

НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ КУЛЬТУРЫ



В.М. ДУКОВ

З АКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

10
1961

Кандидат физико-математических наук

В. М. ДУКОВ

З А К О Н С О Х Р А Н Е Н И Я Э Н Е Р Г И И

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЗНАНИЕ“
Всесоюзного общества по распространению
политических и научных знаний

Закон сохранения и превращения энергии является одним из основных законов, на который опирается современное естествознание. Этот всеобщий закон природы служит мощным средством исследования в физике, химии, биологии и других областях науки. Велико его теоретическое и практическое значение. Он контролирует правильность новых теорий; в практике этот закон служит основой разнообразных технических расчетов.

Особенно наглядно этот всеобщий закон природы подтверждается в энергетике — области современного хозяйства, охватывающей изучение и использование природной энергии (уголь, торф, нефть, газ, дрова, сланцы, водная энергия, энергия Солнца и т. д.).

Энгельс, много сделавший для раскрытия сущности закона сохранения и превращения энергии, считал его одним из основных естественнонаучных обоснований материалистического мировоззрения.

В. И. Ленин в своем бессмертном произведении «Материализм и эмпириокритицизм» со всей силой подчеркнул, что этот закон устанавливает основные положения материализма.

Точная формулировка закона сохранения и превращения энергии явилась результатом большого количества теоретических и экспериментальных работ крупнейших ученых в течение XVII—XX веков. Чрезвычайная общность и многообразие проявлений этого закона долгое время затрудняли его правильное толкование. Являясь итогом длительного развития научной мысли, закон сохранения и превращения энергии впитал в себя

большое содержание. Это естественно обуславливает трудность его усвоения. Понять закон далеко не просто. Нужно большое напряжение мысли и внимательное изучение тех путей, которые привели к общей формулировке.

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

В древние времена для работы применялись примитивные орудия, затем научились использовать различного рода механические приспособления; далее нашли возможность приводить механизмы в движение с помощью сил природы. Так появились прежде всего водяная и ветряная мельницы.

Однако силы природы капризны: ветер, вращающий крылья мельницы, может вдруг затихнуть, река обмелеть в жару и перестать вращать колесо.

Как же получить постоянное усилие, вращающее вал механизма? Нельзя ли построить такой механизм, который приводился бы в движение только однажды, некоторым кратковременным усилием, а дальше продолжал бы самостоятельно действовать и совершать полезную работу? С помощью такого двигателя можно было бы откачивать воду, орошать поля, ковать, поднимать грузы и т. д., не затрачивая никаких усилий. Такая идея родилась еще в средние века и вошла она в науку под именем «идеи вечного двигателя».

Соблазн был велик, и попытки построения вечных двигателей начали следовать одна за другой. Особенно «модной» мысль о вечном двигателе была в XVII—XVIII веках. Занимала она и знатных, и простых мастеров, и ученых. Проектов было множество. Простые люди руководились слепой верой в возможность вечного двигателя, освобождающего от изнурительного труда; ученые пытались использовать открытые наукой законы и силы природы, например закон Архимеда, силы тяжести, электрическую и магнитную силы.

Дело не обошлось без прямого жульничества. Известно, например, что в 1712 году некий авантюрист Орфиреус в отведенном ему особом помещении построил колесо диаметром около 4 м и объявил, что оно будет вечно вращаться. Помещение было опечатано, в течение двух месяцев туда якобы никто не заходил. Была собрана комиссия, открыли комнату; ко всеобщему изу-

млению колесо вращалось. Сообщение это вызвало сенсацию. Нашлись даже серьезные ученые, которые поверили в возможность вечного двигателя. Однако проверка показала, что колесо приводилось в движение особым механизмом, типа часового механизма, ловко скрытым от наблюдателя.

Приведем пример одного из остроумнейших проектов вечного двигателя, использующего силу тяжести (рис. 1). В трубки *AB* и *DC*, изогнутые на концах, налита ртуть. Они скреплены с осью *O*, на которой насажен шкив *K* для передачи силы к любому механизму, который нужно приводить в движение. По мысли изобретателя, двигатель должен работать следующим образом. Когда трубка *AB* займет горизонтальное положение, ртуть сольется в колено *A*, которое начнет опускаться под действием силы тяжести. При опускании трубки *AB* поднимается трубка *DC*, и с ней происходит то же самое. Такое

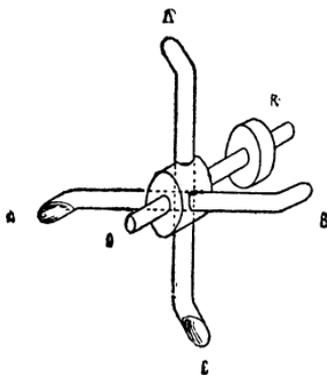


Рис. 1.

устройство, следовательно, должно прийти в непрерывное движение. Однако автор ошибался, двигатель не мог работать. Почему? Прежде чем ответить на этот вопрос, нужно познакомиться с понятиями работы, кинетической энергии и потенциальной энергии, нужно изучить свойства силы тяжести.

РАБОТА

Понятие работы имеет прежде всего общеизвестный, так сказать, житейский смысл. Когда говорят: я много работал, то в качестве меры работы принимают физиологическое ощущение, связанное с явлением усталости. Однако это физиологическое ощущение можно связать с точной мерой работы.

Предположим, что человек занимается поднятием грузов на некоторую высоту. Очевидно, степень усталости будет тем больше, чем больший груз он поднимает и чем больше высота поднятия.

В чем же состоит сущность работы по поднятию гру-

за? Известно, что все тела притягиваются Землей, поэтому падают на ее поверхность, если лишены необходимой опоры. Если человек поднимает груз, его мускульная сила направлена против силы притяжения. В физике принято говорить, что работа в этом случае совершается против силы тяжести. Чем больше путь, на котором совершается работа, и больше сила тяжести, которую приходится преодолевать человеку, тем больше величина работы.

Второй пример. Человек натирает пол. Степень усталости в данном случае будет зависеть от степени шероховатости пола и площади «обработанной» поверхности. Но и в этом случае можно пользоваться той же мерой работы. Место силы тяжести займет сила трения щетки о пол, место высоты поднятия — путь, пройденный «шаркающей» ногой.

Те же рассуждения приведут нас к понятию работы и в том случае, когда работает не живой организм, а машина. Груз может поднимать кран, пол может натирать электрополотер. Во всех случаях некоторая сила преодолевает сопротивление на известном пути. Поэтому работа в физике измеряется величиной силы, умноженной на длину пути, на котором сила действует. Если, например, груз в 1 кг поднят на высоту 1 м, то работа, если ее обозначить через A , будет равна:

$$A = 1 \text{ кг} \times 1 \text{ м} = 1 \text{ кгм.}$$

Эта единица называется килограммометром. Существуют и другие единицы работы, но мы будем в дальнейшем пользоваться килограммометром.

МОЩНОСТЬ

Одну и ту же работу можно делать медленно и быстро. Чтобы характеризовать интенсивность работы, вводится понятие мощности — работы в единицу времени. Если работа A совершается в течение времени t , то мощность N вычисляется по формуле.

$$N = \frac{A}{t}.$$

Если мощность двигателя равна 100 кгм/сек, то это значит, что двигатель за секунду может произвести работу, равную 100 кгм.

До 1780 года паровые машины были столь плохи, что многие промышленники предпочитали им лошадей. Так, например, лошади производили большую часть работы по выкачиванию воды из шахт.

В 1780 году английский инженер Джеймс Уатт усовершенствовал паровую машину. Перед ним далее встала задача: доказать, что новая машина более экономична, нежели лошадь. Уатт решил эту задачу так. Рабочая лошадь была привязана к вороту. Была определена сила, с которой она тянет ворот, и расстояние, которое она прошла за день работы. В результате опытов Уатт нашел, что средняя лошадь может идти со скоростью 4,5 км в час, развивая силу в 60 кг. Отсюда он вычислил, что лошадь могла дать 75 кг работы в каждую секунду. Эта величина служит до сих пор одной из единиц мощности и носит название лошадиной силы.

В настоящее время мощность чаще всего измеряют в ваттах и киловаттах (1 киловатт=1000 ватт). Чтобы представить мощность в этих единицах, приведем следующие данные:

мощность средней лошади около 750 ватт;

мощность автомобиля «Волга» около 50 000 ватт;

мощность куйбышевской ГЭС 2 350 000 000 ватт;

мощность, развиваемая человеком при ходьбе со скоростью 5 км/час, около 60 ватт;

мощность, развиваемая человеком при езде на велосипеде со скоростью 10 км/час, около 30 ватт.

Паровые машины

«Дайте мне точку опоры, и я движением руки подниму Землю». Эту горделивую фразу предание приписывает великому греческому математику и механику Архимеду. Он произнес ее в связи с открытием закона рычага.

Рычаг — один из простейших механизмов, которые служат человеку для совершения работы. Но рычаг требует обязательного участия мускульной силы человека или животных. Сила эта ограничена. Если бы Архимеду и предоставить точку опоры, то Землю бы он с места не сдвинул: не хватило бы времени при ограниченной мощности.

Развитие промышленности направило мысль ученых и инженеров на поиски таких машин, которые бы совершали работу в достаточном количестве, без участия мускульной силы человека.

Труден был путь к первой машине. Только в середине XVIII века была осуществлена древняя мечта человека об использовании силы пара для производства работы: изобретена паровая машина русским механиком-самоучкой Ползуновым.

Каким образом производится работа в паровой машине? В топке зажигается топливо. При его сгорании выделяется тепло. Оно передается воде; последняя нагревается до кипения. Образуется пар. Его направляют в цилиндр с поршнем. Пар действует на поршень с определенной силой. Поршень двигается, преодолевая сопротивление, которое оказывают связанные с ним механизмы. Если, например, с поршнем паровой машины связано через передаточный механизм подъемное устройство, то сила пара совершает работу, преодолевая трение в сочленениях машины и силу тяжести поднимаемого груза.

Какое количество работы можно получить от паровой машины? Любое. Если поддерживать огонь в топке и вовремя сменять износившиеся от трения детали машины, то можно удовлетворить в принципе любую потребность в работе. Однако здесь возникает принципиально важный вопрос: сколько топлива нужно для совершения данной работы? Ведь топливо—вещь относительно дорогая. Его нужно добыть, подвезти, загрузить в топку. Этого мало. Топливо сгорает не все, образуются отходы, которые нужно периодически удалять. Все это требует затраты труда.

Очевидно, экономически выгодной является такая машина, которая при минимальной затрате труда дает максимально возможное количество работы. А каков тот максимум работы, который можно получить, затратив данное количество топлива? Вопрос далеко не простой; это вопрос величайшей важности. Первые паровые машины пожирали огромное количество топлива. Поэтому работа, которую они давали, обходилась «в копейчку».

Перед учеными и инженерами встала грандиозная проблема повышения экономической эффективности двигателя. Как она была решена?

Что такое теплота?

Понятие теплоты, так же как и понятие работы, тесно связано с физиологическими ощущениями. Всем нам знакомы ощущения тепла и холода. Печка греет — она теплая или горячая, лед холодит — он холодный. Что же такое теплота?

В течение XVIII—XIX веков боролись две точки зрения на природу теплоты. Первая опиралась на атомистическую теорию, согласно которой все вещества состоят из частиц (атомов), находящихся в состоянии непрерывного движения. Интенсивность этого движения тем больше, чем выше температура.

С точки зрения атомистической теории, в холодном теле частицы движутся медленнее, чем в нагретом. Измеряя температуру тела, мы тем самым определяем интенсивность движения атомов, из которых состоит это тело.

Согласно другой точке зрения, степень нагретости тела определяется количеством особой тонкой, невесомой жидкости — «теплорода». Тело холодное содержит мало теплорода; если это тело нагревать, то количество теплорода будет увеличиваться с ростом температуры.

Как же работает паровая машина, если взглянуть на это с точки зрения теории теплорода? При горении топлива выделяется теплород, он поглощается водой, последняя нагревается, появляется пар, который движет поршень. Совершается работа. Такова в основных чертах картина процесса превращения теплоты в работе.

Казалось бы, все просто и ясно. Однако изучение явлений природы показало, что такое представление о теплоте неверно.

Прежде всего с теорией теплорода не согласовывался всем известный факт: теплота возбуждается при трении. Вбивается гвоздь — он нагревается; если колесо повозки не смазано, то ось нагревается настолько, что может загореться. Особенно поразительным оказался этот факт, когда трение осуществлялось в больших промышленных установках. Например, при наблюдении сверления стволов тяжелых артиллерийских орудий было обнаружено, что в короткое время процесс сверления приводил к выделению огромных количеств теплоты. Металлические стружки оказывались нагретыми выше температуры кипения воды. Трением можно было полу-

чить огромные количества теплоты, причем эти количества ничем не ограничены: пока есть трение, есть и теплота.

Как же согласовать наблюдаемые факты с теорией теплорода? Это оказалось невозможным.

В результате длительной борьбы двух точек зрения победило атомистическое представление о природе теплоты. Сущность теплоты заключается в хаотическом движении атомов и молекул, составляющих тела природы. Поршень в цилиндре паровой машины движется под действием ударов молекул водяного пара. Нагревая воду, мы увеличиваем интенсивность движения частиц воды. Связи между частицами воды ослабляются, молекулы освобождаются, вода переходит в парообразное состояние. Нагревая пар, мы увеличиваем скорость движения составляющих его молекул. Движение огромной совокупности мельчайших частиц может быть передано поршню паровой машины и далее превращено в работу.

Теперь нужно запомнить меру теплоты. В качестве единицы измерения теплоты принята калория: такое количество теплоты, которое нагревает 1 кг чистой воды на 1° С.

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ

Итак, за счет теплоты можно получить работу. В топке сжигается топливо, теплота передается пару, пар движет поршень, который связан с механизмом, превращающим теплоту в работу.

Возвратимся теперь к вопросу, который был уже поставлен: сколько работы можно получить, затратив данное количество теплоты, т. е. затратив данное количество топлива? Опыт показал, что в работу превращается лишь часть количества затраченной теплоты. Если через Q обозначить количество затраченной теплоты, а через A количество совершенной работы, то отношение $\frac{A}{Q}$ даст величину, характеризующую так называемый коэффициент полезного действия тепловой машины (к. п. д.). Тепловые машины различных типов имеют к. п. д. от 10 до 30%.

Как повысить к. п. д. тепловых машин?

Это далеко не простой вопрос. Прежде чем ответить на него, необходимо решить вопрос о количественном соотношении теплоты и работы. Какое количество теплоты можно получить из данного количества работы и, наоборот, какое количество работы можно получить из данного количества теплоты или, говоря языком физики: каков механический эквивалент теплоты и термический эквивалент работы?

МЕХАНИЧЕСКИЙ ЭКВИВАЛЕНТ ТЕПЛОТЫ

Физика — наука точная. Это значит, что результаты изучения явлений природы физики представляют в количественной форме.

Один из крупнейших физиков XIX века Вильям Томсон говорил:

«Я часто повторяю, что если вы можете измерить то, о чем вы говорите, и выразить свои знания числом, то вы кое-что знаете о вашем предмете исследования. Но если вы этого не можете сделать, ваши знания бедны и неудовлетворительны».

Открытие закона сохранения и превращения энергии было обязано прежде всего количественным измерениям.

В середине прошлого века ряд ученых предпринял точные измерения механического эквивалента теплоты.

Один из наиболее простых и убедительных опытов был поставлен английским физиком Джоулем следующим образом (рис. 2).

В металлический сосуд *1*, наполненный жидкостью, вставляется ось *2* с двумя рядами лопаточек *3*. Если вращать ось, то лопаточки будут испытывать трение о жидкость. При трении выделяется теплота. Сосуд *1* нагревается. Термометр *4* отмечает повышение температуры. Количество теплоты Q , выделяющейся при вращении лопаточек, можно определить, зная, на сколько градусов нагреется сосуд *1*.

В результате чего выделяется теплота в сосуде *1*?

При вращении лопаточек совершается работа. Чем дольше вращаются лопаточки, т. е. чем больше совершается работы, тем сильнее нагревается сосуд, т. е. тем больше выделяется теплоты.

Как измерить количество работы, совершаемой при

вращении лопаточек? Джоуль воспользовался для этой цели двумя блоками 5 и 6, которые вращались при падении грузов 7 и 8. Блоки соединены с деревянным цилиндром 9, надетым на ось 2. Грузы, вес которых был известен, падали с известной высоты h , приводя во вращение лопаточки. Высота h отмечалась по линейкам.

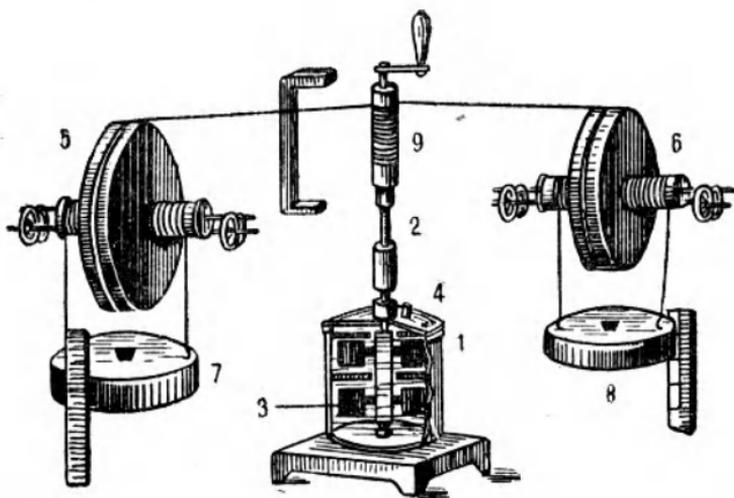


Рис. 2.

Как уже говорилось, при поднятии груза совершается определенная работа. Если веса грузов P и высота поднятия известны, можно вычислить эту работу: $A = P \times h$.

Если грузы, связанные с лопаточками, опустились с высоты h , то результатом работы A будет нагревание сосуда с водой и лопаточками. Термометр 4 отметит повышение температуры. Зная, на сколько градусов повысилась температура, можно вычислить количество теплоты Q , выделяемой при совершении работы A .

Если изменять веса грузов P , высоту падения h , то мы получим разные работы, допустим A_1, A_2, A_3 и т. д. Каждой работе будет соответствовать определенное количество теплоты Q_1, Q_2, Q_3 и т. д.

Опыт Джоуля дал замечательный результат. Оказалось, что все отношения: $\frac{A_1}{Q_1}, \frac{A_2}{Q_2}, \frac{A_3}{Q_3}$ и т. д. равны между собой. Этот результат можно записать так: $\frac{A}{Q} = \text{постоянная величина}$.

Какова же эта величина?

Выразим работу A в килограммометрах, а количество теплоты Q в килокалориях. Тогда оказывается:

$$\frac{A}{Q} = 427 \text{ кгм/ккал.}$$

Можно этот результат записать иначе:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{427} \text{ ккал/кгм.}$$

Таков был результат, послуживший решающим шагом к формулировке закона сохранения и превращения энергии. Отношение $\frac{A}{Q}$ называется механическим эквивалентом теплоты, а отношение $\frac{Q}{A}$ — термическим эквивалентом работы.

Вдумаемся в полученный результат. Разные работы дают различные количества теплоты. Но механический эквивалент остается постоянным. Для получения 1 ккал теплоты всегда требуется затрата 427 кгм работы, не больше, не меньше. Чтобы получить 1 кгм работы, всегда требуется $\frac{1}{427}$ ккал теплоты.

Итак, в природе наблюдается удивительное постоянство в соотношении теплоты и работы.

ПОНЯТИЕ ЭНЕРГИИ

Как уже говорилось, для совершения работы нужно соединять работающий механизм с источником, от которого он может получать некоторую движущую силу. Такой источник называется источником энергии. Энергия характеризует способность совершать работу.

Мы часто говорим: «Это энергичный человек», «Человек полон энсргии». Подразумевается, очевидно, та же работоспособность.

В этом пункте научные и житейские понятия совпадают.

Познакомимся теперь с наиболее интересными видами энергии.

Кинетическая энергия

Способностью производить работу обладает прежде всего любое тело, движущееся с какой-то скоростью.

Например, движущаяся вода вращает вал турбины на гидроэлектростанции, ветер — движущийся воздух — вращает крылья ветроэлектростанции. Падающее тело забивает сваи, дробит породу, молоток забивает гвоздь и т. д.

Чем больше масса движущегося тела и больше скорость его движения, тем большей кинетической энергией оно обладает. Если масса тела равна m и оно движется со скоростью v , то кинетическая энергия E вычисляется по формуле:

$$E = \frac{mv^2}{2}.$$

Измеряется кинетическая энергия в тех же единицах, что и работа, например в килограммометрах.

Потенциальная энергия

Мы уже говорили, что для поднятия груза на некоторую высоту необходимо совершить работу. Что происходит в результате совершения этой работы? Тело, которое поднимается, меняет свое положение относительно поверхности Земли. И это означает увеличение запаса энергии, которая носит название потенциальной энергии. Если кинетическая энергия зависела от скорости движения тела, то потенциальная зависит от высоты его поднятия.

Легко убедиться в том, что потенциальная энергия тела означает его способность совершить работу тем большую, чем больше масса тела и высота поднятия. Вот пример. Зимой на строительных работах землю разрыхляют при помощи тяжелых заостренных болванок. Подъемный механизм увлекает такую болванку вверх и затем отпускает; она падает и совершает работу дробления грунта.

Почему при строительстве гидроэлектростанций делают плотины? Чтобы поднять уровень воды, увеличить потенциальную энергию воды, а следовательно, способность совершать работу: вращать роторы генераторов электрического тока.

Еще пример. Всем известны часы-ходики (рис. 3). В них часовой механизм приводится в движение гирей, которая рукой поднимается на некоторую высоту. Гиря получает при этом определенный запас потенциальной

энергии и далее постепенно расходует его на работу, вращая колесики часового механизма и связанную с ним стрелку.

Приведем еще один важный пример потенциальной энергии. Если вы растягиваете пружину, резиновую нить, изгибаете стальную пластину, т. е. производите деформацию тела, то вы совершаете работу. Результатом вашей работы будет увеличение энергии деформируемого тела.

Растянутая пружина способна совершать работу. Она обладает запасом потенциальной энергии.

Эта энергия упруго деформированных тел представляет один из видов потенциальной энергии. Она зависит от взаимного расположения частиц тела.

Действительно, в нерастянутой пружине частицы расположены ближе друг к другу, нежели в растянутой.

Если вы заводите часы, вы совершаете работу. Результатом вашей работы будет упругая деформация часовой пружины. Она получит определенный запас потенциальной энергии, которую будет далее расходовать на вращение колесиков и стрелок.

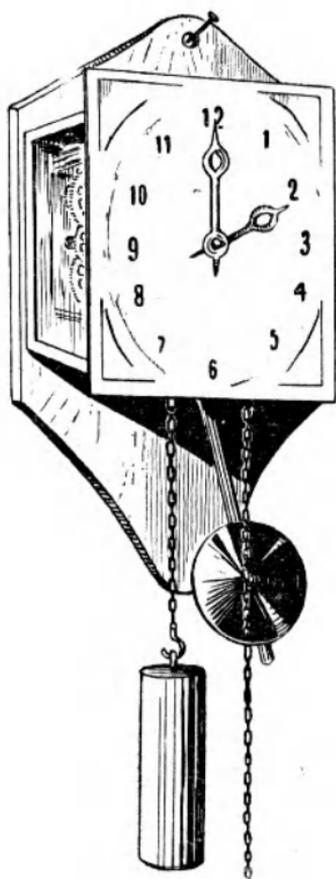


Рис. 3.

Другие виды энергии

Кинетическая и потенциальная энергия являются двумя видами механической энергии. В природе имеются и немеханические виды энергии. Важнейшей является энергия электрического тока. Она получается на тепловых электрических станциях за счет работы паровых двигателей и двигателей внутреннего сгорания, на гидро-

электрических станциях за счет работы, которую производит движущаяся вода.

Энергия электрического тока может передаваться по проводам и использоваться для приведения в движение различных механизмов, для освещения, питания радиоприемников, телевизоров и т. д.

Далее, нам известна химическая энергия. Ярким примером химической энергии является энергия, выделяющаяся при горении топлива. Горение — это химическая реакция между составными частями топлива и газом — кислородом, входящим в состав воздуха. Реакция эта сопровождается всегда выделением теплоты. Количество энергии или количество теплоты зависит от качества топлива. При горении данного количества дров выделяется меньше энергии, нежели при сгорании такого же количества каменного угля; нефть и ее продукты — бензин, керосин — дают еще больше энергии.

Любое вещество, способное гореть, заключает в себе большее или меньшее количество энергии. Например, при сгорании 1 кг антрацита выделяется около 8000 ккал, торфа — около 6000 ккал, дерева — около 5000 ккал.

При химической реакции происходит превращение одного вещества в другое. Например, при горении дров образуются дым, газы, пепел, уголь; горение светильного газа, бензина, керосина сопровождается выделением только газообразных продуктов.

Общеизвестна химическая реакция, происходящая при гашении извести. Обожженная известь жадно поглощает воду, набухает и разрыхляется, образуя водное соединение извести — так называемую гашеную известь. При этом выделяется большое количество тепла.

Нам известно огромное число разнообразных химических превращений. Многие из них служат источником энергии, которая используется для совершения работы. Наиболее интересным видом энергии, открытым уже в нашем веке, является атомная энергия. Эта энергия сосредоточена внутри мельчайших частиц, из которых состоят тела природы, — атомов. Атом имеет внутри ядро чрезвычайно малых размеров. Внутри атомного ядра сосредоточены гигантские запасы энергии. Атомная энергия в нашей стране, как известно, служит мирным целям.

Энергия электромагнитного излучения

Многим приходилось греться у костра в холодный ветреный день. Чтобы дым не ел глаза, люди располагаются обычно по ветру. Горячий воздух вместе с дымом уносится ветром. Тем не менее костер греет. В данном случае греет излучение, которое посылает во все стороны пламя костра и раскаленные угли. Любое нагретое тело посылает такое тепловое излучение.

Исследования показали, что тепловое излучение имеет такую же природу, как и излучение Солнца, воспринимаемое глазом в виде света. Речь идет об электромагнитном излучении, которое распространяется от источника с огромной скоростью (в воздухе она составляет около 300 000 км/сек).

В энергетическом балансе Земли энергия электромагнитного излучения играет основную роль. Достаточно сказать, что за счет этой энергии развивается жизнь на Земле. Солнце посылает на Землю в виде электромагнитного излучения гигантское количество энергии — 2900 млрд. кВт за одну минуту.

Если бы всю эту энергию можно было превратить в работу, то деятельность Солнца за 1 минуту почти полностью обеспечила бы годовую потребность человечества в работе.

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Основным свойством всех видов энергии является их способность к взаимным превращениям. У вас замерзли руки. Вы их трете друг о друга. Энергия движения ваших рук — механическая. В результате трения руки нагреваются: энергия механическая превращается в тепловую. Вращается ротор электрического генератора на электростанции — это механическая энергия; генератор вырабатывает электрический ток — механическая энергия превращается в электрическую. Электрическая энергия в лампочках накаливания превращается в световую и тепловую, в электродвигателях — в механическую.

Электрический ток питает подъемный кран; вращается ротор электродвигателя — происходит превращение электрической энергии в кинетическую; двигатель через систему рычагов поднимает груз на строительную пло-

щадку — кинетическая энергия превращается в потенциальную и т. д. Способность энергии к превращениям требует детального рассмотрения.

Взаимные превращения кинетической и потенциальной энергий

Начнем с наиболее простого примера. На полу лежит гиря. Вы поднимаете ее на некоторую высоту, совершаете работу. За счет работы ваших мускулов гиря приобретает определенный запас потенциальной энергии. Если гирию выпустить из рук, она будет падать с возрастающей скоростью. Чем ближе будет гиря к полу, тем меньше будет ее потенциальная энергия. Но за счет уменьшения потенциальной энергии увеличивается кинетическая.

Вспомним, что кинетическая энергия тем больше, чем больше скорость движения. При падении тела скорость за каждую секунду возрастает почти на 10 м/сек. Когда гиря достигает пола, ее потенциальная энергия будет равна нулю, а кинетическая энергия будет максимальной. Потенциальная энергия превратилась в кинетическую.

Превращение потенциальной энергии в кинетическую широко используется в практике. Например, при забивке свай тяжелую болванку поднимают на некоторую высоту, затем предоставляют ей свободно падать (рис. 4). Болванка приобретает за счет потенциальной энергии энергию кинетическую и с определенной скоростью падает на сваю. Кинетическая энергия упавшей болванки и производит работу забивания свай.

Потенциальную энергию используют шоферы при движении автомобиля по гористой местности. Выехав на высоту, автомобиль приобретает запас потенциальной энергии; далее при спуске с уклона за счет этого запаса энергии автомашина может двигаться с выключенным двигателем.

Еще один пример. На рисунке 5 изображено так называемое «чертово колесо». Человек на велосипеде или тележке съезжает с горы. На вершине он обладает определенным запасом потенциальной энергии. Съехав к подножию, человек теряет этот запас потенциальной энергии, но приобретает энергию кинетическую. По инерции

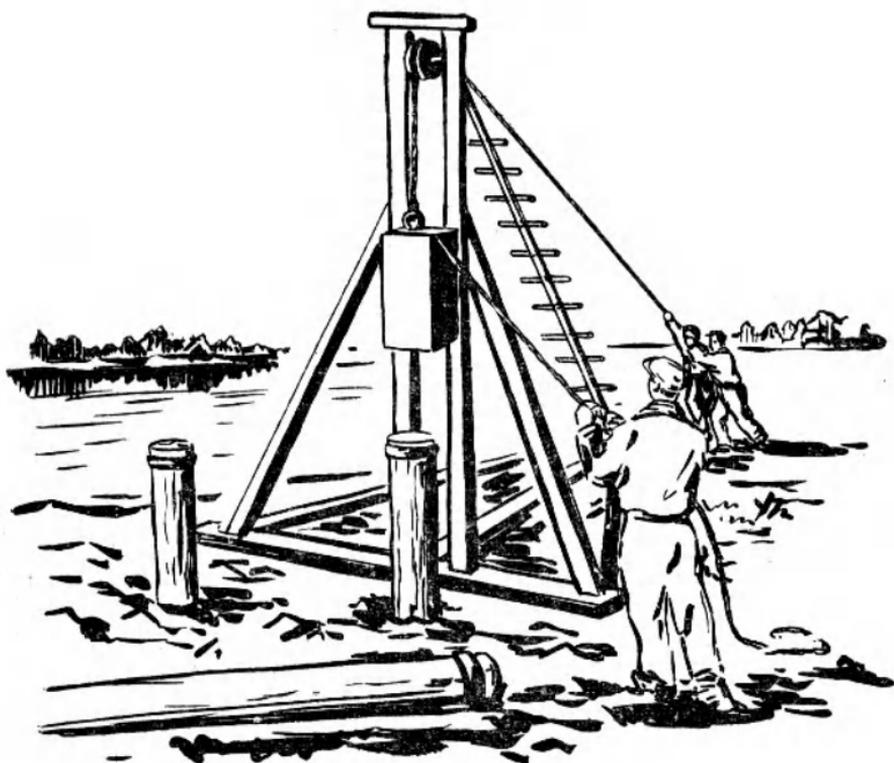


Рис. 4.

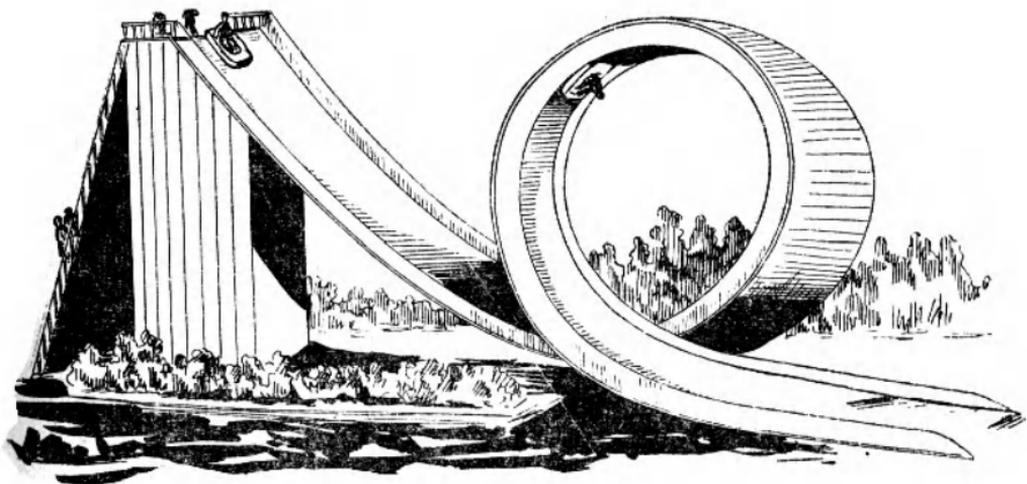


Рис. 5.

он будет продолжать движение, скорость движения будет убывать, вместе с ней будет убывать и кинетическая энергия. Но появится потенциальная энергия. В верхней точке человек будет обладать кинетической и потенциальной энергией. При достаточной скорости в верхней точке (эта скорость зависит от высоты) человек опишет «мертвую петлю».

Превращение энергии солнечных лучей

Многообразные превращения испытывает солнечное излучение, падающее на Землю. Начнем с простого.

Солнце греет. Это значит, энергия электромагнитного излучения превращается в теплоту. Солнечные лучи могут не только греть, но и жечь. Многим приходилось обгорать на дневном солнце и испытывать неприятные результаты превращения энергии солнечных лучей в кожном покрове. Эти превращения носят уже более сложный биологический характер.

Если взять лупу и собрать лучи света в одну точку, то можно зажечь бумагу и даже дерево. Следовательно, солнечная энергия, превращаясь в теплоту, вызывает химические превращения вещества.

Многообразные химические и биологические превращения вызывает энергия солнечных лучей в растениях. Общеизвестно, что там, куда не проникает луч Солнца, нет зеленых растений. Воздух и вода поставляют необходимые строительные материалы для всего живого на Земле. Солнце является строителем.

Дома складываются из бетона, дерева, стекла и т. д. при помощи электрической энергии, приводящей в движение строительные механизмы, и энергии рабочих-строителей. Подобно этому тела растений складываются из различных веществ, содержащихся в почве и воздухе под действием солнечной энергии.

В глубокой древности обилие солнца и влаги дало жизнь гигантским зарослям хвощей, плавунов, древесных папоротников. Растения эти развивались, старели, падали и штабелями погружались в трясину. Здесь без доступа воздуха происходил сложный процесс превращения растения в каменный уголь. Энергия, полученная от Солнца, консервировалась в каменном угле. Аналогично этому происходила консервация энергии солнечных лучей в торфе, горючих сланцах и т. д. Так образо-

вадись источники энергии, питающие нашу промышленность, сельское хозяйство и быт.

Энергия ветра является также преобразованной энергией солнечных лучей. Ветер возникает благодаря неодинаковому нагреванию солнечными лучами различных участков земной поверхности.

На искусственных спутниках устанавливаются так называемые солнечные батареи. В них энергия солнечных лучей превращается в энергию электрического тока, питающего установленную на спутнике аппаратуру.

Превращение энергии в опыте Джоуля

Возвратимся к опыту Джоуля, который мы рассмотрели выше. За счет какой энергии нагревалась вода в сосуде 1 ? (см. рис. 2). Очевидно, за счет потенциальной энергии грузов 7 и 8 , поднятых на определенную высоту. Потенциальная энергия в этом опыте превращается в теплоту. Чем больше вес грузов и высота поднятия, тем больше теплоты выделяется в сосуде 1 .

СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРЕВРАЩЕНИЯХ

Перейдем теперь к самому важному вопросу. Может ли энергия теряться при превращениях? Этот вопрос был решен наиболее просто в опыте Джоуля.

Груз известного веса опускается с данной высоты, измеряется количество выделившейся теплоты. Допустим, что потенциальная энергия груза равнялась U ; она превращалась в теплоту Q . Повторение опыта при одинаковых условиях, когда потенциальная энергия равнялась U , давало всегда одно и то же количество теплоты Q . Далее измерялась величина потенциальной энергии путем изменения веса груза и высоты поднятия. Допустим, что она равнялась U_1 . При этой величине потенциальной энергии получалось количество теплоты, скажем Q_1 . Снова повторение опыта и выделение того же количества теплоты Q_1 . При потенциальной энергии U_2 выделялось всегда одинаковое количество теплоты Q_2 и т. д.

Деление величин U_1 , U_2 , U_3 и т. д. на соответствующие количества теплоты Q_1 , Q_2 , Q_3 и т. д. давало постоянно одно и то же число, т. е.

$$\frac{U_1}{Q_1} = \frac{U_2}{Q_2} = \frac{U_3}{Q_3} \quad \text{и т. д.}$$

Отношения эти, как уже говорилось, равняются одному и тому же числу, который называется механическим эквивалентом теплоты.

Какой вывод следует отсюда? Количество потенциальной энергии сохраняется при превращениях.

Сохранение любой формы энергии

Но может быть, сохранение — это привилегия только потенциальной энергии? Такой вопрос волновал ученых в XIX веке, и были поставлены соответствующие опыты для его решения.

Вот один из многочисленных опытов, проделанный английским инженером А. Гирном в 1858 году. На рисунке 6 изображена деревянная деталь, к которой подвешены три тела 1, 2, 3. Тело 1 представляло собой тя-

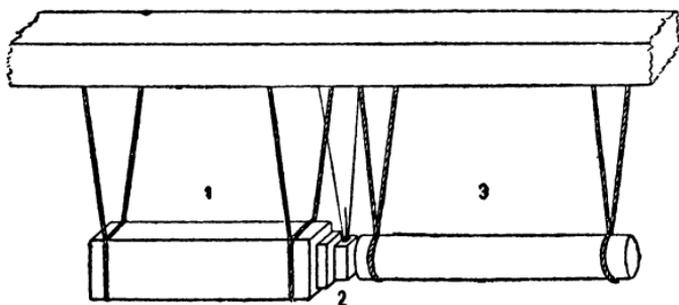


Рис. 6.

желую плиту весом в 941 кг, тело 3 — железный цилиндр весом 350 кг. Между ними подвешивалось небольшое свинцовое тело 2. Опыт проводился так. Железный цилиндр отклонялся вправо; при этом он поднимался на известную высоту. Далее цилиндр отпускался, он с силой ударялся о свинцовое тело, отскакивал и поднимался уже на меньшую высоту. Последствия удара были следующие: плита 1 тоже поднималась на некоторую высоту, а свинцовое тело нагревалось. В нем была просверлена полость, куда после опыта сразу же наливалась вода известной температуры. Термометр показывал увеличение температуры. Зная последнее и массу тела, можно было вычислить количество выделяющейся теплоты.

Разберем, какие превращения энергии происходят в этом опыте.

При отклонении железного цилиндра мы совершаем работу, цилиндр за счет этой работы получает определенное количество потенциальной энергии. Отпускаем железный цилиндр, потенциальная энергия превращается в кинетическую. Последняя будет возрастать до соприкосновения с телом 2. В момент удара вся потенциальная энергия переходит в кинетическую. После удара происходит обратный процесс, железный цилиндр отскакивает и поднимается на некоторую высоту. Но высоту меньшую!

Следовательно, после удара потенциальная энергия уменьшается. Почему? Может быть, потеря произошла при превращении ее в кинетическую? Нет. Вспомним, что свинцовый цилиндр нагрелся. Значит, произошло еще одно превращение энергии: часть кинетической энергии при ударе превращалась в энергию движения атомов, составляющих свинцовое тело: механическая энергия превратилась в теплоту, как и в опыте Джоуля.

Но нагревание свинцового тела 2 — не единственная причина уменьшения потенциальной энергии железного цилиндра 3. После удара на некоторую высоту поднимается и тяжелая плита 1; следовательно, она получает тоже некоторую долю энергии. После удара плита 1 приходит в движение — она получает кинетическую энергию; при поднятии кинетическая энергия переходит в потенциальную.

Итак, в опыте Гирна мы имеем целую цепь превращений энергии. Теряется ли энергия при превращениях? Это легко проверить в опыте. Обозначим потенциальную энергию железного цилиндра до удара через U , после удара через U_1 . Пусть количество теплоты, выделяющейся в свинцовом цилиндре, равно Q , а тяжелая плита после удара приобретает потенциальную энергию U_2 . Если энергия действительно сохраняется в рассмотренной цепи превращений, то количество энергии до удара должно быть равно количеству энергии после удара. До удара количество энергии равнялось U . После удара эта энергия распределилась; она равна теперь сумме $U = U_1 + U_2 + Q$.

Следовательно, сохранение будет иметь место при равенстве $U - U_1 = U_2 + Q$.

А это легко проверить на опыте. Оказалось, что равенство сохраняется при всех опытах.

А сохраняется ли энергия при превращении из механической в электрическую? Для решения этого вопроса был поставлен опыт по следующей схеме (рис. 7).

Груз *1* падает с определенной высоты и приводит во вращение рамку *2*, установленную между полюсами магнита *N* и *S*. При вращении рамки по проводнику *3* те-

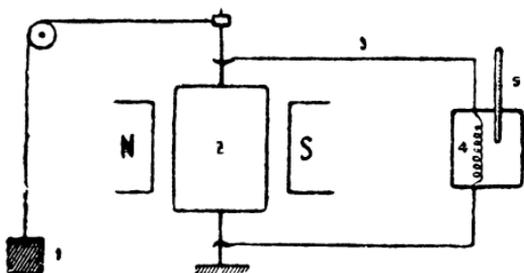


Рис. 7.

чет электрический ток. Проходя по проволочке *4*, он нагревает ее. Проволочка помещена в калориметр; термометром *5* можно отметить увеличение температуры, а следовательно, можно вычислить, какое количество теплоты выделяется в проводнике при прохождении электрического тока. В этом опыте потенциальная энергия груза *1* превращалась сначала в энергию электрического тока, а потом в теплоту.

Напомним, что в опыте Джоуля теплота получалась непосредственно из потенциальной энергии. Здесь же мы имеем цепь превращений: потенциальная энергия — электрическая энергия — теплота.

Пусть потенциальная энергия груза равна 1 кгМ . Тогда, как показал опыт, всякий раз выделяется одно и

то же количество теплоты, равное $\frac{1}{427} \text{ ккал}$. Если уве-

личить потенциальную энергию в 10 раз, сделать ее равной 10 кгМ , то количество теплоты станет равным

$\frac{10}{427} \text{ ккал}$, т. е. также увеличится в 10 раз.

О чем говорит этот опыт? О том, что при превращении механической (потенциальной) энергии в электрическую количество энергии сохраняется неизменным. Энергия не теряется ни при каких условиях.

ФОРМУЛИРОВКА ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Теперь можно подвести итоги и сформулировать величайший из законов природы. Первый вывод, который мы можем сделать, состоит в следующем: все разнообразные формы энергии, имеющиеся в природе, способны превращаться друг в друга.

Второй вывод: при всех превращениях количество энергии остается неизменным. Отсюда общий вывод: *энергия не исчезает и не появляется не из чего, она может только превращаться из одной формы в другую; при этом ее количество остается неизменным.* В этом и состоит содержание закона сохранения и превращения энергии.

Мы шли прямым путем к формулировке великого закона. Изложенное заняло менее трех десятков страниц. Если бы мы повторили тот путь, которым шла мысль ученых и инженеров, то нам бы не хватило и двух тысяч страниц. Простые истины всегда постигаются последними.

В том, что истина действительно проста, убеждают следующие примеры.

ПОЧЕМУ ЖЕ НЕВОЗМОЖЕН ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ?

Вернемся к началу нашего изложения, к вечному двигателю, — древней мечте неискушенного человека. Теперь мы можем указать общую причину огромного числа неудачных попыток изобрести вечный двигатель, иначе говоря, получить даровую работу.

Допустим, что вы хотите вечным двигателем приводить в действие подъемный кран. Поднять груз — значит получить определенное количество потенциальной энергии. По закону сохранения энергия не может появиться из ничего. Она может быть получена только за счет затраты равного количества энергии какой-то другой формы. Следовательно, ваш «вечный» двигатель должен содержать источник какой-то энергии, например паровую

машину, двигатель внутреннего сгорания или электрический двигатель.

Второй пример. Вечным двигателем вы пожелали бы привести в движение какой-либо станок. Привести в движение; — значит сообщить какую-то скорость валу, шестерням, передаточным механизмам. Но тело, движущееся с определенной скоростью, обладает определенным запасом кинетической энергии. Последняя не может возникнуть из ничего. Как и любая другая форма энергии, кинетическая энергия может появиться только в результате превращения равного количества энергии другой формы.

Объясним теперь, почему не может работать вечный двигатель, изображенный на рисунке 1.

Если вы поднимите колено с ртутью на высоту h , ваш двигатель получит определенный запас потенциальной энергии; пусть он равен U . Вы отпускаете колено, потенциальная энергия его будет уменьшаться, но за счет уменьшения энергии колена 1 будет увеличиваться потенциальная энергия поднимающегося колена 2. Если веса колен с ртутью одинаковы, то при полном опускании колена 1 колено 2 должно было бы достичь горизонтального положения, тогда ртуть перельется и движение повторится.

Так было бы в отсутствии сил трения. Но силы трения нельзя исключить: они возникают при любом соприкосновении любых тел. Трение приводит к превращению части потенциальной энергии в теплоту. Именно трение и приводит к невозможности вечного двигателя.

В самом деле, по закону сохранения и превращения энергии наш двигатель не может производить энергию (энергия не возникает из ничего), он имеет не только в количестве U . В другие виды может превращаться только это количество U .

Пусть колено 2 при поднятии приобрело количество энергии U_1 , и на трение потрачено какое-то количество энергии Q , тогда по закону сохранения $U = U_1 + Q$. Отсюда видно, что энергия U_1 меньше U . Следовательно, наш «вечный» двигатель не сделает и одного оборота.

Можно, конечно, заставить его вращаться известное время, если толкнуть колено 1 или 2, т. е. сообщить ему определенное количество кинетической энергии. Двига-

тель будет вращаться до тех пор, пока это количество кинетической энергии не израсходуется на трение о воздух и в подшипниках.

Обратимся ко второму интересному примеру вечного двигателя, изображенному на рисунке 8. На нити нанизаны полые шары. Часть шаров находится в сосуде с жидкостью, другая часть — снаружи. Известно, что по закону Архимеда, на всякое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила. На шары, погруженные в жидкость, будет действовать сила, направленная вверх. По мысли изобретателя, под действием этой силы шары в жидкости должны двигаться вверх, вместе с ними и вся цепь должна прийти в непрерывное движение.

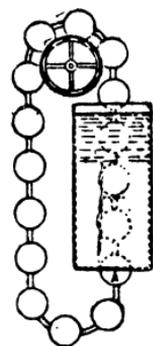


Рис. 8.

Почему невозможен такой двигатель? Допустим, что цепь шаров пришла в движение. Нижний шар входит в жидкость. Чтобы войти, шару придется преодолеть определенное сопротивление. Жидкость препятствует проникновению в нее любого тела. Так будет и с шаром. Шар встретит сопротивление жидкости. Для преодоления этого сопротивления нужно затратить работу. Работа эта, в лучшем случае, будет равна работе всплытия шаров на поверхность. Следовательно, без дополнительного источника энергии цепь не может прийти в движение.

ЕЩЕ РАЗ О КОЭФФИЦИЕНТЕ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Когда речь шла о к. п. д. двигателей, мы заметили, что важнейшей научной и технической проблемой является увеличение количества энергии, превращенной двигателем в полезную работу. В двигателе происходит цепь превращений различных форм энергии. Рассмотрим, например, превращение энергии в автомобильном двигателе. Бензин — источник энергии. Он впрыскивается в цилиндр. Смесь бензина с воздухом (рабочая смесь) зажигается электрической искрой. Происходит химическая реакция горения. Она сопровождается выделением большого количества теплоты. Энергия химическая переходит в тепловую. Получив известное количество теп-

лоты, газ в цилиндре расширяется и двигает поршень и связанную с ним систему рычагов и шестерен, передающих усилие на ведущие колеса автомобиля. Таким образом, теплота превращается сначала в кинетическую энергию поступательного движения поршня, затем в кинетическую энергию вращения вала, шестерен и колес.

При сгорании 1 кг бензина выделяется около 11 000 ккал теплоты. Из одной килокалории теплоты всегда получается $\frac{1}{427}$ кГм механической энергии. Если бы вся энергия, выделяющаяся при сгорании бензина, превращалась в механическую энергию движения автомобиля!

Проведем небольшой расчет. К. п. д. автомобильных двигателей легковых автомашин равен в лучшем случае приблизительно 30%. Это значит, что на 100 единиц затраченной энергии получается 30 единиц полезной работы. Иначе говоря, если вы налили в бензобак 10 л бензина, то на движение автомобиля расходуется энергия 3 л. Куда же девается энергия остальных 7 л. Прежде всего она тратится на преодоление сил трения, неизбежно возникающих между поршнем и стенками цилиндра, между шестернями и во всех сочленениях. Трение приводит, как известно, к нагреванию двигателя.

Можно ли избежать этих потерь? Нет, ибо от трения не избавишься. Его можно только уменьшить, совершенствуя систему смазки. Но это не главное. Львиная доля энергии топлива летит в воздух. Все ощущали горячее дыхание двигателя, выбрасывающего через выхлопную трубу продукты сгорания рабочей смеси.

Можно ли избежать этих потерь?

Невозможность вечного двигателя второго рода

Оказывается, нельзя. Невозможно построить двигатель, который, вольно выражаясь, не выбрасывал бы энергию на ветер. В физике этот факт формулируется так: невозможно построить такую тепловую машину, которая бы полностью превращала теплоту в работу.

Здесь мы сталкиваемся с другой важнейшей стороной закона сохранения и превращения энергии. Оказывается, превращение одной формы энергии в другую происходит неодинаково.

В опыте Джоуля потенциальная энергия падающих грузов полностью превращалась в теплоту. В теплоту все формы энергии могут переходить полностью. А обратное превращение — получение из теплоты других форм энергии — протекает более сложным путем. *Энергия, заключенная в нагретом теле, не теряется, но при превращении в нужные нам формы энергии она рассеивается.*

Обратимся к уже рассмотренному примеру двигателя внутреннего сгорания. Что означало бы полное превращение теплоты горючей смеси в кинетическую энергию поршня? Такое полное превращение произошло бы в том случае, если бы все молекулы горючей смеси дружно полетели к поршню, ударились о него и остановились. Тогда вся энергия всех частиц перешла бы к поршню. Но такой процесс невозможен.

Частицы горючей смеси находятся в состоянии хаотического теплового движения. Они сталкиваются не только с поршнем, но и со стенками цилиндра. При ударах молекул происходит нагревание: греются и стенки цилиндра, и поршень; теплота передается по всему телу двигателя и излучается в воздух.

Но это полбеды. Главное заключается в том, что при столкновениях молекулы отдают только часть своей энергии. Отскочив от поршня, они продолжают двигаться, только с несколько меньшей скоростью. И эти молекулы, далеко не израсходовавшие всего запаса своей энергии, мы вынуждены выбрасывать в воздух. Ведь работа двигателя циклична: рабочая смесь засасывается, воспламеняется, двигает поршень; затем выбрасывается; происходит выхлоп, поршень возвращается в исходное положение. В воздух выбрасывается горячий газ, а вместе с ним и львиная доля того количества теплоты, которая выделяется при воспламенении горючей смеси. Такова вторая и главная причина, обуславливающая невозможность полного превращения теплоты в полезную энергию.

Подчеркнем еще раз, что энергия, выделяющаяся при воспламенении горючей смеси, не теряется. Часть ее идет на нагревание тела автомашины, часть на нагревание окружающего воздуха, куда выбрасываются отработанные газы, и только меньшая часть превращается в нужную для движения автомашины кинетическую энергию поршня.

Со времени изобретения паровой машины родилась мечта о двигателе, который бы ничего не выбрасывал на ветер, а превращал бы в полезную энергию всю теплоту, выделяющуюся при сгорании топлива. Такой двигатель получил название вечного двигателя второго рода.

Вечный двигатель второго рода невозможен — так формулируется один из важнейших законов современной физики. Этот закон тесно связан с законом сохранения и превращения энергии. Он указывает на определенную направленность процессов превращения различных форм энергии.

Как же увеличить к. п. д. двигателя?

В 1824 году молодой французский физик Сади Карно опубликовал замечательный труд «Размышления о движущей силе огня». Карно показал, что к. п. д. теплового двигателя η определяется по формуле:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Здесь T_1 — температура нагревателя, а T_2 — температура холодильника. Под температурой нагревателя подразумевается температура пара, поступающего в цилиндр паровой машины или рабочей смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания. Температура холодильника это по существу температура окружающей двигатель атмосферы.

Формула Карно показывает, что для увеличения к. п. д. двигателя нужно увеличивать температуру нагревателя и уменьшать температуру холодильника.

Температуру окружающей атмосферы мы бессильны изменить. Остается один путь: увеличивать температуру газа в цилиндре двигателя.

Так и шло развитие техники. Почему в настоящее время паровые машины вытеснены двигателями внутреннего сгорания? Например, паровозы доживают последние годы, на смену им приходят тепловозы, на которых установлены мощные двигатели внутреннего сгорания типа «дизель». Ответ прост. Температура рабочей смеси, горящей в цилиндре двигателя внутреннего сгорания, выше температуры пара, двигающего поршень паровой машины.

Легко сообразить, что повышение температуры нагревателя у тепловых машин имеет предел. Ведь стенки цилиндра имеют определенную температуру плавления. Они обычно чугунные; следовательно, температуру газа в цилиндре нельзя сделать выше температуры плавления чугуна (около 1000°C).



Рис. 9.

Что касается температуры окружающей атмосферы, то ее понижение тоже имеет неприятную сторону. Казалось бы, на севере к. п. д. одного и того же двигателя должен был бы быть выше, чем на юге. Но надо иметь в виду, что для приведения в рабочее состояние двигателя нужно завести и прогреть. Общеизвестно, что в морозы это довольно сложная процедура. По-видимому, тепловые двигатели не сулят нам больших перспектив в отношении увеличения к. п. д.

Мы видим, что природа не очень щедра на энергию, непосредственно обслуживающую наши нужды.

Посмотрите на рисунок 9. Он относится к 1629 году. На нем изображен проект использования энергии сгорающего топлива для приведения в движение прокатного

Механизма. В топке M сгорает топливо, горячие газы поднимаются по трубе CK и в расширенной части K вращают колесо T , связанное системой передач NPR с прокатным механизмом BC . Попробуйте сообразить, каков был бы к. п. д. такой установки.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Закон сохранения и превращения энергии, на первый взгляд, настраивает весьма оптимистически. В природе множество источников энергии, все виды энергии могут превращаться друг в друга. Бери и используй.

Однако практически дело обстоит не так просто. За каждым процентом к. п. д. тепловых двигателей скрываются колоссальные усилия большого коллектива ученых и инженеров. В жестокой борьбе человека с природой каждый шаг вперед стоит величайшего труда.

Еще в конце прошлого века стало известно, что в атомах вещества скрыты гигантские запасы энергии. Один из величайших физиков XX века, Эйнштейн, показал, что во всяком теле массой m заключена энергия E , вычисляемая по формуле:

$$E = mc^2,$$

где c — скорость света, равная 300 000 км/сек. Легко подсчитать, сколько энергии заключено, скажем, в 1 кг каменного угля: $E = 1 \text{ кг} \cdot (300\,000\,000 \text{ м/сек})^2 = 90\,000\,000\,000\,000\,000$ джоулей.

Вспомним, какому количеству теплоты эквивалентно такое количество энергии: 1 джоуль = 0,24 калории.

Следовательно, при полном превращении энергии, заключенной в 1 кг каменного угля, выделилось бы $0,24 : 90\,000\,000\,000\,000\,000$ калорий.

Это число трудно даже выговорить. Лучше воспользоваться сравнением.

Как уже говорилось, при сгорании 1 кг угля выделяется количество теплоты около 8000 килокалорий, или 8 000 000 калорий. Горение — химическая реакция. Она приводит лишь к частичному выделению энергии, заключенной в каменном угле. Полное выделение энергии, согласно формуле $E = mc^2$, давало бы в десятки миллиардов раз больший эффект. Но как добыть эту энергию, превратить ее в работу?

Что пользы в том, что в морской воде содержится золото. Добыча золота из воды обошлась бы во много дороже его стоимости.

В начале нашего века так обстояло дело и с энергией, скрытой в недрах атомов вещества.

Однако ученые и инженеры нашли пути осуществления достаточно экономичного процесса превращения внутриядерной энергии в теплоту и далее в электрическую энергию. В настоящее время работают и строятся атомные электростанции. Атомный двигатель приводит во вращение гребные винты мощного ледокола «Ленин».

Сегодня атомная энергия еще дорога. Но нет сомнения, что в недалеком будущем она станет дешевле энергии, извлекаемой из угля, нефти и газа. Более того, нетрудно подсчитать, через сколько времени иссякнут запасы горючих ископаемых и человечество обратится в основном к энергии атомных ядер. К этому времени овчинка будет стоить выделки.

Возможен, однако, и другой прогноз. Ведь Солнце посылает нам такое количество энергии, что оно при разумном использовании вполне обеспечило бы энергетическую потребность человечества. В настоящее время солнечная энергия используется недостаточно.

Есть два особенно эффективных способа утилизации солнечной энергии. Первый состоит в применении полупроводниковых устройств. Солнечные лучи, падая на такие устройства, вызывают электрический ток. Солнечная энергия превращается в электрическую. На этом пути имеются пока еще серьезные трудности. Они заключаются, с одной стороны, в низком к. п. д. полупроводниковых устройств (они превращают в электрическую энергию в лучшем случае 7—8% энергии солнечных лучей). С другой стороны, полупроводниковые устройства еще дороги. Можно надеяться, что эти трудности в скором времени будут преодолены. Уверенность в успехе на этом пути вселяет плодотворно развивающаяся физика полупроводников.

Второй путь — самый простой и очевидный. Как уже говорилось, тела растений строятся из веществ, заключенных в земле и воде, под воздействием солнечных лучей. Если вы посадили дерево, то оно будет поглощать энергию Солнца и превращать ее в полезные для человека вещи. Ведь из дерева путем химической переработки

можно получить и ткань, и бумагу, и разнообразные пищевые продукты. Дерево служит и прекрасным строительным материалом, и топливом. Если речь идет о плодовых растениях, то здесь энергия Солнца непосредственно дает продукты питания.

Производя посадки растений, мы не только утилизируем солнечную энергию, но и украшаем Землю.

Человеческая деятельность оказывает мощное влияние на направление превращений энергии. Кинетическая энергия воды и ветра превращалась бы в теплоту, которая рассеивалась бы в мировом пространстве, если бы человек не превращал ее в полезные виды энергии. Обрабатывая землю, внося удобрения, человек создает условия, благоприятствующие консервации солнечной энергии в растениях. Развитие науки указывает все новые и новые пути разумного использования энергетических ресурсов на благо человека.

Интересно, полезно знать

Происхождение солнечной энергии

Солнце является колоссальным резервуаром энергии, оно щедро рассеивает ее в мировое пространство. Земля получает лишь некоторую часть этой энергии. Какова природа солнечной энергии? Какие превращения порождают ее?

Высказывались следующие гипотезы.

1. На поверхность Солнца падает огромное количество метеоров. При ударах происходит нагревание. Солнце раскаляется так же, как раскаляется свинцовая плита, если обстреливать ее из пулемета.

2. В наружных слоях Солнца происходят химические реакции, порождающие тепло. Теплоты выделяется так много, что Солнце раскаляется.

3. Солнце — жидкое тело. Под действием силы притяжения планет жидкость приходит в движение: происходят приливы и отливы. Кинетическая энергия жидкости в результате трения между слоями переходит в теплоту. Солнце раскаляется.

4. Температура в недрах Солнца очень высокая — миллионы градусов. При таких высоких температурах происходят ядерные реакции — легкие ядра сливаются, образуются более тяжелые ядра; при этом выделяется огромное количество энергии, которая и рассеивается в пространстве в виде солнечного излучения.

Подсчеты показали, что справедлива лишь последняя гипотеза. Ни метеоры, ни приливы и отливы, ни химические реакции не в состоянии поставить то количество энергии, которое излучается Солнцем.

Упражнения для читателя

1. Попробуйте объяснить самостоятельно, почему невозможен вечный двигатель, изображенный на рисунке 10.

Внутри колеса устроены спиральные ходы. Шарик лежит в них левее линии, проходящей через ось колеса. Таким образом, под действием веса шариков колесо должно прийти во вращение. Когда какой-либо шарик оказался внизу, вращающееся колесо по желобу А забрасывает его к центру.

Чтобы ответить на поставленный вопрос, следует иметь в виду, что здесь потенциальная энергия опускающегося шарика пе-

переходит в кинетическую энергию вращения колеса, а последняя идет на подъем шарика на ту же высоту.

2. В середине XIX века американская общественность с надеждой следила за работой талантливого изобретателя, который хотел устроить вечный двигатель из комбинации паровой и электрической машины. По мысли автора, двигатель должен работать так:

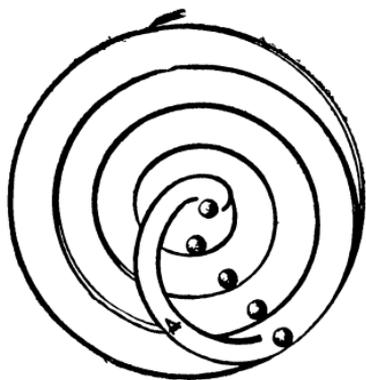


Рис. 10.

энергия электрического тока, которую дает электрический генератор, превращается в тепло; последнее нагревает котел паровой машины. Паровая машина приходит в действие и вращает связанные с ней ротор электрического генератора и другой какой-либо механизм. Таким образом, паровая машина должна была бы давать больше энергии, чем в нее вложено.

Объясните, в чем заблуждение изобретателя.

3. Величайший из водопадов—Ниагарский водопад на реке Колумбия в Америке. Здесь каждую секунду 7500 кубометров воды низвергается в пропасть глубиной 50 м.

Кубический метр воды весит 1000 кг. Подсчитайте, сколько энергии в одну секунду может быть получено от Ниагарского водопада за счет потенциальной энергии низвергающейся воды. Энергию скольких средних лошадей может заменить Ниагарский водопад?

Решите задачи

1. Определить силу сопротивления, преодолеваемую резцом строгального станка, если двигатель станка производит работу в 100 кгм при перемещении резца на расстояние 0,2 м.
2. Одинаковую ли мощность развивает человек, всходя по одной и той же лестнице один раз в течение 30 секунд, а другой — в течение 1 минуты.
3. Механическая лопасть, приводимая в движение мотором мощностью в 5 лошадиных сил, поднимает 1000 кг песка на высоту 5 м в течение 30 секунд. Каков к. п. д. установки?
4. При равномерном движении со скоростью 30 км/час автомобиль развивает силу тяги в 270 кг. Какова мощность двигателя?
5. Мотор мощностью 20 лошадиных сил, поставленный на автомобиле, при движении по хорошей дороге может обеспечить скорость 90 км/час. Тот же мотор, поставленный на моторной лодке, сообщит ей скорость не более 15 км/час. Какова сила сопротивления движения автомобиля и моторной лодки?
6. Сколько воды можно выкачать из колодца глубиной 10 м в течение 1 часа насосом с электродвигателем мощностью в 10 лошадиных сил?

Энгельс Ф. Дialeктика природы. М., Госполитиздат, 1955, 328 стр.

В этом труде Энгельс дает философское обобщение выводов современного ему естествознания. Подходя к природе как материалист-диалектик, Энгельс изображает ее как единое бесконечное, как «всеобщую связь развития», как исторический процесс развития материи. Он показывает, что познание взаимной связи процессов, совершающихся в природе, двинулось гигантскими шагами вперед особенно благодаря трем великим открытиям естествознания XIX века: открытию животной и растительной клетки, учению Дарвина о развитии животных и растительных организмов и открытию закона сохранения и превращения энергии.

Пугачев Е. М. Великий закон природы. М., изд-во «Знание», 1961, 31 стр. (Всесоюзное общество по распространению политических и научных знаний).

Кратко изложив основные предпосылки открытия закона сохранения и превращения энергии, автор основное внимание уделяет освещению методологического (философского) значения этого закона в свете философской борьбы, развернувшейся вокруг него в конце XIX и начале XX века. Он отмечает, что закону принадлежит видное место в опровержении религиозных догм о сотворении мира богом, о первом божественном толчке, якобы однажды приведшем мир в движение. Закон не просто утверждает, а доказывает, что движению в природе неоткуда взяться и куда исчезнуть, что движение вечно, как и материя, которой оно внутренне присуще.

Гельфер Я. М. Закон сохранения и превращения энергии в его историческом развитии. М., Учпедгиз, 1958, 258 стр., с илл.

Истоки закона сохранения и превращения энергии уходят далеко в глубь веков, к тому блестящему периоду в истории человечества, которой связан с развитием древней Греции и Рима.

Открытие его, отмечает автор, было подготовлено всем ходом развития общественной практики, промышленности, техники и достижениями наук о природе.

Дальнейшее развитие закона сохранения энергии связано с современными открытиями физики, в том числе с открытием теории относительности и использованием атомной энергии.

Несмотря на то, что книга довольно сложна и предназначена в первую очередь для учителей, она может представлять интерес для всех интересующихся этими вопросами.

Астахов К. В. Атомная энергия и пути ее практического использования. М., Воениздат, 1957, 280 стр., с илл.

Автор стремился установить непосредственную связь между основными законами естествознания — законом вечности материи и законом сохранения энергии с конкретными методами использования ядерной энергии. Он показал, что в свете основных законов естествознания вопрос об использовании ядерной энергии приобретает ясность и наглядность.

Краткий словарь к тексту брошюры

Ватт — единица измерения мощности, равная 1 джоулю в секунду.

Джоуль — единица измерения количества работы или энергии, равная работе, совершаемой электрическим током в течение 1 секунды при мощности в 1 ватт.

Закон рычага — закон, согласно которому выигрыш в силе достигается проигрышем в пути, на котором эта сила действует.

Калория — единица измерения количества теплоты; количество теплоты, необходимое для нагревания 1 г воды на 1°C.

Килокалория — единица измерения теплоты, равная 1000 калорий.

Масса тела — мера инерции тела. Чем больше масса, тем труднее привести тело в движение.

Сила трения — сила, возникающая при относительном перемещении соприкасающихся поверхностей тел.

Сила тяжести — сила, которая обусловлена притяжением любого тела Землей.

Электроманитное излучение — поток электромагнитной энергии. Одним из видов электромагнитного излучения является видимый свет.

О ЧЕМ РАССКАЗЫВАЕТСЯ В ЭТОЙ КНИЖКЕ

Вечный двигатель	4
Работа	5
Мощность	6
Кoeffициент полезного действия тепловой машины	10
Механический эквивалент теплоты	11
Понятие энергии	13
Превращения энергии	17
Сохранение энергии при превращениях	21
Формулировка закона сохранения энергии	25
Почему же невозможен вечный двигатель?	25
Еще раз о коэффициенте полезного действия	27
Перспективы энергетики	32
Приложение: «Интересно, полезно знать»	
Происхождение солнечной энергии	35
Упражнения для читателя	35
Советуем прочитать	37
Краткий словарь к тексту брошюры	38

Автор *Виктор Михайлович Дуков*

Редактор *А. С. Нехлюдова*,

Техн. редактор *А. С. Назарова*

Корректор *Э. А. Шехтман*

Обложка художника *Р. Г. Алеева*

Сдано в набор 21/VII 1961 г. Под. к печ. 25/IX 1961 г. Изд. № 300
Формат бум. $84 \times 108^{1/32}$. Бум. л. 0,625. Печ. л. 1,25 (условн. 2,05 п. л.)
Уч.-изд. л. 1,86 А 08856 Цена 6 коп. Тираж 12000 Заказ 2368

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

6 коп.

