так напугало отцов церкви, что в 1209—1215 гг. «Физика» и «Метафизика» Аристотеля были запрещены, «поскольку породили ереси и могли порождать впредь неведомые лжеучения». Создается инквизиция. Сначала она входит в епископские обязанности, но в 1232 г. поручается доминиканским монахам, которым с 1252 г. разрешается добиваться показаний пытками. Так, нищенствующий (обет выполнялся с 1220 по 1465 г.) орден «братьев-проповедников», созданный испанским монахом Домиником для борьбы с ересями проповедавшими, превратился в орден «псов господних», искоренявших дыбами и кострами самих «еретиков».

Вскоре, однако, стало ясно, что без Аристотеля «лжеучения» распространяются еще больше и не поддаются контролю, и в 1254 г. Парижскому университету разрешается издать все 28 книг Аристотеля, а через 100—200 лет уже никто не сможет получить ни ученой степени, ни звания, ни должности, не зная их.

---

\* Сознательное применение в спорах и доказательствах неправильных, ложных доводов — софизмов.

Когда же разрыв между схоластикой и действительностью стал доходить до абсурда, Фома Аквинский — Аквиант выдвинул «учение о двоякой истине» — богословской и философской. Проповедуя гармонию между верой и разумом, он требовал, чтобы «истины откровения» всегда оставались выше «истин разума». Это учение — «томизм» (от «фомизм») — используется Ватиканом и теперь.

Однако и на таких условиях сохранить гармонию не удается. Уже Аквиант не может пренебречь опытом, а крупный схоласт Уильям Оккам неожиданно объявляет опыт единственной основой знания и отвергает софистические рассуждения. За это он подвергается проклятию, а труды его сжигаются... Но и такая кара не останавливает мысль...

Против искусственных построений схоластов и за познание реальной природы восстает англичанин (некоторые считают его французом) Роджер Бэкон (ок. 1214—ок. 1292). Для нас особенно важно отметить его «энергетическую» прозорливость. За 150 лет до Леонардо да Винчи, в разгар преследований инквизицией всякой свежей мысли он сумел создать исключительно силой своего воображения почти все энергетические машины, которые появились только через 500—600 лет и начали безудержно поглощать энергетические ресурсы Земли и увеличивать энтропию окружающей среды. Он писал: «Расскажу о дивных делах природы и искусства, в которых нет ничего магического... Можно сделать орудия плавания, идущие без гребцов, суда речные и морские, плывущие при управлении одним человеком скорее, чем если бы наполнены были людьми. Также могут быть сделаны колесницы без коней, движущиеся с необычайной скоростью... можно сделать летательные аппараты: человек, сидящий в середине аппарата, с помощью некоторой машины двигает крыльями наподобие птичьих... можно сделать аппарат, чтобы ходить безопасно по дну моря и рек...»

Однако «новые идеи, говорил Р. Бэкон, всегда встречают возражение, даже со стороны святых и хороших людей, мудрых в других отношениях». И действительно, его обвинили в ереси и колдовстве, лишили кафедры в Оксфорде и заключили в тюрьму. Папа Клемент IV освободил его, но после смерти папы францисканцы опять арестовали Бэкона, укрывшегося во Франции. Братья по ордену, в который Бэкон вступил когда-то после оконча-

ния университета для продолжения научных занятий, не могли простить ему свободомыслия и резких отзывов о невежестве и безнравственности духовенства. Все его сочинения были запрещены, и 10 лет он отсидел в монастырской тюрьме. Выйдя из нее 74-летним стариком, он уже не мог высказывать «крамольные» мысли и через шесть лет умер, всеми забытый...

Но и через 400 лет его не забыли францисканцы! Историк этого ордена Ваддинг писал о Бэконе в 1682 г.: «Это был ум более тонкий, чем похвальный. Нельзя позволять такую свободу учить и мыслить. Есть люди, которые считают, что они ничему еще не научились, если не подвинули науку дальше, чем следует, и не выводили новых идей за пределы общепринятого учения».

Недовольный аристотелевской физикой, Бэкон утверждал, что есть три средства познания: авторитет, мышление и опыт. Авторитет не имеет значения, если справедливость аргументируемых им положений нельзя доказать. При мышлении софизм от доказательства можно отличить, проверяя выводы опытом. Поэтому экспериментальная наука — царица умозрительных наук. Он учил также, что «дверь и ключ к науке» — это математика, и занимался не схоластическими спорами, а астрономией, оптикой, химией, став, по существу, первым естествоиспытателем средних веков.

Бэкон отвергал теорию движения бросаемых тел Аристотеля. Против этой теории выступали крупные схоласты У. Оккам, ректор Парижского университета И. Буридан (1297—1358) и другие. Вопреки официальному учению о «скрытых», «потаенных», не поддающихся выяснению силах и качествах они разрабатывали теорию «импето», истоки которой можно найти еще в трудах древних греков. Указывая на вращающийся волчок, точильный камень, сферу, Буридан спрашивал: где и как может толкать их воздух? По его мнению, «в то время как двигатель движет движимое, он запечатлевает в нем некий «импетус», некую силу, способную двигать это движимое в том же направлении, в котором двигатель движет движимое, безразлично, будет ли это вверх, вниз, в сторону или по окружности. И чем больше скорость, с которой двигатель движет движимое, тем сильнее «импетус»... или импето, напор. При падении сила тяжести, по Буридану, непрерывно «запечатлевает» в падающем теле импето, поэтому скорость увеличивается.

Здесь мы видим и отказ от «насильственных» и «естественных» движений, и отрицание «боязни пустоты», и возрождение понятия расходуемой «силы», и уверенную констатацию «увеличения скорости падающих тел», и отдаленный намек на связь ускорения с силой (тяжести). Но и Буридан не порвал окончательно с динамикой перипатетиков, — тяжелые тела у него тоже падают быстрее легких, поскольку «импето в них запечатлевается больше». Однако теория импето связывает динамику Аристотеля с будущей динамикой Галилея, как бы перекидывая мост между ними. С этой теории начинается раздвоение неопределенного и многозначного понятия «сила» на нечто внешнее, действующее на тело (в дальнейшем это будет собственно сила), и на нечто присущее самому движущемуся телу (в дальнейшем это будет кинетическая энергия тела).

## **Ренессанс. Силы тяготения, магнитные и электрические**

Схоласты, не зная греческого языка, пользовались различными, главным образом арабскими, пересказами древних классиков, в основном Аристотеля.

После уничтожения турками Византийской империи бежавшие в Европу ученые стали быстро распространять сочинения древних в подлинниках. Изголодавшаяся по свежей мысли, уставшая от ига церковников и схоластов Европа, в которой уже зарождались ростки капитализма с его практицизмом, деловитостью, страстью к наживе и стремлением к открытию все новых средств обогащения, жадно набросилась на них. Наступает Ренессанс — знаменитая эпоха Возрождения античного культурного наследия и гуманизма, эпоха светского вольномыслия, девизом которой стали слова, приписываемые великому Вольтеру: «...я не одобряю ваших мыслей, но отдам жизнь за ваше право их защищать».

И никто не сказал об этом времени точнее Ф. Энгельса: «Современное исследование природы — единственное, которое привело к научному, систематическому, всестороннему развитию, в противоположность гениальным натурфилософским догадкам древних и весьма важным, но лишь спорадическим и по большей части безрезультатно исчезнувшим открытиям арабов, — современ-

ное исследование природы, как и вся новая история, ведет свое летосчисление с той великой эпохи, которую мы, немцы, называем, по приключившемуся с нами тогда национальному несчастью, Реформацией, французы — Ренессансом, а итальянцы — Чинквеченто... и содержание которой не исчерпывается ни одним из этих наименований... Это был величайший прогрессивный переворот из всех пережитых до того времени человечеством, эпоха, которая нуждалась в титанах и которая породила титанов по силе мысли, страсти и характеру, по многосторонности и учености. Люди, основавшие современное господство буржуазии, были всем чем угодно, но только не людьми буржуазно-ограниченными. Наоборот, они были более или менее овеяны характерным для того времени духом смелых искателей приключений... И исследование природы совершалось тогда в обстановке всеобщей революции, будучи само насквозь революционно: ведь оно должно было еще завоевать себе право на существование. Вместе с великими итальянцами, от которых ведет свое летосчисление новая философия, оно дало своих мучеников для костров и темниц инквизиции».

Напомним, что в это время в Европе уже использовался компас, применялся в огнестрельном оружии порох, в 1440 г. было изобретено книгопечатание, в 1492—1493 гг. Колумб совершил свое путешествие, в 1590 г. был создан микроскоп, а в 1607 г. — зрительная труба.

Начала развиваться энергетическая техника и машиностроение в виде часового механизма и мельниц — двух материальных основ, «на которых внутри мануфактуры происходит подготовительная работа для перехода к машинной индустрии» (К. Маркс) в период с XVI до середины XVIII в.

Первые стационарные механические часы, заменившие солнечные и водяные, представляли собой систему колес и шестерен, приводившуюся в движение силой тяжести грузов. В XIII—XIV вв. такие часы распространяются в крупных городах Европы в качестве башенных и рассматриваются как одно из «семи чудес света». Позже Х. Гюйгенсом был изобретен регулятор скорости хода в виде маятника. Затем появились карманные часы, в которых источником энергии служила упругостная сила сжатой пружины, а роль маятника выполнял балансир. В механизмах часов впервые стали применяться классические детали машин — пружины, зубчатые колеса, кулач-

ковые муфты, храповики и т. п., и началось их исследование и отработка технологии изготовления.

Если энергетическая природа часов была скрыта за их назначением, то водяные (ветряные) колеса быстро перешагнули границу устройств для размола зерна и стали применяться как универсальный двигатель в горном, кузнечном, металлургическом, лесопильном и других производствах. С мельницей появился на свет и инерционный двигатель — маховик, введенный для устранения неравномерности вращения водяных колес как аккумулятор энергии. На базе водяных и ветряных двигателей начались научно-технические исследования элементов крупных машин.

Так стал возрождаться интерес к действительной науке, науке, основанной на фактах, на опыте, а не на игре слов и мистике.

И, как ни парадоксально, одним из первых знаменосцев этого возрождения стал... кардинал и епископ Бриксенский Николай Кребс (1401—1464), известный под именем Кузанского. Этот сын рыбака, достигший высочайшего положения в церковной иерархии, написал труд «Об ученом незнании», где осмелился утверждать, что между земным и небесным нет никакой разницы, что Вселенная бесконечна и не имеет центра, а Земля движется как и другие планеты, Солнце и Луна. Он даже сформулировал нечто вроде кинематического принципа относительности: «Мы ощущаем движения лишь при сравнении с неподвижной точкой... если кто-либо находится на земле, на солнце или на какой-нибудь другой планете, ему всегда будет казаться, что он — на неподвижном центре и что все остальные вещи движутся»... Опыт у него единственный критерий истины (значит, вопреки Аквианту истина едина!), и он даже издает пособие «О постановке опытов», в котором наряду с описанием множества других предлагает опыт по определению времени падения тел, сыгравший важнейшую роль в развитии динамики и осуществленный позже Галилеем (с высокой башни бросались камни и куски дерева и измерялось время их падения с помощью водяных часов).

Художник, инженер и ученый Леонардо да Винчи, умерший в год начала кругосветного путешествия Магеллана (1519), как и Кузанский, считал Вселенную бесконечной, состоящей из множества не взаимодействующих между собой миров, окруженных своими «элементами».

Естествознание, по его мнению, без опытов и математики мертво, но опыт у него лишь этап в познании причинной связи, лежащей в основе всех явлений. Если удастся постигнуть причину без опыта, то последний уже не нужен, ибо «природа полна бесчисленных причин, которых никогда не было в опыте».

Размышляя над законами природы, занимаясь механикой и разработкой проектов далекого будущего (включавших независимо от Р. Бэкона почти весь набор его энергетических машин), он сложил в честь «силы» целый панегирик: «Силой я называю духовную способность, невидимую потенцию, которая через случайное внешнее насилие вызывается движением, помещается и вливается в тела, извлекаемые и отклоняемые от своего естественного бытия, причем она дает им активную жизнь удивительной мощности; она принуждает все созданные вещи к изменению формы и положения, стремится с яростью к желанной ей смерти и распространяется при помощи причин. Медленность делает ее большой, а быстрота — делает слабой. Рождается она благодаря насилию и умирает благодаря свободе, и чем она больше, тем скорее уничтожается. С яростью гонит она все, что препятствует ее разрушению; она желает победить, убить свою причину, сопротивление себе и, побеждая, убивает самое себя. Она делается сильнее там, где находит большее сопротивление. Всякая вещь охотно убегает от своей смерти. Будучи принужденной, всякая вещь принуждает. Ни одна вещь не движется без нее. Тело, в котором она возникает, не увеличивается ни в весе, ни в форме».

В этой, хотя и расплывчатой, но удивительно емкой, разносторонней и поэтичной характеристике «силы» можно обнаружить контуры почти всех энергетических понятий, которые сформируются значительно позже: собственно силы — причины изменения состояния движения или покоя тел; работы — произведения величины силы на путь точки ее приложения; импульса — произведения величины силы на время ее действия; энергии — меры всех форм движения и даже энтропии — меры рассеяния энергии...

Но Леонардо да Винчи в своих рассуждениях-догадках идет еще дальше. Так, он пишет: «...каждое движущееся тело движется постоянно, пока в нем сохраняется действие его двигателя». Здесь «сила» выступает в значении «импето» Буридана и проскальзывает как бы на-



мек на принцип инерции движения, а значит — и на силу инерции \*. Он знает уже о принципе равенства действия и противодействия (который станет у Ньютона третьим законом механики). «Такая же сила, — пишет он, — создается предметом против воздуха, что и воздухом против предмета». Более того, он твердо верит в принцип сохранения... энергии! «О вы! Искатели вечного движения! — восклицает презрительно да Винчи. — Какое количество пустейших замыслов пустили вы в мир. Идите к искателям золота! (к алхимикам. — Г. А.)» И наконец, исповедуя, как почти все ученые-материалисты того времени, механицизм, он «с основой всего» считает механическое движение и такие явления, как звук, теплота, свет, магнетизм и т. п., объясняет различными движениями частиц материи.

Приведенные высказывания и множество рассмотренных выше наводят на мысль, что, быть может, названные понятия и принципы, законы сформировались окончательно значительно позже не из-за неспособности людей додуматься до них раньше, а из-за отсутствия в этом насущной потребности — не нуждалась тогда в них ни наука, ни тем более практика. Таким образом, несмотря на наличие «внутреннего» стимула их раннего развития, отсутствие внешнего надолго задержало это развитие.

Решающий удар схоластики и церкви был нанесен великими географическими открытиями, и они же дали толчок дальнейшему развитию представлений о силе, энергии и их материальных источниках и носителях. Как мы видели, раньше других наук стала возрождаться астрономия, особенно в германских государствах, где она занимала ведущее место до начала XVII в. Но ни Кузанский, ни Леонардо да Винчи, ни затем немцы Пейербах, Региомонтан (Миллер) и его ученик Вальтер не смогли порвать с птолемеевой системой; своими наблюдениями и расчетами они лишь подготовили ее падение.

И только после путешествий Колумба, достигшего Америки (1492), Васко да Гамы, открывшего путь в Индию (1498), и особенно Магеллана, впервые обогнувшего Землю (1519—1521), никто уже не мог сомневаться в шарообразности Земли и ее движении вокруг своей оси и в пространстве. А это не только разрушало до основа-

---

\* Впервые сила инерции будет введена Якобом Бернулли в XVIII в.

ния птолемею систему, нанося одновременно удар и по Священному писанию, но и впервые в таком масштабе и с такой достоверностью показывало, что *видимое не всегда есть сущее*, то есть относительность знаний, доставляемых нам органами чувств, и необходимость проверки их опытом. А все это, вместе взятое, выдвигало опять важнейший *энергетический* научный вопрос — какими силами, если не божественными, поставленными теперь под сомнение, мир движется и сохраняется в этом своем состоянии? И опять ответ на этот вопрос — открытие естественных источников действующих сил — означал «еретическое» выступление против христианской религии, ставшей к тому времени хозяином не только душ, но и тел людей, ибо церковь решала, жить «еретику» или умереть, и решала всегда однозначно — застенки или смерть.

Новая сенсация — открытие Колумбом помимо восточного отклонения магнитной стрелки, господствовавшего в прибрежье Средиземноморья, западного — пробила еще одну брешь в схоластических и церковных «науках». Получалось, что помимо сил, притягивающих обычные тела, Земле присущи и какие-то еще неведомые силы, притягивающие или отталкивающие магнитную стрелку!

Так великие географические открытия сделали силы тяготения и магнитные силы загадкой века и разрушили фундамент важнейших церковносхоластических построений. И сразу же стали появляться теории, объясняющие и приводящие в систему новые опытные данные, — началась первая научная революция в естествознании.

В 1543 г. мыслитель, экономист, врач и государственный деятель Польши Николай Коперник (1473—1543) решился, наконец, накануне смерти опубликовать в труде «Об обращении небесных тел» разрабатывавшуюся им 16 лет гелиоцентрическую систему мира. Коперник не разделял идей Н. Кузанского и Леонардо да Винчи о неограниченности Вселенной. Солнце у него — неподвижная звезда, расположенная в центре Солнечной системы. Земля движется вокруг собственной оси и вокруг Солнца, а планеты — вокруг Солнца. О первых двух движениях писали еще пифагорейцы и Аристарх Самосский (о чем Коперник упоминает). Для объяснения смены времен года Коперник вводит третье движение Земли — ее оси в течение года по окружности вокруг проходящей через

центр Земли другой оси, параллельной оси годичного вращения («прецессия»); теперь два параллельных и противоположных вращения давали одно круговое движение Земли вокруг Солнца. Такова была кинематика движения небесных тел в новой, антиптолемеевой системе. Здесь не было сил, и интересы бога, а следовательно, церкви в открытую не очень задевались.

Но умолчать о динамике — о силах было нельзя. И Копернику приходится объявить, что сила тяжести «есть не что иное, как естественное стремление, сообщенное божественным промыслом всем мировым телам, сливаться в единое и цельное, принимая форму шара». Здесь и формальная дань «божественному промыслу», и аристотелево «естественное движение», и пифагорейская «идеальная форма» — шар. Правда, дальше тяготение действует самостоятельно и закономерно: земные тела стремятся к центру Земли, а потому ни свободно падающие предметы, ни облака не могут оставаться позади Земли при ее движении, как утверждал когда-то Птолемей, высказываясь против вращения Земли.

Несмотря на эту сдержанность Коперника, факт разгрома церковношколастической «небесной механики», на которой держалось столько догматов, был так страшен, что почти 300 лет после этого церковь сражалась с системой Коперника и ее приверженцами.

Но и ученые-современники не приняли этой системы — так была велика сила психологической инерции, «здорового смысла» (не могут же люди «ходить вверх ногами»!) и страха перед церковью. И чтобы примирить церковную «теорию» с фактами, крупнейший астроном Тихо Браге (1546—1601) предложил «промежуточную» систему: Земля с вращающейся вокруг нее Луной находится в покое, а вокруг Солнца, как у Коперника, движутся планеты. Многим такой выход из трудного положения понравился, кроме... ассистента Браге — Иоганна Кеплера (1571—1603). Молодой ученый, обработав многолетние наблюдения учителя, собрал огромный фактический материал в поддержку системы Коперника. Активными приверженцами и пропагандистами этой системы стали также Джордано Бруно (1548—1600) и Галилео Галилей (1564—1642). Причем Бруно, развивая идеи Н. Кузанского, Леонардо да Винчи и систему Коперника до идеи бесконечности Вселенной и множественности миров, существующих без богов, пошел дальше всех и попла-

тился за это сожжением в Риме на площади Цветов 17 февраля 1600 года после 8 лет тюрьмы и пыток с требованиями отречься от своих убеждений.

И в этом же году, как бы символизируя неуничтожимость человеческой мысли, вышел в свет знаменитый труд лейб-медика английской королевы Уильяма Гильберта (1540—1603) «О магните, магнитных телах и великом магните Земли», в котором был сразу сделан гигантский шаг в изучении других загадочных сил — магнитных и электрических. Отказавшись от умозрительного сочинительства, Гильберт делает более 600 опытов и дает тщательное описание результатов. Восхищенный этим Галилей скажет через 32 года: «Воздаю хвалу, дивлюсь, завидую Гильберту. Он развил достойные удивления идеи о предмете, о котором трактовало столько гениальных людей, но который ни одним из них не был изучен внимательно... Гильберту недостает только побольше математики и особенно геометрии».

Лейб-медик открыл множество свойств естественных и искусственных магнитов: установил, что сила магнита действует во всех точках его протяженности — расколотый на куски, он превращается в множество магнитов; что силу магнита можно сохранить и даже увеличить, заключив его в стальную арматуру или погрузив в железные опилки; что сила магнита действует на большем расстоянии через железную проволоку, а не через воздух (как считалось раньше). Он обнаружил также возможность передавать силу магнита другим телам — магнитную индукцию, но не осознал и не оценил должным образом это важнейшее открытие.

Смело отвергая тысячелетнее противопоставление земного мира небесному, Гильберт объявляет Землю большим магнитом и доказывает это на опыте с железным намагниченным шаром, утверждая, что тот должен действовать на магнитную стрелку так же, как и Земля. Он считает, что географические полюса совпадают с магнитными, существующее же отклонение объясняет тем, что воды морей и океанов не обладают магнитными свойствами, а суша распределена неравномерно. Он показывает, что железо может намагничиваться непосредственно от Земли. (Правда, за 20 лет до этого другой англичанин, Норман по существу уже установил это, доказав, что точка притяжения магнитной стрелки находится в Земле.)

С древнейших времен было известно свойство янтаря после трения притягивать легкие предметы, например солому. Гильберт обнаружил, что этим свойством — электрической «силой» (по-гречески «янтарь» — «электра») — обладает также алмаз, сапфир, аметист, опал, стекло, смолы, сера, каменная соль и др. Они притягивают почти все твердые тела. Напротив, металлы, кость, жемчуг, агат, смарагд не поддаются электризации. Он исследовал влияние на электрическую силу тепла, ветра, влажности воздуха, воды, спирта и даже... оливкового масла!

Однако в теории открытых явлений Гильберт не продвинулся дальше своих предшественников, в лучшем случае механицистов. Так, он не считает совершенно абсурдным мнение Фалеса, приписывавшего магниту душу. Магнитная сила, по Гильберту, — это свойство материала, и действует она только на некоторые тела, электрическая же сила, возникающая от трения, — на многие.

Тяжесть у Гильберта — сила взаимного притяжения тел одной планеты, а не тяготение их к какой-то точке пространства, как учили перипатетики. Между планетами же действует магнитная сила, которая заставляет их вращаться одну около другой, не сближаясь.

После выхода в свет сочинения Гильберта интерес к магнитным и электрическим явлениям сильно возрос. На эту тему публикуются статьи и трактаты, но ничего существенно нового в них не содержится, хотя даже делаются попытки измерения величины магнитной силы с помощью весов.

Принципиальное значение имели лишь опыты Магдебургского бургомистра Отто фон Герике (1602—1686), изготовившего нечто вроде первой электростатической машины. Он взял стеклянную шарообразную колбу, наполнил ее расплавленной серой, а когда сера застыла, расколол стекло. Получившийся шар из серы «размером с детскую голову» он насадил на ось и электризовал во время вращеия, натирая ладонью своей руки. При этом он обнаружил удивительные явления: 1) пушинка, притягивавшаяся шаром, после соприкосновения с ним отталкивалась, другие же тела (например, нос!) притягивали ее, после чего ее опять притягивал шар; 2) льняная нитка, присоединенная к шару, другим концом так же притягивала (отталкивала) предметы, как и шар; 3) при

электризации шара в темноте от него исходил «электрический свет»; 4) подвешенная на нитке пушинка при движении вокруг нее наэлектризованного серного шара поворачивалась за ним, оставаясь обращенной к нему всегда одной и той же стороной.

Истинное значение этих явлений как величайших открытий осталось не понятым ни самим Герики, ни его современниками. Между тем первое означало открытие двух зарядов электричества, второе — электропроводности (официально сделаны в 1729 г. англичанином Греем и в 1734 г. французом Дюфе), третье — люминесценции, четвертое — вслед за Гильбертом «почти что» электромагнитной индукции.

Так, человек под влиянием неопровержимых данных практики впервые осмелился сознательно вторгнуться во владения бога и церкви, поставив объективно вопрос о естественной природе сил тяготения, магнитных и электрических, а следовательно, и источников энергии, их порождающих. Это было событие громадного значения, и, приведя к революции в «механике небесной», оно неизбежно должно было привести к реконструкции механики земной. И действительно, ревизии подвергаются представления и понятия, связанные в первую очередь с движением и действующими силами. И именно в это время начинается интенсивный процесс формирования понятий «сила», «работа», «импульс», «энергия».

## Силы небесные и земные

Как отмечалось выше, между телами одной планеты, по Гильберту, действуют силы тяготения, а между планетами — магнитные (или электрические, по Герики) силы. Кеплер же, развивая учение Коперника о гелиоцентрической системе, не только уточнил кинематику движения планет, но и впервые стал рассматривать силы тяготения и магнитные как тождественные. Этим он внес важнейший вклад в выработку обобщенного понятия «сила», а затем понятий «работа» и «энергия».

Окружности вращения планет и Земли вокруг Солнца он заменил эллипсами, а вместо движения по окружностям с постоянными скоростями ввел движение по эллипсам с постоянными «секториальными скоростями» (радиус-вектор планеты в равные промежутки времени

описывает равные площади). Эти два закона Кеплера вместе с третьим — квадраты времен обращения планет вокруг Солнца относятся как кубы их средних расстояний от Солнца — дали ту основу, на которой построена современная небесная механика.

Установив движение планет по эллипсам, он вынужден был отказаться от кинематики равномерных движений, заимствованных Коперником у Птолемея, и искать причины убыстрения (замедления) движений — ускорения \*. По Аристотелю же, во власти учения которого все еще находился Кеплер, неравномерные движения без поддержки сил должны прекратиться. В поисках их источника в реальном мире Кеплер поднимает «божественный промысел» выше Солнца, делая носителем движущих сил, гармонии и света «животную силу» Солнца (то есть на современном языке запас энергии, заключенной в нем), которое располагается у него в центре Вселенной, представляющей собой ограниченную сферу. «Животная сила» обеспечивает вращение Солнца вокруг собственной оси, в результате чего оно увлекает за собой планеты, распространяя вокруг себя «силовые нити» (почти силовые линии, которые введет через 200 лет Фарадей). Движущая сила Солнца, по Кеплеру, тождественна магнитным силам, распространяющимся в плоскости, а потому, как и последние, обратно пропорциональна расстоянию. Так объяснялось «самодвижение» планет вокруг Солнца по эллиптическим орбитам со скоростями, обратно пропорциональными расстоянию от него.

Здесь особенно четко и осознанно выражается связь между силой в собственном ее значении и ускорением, которая у Ньютона станет одним из трех законов механики. Вместе с тем принцип инерции движения Кеплеру еще чужд.

Подобно Гильберту тяготение для Кеплера — это сила стремления разрозненных частей к соединению, а не как у Аристотеля — стремление к некоему «естественному месту». И разрозненные части движутся для соединения по кратчайшим расстояниям.

Дальше же позиции Гильберта и Кеплера расходятся. Так, у Гильберта отдельные части небесного тела тяго-

---

\* Тогда этот термин не применялся.

теют к его центру (то есть все еще «к месту»!), у Кеплера же они тяготеют друг к другу. У Гильберта силы, притягивающие к Солнцу, звездам и Земле, различны для каждого небесного тела. У Кеплера же силы тяготения всюду одинаковы, и тяготение становится универсальной характеристикой вещества. Все тела — элементы вещества — оказываются связанными взаимным тяготением. Это уже, по существу, закон всемирного тяготения, количественное выражение которого окончательно установит опять-таки Ньютон.

Космос, по Кеплеру, наполнен эфирным веществом, из которого в результате космогонических процессов сгущения образуются кометы и новые звезды. Свет — невесомая материя — распространяется во все стороны прямолинейно и с бесконечной скоростью; сила же света (еще одна «сила»!) убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника. Догадка Кеплера о материальности света, сделанная на уровне новых знаний, хотя и является продолжением учения древних атомистов и Аристотеля, вместе с тем уже предвосхищает целую эпоху в физике — эпоху «невесомых» материй, которая наступит только через 120—150 лет.

Так наполнялась новым содержанием небесная механика, а с нею вместе — и понятия различных видов «сил», включая и то, из которого позже разовьется понятие энергия.

Одновременно и на Земле накапливается немало наблюдений, противоречащих теоретическим канонам перипатетиков. Все более противоестественно выглядит центральная часть их механики — динамика и кинематика бросаемых тел. По официальному учению камень (снаряд) должен лететь сначала горизонтально, совершая сообщенное ему «насильственное» движение, потом переходить в смешанное круговое движение и, наконец, «естественно» вертикально падать... Мало кто решался выступить против этой каббалистики, хотя все видели, что ни одно брошенное тело не движется по такой траектории. Наконец, в 1537 г. выдающийся итальянский математик, выходец из низов Николо Тарталья во всеуслышание заявил, что траектория тела, летящего не по вертикали, может быть только кривой и «никогда не имеет ни одной части, которая была бы совершенно прямой». Но и он не осмелился отказаться от учения о естественных и насильственных движениях, объясняя кри-



волинейную траекторию полета тела их непрерывным «смешиванием». Поэтому наибольшая дальность полета получалась у него при «равновесии» этих движений, когда угол вылета составлял  $45^\circ$  по отношению к поверхности Земли.

Ученик Тартальи Дж. Б. Бенедетти (1530—1590) выступает против официальной механики еще смелее. Он утверждает, что движение брошенного камня происходит не за счет подталкивания его воздухом, а за счет «стремительности», сообщаемой камню силой руки, воздух же лишь тормозит движение. Тем самым он провозглашает, хотя и в неявной форме, принцип инерции движения.

Опираясь на этот же принцип, Бенедетти отвергает аристотелевскую теорию падения тел, выдвигая прямо противоположную ей. Свое доказательство он строит на простом мысленном эксперименте: делит падающее тело на несколько равных по объему и весу частей и утверждает, что скорости падения их всех будут одинаковы, поскольку нет причин, которые помешали бы этому. Убыстрение же движения тел при падении он объясняет возрастанием все той же «стремительности» при непрерывном действии постоянной силы, а не увеличением веса, как учили схоласты. Это было первое открытое, ясное и доказательное выступление с утверждением независимости времени и скорости падения от веса тел. Принцип инерции движения позволяет Бенедетти высказать предположение о существовании центробежной силы (инерции): если тело, движущееся по кругу, не прикреплено, оно будет удаляться под действием этой силы по касательной к кругу «подобно грязи, отскакивающей от колес экипажа». И наконец, изучая равновесие жидкости в сообщающихся сосудах, Бенедетти почти на 70 лет раньше Паскаля и за год до Стевина обнаруживает «гидравлический парадокс» — одинаковое давление жидкости на основание при равных высотах независимо от формы сосуда.

Правда, все эти мудрейшие мысли прошли почти незамеченными современниками, вызывая лишь гоңения на Бенедетти.

Аристократ Гвидо Убальди маркиз дель Монте прославился не только переводами сочинений Архимеда и многолетним покровительством Галилею. В своей «Механике», рассматривая простые механизмы (рычаг,

клин, винт, блок, ворот, полиспасть), он впервые абстрагируется от понятий «груз» и «сила», оперируя двумя равноценными силами, под которыми понимает давление или притягивание, измеряемое фунтами и имеющее в каждом случае определенное направление. Кроме того, он вводит понятие момента (по-латински «момент» — «важный», «значительный») как произведения величины силы на ее расстояние от точки вращения по перпендикуляру, опущенному из этой точки, на направление силы. С этого времени и по сей день оно применяется в механике, упрощая многие рассуждения.

В 1585 г. появилась работа Симона Стевина «Начала равновесия». Историки науки считают ее весьма значительной вехой в становлении классической механики, но тогда она была мало кому известна, так как автор пренебрег обязательной латынью и написал книгу по-голландски.

Симон Стевин независимо от Леонардо да Винчи высказал мысль о принципиальной невозможности вечного движения. Но не просто высказал, он положил ее в основу решения практических задач статики. Только через 185 лет Парижская академия наук первой в мире постановит не рассматривать проекты вечных двигателей, и только через 260 лет из этого принципа разовьется закон сохранения энергии! А Стевин уже использует этот принцип для доказательства закона равновесия тела на наклонной плоскости: он рассматривает равновесие замкнутой цепочки типа бус, наброшенной на некий предмет, имеющий сечение в виде прямоугольного треугольника с горизонтальной гипотенузой. Если бы сила, действующая на этот предмет, лежащий на наклонной плоскости, равнялась бы весу, рассуждает Стевин, то обладающая большим весом часть цепи, расположенная на длинном катете, скатывалась бы вниз, перетягивая остальные звенья. Цепь двигалась бы вечно, но этого не происходит. Стало быть, заключает он, сила, заставляющая тело скатываться с наклонной плоскости, не равна весу, а во столько раз его меньше, во сколько высота плоскости меньше ее длины.

С помощью этой же модели Стевин устанавливает закон сложения одновременно действующих сил и закон разложения силы на две составляющие, перпендикулярные одна другой.

Исходя из того же принципа Стевин по-новому обо-

сновывает закон Архимеда: любая частица неподвижной массы жидкости должна находиться в равновесии, иначе эта частица пришла бы в движение, за нею стали бы двигаться другие, и получилось бы вечное движение, являющееся абсурдом. Независимо от Бенедетти, хотя и на год позже его, Стевин более четко и полно формулирует «гидростатический парадокс» — равенство сил давления жидкости на дно сосудов любой формы при одинаковой высоте их столбов.

Так постепенно понятие силы наполняется все новым содержанием и все чаще разветвляется на собственно силу и на «силы» — энергию, работу, импульс.

### **«Посмеемся, мой Кеплер, великой глупости людской!»**

Незадолго до рождения в г. Пизе в семье обедневшего флорентийского патриция великого Галилео Галилея Европа, несмотря на отдельные достижения разума, еще жила смесью наивной фантастики, шарлатанства и... научных изысканий. Аристократия зачитывалась четырехтомной «Магией» 20-летнего Джамбатисты делла Порты, где содержались рецепты, как узнать целомудрые девушки с помощью магнита и соорудить лампу для получения у гостей лошадиных голов. Правда, уже во втором двадцатитомном издании «Магии» (появившимся через 30 лет) можно было найти и научные данные, например, там утверждалось, что магнитные свойства пакета железных опилок после их рассыпания и перемешивания пропадают... Но это издание спросом не пользовалось...

Галилей начал свою деятельность в те времена, когда перипатетики, опиравшиеся на поддержку католической церкви, все еще занимали ключевые позиции в официальной науке, уступая их только из-за вымирания. Однако теперь их борьба с новым стала оборачиваться на пользу этому новому. Вынужденные ставить публично опыты в защиту учения Аристотеля, они получали результаты, опровергавшие его, и, что не менее важно, внедряли экспериментальный метод исследований.

Главное сражение происходило все еще вокруг систем мира. Блестящее участие в нем на стороне гелиоцентрической системы («Диалог о двух главнейших систе-

мах мира» (1632 г.) принесло Галилею мировую славу. И только в конце XIX в. по достоинству был оценен его итоговый труд «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей наук» (1638). Оказалось, что вклад Галилея в астрономию менее значителен, чем его достижения в механике и в науке о сопротивлении материалов! Даже критика им Птолемея была важна не столько для астрономии, сколько для разрушения ошибочных положений динамики Аристотеля и разработки взамен их новых. Тем более что в ряде астрономических вопросов Галилей сам допускал ошибки (его система мира повторяла устаревшую уже систему Аристарха Самосского; он не признавал движения планет по эллипсам, хотя был единомышленником и другом Кеплера, настаивал на самой слабой части учения Коперника — на понятии космической инерции и т. д.).

Легенда утверждает, что еще 19-летним юношей Галилей заметил, что лампы в Пизанском соборе, несмотря на разные размеры и вес, при одинаковой длине подвесов качались в такт друг другу — изохронно. Это наблюдение позволило ему сформулировать закон изохронности колебаний маятника при малых амплитудах, но что еще более важно, сделать заключение об ошибочности закона Аристотеля о пропорциональности скорости падения тел их весу: ведь лампы, двигаясь из крайних положений в средние, хотя и сдерживаемые подвесами, но все же падали, и все с одинаковыми скоростями.

И уже в раннем своем сочинении «Диалог о движении» Галилей публично заявляет, ссылаясь на эксперименты (бросание различных предметов с Пизанской наклонной башни), что скорость и время всех тел, падающих с одной высоты, должны быть одинаковы (при условии, конечно, что поперечные сечения этих тел невелики и сопротивление воздуха не будет помехой). Здесь же он отвергает аристотелеву «силу легкости». Если в воде дерево всплывает, а в воздухе падает, то это значит, что никакой «силы легкости» нет — все тела «тяжелые», направление же их движения зависит от удельного веса по отношению к среде. Наконец, он опровергает аристотелевский принцип «природа боится пустоты» и основанное на этом принципе объяснение движения брошенных тел подталкиванием их воздухом. Для доказательства он использует тот же пример, что

и Буридан, — сферу, вращающуюся вокруг оси, за которой не остается места, куда бы ее подталкивал воздух.

Перипатетики учили, что холод и тепло — это различные свойства, перемешанные в материи, а потому измерению они не поддаются. Галилей же утверждал, что холод не является положительным качеством, а есть лишь отсутствие тепла, поэтому он пребывает не в материи, а в чувствительном теле. Тепло же представляет собой «множество мелких частиц той или иной формы, движущихся с той или иной скоростью, которые, встречаясь с нашим телом, проникают в него с величайшим проворством; их прикосновение, осуществляемое при прохождении в нашу ткань и ощущаемое нами, и есть то воздействие, которое мы называем теплом...». Это почти механистическое толкование тепла, если бы указанные частицы были молекулами, однако Галилей, как и древние греки, считает их тельцами особой субстанции — огня.

Такое определение тепла наводит Галилея на мысль измерить «степень жары и холода», и он изобретает первый термометр — «термоскоп». Это колба размером с яблоко, с длинным тончайшим горлышком, которое опускалось в чашу с водой. Если колбу согреть рукой, а потом опустить в чашу, то вода поднимается по горлышку. Этот «термометр» стал широко применяться в различных областях, включая медицину.

Вскоре Галилей делает с помощью изобретенной им зрительной трубы ряд астрономических открытий, неопровержимо подтверждающих систему Коперника. Церковь и жрецы официальной науки объявляют их «дефектами зрительной трубы». И Галилей с горечью пишет по этому поводу своему единомышленнику: «Посмеялся, мой Кеплер, великой глупости людской!»

«Диалог о двух главнейших системах мира» увидел свет, когда Галилею было уже 68 лет. С долго сдерживаемой страстностью обрушивается он на перипатетиков. «Некоторые люди, — пишет он, — выведя поспешные заключения, вобьют себе в голову какое-нибудь утверждение и упорно его держатся как собственного или как приобретенного от аккредитованных лиц, так что искоренить его из их голов невозможно». И устами одного из персонажей книги высмеивает их: «Если отказаться от Аристотеля, то кто же будет нам проводником в науке?»

«Диалог» поразил Европу блестящим обоснованием системы Коперника и вызвал гнев инквизиции. Под ее давлением 22 июня 1633 г. Галилей подписал акт «самоотречения» от ... этой системы, сохранив такой ценой жизнь и свободу для завершения своего дела. Нemoщный, почти потерявший зрение и слух, он продолжает неустанно трудиться. В 1638 г. в первой буржуазной республике Голландии издаются его «Беседы», добившие аристотелеву физику.

8 января 1642 г. Галилей скончался. У гроба, кроме сына, невестки и двух учеников — Вивiani и Торричелли, находились два стража инквизиции...

Через несколько веков, уже в наше время, церковь объявила процесс над Галилеем «ошибкой», а Бруно даже причислила к лику святых... Жест, продиктованный не столько доброй волей, сколько желанием и из науки извлечь что-нибудь для поддержания своего пошатнувшегося авторитета.

В «Беседах» в той или иной форме фигурируют почти все основные понятия и принципы механики, имеющие прямое отношение к нашей теме.

Накопившиеся научные и практические данные заставляют Галилея по-новому проанализировать движение брошенного вверх камня. Он приходит к выводу, что «сообщенный импульс уничтожается погашением первоначального излишка его над весом тела». Аристотелево «естественное» падение камня становится у Галилея насильственным — под действием силы тяжести. И наоборот, «насильственное» равномерное движение тела под действием якобы толкающей силы воздуха становится естественным, совершающимся без приложения силы. Сила требуется лишь для изменения этого движения. Следовательно, равномерное движение происходит по инерции. И Галилей широко пользуется принципом инерции, но толкует его еще так же «космически», как и Коперник: движение тела, на которое не действуют силы, есть движение по окружности. Прямолинейное же равномерное движение невозможно, поскольку оно бесконечно, а в природе ничто не может стремиться к недостижимой цели (это от Аристотеля!). Для оценки равномерного движения он вводит термин и понятие скорости (не применявшиеся в античной механике), не давая, правда, его точного определения, а лишь сравнивая скорости двух тел.

Заметив, что падение тел происходит неравномерно, Галилей вводит понятие неравномерного движения, истинной (мгновенной) скорости его и «быстроты изменения скорости», то есть ускорения, утверждая, что для падающих тел оно постоянно (термин «ускорение» стал употребляться гораздо позже). Он теоретически устанавливает, что скорость падающего тела пропорциональна времени в первой степени (сначала он предполагал — пройденному пути, но потом сам исправил ошибку), а путь — квадрату времени. Он рассуждал так.

Пусть сила тяжести в первую секунду сообщает телу скорость  $\omega_1 = g \cdot 1$  м/с, тогда к концу второй секунды скорость станет равной  $\omega_2 = g \cdot 2$ , третьей —  $\omega_3 = g \cdot 3$ , а в конце  $\tau$  секунд достигнет значения  $\omega\tau = g \cdot \tau$ ; здесь  $g$  — быстрота изменения скорости, или ускорение свободного падения (равно 9,81 м/с<sup>2</sup>).

Далее. Поскольку средняя скорость тела за первую секунду  $\omega_{1cp} = 0,5 (0 + g)$  м/с, то путь  $l_1 = 0,5 \cdot g \cdot 1 \cdot 1$  метра; за две секунды  $\omega_{2cp} = 0,5 (0 + 2g)$  м/с, а путь  $l_2 = 0,5 \cdot g \cdot 2 \cdot 2$  метра; за три секунды соответственно  $\omega_{3cp} = 0,5 (0 + 3g)$ , а путь  $l_3 = 0,5 \cdot g \cdot 3 \cdot 3$  метра. Следовательно, за  $\tau$  секунд пройденный путь составит  $l\tau = 0,5g\tau^2$ .

Эти зависимости Галилей тщательно проверил экспериментально. Опыты проводились с бронзовым \* шариком, пускавшимся по прорезанному в наклонной плоскости желобу, устланному для уменьшения трения пергаментом. Время измерялось количеством воды, вытекавшей через тонкую трубочку из ведра. Но и при такой технике было получено точное значение ускорения свободного падения тел  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.

Как и Аристотель, Галилей размышляет над разным действием одинаковой силы тяжести падающего и давящего тела. Он приходит к выводу, что для забивания сваи на одинаковую глубину вес падающего груза должен быть в несколько раз меньше, но не может объяснить это явление. Через 50 лет подобные наблюдения приведут к делению сил на «живые» и «мертвые» и к знаменитому спору о двух мерах движения.

В сочинениях Галилея термин «сила» не имеет ясно-го определения и применяется наряду с такими, как «мо-

---

\* По другим данным — из слоновой кости.

мент», «импульс», «работа» и даже «энергия», принимая в разных задачах различные значения. Вместе с тем Галилей уже оценивает действие силы по сообщаемой телу за данное время скорости, то есть по ускорению, но, не зная понятия массы, не может правильно связать между собой эти величины. Однако уже в 1644 г. Торричелли, уточняя галилеево толкование «момента», заменяет вес тела «количеством материи» — мерой ее инертности, а это в сущности и есть масса. Количество материи, по Торричелли, определяет «противодействие, оказываемое телом толчку; поскольку сама по себе материя мертва, она служит лишь для того чтобы препятствовать, противиться действующей силе. Материя служит лишьместилищем силы, моментов и импульса». Правда, последние термины так же неопределенны, как и у Галилея.

В своих исследованиях Галилей пользуется принципами суперпозиции (наложения) движений, независимости действия сил, относительности, инерции, возможных перемещений (возможных скоростей) и др. Особенно важно отметить последний, поскольку он постулирует сохранение работы. В применении к рычагу этот принцип известен в античном мире как «золотое правило механики» (сколько выигрываешь в силе, столько проигрываешь в перемещении), им пользовались Архимед, Герон, Стевин и другие ученые того времени. Но Галилей первым сформулировал это правило как общий принцип статики: «Когда наступает равновесие и оба тела приходят в состояние покоя, то моменты, скорости и склонность их к движению, т. е. пространства, которые они прошли бы в одинаковые промежутки времени, должны относиться друг к другу обратно их весам...» Окончательное обобщение этого принципа будет сделано в 1717 г. И. Бернулли.

Таким образом, Галилей, разрушив механику перипатетиков и установив ряд правильных закономерностей и понятий, открыл путь к окончательному формированию этой области физики.

Движению по этому пути будет способствовать все увеличивавшийся интерес к опытно-техническим исследованиям, для развития которых начали создаваться специальные научные общества — прообраз будущих академий наук. Так, в 1560 г. в Неаполе основывается Академия тайн природы (разогнанная вскоре по обвинению «в колдовстве»), в 1603 г. в Риме — Академия



рысьеглазых, членом которой был и Галилей, в 1645—1660 гг. оформляется Королевское общество развития знаний в Лондоне, в 1657 г. организуется Академия опытов во Флоренции, в 1666 г. учреждается Академия точных наук в Париже и т. д.

Начинают выпускаться сборники трудов, расширяется обмен между учеными. Наука обретает организационный фундамент, и ее главной задачей становится построение на нем действительной, полноценной системы знаний о реальной природе. А для этого нужен «проект» — методология познания мира, без разработки которой дальнейшее движение невозможно, как невозможно и продолжение процесса формирования научных понятий...

# ТРОЕЦАРСТВИЕ

---

*Да здравствуют музы, да здравствует разум!  
Ты, солнце святое, гори!  
Как эта лампада бледнеет  
Пред ясным восходом зари,  
Так ложная мудрость мерцает и тлеет  
Пред солнцем бессмертным ума.  
Да здравствует солнце, да скроется тьма!*

А. С. Пушкин

## Усилия на ложном пути множат заблуждения

В XVII в. естествознание сбрасывает, наконец, оковы религии, схоластики, официальной догматической философии и становится на прочный фундамент экспериментирования и математизации — установления количественных зависимостей. Начинается углубленное изучение отдельных предметов и явлений природы, пока вне связи, вне взаимодействия их друг с другом — метафизически. В результате успехи науки намного превосходят все, что было сделано ранее, и в XVII в. продолжается научная революция.

Стихийно складывающаяся новая, в основе своей материалистическая философия тесно связана с естествознанием и поэтому отличается теми же чертами. Ее важнейшая задача — сознательная разработка методологии науки, а значит, и понятий, включая энергетические.

Когда говорят, что с Галилея физика начала оформляться в самостоятельную науку, то подразумевают не столько его открытия, сколько новый образ мышления, введенный им в процесс познания.

Эксперимент у него — не самоцель. Он как бы венчает развитие мысли, служит критерием ее истинности или ложности. Чувственный опыт, рабочая гипотеза, математическая разработка ее и, наконец, сознательно поставленный эксперимент — такова логика научного исследования, которой придерживался Галилей. При этом он исходил из того, что книга природы «написана

на языке математики, ее буквами служат треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без помощи которых человеку невозможно понять ее речь...»

Творцами новой философии и методологии естествознания стали англичанин Фрэнсис Бэкон (1561—1626) и француз Рене Декарт (1596—1650), хотя они пропагандировали различные методы, зародившиеся еще в Древней Греции и стихийно применявшиеся многими учеными. Бэкон разрабатывал индукцию — движение от результатов ряда частных опытов к широким обобщениям, а Декарт, будучи математиком, — дедукцию, то есть переход об общих идей и теорий к частным положениям и выводам, свойственный математике. Причем оба ученых не отрицали полезности и второго метода, но главную роль отводили своему.

Бэкон первым заметил, что старые логические учения не соответствуют новым задачам не только потому, что они мало заботились о познании законов природы, но еще и потому, что *понятия*, к которым они относились, *«были неправильно отвлечены от вещей»*. Поэтому необходим и надежный метод образования понятий. Ведь методы, рассчитанные на то, чтобы оперировать уже готовыми понятиями, не могут исправить коренные ошибки, возникшие при образовании этих понятий. *Усилия же на ложном пути множат заблуждения*. Мы хорошо это видели выше...

Бэкон считал, что и эту задачу может решить индукция.

К. Маркс и Ф. Энгельс называли Ф. Бэкона настоящим родоначальником английского материализма и вообще опытных наук новейшего времени.

Бэкон родился в семье лорда—хранителя печати и получил юридическое образование в Кембридже и Париже. В 1604 г. он уже член Тайного совета, в 1615 — генерал-адвокат, в 1618 — лорд-канцлер, в 1621 г. — барон Веруламский. Но на этом его карьера резко обрывается. В том же 1621 г. он был уличен во взяточничестве и отстранен от всех должностей, лишен титулов, осужден к заключению в Тауэр и к уплате крупного штрафа. Правда, король вскоре простил своего любимца, хотя к государственной деятельности больше уже не подпускал.

Лорд-канцлер Англии в противовес аристотелевскому «Органону» в 1620 г. издает «Новый органон» («органон» — значит «орудие», в данном случае — орудие по-

знания), где обрушивается на философию и логику Аристотеля, предлагая взамен свой метод познания для естественных наук.

С высоты государственных постов Бэкон, вероятно, лучше других видел, что производство при капитализме становится массовым и удовлетворяющая его потребности наука должна стать повседневной работой многих людей со средними способностями. Поэтому он, скорее всего, и сосредоточивает внимание на создании метода, который бы «немного оставлял остроте и силе дарований, но почти уравнивал их». Проводя аналогию между новым научным методом и новыми техническими средствами, Бэкон пишет: «Голая рука и предоставленный самому себе разум не имеют большой силы. Дело совершается орудиями и вспоможениями, которые нужны не меньше разуму, чем руке. И как орудия руки дают или направляют движение, так и умственные орудия дают разуму указания или предостерегают его». Орудием ума в науке и должен был стать метод.

Бэкон учит, что разум должен «очищать опыт» и извлекать из него плоды в виде законов природы. По его мнению, наука до сих пор творилась либо эмпириками, либо догматиками. Эмпирики, подобно муравьям, только собирали и использовали собранное. Догматики начинают прямо с разума и вытягивают содержание из самих себя, как пауки паутину. Правильный путь избирает лишь пчела: она извлекает материал, перелетая с цветка на цветок в садах и полях, но обрабатывает и перерабатывает его по-своему. Вот эта-то переработка и должна производиться методом индукции, то есть постепенным восхождением от частных к малым аксиомам, от них к средним и, наконец, к самым общим. Критерием же истинности результатов должен быть только опыт.

Бэкон тщательно разрабатывает «технику» индуктивного мышления. При этом он предупреждает, что правильному ходу индуктивных рассуждений могут мешать заблуждения разума — «призраки». «Призраки Рода» зависят от свойства интеллекта человека видеть в вещах больше порядка, чем есть на самом деле. «Призраки Пещеры» обусловлены привычками, воспитанием, знаниями. «Призраки Рынка» проистекают от неправильного словоупотребления. И наконец, «призраки Театра» являются следствием вымышленных теорий, они

подразделяются на софистику, эмпирику и суеверие. Аристотелево учение Бэкон относит к софистике.

Этот анализ трудностей умственной работы весьма современен — им занимаются психологи и сейчас.

Чтобы помочь работе ученых, Бэкон составляет 24 группы «преимущественных примеров». Одна из них — «примеры Креста» — прочно вошла в науку со времен Ньютона как «решающие опыты», с помощью которых из соперничающих теорий выбирают более соответствующую фактам.

Только первичная материя, по Бэкону, «является причиной всех причин», в том числе «специфических сил и действий». Однако увлеченный развитием и пропагандой своего метода, Бэкон мало внимания уделил непосредственно исследованиям, включая и те, в которых фигурировали бы понятия «сила», «работа», «энергия». Но его влияние на формирование последних было велико. Так, Ньютон, внесший вклад в решение этой задачи, признавал лишь индуктивный метод.

Примером эффективности Бэконовского метода может служить определение сущности теплоты. После длинной цепи рассуждений, группируя факты в таблицы положительных и отрицательных «инстанций», а затем сопоставляя их в «таблице степеней и сравнений», Бэкон приходит к заключению, что «Тепло есть Движение распространения, затрудненное и происходящее в малых частях». Поскольку тело, отдающее теплоту, нисколько не теряет в весе, рассуждал Бэкон, постольку при нагревании не может быть передачи вещества, а так как все тела можно нагреть посредством трения, то возможность существования какого бы то ни было «теплого вещества» (частиц огня или позже «теплорода») исключается. Почти через 230 лет, изрядно проблуждав под действием «призраков Театра» в царстве теплорода, ученые откроют это определение, уточнив его в соответствии с новыми успехами науки. Удивительны и другие предсказания Бэкона: гипотеза о конечной скорости света, программа опытов по изучению сил тяготения и т. д.

Даже Бэкон признавал дедукцию основой математики. Не удивительно, что выдающийся математик, основоположник аналитической геометрии Декарт стал апологетом дедуктивного метода. Но Декарт не только разрабатывал и пропагандировал свой метод, на его основе он построил последнюю всеобъемлющую натурфилософ-

скую систему мира, которая как бы связывает между собой нерасчлененную науку древних с новой наукой, сложившейся после XVII в., перекидывая мост через многие столетия всевластия религии и схоластики.

Великая историческая заслуга Декарта, писал выдающийся русский физик Н. А. Умов, состоит в создании «нового плана для разрешения вопросов знания... в борьбе со схоластическими теориями». «Перед мыслящим человечеством стояли уже не единичные факты, противоречащие общепризнанным воззрениям и не связанные с новыми — стоял воплощенный и одухотворенный образ точного знания, по силе, широте и определенности не уступавший старым учениям».

Не сразу судьба вывела Декарта (по-латыни Картезиуса) на философскую дорогу. Отпрыск старинного дворянского рода, он в 16 лет заканчивает иезуитский коллеж, становится военным и в промежутках между учениями и сражениями ведет обычный разгульный и рассеянный образ жизни. Но вот, по его словам, 10 ноября 1619 г., когда в Баварии было холодно и он просидел весь день в комнате, видя вспышки молнии и слыша раскаты грома, в его голове сложилась мысль создать аналитическую геометрию и применить математические методы в философии. «Я... должен был отбросить как безусловно ложное все, в чем мог вообразить малейший повод к сомнению, — пишет он. — А что несомненно? С чего начинать? Где та истина, которая так тверда и верна, что самые сумасбродные предположения скептиков не смогут ее поколебать...?» Этой истиной стал принцип: «Я мыслю, следовательно, я существую». А раз я существую и ощущаю окружающий мир, то существует и он. Но тогда несомненно должен существовать и бог — кто бы иначе все это сотворил, — который создал материю и движение в каком-то определенном количестве (отсюда сами собою возникают «законы сохранения»). «Однако, несомненно, лучше для познания растений и человека следить за их постепенным развитием из семени, чем так как бог создал их в начале мира. Если мы в состоянии открыть некоторые принципы, простые и легко понимаемые, из которых, как из семени, могут быть выведены звезды, Земля и все, что мы находим в видимом мире, хотя бы мы знали, что они произошли иначе, — то таким способом мы объясним природу несравненно лучше, чем если будем описывать только существующее.

Так как я полагаю, что мной найдены такие принципы, то я их изложу вкратце». Так Декарт, сохранив бога, открыл путь к познанию природы...

В тот холодный баварский день, когда молодой повеса решил начать новую жизнь, он был современником 58-летнего английского лорда-канцлера Ф. Бэкона и 55-летнего итальянского «еретика» Г. Галилео. Внезапно пробудившийся интерес к философии заставляет его уединиться на целых два года для размышлений. Но вихри бушующих вокруг политических и военных событий подхватывают его, и только в 1624 г., по окончании чешского периода Тридцатилетней войны (1618—1648), он поселяется в Голландии и целиком отдается творческой работе. Труды по математике, «Правила для руководства ума», «Рассуждения о методе», «Принципы философии» и другие сочинения завоевывают ему признание у передовых ученых и вызывают злобу в стане церковников и схоластов. В 1649 г. он вынужден был переехать по приглашению шведской королевы в Стокгольм, где и умер от воспаления легких, не дожив до полных 54 лет.

Как и Бэкон, конечную цель знания Декарт видел в господстве человека над силами природы, но в отличие от Бэкона, по классификации последнего, он был тем самым ученым-пауком, который «начинает прямо с разума и вытягивает содержание своей системы из самого себя как паутину».

Декарт отрицает все доктрины, догмы, авторитеты, в особенности Аристотеля, и верит «лишь тому, что очевидно». Его дедукция состоит в расчленении сложных восприятий на их составляющие, пока последние не сведутся к простым и ясным «идеям». Как и Евклид в своей геометрии, он выдвигает несколько аксиом и на их основе строит систему выводов, приписывая им такую же достоверность, как и первичным аксиомам.

Созданная богом и в целом неизменная материя претерпевает, по Декарту, «известные изменения в ее частях», присущих природе. Правила, по которым совершаются эти изменения, он и называет законами природы и ставит своей целью их установление. Но все изменения у него — суть механические перемещения материи, обладающей единственным свойством — «протяженностью, наделенной формой». «Дайте мне материю и движение, и я построю мир!» — восклицает Декарт. И он его построил в виде своей системы. Даже животные у

него — сложные механизмы, а человек — совокупность механизма с «непротяженной душой», природа которой отлична от тела. И вместе с тем лучшим из того, что тогда было в механике — трудами Галилея, он пренебрегает. «В его книгах, — пишет Декарт, — я не вижу ничего такого, чему бы мог позавидовать или принять за свое». Вероятно, дело было в том, что Галилей ставил своей целью описание явлений, а Декарт — открытие их причин.

По Декарту, Вселенная развилась из «тонкой материи» (ее опять назовут «эфиром»), заполняющей все пространство и находящейся в непрерывном вихревом движении. Как и Аристотель, он не признавал пустоты. В результате взаимодействий из частичек этой материи возникли частицы огня, воздуха и земли, различающиеся размерами и формой. Первые образовали материю Солнца и других светил, вторые — неба, третьи — Земли и планет.

Узнав об осуждении Галилея за доказательство движения Земли, Декарт пишет в одном из писем Мерсенну\*: «...если движение Земли есть ложь, то ложь и все основания моей философии, так как они явно ведут к этому же заключению». Но чтобы сохранить расположение церкви, Декарт делает Землю в своей системе неподвижной относительно увлекающего ее вокруг Солнца вихря. Однако мысль о возможности существования других миров все равно привела к запрету его сочинений.

Далее Декарт формулирует три основных закона — «правила» природы. Перед этим он впервые определяет равномерное движение как прямолинейное перемещение (у Галилея было круговое) тел без воздействия сил. Первое и третье «правила» выражают в совокупности закон инерции движения: всякое тело стремится сохранить величину и прямолинейное направление скорости.

Второе «правило» гласит, что при переносе движения общее его количество сохраняется. Таким образом, Декарт первым вводит *меру движения* — событие выдающееся. Однако, определяя «количество движения» как произведение «величины тела» на скорость его движения, он делает сразу две ошибки: 1) под «величиной тела» чаще всего понимает вес вместо массы; 2) не учитывает направления скорости — векторного характера ко-

---

\* «Человеку-журналу», через которого многие ученые в то время обменивались информацией.



личества движения. Первую ему можно простить, ибо массы тогда не знал никто, вторая же удивительна для великого геометра.

Ошибки эти сразу дали о себе знать в теории удара, которую Декарт сочинил умозрительно в дополнение к трем «правилам природы», поскольку взаимодействие в механике сводится к давлению, толчку или удару. При этом он забыл свои же слова, произнесенные при сравнении сил давления и удара всего за четыре года до этого: «Я не могу сказать, сколько тяжести требуется, чтобы сравняться с ударом молотком; ибо это вопрос факта, *где рассуждение не ведет ни к чему без опыта*» (курсив мой. — Г. А.). Так и получилось — при экспериментальной проверке из восьми правил удара семь оказались неверны. Помимо указанных ошибок, этому способствовала еще одна — он не учитывал разницы во взаимодействии упругих и неупругих тел.

Декарт считал, что при соударениях любых тел арифметическая сумма скалярных величин количеств движения до и после удара должна сохраняться. Когда же простейшие опыты с бильярдными шарами показали, что это не так — сумма количеств движения и уменьшалась и увеличивалась в зависимости от знака и угла между векторами скорости, — он заявил, что причина этого кроется в ошибках измерений. Не мог же нарушаться главный натурфилософский принцип его учения — неуничтожимость движения! Философ победил в нем геометра! (Но это лучше, чем если бы случилось наоборот.)

Несмотря на отмеченные ошибки, провозглашение Декартом принципа сохранения движения и меры движения сыграло большую роль в формировании понятия энергии и открытии закона ее сохранения.

Нельзя не отметить и тот факт, что, не зная еще понятия массы, Декарт уже различал «силу пребывать в покое» и «силу продолжать движение», первую из которых можно рассматривать как догадку об инертной массе тела, высказанную независимо и раньше Торричелли. Он ввел также важное понятие «импульс силы» — произведение величины приложенной к телу силы на время ее действия —  $F\tau$ , равное количеству движения  $F\tau = m\omega$  и в наше время слившееся с ним.

Поскольку материя у Декарта изначально движется, «силы» становятся не причиной, а следствием движения. Правда, это обычно происходит в случаях, когда «силы»

выступают в значении работы или энергии. В результате движения и взаимодействия частичек «тонкой материи» и трех элементов возникают у него свет, тепло и тяготение. Например, тяготение к центру Земли Декарт объясняет тем, что, находясь в вихревом движении, частички тонкой материи удаляются к периферии, а более тяжелые частицы земли заполняют их место.

Н. А. Умов пишет: «Картезианская точка зрения приводит к особому представлению об энергии. Подымая камень с поверхности земли, я запасаю в системе *камень — земля* работу, так называемую потенциальную энергию, которая проявляется и может быть взята из этой системы при падении камня на землю. Энергия, которою обладает тело в силу своего движения, есть энергия кинетическая. Таким образом в природе мы находим две формы энергии — потенциальную и кинетическую. С точки зрения современных картезианцев существует только одна энергия — кинетическая. Потенциальная энергия есть кинетическая энергия скрытых от нас движений».

Таким образом, сила тяжести, как и любая другая сила, по Декарту, есть результат движения материи, а не свойство тела. Отождествляя «тонкую материю» с пространством, можно было бы сказать на современном языке, что тяготение у Декарта становится свойством пространства. У Гильберта и Кеплера сила тяготения была присуща самим телам, у Галилея (а затем и у Ньютона) она тоже не сводится к свойствам пространства и времени. Вместе с тем механицизм Декарта противостоял и атомизму, согласно которому именно атомы создают поля сил, а их скрытые движения объясняют все физические процессы. Важно еще отметить, что термин «сила» Декарт применяет в значении действия, то есть энергии или работы, широко используя принцип сохранения последней как закон, не нуждающийся в доказательстве. Декартова «сила» зависит от величины силы в современном ее значении (как меры взаимодействия тел) и от проекции пройденного пути на направление действия силы. Поэтому «сила», служащая для подъема груза, имеет оба эти измерения, а сила, служащая для его поддержания, — одно. «...Эти силы, — пишет Декарт, — отличаются друг от друга настолько же, насколько поверхность отличается от линии». В результате он «доказывает», что «сила», способная поднять груз в 2 кг на

1 метр или в 1 кг на 2 метра, вдвое больше «силы», поднимающей груз в 1 кг на 1 метр, что в обоих случаях неверно, ибо здесь речь идет не о силе, а о работе.

Отметим также, что Декарт не соглашался и с законами падения тел, открытыми Галилеем, ибо ему были чужды понятия ускорения и связь между силой и ускорением, хотя последняя вытекала из установленного им же равенства импульса и количества движения  $F\tau = m\omega$ , то есть  $F = ma$ , где  $a = \frac{\omega}{\tau}$  и есть ускорение.

И вместе с тем Декарт утверждал «с достоверностью, что камень не одинаково расположен к принятию нового движения или к увеличению скорости, когда он движется очень скоро и когда он движется очень медленно». Значение этой догадки оценил только в 1896 г. Н. А. Умов, предсказавший, что при скоростях, близких к скорости света, масса тел должна возражать. Правда, Дж. Дж. Томсон независимо доказал это еще в 1881 г., теоретически рассмотрев движение заряженного шара. Это положение было развито Г. Лоренцем, а затем А. Эйнштейном до известного соотношения между энергией  $E$  и массой  $m$ — $E = mc^2$ , где  $c$  — скорость света.

Итак, человеческая мысль все более разрывает сети заблуждений и все ближе подходит к выработке правильных энергетических представлений и понятий. И хотя Декарт, дав ряд общих идей, пренебрег разработкой деталей, его труды были еще одним шагом вперед в этом направлении.

Учение Декарта быстро распространялось по Европе, сметая на своем пути остатки схоластики. Однако, выполнив свою полезную миссию, под напором новых наблюдений и исследований, оно терпит поражение за поражением и окончательно развенчивается отвлеченным от общих идей, но тщательно разработанным в деталях учением Ньютона.

## **«В любых движениях тел ничего не теряется... из сил...»**

Президент Парижской академии наук Бернар Ле Бовье де Фонтенель, поставивший чуть ли не рекорд долголетия среди ученых (1657—1757), писал: «Декарт дал нам новый метод рассуждений, гораздо более при-

влекательный, чем сама его философия, большая часть которой или неверна или сомнительна — согласно тем же правилам, которым он нас учил».

И он был прав. Только два ошибочных положения учения Декарта — о невозможности создать пустоту и определение количества движения как не имеющей направленности величины — приводили к такому числу абсурдных следствий, что развитие науки не могло продолжаться без их опровержения. Первое из них лишало полноты представления о силах тяжести и «легкости» и затрудняло их измерение, второе — запутало теорию удара, а с нею и объяснение ряда других явлений и остановило на полпути формирование понятий силы, количества движения и энергии.

Уже Галилей знал из опыта флорентийских водопроводчиков, что «сила боязни пустоты» не может превысить веса столба воды высотой 10 м. Он предлагал использовать для ее измерения груз, отрывающий поршень от дна цилиндра, к которому он должен быть плотно пригнан. Вскоре Торричелли (1608—1647), изучая действие тяжести на жидкость, доказал, что скорость вытекания жидкости равна скорости падения ее с высоты  $h$  уровня в сосуде ( $\omega = \sqrt{2gh}$ ). Торричелли же впервые доказал, что предельная высота «всасывания» воды в насосах соответствует атмосферному давлению (10 метров водяного столба), под действием которого происходит нагнетание воды.

И наконец, в 1643 г. Торричелли и Вивiani, год назад стоявшие вместе у гроба учителя, проделали рекомендованный им знаменитый опыт с поршнем, заменив воду ртутью. В цилиндре образовалась пустота при высоте ртутного столба примерно в 14 раз меньшей, чем водяного; столб этот колебался в зависимости от состояния атмосферы. Так было доказано одновременно существование пустоты и атмосферного давления! Открытие пустоты ожидалось давно и было встречено довольно спокойно. Атмосферное же давление казалось невероятным: как человек может не чувствовать, что на его плечи постоянно давит сила в тысячу килограммов?!

Однако картезианцы твердили, что торричеллиева пустота — это «пространство с разреженным воздухом». Опыты продолжил француз Блез Паскаль (1623—1662), короткая жизнь которого была блистательна: занимаясь физикой всего 3—4 года, он навечно вписал свое имя

в ее историю, а уйдя в монастырь и издав в 1657 г. «Письма провинциала» — памфлет против иезуитов, выдержавший 60 изданий, положил начало новой французской литературе.

Убедившись на собственных опытах в правильности результатов Торричелли, Паскаль осуществил идею Декарта об измерении атмосферного давления на разных высотах. Оказалось, что с подъемом в гору столбик ртути в барометре понижается... Казалось бы, больше спорить не о чем, но Декарт заявил: «Вакуум существует лишь в голове Паскаля!»

Паскаль, как и многие до него, тоже часто пользуется понятием «работа». При этом он распространяет его, а вместе с ним и принцип возможных перемещений, на жидкости. Во всех простых машинах — рычаге, блоке, бесконечном винте — «путь увеличивается в той же пропорции, как и сила», в гидростатике же «совершенно безразлично, заставить ли 100 фунтов воды пройти путь в один дюйм или один фунт воды — путь в 100 дюймов», — писал Паскаль. Пользуясь этим принципом, он независимо и более четко и широко, чем Бенедетти, Стевин и Галилей, формулирует закон равного давления жидкостей на стенки сосудов, закон сообщающихся сосудов, принцип гидравлического пресса и другие положения гидростатики.

Огромная величина атмосферного давления настолько противоречила «здравому смыслу», что вопросом заинтересовались даже члены Баварского рейхстага и сам курфюрст. 8 мая 1654 г. уже упоминавшийся выше бургомистр О. Герике проделал перед ними сенсационный опыт. Он откачал воздух между двумя плотно прилегающими медными полушариями диаметром примерно 0,3 м, и две упряжки по 8 лошадей с трудом разделили эти полушария со звуком взрыва.

И наконец, знаменитый химик Роберт Бойль, проведя множество опытов сам и обработав данные других, установил обратно пропорциональную зависимость между удельным объемом воздуха и его давлением при постоянной температуре ( $p_1v_1 = p_2v_2$ ).

Так прояснилось представление еще об одном виде сил — упругостных, или «пневматических», и расширилось представление о силе тяжести. Оказалось, что весит не только камень, но и «невесомый» воздух.

Огромный вклад в процесс формирования понятий

«сила», «импульс» и «энергия» сделал Христиан Гюйгенс (1629—1695), исправивший прежде всего вторую ошибку Декарта в теории удара.

В 1668 г. Лондонскому Королевскому обществу пришлось объявить конкурс на решение проблемы удара. Правильные ответы прислали математик Д. Уоллес — для центрального удара двух одинаковых неупругих шаров, архитектор К. Рен и... юрист Х. Гюйгенс — для упругих шаров. Гюйгенс решил эту задачу еще в 1652 г., но воздерживался от публикации, не желая огорчать отца, считавшего Декарта непогрешимым. Двадцатитрехлетний юрист показал, что в трактовке Декарта «количество движения, которое имеют два тела, может увеличиваться или уменьшаться при столкновении; но его величина остается постоянной в ту же сторону, если мы вычтем количество движения обратного направления». Иными словами, сохраняется лишь векторная величина количества движения. Так, философский принцип Декарта о «сохранении движения» приобрел, наконец, правильное количественное выражение (впрочем, не совсем, поскольку понятие массы все еще остается расплывчатым).

Многочисленные интуитивные намеки на существование принципа сохранения «силы» — энергии приобретают у Гюйгенса более определенное рациональное очертание и широту. Исследуя законы качания маятника, он исходит из правила: «В движении тел, происходящем под действием их тяжести, общий центр тяжести этих тел не может подняться выше первоначального положения». Близкие к этому высказывания делались Галилеем, Торричелли, Стевином и другими. Но далее Гюйгенс пишет: «Если бы изобретатели новых машин, напрасно пытающиеся построить вечный двигатель, пользовались этой моей гипотезой, то они легко бы сами осознали свою ошибку и поняли, что такой двигатель нельзя построить механическими средствами». А за два года до смерти он расширяет формулировку «гипотезы»: «В любых движениях тел ничего не теряется и не пропадает из сил, разве только в определенном действии, для осуществления которого требуется такое же количество силы, какое убыло; силой же назовем потенцию, необходимую для поднятия груза; двойная сила ( $P$ ) может поднять груз на вдвое большую высоту» ( $h$ ), то есть  $P_1 h_1 = P_2 h_2$ . Поскольку  $P = mgh$  — потенциальная энергия тяжести,

то здесь уже почти дана формулировка закона сохранения энергии в механике, отсутствует лишь в явной форме кинетическая энергия.

Однако и ее можно ввести сюда, если вспомнить, что из законов Галилея  $\omega = g\tau$  и  $h = \frac{1}{2}g\tau^2$  высота  $h = \frac{1}{2}g\left(\frac{\omega}{g}\right)^2 = \frac{\omega^2}{2g}$ . Подставив это в выражение «гипотезы» Гюйгенса, получим  $\frac{P_1\omega_1^2}{g \cdot 2} = \frac{P_2\omega_2^2}{g \cdot 2}$ , где  $\frac{P}{g} = m$  и есть масса. Тогда  $\frac{m_1\omega_1^2}{2} = \frac{m_2\omega_2^2}{2}$  — закон сохранения «живых сил» (этот термин позже введет Готфрид Лейбниц), то есть кинетической энергии. Этот-то закон, хотя еще и не в окончательном виде и сформулировал Гюйгенс для упругого удара в дополнение к закону сохранения количества движения: «При соударении двух тел сумма произведений из их величин (опять не хватает понятия массы. — Г. А.) на квадраты их скоростей остается неизменной до и после удара». При этом наряду с  $m\omega^2$  у него иногда фигурирует величина  $\frac{m\omega^2}{2}$ , обоснованная только через 177 лет Кориолисом.

Интересно, что к этому же выводу для упругого удара пришел и Рен, а Уоллес показал, что при неупругом ударе  $m\omega^2$  не сохраняется (так как «живая сила» при деформации — смятии шаров частично передается внутренним элементам материала).

Итак появляется вторая мера движения и начинается знаменитый спор о том, какая правильнее — «спор о двух мерах движения».

Важнейшую роль в обобщении установленных положений механики и в формировании понятий силы и массы сыграло сочинение Гюйгенса «О центробежной силе» (1703). Здесь впервые исследовано движение, происходящее под действием силы, отличающейся от силы тяжести, и сделан еще один шаг после Галилея к открытию связи между силой и ускорением. Сила натяжения нити оказалась пропорциональной ускорению, с которым двигается груз, оторвавшись от нее. Гюйгенс вводит более четкое, чем до него у Бенедетти и Декарта, представление о центростремительной и центробежной силах, относя их к той же категории, что и сила тяжести, то есть еще более обобщая понятие силы. Это позволяет

ему, используя рассуждения Галилея для свободно падающих тел применительно к телам, движущимся по кругу, получить формулу центростремительной силы  $F = \frac{m\omega^2}{R}$ , где  $R$  — длина нити или радиус вращения тела.

Он показывает также, что наличие центростремительной силы превращает аристотелевское круговое равномерное движение из «естественного», инерционного в «насильственное», центробежная же сила, растягивающая нить, становится инерционной силой.

## **Силы живые и мертвые, активные и пассивные**

В исправление второй ошибки Декарта и развитие правильного толкования закона неуничтожимости движения немалый вклад внес немецкий ученый Готфрид Вильгельм Лейбниц (1646—1716).

Почитатель Декарта и приверженец Гюйгенса, он не мог не включиться в спор о двух мерах движения. В 1686 г. Лейбниц выступает с трактатом «Краткое доказательство примечательной ошибки Декарта и других относительно закона природы, согласно которому бог всегда сохраняет одно и то же количество движения и которым неправильно пользуются, между прочим, в механической практике». Здесь и в последующих трудах он развивает взгляды Гюйгенса о векторном характере количества движения и принципе сохранения «живых сил» (этот термин он введет в 1692 г.), расширяя последний до всеобщего закона природы.

Лейбниц пишет: *«Неверно... сводить все многообразие природы к чистой механике. Подтверждение этого я вижу в основном законе природы, который состоит не в сохранении одного и того же количества движения, но в том, что необходимо сохранять одно и то же количество деятельной силы... одно и то же количество двигательной деятельности, которое означает совсем не то, что понимают картезианцы под количеством движения»* (курсив мой. — Г. А.). Вот как близко подошла человеческая мысль к открытию закона сохранения энергии за 160 лет до его окончательного утверждения! Ведь «деятельная сила» и «двигательная деятельность» это, по существу, энергия. И лишь отсутствие представлений и данных



о многообразии форм движения в природе, без чего этот закон лишается смысла, не позволило сформулировать его раньше. Поэтому здесь чрезвычайно важно отметить отказ Лейбница от картезианского всемирного механицизма. Его же слова о «многообразии природы», не сводимом только к механическим явлениям, можно рассматривать как догадку о многообразии и взаимопревращаемости форм движения. Это подтверждается и его толкованием кажущейся потери «живой силы» при неупругом ударе «мягких тел», установленной еще Уоллесом. «То, что поглощается мельчайшими атомами, — пишет Лейбниц, — не теряется безусловно для вселенной, хотя и теряется для общей силы сталкивающихся тел». Об этом же свидетельствуют и его упорные попытки доказательства закона постоянства «живых сил» во всех известных ему явлениях.

Содержание понятия силы как некоего деятельного начала у Лейбница близко к картезианскому. Однако мерой этого начала он признает только произведение  $m\omega^2$ , являющееся мерой сил, производящих движение (отсюда «живая сила»). Декартову же меру движения  $m\omega = \frac{Ph}{g\tau}$  он называет «мертвой силой», поскольку, по его мнению, она является мерой сил, которые не производят движения, а обладают только стремлением к нему: силы сжатой пружины, силы тяжести покоящегося тела и т. п.

Выражение  $m\omega^2$  и постоянство этой величины он обосновывает, как и Гюйгенс, рассматривая падение тел и соударение шаров и так же теряя двойку в знаменателе.

Лейбниц отвергает закон сохранения картезианской скалярной меры движения, которая в некоторых случаях даже возрастает, допуская таким образом возможность создания вечного двигателя (что он считает абсурдом), и формулирует «закон сохранения направления», или «движения вперед». Он пишет: «Кроме изложенного выше закона природы, по которому сумма сил остается неизменной, существует другой, не менее общий и не менее согласный с разумом закон: в телах, связанных друг с другом, а также во всей природе общее количество направления остается неизменным». Сумма «направлений» — это геометрическая сумма векторов количеств движения, а закон — это закон сохранения количества движения в исправленном виде.

Таков подведенный Лейбницем итог спора о двух мерах движения на этом этапе. Полемика между сторонниками Декарта и Лейбница продолжалась еще несколько десятилетий. Среди многих выступлений для нас примечательны высказывания сторонника Лейбница крупнейшего ученого И. Бернулли. Любопытно, что в письме к Пьеру Вариньону 24 января 1717 г. он уже пользуется термином «энергия» для обозначения произведения силы на проекцию пути на направление силы. Вспомним, что аналогичная величина уже фигурировала у Декарта под названием «сила», выражая работу. В 1735 г. И. Бернулли пишет: если бы «величина живых сил, единственный источник непрерывности движения в природе, не могла бы быть сохранена, и, следовательно, не было бы равенства между действующей причиной и ее результатом», «вся природа впала бы в беспорядочное состояние». И сразу вслед за этим, в 1738 г. его брат Даниил выводит знаменитое «уравнение Бернулли», выражающее закон сохранения энергии применительно к стационарному движению несжимаемой жидкости.

Вскоре, однако, видный французский ученый и философ Даламбер, анализируя спор о мерах движения, попытается свести его к «спору о словах, недостойному внимания философов». По его мнению, формально обе меры движения (механического!) эквивалентны, если «живую силу» отнести к пути, а «мертвую» — ко времени. Однако это не сняло существа качественных различий между ними, ставшего ясным только после открытия других форм движения и их взаимопревращаемости.

Через много лет Ф. Энгельс так резюмировал борьбу между сторонниками двух мер движения: «...  $m\omega$  — это механическое движение, измеряемое механическим же движением;  $\frac{m\omega^2}{2}$  — это механическое движение, измеряемое его способностью превращаться в определенное количество другой формы движения».

Таким образом, движение характеризуется как сохранением количества движения — импульса, так и сохранением энергии. Соотношение же между этими величинами определяется соотношением свойств пространства и времени, о чем речь впереди. В поисках источников сил Лейбниц выдвинул идею о монадах — нематериальных, неделимых, самодетельных субстанциях, лежащих в основе всего. Бог у него был монадой монад.

В. И. Ленин писал, что Лейбниц «через теологию подходил к принципу неразрывной (и универсальной, абсолютной) связи материи и движения... Монады = души своего рода... А материя нечто вроде инобытия души или киселя, связующего их мирской, плотской связью».

Развивая свою теорию монад, Лейбниц делит силы на активные и пассивные. Активная сила — душа материи, присущая ей склонность к движению, пассивная сила — это сила сопротивления, или инерция. От природы все монады наделены обеими силами, но активная сила начинает действовать после того, как удаляется препятствие, ее сдерживающее. Так, например, тетива лука, отпущенная рукой, толкает стрелу. Природа сил является для Лейбница нематериальной и непознаваемой.

Как видим, Декарт исключил из материальной системы мира силу как первоначальную причину движения, перводвигателем у него был бог, а силы возникали как результат движения материи; Лейбниц, наоборот, в силе увидел истинную сущность материи.

## **«Силы» врожденные и приложенные**

Когда в холодном Стокгольме в феврале 1650 г. доживал свой недолгий век великий Декарт, в туманном Альбионе уже бегал в сельскую школу болезненный мальчик, который через два десятка лет не оставит камня на камне от его учения. И начнет он с того, что отвергнет основу картезианства — метод. «Я гипотез не измышляю!» — гордо заявит он, выражая свой протест против беспочвенных домыслов и фантастических построений крайних картезианцев. За основу своей методологии он примет индукцию, не отрицая совсем дедуктивные умозаключения, но ставя их на второе место. И конечно, он не сможет не «измышлять» гипотез, ибо без них нет науки, но он станет немедленно подкреплять их опытами и выражать в математической форме, продолжая дело, начатое Галилеем и прерванное картезианцами. Так он заложит фундамент современной физики... Но отсюда же возьмет начало и «ньютонианство» — течение, всерьез стремившееся «изгнать гипотезы из физики»; на его базе возникнет реакционная школа «чистого описания» явлений без проникновения в их природу, близкая

к философам-идеалистам Беркли и Маху, считавшим сущность вещей непознаваемой.

Следуя своему принципу, он не будет признавать ни сохранения движения или количества движения, как Декарт, ни сохранения «живых сил», как Лейбниц. Он будет религиозен, и его учение, «необходимо приводящее к признанию высшего существа, которое все создало и свободно устроило» (Вольтер), значительно легче уживется с религией, чем учение Декарта с творцом материи и движения богом.

Этим мальчиком был Исаак Ньютон (1643—1727), проживший долгую жизнь, за которую он занимался и математикой, и оптикой, и механикой, и астрономией, и химией, и теплотой, и даже историей и богословием. Однако к концу жизни сказал: «Я не знаю, чем кажусь миру, мне же самому кажется, что я был только мальчиком, играющим на берегу моря и развлекающимся тем, что от времени до времени находил более гладкий камешек или более красивую раковину, чем обыкновенно, в то время как великий океан истины лежал передо мной совершенно неразгаданный».

Он творил в одно время с Гюйгенсом, Лейбницем, Бойлем, Гуком и великим реформатором России Петром I. Сподвижника Петра Меншикова Ньютон, уже будучи президентом Королевского общества, принимал в его члены. А за два года до смерти Ньютона Меншиков с Екатериной I торжественно открыл учрежденную еще Петром Петербургскую академию наук. Ломоносову в год смерти Ньютона исполнилось 16 лет, и лишь через три года покинул он Холмогоры, чтобы начать восхождение по каменистым и обрывистым тропам российской науки.

Ньютон вырос в семье ниже среднего достатка. По окончании школы в городке Грантаме его принимают в 1660 г. в Тринити-колледж Кембриджского университета. Как нищему студенту, ему приходится прислуживать членам колледжа, что угнетает его, и утешение он находит в учебе, дававшейся очень легко. Он самостоятельно изучает труды Декарта, Уоллеса, Кеплера, Галилея, Гука, Гюйгенса и за семь лет получает все степени и звания, присваивавшиеся в этом колледже. В 26 лет он уже возглавляет кафедру математики.

К этому времени, как мы видели, накопилось немало научных данных, число ученых резко увеличилось, и

многие из них подходили — когда ошупью, а когда и сознательно — к установлению важных зависимостей. Уважение к ученым росло, и самым удачливым из них стали перепадать почести и материальные блага. Начинается борьба за приоритет.

В эти годы, особенно во время пребывания (с 1664 по 1667 г.) из-за эпидемии чумы в родной деревушке Вульсторп, Ньютон подготавливает свои великие открытия: разложение белого цвета на семь составляющих и объяснение цветов; «метод флюксий» — дифференциальное исчисление (одновременно и независимо оно было разработано Лейбницем); закон всемирного тяготения и приведение в законченную систему механики.

Считалось, что цвета образуются смешением белого и черного цвета. Правда, еще в 1648 г. профессор медицины в Праге М. Марци наблюдал с помощью призмы разложение белого цвета, но не дал правильного объяснения этому явлению. Ньютон же на основании опытов, хотя и вопреки «здравому смыслу», установил, что сам белый цвет возникает в результате сложения красного, оранжевого, желтого, зеленого, голубого, синего и фиолетового цветов, отличающихся показателем преломления. Сделав из этого ошибочный вывод о невозможности устранения в приборах с линзами хроматической аберрации — окрашенности изображения, он своими руками построил новый тип телескопа с тщательно отшлифованными вогнутыми зеркалами. Телескоп был отправлен в Королевское общество, где его рассмотрела комиссия и опробовал... король. 11 января 1672 г. Ньютон стал членом этого общества, а уже в феврале оно опубликовало в своих «Выпусках» его трактат о природе света.

В ответ поднялась буря протестов (никто не верил в открытие, столь противоречившее привычным представлениям), в которых принял участие даже дававший санкцию на публикацию академик Роберт Гук... Потрясенный этой реакцией, Ньютон просит исключить его из общества и отказывается отвечать на статьи и письма. После же нового трактата о свете в 1675 г. и новой полемики Ньютон поклялся, пока жив Гук, ничего больше не публиковать. «...Я убедился, что либо не следует сообщать ничего нового, либо придется тратить все силы на защиту своего открытия».

Но вскоре разразился новый скандал — из-за приоритета в открытии закона всемирного тяготения. К его

установлению приближались Кеплер, Роберваль, Борелли, но только в 1673 г. Гюйгенс, выведя формулу центростремительной силы, открыл путь к установлению количественных зависимостей. В этом направлении стали работать три члена Королевского общества — Гук, Галлей и уже известный нам Рен.

Роберт Гук славился способностью быстро схватывать актуальные проблемы века и проникать в их сущность. В 1674 г. в сочинении «Опыт доказательства движения Земли из наблюдений» он дал почти полную теорию тяготения.

Через несколько лет Эдмунд Галлей на основе третьего закона Кеплера пришел к выводу, что сила притяжения Солнца тоже должна уменьшаться обратно пропорционально квадрату расстояния планет от него, и пытался определить их пути. Не сумев этого сделать и не получив помощи от Гука и Рена, он поехал к Ньютону, у которого с удивлением обнаружил не только уже готовое решение, но и еще немало важных материалов. Галлей предложил немедленно опубликовать их, но Ньютон, боясь новых споров и скандалов, только в 1686 г. представил их в Королевское общество. Гук немедленно заявил, что Ньютон использовал его результаты. Ньютон ответил резким письмом Галлею, указав, что Гук сам черпает свои данные у Борелли, а возможно, и у него, поскольку еще в 1673 г. он писал о законе обратных квадратов Гюйгенсу через Королевское общество, секретарем которого был Гук. Наконец конфликт уладили, и в 1687 г. труд Ньютона в трех книгах вышел в свет под названием «Математические начала натуральной философии». В нем упоминались имена Гука, Рена и Галлея. Первые две книги посвящены классической механике, в третьей законы механики применяются для описания системы мира — это небесная механика, неизбежно затрагивающая интересы официальной христианской идеологии. Ньютон долго не соглашался на издание третьей книги. 22 мая 1686 г. он писал: «Третью книгу я намерен теперь устранить, философия — это такая наглая и сутяжная дама, что иметь с ней дело — это все равно, что быть вовлеченным в судебную тяжбу».

В механике Ньютон упорядочил результаты своих предшественников и обобщил законы, уже применявшиеся в частных случаях.

Для нас важно отметить, что *он впервые четко отде-*

лил величину массы  $m$  от величины веса  $P=mg$  (где  $g$ — ускорение свободного падения). Вес окончательно стал эквивалентным понятию силы. Однако определение массы у него получилось тавтологическим и стало предметом споров, длившихся целое столетие. Дело в том, что мир, по Ньютону, состоит из «твердых, весомых, непроницаемых, подвижных частиц», и его качественное разнообразие есть результат различий в движении частиц. Это ярко выраженный механицизм. Поэтому и масса у него есть мера количества материи, устанавливаемая пропорционально плотности и объему ее —  $m=\rho v$ . Получалось, что масса определяется через плотность —  $\rho$ , хотя плотность есть... масса в единице объема  $\rho = \frac{m}{v}$ .

Теперь массой называют меру инертности тела, характеризующую быстроту изменения его скорости под действием данной силы, что ближе, как мы видели, к определению «величины тела» у Торричелли и Декарта.

Далее Ньютон определяет количество движения, как произведение массы тела на его скорость, считая эту величину векторной. Как и Декарт, он сводит все формы движения к механическому и даже не ставит вопроса о возможности превращения механического движения в другие формы, о чем говорил уже Лейбниц. Вопреки же Декарту он считает, «что в мире не всегда имеется одно и то же количество движения... Движение может получаться и теряться. Но благодаря вязкости жидкостей, трению их частей и слабой упругости в твердых телах, движение более теряется, чем получается, и всегда находится в состоянии уменьшения... Мы видим, поэтому, что разнообразие движений, которое мы находим в мире, постоянно уменьшается и существует необходимость сохранения и пополнения его посредством активных начал» (к «активным началам» он относил и тяготение). В последней фразе — уже чувствуется намек на закон возрастания энтропии.

Ньютон ввел понятие массы, и дальше механика позволяла ему оперировать величиной силы, обходя ее физический смысл (Даламбер в 1743 г., а Генрих Герц в 1891 г. попытаются построить механику вообще без понятия силы, но из-за сложности их теории не получили признания). Тем не менее Ньютон стремится дать и качественную характеристику силам. Он делит их на «приложенные» и «врожденные». Первые «есть действия,

производимые над телами, чтобы изменить их состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». Иными словами, «приложенная сила» является причиной неравномерности или криволинейности движения. Она не расходуется (как «сила» Декарта или Лейбница) и может действовать на неограниченное число тел в течение неограниченного времени, но по прекращении действия она не остается в теле, которое сохраняет приобретенное им состояние только за счет инерции. Таким образом, *по Ньютону, движущее начало находится вне самой материи, отделено от нее*. Отсюда и появляется возможность говорить о возникновении и исчезновении движения. «Врожденная» же сила есть присущая материи «способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения». Это, по существу, сила инерции, пропорциональная массе.

Ньютон устанавливает, что величина действующей «приложенной» к телу силы равна изменению количества движения тела в единицу времени:  $F = \frac{\Delta mv}{\tau} = ma$ , то есть произведению массы на ускорение, но Ньютон еще не пользуется термином «ускорение», а говорит о «скорости изменения скорости».

По Ньютону, действие силы может быть непосредственным, контактным и — на расстоянии от какого-то силового центра. Силу, действующую на расстоянии, он называет центральной или «центростремительной силой», «с которой тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся»; к этой категории он относит, например, силу тяжести, магнитную силу. Центральные силы имеют три «величины». Абсолютная величина определяется «действующей причиной», исходящей от силового центра (гравитационной массой, магнитной массой и т. д.); движущая величина выражает изменение количества движения, вызванное данной силой в единицу времени; ускорительная величина пропорциональна ускорению, полученному телом под действием силы, при этом сила отнесена к массе  $\frac{F}{m} = \frac{\Delta \omega}{\tau}$

На современном языке эти три «величины» являются характеристиками всякого силового поля: абсолютная—



это заряд (гравитационный, магнитный и т. д.), движущая — пондеромоторная («механическая») сила, ускорительная — напряженность силового поля. Дальше мы увидим их выражение на конкретных примерах.

Быстроту изменения количества движения Ньютон положил в основу своей динамики, сделав эту величину характеристикой движения. Лейбницевская же «живая сила» является энергетической характеристикой движения. Так что функции этих понятий не только не перекрываются, но все более четко разделяются.

В «Началах» даются формулировки трех теперь всем известных законов механики: закона инерции; закона, выражающего пропорциональность силы ускорению (то есть  $F=ma$ ); закона равенства действия и противодействия.

В третьей книге «Начал» после общих правил изучения природы на основе опытных данных формулируется закон тяготения: все тела притягиваются друг к другу с силой пропорциональной квадрату расстояния между ними ( $F=-\gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ; здесь  $\gamma$  — гравитационная постоянная).

Под словом «притяжение», писал Ньютон, я понимаю вообще стремление тел сблизиться; все равно, вытекает ли оно из самих тел или тела сталкиваются, испущенные духами, или, наконец, производится действием эфира, воздуха или какой-нибудь телесной или бестелесной среды, сталкивающей друг с другом тела, которые в ней плавают.

Исследуя с помощью введенных понятий, законов и зависимостей различные явления, Ньютон получает множество исключительно важных результатов. Однако, игнорируя возможность взаимопревращения различных форм движения, он почти не пользуется понятиями работы и энергии. Лишь кое-где в «поучениях» и примерах встречается произведение силы на скорость (мощность = работе в единицу времени), теорема живых сил, используемая для решения частных задач, и т. п. Так, в «поучении к третьему закону» говорится: «Если действие движущей силы оценивать пропорционально произведению этой силы и скорости и, подобно этому, противодействие сопротивлений оценивать для каждой части в отдельности пропорционально произведению ее скорости и встречаемого ею сопротивления, происходящего от трения,

сцепления, веса и ускорения, то во всякой машине действие и противодействие будут постоянно равны». Это высказывание дало повод английским физикам В. Томсону, Тэту и Максвеллу утверждать, что у Ньютона якобы можно найти «в скрытом виде почти все учение об энергии».

Приведенная цитата, вероятно, единственное место в трудах Ньютона, которое с большой натяжкой и только на уровне знаний, накопленных к середине XIX в., можно истолковать «энергетически». Однако это не дает никаких оснований для заключения англичан.

Последние 40 лет (!) своей жизни Ньютон наукой почти не занимался. Его общественное положение становится очень высоким. С 1688 по 1694 г. он состоит членом парламента. В 1695 г. его назначают смотрителем Монетного двора с сохранением профессуры в Кембридже, а через четыре года — директором с окладом 12—15 тыс. фунтов в год. Он переезжает в Лондон, где сразу избирается президентом Королевского общества. В 1705 г. королева Анна возводит Ньютона в рыцарское достоинство.

В последние годы, как и Бойль, Ньютон пишет богословские сочинения — о пророке Данииле и толкование Апокалипсиса. Его мучают подагра, ревматизм и каменная болезнь, но за месяц до смерти он еще председательствует в Королевском обществе. По личному указанию короля Георга I погребение Ньютона состоялось в Вестминстерском аббатстве с большими почестями — за гробом шли два герцога, три пэра и три графа, все члены Королевского общества. Эти похороны не были похожи на похороны Галилея. Прошло менее 100 лет, а времена так резко изменились...

После Ньютона трудами Эйлера (1736), Даламбера (1743) и Лагранжа (1788) проблемы механики полностью сводятся к математическим задачам, решение которых облегчается созданием дифференциального исчисления.

Любопытно, что механики отказались от рассмотрения «расплывчатой» натурфилософской идеи о сохранении движения (или силы) как раз в тот момент, когда в недрах их науки была подготовлена почва для превращения этой идеи в точный закон природы, допускающий математическую обработку и экспериментальное обоснование. Ведь к концу XVIII в. наука уже опери-

ровала всеми понятиями, необходимыми для формулировки закона сохранения энергии в механике. Записывалось выражение  $K + P = \text{Const}$ , где  $K$  — «живая сила», а  $P$  — потенциальная функция, но никакого значения ему, кроме формально-математического, не придавалось. Даже физический смысл «уравнения живых сил»  $\Delta \frac{m \omega^2}{2} = Fl$  оставался неясным из-за неясности правой его части  $Fl$ , то есть давно интуитивно применявшегося понятия работы.

Так, «философия мстит за себя задним числом естествознанию за то, что последнее покинуло ее» (Ф. Энгельс).

## Воцарение «движущей силы огня»

В средние века энергия огромного количества рабов, использовавшихся не как рабочие руки, а как источник двигательной силы, стала повсеместно заменяться энергией животных, энергией движения воды и энергией ветра. В X в. научились подковывать тягловых животных, а в XI в. придумали вместо древнего шейного хомута плечевой, что повысило силу тяги в четыре раза. Соединение же нескольких животных в одной упряжке дало новый и последний скачок в концентрации мускульной силы.

В том же XI в. в Европе наконец широко распространяются давно известные водяные и ветряные колеса. Эти новые источники энергии дали мощный толчок развитию металлургии, а с нею вместе — и горного дела. Лошадь заменяла 10 рабов, а хорошее водяное или ветряное колесо — до 100.

И только в XVII—XVIII вв. совершился переход к принципиально новой энергетике — теплоэнергетике (открытой когда-то Героном Александрийским). Здесь уже явно происходило превращение тепловой формы движения (энергии) в механическую (энергию), и пока в скрытом виде — превращение химической формы (энергии) в тепловую. Этот переход, может быть, не начался бы еще долго, если бы его не вызвал резкий скачок в развитии техники производства.

Промышленный взрыв начался с появления на колониальных рынках такого невзрывающегося материала,

как хлопок, продававшегося по сравнению со льном за бесценок. На этом можно было крупно нажиться, но мануфактура не могла справиться с его переработкой. Старая «тихоходная» мануфактура, производившая обе технологические операции — прядение и ткачество, начинает разделяться на два самостоятельных промышленных производства. Ловкий делец бывший парикмахер Аркрайт, украв чужую идею, взял в 1769 г. патент на «водяную прядильную машину» и начал в погоне за прибылью создавать фабрику за фабрикой. Его объявили образцом предпринимателя, сравнивали с Наполеоном и Ньютоном, называли гордостью английской нации... Этот пример был немедленно подхвачен буржуазными социологами как одно из доказательств теории социального отбора, согласно которой сильные выживают, а слабые гибнут, за счет чего человечество непрерывно совершенствуется.

Вскоре изобретается и ткацкий станок. Возникает потребность в замене дерева железом. Из-за недостатка древесины выплавка железа в Англии уменьшалась, и его приходилось ввозить из России и Швеции. Так в металлургию вместо древесного угля пришел каменный, что открыло новые возможности для производства чугуна и ковкого железа. В 1750 г. придумали способ получения тигельной стали. Началось бурное развитие металлургической промышленности. Английский железный король Джон Вильксон, имевший в 1754 г. одну домну в Брадлее, к концу века уже чеканил в своих владениях собственную монету.

От выплавки железа не могли отставать угледобывающая и железорудная промышленность. Одновременно стала развиваться металлообрабатывающая промышленность — появились сверлильные, токарные и винторезные станки. Началось сооружение станкостроительных заводов.

И весь этот внезапно народившийся и продолжавший быстро умножаться парк горной, металлургической и машинной техники нуждался в движущей силе. Силы мышц животных уже не хватало, водяные колеса привязывали предприятия к рекам и не могли приблизиться к залежам полезных ископаемых (передавать энергию на расстояние с помощью электричества тогда не умели), а сила ветра была непостоянна.

Особенно остро стояла энергетическая проблема от-

качки воды из шахт, производительность которых быстро росла, а разрабатываемые пласты все углублялись.

Казалось бы, практикам достаточно было обратиться к ученым, чтобы получить указание, где взять, как получить новые источники высококонцентрированной силы, «но физики этим почти совершенно не интересовались; с таким же равнодушием относились они в течение всего XVIII и первых десятилетий XIX века к паровой машине» (Ф. Энгельс). Поэтому практикам пришлось двигаться вперед на ощупь, полагаясь на интуицию и опыт.

Ничего, кроме «силы огня», преобразующейся в механическую с помощью силы пара, вокруг не осталось. Принцип прост — в подогреваемом закрытом сосуде с трубкой часть воды превращается в пар, под давлением которого через трубку выбрасывается оставшаяся вода. Если пар из такого «котла» подвести по трубопроводу к резервуару с водой на дне шахты, то он и оттуда будет «выдавливать» — откачивать воду.

В 1615 г. Соломон де Ко, распорядившийся фонтанами при английском дворе и учивший рисованию принцессу Елизавету, выпускает сочинение «О движущих силах», состоящее из разделов «О теоремах» и «О машинах». Здесь он дает одно из первых описаний простейшего варианта водоподъемной установки для фонтана: при подогревании воды в большом медном шаре она выбрасывается из него через трубку, фонтанируя.

Более серьезно изучает паротехнику ассистент Гюйгенса врач Дени Папен, проделавший перед этим немало опытов по получению вакуума. В 1680 г он изобретает паровой котел с рычажным клапаном, позволявшим путем перемещения груза регулировать максимальное давление пара в котле.

Новая идея возникла при проведении опытов по созданию вакуума в цилиндре под поршнем — предложение Галилея. Гюйгенс посоветовал на дне цилиндра взрывать порох, тогда при быстром движении поршня вверх под ним должно было получаться разрежение. После отвода части газов поршень падал бы вниз под атмосферным давлением. С этим устройством родились сразу два новых принципа — двигателя внутреннего сгорания и атмосферной паровой машины!

Видя трудности работы с порохом, Папен в 1690 г. предложил заменить его... водой, подогреваемой на дне

цилиндра до образования пара, под давлением которого поршень поднимался бы, а после конденсации пара «падал» обратно. Для ускорения конденсации цилиндр обливали холодной водой. В книге, выпущенной в 1698 г., Папен впервые дает правильное термодинамическое описание процессов в цилиндре своей машины.

Казалось, догадайся Папен разделить процессы по разным агрегатам, и человечество уже в 1690 г. получило бы паровой двигатель, для создания которого понадобилось почти 75 лет! Однако, когда в 1707 г. он отделил-таки котел от цилиндра, причем впервые пар подавался сверху — над поршнем, но возврат в первоначальное положение осуществлялся давлением на поршень снизу водой, развития эта система не получила. Вероятно, мысль человеческая была целиком поглощена решением проблемы откачки воды из шахт, а кроме того, изобретатели еще не видели в поступательно-возвратном движении поршня будущего вращательного механического привода. Турбина же, открытая Героном семнадцать веков назад, хотя и являлась таким приводом, из-за огромной скорости вращения казалась игрушкой, не пригодной для промышленности.

В результате развитие паротехники пошло по старому руслу — в 1698 г. англичанин Сэвери получает патент на паровытеснительную водоподъемную установку и даже рекламирует ее в специальной брошюре «Друг рудокопа». Однако из-за технического несовершенства эта «машина» (не имевшая ни одной движущейся части) широкого применения не имела.

С 1705 по 1712 г. работал над своей водоподъемной установкой дартмутский торговец скобяными изделиями Т. Ньюкомен. В его машине, во многом похожей на папеновскую, насос впервые был отделен от двигателя и приводился в движение через рычаг (балансир), один конец которого соединялся со штоком поршня двигателя, а другой — со штоком поршня насоса. К штоку насосного поршня прикреплялся груз—аккумулятор энергии. Система клапанов регулировала поступление пара и воды в цилиндры. Пар приготавливался в отдельном котле.

Ньюкоменовские машины стали широко применяться на шахтах помимо Англии в Австрии, Бельгии, Франции, Германии и других странах. Последнюю из них демонтировали в Англии... в 1934 г.

Стремление получить высокую мощность довело ди-

аметр цилиндра таких машин до 1,8 м, а ход поршня — до 3 м, что позволило получить всего 76,5 лошадиной силы. Это был предел, дальнейшее повышение мощности требовало поисков новых принципов. С другой стороны, назрела крайняя необходимость и во вращательном приводе, подобном водяным и ветряным колесам, но независимом от рек и ветра, — в универсальном двигателе. Первые образцы таких двигателей представляли собой комбинацию двигательно-насосной установки с водяным колесом, которое вращалось под действием воды, поступавшей на него из насоса.

И только в 1763 г. шихтмейстер Колывано-Воскресенских заводов И. И. Ползунов (1728—1766) предложил конструкцию действительно универсального парового двигателя непрерывного действия, который должен был «водяное руководство... вовсе уничтожить» и, заменив водяные колеса и плотины «по воле нашей, что будет потребно, исправлять». Независимость двигателя от места определялась использованием в качестве источника энергии угля, а непрерывная отдача работы достигалась исключением холостого хода с помощью двух цилиндров, работавших на общий вал. Правда, двигатель оставался атмосферным, но и с ним в качестве привода, например воздуходувных мехов, можно было обслужить в два раза больше печей, чем раньше. Трудности реализации проекта измучили изобретателя физически и морально, и он умер 16 мая 1766 г. от скоротечной чахотки. Его машина работала с 7 августа по 10 ноября 1766 г., после чего из-за пустяковой неполадки (течь котла) была остановлена и вскоре забыта, как и ее изобретатель...

В результате слава создания первого универсального двигателя досталась Джеймсу Уатту — лаборанту университета в Глазго. Ремонтируя ньюкоменовскую машину, он обнаружил в ней ряд недостатков и придумал способы их устранения: создал вокруг цилиндра паровую рубашку, отделил конденсатор от цилиндра и сделал движущей силой вместо атмосферного давления упругость пара, подавая последний сверху поршня. Но это была все еще водоподъемная машина.

В 1769 г. Уатт получил патент на нее и, вступив в соглашение с фабрикантом Болтоном, основал фирму «Уатт и Болтон». Когда назрела потребность промышленности в универсальном двигателе, Уатт в 1782 г. вво-

дит новые, необходимые для создания такого двигателя усовершенствования: двойное действие (пар поступал поочередно сверху и снизу поршня), золотниковое парораспределение, преобразование возвратно-поступательного движения во вращательное, маховик, а в 1788 г. и центробежный регулятор числа оборотов. За первое десятилетие фирма построила 66 машин, а за второе — уже 144.

Крупный ученый и видный деятель французской революции 1848 г. Доминик Араго впоследствии скажет: «Уатт, господа, сотворил от шести до восьми миллионов работников, неутомимых, прилежных, *между которыми не бывает ни стачек, ни бунтов и из которых каждый стоит в день только 5 сантимов*».

Однако машины Уатта были все еще низкого давления, ненамного превышавшего атмосферное. Современные быстроходные паровые двигатели высокого давления начали строиться только в 1870 г.

Далее путь технической мысли ведет к созданию газовых двигателей. В 1801 г. француз Ф. Лебон — изобретатель «термоламп» патентует поршневой двигатель, работающий, как и лампа, на горючих газах от сухой перегонки древесины с зажиганием их электрической искрой и сгоранием внутри цилиндра.

В 1805 г. швейцарец И. Риваз предлагает двигатель на водороде, но и теперь этот газ считается «топливом будущего», а получение его мыслится с помощью атомной энергии.

В 1816 г. шотландский священник Р. Стирлинг получает патент на универсальную тепловую машину, состоящую из цилиндра с двумя поршнями и регенератора-теплообменника, способную работать на разных топливах как двигатель внешнего сгорания, как холодильник и как тепловой насос (отопитель). Низкий уровень науки и техники не позволил тогда создать высокоэффективные конструкции «стирлингов», однако в наше время этой машины сулят большое будущее.

В 1824 г. основоположник термодинамики С. Карно предсказал теоретический рабочий цикл четырехтактного двигателя внутреннего сгорания (ДВС), соответствующий четырем ходам поршня: 1 — всасывание воздуха; 2 — сжатие его, в конце которого подача и сгорание топлива; 3 — рабочий ход — расширение газообразных продуктов сгорания; 4 — выпуск их.



В 1860 г. французский механик Ж. Ленуар начинает строить и продавать ДВС, работающие на светильном газе, с зажиганием от электрической искры, но без предварительного сжатия воздуха, что ограничило их коэффициент полезного действия (КПД) 3—5%, — как и у паровых машин. Поэтому широкого распространения эти ДВС не получили.

И только в 1877 г. немецкий коммерсант — изобретатель Н. Отто построил, наконец, четырехтактный бензиновый ДВС со сжатием смеси и с искровым зажиганием, КПД которого оказался равным 16—20%.

Однако в 1883 г. обнаруживается рукопись А. Боде-Роша, где он еще в 1862 г. дал описание похожего двигателя, и французы добиваются отмены части патентов Н. Отто. В 1892—1897 гг. немецкий инженер Р. Дизель создает компрессорный с самовоспламенением топлива от предварительно сжатого в цилиндре горячего воздуха самый экономичный ДВС. Этот двигатель усовершенствуется в России, где в 1904 г. Г. В. Тринклер разрабатывает бескомпрессорный дизель.

Так, ДВС, начиная с 1877 г., все более превосходят паровые машины и по компактности, и по экономичности. Поиски более эффективных конструкций паровых двигателей возвращают изобретателей и инженеров к турбинам. 100 лет назад Болтон, компаньон Уатта, высказал опасение, что турбина может вытеснить паровую машину, нанеся кампании ущерб. Уатт отвечал: «О каком ущербе может идти речь, если пока без помощи бога нельзя заставить рабочие части двигаться со скоростью 1000 футов в секунду». И действительно, недостаточная прочность материалов, малая точность обработки деталей и другие причины не позволяли приступить к разработке турбин до конца XIX в.

В 1884 г. англичанин Ч. Парсонс патентует паровую реактивную многоступенчатую турбину. В 1889 г. шведский инженер Г. Лаваль получает в Англии патент на расширяющееся сопло, которое позволяет в отличие от суживающегося превращать в кинетическую энергию любой перепад давлений пара. В 1891 г. паротурбинная установка снабжается конденсатором, что делает ее более экономичной, чем поршневые машины, сохраняя за ней преимущество в огромной удельной мощности. И она становится основным двигателем электростанций.

Первая газопаротурбинная установка с процессом го-

рения при постоянном давлении была спроектирована и построена в 1897 г. русским инженером П. Д. Кузьминским.

В 1906 г. В. В. Караводин разработал, а в 1908 г. построил и испытал более экономичную газотурбинную установку — с пульсирующим процессом (горением при постоянном объеме).

Так мир стал наполняться энергетическими машинами, использующими «движущую силу огня», так стали безудержно истребляться невозобновляемые источники энергии на Земле и загрязняться окружающая среда. Но тогда все это еще было в зародыше, и человечество неслось вперед, ликую и гордясь!

## Силы «невесомых» материй

Результаты науки и практики, с которыми мы познакомились выше, настолько подготовили завершение процесса расчленения «силы» на три различных понятия — силы, работы и энергии и установление закона сохранения и превращения энергии, что, казалось, до этого знаменательного момента оставались «считанные дни». Однако обстановка, сложившаяся в физике к середине XVIII в., отдалила это событие на целых 100 лет!

Камнем преткновения века, вызвавшим ожесточенную полемику и отвлекшим внимание от решения многих важных задач, стал вопрос о природе сил. У Декарта, как мы видели, силы возникали в результате вихревых движений материи, «запущенной» богом. У Лейбница носителями сил стали монады — духовные субстанции, присущие материи и вызывающие ее движение. Ньютон отделил силу от материи, сделав ее посторонней причиной изменения состояния тел. Положение усугублялось тем, что спор шел о «силах» вообще, без уточнения физического смысла различных их значений, а ведь у Декарта и Лейбница понятие «сила» было близко к понятию энергии, у Ньютона же оно соответствовало силе в ее собственном значении.

Началось со споров о природе сил тяготения. Картезианцы отрицали ее «изначальный» характер — для этого у них был бог — и старались разработать механическую теорию тяготения на основе вихревых движений.

Крайние ньютонианцы, наоборот, считали тяготение неотъемлемым свойством материи, а спор о нем — бессмысленным и даже безбожным. Они отрицали возможность создания теории тяготения, хотя признавали существование тяготения не только между планетами, но и между любыми материальными телами, вплоть до атомов.

Время показывает бесплодность картезианских теорий; и учение Ньютона, получая все новые подтверждения, быстро распространяется. И как когда-то против схоластики, так и теперь против картезианства поднимается волна всеобщего протеста. Однако из одной крайности ученые бросаются в другую. Ньютонианцы начинают старательно гипертрофировать две основные идеи своего учителя: распространение положений механики на всю физику и усиление формализма и эмпиризма в исследованиях.

Ньютон писал в «Началах»: «...было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом, ибо многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обусловливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел, вследствие причин, покуда неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга. Так как эти силы неизвестны, то до сих пор попытки философов объяснить явления природы оставались бесплодными». А в другом месте конкретизировал: поскольку тела действуют друг на друга при помощи притяжений, тяготения, магнетизма и электричества, то эти примеры делают вероятным существование других притягательных сил, кроме этих, ибо природа «весьма согласна и подобна в себе самой».

И хотя Лейбниц тогда же писал, что «неверно сводить все явления природы к механике», и выдвигал для этого веские доводы, большинство пошло за Ньютоном. По Ньютону же, с неизбежностью получалось, что поскольку все материальные тела и частицы весомы, а силы есть внешние причины движения тел, которые по прекращении действия в телах не остаются, то носителями этих сил могут быть лишь «невесомые материи». При этом все силы действуют на расстоянии («дальнодействие»), как и силы тяготения. Такова «логика мышления»!

«Невесомые» носители сил — жидкости, флюиды — полагались, по мнению ученых, в порах тел. Между ними и частицами обычного весомого вещества и действовали определенные силы. Их-то и стали искать. В результате если когда-то центральной была проблема системы мира, объединявшая физиков, то теперь центральной стала проблема сил, разделявшая их. В познании различных сил нуждалась и начавшая быстро развиваться техника.

Внимание сосредоточивается на изучении отдельных явлений, сборе отдельных экспериментальных фактов, частных зависимостей. Бэконовский индуктивный метод воспитал боязнь мышления, а ньютоновский принцип «я гипотез не измышляю» закрепил ее и сделал модой. Началось время ученых-муравьев, по классификации Бэкона, которые непрерывно собирали факты (занятие важное и нужное!), но или «принципиально» не хотели или не могли их правильно осмыслить, обобщить.

Отвергнув картезианскую физику из-за ее слабых сторон, ньютонианцы вместе с водой выплеснули и ребенка: идеи о материальном единстве мира, о несотворимости и неуничтожимости движения, о связи явлений в природе, о переходе одних форм движения (пусть механических) в другие. В результате постепенно «материализм перекочевал из Англии во Францию», где он застал вторую материалистическую философскую школу, вышедшую из картезианской философии, с которой он и слился (Ф. Энгельс).

В Англии становится популярной наукообразная философия субъективного идеалиста Д. Беркли и агностика Д. Юма, которые в соответствии с модой считают опыт единственным источником познания, однако отрицают, что с его помощью познается действительно существующий мир. Беркли признает только существование «бесконечного духа» и считает, что человек непосредственно воспринимает лишь свои идеи (ощущения), а не реальные вещи. Активны у него только духовные субстанции, поэтому он призывает ученых «научиться понимать язык творца, а не притязать на объяснение всего только одними телесными причинами». На этом основании он отвергает теорию тяготения Ньютона, считая ее учением о естественной причине движения материальных тел. Юм не признавал бога, но считал неразрешимым вопрос о том, что существует объективный мир в

действительности или нет, ибо мы его воспринимаем через поток впечатлений, причины которых неизвестны и непостижимы.

В Германии господствовала школьная философия Х. Вольфа, идеалиста, просветителя, систематизатора, популяризатора философии Лейбница (кстати говоря, у Вольфа учился М. В. Ломоносов). Выхолащивая диалектические элементы лейбницева учения, Вольф развивал метафизический теологизм, по которому всеобщая связь, гармония бытия объясняются целями, установленными богом. Согласно этой философии кошки были созданы, чтобы пожирать мышей, мыши, чтобы быть пожираемыми кошками, а вся природа — чтобы доказать мудрость творца. Он был одним из активных приверженцев и пропагандистов теории «невесомых» носителей сил.

Во Франции творили великие просветители Вольтер и Руссо, материалисты Дидро, Гольбах, Ламетри, благотворно влиявшие на развитие естественных наук. Дидро, например, так писал о силах: «Тело, по мнению некоторых философов, само по себе бездеятельно и бессильно; это ужасная ошибка, идущая в разрез со всякой здоровой физикой, со всякой здоровой химией: *тело преисполнено деятельности и силы и само по себе, и по природе своих основных свойств, — рассматриваем ли мы его в молекулах или в массе...*»

Было немало ученых-естествоиспытателей, занимавших среднюю позицию — между картезианцами и ньютонианцами. К ним относился великий Ломоносов и его коллега по Петербургской академии Эйлер.

Так, по Ломоносову, сущность вещей заключается в материи и движении (все еще только механическом), как и у Декарта. Но движение в теле не может возникнуть самопроизвольно, «если это тело не будет понуждено к движению другим телом», как у Ньютона. И вместе с тем Ломоносов считает, что тела могут взаимодействовать друг с другом только при получении импульса, то есть движения, «от чистого притяжения в телах не может происходить ни какого-либо действия, ни противодействия». Здесь он расходится с ньютонианцами и в споре о природе сил тяготения стоит ближе к Декарту и Гюйгенсу. Он категорически отрицает невесомые материи и возможность дальнего действия.

Эйлер начинает свою «Механику» (1736) в духе Ньютона. «Сила, — пишет он, — есть то усилие, которое пе-

реводит тело из состояния покоя в состояние движения или видоизменяет его движение». Трактовка силы как усилия выглядит точнее, чем у Ньютона. Он определяет «силу инерции» как «меру инерции», «зависящей от природы тел и причины сохранения их состояния». Это похоже на «врожденную силу» Ньютона. Наконец, он так же осторожен в оценке источника сил, не высказываясь определенно, «имеют ли подобного рода силы свое происхождение в самих телах, или же они существуют в природе сами по себе». Однако здесь же добавляет уже вполне прокартезиански: «Подобного рода силы (тяготения, электрические и магнитные. — Г. А.) могут получить свое начало и из упругих тел и из вихрей». А в более поздних работах он категорически выступает против невесомых носителей и дальнодействия сил. Причиной возникновения сил он считает инерцию и непроницаемость тел. «Сила является внешней причиной», — пишет Эйлер в 1765 г., так как тела не могут сами по себе изменять свое состояние. И «именно из этой способности отдельных тел сохранять свое состояние следует, что в них должны заключаться силы изменять состояние других тел», причиной которых «следует считать не только инерцию, но сочетание последней с непроницаемостью», то есть с невозможностью проникновения тел друг в друга. Отсюда «образуется богатейший источник сил, способных непрерывно изменять состояние тел».

Большую роль в нейтрализации крайнего ньютонианства сыграл немецкий философ и ученый, родоначальник немецкого классического идеализма И. Кант. В 1755 г. он предложил гипотезу о происхождении Солнечной системы из туманности по законам Ньютона, которая устранила «творца» и восстановила идею развития.

Наиболее популярной «невесомой» материей был теплород. Этот термин, говорят, придумал Лавуазье, хотя вещественной теории тепла после древних греков придерживались еще Галилей, Декарт и другие, а пропагандистами ее стали Вольф, Вильке и особенно Блэк. Нагревание тел объяснялось поступлением в них теплорода, между частицами которого действуют силы отталкивания, а между его частицами и телами — силы притяжения. Флогистон был «горючей материей». Металл считался соединением окаины и флогистона; при горении флогистон улетучивался, а окаина оставалась. Некоторые же полагали, что и теплород состоит из «огневой ма-

терии» и «светового вещества». Свет считался потоком частиц эфира. Электрические и магнитные явления объясняли перетеканиями флюидов, частицы которых действовали на расстоянии.

Теория невесомых носителей сил продержалась до начала XIX в., пока не пришла в противоречие с новыми экспериментальными и теоретическими данными. И окончательно рухнула с установлением закона сохранения и превращения энергии.

Интенсивные поиски и исследования невесомых материй и различных видов сил не только привели к накоплению новых данных о свойствах вещества — химических, тепловых, электрических, магнитных и т. п., но и подготовили сознание к принятию представлений о принципиально различных формах движения материи и видах энергии.

Так, например, один из основателей современной химии Антуан Лоран Лавуазье проводил в 1772—1775 гг. серию опытов в поисках флогистона. И установил, что горение происходит с помощью «субстанции, извлеченной из атмосферного воздуха», которая оказалась (после работ Пристли и Шееле в 1774 г.)... кислородом. Так началось формирование представлений о химии горения, химической энергии и механизме превращения ее в тепловую. Открываются другие газы и среди них самый легкий — водород. Возникает мысль использовать его подъемную силу для воздухоплавания. В 1783 г. строятся аэростаты братьев Монгольфье, наполненные подогретым воздухом, и Шарля, наполненные водородом, — «монгольфьеры» и «шарльеры».

Продолжается изучение тепловых явлений. От термоскопа Галилея переходят к спиртовым и ртутным термометрам немца Фаренгейта (1714), француза Реомюра (1730) и шведа Цельсия (1742). Постепенно разделяются понятия «сила тепла» и «количество тепла»; «силу» измеряют температурой, а количество — произведением разности температур на теплоемкость и на количество нагреваемого вещества. Новое понятие «теплоемкость» выражает количество тепла, необходимого для нагрева единицы вещества на один градус. Определяется теплоемкость многих твердых и жидких тел. Начинают пользоваться уравнением теплового баланса — частным случаем пока не установленного закона сохранения энергии. Разрабатываются основы теплопередачи. К закону Нью-

тона конвективной теплоотдачи — теплообмена между стенкой и омывающей ее жидкостью — добавляется закон Фурье (1822) теплопроводности через стенку.

Жан Батист Фурье, издав в 1822 г. свою «Аналитическую теорию тепла», посчитал, что он привел теорию теплоты в такое же состояние, в каком была в его время механика... И несмотря на все эти успехи, теория теплорода продолжает жить.

Даже Лавуазье, покончивший с флогистоном, не мог расстаться с теплородом, который был положен в основу его с Лапласом «Мемуара о теплоте», вышедшем в 1783 г., хотя там же указывалось, что, «по мнению других авторов, теплота есть живая сила, то есть сумма произведений масс каждой молекулы на квадрат ее скорости».

И только англичанин Бенджамин Томсон, политик, предприниматель и инженер, нанес сокрушительный удар по теории теплорода. Окончив американский колледж, Томсон участвовал в борьбе против независимости США в 1775—1783 гг., за что получил в Англии титул пэра. Баварский курфюрст Карл Теодор, у которого он работал с 1785 г., за заслуги в создании фабрик, экономичного отопления и т. п. пожаловал ему титул графа Румфорда. После смерти курфюрста Томсон вернулся в Англию и основал здесь Королевский институт, во главе которого в 1799 г. поставил юного Г. Дэви (1778—1829).

Еще в 1778 г. Румфорд заметил, что пушка сильнее нагревается при холостых выстрелах, чем при обычных, и оценил это явление как несовместимое с теорией теплорода. Занятый другими делами, он забыл об этом случае, но через 20 лет натолкнулся на аналогичный. Стволы пушек нагревались при сверлении. Пораженный Румфорд не мог понять, откуда берется теплород. Все сооружение погрузили в воду, и она ко всеобщему изумлению уже через два с половиной часа закипела. Вывод был окончательный: теплота — это движение, а не вещество. Вскоре Дэви подтвердил опыты Румфорда и в 1799 г. выступил против теплорода. Его поддержал известный английский ученый Томас Юнг, а затем и другие. По иронии судьбы в 1803 г. Румфорд женился на вдове невинно гильотинированного в 1794 г. Лавуазье...

И только в начале XIX в. были отвергнуты электрический и магнитный «флюиды». Однако это не мешало вести экспериментальные исследования, завершившиеся



установлением меры электрической силы и получением правильных количественных зависимостей. К тому же сделанные открытия — электропроводности Греем в 1729 г., двух родов электричества Дюфе в 1734 г., первого накопителя (конденсатора) электричества «лейденской банки» Клейстом и Мушенбруком в 1745—1746 гг., электрической природы молнии Франклином в 1750 г. (подтвержденного опытами Ломоносова — Рихмана и другими) — позволили обрисовать контуры более или менее близких к истинным представлений о природе электрических явлений. Раньше эти явления объяснялись образованием «электрических атмосфер» вокруг наэлектризованных тел. Теперь было предложено несколько других теорий.

Член Парижской академии наук, ученый и инженер Шарль Кулон, как и некоторые другие ученые, предполагал существование двух различных электрических флюидов, действующих противоположно. В нейтральном состоянии оба флюида находятся в теле в равном количестве. Электризация наступает при избытке одного из них. При этом электрические и магнитные силы уподоблялись силам тяготения Ньютона, а потому и действовали на расстоянии. Отсюда же делался вывод о том, что величина этих сил, как и сил тяготения, обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами — пока предположительно.

Начались эксперименты. Лейденская банка, будучи первым источником тока, позволила шире развернуть испытания. С другой стороны, она же дала толчок усовершенствованию электростатических машин, служивших для ее зарядки, а также созданию измерительной техники.

Долгое время измерителем электрической силы был сам человек, определявший ее по величине воздействия на его тело. Французский король Людовик XV развлекался тем, что наблюдал, как разряды лейденских банок действуют на цепь солдат... Но уже Грей и Дюфе употребляли простейшие электроскопы из двух льняных нитей, подвешиваемых к наэлектризованному телу. Затем стали подвешивать шарики из бузины или пробки. Потом их заменили золотыми лепестками, поместили в специальный сосуд, снабдили шкалой. Это уже был электрометр. Не знали только определенно, что понимать под электрической «силой».

Одним из первых установил это англичанин лорд Генри Кавендиш — крупнейший ученый, чудаков и нелюдей, редко публиковавший свои труды. В 70-х годах он проделал довольно сложный опыт по измерению и теоретическому определению электрической силы, но результаты были опубликованы только через сто лет Максвеллом...

Между тем Ш. Кулон опубликовал свои данные в 1785—1788 гг. С помощью изобретенных им крутильных весов, у которых угол закручивания упругой нити пропорционален моменту силы, он измерил силы, действующие между электрическими зарядами, и установил закон, носящий его имя: «Отталкивательное, так же как и притягательное действие двух наэлектризованных шаров, а следовательно, и двух электрических молекул, прямо пропорционально плотности электрического флюида обеих электрических молекул и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними». Он установил также, что электричество собирается только на поверхности проводников и что электрическая сила направлена перпендикулярно к поверхности и пропорциональна плотности электричества. Тот же закон Кулон распространил и на взаимодействие магнитов.

Работы Кулона позволили ввести основные понятия, относящиеся к электростатическим и магнитостатическим силам: заряд — количество электричества, плотность заряда, поле сил, потенциал, напряженность и др.

Пространство вокруг заряженного шарика, в котором проявляется действие его заряда, называли полем электрических сил, или электрическим полем. В принципе оно простирается до бесконечности, но с расстоянием быстро убывает его действие. Работу, которую надо затратить, чтобы переместить положительный заряд из бесконечности на поверхность положительно заряженного шарика, стали называть электрическим потенциалом. Как и в случае падения тел под действием силы тяжести, эта работа не зависит от пути. Поскольку работа равна произведению силы на путь, то разность потенциалов, поделенная на расстояние между двумя точками, представляет собой силу в данной точке поля. Эту силу стали называть напряженностью поля.

Таким образом, электрические и магнитные силы перестали быть «вещью в себе». Понятия силы, работы и в неявной форме энергии и здесь становятся необходимыми-

ми и все быстрее приобретают ясные очертания, а, вращая ручку электростатической машины при зарядке лейденской банки, ученый вынужденно и воочию сталкивается с превращением механической «силы» в электрическую... и т. д.

Итак, лейденская банка стала первым накопителем электричества, но источника, который бы давал электрический ток непрерывно, пока не было. Электростатика себя истощивала, и исследования продолжались главным образом в направлении изучения воздействия разрядов на живой организм в медицине. Убитый Шарлоттой Корде Ж. П. Марат тоже начинал с этого безопасного занятия, получив даже премию Руанской академии. Однако его письмо в Парижскую академию наук об опытах по физиотерапии и методике изучения огня (он разработал даже свою теорию теплорода), света и электричества осталось без внимания. Хотя в это же время академия участвовала в правительственной комиссии по изучению «трудов» Месмера, объявившего, что он открыл новую невесомую материю — «животный магнетизм», которая будто бы является «универсальным лекарством и спасителем человеческого рода».

Вал поисков в этом направлении рос, и наконец профессор анатомии и медицины университета в Болонье Луиджи Гальвани объявил в сенсационном трактате в 1791 г., что, наблюдая сокращения мышц лапок лягушки при контакте их с разнородными металлами, он обнаружил новый источник и новый вид электричества. После проверки оказалось, что Гальвани сразу открыл: электрический ток, возникавший в цепи из металлов и лягушачьих препаратов, новый источник тока — контактную разность потенциалов металлов и «животное электричество» (когда проводил опыты без металлов). Второе открытие было доказано ревностным последователем Гальвани, его соотечественником Алессандро Вольты (1745—1827), а третье в 1825 г. — Нобили.

Вольт установил, что раздражение нервов становится тем сильнее, чем дальше отстоят два металла в «ряду напряжений»: цинк, оловянная фольга, олово, свинец, железо, латунь, бронза, медь, платина, золото, серебро, ртуть, графит. На основе своей контактной теории он создает первый непрерывный источник тока, состоящий из нескольких десятков поочередно наложенных друг на друга пластинок из серебра и цинка или меди и

олова, между которыми находились картонные прокладки, пропитанные соленой водой. За это Вольта получил награду от Наполеона и был избран академиком. Однако больше он наукой не занимался...

Вольта считал, что ток возникает исключительно от соприкосновения разнородных металлов, приобретающих неодинаковое напряжение, вода же выполняет лишь роль проводника. Свой гальванический элемент он называл электродвижущим органом, поскольку в месте соприкосновения металлов возникает электродвижущая сила (новая сила!), которая перемещает электричество в пластинах так, что получается разность напряжений, зависящая от природы металлов.

Однако вскоре была разработана химическая теория действия вольтова столба, в соответствии с которой частицы в электролите (соленой воде) разлагаются у электродов под действием последних на положительно заряженный водород и отрицательно заряженный кислород. Автор — литовский физико-химик Гротгус и англичанин Дэви; год — 1805-й, задолго до открытия атома!

Не удивительно, что уже в 1800 г. тот же Дэви, а в 1812 г. независимо от него швед Берцелиус создают теорию химического сродства, согласно которой в каждом атоме есть два противоположных заряда, вызывающие способность атомов к соединению.

Все эти работы открыли принципиальную возможность прямого превращения химической «силы» — энергии в электрическую. И уже в 1801 г. Дэви создает первый углеродно-кислородный «топливный элемент». В 1833 г. А. Беккерель разрабатывает углеродно-воздушный топливный элемент с расплавленным электролитом и платиновым катодом. Наконец, в 1839 г. Гров строит первый водородно-кислородный элемент. И хотя теория свидетельствовала, что КПД этих преобразователей должен быть в 2 раза выше, чем у тепловых двигателей, низкий общий научно-технический уровень того времени не позволил получить реально это значение, и к разработке топливных элементов вернулись только в 1958—1960 гг.

Для оценки получаемого тока пришлось ввести еще одну «силу» — силу тока, то есть количество электричества, проходящего через постоянное сечение провода в единицу времени, — Кулон в секунду. Эту единицу называли Ампером в честь французского ученого Андре Мари Ампера (1775—1836).

И наконец, в 1826 г. немцем Георгом Омом был установлен закон: сила тока пропорциональна электродвижущей силе и обратно пропорциональна сопротивлению проводника. Единицей электродвижущей силы стал Вольт, а сопротивления — Ом. Этот закон аналогичен законам передачи тепла Ньютона и Фурье.

Немалый вклад в исследование электричества и магнетизма сделал русский академик В. В. Петров, уроженец тихого, потонувшего в садах городка Оболянь на Курской земле. В 1803 г. он опубликовал свои «Известия о гальвано-вольтовых опытах» с батареей из 4200 элементов, в то время как Дэви в 1810 г. — только из 2000. Петров первым обнаружил ряд тепловых и химических эффектов тока, в том числе электрическую дугу, электрическую плавку металлов и т. д. Но его трудов, написанных по-русски, Европа не знала...

Так постепенно постигается природа электрических и магнитных явлений и вырабатываются понятия силы, работы и энергии в этой области.

Атакует и природа света — борются корпускулярная, волновая и эфирная теории. Светом занимаются Юнг, Малюс, Араго, Френель, Лаплас, Коши, Гиббс и другие. Эфир одним представляется подобным смоле, другим — мыльной пене, третьим — зернистой икре... Развивается механика сплошных сред благодаря трудам Пуассона, Навье, Стокса, Коши.

Россия тогда значительно отставала от Запада в науке и образовании, но ее передовые ученые М. В. Ломоносов, Л. Эйлер, братья Бернулли, В. В. Петров и другие работали на европейском уровне, иногда превосходя его, несмотря на великие трудности.

В свое время М. В. Ломоносов вел в академии отчаянную борьбу с косностью и засилием бездарных чиновников от науки. Перед смертью он сказал академику Штелину: «Друг мой, я вижу, что должен умереть, и спокойно и равнодушно смотрю на смерть; жалею только о том, что не мог я совершить всего того, что предпринял я для пользы отечества, для приращения наук и для славы академии, и теперь при конце жизни моей должен видеть, что все мои полезные намерения исчезнут вместе со мной». Но и через 150 лет мало что изменилось. За несколько месяцев до кончины, в 1912 г., крупнейший русский физик Петр Николаевич Лебедев тоже с горечью писал о невыносимых «ломоносовских» условиях работы

в России, писал, что в ужасающем количестве гибнут творческие замыслы, а то, что достигается, достигается вопреки этим условиям..

## Destruam et aedificabo

«Невесомые» разобрали природу на составные части, хотя в ней все взаимосвязано. И фактов этой взаимосвязи становилось все больше и больше. Настало время от разрушения переходить к построению по известному латинскому изречению «разрушу и построю» — *destruam et aedificabo*. Хорошо было бы сразу построить единую теорию всех явлений, но это не удастся сделать и в наше время...

Когда у физиков возникают трудности, множатся идеалистические философские системы — строить домыслы легче, чем отыскивать истину. Возрастает популярность Канта, Гегеля, Шеллинга. Но на этот раз при бесплодности многих исходных, основных положений их учений все они активно пропагандируют идею всеобщей связи явлений и сил, стимулирующую развитие науки.

И профессор Копенгагенского университета Ханс Кристиан Эрстед, исповедуя эту идею, особенно детально разработанную Шеллингом, сознательно ищет связь электричества с магнетизмом, хотя со времени Гильберта считалось, что таковой нет. Открыв ее 21 июля 1820 г., он разослал во все научные учреждения и журналы мира сочинение «Опыты над действием электрического конфликта на магнитную стрелку». Там он писал: «Гальваническое электричество, идущее с севера на юг над свободно подвешенной магнитной иглой, отклоняет ее северный конец к востоку, а проходя в том же направлении под иглой, отклоняет его к западу».

Опыты Эрстеда обнаружили новый вид взаимодействия, новый источник механического движения — движущую силу электричества и новое средство измерения электотока.

Открытие Эрстеда как бы прорвало плотину перед давно собранным фактическим материалом, ожидавшим лишь своего объяснения. События стали развиваться, как в детективном романе. 4 сентября Араго доложил об этом открытии на заседании Парижской академии наук, где присутствовал и Ампер, тоже искавший в явлениях природы общие черты.

Через неделю Араго воспроизвел перед академиками опыт Эрстеда, а 18 сентября с докладом об электромагнетизме и его толковании выступил Ампер. 25 сентября Ампер уже докладывает о своих опытах и об открытии взаимодействия токов, а Араго — о намагничивании током. По совету Ампера он использовал для намагничивания соленоид — стеклянную трубку, обвитую проволокой, по которой пропусклся ток. Игла помещалась внутрь трубки. Так был открыт принцип электромагнита!

Ампер всесторонне исследовал взаимодействие тока и магнита, а также токов между собой. Он предложил назвать новые явления электродинамическими, а старые электростатическими. Магнетизм, по Амперу, становится разделом электродинамики, магнитные взаимодействия — взаимодействиями круговых токов. Круговой ток эквивалентен тонкому плоскому магниту, полюсами которого являются его стороны. И уже 30 октября Ампер сообщает о новом подтверждении своей теории: свободно подвешенный соленоид располагается в магнитном поле Земли так же, как и магнитная стрелка. Через 30 лет Максвелл скажет: «Теория и опыт как будто в полной силе и законченности вылились сразу из головы «Ньютона электричества»!».

Научные успехи в изучении электромагнетизма сразу реализовывались на практике. Уже в 1825 г. англичанин Стёрджен построил электромагнит, а в 1832 г. американский физик Генри пользовался магнитом грузоподъемностью в 2 т.

Следующим этапом в обнаружении всеобщей связи явлений и сил, или, как мы бы сказали сегодня, в превращении одних видов энергии в другие, стало открытие возможности превращения тепловой «силы» — энергии в электрическую.

В 1821 г. немецкий физик Томас Зеебек, не соглашавшийся с Ампером, в поисках другого объяснения опыта Эрстеда открыл, что при соединении концов проволок из разнородных металлов магнитная стрелка отклоняется. Получалось, что Эрстед и Ампер были правы, ибо еще Вольта установил, что при контакте разнородных металлов возникает электрический ток.

Тщательно проверив все, Зеебек обнаруживает, что стрелка отклоняется при воздействии на спай теплом руки. Тогда он подогревает спай спиртовкой — предпо-

ложение подтверждается. Но, не веря во взаимодействие тока и магнита, он объявляет, что открыл термомагнетизм! И немедленно разрабатывает «теорию земного термомагнетизма», обусловленного якобы разностью температур между полюсами и экватором, около которого проходит будто бы пояс металлов и руд, нагреваемых вулканами... Два года Зеебек сражался за свое мнимое «открытие» и против действительного. За это время он проделал множество опытов, составил по величине возникающего «магнетизма» ряд металлов, оценил силы, появляющиеся в однородном проводнике при воздействии на его концах разности температур, и т. д. Между тем, если бы он попытался использовать свое устройство для получения электрического тока с помощью двух крайних в его ряду металлов, то оно имело бы коэффициент полезного действия порядка 3%, то есть такой же, как и паровые машины того времени, но было бы гораздо проще...

Французский часовщик Жан Пельтье тоже был упрямым человеком. Он искал опровержения закона, согласно которому при пропускании тока через проводник выделяется тепло — электрическая «сила»-энергия превращается в тепловую. Пельтье производил опыты с теми же материалами, что и Зеебек, — сначала с висмутом и медью, а потом с висмутом и сурьмой. Спаяв пластинки с одного конца, он подключил к другому источник тока и обнаружил, что в первом случае в зависимости от направления тока спай нагревается или охлаждается на 5—10 градусов, а во втором — на 40 градусов. Пельтье решил, что дело здесь в разной электропроводности металлов. Это было в 1834 г., а в 1838 г. петербургский академик Ленц, проделав эффектный опыт — «решающий эксперимент», по Бэкону, — дал точный ответ. В углубление на стыке стержней из висмута и сурьмы он поместил каплю воды, которая при движении тока в одном направлении замерзала, а в другом — таяла. Следовательно, в первом случае тепло отнималось, а во втором — сообщалось. Это был эффект, обратный эффекту Зеебека.

Современники почти не обратили внимания ни на важнейшее принципиальное значение, ни на большую практическую ценность открытых явлений. Только в 1958—1960 гг. стали строиться первые термоэлектрические генераторы, холодильники и отопители.



К теоретическим воззрениям великого экспериментатора Майкла Фарадея современники относились скептически — он «не имел высшего образования». Действительно, сын кузнеца из Лондонского предместья учился только переплетному делу. Покоренный случайно услышанной лекцией профессора Дэви, в 21 год переплетчик стал его переписчиком и лаборантом, но уже в 25 позволил себе публиковать самостоятельные статьи по химии, к чему профессор отнесся весьма ревниво. Тогда Фарадей целиком посвящает себя изучению электромагнетизма и достигает таких успехов, что в 33 года его избирают членом Королевского общества, несмотря на отчаянное сопротивление председателя общества... Дэви. «Сэ ля ви!» — как говорят французы.

И как ни странно может показаться, именно благодаря своим теоретическим взглядам Фарадей пришел к великим открытиям экспериментально. Он был убежден во всеобщей связи, единстве и взаимопревращаемости явлений и сил. Отвергая представления о флюидах, он определял электрический ток как «ось сил, в которой силы, в точности равные по величине, направлены в противоположные стороны», то есть чисто математически. Наконец, он верил только в близкодействие, ибо материя занимала у него все пространство и являлась носительницей сил отталкивания и притяжения.

В 1823 г. Фарадей записывает в свой дневник: «Обратить магнетизм в электричество», то есть магнитную «силу» — в электрическую. И упорно год за годом, день за днем, час за часом идет он к этой цели долгих восемь лет! Первые наблюдения индукции — силового действия «через влияние» — он произвел в опыте с двумя катушками из медной проволоки, помещенными одна в другую без контакта между ними. Когда ток включался и выключался в одной катушке, стрелка гальванометра, присоединенного к другой, отклонялась. Фарадей записал: «Ток от батареи при пропускании его через один проводник действительно индуцирует подобный же ток в другом проводнике, но... этот ток длится всего один момент».

Теперь Фарадей мог объяснить явления, происходившие в опытах других ученых, в том числе и «магнетизм вращения», открытый Араго несколько лет назад.

Развивая идею близкодействия, Фарадей ввел представление о магнитных силовых линиях, обнаружив их

в эксперименте с железными опилками, и связал с ними закон электромагнитной индукции: количество электричества, приводимое в движение, прямо пропорционально числу пересекаемых линий. С появлением тока в индуцирующем проводнике возникает как бы движение «магнитных кривых» «...с момента, когда они начинают развиваться, и вплоть до того момента, когда магнитная сила тока достигает наибольшего значения; они как бы распространяются в стороны от провода и, следовательно, оказываются по отношению к неподвижному индуцируемому проводу в том же положении, как если бы он двигался в противоположном направлении поперек них или по направлению к несущему ток проводу». Это первое описание электромагнитного поля и первое указание на распространение магнитных возмущений во времени.

Велико было и практическое значение открытия — вслед за гальваническим (химико-электрическим) и термоэлектрическим появился новый — механо-электрический генератор электрического тока, указавший дорогу многочисленному семейству современных электрических машин.

Следуя своей идее взаимопревращаемости сил, Фарадей тщательно исследовал химическое действие электрического тока и установил, что одно и то же количество электричества освобождает количество простого вещества, пропорциональное его химическому эквиваленту. Наконец, он провел эксперименты для доказательства идентичности токов, получаемых от разных источников, и установил еще один закон: химическая сила, подобно магнитной силе, прямо пропорциональна абсолютному количеству проходящего электричества.

Первую математическую теорию электромагнетизма на основе общепринятой тогда концепции дальнего действия разработал Ф. Нейман в 1845—1847 гг., развили ее Г. Фихнер и В. Вебер. Однако эта теория противоречила многим фактам. И уже в 1862 г. на смену ей пришла гениальная теория Джемса Клерка Максвелла (1831—1879).

Максвелл дал математическую интерпретацию экспериментальным результатам Фарадея на основе принципа близкодействия — механических движений во всепроникающем эфире. Наделив частицы эфира множеством особых свойств и движений, он, однако, не рассматривал их как физическую реальность — это была лишь анало-

гия, модель. На ее основе он и получил шесть знаменитых уравнений, описывающих электромагнитное поле сил, установил его новые свойства и скорость электромагнитных волн, оказавшуюся равной скорости света. Это была сенсация! Г. Р. Герц опытами доказал тождественность «лучей электрической силы» и лучей света.

Итак, идея всеобщей связи явлений и сил стала общепризнанной. Теплота, электричество, магнетизм, химические и механические явления, электромагнетизм и одна из его форм — свет взаимно влияли друг на друга и могли вызывать друг друга. Причинные связи и количественные зависимости были установлены четко. Осталось лишь дать общие для всех явлений абстрактные определения — научные понятия силы, работы, энергии и установить общий закон их количественных соотношений, качественных разновидностей и взаимопревращаемости последних. Это была ситуация, подобная той, которая сложилась 100 лет назад перед появлением трудов Ньютона...

## **Закон сохранения и превращения «сил» — энергии**

Явно или тайно, по воле естествоиспытателей или против нее, но пока Сила, Работа и Энергия царствуют одновременно, то подменяя друг друга, то выполняя особые функции, то мешая друг другу.

Одним из первых начал упорядочивать эту систему член Парижской академии наук и крупнейший деятель французской революции член Комитета общественного спасения, министр, создавший 14 армий, защищавших Францию от всей Европы, — Лазар Никола Карно. Говорят, что после поражения под Ватерлоо Наполеон сказал ему: «Месье Карно, я сожалею, что узнал вас слишком поздно».

В 1783 г. в сочинении «Опыт о машинах вообще» Карно, говоря о работе, которую он понимал как произведение силы на скорость и время, оперировал равнозначными для него терминами «момент действия» и «активность». Но в 1803 г. он в этом произведении скорость и время заменил на путь точки приложения силы и показал, что величина совершаемой работы должна быть равна изменению «живой силы». «Живая сила», по его

мнению, играет большую роль в теории движущих машин и ее берегут, чтобы извлечь весь эффект, на который она способна. Он предлагает оценивать полезное действие машин количеством потерянной вследствие трения или удара «живой силы», утверждая, что потеря будет тем больше, чем резче меняется скорость.

В 1808 г. выдающийся ученый (а также канатоходец и цирковой наездник!) Томас Юнг в своих лекциях писал: «Почти во всех случаях применения сил в практической механике работа, расходуемая для осуществления движения, пропорциональна не моменту, но энергии, которая получена». Под энергией здесь понимается «живая сила». Одновременно и так четко об этих понятиях еще не говорилось. В 1829 г. французский академик Г. Г. Кориолис в «Трактате о механике» исправляет выражение «живой силы» с  $m\omega^2$  на  $\frac{m\omega^2}{2}$  и пишет: «...я

обозначил словом «работа» количество, которое называют обычно механической мощностью, количеством действия и динамическим эффектом. Это слово «работа» так естественно в том смысле, который я ему придаю, что, хотя и не было предложено как технический термин, тем не менее применялось М. Навье в его замечаниях к Белидору и Прони в его «Мемуарах». Другой французский академик Ж. В. Понселе пользовался понятием «работа» уже в 1826 г., причем «закон сохранения работы» и «закон сохранения живой силы» у него равноценны.

В 1824 г. лейтенант французского генштаба Сади Карно, сын Лазара Карно, издал «Размышление о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». 1900 лет пришлось ждать этого дня, если считать от Герона Александрийского!

Карно считал, что тепловым машинам «суждено совершить большой переворот в цивилизованном мире», и задался целью определить причины их несовершенства. Он доказывает теорему: «Движущая сила тепла не зависит от агентов, взятых для ее развития, ее количество исключительно определяется температурами тел, между которыми, в конечном счете, производится перенос теплорода». (Из посмертных записок Карно выяснилось, что он вскоре отказался от теплорода, перейдя на позиции механической теории тепла раньше многих других.) Затем он определяет условия получения максимальной

работы при двух источниках тепла — горячем и холодном телах. При отсутствии потерь тепла во время его подвода от горячего источника к «агенту» (например, газу) и отвода от последнего к холодному оба эти процесса должны протекать при постоянной температуре (изотермически), равной температуре соответственно каждого из тел. При отсутствии же других источников тепла переход «агента», или, как теперь говорят, рабочего тела, с одного температурного уровня на другой может протекать лишь без теплообмена — адиабатно. Эти четыре процесса образуют прямоугольник в системе координат температура-энтропия — знаменитый идеальный цикл тепловых машин — цикл Карно. Далее Карно пишет, что коэффициент полезного действия (КПД) этого цикла (то есть идеальной тепловой машины) при «падении» единицы теплорода с температуры  $t^\circ$  до  $0^\circ\text{C}$  должен быть пропорционален  $t^\circ$ , то есть  $\eta_{\text{тк}} = Ct$ , где  $C$  — неизвестная функция температур горячего и холодного тел. Ее называли «функцией Карно», пока позже не установили, что  $C = \frac{1}{T_1}$ , где  $T_1 = 273 + t_1^\circ$ , абсолютная температура горячего тела. Теперь эта знаменитая формула Карно имеет вид  $\eta_{\text{тк}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ , где  $T_2$  — абсолютная температура холодного тела.

Работа Карно, не содержащая ни одной математической зависимости, прошла незамеченной. И только через 10 лет, после выхода в свет мемуара «О движущей силе теплоты» члена Парижской и члена-корреспондента Петербургской академий наук Бенуа Клапейрона (1799—1864), она стала чуть ли не сенсацией. Клапейрон «перевел» сочинение Карно на математический язык, вскрыв великое содержание этого труда. Он первым стал применять графический метод исследования работы тепловых машин, вычисляя величину работы как площадь под кривой процесса в системе координат давление — удельный объем. Однако и Клапейрон не сумел вывести формулу КПД Карно в современном виде.

Математики и физики-теоретики Эйлер, Лагранж, Лаплас, Пуассон, Грин, Гамильтон в своих обобщающих трудах по статике, динамике, теории потенциала тоже продвигаются к точному определению понятий «работа» и «энергия». Так, в 1828 г. бывший пекарь Джордж Грин в сочинении «Опыт приложения математического анали-

за к теории электричества и магнетизма» вводит понятие потенциальной функции, или просто «потенциала», и получает для него математические выражения (формулы Грина), которые применяет для решения электростатических и магнитостатических задач. Вскоре понятие «потенциал» стало широко применяться. Но поскольку разность потенциалов между двумя точками поля определяет работу, необходимую для переноса тела («пробного заряда»), то сам потенциал есть, по существу, потенциальная энергия тела в данной точке поля.

Уильям Роуан Гамильтон, видный ирландский математик, в статьях «Об общем методе динамики», написанных в 1834—1835 гг., для определения движения вводит новые переменные и новые функции, формулируя общий принцип наименьшего действия. При этом «главная» функция, зависящая от начальных и конечных координат и времени, равна сумме «живых сил» ( $T$ ) и «сил напряжения» ( $\Pi$ ). Последние, называемые силовой функцией, для стационарных, то есть не изменяющихся во времени, консервативных систем (механических систем, при движении которых сумма  $T + \Pi$  постоянна), выражают полную энергию системы.

Таково положение, сложившееся на подступах к окончательному установлению закона сохранения... все еще неизвестно чего — сил, работы или энергии. Пока ученые ломают над этим голову, семейство паровых машин непрерывно увеличивается и совершенствуется. В 1828 г. они потребляли в 17 раз меньше топлива, чем первые машины Уатта. В 1807 г. пошел по Гудзону первый пароход Фултона, после чего пароходное сообщение стало быстро развиваться. В 1825 г. была открыта первая железная дорога с паровозами Стефенсона в Англии, в 1832 г. — во Франции, в 1835 г. — в Германии. В России первый паровоз построили отец и сын Черепановы — крепостные всемогущего уральского заводчика Демидова, но при пуске котел взорвался. В 1834 г. те же Черепановы пустили в эксплуатацию второй паровоз и железную дорогу длиной в 400 сажен. В 1837 г. была открыта железная дорога между Петербургом и Царским селом.

Важное значение имели также успехи физиологии и химии. Стало ясно, что не существует никакой таинственной «жизненной силы» и что организм представляет собой своеобразную химическую лабораторию. Не случайно поэтому главную роль в установлении закона

сохранения энергии сыграли врачи Юлиус Роберт Майер (1814—1878) и Герман Людвиг Гельмгольц (1821—1894). А еще до них химик Герман Иванович Гесс, петербургский академик, открыл закон, в соответствии с которым количество выделившегося тепла не зависит от вида и числа промежуточных химических реакций, а лишь от начальных и конечных продуктов реакций. Это, по существу, закон сохранения энергии при химических реакциях.

Первая, пока еще несовершенная, формулировка закона сохранения и превращения «сил» была дана Майером в статье «О количественном и качественном определении сил», отправленной в «Анналы физики» 16 июля 1841 г. Ее не напечатали, даже не удостоив автора ответа. Вторая статья «Замечания о силах неживой природы» была опубликована в мае 1842 г. в «Анналах химии и фармацевтики» Либихом. Заглавия статей ничего не говорили о значительности содержания, текст тоже с трудом рыскал его. И это не удивительно, ибо подготовка Майера в области физики и математики была слабой.

Молодой врач, осмелившийся решать важнейшие проблемы физики, вырос в семье аптекаря в городке Гейльборн, учился в Тюбингенском университете на медицинском факультете, где химию читал знаменитый Гмелин, а математики и физики не было. За участие в «недозволенном сообществе» (студенческом кружке «Вестфалия») его арестовали, но на шестой день после объявленной им голодовки освободили, исключив из университета. Он отправился в Мюнхен, а затем в Вену, где и закончил курс. В 1838 г. ему разрешили вернуться в Тюбинген, где он сдал экзамены и защитил диссертацию на степень доктора медицины.

Не желая «играть на родине жалкую роль докторишки», Майер нанимается судовым врачом на голландский корабль «Ява». Будучи человеком наблюдательным, он обратил внимание на замечание штурмана о том, что во время штормов вода в море нагревается. А делая многочисленные кровопускания пациентам в Сурабае, где разразилась эпидемия пневмонии, заметил, что венозная кровь в тропиках почти такая же светлая, как и артериальная. Это навело его на мысль, что между человеческим организмом и паровой машиной есть нечто общее. Он предположил, что при высокой атмосферной температуре организм потребляет меньше пищи — «топлива», или теплоты, поэтому и углекислоты, или «дыма», выде-

ляется меньше, отчего венозная кровь и светлее. Значит, между работой и теплотой всюду должно быть определенное соотношение.

С этими мыслями в феврале 1841 г. Майер вернулся в Гейльборн и сел за первую статью, сообщив о ней своему парижскому знакомому — видному математику и физику Бауру. Свою идею о сохранении сил он обосновывает аналогией с общепризнанным законом сохранения вещества (массы) в химии. Он пишет Бауру: «Совершенно те же основные законы мы должны прилагать и к силам; последние, как и вещество, не разрушимы; они вступают между собой в различные комбинации, исчезают, таким образом, в старой форме... но выступают в новой... Силы ... это движение, электричество и теплота». Однако в качестве меры сил Майер ошибочно берет количество движения  $m\omega$ , а не «живую силу»  $\frac{m\omega^2}{2}$

Правда, во второй статье, значительно более строгой, он исправляет эту ошибку и дает более четкое толкование «сил» и их превращений. Силы суть причины, говорит он, следовательно, к ним имеет прямое отношение аксиома: «причина равна действию. А причины суть (количественно) неразрушимые и (качественно) способные к превращениям невесомые объекты, значит, и «силы» суть неразрушимые, способные к превращениям невесомые объекты».

Так привычная и живучая концепция невесомости перешла с материи на силы, противопоставив весомую материю невесомым силам.

Отделяя собственно силу от «силы» — энергии, хотя и не применяя еще последнего термина, Майер говорит, что для падения тела его «поднятие» необходимо не менее, чем «тяжесть», то есть сила, и, записав  $mgh = \frac{m\omega^2}{2}$  ( $g$  — ускорение силы тяжести,  $h$  — высота), утверждает: «Мы получили закон сохранения живых сил как основанный на общем законе неразрушимости причин». Затем спрашивает: «Какую дальнейшую форму способна принять сила, которую мы познали как силу падения или движения?» По его мнению, это тепло, которое «возникает из движения»; однако «движение, чтобы сделаться теплом, должно перестать быть движением». Эта неточность вызовет позже нападки со стороны английского физика Тэта и других, отрицавших заслуги Майера в от-



крытии закона сохранения и в утверждении механической теории теплоты.

Приведенные слова Майера ярко демонстрируют многозначность применения термина «сила» в те времена. «Тяжесть» — это собственно сила, «сила падения» — потенциальная энергия поднятого тела, «сила движения» — кинетическая энергия, а произведение «поднятия» — высоты на «тяжесть», равное силе падения, есть работа против силы тяжести.

Затем Майер вычислил механический эквивалент теплоты. Он получился у него равным 365 кГм/ккал (согласно современным расчетам — 427 кГм/ккал). В своих вычислениях Майер опирался на предварительный теоретический вывод о том, что для нагрева одного килограмма газа на один градус при постоянном давлении количества тепла  $c_p$  нужно на величину работы («газовой постоянной»)  $R$  больше, чем для той же цели при постоянном объеме  $c_v$ , то есть  $c_p = c_v + R$ . Если с этим результатом, пишет он, сравнить полезное действие наших лучших паровых машин, мы увидим, что лишь очень малая часть подводимого к котлу тепла действительно превращается в движение или поднятие груза.

Возможно, будь Майер посильнее в физике и математике и знай он работы других исследователей, его выводы были бы четче и вызывали бы большее доверие и внимание специалистов. Ведь до него или одновременно с ним публиковали свои труды в той же области К. Ф. Мор, Л. А. Кольдинг, а с 1841 г. — знаменитый Джеймс Прескотт Джоуль, владелец манчестерского пивоваренного завода, посвятивший всю свою жизнь науке.

Уже в 1841—1843 гг., проводя опыты по определению теплового действия электрического тока, Джоуль установил параллельно и величину «механического эквивалента теплоты», причем точнее Майера — 460 кГм/ккал. Сделал он это на установке, ставшей классической: вода в бочке нагревалась вращением лопастей, и затем определялось соотношение между затраченной работой и полученным теплом. Заметим, что это соотношение выражает лишь связь между различными единицами измерения энергии, а отнюдь не величину некоего «эквивалента», ибо по закону сохранения количества взаимопревращающихся видов энергии должны быть равны. Тем не менее и в большинстве современных вузовских учебни-

ков фигурирует «механический эквивалент теплоты»...

Между тем никто не знал, что в записках умершего в 1832 г. С. Карно, опубликованных частично в 1878 г., а полностью только в 1927 г., уже содержалось и механическое толкование теплоты, и определение механического эквивалента, и формулировка закона сохранения «силы»...

Майер, удрученный тем, что его статье не оказали должного внимания, в то время как он надеялся потрясти ею весь ученый мир, пишет еще одну статью, третью: «Органическое движение в связи с обменом веществ». Теперь и Либих отказывает ему в публикации, и он издает ее в 1845 г. за свой счет отдельной брошюрой. Уточнив положения первых статей, Майер рассматривает уже пять различных форм сил-движения: механическое движение; силу падения; теплоту; электричество; химическую «разность». И составляет описание 20 случаев их взаимопревращений, исходя из того, что при всех химических и физических процессах «сила» остается постоянной величиной.

Он исследует также превращения «силы Солнца» на Земле. «Поток этой силы... есть та непрестанно заводящаяся пружина, которая поддерживает в состоянии движения механизм всей происходящей на земле деятельности». Он призывает к изучению механизма поглощения света растениями (это сделает позже К. А. Тимирязев); восстает против теории «жизненной силы», разделявшейся Либихом (вот почему портфель его журнала оказался для Майера «переполненным»); утверждает, что при поглощении кислорода и пищи в организмах происходят химические процессы, приводящие к тепловым и механическим эффектам. В статье 1848 г. «Динамика неба» он высказывает догадку о потере Солнцем массы при излучении...

Несмотря на это новаторское содержание, статьи Майера проходят незамеченными или вызывают отрицательное отношение. Очевидно, поэтому Джоуль, опубликовав в 1847 г. отчет о своих опытах, не упомянул о Майере. Тот, возмущившись, выступил с протестом. Джоуль ответил, что Майер лишь предсказал существование механического эквивалента тепла, но не определил его.

Пока шел этот спор, другой врач-физиолог Герман Гельмгольц, задавшись целью изгнать из науки «жизнен-

ную силу», якобы управлявшую физико-химическими процессами в организмах — «вечных двигателях», написал сочинение «О сохранении силы». Но и ему отказали в публикации в «Анналах физики» «из-за большого размера и теоретичности» работы. Тогда Гельмгольц, как и Майер, издал брошюру за свой счет, даже кое-что заработав на этом. В ней на множестве примеров он обосновал закон сохранения «силы». В отличие от статей Майера на брошюру Гельмгольца ученый мир обратил внимание, но совсем не так, как ожидал автор: большинство физиков выступило против этого закона. Только немецкий математик К. Якоби да члены молодого Физического общества в Берлине поддержали его.

Гельмгольц исходил из предположения, что все вещи состоят из материальных частиц, между которыми действуют «центральные силы» — «притягательные и отталкивательные, величина которых зависит от расстояния». В механике для таких систем уже был известен закон сохранения «живых сил». Введя понятие «напряженных сил»\*, Гельмгольц расширил этот закон до закона сохранения суммы «живых и напряженных» сил, считая его применимым к любым материальным процессам, включая и протекающие в живых системах.

На этой механистической основе он исследовал механические, тепловые (тепло как движение частиц), химические, тяготения, упругостные, электрические и магнитные «силы», найдя для каждой математическое выражение и установив абсолютную меру — количество работы. Ни того, ни другого не сделал Майер. Вместе с тем такой подход стирал качественные грани между видами «сил». Более того, понятие «силы» как энергии и собственно силы у Гельмгольца различаются менее четко, чем у Майера, хотя Гельмгольц признает неотделимость «сил» и движения от материи. Особенно важен его анализ таких немеханических «сил», как электрическая, магнитная, химическая, тепловая. «Теперь было доказано, — писал Ф. Энгельс, — что все бесчисленные действующие в природе причины, которые до сих пор вели какое-то таинственное, не поддававшееся объяснению существование в виде так называемых сил... являются особыми формами... энергии...».

Недоверие к новому закону быстро рассеивалось бла-

---

\* Потенциальной энергии.

годаря трудам Вильяма Томсона (лорда Кельвина), Рудольфа Клаузиуса, Уильяма Ранкина.

В 1853 г. В. Томсон предложил такое определение энергии: «Под энергией материальной системы в определенном состоянии мы понимаем измеренную в механических единицах работы сумму всех действий, которые производятся вне системы, когда она переходит из этого состояния любым способом в произвольно выбранное нулевое состояние».

Если подходить строго, здесь содержатся, по существу, две характеристики энергии, встречающиеся в наше время: энергия — функция состояния системы и энергия — мера работоспособности системы. Однако они недостаточны, ибо полная энергия системы зависит и от внешних действий, а запас работы можно определить только по отношению к некоторому произвольному нулевому состоянию системы. Поэтому Ф. Энгельс и ученые-философы, развившие его взгляды, определяют энергию как меру движения материи при качественном превращении форм движения (видов энергии), а работу как «изменение формы движения, рассматриваемое с его количественной стороны». С открытым законом «впервые вступает в свои права качественное содержание процесса и стирается последнее воспоминание о внемировом творце» (Ф. Энгельс).

Закон входит в силу, а споры о приоритете — в самый разгар. Так, Гельмгольц утверждал, что в период публикации своей брошюры об опытах Джоуля он «знал очень мало, а о работах Майера не знал ничего». Между тем еще в 1845 г. он реферировал для Физического общества статью Майера «Органическое движение...» и, отозвавшись о ней как о малосодержательной, оттолкнул от нее читателей. Не удивительно, что даже Клаузиус познакомился с трудами Майера только после 1862 г., будучи до этого заочно отрицательного мнения о них. Он писал потом: «...я убедился, что в этих сочинениях Майер разрабатывал свои воззрения с такой ясностью и глубиной и развил такое богатство идей, что ему нужно было удивляться даже в том случае, когда нельзя согласиться со всем тем, что в них изложено... Я взял обратно свое прежнее мнение...» И хотя в 1854 г. в докладе «О взаимодействии сил природы» Гельмгольц отметил заслуги своего конкурента, который, по его словам, «первым пра-

вильно понял и сформулировал закон» о сохранении силы в 1842 г., это мало что изменило в судьбе Майера.

Еще в мае 1850 г. в обстановке травли и одиночества Майер пытался покончить жизнь самоубийством, выбросившись из окна, но остался жив, приобретя лишь хромоту. В 1851 г. появилась его брошюра «Замечания о механическом эквиваленте тепла» — ответ противникам. «Нужно думать, — писал Оствальд позже, — что это защитительное сочинение было написано кровью Майера, исчерпав последние его силы». И действительно, у него развивается нечто вроде воспаления мозга, и родственники, всегда чуравшиеся ученого, с радостью помещают его в психиатрическую больницу. Распускаются слухи, что там он умирает, но в 1853 г. его выписывают, и с 1862 г. Майер возобновляет научную работу, мало что добавляя к сделанному ранее.

В 1872 г. в «Критической истории принципов механики» Е. Дюринг, наоборот, восхваляет Майера и умаляет заслуги Джоуля и Гельмгольца. Последний добивается увольнения Дюринга из Берлинского университета и выступает с несправедливыми нападками на труды Майера.

Итак, несмотря на множество научных учреждений с академиками, докторами, профессорами, магистрами и бакалаврами, закон сохранения и превращения энергии установили два врача и бывший пивовар...

Не зря Пифагор говорил, что знания не могут заменить ум...

# МНОГОЛИКАЯ ЦАРИЦА

---

*Природа — сфинкс. И тем она верней  
Своим искусом губит человека,  
Что, может статься, никакой от века  
Загадки нет и не было у ней.*

Ф. Тютчев

## Сколько лиц у Его Величества?

120 лет назад Ф. Энгельс писал: «Теперь уже не нужно проповедовать как нечто новое, что количество движения (так называемой энергии) не изменяется, когда оно из кинетической энергии (так называемой механической силы) превращается в электричество, теплоту, потенциальную энергию положения и т. д., и обратно; мысль эта служит добытой раз навсегда основой гораздо более содержательного отныне исследования самого процесса превращения, того великого основного процесса, в познании которого находит свое обобщение все познание природы» (курсив мой. — Г. А.).

Но каков круг этих превращений — каковы виды энергии и сколько их? Ездь даже Энгельс, сам поставивший эту задачу и немало потрудившийся над классификацией наук и форм движения, не дал ответа на вопрос. Как ни странно, но и в прошедшие годы внимания ему не уделялось. Более того, даже раздавались голоса против употребления понятия «вид энергии».

Между тем теперь стало совершенно ясно, что классификация вообще должна быть обязательным элементом всякого научного исследования. Обнаружение общих черт в различных предметах и явлениях, их систематизация и отнесение к классам известных и неизвестных есть общенаучный способ прогнозирования. Это значит, что классификация дает возможность предсказать новые факты, новые явления. Такая «эвристическая» функция ее не случайна, ибо классификация строится как результат знания и отражения закономерной связи реальных

общих и особенных сторон исследуемых объектов окружающего нас мира.

Поэтому-то, выступая косвенно за классификацию видов энергии, А. Эйнштейн писал, что «энергия зависит и от параметров, характеризующих термические, электрические, химические и тому подобные свойства системы...» «Современные физики, — продолжал он, — тоже считают сведение всех видов энергии к одному-единственному значительным прогрессом, но они не надеются достичь этой цели в ближайшем будущем». Далее он приводит пример, показывающий, что вопрос этот не является «терминологическим», как считают некоторые, поскольку принятое «предположение *приведет ... к дальнейшим выводам и изысканиям* (курсив мой. — Г. А.), к которым первоначальное предположение не привело бы».

Вероятно, это понимали и физики времен установления закона сохранения энергии. Так, еще в 1842 г. Уильям Гров одним из первых разделил «силы» на движение, теплоту, свет, электричество, магнетизм и «химическое средство» — силу стремления химических элементов к взаимодействию; Гельмгольц и Гиббс позже показали, что химическое средство определяется свободной энергией\* системы, то есть той частью полной энергии ее, которую можно превратить в работу в данных условиях окружающей среды. Майеровы «силы» — гравитационную, механическую, тепловую, магнитную, электрическую, химическую — Гельмгольц, как мы видели, сгруппировал в «напряженные» и «живые», рассмотрев, кроме перечисленных, еще и упругостную. Ранкин применяет другую терминологию — делит энергию на «потенциальную» и «актуальную» и добавляет к видам Гельмгольца «лучистую теплоту», свет, «статическое электричество». Интересно, что через 100 лет в знаменитых фейнмановских лекциях прибавляется только ядерная энергия и «энергия массы»...

Однако в эти бурные 100 лет случилось многое. Максвелл вывел «великие уравнения» электромагнитного поля, установил электромагнитную природу света. Он же с Больцманом, В. Томсоном, Клаузиусом разработал молекулярно-кинетическую теорию газов. Трудami Карно, Майера, Гельмгольца, Клаузиуса, В. Томсона, Планка, Гиббса и других была создана термодинамика — универсальный метод исследования процессов в макросисте-

\* С этим понятием мы познакомимся дальше.

мах. Умов ввел представления о локализации энергии, скорости ее движения в пространстве. Было установлено строение атома и ядра, открыты способы деления тяжелых ядер нейтронами и синтеза легких с выделением огромного количества энергии. Началось со случайности.

В 1896 г. француз А. Беккерель, заметив, что соль урана через черную бумагу засветила фотопластинку, открыл, как потом выяснилось, естественную радиоактивность. Через два года супруги Мария Склодовская-Кюри и Пьер Кюри в Париже выделяют два новых радиоактивных элемента — полоний и радий.

В 1900 г. М. Планк закладывает основы квантовой механики, а в 1905 г. А. Эйнштейн — основы теории относительности, показывая также, что энергия пропорциональна массе —  $E=mc^2$ .

В 1911 г. англичанин Э. Резерфорд предлагает планетарную модель атома и доказывает, что вся его масса сосредоточена в ядре. Два года спустя датчанин Н. Бор создает модель атома водорода и разрабатывает теорию строения атома. С этого момента начинается быстрое развитие квантовой механики и ядерной физики. Однако никто не искал путей энергетического деления атомных ядер, Резерфорд же такую возможность категорически отрицал...

В 1930 г. В. Боте и Х. Беккер в Германии, а в 1932 г. супруги Ирен и Фредерик Жолио-Кюри во Франции, бомбардируя альфа-частицами (ядрами гелия), вылетающими из полония, легкие элементы бор и бериллий, «выбивали» из них среди других неизвестные незаряженные тяжелые частицы, которые точно определил и назвал нейтронами англичанин Д. Чедвик. Тогда же, в 1932 г., Д. Д. Иваненко в СССР выдвинул гипотезу строения атомного ядра из протонов и нейтронов. И только в 1933 г. супругами Жолио-Кюри была открыта искусственная радиоактивность: бомбардируя альфа-частицами бор и алюминий, они получали новые радиоактивные элементы — изотопы азота и фосфора.

В 1934 г. Э. Ферми в Италии стал «обстреливать» нейтронами самый тяжелый элемент уран, получая, как ему казалось, «трансурановые» — более тяжелые за счет присоединения нейтронов элементы. В 1935 г., облучая нейтронами изотопы бора, И. В. Курчатов, Б. В. Курчатов, Л. И. Русинов и Л. В. Мысовский открыли ядерную изомерию — из двух получили три изотопа бора. В 1935 г.



вышла книга И. В. Курчатова «Расщепление атомного ядра» с обзором достигнутого в этой области.

В 1938 г. экспериментами О. Гана и Ф. Штрассмана в Германии, И. Жолио-Кюри и П. Савича во Франции, Л. Мейтнер и Н. Бора в Дании было доказано, что новые элементы, получавшиеся в опытах Э. Ферми, не тяжелее, а легче урана и являются продуктами его распада. При этом выяснилось, что на каждый исходный нейтрон образуется два-три новых, а выделяющаяся энергия в 2,5 млн. раз превышает энергию угля. В СССР теоретические исследования и расчеты выполняются Я. И. Френкелем, Ю. Б. Харитоновым, Я. Б. Зельдовичем, а эксперименты Г. Н. Флёровым, К. А. Петржаком и другими.

В декабре 1942 г. в Чикаго под руководством Э. Ферми, бежавшего в США с группой европейских физиков, был пущен первый в мире атомный реактор. В июле 1945 г. в США испытывается первая атомная бомба, а в августе американские бомбы взрываются над Хиросимой и Нагасаки.

В марте 1943 г. начались прерванные войной работы по атомной проблеме в СССР. Их возглавил И. В. Курчатов. И уже в декабре 1946 г. на континенте Европы и Азии впервые была осуществлена цепная реакция деления урана — в Москве в Институте атомной энергии. В августе 1949 г. испытывается советская атомная бомба, а в августе 1953 г. — водородная или термоядерная (раньше американской).

Однако век атомной энергетики начался в 1954 г., когда в СССР, в г. Обнинске дала ток первая в мире атомная электростанция. Сейчас на земном шаре насчитывается около 200 ядерных реакторов. Промышленно развитые страны стремятся довести выработку электроэнергии на атомных электростанциях к 2000 г. до 30—50%. К этому же времени планируется получение тока от первых термоядерных электростанций.

В 1932—1956 гг. были открыты античастицы — позитрон (антиэлектрон), антипротон и антинейтрон, а также явление их аннигиляции, то есть «исчезновения» при слиянии с частицами вещества, с выделением максимально возможного количества энергии  $E=mc^2$ , где  $m$  масса частиц,  $c$  — скорость света, то есть 25 млн. кВт·ч на 1 г вещества частиц. В 1965 г. в США, а в 1971 г. в СССР искусственно получены первые антиатомы — антидейтрон и антигелий-III соответственно. Была открыта и за-

гадочная частица, носитель слабых взаимодействий — нейтрино. Она лишена массы покоя и заряда, непрерывно движется со скоростью, близкой к световой, и обладает огромной проникающей способностью. Нейтрино может пролететь через 250 земных шаров, не вступив во взаимодействие с их веществом.

За эти же 100 лет не раз «исчезала материя»! Ее первый «похититель» родился в тот самый год, когда В. Томсон дал свое определение энергии. Это был Вильгельм Фридрих Огвальд (1853—1932) — физик, химик, философ, художник и музыкант. Уже к 50 годам им было написано около 6000 страниц учебников, справочников и других книг; 300 научных статей; около 400 рефератов; 900 рецензий! Он вырос в Риге в простой семье выходцев из Германии, окончил Дерптский (Тартуский) университет, стал там же доктором химии, профессором. С 1887 по 1906 г. был профессором Лейпцигского университета и руководителем физико-химического института, организованного им же. Не получив разрешения на освобождение от лекций, он в 53 года ушел в отставку и больше не служил, но работал... В 1909 г. за цикл трудов по химии ему была присуждена Нобелевская премия.

Огвальду «не повезло»: он сформировался как ученый в разгар увлечения энергией и до открытия строения атома. Могучий темперамент и страсть к умозрительному творчеству сделали его главой «энергетизма» — полуфилософского течения, провозгласившего замену материи энергией, — и проповедником принципа «экономии мышления». Из последнего вытекало отрицание атомизма, как излишней информации: зачем знать строение атома, если любые задачи могут быть решены с помощью макроскопических зависимостей термодинамики?

«Материя есть не что иное. — писал он в труде «Несостоятельность научного материализма и его устранение» (1), — как группа различных видов энергии, пространственно и в известном порядке связанных между собою». И в соответствии с этим он признавал только три вида энергии: линейную (гравитация), поверхностную (натяжение жидкостей) и объемную (при изменении объема). Лекции свои он начинал с темы «Энергия и ее превращения» и 25 лет после отставки прожил на вилле «Энергия» в Гроссботене...

Огвальд предлагал «устранить противоположность» материи и духа сведением их к третьему началу — к

энергии, а это привело к проповеди движения без материи. Но что же в таком случае движется? — спрашивает сторонников «энергетизма» В. И. Ленин. Если материя исчезает, растворившись в энергии, то движется, видимо, мысль? Но «если при исчезновении материи предполагается не исчезнувшей мысль (представление, ощущение и т. д.), то вы, значит, тайком перешли на точку зрения философского идеализма». С другой стороны, указывает Ленин, «выражение: «материя исчезает», «материя сводится к электричеству» и т. п., есть лишь гносеологически беспомощное выражение той истины, что удастся открыть новые формы материи, новые формы материального движения, свести старые формы к этим новым и т. д.».

После открытия строения атома и других физических явлений энергетизм было быстро пошел на убыль, но с установлением Эйнштейном связи между энергией и массой  $E=mc^2$  поднялась новая его волна — неоэнергетизм во главе с другим Нобелевским лауреатом Вернером Гейзенбергом. «Из основных форм энергии, — заявил он, — три формы отличаются особенной устойчивостью: электрон, протон и нейтрон. Материя... состоит из этих форм энергии, к чему всегда следует добавлять энергию движения». На самом деле ничего не изменилось в материальном мире с выводом этой зависимости — как и раньше одни виды материи и формы движения превращаются в другие, но помимо массы покоя  $m_0$  появилось представление о динамической массе  $m_g$  и переходе их друг в друга, ибо  $m=m_0+m_g$ . Так, при слиянии вещественных частиц электрона и позитрона общей массой  $\Sigma m_0$  образуются частицы электромагнитного поля — фотоны общей массой  $\Sigma m_g$ , но  $\Sigma m_0=\Sigma m_g$ .

Итак, не существует готового ответа на вопрос, сколько лиц у царицы мира. Нет и рецептов, как их определить. Впрочем, советский физик К. А. Путилов в «Лекциях по термодинамике» еще в 1939 г. указывал, что «в различных науках, вследствие неодинаковых целей и различных методов, следует по-разному классифицировать виды энергии». И дал перечисление их для механики, термодинамики, прикладной физики и технико-экономики. Но классификации перекрывали друг друга, в них разными терминами обозначались, по существу, одни и те же виды энергии, не было оснований считать их исчерпывающими. И это естественно, ибо материя для всех

наук едина, как едины *ее виды, формы движения и «напряженного состояния» — взаимодействия.*

Опыт классификаций материальных объектов, основывающийся на трудах Ф. Энгельса, свидетельствует, что именно отсюда и следует начать использовать для классификации видов энергии комплексный подход, включающий эти три критерия, поскольку какого-то одного из них недостаточно. Действительно, одни и те же виды материи участвуют в разных формах движения (например, электрон — в электрической, химической, тепловой и т. д.) Формы движения не охватывают пока «напряженных состояний»: какой, например, форме движения соответствует потенциальная энергия подвешенной гири, являющаяся следствием гравитационного взаимодействия? И вместе с тем всего лишь четыре четко выделенных класса физических взаимодействий — ядерное (сильное), электромагнитное, «нейтринное» (слабое) и гравитационное (ультраслабое) — тоже не дают оснований для определения всех разновидностей энергетических явлений.

Заманчиво было бы составить классификацию видов энергии (подобно таблице химических элементов Д. И. Менделеева) на основе ступенчатого перехода количества в качество с помощью формулы  $E=mc^2$ . Действительно, при термоядерных реакциях выделяется 0,65% всей энергии, при ядерных реакциях деления — 0,09, при химических —  $5 \cdot 10^{-9}\%$ . Однако дальше резкая граница между цифрами стирается.

Наконец, еще одна на первый взгляд простая возможность — выделять виды энергии на основе превращаемости явлений в некоторый «эталонный» вид энергии, например в механическую. Однако и здесь существует препятствие в виде трудности дать точное и емкое определение понятия «превращение». И где взять гарантии, что все прямые превращения возможны?

Таким образом, мы останавливаемся на комплексном критерии: *виды материи — формы движения — виды взаимодействия.*

Условимся энергию свободного движения тела или частицы называть механической энергией, а энергию хаотического движения и взаимодействия частиц вещественных макросистем — теплотой. Тогда ту часть теплоты, которая может освобождаться и превращаться в другие **виды энергии при наличии разности температур, назовем**

тепловой энергией. Энергию всех форм направленного, упорядоченного движения электронов в макротелах назовем электрической энергией, или, точнее, хотя и непривычнее, электродинамической. Частицы полей—мезоны, фотоны, нейтрино и гравитоны — непрерывно движутся, так что можно выделить виды энергии: мезонную (мезодинамическую), фотонную (фотодинамическую), или электромагнитную, нейтринодинамическую и гравидинамическую.

Рассматривая «напряженные состояния», являющиеся следствием сил взаимодействия между телами, получим потенциальные виды энергии. Полную энергию системы вещество—антивещество, равную энергии покоя и движения, выделяющуюся при аннигиляции, можно назвать аннигиляционной. Аннигиляция может быть результатом ядерного и электромагнитного взаимодействия (менее вероятного). Энергию связи нуклонов в ядре, освобождающуюся при делении тяжелых и синтезе легких ядер, называют ядерной. Энергию, освобождающуюся при химических реакциях в результате перестройки электронных оболочек молекул, называют химической. Электромагнитное взаимодействие обуславливает потенциальную энергию тел в электрическом и магнитном полях — электростатическую и магнитостатическую энергии. Аналогично этому мы обязаны слабым взаимодействиям сопоставить нейтриностатическую энергию, а ультраслабым — гравистатическую энергию. Если сжать стальную пружину или при постоянной температуре газ, то таким путем накопится энергия, которую можно назвать упругостной энергией; она обусловлена электромагнитным, гравитационным взаимодействиями и тепловым движением.

В результате получается классификация видов энергии, которая охватывает все варианты энергетических превращений на Земле.

Аннигиляционная	Электростатическая
Ядерная	Магнитостатическая
Химическая	Нейтриностатическая
Гравистатическая	Упругостная
Тепловая	Мезонная
Механическая	Гравидинамическая
Электрическая	Нейтринодинамическая
Электромагнитная	

Иногда говорят о колебательной и инерционной энер-

гии. Однако и колебательный характер движения, и инерция свойственны всем формам материи и движения, а потому охватываются выделенными видами энергии. Например, «звуковая энергия» есть разновидность механической. Часто в особый вид энергии выделяют биологическую. Однако биологические процессы всего лишь особая группа физико-химических процессов, в которых участвуют те же виды энергии, что и в других. Об этом знали еще Майер и Гельмгольц. Обычно происходит превращение химической энергии пищи в тепловую, механическую, электрическую, а иногда и в световую — электромагнитную. Поэтому правильнее говорить не о биологической энергии, а о биологических преобразователях энергии.

Таковы «лица» нашей многоликой царицы-энергии. Может быть, число их можно увеличить или убавить? Может быть, но для этого нужны новые аргументы.

## Распределение ролей

Итак, теперь мы знаем, что их пока 15. Но каково амплуа каждого вида? И распределены ли они по ролям в соответствии с их амплуа?

Спектакль называется «Практическая человеческая деятельность», а практическая ценность перечисленных видов энергии совершенно различна. Они различаются по следующим показателям:

- наличию и величине ресурсов на Земле,
- способности к возобновлению этих ресурсов,
- возможности непосредственного использования,
- возможности накапливаться и сохраняться,
- возможности экономно передаваться на дальние расстояния,
- способности экономно превращаться в используемые виды,
- скорости превращения в другие виды,
- концентрации,
- упорядоченности и т. п.

Великий постановщик этого спектакля — Природа — ограничивает наш выбор источников энергии довольно незначительным кругом накопленных за все время существования Земли невозобновляемых и регулярно возобновляемых ресурсов.

## Природные ресурсы энергии и их величина (кВт·ч)

### Невозобновляемые ресурсы (общие запасы)

Термоядерная энергия	100 000 000 · 10 <sup>12</sup>
Ядерная энергия деления	547 000 · 10 <sup>12</sup>
Химическая энергия ископаемых органических горючих	55 000 · 10 <sup>12</sup>
Внутреннее тепло Земли	134 · 10 <sup>12</sup>

### Ежегодно возобновляемые ресурсы

Энергия морских приливов	70 000 · 10 <sup>12</sup>
Энергия падающих на Землю солнечных лучей	580 000 · 10 <sup>12</sup>
Энергия солнечных лучей, аккумулирующаяся в верхних слоях атмосферы (150—200 км) в виде атомарных кислорода и азота	0,012 · 10 <sup>12</sup>
Энергия ветра	1700 · 10 <sup>12</sup>
Энергия рек	18 · 10 <sup>12</sup>

Из непрерывно возобновляемых ресурсов энергии мы непосредственно используем лишь электромагнитное излучение Солнца — естественного термоядерного \* «реактора». Благодаря доставляемому им теплу и лучистой энергии Земля покрыта пышной растительностью, за счет которой существуют животный мир и в конечном итоге — человек. И только ничтожная доля энергии рек, ветра и тепла недр Земли (выбросы горячих источников) служит нам в натуральном виде — без превращения в непосредственно используемые виды энергии, будем называть их *полезными*.

Последних же всего четыре. Причем на долю тепловой энергии приходится примерно 75% из всего количества потребляемой энергии, на долю механической — 24%, а 1% делят между собой электрическая и световая.

Таблица 1

### Мировая потребность в тепловой и механической энергии \*\*

	1952*** г.	1975 г.	2000 г.
Всего, млрд кВт·ч	10,2	27	84
Тепло, %	80	70	66,5
Механическая энергия стационарных установок, %	10	19	23
Механическая энергия транспортных установок, %	10	11	10,5

\* Впрочем, может быть, вакуумного, поскольку, как мы увидим дальше, есть предположение о существовании в космосе «вакуумной энергии».

\*\* Включая преобразованную в эти виды электроэнергию.

\*\*\* Фактические данные; 1975 и 2000 гг. — прогноз ООН 1954 г.

Здесь имеется в виду расход тепла на технологические нужды промышленности (плавка металла, сушка и т. п.) и отопление.

Электричество применяется, например, в производстве алюминия, основное его назначение — передача энергии на расстояние. Лучистая энергия коротковолновой части спектра служит нам для освещения.

Из таблицы I видно, что использование механической энергии будет относительно возрастать, а тепла — уменьшаться, однако *абсолютное потребление того и другого вида энергии должно непрерывно увеличиваться пропорционально росту валового национального продукта каждой страны*, как это происходило раньше. Резко увеличится производство электроэнергии.

В итоге получается, что ядерная, химическая, механическая, тепловая и электромагнитная энергии выполняют роль ресурсов; в качестве полезных выступают те же тепловая механическая электромагнитная, а также электрическая. Какова же роль других девяти видов энергий? Гравитационная, электростатическая, магнитостатическая и упругостная энергии служат для создания запасов энергии. А вот оставшиеся пять — пока лишь украшают сцену Их значение чисто теоретическое.

Итак, ясны амплуа ясны роли Как же развивается действие?

В главной роли источника полезных видов энергии выступает варварски расходуемая химическая энергия минеральных органических топлив, то есть ресурсы, запасы которых составляют доли процента всех запасов энергии на Земле и катастрофически быстро сокращаются. Возобновления химической энергии почти не происходит, поскольку для накопления минеральных горючих нужны тысячелетия, а леса уже несколько столетий больше истреляются, чем разводятся.

С декабря 1942 г., когда был пущен первый ядерный реактор, в роли нового источника энергии на сцену вышли ядерные и термоядерные топлива. Широкое их применение считается главным средством спасения от энергетического кризиса и сохранения химического сырья на ближайшие столетия.

Другой путь — использование возобновляемых источников энергии: солнечного излучения, приливов—отливов, течений, ветра, тепла Земли, дождевых потоков.

Третий путь — экономия в расходовании и путем со-



вершенствования процессов превращения энергии в ее преобразователях.

Четвертый путь — ускорение процесса фотосинтеза.

Пятый путь — изыскание новых, пока не доступных даже нашему воображению источников энергии.

Химическая энергия обладает рядом преимуществ перед другими: ее носители легко транспортируются, она имеет высокую концентрацию, долго хранится, легко превращается в полезные виды. Поэтому уже теперь работают над тем, чтобы превращать в нее другие виды энергии, например, путем разложения воды электрическим током или термохимическими методами на водород и кислород. Последние будут применяться на транспорте после исчерпания ресурсов органических топлив на Земле, а в ближайшем будущем — с целью охраны окружающей среды, ибо при их реакции получается не только безвредный, но и полезный продукт — вода.

Самым энергоемким накопителем энергии является аннигиляционное топливо, — напомним, что в 1 г вещества с антивеществом содержится 25 млн. кВт·ч энергии. Но в нашей части Вселенной антивеществ нет. В лабораториях же пока затрачивается 1 кВт энергии, чтобы получить 0,01 кВт за счет аннигиляции.

## Взаимные превращения лиц

Всесторонний анализ различных энергетических процессов приводит к заключению, что для превращения видов энергии необходимо выполнить по крайней мере два условия: 1) соблюсти должный уровень концентрации энергии и 2) подобрать рабочее тело определенных свойств. Например, из-за низкой концентрации нельзя превратить тепло дымовых газов печей в ядерную энергию — получить ядерные топлива. Из за неподходящих свойств диэлектрика, сколько бы ни пересекать им силовые линии магнитного поля, механическая энергия этого движения не превратится в электрическую — для этого нужен проводник.

Еще сложнее обстоит дело с непосредственными

взаимопревращениями потенциальных видов энергии. Два куска урана, суммарная масса которых равна критической, при сближении вступят в ядерную реакцию деления. А как непосредственно превратить эти два куска урана, обладающие запасом потенциальной энергии, в соответствующее количество, например, жидкого или газообразного горючего с кислородом, чтобы эту смесь сжечь потом в цилиндре автомобиля? Да никак. Имеется лишь один путь — ввести промежуточный этап преобразования ядерной потенциальной энергии в кинетическую и электромагнитную энергию осколков и излучений, с помощью которых затем разложить воду на водород и кислород, получив запас химической энергии. Используя тепло ядерной реакции, можно каменный уголь превратить в «бензин». Система—носитель потенциальной энергии как бы замкнута, закрыта, а открывшись, может переходить, как правило, только в кинетические виды энергии. Поэтому придется делать некоторую натяжку и рассматривать «кинетический этап» как бы несуществующим, поскольку он выполняет роль посредника в этой операции и в большинстве случаев не нуждается даже в особом устройстве.

Теперь, исключив из рассмотрения виды энергии, не имеющие практического значения, проанализируем возможности взаимопревращений всех остальных, сведя их в таблицу 2 — матрицу.

При всех превращениях энергии, строго говоря, должна изменяться гравистатическая энергия ее систем-носителей, если их положение по отношению к поверхности Земли меняется.

Матрица превращений энергии дает пищу для размышлений. Во-первых, оказывается, возможности здесь весьма ограничены, а если учесть, что другие пока трудно представить, то просто мизерны; во-вторых, основные, самые простые, надежные и перспективные пути уже использованы и могут лишь совершенствоваться в направлении повышения экономичности превращений и удельной энергопроизводительности, то есть мощности преобразователя. Кое-какие резервы остались, пожалуй, лишь в виде прямого превращения ядерной энергии в электрическую и механическую, химической в механическую, гравистатической в механическую. Перспективны превращения ядерной энергии в химическую и упругостную,

Таблица 2

Матрица возможных и целесообразных превращений  
и преобразований видов энергии, имеющих практическое значение

	Вид энергии	Роль	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ядерная	Е и И ИЗ				+			+			
2	Химическая	Е и И ИЗ; НЭ	-		+	+		+	-			
3	Электро- магнитная	ПЕРЭ; Е ИЗ	-			+	+	-	-			+
4	Гравита- ционная	Е ИЗ	-	-	-			-	-		+	
5	Упругостная	И ИЗ и НЭ	-	-	-		+	+	+	+	+	
6	Электроста- тическая	И ИЗ и НЭ	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+
7	Магнитоста- тическая	И ИЗ и НЭ	-	-	-	+	+	+	+	+	+	
8	Электричес- кая	ПЕРЭ	-		+	+	+	+	+			+
9	Тепловая	Е и И ИЗ; НЭ	-	+		-		-	-	+		
10	Механическая	Е и И ИЗ; НЭ	-	-	-			+	+		+	

— непосредственное превращение невозможно;

+

непосредственное превращение возможно, но практического интереса не представляет;



непосредственное превращение возможно и представляет практический интерес, но не для энергетических целей;



непосредственное превращение возможно, представляет практический интерес, но пока почти (или совсем) не используется;



то же, что и предыдущее, но частично уже используется;



то же, что и предыдущее, но используется широко;

Е ИЗ естественный (природный) источник энергии;

И ИЗ искусственный ИЗ;

НЭ — накопитель энергии;

ПЕРЭ — переносчик энергии.

гравистатической — в упругостную, например, путем зарядки пружин и баллонов с газом в глубинах морей.

## «Шагреновая кожа» человечества

Терзаемый страстями герой романа О. Бальзака «Шагреновая кожа» получил волшебную возможность их утоления с условием, что с каждым исполненным желанием будет уменьшаться талисман — кусок шагреновой кожи. Размер куса был велик, и казалось, его хватит на несколько жизней, но чем больше исполнялось желаний, тем больше возникало новых... И герой умер, не прожив и половины срока, отведенного человеку на Земле...

Не является ли и энергия такой вот «шагреновой кожей» человечества? Ведь за все на Земле — за пищу, жилище, одежду, автомобили, самолеты, телевизоры и т. д. — приходится платить, по существу, одной-единственной валютой — энергией, запасы которой быстро истощаются.

Выше мы выявили 10 видов энергии, имеющих пока практическое значение. Теперь посмотрим, какие же материальные системы могут служить источниками (носителями) этих видов энергии, каков состав «шагреновой кожи» человечества, размер которой определяется приведенными выше численными значениями ресурсов энергии.

*Источниками механической энергии* служат различные естественно и искусственно движущиеся системы: движение воды в реках, приливы и отливы в океанах, течения и волнения, ветер, приведенные во вращение тела — маховики. С учетом предела прочности стали запас энергии маховиков достигает 200 кДж/кг.

*Источниками гравистатической энергии* являются аппараты, изменяющие свой вес при изменении высоты над уровнем Земли или глубины под водой — аэростаты и гидростаты. Полный запас гравистатической энергии на 1 кг массы тела на поверхности Земли равен примерно 62 400 кДж/кг — это количество работы, которое надо затратить, чтобы тело массой в 1 кг выбросить с поверхности Земли в космическое пространство.

Силой давления атмосферного воздуха можно вытолкнуть из предварительно откачанной трубы ракету со скоростью иногда большей, чем при пороховом пуске.

Силу давления воды на глубине можно использовать для выстреливания снарядов, устройств для взятия проб грунта.

*Источником упругостной энергии* служат пружины и сжатые газы. Энергоемкость стальных пружин — 0,2 кДж/кг, резиновых — 0,35 кДж/кг. Цифры низкие, но простота устройства, совмещающего источник и преобразователь энергии, отсутствие продуктов реакции, возможность возобновления запаса компенсируют этот недостаток. Новые полимерные материалы позволят увеличить энергоемкость пружин во много раз.

При начальном давлении в 1010 бар и конечном 10 бар сжатый газ позволяет накопить порядка 100 кДж/л против 600 кДж/л смеси керосина со сжатым до 200 бар воздухом. Керосин же с атмосферным воздухом (без учета его расхода) дает 35000 кДж/л керосина.

*Источники тепловой энергии в природе:* тепловое излучение Солнца, разность температур на поверхности и в глубине морей и Земли (до 10—20°). Искусственно тепло можно накопить с помощью расплавленных металлов, перегретых жидкостей. Можно накопить и «отрицательное тепло» — с помощью сильно охлажденных жидких воздуха, водорода, кислорода.

*Электромагнитная энергия* непрерывно доставляется с Солнца на Землю — 3000 кДж/м<sup>2</sup>·ч. Фотонный солнечный «ветер» можно использовать с помощью специального «паруса» для движения в космосе. На поверхности Земли давление этого «ветра» составляет 0,005 бара и практического значения не имеет.

*В электростатическом виде* энергию можно накопить в конденсаторах — усовершенствованных лейденских банках. Запас энергии в них достигает 440 кДж/л, но медленный разряд осуществить трудно. Энергоемкость электретов (электрических аналогов постоянных магнитов) еще меньше.

Носителями *магнитостатической энергии* являются постоянные магниты, изготавливаемые, как правило, искусственно; их энергоемкость и сила невелики. Электромагниты работают только при непрерывном подведении к ним электрического тока — накопителями быть не могут.

*Источников электрической энергии* (если не считать молнии) в природе нет. Искусственные — это накопители: конденсаторы и гальванические элементы-аккумуляторы.

*Носителями химической энергии* служат в основном двухкомпонентные топлива, состоящие из горючего и окислителя. Самое выгодное горючее — водород, его энергоемкость — 120 000 кДж/кг, а на 1 кг смеси водорода с кислородом (в соотношении 1:3 для полного сгорания в  $H_2O$ ) — 13 300 кДж/кг. Однако в природе водорода в свободном виде нет, его получают путем разложения воды. Из-за большого объема его лучше использовать в жидком виде, но для этого требуются очень низкие температуры.

В природе имеются запасы минеральных органических горючих: нефти, природного газа, угля, сланцев и т. д. Их энергоемкость 20 000—40 000 кДж/кг горючего, а на 1 кг полностью сгорающей смеси горючего с воздухом — около 2500 кДж почти для всех горючих. В некоторых случаях (пока на ракетах) используются и неорганические горючие: кремний, магний, алюминий, бор, литий и др. Они еще дороги и часто неудобны в эксплуатации (подача в твердом виде, образование твердых продуктов при сгорании и т. д.).

И наконец, *носители ядерной энергии* — ядерные топлива. Делению тепловыми нейтронами поддается только уран-235, содержание которого в природном уране 0,712%, остальное — уран-238. Последний захватывает тепловые нейтроны, и получить цепную реакцию можно лишь в реакторах очень больших размеров. Поэтому природный уран обогащают на 2—20% ураном-235. В двухступенчатом режиме с получением нового ядерного топлива — плутония-239 и урана-233 — можно применять уран-238 и торий-232, но только делая их быстрыми нейтронами. Это повысит эффективность использования урана с учетом потерь в 20—30 раз и увеличит ресурсы ядерного топлива деления в 2 раза. Такие реакторы-размножители имеют небольшие габариты и вес, им сулят большое будущее. И это все.

Радиоактивные изотопы пока дороги, дают ничтожное количество энергии, но длительное время (до 30 лет и более), непрерывно и равномерно. Это кобальт-60, стронций-90, цезий-137 и др.; они излучают альфа-лучи (ядра гелия), бета-лучи (электроны) и гамма-лучи (фотоны).

Энергоемкость ядерных топлив велика. Так, у урана-235  $6,7 \cdot 10^{10}$  кДж/кг.

Энергоемкость термоядерных топлив в 7—10 раз вы-

ше. Они представляют собой ядра самых легких элементов, например изотопов водорода, трития и дейтерия, реакция соединения которых с выделением энергии начинается при температуре в несколько десятков миллионов градусов! В бомбах она достигается взрывом ядерного устройства деления. Контролируемую же термоядерную реакцию не удастся получить уже более 20 лет, но перспективы оцениваются специалистами оптимистично. Количество дейтерия в 1 л морской воды эквивалентно 160—200 л керосина.

## От лучины до реактора и дальше...

Теперь, следуя логике познания, нам придется познакомиться со скучной техникой, поставляющей нам непосредственно используемую энергию, — с преобразователями энергии и энергетическими установками. Мы с удивлением обнаружим, что такое сложнейшее устройство, как ядерный реактор, в отношении числа ступеней превращения видов энергии подобен палочке с поленом в руках первобытного человека. Причем оба устройства относятся к одному классу — теплогенераторов.

Зная весь набор источников энергии и непосредственно используемые виды энергии (достаточно рассмотреть тепловую, механическую и электрическую, так как доля световой ничтожна и получается она, как правило, из электрической), можно составить так называемую морфологическую карту, включающую всевозможные сочетания этих элементов — всевозможные виды преобразователей энергии (ПЭ) и энергетических установок (ЭУ). Исключив из этих сочетаний нереальные, мы получим полное представление о существующих и прогнозную ориентацию в будущих ПЭ и ЭУ.

Для оценки эффективности каждого типа надо придумать какой-то комплексный критерий — его величина даст основание судить о перспективности различных вариантов ПЭ и ЭУ. Однако в общем случае эта задача вырастает в целую проблему, поскольку такой критерий должен учитывать энергоемкость массы данного источника энергии, степень его использования, экономичность ПЭ, удельную мощность — весовую и объемную, автономность, управляемость, надежность, удобство в эксплуатации, конструктивное совершенство и другие показатели.

Вычислить комплексный критерий путем перемножения обычных численных значений этих показателей нельзя, поскольку их масштаб, диапазон изменения численных значений, относительная роль различны. Поэтому или надо потратить немало сил, чтобы оценить значение — удельный «вес» каждого показателя в общем критерии и придумать соответствующую шкалу его измерения или же вести прогнозирование отдельно по каждому показателю.

В зависимости от области применения и назначения — военная или гражданская техника, транспортные или стационарные установки и т. п. — набор критериев и их относительный «вес» будут меняться.

Разнообразие преобразователей энергии и энергетических установок, как видно на морфологической карте, невелико — большинство из них уже эксплуатируется: паровые турбины с электрогенераторами — на электростанциях, газотурбинные и реактивные двигатели — в авиации, поршневые двигатели внутреннего сгорания — на автомобилях, тракторах, все перечисленные — на судах, локомотивах и других объектах в зависимости от назначения.

С 1952—1954 гг. для судов и электростанций строятся атомные ЭУ, состоящие из реактора, генерирующего тепло, и паровой турбины.

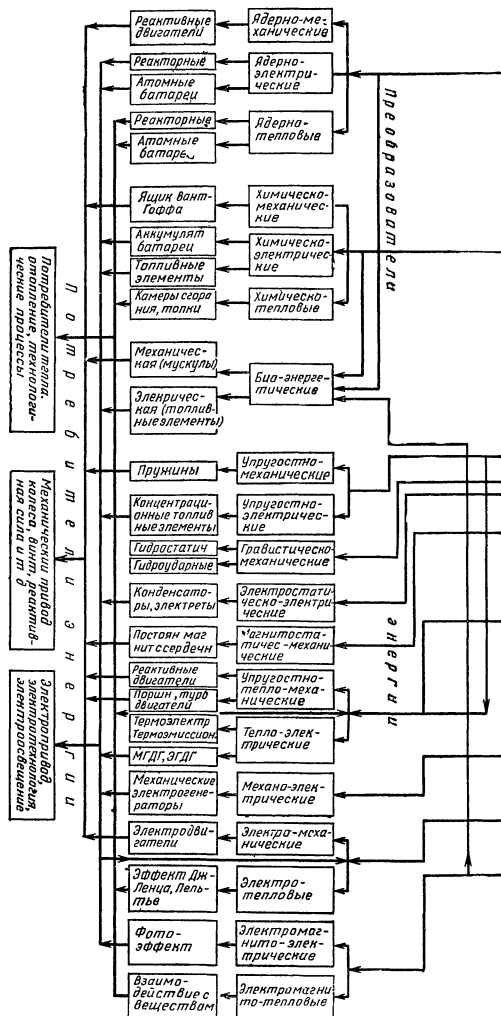
С 1958—1960 гг. разрабатываются ПЭ прямого получения электричества: топливные элементы (ТЭ), термоэлектрические (ТЭЛГ), термоэмиссионные (ТЭМГ), магнито(электро)газодинамические (МГДГ и ЭГДГ), солнечные (СЭГ) электрогенераторы, а также атомные электробатареи.

ТЭ похожи на автомобильные электроаккумуляторы; в них происходит «холодное горение» — окисление топлива, например водорода, кислородом воздуха с прямым получением вместо тепла электрического тока. Полупроводниковые ТЭЛГ работают на основе эффекта Зеебека. В ТЭМГ тот же в принципе эффект осуществляется в цепи, где два электрода разделены, и ток электронов между ними поддерживается благодаря термоэмиссии — вылету их с сильно нагретой поверхности катода. Принцип МГДГ был известен еще Д. Араго — при пересечении магнитного поля потоком электропроводного газа в газе перпендикулярно полю и потоку возникает электроток. МГДГ имеют огромную мощность при низкой экономич-



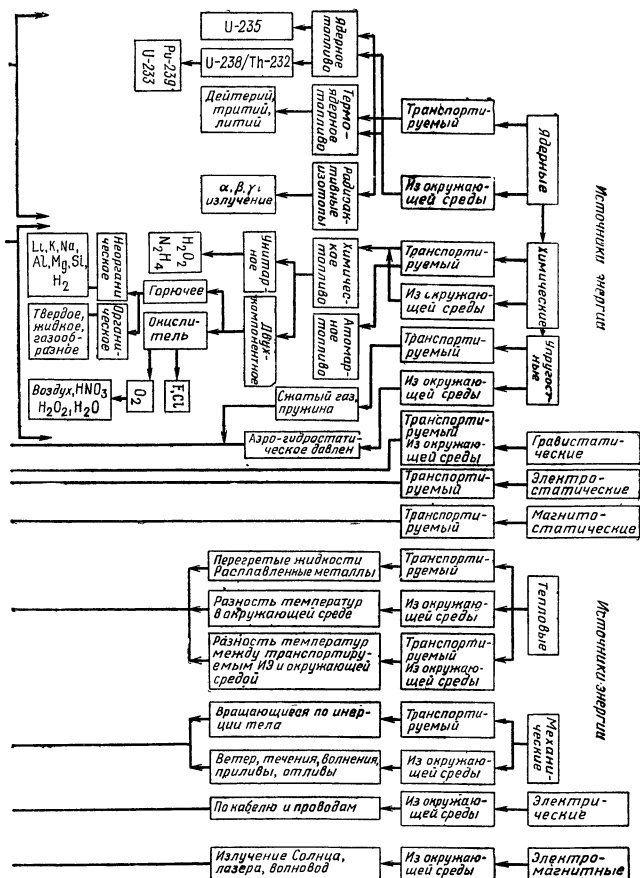
ности, поскольку для обеспечения электропроводности газа работают в диапазоне температур 2000—3000° С. Если же тепло отработавшего в МГДГ газа подвести к паротурбинной установке, то суммарный КПД (см. ниже) такой МГДУ достигнет 50—55%, однако работоспо-

### Морфологическая карта источников, преобразователей и



способность газа в интервале 2000—550°С (максимальная температура паротурбинного цикла) при этом не используется. Известные материалы не выдерживают длительное время температуры МГДГ, а это требует введения охлаждения и выдвигает другие технические проблемы...

потребителей энергии — энергетических установок  
(см. схему справа налево)



В СЭГ используется фотоэффект — «выбивание» фотонами солнечного света из атомов германия или кремния электронов, которые при замыкании цепи образуют электроток. В атомных батареях в электроток преобразуется энергия излучений радиоактивных изотопов.

Основной критерий эффективности военной техники — поражаемость противника, гражданской — экономичность и удельная мощность.

Экономичность ЭУ оценивается коэффициентом полезного действия или удельным расходом источника энергии, приходящимся на единицу получаемого вида энергии. КПД представляет собой отношение количества полученной полезной энергии к количеству затраченной; эта безразмерная величина меньше единицы, но ее часто выражают в процентах (умножая на сто). Удельный расход обратно пропорционален КПД.

КПД нетепловых генераторов, где имеются потери только вследствие необратимости реальных процессов, то есть в основном за счет трения, перехода тепла в окружающую среду, бывает ненамного меньше 100%. КПД генераторов с тепловым этапом превращения  $\eta_{\text{тн}} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$  всегда заметно ниже 100%, так как много тепла  $q_2$  отдается холодному источнику и зависит от величины интервала между максимальной и минимальной температурами — КПД Карно  $\eta_{\text{тк}} = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$

Например, КПД первичных ПЭ: топливных элементов — 60—80%, поршневых тепловых двигателей внутреннего сгорания — 35—40%, паротурбинных установок — 35—40%, газотурбинных установок — 25—35%, а у снятых с производства паровозов он был всего 5—8%; КПД вторичных ПЭ, например электродвигателей и электрогенераторов, достигает 95—98%. КПД ТЭЛГ, ТЭМГ, СЭГ составляет примерно 10—15%. КПД МГДУ  $\eta_{\text{мгду}} = \eta_{\text{мгдг}} + \eta_{\text{пту}} (1 - \eta_{\text{мгдг}}) \approx 0,20 + 0,40 (1 - 0,20) = 0,52$  или 52%.

В некоторых случаях, особенно на транспортных аппаратах, часть исходных энергокомпонентов могут черпаться из окружающей среды (например, углерод при движении судов, солнечная энергия и т. п.), то есть являются как бы даровыми, «бесплатными». Тогда в качестве критерия экономичности целесообразно применять коэффициент использования энергии (КИЭ) — отношение

количества всей полученной полезной энергии (работы) к количеству затраченной транспортируемой энергии. Ясно, что КИЭ в отличие от КПД может быть значительно больше единицы — больше 100%. В некоторых же топливных элементах, где протекают реакции с увеличением числа молей газообразных веществ (например,  $2C + O_2 = 2CO$ ) и элемент сильно охлаждается, в электрическую энергию превращается не только теплота реакции, но и энергия дарового тепла, поступающего самопроизвольно из окружающей среды. Это пока единственная возможность использования тепла окружающей среды с энергетическими целями, поэтому развитие работ в этом направлении — важнейшая научная проблема. Если отнести получаемую в таком элементе электроэнергию только к энергии реакции, то получится явное «нарушение» закона сохранения энергии — «КПД» (на самом деле — КИЭ) превзойдет 100%, но если учесть и расход тепла, поступающего из окружающей среды, то все будет в порядке — КИЭ превратится в КПД и не превысит 100%.

Удельная мощность — мощность  $N = F \cdot \omega$ , отнесенная к массе или объему генератора, — пропорциональна величине приложенной силы  $F$  (например, давления газов) и скорости движения рабочего тела (газа, пара, плазмы) или — рабочего органа (поршня, колеса турбины и т. п.) —  $\omega$ . Возможности увеличения силы ограничены — так, давление редко превышает 100 атмосфер, скорость же может в 2—3 раза превышать звуковую. Например, скорость поршня в цилиндре не бывает больше 20 м/с, скорость концов лопаток турбин достигает 3000 м/с, с еще большими скоростями летают реактивные аппараты различного назначения. Не удивительно, что мощность, например, двигателей космических кораблей достигает 20 и более млн. лошадиных сил.

Рабочий процесс в генераторах может протекать стационарно и пульсационно. Стационарно — в турбинных и реактивных двигателях при постоянном давлении в камерах сгорания. Пульсационно — в поршневых двигателях, турбинных и реактивных при постоянном объеме камеры во время сгорания топлива: камера закрывается клапанами. На импульсах — ударных волнах — основана работа ударной трубы, позволяющей получить высокие температуры газа и его ионизацию. Так, при медленном сжатии воздуха без теплообмена с окружающей средой до

давления 1000 бар температура равна  $1500^{\circ}\text{C}$ , а при сжатии в ударной волне до того же давления температура достигает  $13\,700^{\circ}\text{C}$ . Пульсирующие процессы могут обеспечить подвод энергии, возбуждающей энергосвободные реакции, понизить термическое напряжение конструкции и т. д. В электронно-ионных преобразователях роль твердых поршней или клапанов, обеспечивающих протекание пульсирующего процесса, выполняют соответственно магнитные поршни и «пробки».

Для генераторов механической энергии — двигателей характерна еще одна черта — способ приведения в движение заданного объекта (автомобиля, самолета и т. п.), активный или реактивный. Первый, например колесный привод, выгоднее при малых скоростях движения, когда его КПД составляет 70—80% против 0,5—3% у реактивного; второй, например реактивные движители самолетов и судов, выгоднее при больших скоростях — КПД достигает 50—70%.

Прогнозирование повышения эффективности ЭУ требует осторожности. Вряд ли следует увлекаться температурами более  $T_1=2000\text{ K}$ . Ведь уже при этой температуре (и температуре окружающей среды  $T_2\approx 300\text{ K}$ ,  $t_2=27^{\circ}\text{C}$ ) КПД Карно достигает значения 85%, а при увеличении температуры до 3000 K повышается всего до 90%. Существующие же недорогие материалы выдерживают  $\approx 1300\text{ K}$ . Кроме того, с повышением температуры быстро растут потери тепла в окружающую среду и расходы на обеспечение надежности и долговечности оборудования. В малой энергетике и на транспорте перспективны топливные элементы.

Интерес представляют различные биоэнергетические преобразователи, изучение которых начинается. Должны совершенствоваться все преобразователи энергии возобновляемых источников, особенно солнечного излучения.

Прямое превращение химической энергии в механическую возможно пока только в «ящике Вант-Гоффа» — сосуде, в котором протекают реакции с увеличением объема газообразных продуктов (толкая поршень, они и совершают механическую работу) при постоянной температуре, что достигается разделением реагентов и продуктов реакции гипотетическими полупроницаемыми мембранами, обеспечивающими нужное направление реакции, но пока не найденными для подходящих реагентов.

Важной тенденцией является разработка «безмашин-

ных» преобразователей энергии — орудий для обрабатывающей промышленности. Здесь все чаще вместо резца и сверла используются химическая реакция, плазменная струя, луч лазера и тому подобные устройства.

## **Концентрация, трансформация, аккумуляция...**

Часто эти понятия сливаются в одном устройстве, и к ним добавляется четвертое — «превращение энергии». Например, при зарядке электрического аккумулятора происходит превращение электрической энергии в химическую, аккумулируется — накапливается энергия и может повышаться ее концентрация — изменяться потенциал, то есть происходить «трансформация». Вообще же под трансформаторами уже привыкли понимать аппараты, служащие для изменения (понижения или повышения) напряжения электрического тока.

Однако существуют и другие возможности концентрации энергии. Например, затрачивая работу на привод компрессора, можно получить сжатый газ различного давления — чем выше давление газа, тем выше концентрация упругостной энергии в нем. Заводя часовую пружину или оттягивая тетиву лука, мы тоже повышаем концентрацию упругостной энергии. В камере газотурбинного двигателя, добавляя воздух в 2—3 раза большем количестве, чем требуется для полного сгорания, понижают с  $2200^{\circ}\text{C}$  до  $700\text{—}900^{\circ}\text{C}$  концентрацию тепловой энергии в продуктах сгорания, чтобы не сжечь лопатки. Нагревая воздух в комнате за счет тепла печи, мы повышаем концентрацию тепла. Это ясно.

А вот как повысить концентрацию тепла без нагрева? Для этого служат тепловые трансформаторы, или тепловые «насосы», в которых тепло за счет затраты какого-либо вида энергии «перекачивается» с низкого температурного уровня на высокий. Самое поразительное в этом процессе — это получение в 4—6 раз большего количества тепла, чем затрачивается энергии (в электроплитке — один к одному).

Примером такого «насоса» может служить обычный домашний холодильник. В нем тепло из холодильного шкафа непрерывно «перекачивается» за счет затраты ра-

боты электромотора, приводящего компрессор, в комнату. Поэтому на «каверзный вопрос»: можно ли охладить помещение домашним холодильником — надо отвечать отрицательно и добавлять, что помещение еще нагреется.

Устройство такого трансформатора просто. Он представляет собой замкнутый контур, по которому циркулирует какое-либо низкокипящее вещество — чаще аммиак или фреон. В контур включены компрессор, расширитель (им может быть дроссель — трубка с сужением, при движении через которое газ сильно охлаждается) и два трубчатых теплообменника — испаритель и радиатор. Компрессор сжимает до порядка  $67^{\circ}\text{C}$  поступающий в него из испарителя пар температуры около  $2^{\circ}\text{C}$  и подает его в радиатор. Здесь тепло отдается в окружающую среду (например, в комнату), после чего холодоноситель с температурой примерно  $20^{\circ}\text{C}$  подается в расширитель — дроссель, где охлаждается до полужидкого состояния и поступает в испаритель, в котором испаряется за счет тепла, черпаемого или в холодильном шкафу (холодильник), или в речной воде, земле, окружающем воздухе (тепловой насос). Затем цикл повторяется. Если установить такой контур в квартире и сделать переключатель, то летом его можно использовать для охлаждения, а зимой для отопления, такое устройство и называют кондиционером воздуха. Максимальный коэффициент теплоиспользования теплового насоса — коэффициент Карно равен  $\xi_T \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{340}{340 - 275} = 5,2$ , реальный, конечно, ниже, но тоже достигает 3—4.

Такие установки удобно применять в местах, где нет органического топлива, но в избытке имеется дешевая электроэнергия, а также на транспорте — в поездах, на самолетах. Отапливая или охлаждая помещения, они не заражают окружающую среду вредными продуктами сгорания.

Кроме рассмотренного компрессионного теплового насоса, существуют абсорбционные, а также электрические и химические.

Принципиальный интерес представляют электрические. Они работают на основе эффекта Пельтье, который рассматривался выше: при пропускании электрического тока через замкнутую цепь из двух разнородных проводников один из спаев нагревается, а другой охлаждается. Значит, поместив нужный из них в комнате или шкафу, мы

получим желательный эффект — нагрев или охлаждение.

Изменение концентрации других видов энергии происходит еще проще. Так, механическая энергия трансформируется с помощью различных «передач» — зубчатых, ременных и др.

Исключительное место занимает на Земле трансформация, концентрация и аккумуляция энергии в процессе фотосинтеза. При этом с помощью хлорофилла — зеленого пигмента растений — концентрируется и накапливается низкопотенциальная световая энергия Солнца, которая превращается в химическую энергию растительной массы — органических веществ, синтезирующихся из углекислого газа и воды. На этом процессе «стоит весь свет».

При фотосинтезе увеличивается не только концентрация энергии, но и порядок в структуре вещества. Происходит переход от беспорядочного — устойчивого состояния, когда молекулы углекислого газа и воды свободно носятся в газе и жидкости, к плотному, упорядоченному и потому менее устойчивому состоянию крупных органических молекул.

А теперь для иллюстрации несколько цифр, которые, как принято считать, «говорят сами за себя». Процесс фотосинтеза называют «эндергоническим», поскольку при нем возрастает свободная энергия растений. Он дает около  $3 \cdot 10^{14}$  т органического углерода в год, химическая энергия которого в 100 раз превышает энергию добываемого за это же время угля и в 10 000 раз — энергию движения воды, используемую в мире.

Накопление энергии становится все более насущной потребностью всюду: для возбуждения термоядерной реакции, для экономии топлива при движении автомобиля с горы, на обычных электростанциях при малых нагрузках ночью, на ветряных и солнечных энергоустановках и так далее.

## «Уравнения движения энергии в телах»

«...Я в жизнь свою не читал такой галиматьи!» — так отозвался в письме петербургскому академику И. И. Сомову профессор Новороссийского университета К. И. Коростелев о докторской диссертации 28-летнего Николая Алексеевича Умова (1846—1915) «Уравнения движения



энергии в телах». Несмотря на это, после шестичасового диспута работа была все-таки защищена 27 сентября 1874 г. на Совете физико-математического факультета Московского университета... Правда, Коростелев перед этими словами сделал нечто вроде признания: «В рассуждении Умова я ничего не понимаю, я вижу в нем набор бессмысленных формул, ничего не доказывающий и ни к какому результату не приводящий...».

Даже такой крупный физик, как А. Г. Столетов, писал в отзыве, подписанном и профессором Слудским (оба официальные оппоненты): «Диссертация г. Умова «Уравнения движения энергии в телах» имеет характер чисто спекулятивный... Автор считает необходимым (гл. 1) ввести в теоретическую физику общие понятия о движении энергии.. в настоящее время, когда взгляд на теплоту как движение, окончательно утвердился, выражение «тепловой ток» стало условным и предполагает дальнейший механический анализ. Это-то условное и не вполне выясненное понятие г. Умов обобщает, применяя его ко всякой вообще физической энергии... Чтобы оправдать себя до некоторой степени, г. Умов указывает на сходство закона сохранения энергии с законом сохранения вещества (стр. 2) Но идея движения энергии этим сходством никак не поясняется и не оправдывается...» и т. д.

Потрясенный оказанным ему сопротивлением и непониманием работы, Умов больше никогда не возвращался к этой теме. И напрасно! Приведенные отзывы являются типичным порождением психологической инерции, свойственной даже очень творческим и талантливым ученым. Не случайно выдающийся физик Макс Планк с грустью писал в автобиографии: «Горьким испытанием в моей научной жизни являлось то, что лишь изредка мне удавалось, а точнее, никогда не удавалось получить всеобщее признание какого-нибудь нового утверждения, правильность которого я мог доказать совершенно строго, но только теоретически». И он пришел к выводу, что «обычно новые научные истины побеждают не так, что их противников убеждают и они признают свою неправоту, а большей частью так, что противники эти постепенно вымирают, а подрастающее поколение усваивает истину сразу».

В своей работе Умов перевел общие разговоры о близкодействии на язык конкретных понятий и зависимостей. Он сформулировал представления о локализации

энергии, ее движении в пространстве, скорости этого движения и другие, которые в то время казались столь необычными и даже «еретическими», что были с недоверием встречены и в России, и за границей.

В первом разделе работы Умов вводит основные понятия, включая понятие потока энергии, и получает на их основе математическое выражение закона сохранения энергии в дифференциальной и интегральной формах. Во втором и третьем разделах он исследует законы движения энергии в конкретных случаях: в упругих телах, в жидких средах и при переносе энергии между взаимодействующими телами, пространственно отделенными друг от друга. В каждом случае он получает математические выражения компонент вектора плотности энергии — уравнения движения энергии.

Умов еще переживал свою трудную защиту, а одержимый искатель нового югослав Никола Тесла из Хорватии уже пытался передавать электромагнитную энергию через воздушное пространство без проводов. Наконец, в 1899 г. в Колорадо (США) он построил большую радиостанцию мощностью 200 кВт и сумел передать энергию на 1000 км. Но только на расстоянии 25 км ему удалось обеспечить ею свечение электролампочек и работу небольших электромоторов. Так что идея переноса энергии в пространстве, вопреки утверждению Столетова, уже «носилась в воздухе». Не случайно и то, что через 11 лет после диссертации Умова работу о переносе энергии в электромагнитном поле опубликовал англичанин Джон Пойнтинг, после чего весь круг вопросов, связанный с переносом энергии, стали несправедливо приписывать ему и даже вектор плотности потока энергии, введенный Умовым, называли «вектором Пойнтинга» — сейчас его называют вектором Умова — Пойнтинга.

Такова теория, а как обстоит дело на практике, в жизни?

Энергия вещества переносится с веществом. топливом, сжатой пружиной или сжатым газом, передвижением по канату груза или передачей жидкости на одном уровне от поверхности земли, конденсаторами, индуктивностями, инерционно-маховыми устройствами, расплавленными металлами высокой температуры, перегретыми жидкостями и т. д. Энергию полей переносят потоки их квантов — пи-мезонов, фотонов, гравитонов..

Однако промышленность вынуждена при выборе

средств переноса энергии руководствоваться технико-экономическими соображениями. Так, еще недавно передача электроэнергии по воздушным линиям напряжением 400 кВ ограничивалась 1000—1200 км. Теперь напряжение достигло 500 и 750 кВ, строятся линии переменного тока до 1250 кВ (пока максимальное значение из-за все увеличивающихся потерь на коронный разряд, которые уже составляют 100 тыс. кВт·ч электроэнергии на 1 км линии), а постоянного — до 1500 кВ, с повышением в будущем до 2000—2500 кВ. Это позволит увеличить передаваемую мощность и дальность передач в несколько раз, что особенно важно для гидроэлектроэнергии. Кабельные линии обычно не строят длиннее 100—200 км.

При использовании тепловых электростанций бывает выгоднее транспортировать к ним уголь, нефть или газ, нежели от них электроэнергию на большие расстояния. Так, стоимость передачи 150 МВт на 400 км равна половине стоимости постройки тепловой электростанции той же мощности. Особенно выгодно строить станции у месторождений дешевого угля и вблизи с ними создавать крупные промышленные объекты и целые районы.

При решении этих вопросов учитывают также коэффициент использования различных видов энергии. Для электрической энергии он близок к 100%, для химической энергии угля: в промышленности — 55%, в быту — 40, на транспорте — 4%; для нефти первые две цифры выше примерно на 20% а третья (на транспорте) — в 5—6 раз; для солнечного излучения — 12% \* и т. д.

В резерве остаются экзотические методы передачи электромагнитной энергии по волноводам (внутри трубопроводов), беспроводной передачи индукцией наземному транспорту и т. д.

---

\* Но поскольку излучение Солнца даровое, КПД теряет свое обычное значение.

# ГРОЗНАЯ ТЕНЬ ЦАРИЦЫ

---

*Ах, весна, останься с нами,  
Погоди еще чуть-чуть!  
...Но она уже цветами  
Устилает лету путь...  
Я бы радовался сени  
Свежей зелени листвы, —  
Но ведь скоро ветр осенний  
Оборвет ее, увь...  
На ветвях плоды алеют ..*

*Руки к ним скорей тяни:  
Ведь едва-едва созреют —  
И уже гниют они.  
И смывает непогода  
Все, что так пленяло глаз,  
Да, два раза в те же воды  
Не войдет никто из нас!*

*И.-В. Гёте*

## Тени рождаются в полдень

Еще в 1885 г. профессор Боннского университета Р. Клаузиус в небольшой брошюре «О запасах энергии в природе и пользовании ими для нашего блага» говорил: «Из земли добывается угля столько, сколько может быть только добыто при помощи всех технических средств. Между тем число железных дорог, пароходов и заводов, поглощающих массу угля, возрастает с ужасающей быстротой, поэтому невольно появляется вопрос: что же предстоит человечеству в будущем, когда весь запас угля будет израсходован... Наступление подобного кризиса не относится к бесконечно далекому времени, а к такому, которое для жизни народов может оказаться совершенно ничтожным».

Вот так в пылающий полдень расцвета промышленности и науки XIX в. тень царицы мира начала свое шествие по Земле.

Но вернемся во времена установления закона сохранения энергии и проследим развитие событий, которые привели к четкому научному объяснению этого нового явления и возникновению характеризующего его понятия — энтропии.

Еще в 1849 г. В. Томсон, разыскав и обстоятельно изучив почти забытый мемуар С. Карно, выступил с «Докладом о теории Карно», где рассмотрел эту теорию в новом свете механической теории тепла. Отметив ошибочность предположения автора, что теплота в машинах перераспределяется, а не расходуется, он поддержал его

вывод об условии превращения тепла в работу — наличии минимум двух источников тепла разной температуры.

Не прошло и года после публикации «Доклада» Томсона, как с развитием идей Карно в статье «О движущей силе теплоты» выступил 28-летний доцент Артиллерийской школы, выпускник Берлинского университета Клаузиус.

Он тоже рассматривает работу С. Карно с позиций механической теории тепла, показывая, как и В. Томсон, что основные ее положения остаются верны. Но он предлагает сформулировать их в виде двух начал: первое — во всех случаях, когда теплота производит работу, потребляется количество тепла, пропорциональное работе; второе — теплота не может переходить сама собой от холодного тела к горячему. Второе начало, по мнению Клаузиуса, согласуется с принципом Карно: работа производится только при переходе тепла от горячего тела к холодному. Надо отдать должное такту и научной добросовестности Клаузиуса, стремившегося всеми силами не умалить заслуг Карно, — ведь и в первом постулате он перераспределение тепла (по Карно) исправил на потребление, хотя эти понятия имеют разный смысл.

В этой же статье с помощью второго начала Клаузиус доказал «теорему Карно» — независимость КПД его цикла от вида рабочего тела, а также впервые определил функцию Карно  $C = \frac{1}{T}$  и получил знаменитое выраже-

ние КПД идеального цикла Карно  $\eta_{\text{тк}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$

Так были заложены основы новой научной дисциплины — термодинамики, то есть теории «движущей силы огня», ибо «термос» по-гречески — «теплота», «огонь», а «динамикос» — «сила».

В том же году, не зная еще статьи Клаузиуса, опубликовал свой труд, посвященный термодинамике газов и водяного пара, 30-летний выпускник Эдинбургского университета Ранкин, ставший в 1855 г. профессором механики и инженерных наук университета в Глазго. Это он издал в 1857 г. книгу о паровых машинах, которая выдержала до 1897 г. 14 изданий! Как и Клаузиус, Ранкин доказывал, что в холодильник отводится лишь часть тепла, полученного от нагревателя, другая же, пропорциональная произведенной работе, «исчезает».

Не успела весть о работах Клаузиуса и Ранкина раз-

несть среди специалистов, как В. Томсон в 1851 г. опубликовал в «Эдинбургских трудах» подряд три доклада под общим заглавием «О динамической теории теплоты». В этом же году его, уже 5 лет возглавлявшего кафедру физики в университете в Глазго, избрали членом Королевского общества. Десяти лет он поступил в этот университет, по окончании проходил подготовку к званию профессора в Кембридже, практиковался в течение года в лаборатории Реньо в Париже. Вернувшись в альма матер, он проработал здесь до конца своих дней и в 1892 г. за огромные научные заслуги получил титул лорда Кельвина — по названию речушки, протекающей вблизи университета...

В своих докладах В. Томсон рассматривает степень превращаемости различных видов энергии в другие виды с количественной стороны и приходит к другой формулировке второго начала Карно—Клаузиуса: при посредстве неодоушевленного тела невозможно получить механического действия от какой-либо массы вещества путем охлаждения его ниже температуры самого холодного из окружающих тел.

Тогда же Клапейрон, продолжая держаться теории теплорода, сформулировал второй принцип так. «Каждый раз, когда два тела разной температуры приходят в соприкосновение и теплота перетекает непосредственно от одного тела к другому, имеет место потеря живых сил».

Подобные мысли высказывают и другие ученые.

В 1852 г. в работе «О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии» В. Томсон вводит важнейшее деление процессов: на обратимые и необратимые. Все реальные процессы необратимы. Он писал, что только системы тел, подверженные обратимым изменениям, обладают свойством восстанавливать «механическую энергию», то есть способность производить ту же самую механическую работу. При необратимых же процессах, таких, как трение, теплопроводность и т. п., система тел не может прийти в первоначальное состояние, поскольку их «механическая энергия», то есть способность совершать работу, непрерывно уменьшается и происходит «рассеяние механической энергии», превращающейся в теплоту.

Отсюда В. Томсон делает такой сакраментальный вывод: «В прошлом, отстоящем на конечный промежуток

времени от настоящего момента, Земля находилась и, спустя конечный промежуток времени, она снова очутится в состоянии, непригодном для обитания человека, если только в прошлом не были проведены и в будущем не будут предприняты такие меры, которые являются неосуществимыми при наличии законов, регулирующих известные процессы, протекающие ныне в материальном мире»

Это была первая формулировка идеи о «тепловой смерти» пока только Земли...

В 1854 г. в труде «Об измененной форме второго начала...» Клаузиус дает математические выражения двух начал для обратимых, то есть идеальных, не встречающихся в природе процессов, протекающих без рассеяния энергии и при равновесии системы, — бесконечно медленно. В наиболее точной дифференциальной форме эти выражения выглядят так. Первое начало:  $dQ = dU + dW$  — бесконечно малое количество тепла, подводимое к системе, например к газу над поршнем в автомобильном двигателе, должно быть равно бесконечно малому изменению внутренней энергии ее —  $dU$  и бесконечно малому количеству совершенной работы  $dW$ . Второе начало:  $\oint \frac{dQ}{T}$  — сумма всех «превращений»  $\frac{dQ}{T}$  при обратимых круговых замкнутых процессах — циклах работы тепловых машин — должна быть равна нулю. Так, цикл автомобильного двигателя состоит из четырех процессов: 1 — сжатия рабочего тела — газа в цилиндре, 2 — подвода тепла (горения), 3 — рабочего хода расширения, 4 — отвода тепла.

В том же году Ранкин, идущий «по пятам» за Клаузиусом, получает выражение второго начала в несколько иной форме и устанавливает, что величина  $\frac{dQ}{T}$ , как и энергия, является «функцией состояния системы». Последнее означает, что ее изменение в процессе не зависит от характера процесса, а определяется только значениями  $\frac{dQ}{T}$  в начале и конце его. Эту величину Ранкин называет «термодинамической функцией».

После этого на «тепловом фронте» установилось некоторое затишье. Клаузиус 8 лет не решался опубликовать свои результаты по распространению второго начала на реальные — необратимые процессы, поскольку счи-

тал, что эти результаты приводят к заключению, которое «сильно уклоняется от воззрений, распространенных до настоящего времени...». Публикации состоялись в период с 1862 по 1865 г. Выражение второго начала получило вид  $dS \geq \frac{dQ}{T}$  (знак равенства — для обра-

тимых процессов, больше — для необратимых), а величина  $S$  была названа энтропией. Увеличение  $S$  в необратимых процессах характеризует ту часть энергии тел, которая не может быть превращена в полезную работу, а рассеивается в окружающей среде в виде тепла. «Слово энтропия, — писал Клаузиус, — я употребил для большего сходства со словом энергия, так как обе соответствующие этим названиям величины настолько близки по физическому смыслу, что требовали, по моему мнению, однородных обозначений».

Распространяя свои выводы на Вселенную, Клаузиус заявил, что «можно оба главных положения механической теории теплоты сформулировать как основные законы вселенной...

1) Энергия мира постоянна.

2) Энтропия мира стремится к максимуму».

Если выступления В. Томсона вызвали какое-то волнение, то теперь поднялся шквал протестов. Новый закон в таком расширенном толковании понравился лишь теологам, поскольку с его помощью «научно» обосновывались начало и конец света и существование бога-творца. Остальные или отвергали закон вообще, или возражали против распространения его действия на Вселенную, или считали его лишним и пытались разработать термодинамику без него, но с энтропией! Последнее удалось сделать российскому физiku Н. Н. Шиллеру, а позже немцу (греческого происхождения) К. Каратеодори и Т. А. Афанасьевой-Эренфест.

Новизну открытого закона отрицали на том основании, что тепловые явления якобы аналогичны механическим и должны подчиняться законам механики. Так, в 1866 г. Г. Цейнер, доказывая это положение, сравнил выражения механической работы по подъему тела весом

$P = \frac{mgh}{h} = mg$  на высоту  $h$  и «тепловой ра-

боты» по «подъему тепла тела» на величину температуры  $T$  и предложил отношение  $S = \frac{Q}{T} = \frac{mcT}{T} = mc$  (где  $c$  —



теплоемкость) называть «тепловым весом». Через 20 лет М. Планк указал на недопустимость отождествления этих процессов «потому, что они принципиально отличаются друг от друга в такой же степени, в какой различаются между собой первое и второе начала теории теплоты», а также все виды энергии и теплота, склонная к рассеянию и являющаяся причиной необратимости процессов.

Второй закон термодинамики и энтропия позволили лучше оценить энергетические возможности систем. Еще Гиббс и Гельмгольц доказали, что в данной среде, например в земной атмосфере, можно использовать только часть полной энергии системы  $\Delta U$ , например химического топлива. Эта часть была названа «свободной энергией» —  $\Delta F$ . Другая же часть энергии топлива — «связанная», равная произведению температуры окружающей среды  $T_0$  на изменение энтропии в обратимых процессах (например, в результате изменения числа молей газообразных веществ, участвующих в реакции) —  $\Delta S_0$ , то есть —  $Q_0 = T_0 \Delta S_0$ , — переходит в тепло и рассеивается в окружающей среде. Таким образом, максимальная работа, которую способна совершить система, не может превысить величины  $W_{\max} = \Delta U - T_0 \Delta S_0 = \Delta F$ . Поскольку же в реальных процессах всегда имеют место потери вследствие необратимости —  $T_0 \Delta S_{\text{н}}$ , то действительная работа всегда меньше максимальной  $W_{\text{д}} = \Delta U - T_0 (\Delta S_0 + \Delta S_{\text{н}}) < W_{\max}$ .

Величину свободной энергии определяют, принимая равенство температур системы  $T$  и окружающей среды  $T_0$ , то есть изотермичность процесса освобождения энергии. Поэтому, как и энергия, свободная энергия является функцией состояния системы: ее изменение в процессе не зависит от характера процесса, а определяется разностью между конечным и начальным значениями.

Однако в реальных условиях температуры системы и среды чаще бывают разными, например, в камере сгорания ДВС — порядка 3000 К, а в атмосфере — 300 К, причем разность их характеризует запас тепловой энергии системы. Поэтому в конце XIX в. Ж. Гюи и А. Стодола ввели понятие технической работоспособности — максимальной технической работы, которую может совершить система при переходе из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой, включающего и выравнивание температур. В 1956 г. Р. Рант по тем же со-

ображениям, что и Клаузиус, вводя энтропию, дал этой величине название «эксергия», часть же, непревращающаяся в работу, была названа «анергия». Закон Гюи — Стодола гласит: потеря эксергии из-за необратимости процессов равна произведению температуры окружающей среды на сумму приращений энтропии всех тел, участвующих в исследуемых процессах. Таким образом, эксергия зависит от температуры окружающей среды, а потому, строго говоря, не является функцией состояния системы, хотя условно ее рассматривают как таковую.

Энергия системы складывается из эксергии и анергии. В соответствии с первым законом термодинамики сумма эксергии и анергии во всех процессах остается постоянной. Из второго же начала термодинамики следует, что во всех необратимых процессах эксергия уменьшается, превращаясь в анергию, и остается постоянной только в обратимых процессах.

Следовательно, в отличие от энергии, которая, строго говоря, не может «расходиться» и «теряться» по закону сохранения ее, эксергия, характеризуя запас работоспособности системы, по мере совершения последней работы или при протекании других необратимых процессов, всегда уменьшается, расходуется. Поэтому под эксергетическим КПД двигателей понимают отношение использованной эксергии к подведенной, а теплообменных аппаратов — отношение эксергии теплоносителя на выходе к его эксергии на входе. Так, например, если энергетический КПД ДВС равен примерно 35—40%, то эксергетический — 80—90% и, наоборот, энергетический КПД парового котла составляет 92—96%, а эксергетический — 50—60%.

Эти достоинства эксергии сделали ее чрезвычайно модной в последние годы. Однако не все отдают себе отчет в том, что эксергетический метод расчета позволяет учесть потери лишь из-за необратимости процессов, в чем не всегда есть необходимость. Так, совершенно разные по конфигурации и эффективности теоретические, обратимые циклы тепловых машин и идеальный цикл Карно имеют одинаковый эксергетический КПД, равный 100%. При использовании же тепла для технологических нужд (выпарки, плавки металла и т. д.) запас работоспособности теплоносителя — эксергия не имеет прямого значения.

С охлаждением газа до жидкого, а затем твердого состояния порядок в расположении и движении частиц растёт — энтропия уменьшается. На этом основании В. Нернст в 1906 г. сформулировал «тепловую теорему» — третий закон термодинамики: с приближением  $T$  к  $0\text{ К}$ , который практически недостижим  $S$  тоже стремится к нулю.

## Энтропия, вероятность и Вселенная...

Мудрую мысль: «Нет ничего практичнее хорошей теории», неоднократно оспаривавшуюся потом невеждами, впервые высказал немецкий ученый Людвиг Больцман. И не случайно. Это он перекинул мост между вторым началом и теорией вероятности, связав энтропию с понятием вероятности состояния статистических систем, что имело большое практическое значение. События развивались так.

С установлением закона возрастания энтропии Вселенной воспряла духом церковь: раз будет энтропийный конец света, значит, было и его начало, следовательно, был, есть и будет творец — бог!

Из положения Клаузиуса, писал Энгельс, следует, что «энергия теряется, если не количественно, то качественно. Энтропия не может уничтожаться естественным путем, но зато может создаваться. Мировые часы сначала должны быть заведены, затем они идут, пока не придут в состояние равновесия, и только чудо может вывести их из этого состояния и снова пустить в ход. Потраченная на завод часов энергия исчезла, по крайней мере в качественном отношении, и может быть восстановлена только путем толчка извне. Значит толчок извне был необходим также и вначале; значит, количество имеющегося во Вселенной движения, или энергии, не всегда одинаково; значит, энергия должна быть сотворена; значит, она сотворима; значит, она уничтожима. *Ad absurdum!* (До абсурда!)».

Иными словами, попытки распространить второй закон на всю Вселенную приводят к противоречию с принципом вечности движения во Вселенной, выражающимся в законе сохранения и превращения энергии. Хорошо сказал Н. Г. Чернышевский: «Формула, предвещающая конец движению во вселенной, противоречит факту существования движения в наше время. Эта формула

фальшивая.. Из того факта, что конец еще не настал, очевидно, что ход процесса прерывался бесчисленное множество раз действием процесса, имеющего обратное направление, превращающего теплоту в движение... В целом это безначальная смена колебаний, не могущая иметь конца».

Как бы ни были убедительны доводы философов-материалистов, физики, в большинстве своем сами стихийные материалисты, нуждались в веском слове физиков же... Но те молчали, не желая вступать в конфликт с могущественными кругами клерикалов и философов-идеалистов, грозивший немалыми неприятностями...

Оживление началось с разработки молекулярно-кинетической теории газов. Одним из первых на эту тему выступил еще в 1845 г. англичанин Ватерстон. Он представил в редакцию трудов Королевского общества статью «О физической среде, состоящей из свободных и упругих молекул, находящихся в движении». Однако в публикации ему отказали, и работа пролежала в архиве 47 лет! Ее нашел случайно Рэлей и опубликовал. Оказалось, что ряд результатов, полученных Ватерстоном, за это время был открыт заново... Таковы превратности научной деятельности!

В 1850—1851 гг. выступили со своими трудами Ранкин и Джоуль. Но только в 1856 г. А. Крёниг издал серьезную работу, в которой впервые использовал понятие хаотичности движения молекул и впервые применил для исследования физических явлений теорию вероятностей.

Это заставило Клаузиуса опубликовать результаты своих исследований, которые были у него готовы еще в 1850 г., но он их все «вынашивал». Он предложил модель идеального газа, у которого размер частиц был равен нулю, а силы взаимодействия между ними отсутствовали. Он ввел также понятие средней длины свободного пробега молекул (от столкновения до столкновения) и вывел формулу для ее определения. Однако Клаузиус исходил из допущения, что молекулы движутся с одинаковой средней скоростью, что искажало реальную картину.

И уже в 1859 г. Максвеллу удастся теоретически на основе теории вероятностей определить функцию — закон действительного распределения числа газовых молекул по скоростям и дать более точное выражение длины свободного пробега молекул. Эта функция изображается кривой, похожей на параболу. Вершине ее соответствует

наивероятнейшая скорость, которой обладает наибольшее число молекул. В 1920 г. этот закон Максвелла был подтвержден экспериментально немецким физиком Штерном.

В 1866 г. Максвелл уточнил доказательство своего закона. Эти работы подводили к мысли об увлекательной возможности получить на основе самых общих представлений о движении частиц выражения для вычисления параметров состояния макросистем — давления, температуры и т. д.

И в исследования включается Больцман. Уже в 21 год он пишет свою первую работу на эту тему под названием «Механический смысл второго начала». Однако она носила еще чисто механистический характер. В 1868—1871 гг. Больцман распространяет доказательство Максвелла на газы, находящиеся во внешнем силовом поле, например гравитационном поле Земли, когда на каждую молекулу действует еще сила тяжести. С учетом этого Больцман устанавливает новый закон — закон распределения числа молекул по энергиям, выведя выражение соответствующей функции. Последнее ясно показывает противоположное действие сил гравитации, стремящихся удержать молекулы на дне сосуда, и сил тепловых столкновений молекул, поднимающих их вверх.

Молекулярно-кинетическая теория выявила физический смысл абсолютной температуры, доказав, что ее величина пропорциональна средней энергии теплового движения молекул. Отсюда следовало, что с приближением температуры к абсолютному нулю это движение должно замедляться и при  $T=0$  совсем прекратиться. Кроме того, было установлено, что на каждую степень свободы движения одноатомной молекулы (имеющей их три — по числу координатных осей) приходится величина энергии, равная  $1/2 \kappa T$ , где  $\kappa$  — постоянная Больцмана, выражающая соотношение между энергией и температурой ( $\theta = \kappa T$ ).

В 1873 г. первую теорию реальных газов, учитывающую размер частиц и силы взаимодействия между ними, дал голландец Ван-дер-Ваальс. С ее помощью определили размер молекул, а затем «число Лошмидта» — число молекул в единице объема при нормальных условиях (температура  $0^\circ\text{C}$ , давление 1 атмосфера) и «число Авогадро» — число молекул в одном грамм-моле.

В 1872 г. Больцман публикует свое основное сочине-

ние «Дальнейшее исследование теплового равновесия газовых молекул». Здесь он формулирует и доказывает знаменитую *H-теорему* (величина  $H$  со знаком минус есть некоторый аналог энтропии), интегральное выражение которой выбито на его надгробном камне, подобно изображению шара, вписанного в цилиндр, на могиле Архимеда. Согласно этой теореме изолированный газ, первоначально находящийся в любом неравновесном состоянии, с течением времени переходит самопроизвольно в равновесное состояние — наивероятнейшее. При этом существует функция  $H$  параметров газа, которая в процессе любых изменений его состояния с максимальной вероятностью уменьшается, вероятность же ее возрастания ничтожна. С помощью этой теоремы он доказывает, что только его закон распределения удовлетворяет условиям статистического равновесия.

В этой же работе Больцман делает расчет вероятностей различных состояний системы и доказывает, что наиболее вероятным состоянием является то, при котором энтропия ее достигает максимума; доказывает, что при всяком взаимодействии реальных газов (диффузия, теплопроводность и т. д.) отдельные молекулы вступают во взаимодействие в согласии с законами теории вероятностей... и заключает: *«Второе начало оказывается, таким образом, вероятностным законом»*. Отсюда следует, что второе начало, будучи статистическим законом, неприменимо к Вселенной, тела которой движутся не хаотично, а каждое по своим динамическим законам; а кроме того, что второе начало может нарушаться тем чаще, чем меньше частиц в системе и чем меньше их скорости.

Наконец, в 1886 г. в одном из докладов Больцман говорит: «...каждому распределению энергии соответствует количественно определяемая вероятность. Так как она в практически важнейших случаях совпадает с величиной, названной Клаузиусом энтропией, то мы считаем нужным обозначить ее тем же названием». Так энтропия была окончательно связана с вероятностью.

Сначала труды Л. Больцмана обходили молчанием, но в 1894—1895 гг. на страницах английского журнала «Природа» вокруг них развернулась ожесточенная полемика. Главными нападающими были такие известные физики, как Лошмидт, Цермело, Мах, Оствальд. Первые двое искали изъяны в ходе доказательства Больцма-

ном *H*-теоремы, утверждая, что в существующем виде на ее основе можно ожидать и возрастания *H* и уменьшения ее. Так, Лошмидт говорил, что если мысленно изменить направление скоростей атомов во всей Вселенной, то все процессы в мире должны пойти обратным порядком. Мах и особенно Оствальд яростно выступали как противники всякой атомистики. Крупнейший ученый того времени Милликен ядовито заметил по этому поводу, что наступила реакция на успехи кинетической теории и что «предводимое таким бараном, все стадо овец начало прыгать обратно через забор» (!). Больцман искусно защищался, но он был тогда одинок.

Даже Планк — активный противник Маха и Оствальда — не разделял и взглядов Больцмана! «Это имело свою основу, — говорил он позже, — так как я в то время приписывал принципу возрастания энтропии такое же абсолютное значение, как и закону сохранения энергии». И это тот самый Планк, который с горечью писал в своей научной автобиографии, что никогда в жизни ему не удавалось доказать что-либо новое, как бы строго ни было это доказательство! Только в 1900 году он изменил свои взгляды и присоединился к теории Больцмана. Тогда он и придал статистическому выражению энтропии известную теперь форму  $S = k \ln W$ , где  $k$  — постоянная Больцмана, а  $W$  — термодинамическая вероятность. (число микросостояний — расположение частиц, их скорости, энергия, — с помощью которых может быть осуществлено данное макросостояние системы, характеризующееся давлением, температурой и т. д.).

Гонимый недружелюбием коллег, непониманием своих идей, Больцман переезжает с места на место, приобретая репутацию неуживчивого и беспокойного человека. В 1869 г. он занял кафедру физики в Граце, но уже через три года оставил ее и начал кочевать из университета в университет — Вена, опять Грац, Мюнхен, снова Вена, Лейпциг и опять Вена, из которой он решил больше уже никуда не уезжать. И сдержал слово — 16 сентября 1906 г., 62 лет, еще полный творческой энергии, на курорте в Дуине близ Аббации, где он часто отдыхал с семьей, Больцман покончил жизнь самоубийством.. Полное признание его идеи получили только примерно к 1910 г., после того как А. Эйнштейн в 1905 г. получил количественные зависимости на основе кинетической теории, оценивающие броуновское движение. Эти зависи-

мости были подтверждены Ж. Перреном экспериментами, начатыми им в 1906 г.

Независимо от Больцмана и Максвелла развернутую и законченную систему статистической механики газов — статистической термодинамики создал скромный преподаватель Йельского университета в США Джозайя Уиллард Гиббс. По цельности, глубине и охвату она превосходила теорию Больцмана, но утверждала те же идеи.

Гиббс публиковал статьи в трудах своего колледжа, и о них, как и о Гиббсе, мало кто знал. Но даже когда имя его стало известно в Европе, в Йеле он, как и другие «пророки в своем отечестве», был признан в последнюю очередь. Говорят, что президент этого университета, решив создать физический факультет, обратился за помощью к европейским ученым, они же отослали его к Гиббсу, с которым тот не был даже знаком.

Вся его бедная событиями жизнь прошла в стенах Йеля, где он и умер в 1903 г., не добившись признания даже среди студентов и коллег. За год до смерти вышла отдельной книжкой его работа, но она не повлияла на ход борьбы, разыгравшейся вокруг теории Больцмана, — из-за сложности математического аппарата ее мало кто понял. Когда же книга была издана к 100-летию со дня рождения Гиббса, ее пришлось сопроводить комментариями в двух томах на 1700 страницах! Только в наше время этот труд начинает находить своего читателя. «Уиллард Гиббс, один из величайших американских ученых, фактически создал новую научную дисциплину, лежащую в промежуточной области между физикой и математикой», — сказал о нем Норберт Винер, его соотечественник и «отец кибернетики».

Так была разгромлена теория тепловой смерти Вселенной. Оказалось, что в отличие от закона сохранения энергии — всеобщего закона природы — второй закон, как статистический, применим только к системам, состоящим из большого числа хаотически движущихся частиц и указываемое им направление протекания процессов является лишь наиболее вероятным. Маловероятные противоположные процессы, называемые флуктуациями, не только не противоречат закону, но, наоборот, вытекают из него. К отдельным же телам, частицам, планетам и системам этот закон не применим. Там царят свои, особые для каждого случая динамические законы.



## Демон вне закона?

Борьба против статистического толкования второго начала термодинамики была долгой. Ее отголоски дошли до наших дней. Еще совсем недавно физик с мировым именем академик А. Ф. Иоффе гозорил в беседе с П. К. Ощепковым, ищущим пути концентрации энергии рассеянного тепла: «...в бога я не верю, я не приписываю ему сотворение мира. Я не знаю, кто создал мир, но я твердо знаю, что он идет к постепенному выравниванию всех и всяких потенциалов, к состоянию наибольшей вероятности. Если и есть в мире где-то процессы созидания, то их можно выразить столь малой вероятностью, что она будет выражаться дробью, не более чем одна десятая и в знаменателе еще восемьдесят четыре нуля,— энтропию нельзя перешагнуть».

Однако теплый, солнечный, в зелени растений, синеве вод и неба, трепещущий радостью бытия земной мир существует, непрерывно потребляя когда-то, кем-то и как-то накопленную энергию — эликсир движения и жизни! Значит, существует какой-то естественный механизм, благодаря которому и вопреки второму закону энергия может концентрироваться, а энтропия уменьшаться! Значит, когда-то этот механизм будет открыт, а пока его можно попытаться представить «умозрительно», как древние греки представляли себе, например, атомы...

И первую такую попытку сделал Максвелл в 1871 г., приписавший функции подобного механизма некоему фантастическому существу, названному позже «демоном Максвелла». Это существо обладает столь изощренными способностями, что может следить за каждой молекулой во всех ее движениях и знать ее скорость. Тогда, посадив демона у дверцы в перегородке, разделяющей сосуд на две части, мы можем заставить его сортировать молекулы по скоростям открытием дверцы только перед быстрыми или только перед медленными молекулами. В результате в одной части сосуда температура и давление окажутся выше, чем в другой, то есть, вопреки второму закону, без затраты работы мы получим запас энергии.

Прошло более 100 лет, а демон все живет, хотя его не раз уничтожали и изгоняли...

Первое время от него пренебрежительно отмахива-

лись. Клаузиус заявил, что второй закон не распространяется на демонов, а регулирует лишь самопроизвольные тепловые процессы. Больцман отверг возможность существования демона на том основании, что «если бы все температурные разности нивелировались, то не могло бы возникнуть и никакое разумное существо». Подобной же точки зрения придерживался Эйнштейн...

Однако интерес к демону все возрастал. Пришлось познакомиться с ним повнимательнее. И оказалось, что «не так страшен черт, как его малюют». Сразу же было отмечено, что демон, открывая и закрывая дверку, совершает работу, за счет которой и накапливается энергия. А кроме того, как справедливо заметил в 1912 г. крупный польский физик М. Смолуховский, случайное тепловое движение молекул должно нарушать управляемое демоном закрывание и открывание дверцы, поскольку она тоже состоит из непрерывно хаотично движущихся молекул. Из молекул же состоит и Его величество Демон! Следовательно, открывание и закрывание дверцы может быть только случайным и не подвластным воле демона. И второй закон остается незыблемым.

Тем не менее изощренный ум сторонников демона находил возражения и прогив этих, казалось бы, убедительных доводов: работа, затрачиваемая демоном, могла быть меньше получающегося количества энергии, а тепловое движение молекул дверки лишь частично нарушать направленный отбор молекул.

Тогда против демона выступил — в 1950—1960 гг. — один из творцов теории информации, крупный французский физик Л. Бриллюэн, обнаруживший в его работе еще один изъян: невозможность видеть отдельные атомы. Дело в том, что за 30 лет до создания квантовой теории Планка (1900) и термодинамики излучения Максвелл не подумал о включении излучения в систему, находящуюся в равновесии при температуре  $T$ . Но демон-то в темноте не может видеть молекулы и управлять дверцей! Конечно, если он демон и достаточно ловок, то попытается использовать другие средства обнаружения — будет измерять силы Ван-дер Ваальса, силы, обусловленные электрическими диполями или магнитными моментами, и т. д. Но все эти силы действуют на малых расстояниях, и демон обнаружит молекулу слишком поздно, чтобы можно было открыть дверцу, не совершая никакой работы. А кроме того, те силы, которые помо-

гают демону обнаруживать молекулы, будут действовать и на дверцу, и для преодоления их придется затрачивать работу. У демона остается единственный выход—обзавестись ручным фонариком с батареей и электролампочкой.

Излучая свет, лампочка отдает энергию и теряет энтропию. Энергия поглощается газом, температура которого ниже температуры нити электролампочки, и поэтому энтропия газа возрастает на большую величину, чем ее уменьшение у лампочки. В целом энтропия такой системы будет увеличиваться. У демона остается только один способ спастись—обнаруживать молекулы хотя бы по одному кванту света, излучаемому ими, который будет поглощаться в глазу демона. В результате тоже будет происходить возрастание энтропии, за счет чего демон и получает информацию о молекуле (об этом следующий рассказ). Но эта информация используется им для еще большего уменьшения энтропии системы. что он делает, открывая дверцу перед быстрой молекулой или не открывая ее перед медленной. Однако строгие расчеты показывают, что и в этом случае энтропия всей системы будет возрастать в полном согласии со вторым законом: оказывается, поглощение кванта света приводит к большему увеличению энтропии, чем ее уменьшение, связанное с внесением порядка в систему. В результате температура обязательно выравнивается и демон прекращает свое существование...

Несмотря на мощь приведенной выше аргументации, можно, вероятно, найти новые возражения против нее: например, придумать демона в форме пружинки с клапаном, открывающимся под действием быстрых молекул и закрывающимся после их «пролета».

Между тем возможен другой подход к решению этой задачи. Почему бы не согласиться с Максвеллом, что демон действительно способен без затраты энергии рассортировать молекулы, создав разность температур и уменьшив энтропию массы газа? Ведь это отнюдь не означает, что второй закон будет нарушен! Он же имеет статистический характер и справедлив лишь в макроскопических масштабах, не распространяя своего действия на молекулярный уровень. Ведь, если рассматривать только две молекулы, то они неизбежно в 50% случаев окажутся в одной половине сосуда. Если же их будет много, то вероятность подобного случая не запрещается вторым

законом, а лишь сводится им к минимальному значению.

## Сколько энтропии в научной статье?

Все зависит от соотношения в ней новых данных — информации и слов.

Прошло время, утихли залпы полемических сражений, похоронили убитых физически, отреклись от убитых морально, осмотрелись и увидели, что второй закон и энтропия зажили самостоятельной жизнью и стали проникать всюду. Так, в 1929 г. Сциллард и более точно и широко в 1949 г. Шеннон открыли соотношение между энтропией и информацией.

Представим себе газ при температуре, приближающейся к абсолютному нулю. Он превратился в твердое вещество, все движения молекул прекратились, и можно определить положение каждой из них. Следовательно, в этом состоянии мы имеем о газе максимальную информацию. Энтропия же при этой температуре, как мы помним, приближается к нулю. Получается простая связь — информация достигает максимума, когда энтропия имеет минимум. Наоборот, при очень высокой температуре положение хаотично движущихся молекул совершенно неопределенно, и о них нельзя получить никакой информации, кроме того, что они движутся. Следовательно, в этом случае информация близка к нулю, а энтропия — к максимуму. Таким образом, энтропия  $S$  оказывается величиной, изменяющейся противоположно информации  $I$ , но, как установлено в теории информации, по тому же закону  $I = k \ln W = -S$  (где  $W$  — величина, аналогичная термодинамической вероятности). Следовательно, информация эквивалентна отрицательной энтропии, или, как предложил ее называть Бриллюэн, «негэнтропии».

Из сказанного ясно, что если рост энтропии есть мера трудности возврата системы в первоначальное состояние, то рост информации есть мера трудности познания микросостояния системы — расположения, скоростей, энергии ее частиц. Значит из-за незнания микросостояния системы надо затратить много энергии, или, точнее, негэнтропии, для возвращения ее в более упорядоченное состояние.

Заметим, что информацию, как и негэнтропию, относят к исследуемой системе, считая ее функцией состояния последней, а не к интеллекту, памяти человека, как мы привыкли думать.

Связь между термодинамикой и теорией информации определяется еще и тем, что производство, преобразование и получение информации требуют затраты энергии. Чтобы познать что-то в любой форме — произнести фразу, записать ее на бумаге и т. д., — надо затратить энергию, но неизвестно, какова количественная связь между затраченной энергией и полученной информацией.

Пусть тепловая энергия выражается как обычно  $Q = T\Delta S$ , а затраченная работа —  $W = T\Delta I (= -T\Delta S)$ . Здесь температура означает «тепловой шум», то есть помехи передаче информации. При высокой температуре шум повышается и затрата работы на его преодоление увеличивается. Это добавляет новую трудность: чтобы найти изменение негэнтропии, надо измерить не только количество энергии (работы), но и абсолютную температуру, соответствующую энергии, затрачиваемой автором текста, докладчиком и т. д., или тепловой шум, нарушающий передачу.

Эти трудности связаны с тем, что метод, основанный на внешнем сходстве между выражением количества информации и формулой энтропии Больцмана, распространяется на области, на которые последняя при ее выводе не рассчитывалась. Поэтому теоретикам легче установить связь между энтропией и информацией, чем показать ее практически на численных примерах.

Тем не менее всего лет 15—20 назад эта связь была развита до такой степени, что уже на основе теории информации (а не наоборот!) разработана сложная система универсальной — обратимых и необратимых процессов — термодинамики, вытекающая из единой группы исходных уравнений (автор ее американец М. Трайбус). Заметим, что до этого существовали отдельно термодинамика обратимых, то есть идеальных, процессов — классическая, и термодинамика необратимых — реальных процессов. В первой все реальные процессы рассматриваются и просчитываются как идеальные, обратимые, а для учета их действительной необратимости конечные результаты умножаются на соответствующие поправочные опытные коэффициенты. Во второй в исходные зависимости включаются показатели — скорость возраста-

ния энтропии и другие, учитывающие и позволяющие подсчитать величину необратимости; однако и здесь приходится пользоваться опытными коэффициентами, вводя их, правда, не в конце, а сразу, в самом начале расчетов, — коэффициентами теплопроводности, излучения и т. д.

Так сколько же энтропии в научной статье? Если при небольшом числе страниц в ней много новых сведений, энтропия ее невелика, в противоположном случае она растет с увеличением числа страниц.

## Любовь, кибернетика и энтропия

В одной повести под названием «Любовь и кибернетика» уставшие женщины мечтают о кибернетическом кавалере, говорящем красивые слова «перенаселена страна одиночества», «зажарим эту покойницу» (про курицу), а живые студенты читают стихи \*:

...Трава однодневных радостей  
Спрятала скрипки кузнечиков.  
В теплые норы скрылось сомнение.  
На месте былых удач выросло дерево.  
А тишина, пожелтев, обратилась в коня..,

которым не уступают кибернетические, написанные машиной «РКА-301» и опубликованные в другой книге:

Все девушки рыдают, словно тихие снега,  
У ложа эта девушка не будет плакать.  
Дожди суть глупые любовники, но я не робок.  
Запнуться, простонать, идти, та девушка плыла  
Под парусом и в конторе.  
Не показные, свежие, глухие поцелуи  
Не слишком сыры.  
Та девушка немая и нежная.

Нам осталось сделать немного — связать энтропию с кибернетикой, а там и любовь можно будет взвесить на весах энтропии, как состояние весьма неравновесное...

Но сначала о кибернетике. В 1948 г. научный мир потрясла уже, казалось бы, невозможная в наше время сенсация: «в один день» родилась «кибернетика» — целая новая обобщенная наука об управлении, связи и переработке информации. «Запретить! Упразднить! — на разные голоса возмущались ученые оппоненты всяких

---

\* Георгия Балла.

мастей. — Это — лженаука!» Но прошли годы, и пришлось наукам потесниться на Олимпе...

В этот день вышла в свет книга крупного американского математика, в детстве «вундеркинда», Норберта Винера «Кибернетика».

Конечно, возникновение кибернетики (как в свое время системы Коперника, механики Ньютона, закона сохранения энергии Майера, Джоуля, Гельмгольца и т. п.) стало возможным в результате ряда технических и естественнонаучных достижений в области теории автоматического регулирования, радиоэлектроники, теории вероятностей, математической логики и теории алгоритмов, физиологии нервной деятельности. Н. Винер оказался достаточно подготовленным к тому, чтобы все это обобщить в систематизированной форме с совершенно новыми выводами.

Эта дисциплина сформировалась в голове Винера сначала в виде идеи, потом — разветвленной системы и, наконец, как итог многолетних математических и физических размышлений и исследований, включавших и материал статистических трудов Д. У. Гиббса. Книга была еще «в чернильнице», а Винер уже заключил договор с издателем, которого восхитили фантастические идеи ученого о связи, заводах-автоматах и нервной системе...

Писался труд в Мексике, когда Винер гостил там у физиолога Артуро Розенблюга, которого он считал «созобретателем» книги, поскольку многие вопросы предварительно обсуждались между ними. Название получилось не сразу, хотелось, чтобы оно выражало суть книги — «управление и связь в животном и машине». В результате возникло это греческое слово, переводимое как «рулевой», «штурман». Таким образом по происхождению кибернетика и энтропия уже могут считаться сестрами.

Итак, кибернетика — наука об управлении и связи. Содержание ее — общая теория управления, не связанная ни с одной конкретной областью и в то же время применимая к любой из них. Этим она похожа на термодинамику. Управление, как и работа тепловой машины, представляет собой замкнутый процесс, то есть цикл, и осуществляется по замкнутому контуру, состоящему из органа управления, объекта управления, каналов прямой связи, каналов обратной связи, по которым циркулирует информация. Управляющие воздействия — команды яв-

ляются информацией о том, что надлежит сделать объекту управления. Это — командная информация. Сведения о состоянии объекта и другие данные, поступающие от него к органу управления, называют информацией состояния. Следовательно, управление — это процесс сбора, обработки, преобразования и передачи информации для осуществления целенаправленных действий. Любую неживую или живую систему, осуществляющую эти процессы, и называют кибернетической машиной.

В начальном состоянии такая машина полна неопределенности, и энтропия ее имеет максимальное значение. Как только машина начинает работать, в нее поступает информация, которая уничтожает неопределенность, уменьшает разнообразие, делает поведение системы предсказуемым, — энтропия уменьшается. Уменьшение разнообразия является одним из главных методов регулирования.

В кибернетике используется особое понятие «энтропия выбора», позволяющее сравнивать кибернетические машины в отношении эффективности, с которой они выполняют свои функции «быть машинами для достижения той или иной цели». Выгоднее те машины, которые используют для этого минимум информации. Тогда все остальные страдают избыточностью информации. Так, мужчина, выбирающий жену по пяти параметрам, страдает избыточностью информации по сравнению с тем, который выбирает по одному... если, конечно, этот один параметр достаточен для решения задачи.

В последнее время показано, что помимо информационно-кибернетического подхода к управлению эффективен и энергетический, основанный на изучении потоков и превращений энергии в системах управления.

## Дайте тарелку негэнтропии!

Н. Винер говорил, что ферменты, возможно, являются метастабильными демонами Максвелла, уменьшающими энтропию. А искушенный в информатике и термодинамике Бриллюэн удивляется странному совпадению, что жизнь и второй принцип термодинамики представляют собой два наиболее важных примера невозможности обратить течение времени. Это указывает на близкую связь двух проблем. Растение, животное или человек



есть изумительный пример химической системы в неустойчивом равновесии, они представляют собой чрезвычайно маловероятную структуру, обладающую очень низкой энтропией. Эта неустойчивость проявляется особенно ярко, когда наступает смерть. Второй принцип термодинамики есть смертный приговор; он грубо и безжалостно применяется в неживом мире, в мире, который уже заранее мертв. Жизнь на время отменяет этот приговор. Она использует то обстоятельство, что смертный приговор объявлен без указания срока исполнения.

На эти вопросы еще в 1943 г. попытался ответить крупный австрийский физик, автор основного уравнения квантовой механики Эрвин Шредингер. Его книжка «Что такое жизнь с точки зрения физики» сразу стала бестселлером, а некоторые поклонники пытались даже поставить ее на один уровень со статистической термодинамикой Гиббса и работами основателя научной генетики Грегора Менделя. В действительности Шредингер не «открыл Америки», подобные мысли встречались в печати и раньше, но громкое имя автора, сенсационное заглавие и тоска по свежей мысли, накопившаяся за время войны, сделали книжку необычайно популярной.

Между тем еще в 1935 г. советский ученый Э. С. Бауэр в своей «Теоретической биологии» высказал ряд соображений, близких к представлениям Шредингера, но выраженных иной терминологией. Бауэр сформулировал три основные особенности живых систем: самопроизвольное изменение состояния — они похожи на заведенные машины: аккумуляторы, часы и т. п.; противодействие внешним силам, приводящее к изменению первоначального состояния окружающей среды; постоянная работа против уравнивания с окружающей средой. Первые две особенности встречаются и у других систем; а вот третья является отличительным признаком живых. Поэтому Бауэр назвал ее «всеобщим законом биологии», который имеет ясный термодинамический смысл: как в неживых системах устойчиво их равновесное состояние, так в живых устойчиво неравновесное. При этом носителем свободной энергии, которая может освобождаться при определенных условиях, является структура живых систем — за счет ее изменения и поддерживается их неравновесное состояние.

Шредингер тоже считает особенностью живых систем их неуравновешенность с окружающей средой, которая

поддерживается непрерывным обменом открытой живой системы с окружающей средой, едой, питьем, дыханием и т. д. Но обмен сам по себе ничего дать не может. Любой атом азота, кислорода, серы и т. п. так же хорош, как и любой другой такого же рода. Может быть, целью обмена является поглощение энергии? Но ведь во взрослом организме содержание энергии так же постоянно, как и содержание материи. Поэтому замена одного джоуля другим ничего не меняет. А как ведут себя неживые неравновесные системы?

Если неживую неуравновешенную с окружающей средой систему изолировать, то всякое движение в ней скоро прекратится. В результате трения, теплопроводности, химических реакций и других процессов потенциалы выравниваются, система в целом угаснет и превратится в инертную массу материи, находящуюся в состоянии термодинамического равновесия, то есть максимальной энтропии.

Таким образом, все, что происходит в природе, ведет к увеличению энтропии в той части мира, где это происходит, включая живые системы. Последние тоже непрерывно увеличивают свою энтропию, то есть производят положительную энтропию, и приближаются к опасному состоянию максимальной энтропии — смерти. Следовательно, неравновесное состояние живых систем поддерживается за счет извлечения ими из окружающей среды отрицательной энтропии — негэнтропии. Назначение обмена — освободиться от производимой положительной энтропии и извлечь отрицательную. Но чем выше энтропия, тем больше беспорядок, и наоборот. Поэтому извлечение отрицательной энтропии есть «извлечение порядка», повышение упорядоченности организма.

Есть два различных механизма, производящих упорядоченные явления: статистический, создающий порядок из беспорядка, и механизм, создающий порядок из порядка низшего уровня. Закон сохранения энергии ничего не дает для их объяснения. Видимо, его надо искать на основе второго закона. Мы знаем, что высшие животные питаются хорошо упорядоченными органическими соединениями; так, человек — мясом, картошкой, пирогами с зайчатинной... Используя упорядоченность этих продуктов, животные возвращают в окружающую среду вещества в очень деградировавшей, неупорядоченной форме; там они усваиваются растениями. Для по-

следних же мощным средством выработки отрицательной энтропии является солнечный свет, с помощью которого в хлорофилле происходит повышение упорядоченности деградировавших веществ — фотосинтез, и цикл повторяется. Это единственный на Земле естественный, самопроизвольный процесс, в котором энтропия уменьшается. (За счет затраты даровой солнечной энергии).

Поскольку в живых системах упорядоченность обладает способностью поддерживать себя сама и производить упорядоченные явления, здесь должны действовать принципиально новые законы. Новые законы естествознания, а не непостижимой «жизненной силы», «духа» и т. п. Поисками этих закономерностей и заняты сейчас биологи, физики, химики и даже... техники, работающие в области биофизики, биохимии, биомеханики... Вероятно, именно на этом направлении человечество ждет теперь самые крупные открытия.

Так что, если мы хотим оценить суп или бифштекс не только в отношении их вкусовых качеств, но и в отношении их физической эффективности, то надо воспользоваться не только единицами энергии, но и единицами энтропии (отрицательной!).

## **Царица мира и ее тень во времени и пространстве**

Все рассказанное выше относится к миру, который мы видим непосредственно вокруг нас. В мире космоса (мегамире) и в мире элементарных частиц (микром мире), где скорости движения тел соизмеримы со скоростью света, нарисованная картина усложняется и приобретает несколько другую окраску. Не имея возможности останавливаться на этом вопросе подробно, познакомимся лишь с его основами.

Мы знаем, что материя существует во времени и пространстве. Время выражает последовательность бытия сменяющих друг друга объектов, оно имеет только одно измерение. Пространство характеризует порядок расположения одновременно сосуществующих объектов и имеет три измерения — по трем координатным осям.

В соответствии с общей теорией относительности А. Эйнштейн четырехмерное пространство — время, в котором действуют силы тяготения, подчиняется соотноше-

ниям неевклидовой геометрии на плоскости; последние же можно представить в виде обычных евклидовых соотношений на поверхностях, обладающих кривизной. Отсюда вытекает неразрывная связь между пространством и временем, выражающаяся в едином понятии пространственно-временного интервала, а также между материальным движением и его пространственно-временными формами существования.

Иными словами, в мега- и микромире течение времени и протяженность тел зависят от скорости их движения, и структура или геометрические свойства пространства-времени изменяются в зависимости от скопления масс вещества и порождаемых ими полей тяготения. При движении со скоростями, приближающимися к скорости света, время «замедляется», а пространство «искривляется». Так была установлена ограниченность представлений классической физики об «абсолютных», независимых от движущейся материи времени и пространства.

Но в мире обычных скоростей время и пространство однородны (а пространство еще изотропно — свойства его всюду одинаковы). Это значит, что подстановка в формулы одинаковых в любых интервалах значений времени и трех координат пространства со знаками (+) в одном случае и (—) в другом не меняет получаемого результата.

Поскольку же пространство и время являются формами существования материи, из их свойств могут быть выведены законы сохранения, управляющие движением материи. Так, из однородности, или симметричности, времени вытекает закон сохранения энергии, поскольку течение времени не может само по себе вызвать изменение состояния замкнутой системы — для достижения этого надо затратить энергию. Аналогично из однородности пространства следует закон сохранения импульса — количества движения, ибо при перемещении замкнутой системы ее состояние само по себе не изменяется — изменение происходит в результате взаимодействия с другими системами. Из изотропности пространства вытекает закон сохранения момента количества движения.

В результате мы приходим к заключению о необходимости существования одновременно уже знакомых нам двух мер движения: скалярной — энергии и вектор-

ной — импульса. В классической механике пространство и время не взаимосвязаны и обе меры, как было показано, существуют независимо. В теории относительности они выступают как составляющие единой меры движения — четырехмерного вектора энергия — импульс.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что в неевклидовом неоднородном пространстве-времени закон сохранения энергии может нарушаться. Не удивительно поэтому предположение профессора Н. А. Козырева, что «ход времени может быть источником энергии». Из-за искривленности пространства-времени «ход времени», не изменяя общего количества движения в системе, может создавать дополнительные напряжения... «и тем самым менять ее потенциальную и полную энергию». Об этом же говорит и профессор В. С. Готт: «Уже сейчас существуют возможности открытия новых видов энергии как в микромире, так и в мегамире. Вполне реально, что будут обнаружены новые виды энергии, обуславливающие излучение Солнца, наряду с энергией, имеющей свой источник в термоядерных реакциях. Не исключено открытие новых видов энергии и во внегалактических взаимодействиях». Однако проблема эта сложна и не разработана пока в должной мере.

Так, например, недавно выяснилось, что солнечную активность, взрывные явления в ядрах галактик и в квазарах не удастся объяснить в рамках теории термоядерного синтеза. Поскольку новые источники энергии открываются по мере проникновения все более глубоко в структуру вещества, возникла мысль о существовании «вакуумной энергии». Космический вакуум представляется теперь сверхплотной средой с мелкозернистой структурой, а обычная материя есть разреженное состояние этой среды. При фантастической плотности в  $10^{93}$  г/см<sup>3</sup> (вычисленной по этой теории) между зернами вакуума действуют огромные гравитационные силы, вызывающие такие местные искривления в пространстве-времени, что энергия вакуума оказывается как бы «запечатанной» в ячейках мелкозернистой структуры и поэтому никак не проявляется. Чтобы «возбудить» вакуум, надо сжать материю до огромной плотности, что в земных условиях требует создания ускорителей во много миллиардов раз мощнее Серпуховского. Поэтому здесь вакуум остается абсолютной инертной «пустотой». В космосе же необходимые плотности достигаются естественно в объектах,

сжимающихся собственными гравитационными силами, в коллапсирующих звездах и Вселенной.

Предполагается также, что могут быть открыты новые формы пространственно-временной симметрии более общие, чем известные, и на этой основе будет сформулирован более общий закон сохранения, чем закон сохранения и превращения энергии, и более общее понятие энергии.

Любопытна и связь закона возрастания энтропии с направлением времени. Поскольку законы классической механики при однородности времени «симметричны», естественно предположить что и в основанной на этих законах статистике эта «симметрия» должна сохраняться. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц показали, что это не так. Они пришли к выводу, что «в квантовой механике имеется физическая неэквивалентность обоих направлений времени, и, возможно, ее «макроскопическим» выражением и является закон возрастания энтропии. Однако до настоящего времени не удалось сколько-нибудь убедительным образом проследить эту связь и показать, что она действительно имеет место».

Из всех известных свойств тел энтропия—единственная физическая величина, которая однозначно изменяется со временем — возрастает в закрытых системах. Иногда этот факт истолковывается как причина необратимого изменения времени от прошлого к будущему. Однако не следует забывать, что энтропия всего лишь частное свойство материи, а время — ее всеобщий атрибут, проявляющийся на всех структурных уровнях. Кроме того, в открытых системах (например, в живых организмах) и в микромире возможны процессы с уменьшением энтропии, а время и здесь изменяется необратимо от прошлого к будущему. Даже в закрытой в тепловом отношении системе, где через некоторое время устанавливается тепловое равновесие и достигается максимальная энтропия, не прекращается взаимодействие атомов, молекул и других частиц, а также взаимодействие их с внешними объектами через посредство электромагнитных, гравитационных полей и нейтрино. Все эти процессы протекают во времени. Следовательно, рост энтропии нельзя считать причиной необратимости времени. Последняя заключается в несимметричности — необратимости причинно-следственных отношений во всех системах. В противном случае, например, дым и свет от сгоревших

дров вновь соединялись бы в дрова, последние превращались бы в деревья, исчезающие в виде семян в земле.

Однако в целом развитие в мире представляет единство цикличных и необратимых изменений. Необратимых, но не односторонних. Для бесконечных материальных систем типа Вселенной возможны неограниченные изменения материи в различных направлениях. Поэтому течение времени и процесс развития в мире никогда не могут остановиться.

## Энтропия и ...строительное производство

Мы видели, как через энтропию и энергию термодинамика проникает и в теорию информации, и в кибернетику, и в биологию... Но встречаются случаи, когда термодинамикой называют совокупность соотношений, чисто внешне подогнанных под термодинамические, но не имеющих ничего общего ни с изменениями энтропии, ни с превращениями энергии. К таким случаям относится и «термодинамика процесса производства» или «экономическая термодинамика».

Основным ее исходным положением является известная формула: эпохи различаются не тем, что производится, а тем, как производится, какими средствами труда. Далее логически выводятся и аналитически записываются, как и в обычной термодинамике, два закона. Однако в уравнении первого закона (сохранения энергии, как известно) слева вместо количества тепла записаны... «полные затраты труда при расширенном воспроизводстве», справа же вместо изменения внутренней энергии — «прирост затрат труда на выпуск продукции», к которому прибавляются вместо работы «действительные затраты общественно необходимого труда». Затем записываются по аналогии с уравнением состояния идеального газа «уравнение состояния экономического производства» и, наконец, выражение «энтропии экономического производства» как отношение приращения полных затрат труда к абстрактной численности персонала, участвующего в выпуске данной продукции.

Второй закон вводится задолго до первого (рассматриваемого в конце книги и почти не применяющегося) как «общий закон природы», имеющий «непосредственное отношение к проблемам, рассматриваемым в полити-

ческой экономии» (1). Экономические формулировки второго закона (их пять!) берутся из работ К. Маркса, и не помышлявшего о том, что они имеют отношение к термодинамике, да еще строительного производства! Так, первая гласит: «Какова бы ни была общественная форма процесса производства, он во всяком случае должен быть непрерывным, т. е. должен периодически все снова и снова проходить одни и те же стадии». В третьей же сказано: «Ни одно общество не может непрерывно производить, т. е. воспроизводить, не превращая непрерывно известной части своего продукта снова в средства производства, или элементы нового производства». А дальше читаем: «Термодинамический характер вышеизложенных формулировок К. Маркса очевиден. В самом деле, если процесс производства непрерывен, а его стадии периодически проходят одни и те же состояния, то такой процесс в термодинамическом смысле является круговым, а значит, обратимым» (1).

Наконец, по аналогии с идеальным циклом тепловых машин — циклом Карно «выводится» идеальный экономический цикл — «такое сочетание экономических процессов и параметров, при котором обеспечивается наибольшее фактическое благо, т. е. наибольшая стоимость прибавочного продукта». И так далее.

Остается удивляться широте термодинамического подхода, формально-логическим развитием которого является общая теория систем. Лишь интуитивным приложением последней к строительному производству можно объяснить этот оригинальный результат.

Таким образом, возникнув в ходе развития науки, техники и производства, Энергия и Энтропия не только выросли в важнейшие понятия научно-технической революции, не только породили еще одну королеву наук — Термодинамику, но и с помощью последней дали основу новому обобщенному образу мышления и научному методу — общей теории систем.

Шествие Царицы мира и ее Тени по Земле становится все более интенсивным и всепроникающим, тая возможность крупнейшего скачка в жизнедеятельности всего человечества. Предчувствие этого вызывает иногда пессимистические настроения, хотя есть немало оснований для оптимизма, тем более что каждый день дарит нам новые открытия, увеличивающие господство человека над природой.



### ЧЕЛОВЕЧЕСТВО В ОСАДНОМ ПОЛОЖЕНИИ?

Английский историк Арнольд Тойнби, проанализировав все аспекты промышленной революции последних 200 лет, отвечает на этот вопрос утвердительно. Наша задача гораздо уже — рассмотреть соотношение между быстрым расходом ресурсов энергии и ростом энтропии (а также заражением вредными отбросами) окружающей среды.

За последние девять столетий население Земли возросло в 10 раз и к апрелю 1976 г. достигло 4 миллиардов; по расчетам специалистов, через 50 лет оно должно увеличиться до 10—12 миллиардов. Соответствуют ли этому росту предметные, энергетические и продовольственные ресурсы Земли?

Предметный мир состоит из атомов химических элементов. Почти 90% по весу земной коры составляют: кислород более 50%, кремний 25%, алюминий+железо 12% и кальций примерно 2%; около 9% — калий, натрий, водород, магний, фосфор, титан и хлор и менее 2% все остальные элементы. Огромное значение имеют ресурсы воздуха и воды. Кислород и азот находятся в непрерывном круговороте. Растительный и животный мир дает продовольствие (негэнтропию и энергию) и сырье.

Часть ресурсов возобновима, например растительный покров Земли, но в некоторых случаях, если не будут приняты меры, их перерасход может стать лимитирующим раньше, чем исчерпаются запасы невозобновимых, например, ископаемых. Так, недостаток пресной воды станет заметным к 2000 г., а кислорода — к 2050 г.

Преобразование сырья в материалы, производство из них вещей, приготовление продовольствия, транспорт и вообще все, включая жизнь, происходит на Земле исключительно за счет затрат энергии, ресурсы которой ограничены, и, *возможно, наступит время, когда денежными единицами станут единицы энергии и негэнтропии, обеспечиваемые не запасами золота, а запасами этих источников жизни и процветания на Земле.* Не удивительно, что именно сейчас важнейшее значение приобрела проблема управления процессами, сводящаяся в конечном итоге к управлению расходом ресурсов с целью их максимальной экономии по мере роста населения, развития общества и увеличения его потребностей. Но потребности тоже поддаются управлению — можно уменьшить темпы их роста и даже сократить...

Одним из первых по вопросу о соответствии энергоресурсов все возрастающим потребностям в них выступил еще в 1912 г. со статьей «Задачи техники в связи с истощением запасов энергии на Земле» Н. А. Умов. Он дал развернутый количественный анализ — прогноз состояния энергетики развитых стран Европы, России и США, содержащий все основные элементы современных прогнозных исследований: подсчет разведанных запасов энергетических ресурсов (уголь, нефть, гидроэнергия и др.); оценку коэффициентов их использования; определение темпов роста потребностей в энергоресурсах (6% в год); расчет обеспеченности их запасами (на 100—200—500 лет); баланс потребляемой энергии (50% на производство механической энергии, откуда 70—80% — на транспорт; около 27% — на отопление; 20% — на металлургические и промышленные нужды; около 3% — «на свет», т. е. на производство электроэнергии); оценку КПД двигателей (паровых машин — средний 6—8%, максимальный 25% и дизелей — 33—35%) и теплоиспользующих аппаратов (отопительные приборы — 30%, промышленные установки — 40%) и др.

При этом Н. А. Умов всюду четко проводит идею предельных возможностей, например, КПД обычных паровых машин — не выше 25%, а бинарных (с парами двух различных веществ, например воды и ртути) — до 37% и т. д. Ученый ставит задачу максимального использования энергии рек, включая высоту падения воды «от 220 до 950 метров». «Мощность водяных сил земного шара, — пишет он, — может быть определена ежегодно в 1—2

биллиона лошадиных сило-часов, следовательно, приблизительно втрое более современной потребности в механической энергии: но она составляет только половину всего количества энергии, потребляемой на Земле. Таким образом, этот источник не может быть достаточным для поддержания и развития современной культуры».

Далее Н. А. Умов рассматривает возможности использования энергии ветра, приливов и отливов, волн, внутреннего тепла Земли, солнечной энергии. Он отмечает, что «пользование мощностью приливов и отливов есть в сущности пользование энергией вращательного движения Земли около оси; такое пользование вызвало бы замедление движения и удлинение дня. Но запас этой энергии так велик, что при ежегодном заимствовании из него в сто раз большего количества энергии, чем потребляемое в настоящее время на Земле, день уменьшился бы на одну секунду только в течение десяти тысяч лет».

Солнце Н. А. Умов считает тем источником энергии, «из которого в далеком будущем человечество должно будет и сможет черпать необходимую для его культурного существования и развития энергию» И прозорливо, «с большой уверенностью» утверждает, что люди овладеют солнечной энергией не через тепловые, а через «совершенно иные процессы, по-видимому, электрической природы. В этом вопросе все еще должно быть создано, но для его решения мы располагаем несколькими столетиями».

За прошедшие 65 лет можно отметить следующие существенные отклонения от прогноза Н. А. Умова: началась и быстро проходит «эпоха» нефти и природного газа, наступила и еще долго продлится эра атомной энергии, передвинулся на отметку примерно 40% предел повышения КПД тепловых двигателей, при этом поршневые паровые машины окончательно вытеснены турбинами и двигателями внутреннего сгорания. Однако постоянно возобновляемые энергоресурсы, как и прежде, практически почти не используются, хотя крупные работы в этом направлении уже начаты.

Истощение запасов органических минеральных топлив наступило бы уже давно, если бы не разведывались все новые. Так, только с 1950 по 1963 г. количество израсходованных нефти и газа было равно всем известным в 1950 г. запасам. Однако разведенные в этот же период запасы превысили последние в 4 раза.

С другой стороны, и точное определение резервов разведанных энергоресурсов довольно сложно из-за различной оценки экономической «целесообразности извлечения» их из недр Земли или вод Мирового океана. В результате «одни специалисты считают, — пишет академик М. А. Стырикович, — что запасы ядерного топлива в 15 раз больше, чем запасы органического, другие, не менее квалифицированные, что они в 15 раз меньше»

Однако здесь вряд ли чему есть удивляться, поскольку применяющийся в настоящее время критерий «экономическая целесообразность извлечения» выражается в денежных единицах, а потому настолько неустойчив, что не позволяет идентично оценивать действительную целесообразность извлечения энергоресурсов. Надежным критерием может быть лишь отношение энергии, содержащейся в извлекаемых ресурсах, к совокупной энергии ресурсов, затрачиваемых на извлечение (овеществленных в амортизируемом оборудовании, расходуемых материалах и эквивалентных непосредственно расходуемой энергии). В этом случае оцениваться будет действительная, энергетическая эффективность извлечения и тем выше, чем больше указанное отношение превысит единицу.

Наконец, следует учитывать, что вследствие все возрастающей диспропорции в наличии запасов источников энергии (например, запасы нефти в маленьком Кувейте составляют 12,6 млрд. т в огромной Индии — 0,125 млрд. т, в Японии же их практически нет) и их потреблении между несколькими промышленно развитыми странами и остальным миром в капиталистических государствах, где экономика в целом развивается стихийно, могут возникать местные кризисы. Именно таким кризисом был прокатившийся в 1973 г. по странам Запада нефтяной энергетический кризис, заставивший правительства этих стран взять в свои руки контроль за энергоснабжением и потреблением энергии.

В наше время количество производимой энергии удваивается за 10—15 лет. Из этого расчета в 2050 г. оно станет равным примерно  $700 \cdot 10^{12}$  кВт·ч. Столько энергии человечество израсходовало за всю свою историю! Но даже эта цифра составляет только часть той энергии, которая может быть получена при переходе на возобновляемые источники энергии солнечного излучения, движения вод, ветер и тепло недр Земли.

Запасы органических горючих (нефть, газ, уголь) мо-

гут быть израсходованы в течение 30—100 лет, если их сжигание не прекратят и не начнут применять только как ценнейшее сырье. Правда, по последним прогнозам угля может хватить еще на несколько сот лет. И из-за трудностей в быстром развертывании ядерной энергетики теперь надежды возлагаются на доведение к 2000 г. доли угля в топливно-энергетическом балансе до 50%. Предполагалось же, что к 2000 г. выработка энергии ядерными электростанциями на реакторах деления тепловыми нейтронами должна сравняться с таковой на обычных тепловых электростанциях. Затем должна начаться эра реакторов-размножителей на быстрых нейтронах и за ней, или одновременно с ней, — термоядерной и солнечной энергии. При этом не следует забывать о труднейшей проблеме «захоронения» радиоактивных отходов реакторов деления (отсутствующих у термоядерных установок) и заражения ими окружающей среды.

А каковы более отдаленные перспективы? Предположим, что темпы роста расходования энергии сократятся до 0,33% в год. В этом случае, по расчетам И. С. Шкловского, удвоение ее расхода произойдет только за 100 лет, через 1000 лет он возрастет в 20 тысяч раз, а через 2500 лет — в 10 миллиардов раз! Тогда через 2500 лет производство энергии составит порядка  $1,1 \cdot 10^{22}$  кВт·ч, то есть примерно 0,0001 часть энергии, излучаемой Солнцем ( $1,4 \cdot 10^{28}$  кВт·ч), но в  $10^5$  раз больше солнечной энергии, доставляемой на поверхность Земли.

Если же «сжечь» весь дейтерий в будущих термоядерных установках, то будет получено  $5 \cdot 10^{28}$  кВт·ч. Этого через 2500 лет (при том же приросте — 0,33% в год) хватит на 50 лет. При синтезе ядер обычного водорода, извлеченного из 10% Мирового океана, энергии хватит еще на 1—2 тысячи лет.

Для восполнения недостатка предметных и энергетических ресурсов уже теперь предлагаются экзотические проекты использования массы и энергии других планет и даже... Солнца. Большие планеты состоят преимущественно из водорода. Тогда, например, при массе Юпитера в  $2 \cdot 10^{27}$  кг, синтезируя ядра водорода в ядра гелия, можно получить  $10^{39}$  кДж. Если каждую секунду освободить  $4 \cdot 10^{23}$  кДж, что равно мощности солнечного излучения, то этого хватит почти на 300 миллионов лет!

По другим проектам, предлагается создание вокруг Солнца сферы, радиусом около 150 миллионов км с

обитаемой оболочкой, население которой сможет использовать всю энергию, излучаемую нашим светилом.

Возвращаясь на Землю, отметим, что если покрыть 0,1 площади материков без Антарктиды солнечными электрогенераторами с КПД 20—30% (в 2 раза выше, чем у растений), то полученная энергия будет эквивалентна вырабатываемой 60 тысячами электростанций масштаба Красноярской ГЭС (6 млн. кВт).

Для обеспечения человечества продовольствием советские ученые из научного центра в Пущине предлагают построить 10-этажный комплекс — теплицу с квадратным основанием, сторона которого 70 км! Такая фабрика, давая по нескольку урожаев в год, сможет прокормить 450 миллионов человек, но обойдется в 9 триллионов рублей! Большие надежды возлагаются на водоросль хлореллу, КПД фотосинтеза которой составляет 25%, а объем биомассы за день возрастает в 7 раз! С гектара моря в год можно собрать более 40 т сухой хлореллы.

Энергия рассеивается в виде тепла иногда с вредными его носителями и излучениями, а высокоупорядоченная предметная и вещная материя, — переходя в малоупорядоченные отходы. В результате возникла тенденция «перегрева» и «загрязнения» среды. Эти два фактора ограничивают производство энергии и материальных благ.

Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, задерживающего отдачу тепла в космос, приводит к повышению температуры на Земле. В этом же направлении действует и увеличение отвода тепла от энергоустановок. Рост количества пыли в атмосфере, наоборот, ведет к снижению температуры. Между тем повышение средней температуры воздуха всего на 2—3 градуса вызовет таяние полярных льдов и катастрофические последствия. Уменьшение же притока к земной поверхности тепла на 1—2% достаточно для наступления ледникового периода...

Поэтому производство термоядерной энергии, по подсчетам академика Н. Н. Семенова, можно довести лишь до 5% от поступающей на Землю солнечной энергии, а это только в 600 раз превысит современное ( $4,7 \cdot 10^{13}$  кВт·ч).

Сейчас промышленность значительную часть сырья переводит в отходы. Возникает проблема безотходного производства и полного энерго-технологического использования всех ресурсов. Для поглощения вредных отходов сооружаются очистные устройства.

Итак, пока в известной нам части Вселенной материальный мир эволюционирует от более упорядоченных состояний к менее упорядоченным, от неоднородного к однородному, от концентрированной энергии к рассеянной, от малых значений энтропии ко все большим. Но в далеком прошлом и у нас должны были протекать обратные процессы, иначе не накопились бы предметные и энергетические ресурсы на Земле и в Солнечной системе. Так, может быть, наступит время, когда эти процессы вновь потекут естественно? Или будет открыта возможность проводить их искусственно? Ведь и сейчас в процессе естественного фотосинтеза, благодаря которому существует жизнь на Земле, хотя и медленно, но происходит концентрация энергии и уменьшение энтропии. Этот процесс доставляет человечеству ежегодно 80 миллиардов тонн органических веществ, что в 10 раз превосходит все добываемое за это же время органическое топливо (уголь, нефть, газ). Не удивительно поэтому, что нобелевский лауреат-атомщик Фредерик Жолио-Кюри считал, что «не столько атомная энергия, сколько массовый синтез молекул, аналогичных хлорофиллу, произведет подлинный переворот в энергетике мира». Искусственный фотосинтез — величайшая научная проблема.

«Вопрос о том, что делается с потерянной как будто бы теплотой, поставлен... лишь с 1867 г. (Клаузиус), — писал Ф. Энгельс. — Неудивительно, что он еще не решен; возможно, что пройдет еще немало времени, пока мы своими скромными средствами добьемся его решения. Но он будет решен; это так же достоверно, как и то, что в природе не происходит никаких чудес...»

К. Э. Циолковский поддержал эту мысль: «...теоретически возможно обратное течение тепловых процессов... Мы не ознакомлены только с условиями, при которых оно происходит... Обратимость явлений подтвердит вечную юность вселенной и даст... великие технические перспективы сосредоточения энергии». Будем надеяться на это, но пока максимально рационально и экономно расходовать те ресурсы энергии и негэнтропии, которыми человечество уже располагает. Тем более что даже в нашей богатой источниками энергии стране на топливно-энергетический комплекс уже расходуется свыше 50% госбюджета.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ. Царица мира и ее тень</b>	5
<b>Царица-невидимка</b>	12
Явился в зеркале Вселенной человек!	12
От сил богов к силам душ в каждом предмете	16
Энергия и ...прогулки, затянувшиеся на 2000 лет	24
«Дайте мне точку опоры, и я подниму Землю!»	31
Рождение «движущей силы огня»	36
Во тьме религиозных и политических потрясений	38
Ренессанс. Силы тяготения, магнитные и электрические	44
Силы небесные и земные	53
«Посмеемся, мой Кеплер, великой глупости людской!»	58
<b>Троецарствие</b>	65
Усилия на ложном пути множат заблуждения	65
«В любых движениях тел ничего не теряется.. из сил...»	74
Силы живые и мертвые, активные и пассивные	79
«Силы» врожденные и приложенные	82
Воцарение «движущей силы огня»	90
Силы «невесомых» материй	97
Destruam et aedificabo	109
Закон сохранения и превращения «сил» — энергии	114
<b>Многоликая царица</b>	125
Сколько лиц у Его Величества?	125
Распределение ролей	133
Взаимные превращения лиц	136
«Шагреновая кожа» человечества	139
От лучины до реактора и дальше	142
Концентрация, трансформация, аккумуляция...	149
«Уравнения движения энергии в телах»	151



Грозная тень царицы . . . . .	155
Тени рождаются в полдень . . . . .	155
Энтропия, вероятность и Вселенная.. . . .	162
Демон вне закона? . . . . .	168
Сколько энтропии в научной статье? . . . . .	171
Любовь, кибернетика и энтропия . . . . .	173
Дайте тарелку негэнтропии! . . . . .	175
Царица мира и ее тень во времени и пространстве . . . . .	178
Энтропия и строительное производство . . . . .	182
<b>Заключение. Человечество в осадном положении?</b>	<b>184</b>

**Георгий Николаевич Алексеев**

## **ЭНЕРГИЯ И ЭНТРОПИЯ**

Зав. редакцией научно-художественной

литературы *М. Б. Новиков*

Редактор *В. М. Климачева*

Художник *А. Е. Григорьев*

Худож. редактор *М. А. Гусева*

Техн. редактор *Т. В. Пичугина*

Корректор *В. Е. Калинина*

**ИБ № 328**

А00102 Индекс заказа 87723. Сдано в набор 6.02.78 г. Подписано к печати 29.06.78 г. Формат бумаги 84×108/32. Бумага типографская № 1. Бум. л. 3,0. Печ. л. 6,0. Усл. печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 10,43. Тираж 100 000 экз. (1-й завод 40.000 экз.). Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 2627. Типография издательства «Коммунист». Саратов, ул. Волжская, 28. Цена 35 коп.

