



Борис Викторович Булюбаш, кандидат физико-математических наук, историк науки. Автор книг: «12 сюжетов о нижегородской науке» (2012); «Из истории физики: портреты и сюжеты» (2016); «Мистер нейтрино: страницы биографии академика Понтекорво» (2019). Соавтор монографии «Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX в.» (1995).

Это не биография, это нечто большее. Автор показал, как развивалась научная мысль со всеми ошибками и заблуждениями. Читая книгу, невольно следуешь мыслям ученых, их внутренней логике, чувствуешь все сложности усвоения новых парадигм научным сообществом.

*В.Ю. Ковалев, учитель физики
нижегородского лицея №40,
заслуженный учитель России*

Джоуль и другие — история великого экспериментатора, владельца частной физической лаборатории, не получившего систематического образования, однако признанного одним из трёх авторов закона сохранения энергии и явившегося одним из основоположников молекулярно-кинетической теории. «И другие» — это М. Фарадей, Э.Х. Ленц, У. Томсон, Дж. Тиндаль, П. Тэт, Р. Майер.

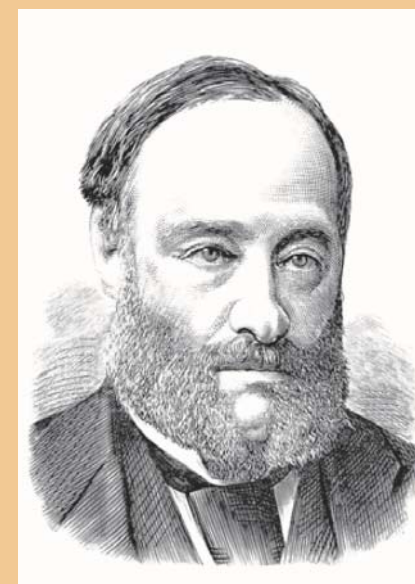
Английская наука викторианской эпохи — время, когда великие открытия совершали люди, движущей силой которых была любовь к Знанию, а не стремление к богатству или высокой должности. Своевременная книга, которая напечалит современным (будущим) учёным, инженерам и конструкторам о том, что «важнейшая функция науки — помогать человеку совершенствоваться». Совершенствоваться и совершенствовать мир, в котором он живёт.

В.Н. Чувильдеев, доктор физико-математических наук, профессор, директор НИФТИ ННГУ им Н.И. Лобачевского

Б.В. Булюбаш Джоуль и другие

Б.В. Булюбаш

Джоуль



и другие



Оглавление

Предисловие	6
Литература.....	9
Структура книги.....	9
Благодарности.....	10
 <i>Глава 1. Джоуль и электрическая эйфория.....</i>	 <i>11</i>
Детство и юность. Частные уроки у Джона Дальтона	12
Гальванометр, соленоид, электромотор... ..	14
Электродвигатель: от романтических прогнозов к суровой реальности.....	18
Мориц Якоби и Джеймс Джоуль.....	21
Литература.....	22
 <i>Глава 2. Джоуль и Ленц.....</i>	 <i>23</i>
Эмилий Христианович Ленц.....	24
Нужен ли электродвигателю источник энергии?.....	25
Авторитет экспериментатора: Джоуль против Ленца.....	26
Джоуль и общество «Lit & Phil»	28
Где рождается теплота	29
Механическая «ценность» теплоты.....	31
Судьбы творцов закона	33
Литература.....	37
 <i>Глава 3. «Силы» и энергия: Фарадей против Джоуля.....</i>	 <i>38</i>
Про «силу» и энергию.....	39
Популярный тепловод	40
Джоуль против Фарадея.....	41
О законе Джоуля–Ленца и слепоте Лондонского королевского общества	42
Фарадей и ранняя история закона сохранения энергии	44
«Не проникся в полной мере новым видением ситуации...».....	45
Механический эквивалент теплоты	46
Фарадей — рецензент Джоуля. Слова против слов.....	47
О разрушении неразрушаемой «силы»	48
«Сила» Джоуля и «сила» Фарадея.....	49

Кому и для чего нужна наука?.....	50
Литература.....	51

Глава 4. Джоуль, Майер и другие:

спор длиною в полтора десятилетия.....	52
Медаль Королевского общества.....	52
Джоуль и Майер	53
Роберт Майер: наука и жизнь.....	56
«Силы» Роберта Майера	57
Неизвестный эксперимент известного химика	59
Начало приоритетного спора	61
Признание с оговорками	63
Спор о приоритете: неожиданное продолжение	64
Участники спора.....	64
Полемика на страницах Philosophical Magazine	65
Почему Джон Тиндаль реанимировал старый спор?	66
Джон Тиндаль vs Питер Тэт	67
Джоуль и Тиндаль	69
Луна горячая?	70
Финал спора	70
Литература.....	71

Глава 5. Джоуль и Томсон.....	74
Встреча в Оксфорде	74
Признание	76
Неуничтожимая <i>vis viva</i>	76
Водопад как возможный объект научного исследования	78
О судьбе научных инструментов	82
Виктор Реньо и несостоявшийся приоритетный спор	83
Как измерить неидеальность газа?	84
Жжение в пальце и «падающие звезды»	86
Литература.....	89

Глава 6. Джоуль: физик vs пивовар.....	91
Проблемы реконструкции	91
Термометры и пивовары.....	95
Джоуль — пивовар, желающий стать физиком?	95
Литература.....	100

Глава 7. Джоуль и научное сообщество: новые измерения	101
Член Лондонского королевского общества, почетный доктор Оксфорда, et cetera.....	101
Механический эквивалент теплоты и подводный телеграф	102
Джоуль проверяет Максвелла	103
Пенсионная история.....	106
Память.....	110
Литература.....	110
 Основные даты жизни и научного творчества Джеймса Джоуля	 112

*Я убеждён, что сделал кое-что полезное,
но ничего, из-за чего стоит создавать шумиху*

Дж. Джоуль

Предисловие

Биография Джеймса Прескотта Джоуля — английского физика викторианской эпохи, признанного одним из трех авторов закона сохранения энергии — весьма нетипична. Джоуль не учился в университете; с 16 лет работал на пивоваренном заводе своего отца Бенджамина Джоуля. Все свои открытия он сделал в свободное от основной работы время. Местом этих открытий была лаборатория с уникальным набором инструментов. Расходы по оборудованию и лаборатории и исследований Джеймса взял на себя Бенджамин Джоуль.

В итоге лаборатория Джоуля была единственной в Англии девятнадцатого столетия частной физической лабораторией. Это означало, что в выборе тематики своих исследований Джоуль был свободен. В ситуации, когда научное сообщество не проявляло интереса к его работе, он продолжал ее — продолжал измерять механический эквивалент теплоты.

Терпение и настойчивость Джоуля были вознаграждены. В итоге концепция механического эквивалента теплоты стала составной частью учения о сохранении энергии. А Джоуль — в период с 1840 по 1870 г. — стал абсолютным рекордсменом по числу упоминаний в вышедших в этот период статьях и книгах, посвященных физике тепловых явлений.

Литература о Джоуле на русском языке практически отсутствует. Возникло желание заполнить этот пробел в отечественной историко-научной литературе. Кроме того, привлекала сама по себе английская наука. Вот как характеризуют ее сами англичане — представители научного сообщества — в петиции, предлагающей назначить Джоулю государственную пенсию. Петиция была адресована премьер-министру Б. Дизраэли. «До сих пор научная репутация этой страны среди других европейских стран в большей степени определялась достижениями отдельных личностей, нежели вкладом больших групп. Этими достижениями мы обязаны

усилиям людей, мотивацией для которых была в большей степени любовь к знанию, а не занимаемая ими должность».

В превосходных выражениях описывал характерные для английской науки методы познания Павел Флоренский: «Ей дорог сырой факт, ей дорога природа и дорого описание действительно-сти посредством символов, избираемых всякий раз наиболее соответственно умственному складу данного исследователя».

Джеймс Прескотт Джоуль, владелец физической лаборатории с уникальными термометрами, которыми умел измерять температуру только он сам, прославился не только как физик-экспериментатор. Его имя упоминается в истории астрономии как первого, кто проанализировал выделение теплоты при движении метеоров в земной атмосфере. Джоуль также является одним из основ основоположников молекулярно-кинетической теории: он впервые рассчитал давление газа, исходя из представления о молекулах как движущихся прямолинейно упругих шариках.

Что касается идеи сохранения энергии, то здесь Джоуль следует традиции Ньютона и Бойля, считавших Создателя автором законов природы. «Могучие силы природы, созданные велением Творца, неразрушимы; и во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, всегда получается точное эквивалентное количество тепла». Это цитата — из статьи Джоуля в научном журнале. В публичной лекции, прочитанной 28 апреля 1847 г. в библиотеке манчестерской церкви Св. Анны, Джоуль, не ограниченный рамками научного издания, был свободнее в изложении своих взглядов.

Впечатляющий фрагмент этой лекции приводят в научном бестселлере «Порядок из хаоса» его авторы, лауреат Нобелевской премии Илья Пригожин и журналистка Изабелла Стенгерс: «Явления природы, механические, химические или биологические состоят почти полностью из непрерывного превращения тяготения на расстоянии, живой силы (кинетической энергии) в тепло и наоборот. Тем самым поддерживается порядок во Вселенной: ничто не растрачивается, ничто не утрачивается, а весь механизм при всей своей сложности работает слаженно и гармонично. И хотя, как в ужасном видении пророка Иезекииля, “казалось, будто колесо находилось в колесе” и все кажется сложным и вовлеченным в хитросплетения почти неисчерпаемого многообразия причин, следствий превращений и выстраивания в определенной последовательности, тем не менее сохраняется идеальный порядок и все бытие послушно непререкаемой воле бога».

Важнейшая функция науки, считает Джоуль, состоит в том, чтобы помогать человеку совершенствовать себя, развивая спо-

способность удивляться созданному Творцом. Совершенствовался и сам Джоуль. В первые годы его научной биографии его квалификация как ответственного экспериментатора нередко ставилась под сомнение. Именно по этой причине у закона Джоуля–Ленца два автора: петербургский физик Эмилий Ленц, знакомый с соответствующей работой Джоуля, тем не менее решил перепроверить полученные им результаты.

Джоуль слышал критику и его «работа над ошибками» была замечена. Так, в 1847 г. вышел в свет один из важнейших текстов в истории закона сохранения энергии — монография немецкого естествоиспытателя Германа Гельмгольца «О сохранении силы». Гельмгольц, обсуждая эксперименты Джоуля, в том числе пишет: «его методы измерения мало соответствуют сложности изучаемого явления...». В 1881 г. мемуар «О сохранении силы» был переиздан. В новом издании Гельмгольц помещает следующее примечание к своей реплике: «Это суждение относится только к первым, сделавшимся известными в то время опытами Джоуля. Более поздние опыты того же исследователя, произведенные с глубоким знанием дела и железной энергией, заслуживают глубочайшего удивления».

Внешне Джоуль ничем не напоминал человека с железной энергией. Как вспоминает его биограф Рейнольдс, ростом Джоуль был ниже среднего, был слегка полноват, а его походка и движения рук отличались некоторой нервозностью. Рейнольдс вспоминает «красивую голову» и лицо, на котором запечатлелись длительные напряженные размышления.

При наличии двух работ ни о каком хобби Джоуля говорить не приходится; впрочем, друзья вспоминают о его увлечении «поэзией чепухи», самым известным представителем которой был современник Джоуля Эдвард Лир, особенно прославившийся своими лимериками.

Любовь к «поэзии чепухи» вполне уживалась с консервативностью Джоуля. Он, к примеру, был активным противником метрической системы. В то же время, по-видимому, именно здоровый консерватизм удержал Джоуля от некоторых гипотез, которым была суждена короткая жизнь ...изучая свойства метеоров он — в отличие от Уильяма Томсона и Роберта Майера — не соблазнился гипотезой о том, что источником энергии Солнца являются столкновения метеоров с его поверхностью.

Одна из посвященных Джоулю биографических статей называется «James Joule as Devotee». Devotee — по-русски «подвижник»... В следующем за Джоулем поколении таких подвижников уже не было. Наука окончательно стала профессией.

Литература

- Пригожин И.Р., Стенгерс И. 1986. Порядок из хаоса. М.: Прогресс.
- Флоренский П.А. 1989. У водоразделов мысли // Вопр. истории естествозн. и техн. № 1. С. 67–79.
- Щербаков Р.Н. 2018. Его опыты заслуживают глубочайшего удивления // Энергия: экономика, техника, экология. № 5. С. 58–67.
- Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester.
- Kargon R.H. 1977. James Joule as Devotee // Kargon R.H. Science in Victorian Manchester: Enterprise and Expertise. Manchester. P. 49–60.
- Reynolds O. 2012. Memoir of James Prescott Joule. Ulan Press.

Структура книги

В книге семь глав.

Первая глава рассказывает о начальном периоде научной биографии нашего героя. В эти три года Джоуль приходит к выводу о бесперспективности электродвигателей в сравнении с двигателями паровыми и открывает эффекты магнитострикции и магнитного насыщения.

Вторая глава рассказывает о Джоуле и российском физике Эмилии Христиановиче Ленце в контексте закона теплового действия тока.

В третьей главе обсуждается рецензия на статью Джоуля, написанная Майклом Фарадеем.

Героями четвертой главы, помимо Джоуля, стали У. Томсон, Дж. Тиндаль, П. Тэт — участники дискуссии, инициированной письмом Майера в Парижскую Академию наук о своем приоритете в определении механического эквивалента теплоты.

Пятая глава рассказывает о сотрудничестве Джоуля и У. Томсона. Отмечена ключевая роль Томсона в процессе признания Джоуля научным сообществом.

В шестой главе рассказано о гипотезе историка Отто Зибума. Зибум считает, что умение Джоуля измерять температуру сформировалось во время его работы технологом на пивоварне.

В заключительной седьмой главе представлены разные форматы взаимоотношений Джоуля и научных обществ. В том числе рассказана пенсионная история — история успеха научно-го сообщества в целом, уровень консолидации которого убедил

власть назначить Джоулю (вслед за Фарадеем) государственную пенсию.

Порядок глав примерно соответствует временной последовательности описываемых событий, при этом каждую главу можно читать как самостоятельный текст.

Благодарности

Прежде всего я благодарен жене — за уверенность, что книга будет написана и что это случится в обозримом будущем. И за внимание к моим рассказам о том, что еще я собираюсь написать. Ее замечания и предложения всегда были уместными и способствовали улучшению текста.

Я признателен редакции научно-популярного журнала «Природа» за разрешение использовать иллюстрации из моих статей в этом издании.

Джоуль и электрическая эйфория

С Джеймсом Прескоттом Джоулем, английским физиком викторианской эпохи, российский школьник встречается по меньшей мере два раза. Первый раз, когда «проходит» закон сохранения энергии. Джоуль — соавтор одного из самых главных законов физики. В экспериментах Джоуля было доказано существование механического эквивалента теплоты — коэффициента, связывающего единицу измерения механической энергии (джоуль или Дж в системе СИ) и внесистемную единицу измерения количества теплоты (т.е. калорию). В этих же экспериментах было установлено численное значение коэффициента.

Второй раз имя Джоуля появляется в школьном курсе физики в параграфе о тепловом действии электрического тока. Согласно закону Джоуля–Ленца, в проводнике, по которому протекает электрический ток, выделяется количество теплоты, пропорциональное квадрату силы тока и сопротивлению проводника. Закон установили независимо друг от друга Джоуль и российский физик Эмилий Христианович Ленц.

Третий раз имя Джоуля мы встречаем уже в университетском курсе физики — в связи с эффектом Джоуля–Томсона.

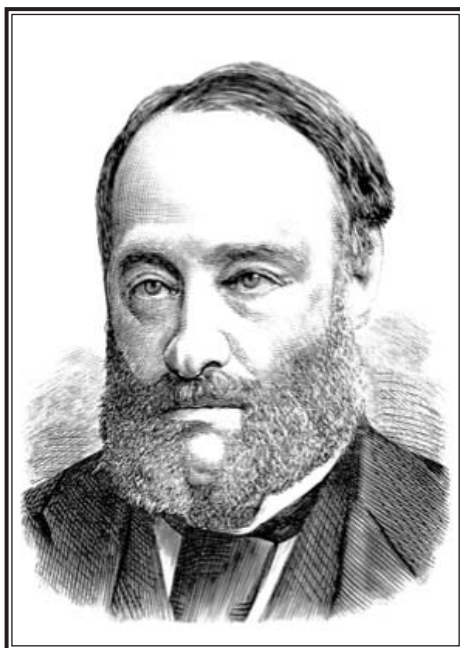


Рис. 1. Джеймс Прескотт Джоуль.

Детство и юность. Частные уроки у Джона Дальтона

Джеймс Джоуль родился 24 января 1818 г. в Солфорде. Джеймс был вторым ребенком в семье Бенджамина Джоуля, владельца пивоваренного завода и Алисы Прескотт. У Джоулей родилось семеро детей, два мальчика умерли в младенческом возрасте. У Джеймса были старший брат Бенджамин, младший брат Джон и две сестры — Алиса и Мэри. Наиболее близкие отношения сложились у него со старшим братом.

Биографы отмечают, что практически у всех членов семьи Джоулей были проблемы со здоровьем. У Джеймса был больной позвоночник; в известной степени это сказалось на его биографии: болезненный вид явно не способствовал популярности Джоуля как лектора.

Из-за проблем со здоровьем Джеймс был освобожден от посещения школы. «За компанию» родители освободили от школьных уроков также и старшего брата. Семья владельца пивоваренного завода могла себе позволить частное образование двум сыно-



Рис. 2. Дом Джоуля в Солфорде, графство Большой Манчестер. Фото Б. Прайса.

вьям. Школу Джеймсу и Бенджамину заменили занятия по различным дисциплинам под руководством опытных тьюторов. А когда Джеймсу исполнилось 16 лет, отец направил его и Бенджамина изучать химию к жившему в Манчестере члену Королевского общества, автору первой систематической теории атомов Джону Дальтону. Известность не гарантировала Дальтону стабильного дохода и знаменитый химик, хотя и получал персональную королевскую пенсию, вынужден был «подрабатывать» частными уроками — тем более, что он обладал несомненным педагогическим талантом. Действительно, по крайней мере четыре «частных» ученика Дальтона, были избраны в Лондонское королевское общество. На протяжении трех лет два раза в неделю Джеймс и Бенджамин были собеседниками выдающегося человека. В апреле 1837 г. Дальтон заболел, регулярные занятия прекратились, но между учениками и учителем на всю жизнь сохранились теплые отношения. Частные уроки Дальтона биографы Джоуля рассматривают как важный этап в формировании его как самостоятельного исследователя. Позже Джоуль вспоминал: «У Дальтона была редкая способность настраивать своих учеников на поиск научной истины; именно его уроки сформировали у меня желание приобретать знание в оригинальных исследованиях».

Нет сомнения, что именно Дальтон передал ученику свои убеждения в реальном существовании атомов. Не случайно Джоуль стал одним из основоположников молекулярной кинетической теории (МКТ). В то самое время, когда подавляющее большинство физиков — современников Джоуля, рассматривали атом как не более чем удобную модель, сам он был сторонником реаль-

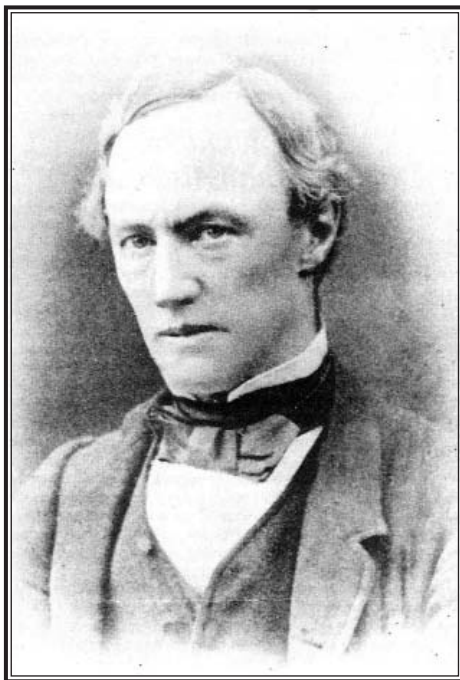


Рис. 3. Старший брат Джеймса Джоуля Бенджамин Джоуль.



Рис. 4. Президент общества “Lit & Phil” Дж. Дальтон. 1823 г. (портрет из коллекции Музея науки в Лондоне, Великобритания).

ного существовании мельчайших структурных единиц вещества.

Неподдельный интерес к изучению окружающего мира объединял Джеймса и Бенджамина. В подростковом возрасте братья увлеченно и хаотично изучали природные явления. Хаотичность, впрочем, компенсировалась регулярными записями наблюдений. В научных развлечениях братьев Джоулей приоритет принадлежал электричеству. Вдохновленный опытами Франклина, Джоуль запускает воздушного змея; к змею привязана проволока, с помощью которой, экспериментатор извлекал из атмосферы электрический заряд. На себе и на друзьях Джеймс изучает интен-

сивность разряда лейденской банки и примитивных электрических машин. А силу тока от вольтовой батареи определяет по реакции девочки-служанки (!). Объект исследования сообщал о своих ощущениях (от опыта к опыту напряжение росло) — в итоге девочка потеряла на короткое время сознание. Однажды научным инструментом стало ружье отца: Джоуль изучал с его помощью распространение звука в горах.

Гальванометр, соленоид, электромотор...

Интерес Джоуля к лейденской банке и вольтовой батарее отражал интересы просвещенной части английского общества. Как известно, XIX век вошел в историю как век пара и электричества. При этом паровые двигатели разрабатывались и совершенствовались практически без участия фундаментальной науки (термодинамика как раздел физики сформировалась лишь во второй половине XIX столетия). В случае электричества последовательность

событий была иной и изобретения прикладной науки следовали за открытиями науки фундаментальной. К концу 30-х годов девятнадцатого столетия основные экспериментальные открытия в области электромагнетизма уже были сделаны и предстояло их только освоить.

Таковыми открытиями историк науки Сергей Филонович считает следующие.

В 1800 г. француз Фуркруа открыл тепловое действие электрического тока. Через 20 лет датчанин Ганс Эрстед описывает магнитное действие тока, а Ампер — взаимодействие токов. В том же году Швейгер изобрел первый гальванометр. В 1821 г. Майкл Фарадей продемонстрировал вращение проводника с током в магнитном поле, а Томас Зеебек открыл термоэлектричество. Составив замкнутый контур из двух полуколец, изготовленных из разных металлов и поместив один контакт в кипящую воду, а другой — в ледяную, Зеебек зафиксировал появление в контуре электрического тока.

В 1822 г. Андре-Мари Ампер изготавливает первый соленоид, а в 1825 г. Уильям Стерджен строит первый электромагнит (его грузоподъемность достигает 3,6 кг). В 1826 г. Георг Симон Ом записывает математическую формулировку закона, который впоследствии будет носить его имя. В 1831 г. Фарадей открывает явление электромагнитной индукции и формулирует соответствующий закон, а в 1833 г. он же устанавливает законы электролиза. Кроме того, в 1834 г. Пельтье обнаружил эффект, обратный эффекту Зеебека.

Далее следуют сразу три открытия, автор которых — Джеймс Прескотт Джоуль (при том, что только одно из них имеет отношение к закону сохранения энергии). А именно: в 1840 г. Джоуль описывает явление магнитного насыщения (существование максимального значения намагниченности образца), далее экспериментально устанавливает закон теплового действия тока, а в 1842 г. открывает магнитострикционный эффект (изменение размеров намагничиваемого образца).

Все эти открытия сделал молодой человек без систематического образования, занимавшийся наукой по собственной инициативе в свободное от основной работы время. «Основной работой» Джеймса Джоуля была пивоварня отца. Предметом особого интереса Джоуля были электромагниты — неотъемлемые части электродвигателя.

В Англии интерес к таким двигателям резко возрос после публикации в 1835 г. статьи российского физика из г. Дерпта, действительного члена Кенигсбергского физико-экономического об-



Рис. 5. Б.С. Якоби, литография Э. Хау. 1837 г. (портреты профессоров Императорского университета в Дерпте. Библиотека Тартуского университета, Эстония, № UR868).

щества (а в недалеком будущем и ординарного академика Петербургской Академии наук) — Морица Германа (в России — Бориса Семёновича) Якоби. В своей статье Якоби описал первую модель электродвигателя. Статья вышла в свет в одном из французских журналов и вскоре была переведена на основные европейские языки.

Что представлял собой построенный Якоби электродвигатель? Он состоял из вращающейся (ротор) и неподвижной (статор) частей. На роторе и на статоре были закреплены электромагниты; силы взаимодействия электромагнитов ротора с электромагнитами статора обеспечивали вращение ротора. Направление тока в

ротора регулярно изменялось так, чтобы в данный момент времени на него действовала сила притяжения со стороны электромагнита статора, ближайшего к нему по ходу вращения. За время полного оборота вала электродвигателя полярность электромагнитов изменялась восемь раз. Соответственно скорость вращения ротора постоянно увеличивалась. По словам биографа Джоуля Д. Кардвелла, «инженеры хорошо представляли себе энергию, которую можно было получить от пара, от ветра или от угля... но что за сила была спрятана в вольтовом столбе — источнике энергии для электродвигателя»? По мере работы парового двигателя количество угля визуальное уменьшалось; с гальваническим же элементом никаких видимых изменений не происходило.

Одним из главных достоинств электродвигателя конструкции Якоби был совершенно новый принцип использования электромагнетизма для непосредственного получения постоянного кругового движения вместо бесперспективных попыток получения в электромагнитных машинах поступательно-возвратного движения.

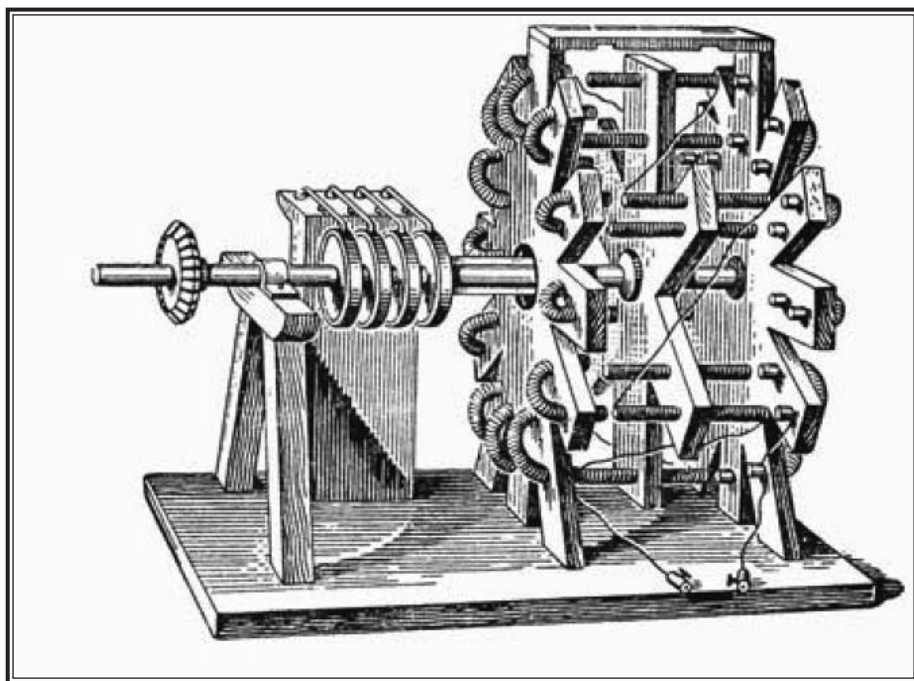


Рис. 6. Электродвигатель конструкции Якоби.

В Санкт-Петербурге была создана правительственная Комиссия по приложению электромагнетизма к движению судов по способу профессора Якоби; в 1837 г. в ее состав был включен Ленц.

Связанные с появлением электродвигателя ожидания были сродни своего рода «электрической эйфории», а потому вполне естественным стало появление журнала, почти полностью посвященного электричеству. Издателем журнала «Анналы электричества» («Annals of Electricity and Guardian of Chemistry and Experimental Sciences»), первый выпуск которого вышел в 1836 г., был изобретатель электромагнита и популяризатор науки У. Стерджен. В журнале публиковались, в том числе, переводы наиболее резонансных статей; в частности, в 1836 г. был напечатан английский перевод статьи Якоби про электродвигатель.

Электродвигатель: от романтических прогнозов к суровой реальности

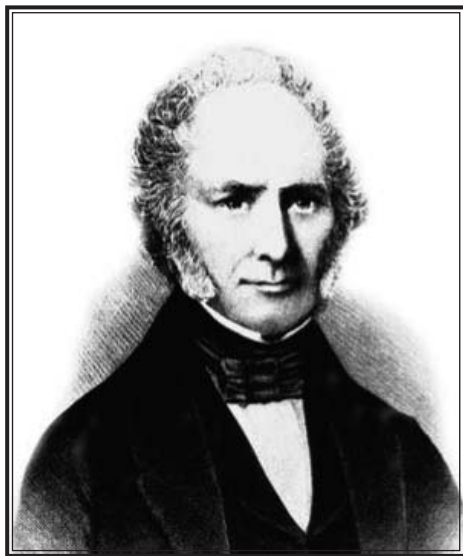


Рис. 7. У. Стёрджен, издатель журнала “Annals of Electricity and Guardian of Chemistry and Experimental Sciences”. Гравюра по портрету маслом, ныне утерянному.

8 января 1838 г. «Анналы электричества» опубликовали первую статью Джоуля — письмо в редакцию с описанием электродвигателя собственной конструкции. Представляя 19-летнего автора, Стерджен лаконично заметил: «мистер Джоуль намеревается использовать устройство для движения локомотивов и лодок».

Заметим, что согласно биографическому очерку в англоязычной Википедии, электродвигатели интересовали Джоуля как возможная замена паровых двигателей на пивоварне. Всего в 1838–1840 гг. «Анналы электричества» опубликовали восемь писем Джоуля с анализом факторов, влияющих на рабочие характеристики построенного им электродвигателя.

Так, изменение полярностей электромагнита означает перемагничивание его железного сердечника. В связи с этим, Джоуль в деталях изучает реакцию сердечника электромагнита на изменения создаваемого его обмоткой магнитного поля. Он, в частности, обнаружил, что скорость перемагничивания сердечников возрастает, если сплошной сердечник заменить на тонкие железные прутки. Еще одной деталью стал эффект магнитного насыщения, когда увеличение тока в обмотке электромагнита не приводит к увеличению намагниченности сердечника. Так же была открыта магнитострикция.

Возможности электродвигателя Джоуль полагает экстраординарными: так, в шестом письме (публикуется в номере от 31 августа 1839 г.), он высказывает гипотезу об уменьшении в перспек-



Рис. 8. Электромотор, созданный Джоулем в 1838–1841 гг. (экспонат Музея У. Хантера в Глазго, Великобритания, GLAHM No. 113365).

тиве стоимости работы электродвигателя «до бесконечности». Историк науки Роберт Фокс: «Джоуль не представляет, что мотор может совершать работу только за счет какого-то источника энергии. В данном случае — за счет химической энергии, высвобождающейся в ячейке гальванического элемента. По внешним признакам гальванический элемент выгодно отличался от камеры сгорания парового двигателя со сгорающим в ней каменным углем, он казался современникам менее очевидным источником энергии по сравнению с топливом (каменный уголь) парового двигателя. Джоуль был еще достаточно далек и от принципа сохранения энергии и от представлений о процессах превращения энергии из одной формы в другую... он допускал возможность практически неограниченной работы электродвигателя без расходования топлива в какой-либо форме».

Следующее, седьмое по счету, письмо Джоуля, было опубликовано в выпуске журнала от 10 марта 1840 г. За полгода, прошедшие после шестого письма, взгляды Джоуля существенно изменились в правильном направлении. Он устанавливает чрезвычайно важное обстоятельство: определенная масса цинка, израсходо-

ванная в гальваническом элементе, соответствует вполне определенному численному значению совершаемой двигателем механической работы. Фактически мы встречаемся здесь с зарождением концепции сохранения энергии.

Джоуль называет причину, по которой скорость вращения вала электродвигателя не может расти без ограничений. Он фиксирует уменьшение тока при возрастании скорости — этот эффект он объясняет «индуцированным сопротивлением». С увеличением скорости вращения ротора увеличивается скорость изменения магнитного потока — растет индукционный ток. В соответствии с правилом Ленца, его направление противоположно направлению тока от источника. В восьмом письме (выпуск «Анналов электричества» от 28 августа 1840 г.) Джоуль окончательно приходит к выводу о бесперспективности электродвигателей.

Через два дня после выхода в свет последнего письма, 18 февраля 1841 г. двадцатидвухлетний Джоуль подводит итог трем годам своих исследований. Его романтические надежды не оправдались: электродвигатели вошли в нашу повседневную жизнь только через несколько десятилетий с появлением электростанций, а также системы передачи и распределения электрической энергии.

Своеобразным завершением первого этапа научной биографии Джоуля стала публичная лекция, которую по приглашению Стерджена он прочитал в манчестерской галерее практических знаний. Джоуль, в частности, рассказывает об экономической несостоятельности электрических двигателей в сравнении с тепловыми. Он измерил расход цинка в гальваническом элементе (0,45 кг) и соответствующую этому расходу механическую работу. Если сжечь такое же количество угля в паровой машине, мы сможем получить существенно большую работу. Разница в эффективности очевидна, и она будет еще больше, если учесть стоимость цинка по сравнению со стоимостью угля.

Осязаемыми результатами трех лет экспериментов можно назвать открытые Джоулем эффекты магнитострикции и магнитного насыщения. Был, впрочем, и промежуточный результат. Конструируя электромагниты, Джоуль изготовил несколько экземпляров с большой подъемной силой, два таких образца были включены в экспозицию галереи практических знаний. Электромагниты Джоуля произвели впечатление на манчестерского инженера Ричарда Робертса, изготовившего в 1845 г., электромагнит с рекордной для того времени подъемной силой.

Электродвигатели не оправдали ожиданий, а на статьи в «Анналах электричества» никто не реагировал. В этой ситуации

Джоуль принимает единственно правильное решение: изменить направление своих исследований. Он начинает исследовать процессы превращения энергии. Вскоре закрывается галерея практических знаний, а в 1843 г. прекращается издание журнала «Анналы электричества».

Мориц Якоби и Джеймс Джоуль

Тем временем вокруг проекта Якоби происходили следующие события. Российское министерство финансов выделило значительные средства на переезд Якоби в Санкт-Петербург и испытания двигателя в столице российской империи. 8 августа 1839 г. на Неве прошли публичные испытания шестивесельного бота, на котором был установлен модернизированный двигатель конструкции Якоби.

Вот как рассказывала об этих испытаниях газета «Северная пчела» от 26 сентября 1839 г. в заметке: «Новые успехи на поприще электромагнетизма и радостные надежды на будущее». В заметке описывались опыты «над применением электромагнетической силы к судоходству. «Катер с двенадцатью человеками, движимый электромагнетической силой (в $3/4$ л.с. — т.е. мощность мотора равна примерно силе лошади) ходил несколько часов против течения при сильном противном ветре. Этот опыт в области науки то же, что и открытие письменности. Нет еще эпопеи, но мысль уже выражена. Что бы ни было впоследствии, важный шаг уже сделан, и России принадлежит слава применения теории к практике». Журналисты, впрочем, склонны были преувеличивать. Согласно архивным документам источником энергии двигателя была батарея из 64 платиново-цинковых элементов. Двигатель развивал мощность до 1 л.с. (примерно 750 Вт), а скорость лодки достигала 4 верст в час.

Несмотря на успешную презентацию, Якоби в скором времени также пришел к выводу об отсутствии у электрических двигателей каких-либо серьезных перспектив. До появления больших электростанций и генераторов переменного тока этот вывод не подлежал сомнению. В то же время усилия Якоби по совершенствованию источника питания электродвигателя — гальванического элемента — были вознаграждены: он разработал метод получения изображений с помощью гальванопластики. Император распорядился выкупить у Якоби авторские права на метод гальванопластики. Впоследствии Якоби был награжден престижной Демидовской премией.

Двух исследователей электродвигателя — английского ученого-любителя и российского профессора разделяло многое: социальный статус, образование, источники финансирования... И оба использовали приобретенный ими опыт в новых исследованиях. Так, профессор Якоби, несмотря на отсутствие перспектив с электродвигателем, сумел сохранить и расположение властей, и финансирование своих исследований: Якоби разработал метод гальванопластики, стал признанным экспертом в применении этого метода и таким образом вписал свою собственную страницу в историю технической физики.

Джоуль, независимый от внешней конъюнктуры, обратился к общим вопросам физики — к изучению процессов преобразования энергии. т.е. перешел от технической физики к физике фундаментальной

Литература

- Филонович С.Р. 1995. Экспериментальная физика. Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX века. М.
- Яроцкий А.В. 1988. Борис Семенович Якоби. М.: Наука.
- Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester.
- Fox R.M. 1969. James Prescott Joule // Mid-Nineteenth-Century Scientists. L.; N.Y.; Toronto; Paris. P. 72–103.

Джоуль и Ленц

Закон теплового действия тока, он же закон Джоуля–Ленца, определяет количество теплоты Q , выделяющейся за время t в проводнике сопротивлением R при протекании по проводнику тока I :

$$Q = I^2 R t.$$

Сам факт выделения тепла в проводнике с электрическим током к началу 1840-х гг. был хорошо известен. Первую связанную с этим явлением закономерность зафиксировал в 1821 г. английский химик Х. Дэви. Он экспериментировал с проводниками из различных металлов, разной длины и с разной площадью поперечного сечения. При неизменной силе тока количество выделившегося тепла было разным — нетрудно догадаться, что оно изменялось обратно пропорционально удельной проводимости металла, то есть достигало максимума в случае свинца и минимума в случае серебра. Дэви также зафиксировал пропорциональность сопротивления проводника его длине и обратную пропорциональность площади поперечного сечения.

Собственно же закон теплового действия тока установил в серии экспериментов молодой манчестерский физик Дж.П. Джоуль. 17 декабря 1840 г. он представил свою статью «О производстве теплоты voltaическим электричеством» в Лондонское королевское общество. Интересы у экспертов общества статья не вызвала. В качестве компромисса в декабрьском номере 1840 г. журнала, издававшегося Лондонским королевским обществом, был опубликован дайджест представленного материала; целиком же статья уже с измененным названием «О тепле, развиваемом металлическими проводниками электричества и ячейками батареи в процессе электролиза» вышла в свет в журнале «Philosophical Magazine» в 1841 г.

Спустя два года журнал «Annalen der Physik und Chemie» в двух номерах опубликовал статью академика Петербургской академии наук Э.Х. Ленца «О законе выделения тепла в гальваническом токе». Явление выделения тепла в гальваническом токе заинтересовало ученого в связи с опытами швейцарского физика А.О. де ля Рива; согласно де ля Риву количество теплоты и силу тока связывала линейная, а не квадратичная (как у Джоуля) зависимость. Общий объем статьи Ленца составил 70 стр. (а в статье Джоуля было

18 стр.), в ней подробно описаны эксперименты, измерительные приборы и использованные математические модели. Выступая с соответствующим докладом в Академии наук в Санкт-Петербурге 2 декабря 1842 г. Ленц, в частности, сказал: «Исследования, которые я собираюсь доложить Академии, занимают меня уже в течение нескольких лет; они были начаты задолго до появления сообщения Джоуля¹ (в «Philosophical Magazine») в октябре 1841 г., и я полагал, что их следует продолжить, несмотря на то, что мои результаты в основном совпадают с результатами Джоуля, так как опыты последнего могут встретить некоторые обоснованные возражения».

Эмилий Христианович Ленц



Рис. 9. Э.Х. Ленц (портрет из Библиотеки имени Б. Дибнера по истории науки и техники, Смитсоновский Институт, Вашингтон, США).

Эмилий Христианович (Генрих Фредерик Эмиль) Ленц (1804–1865) — русский физик, член Императорской Санкт-Петербургской академии наук, заведующий физическим кабинетом академии. В 1833 г. установил правило (закон) Ленца, позволяющее определить направление индукционного тока. Известен также своими исследованиями по физической географии и как автор популярного учебника физики для гимназий. В 1841–1863 гг. — декан физико-математического факультета Императорского Санкт-Петербургского университета, в 1863–1864 гг. — ректор университета.

По широте научных интересов, интегрированности в государственные институты и социальной активности академик Ленц — пол-

¹ Так Ленц называл Джоуля.

ная противоположность Джоулю, у которого к тому же не было высшего образования, что, впрочем, не помешало его избранию в Лондонское королевское общество.

Нужен ли электродвигателю источник энергии?

Энтузиазм Джоуля в отношении будущего электрических устройств стал причиной возникновения гипотезы, противоречащей, с современной точки зрения, здравому смыслу. Эта гипотеза возникла у ученого при анализе работы гальванического элемента.

В первой главе мы уже цитировали Р.М. Фокса, отмечавшего, в частности, что «Джоуль не осознавал, что двигатель может совершать работу только за счет каких-то других источников энергии, в данном случае за счет химической энергии батареи».

Ленц такой возможности не допускал, при этом, сравнивая процесс горения и химические реакции в элементе, он отдавал безусловное преимущество батарее: горение порождает дым и золу, их обратное превращение в дерево и уголь невозможно. Что же касается гальванического элемента, то металл, который там растворяется, может быть снова выделен без особых затрат. Комментируя предпочтения Ленца, его биографы замечают, что «хотя Ленц и не заблуждался относительно возможности получения даровой энергии с помощью электромагнетизма», он был еще очень далек от понимания процессов преобразования энергии.

Таким образом, можно заметить различие в представлениях о сохранении и превращении энергии у представителей научного сообщества в конце первой половины XIX в. В этой связи интересную информацию находим в «Истории физики» Ф. Розенбергера (впервые изданной в конце XIX в.), в которой написано: «... то, что *perpetuum mobile* все-таки не считалось абсолютно невозможным, ясно видно из следующих слов уважаемого физика Мунке, которые можно найти в “Физической энциклопедии” Гелера (1833). Если речь пойдет о *perpetuum mobile physicae* (физическом вечном двигателе) то не подлежит никакому сомнению, что таковой возможен ибо круговорот вещей в природе длится непрерывно и непрерывно возобновляется». В качестве таковых Мунке² упоминает вращение планет вокруг Солнца и Земли вокруг своей оси. Он упоминает также ежедневные колебания стрелки компа-

² Георг Вильгельм Мунке — профессор физики Гейдельбергского университета.

са, непрерывно текущую реку (что обеспечивается непрерывной сменой испарения и конденсации), непрерывные колебания барометра. Многочисленные конструкции якобы работающих вечных двигателей Мунке относит к совсем другой категории *perpetuum mobile mechanicae*.

Судя по всему, категорического запрета вечного движения в сознании большинства физиков – современников Джоуля не существовало. Что лишний раз говорит об убедительности аргументов Джоуля, сумевшего измерениями механического эквивалента теплоты изменить мировоззрение своих коллег. При первом измерении такого эквивалента использовался электрический ток. Открытие закона теплового действия тока в 1840 г. стало, таким образом, предысторией главного сюжета научной биографии Джоуля – определения механического эквивалента теплоты.

Авторитет экспериментатора: Джоуль против Ленца

Авторитет Джоуля как физика-экспериментатора первоначально не был высоким. Советский историк физики Т.П. Кравец писал: «Ниже автор [т.е. Э.Х. Ленц — Б.Б.] упоминает в самом начале своей статьи о работе Джуля³ на ту же тему. Не будем отнимать от нее ее достоинств; посредством ее сам автор безусловно мог убедиться в существовании той же законности. Но той фундаментальности, строгости и полной убедительности, которая отличает работу Ленца, в ней, конечно, усмотреть нельзя. Напомним, что и в другой самой знаменитой своей работе — в работе по первому определению механического эквивалента тепла — Джуль также удовольствовался весьма приближенным значением этой величины, взяв среднее из очень сильно различавшихся данных отдельных опытов. Но в том случае он впоследствии сам исправил дело рядом замечательных по точности исследований. Здесь же работа Джуля стала убедительной только после работы нашего соотечественника.»

Недостаточную статистическую обработку Джоулем измерений отмечают авторы биографии Ленца. О.А. Лежнева и Б.Н. Ржонницкий пишут: «Джоуль обосновал зависимость от сопротивления четырьмя измерениями и ошибкой примерно 3%, а зависимость от

³ Кравец, вслед за Ленцем, так называл Джоуля.

величины тока установил на основании пяти измерений в интервале температур от 0 до 22 °С, а также: Количество выделяющейся теплоты определялось по изменению температуры жидкости, в качестве которой Джоуль использовал воду, а Ленц 85%-ный спирт, поскольку электропроводность спирта существенно меньше электропроводности воды (что снижало риск утечки)».

Еще одна погрешность была связана со шкалой тангенс-гальванометра. При измерении тока Джоуль использовал шкалу гальванометра до угла в 60°. Ленц же показал, что пропорциональность тока тангенсу угла отклонения не выполняется для углов, больших 40°.

Учтя все эти факты, Кравец сделал вывод: «...работа Джоуля стала убедительной только после работы нашего соотечественника». На самом деле признание научным сообществом работ Джоуля (и той, которую имеет в виду Кравец, и следующей, с использованием индукционных токов вместо гальванических) не было одномоментным и тем более не было следствием работы Ленца.

Эксперименты, в которых Джоулем был установлен, а Ленцем проверен (и подтвержден) закон теплового действия тока, занимают в биографиях этих ученых разное место. Ленц не стал продолжать работы в данном направлении, его следующая статья была посвящена исследованию электродвижущей силы поляризации в электролитах. К тому же 1843 г. он был избран деканом, поэтому возможность проводить самостоятельные исследования существенно снизилась.

Для Джоуля, напротив, открытие закона теплового действия тока стало началом экспериментов по изучению производства теплоты в электрических, химических, механических и жидкостных системах. Именно в тех экспериментах был поставлен вопрос об определении механического эквивалента теплоты и получены первые данные о его численном значении. В конечном счете, выполненные в собственной лаборатории Джоуля измерения такого эквивалента были признаны классическими; мы с полным на то основанием можем, используя фразеологию Кравца, говорить об их полной убедительности и фундаментальности.

Открытый им и пока еще безымянный закон теплового действия тока Джоуль позиционировал как свой вклад в фундаментальную науку, объясняя с его помощью процесс горения. Он напоминал, что, согласно представлениям шведского химика Й.Я. Берцелиуса, за свет и тепло, сопровождающие процесс горения, отвечает электрический разряд между частицами сгорающего вещества

и частицами кислорода. Джоуль предполагал, что выделение тепла в подобных разрядах как раз и описывает открытый им закон теплового действия тока: «Я придерживаюсь мнения, что теплота, выделяющаяся в этом и в некоторых других химических процессах обусловлена электрическим сопротивлением».

Джоуль и общество «Lit & Phil»

Про открытый им закон теплового действия тока и про свое предложение дополнить теорию Берцелиуса Джоуль рассказал в ноябре 1841 г. на заседании Манчестерского литературного и философского общества (The Manchester Literary and Philosophical Society, сокращенно «Lit & Phil»). Участники заседания проявили явный интерес к сообщению. Впервые за четыре года Джоуль увидел заинтересованность научного сообщества своими исследованиями.

Доклад Джоуля произвел впечатление и на президента общества, знаменитого химика Дж. Дальтона, который — впервые — публично от имени общества поблагодарил докладчика за содержательное выступление. В январе следующего 1842 г. Джоуль был избран членом общества и уже в этом качестве участвовал в заседании еще одной общественной организации — британской Ассоциации содействия развитию науки.

Манчестерское литературное общество было вторым по старшинству (после Лондонского королевского общества) действующим научным обществом Англии. Членство в нем позволяло признать человека ученым в эпоху, когда наука еще не была общепризнанной и уважаемой профессией.

Как и другие научные общества, «Lit & Phil» предоставляло своим членам возможность пользоваться обширной и регулярно пополняемой библиотекой. Исключительно важной была также возможность публиковаться в трудах общества. Так, «The Manchester Memoirs» опубликовали 26 из 117 докладов, прочитанных Дальтоном на заседаниях «Lit & Phil». С обществом Джоуль связал всю последующую жизнь. С 1844 г. он занимал должность библиотекаря общества, с 1846 г. — секретаря. Четыре раза Джоуля избирали президентом «Lit & Phil».

Несколько слов необходимо сказать еще об одном научном обществе — об упоминавшейся выше Ассоциации содействия развитию науки. Ежегодные собрания ассоциации проходили в разных британских городах; те собрания оказывали существенное влияние на развитие науки за пределами Лондона. Участие в них

приобщало молодых ученых из провинции к большой науке. Ассоциация не ограничивалась чисто организационными мероприятиями, развернув большую программу грантовой поддержки нестоличной науки. В июне 1842 г. очередное ежегодное собрание проходило в Манчестере. На том собрании (как ранее на заседаниях общества «Lit & Phil») Джоуль представил свою гипотезу, что выделение тепла в процессе горения по своей природе не отличается от выделения тепла током и описывается теми же законами. Статья с изложением этой гипотезы («Об электрической природе теплоты сгорания») была опубликована в 1841 г. Идею Джоуля было невозможно ни подтвердить, ни опровергнуть. Могу предположить, что такая гипотеза была нужна Джоулю, чтобы привлечь внимание научного сообщества к своим исследованиям. По крайней мере однажды — на заседании «Lit & Phil» — ему это удалось.

Где рождается теплота

Еще одна гипотеза Джоуля относилась к тому, что происходит «внутри» электрической цепи с гальваническим элементом. Джоуль предположил, что в химических реакциях, отвечающих за разделение зарядов в батарее в том числе высвобождается скрытая теплота и что электрический ток переносит эту теплоту в остальные участки контура. Гипотеза укладывалась в рамки субстанциальной теории теплоты, согласно которой теплота — не состояние движения частиц вещества, а невесомая субстанция (теплород). Сторонниками концепции теплорода было абсолютное большинство современников Джоуля.

Из обнаруженной Джоулем зависимости $Q = I^2 R t$ с помощью несложных рассуждений можно придти к весьма важным выводам. Действительно, пусть R — полное сопротивление замкнутой цепи, состоящей из гальванического элемента и нагрузки R . Тогда количество теплоты Q , выделившееся в цепи за время t , будет соответственно $Q \sim I^2 R t$. По закону Ома для замкнутой цепи $IR = E$, где E — электродвижущая сила элемента. Тогда $Q \sim It$, т.е. количество теплоты пропорционально прошедшему в цепи электрическому заряду (It), следовательно, массе израсходованного цинка. Джоуль сделал важный вывод: количество произведенной в контуре теплоты пропорционально массе израсходованного цинка.

Еще в 1840 г., изучая электродвигатель и источник питания, Джоуль заметил, что совершенной электродвигателем механической работе всегда соответствовала определенная масса израсходованного в гальваническом элементе цинка. Бóльшей работе со-

ответствовала бóльшая степень уменьшение массы цинка. Исследователь показал, что механическую работу и массу израсходованного цинка связывает прямая пропорциональная зависимость.

К заседанию «Lit & Phil», состоявшемуся в январе 1843 г., в распоряжении Джоуля были данные экспериментов, в которых были измерены: во-первых, количество теплоты (Q), выделяющееся в проводнике с током, во-вторых, совершенная электродвигателем работа (A) и, в-третьих, масса цинка (M), израсходованного за соответствующее время в гальваническом элементе. Выяснилось, что Q и A прямо пропорциональны M . Основываясь на этом, Джоуль сделал несколько заявлений, свидетельствующих, что он близок к признанию пропорциональности теплоты и работы. Он разработал эксперимент с использованием индукционного тока, в котором механическая работа будет полностью превращаться в теплоту. В таком случае станет возможным определить численное значение механического эквивалента теплоты.

О подробностях такого эксперимента — и первого в истории определения уже упоминавшегося выше механического эквивалента теплоты Джоуль рассказал 15 августа 1843 г. на собрании Ассоциации содействия развитию науки в ирландском городе Корке. По просьбе организаторов, сославшихся на переполненность программы физической секции, Джоуль выступал на заседании химической секции. Отчасти ситуация объясняется просто отсутствием на тот момент времени привычных нам границ между физикой и химией. Так, науку о теплоте рассматривали как важнейший раздел химии. Что касается электричества и магнетизма, то они не имели однозначной привязки к какой-то одной дисциплине, а механика, оптика и планетарная астрономия относились к натуральной философии.

Перенос доклада Джоуля в химическую секцию свидетельствовал также и о том, что научное сообщество тематику его исследований не считало актуальной для физики. Содержание доклада представлено в статье «О тепловых эффектах магнитоэлектричества и механической ценности теплоты», в том же 1843 г. опубликованной в «Philosophical Magazine». В названии статьи впервые появляется словосочетание *mechanical value of heat*, в дальнейшем замененное более точным — *mechanical equivalent of heat*.

Гипотеза об электрическом токе как о переносчике теплоты прожила недолго, новый эксперимент Джоуля заставил от нее отказаться. В том эксперименте ученый также проверял, выполняется ли открытый им закон, если ток имеет индукционное происхождение?

Эксперимент выглядел следующим образом. Джоуль вставил в стеклянный сосуд катушку с железным сердечником, наполнил сосуд водой и поместил его между полюсами подключенного к гальваническому элементу электромагнита. Концы проводов катушки с сердечником замкнуты (используются скользящие контакты) через чувствительный гальванометр. Катушку приводят во вращение с частотой 600 оборотов в минуту. При этом четверть часа контур катушки разомкнут и четверть часа — замкнут. Разность между количествами теплоты в обоих случаях должна, соответственно, определяться только индукционным током. Измерения показали, что такая разность пропорциональна квадрату силы тока в катушке и ее сопротивлению. Это означало, что закон теплового действия тока — установленный в отношении тока от гальванического элемента — выполняется также и в случае тока индукционного происхождения. Таким образом, теплота производится непосредственно током и никакого переноса теплоты электрическим током не происходит.

Интересно, что до этого эксперимента Джоуль не высказывал сколь-нибудь явно выраженного несогласия с концепцией теплорода. Как мы видели, его первоначальная интерпретация закона теплового действия тока вполне с этой концепцией сосуществовала.

Эксперимент доказал, что тепло генерируется также и магнитоэлектрическим током. Это означает, что закон, установленный для тока от гальванического элемента, выполняется и для тока индукционного, и что производство теплоты связано именно с током.

Механическая «ценность» теплоты

Затем Джоуль усложнил эксперимент: включил в контур вращающейся катушки дополнительный источник тока — гальванический элемент. Новые измерения показали, что определенному значению тока в интересующей нас части контура соответствует одно и то же количество тепла, выделяющегося в этой части контура в единицу времени. Количество теплоты остается неизменным в трех разных случаях: когда в контуре действует только гальванический элемент, когда ток имеет чисто индукционное происхождение и когда источников тока два — гальванический элемент и электродвижущая сила индукции.

Именно в эксперименте с индукционными токами Джоуль впервые вычислил механический эквивалент теплоты. Для этого он определил затраченную на вращение катушки работу и изме-

рил количество выделившегося тепла. Предположив, что механическая работа численно равна количеству выделившейся теплоты, Джоуль рассчитал среднее значение (по 13 измерениям) механического эквивалента теплоты, который получился равным (в современных единицах) 4,15 Дж/кал (современное значение — 4,184 Дж/кал).

В статье 1843 года Джоуль впервые высказался в отношении природы теплоты: «Если мы рассматриваем теплоту не как субстанцию, но как состояние вибраций, то, кажется, нет причины, почему бы ей не возникать в результате простого механического воздействия».

На этом заканчивается история закона Джоуля–Ленца и начинается другая — история измерений механического эквивалента теплоты, ставшая для Джоуля историей успеха. И закон Джоуля–Ленца, и механический эквивалент теплоты стали сильными аргументами в истории признания идеи сохранения энергии. Выявляя закономерности теплового действия тока, Джоуль обрел навыки физика-экспериментатора высочайшей квалификации.

Как именно Джоуль использовал приобретенный опыт в новых экспериментах? После 1843 г. им были разработаны новые схемы определения механического эквивалента теплоты. Используя термометры, специально для него разработанные мастером Дж.Б. Дансером, Джоуль довел точность измерений температуры до 0,005 °F (что вновь вызвало недоверие у некоторых коллег). В 1847 г. в Оксфорде в числе слушателей его доклада оказался 23-летний профессор университета Глазго У. Томсон (будущий барон Кельвин), на которого рассказанное Дж. Джоулем произвело впечатление. С того момента научное сообщество начало меняться в своем отношении к «манчестерскому пивовару».

В своем следующем эксперименте, описанном в дополнении к статье 1843 г., Джоуль впервые измерил механический эквивалент теплоты без использования в каком-либо виде электричества. Он продавливал воду в сосуде через перфорированный маленькими отверстиями поршень. Определив работу, затраченную на продавливание, и измерив количество выделившейся теплоты, Джоуль рассчитал эквивалент теплоты, который оказался равным 4,140 Дж/кал. Два значения эквивалента, полученные в принципиально разных по дизайну экспериментах, не сильно отличались друг от друга, что воодушевило Джоуля.

В том же дополнении Джоуль сделал часто цитируемое заявление о соответствии концепции механического эквивалента теплоты замыслу Создателя: он убежден, что «могучие силы приро-

ды, созданные велением Творца, неразрушимы и что во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, получается точное эквивалентное количество теплоты».

Академик Ленц, без сомнения, следил за публикациями Джоуля и был в курсе выполненных им измерений механического эквивалента теплоты. К сожалению, отношение Ленца к деятельности Джоуля нам неизвестно. В то же время по поводу эквивалента теплоты высказался Якоби — ближайший коллега Ленца.

В 1852 г. Якоби, имея в виду понятие механического эквивалента теплоты, написал: «это равенство или эта пропорциональность между произведенной током теплотой и работой не дает нам, однако, право говорить, вслед за Джоулем, о трансформации тепла в механическую работу». Якоби считал — его точка зрения пользовалась известной популярностью, — что мы имеем право говорить только о пропорциональности между теплотой и работой. Однако в таком случае понятие о механическом эквиваленте теплоты теряет смысл.

Судьбы творцов закона

В неявной форме судьбы Ленца и Джоуля сравнили биографы Ленца. Стремясь вписать постфактум научную биографию своего героя в историю закона сохранения энергии, они написали: «Ленц все время имел дело с явлениями взаимного превращения механической, тепловой, электромагнитной и химической форм энергии». Так, Ленц установил, что производимое в электрической цепи количество теплоты пропорционально площади поверхности цинка в гальваническом элементе. В этом экспериментальном факте, по мнению биографов Ленца, заключается закон сохранения энергии при превращении посредством электричества химической энергии в тепловую. Интересно, что это свое высказывание Лежнева и Ржонсницкий сопроводили репликой: «Джоуль в то же самое время *ограничивался* изучением механического эквивалента теплоты» [выделено мной — Б.Б.]. Биографы Ленца недвусмысленно противопоставили масштаб исследований своего героя кажущейся простоте экспериментов Джоуля.

Своеобразным ответом на такое противопоставление можно считать исследование американского историка науки Н. Кипниса. Он проанализировал около двухсот книг и статей, посвященных кругу вопросов, который впоследствии стали называть термодинамикой, и вышедших в свет в 1840–1870 гг. Для удобства

анализа временной промежуток был разделен на три десятилетия (1840–1850, 1850–1860 и 1860–1870 гг.). Для каждого из которых составлен рейтинг физиков по количеству упоминаний их имен в просмотренных публикациях. Абсолютное первое место в рейтинге занял Джоуль. В первом десятилетии он упомянут 14 раз, во втором — 42, в третьем — 18 раз. Второе и третье места в первом десятилетии заняли соответственно Н.-Л.С. Карно и Ю.Р. фон Майер, во втором — Р.Ю.Э. Клаузиус и Н.-Л.С. Карно, в третьем — У. Томсон и Р.Ю.Э. Клаузиус, соответственно. Из физических понятий чаще всего упоминался механический эквивалент теплоты, тогда как термин энергия встречался очень редко. Именно деятельность Джоуля, настойчиво измерявшего механический эквивалент теплоты, вызывала наибольший интерес научного сообщества. Напомню, что триггером изменений позиции коллег Джоуля стало посещение его доклада Томсоном в 1847 г.

Попробуем ответить на вопрос: что сделало Джоуля знаменитым физиком? Что помогло ему преодолеть недружелюбные к нему жизненные обстоятельства: отсутствие университетского образования, необходимость работать и сохранять устойчивость в отсутствие обратной связи от коллег?

Английский историк науки Р. Фокс считает несомненным преимуществом отсутствие у Джоуля университетского образования. Университетский курс физики был ориентирован на механику И. Ньютона; у Ньютона отсутствовало и понятие работы и собственно представление о сохраняющихся величинах. Выпускники университета вероятней всего разделяли эти идеи. Понятие о механическом эквиваленте теплоты возникло у Джоуля — как полагает Фокс — именно потому, что он, как житель крупнейшего промышленного центра викторианской Англии, был ориентирован на профессиональный язык инженеров, в котором понятие механической работы было востребовано. Шансы Джоуля на успех начатых измерений, казалось бы, должна была снижать необходимость работать на пивоварне, ведь заниматься исследованиями он мог только в свободное от работы там время. Однако, как показало исследование Х.О. Зибума из берлинского Института истории науки Общества имени М. Планка, на самом деле ситуация была не так проста. Вот как описал Зибум работу Джоуля в пивоварне: «Благодаря опытам по механическому и химическому разложению органических веществ для него сделалось самоочевидным, что трение может быть источником тепла, а не только препятствием, над преодолением которого должны трудиться инженеры... За двадцать лет существования в мире пивоварения Джоуль приоб-

рел особое операциональное знание, которое пригодилося ему в его новом качестве физика. Приобретенные им навыки восприятия и измерения температуры стали самоочевидными методами в его экспериментах по определению механического эквивалента теплоты». Об исследовании Зибума рассказывается в главе 6.

Отсутствие обратной связи, безразличие коллег (реакция членов «Lit & Phil» стала исключением) — такие факторы, безусловно, не способствовали исследовательскому оптимизму Джоуля. В то же время даже доброжелательная критика коллег могла поколебать убежденность Джоуля в правильности выбранного им пути. Не случайно в книге «Наука в викторианском Манчестере» посвященная Джоулю глава называется «James Joule as Devotee». Слово devotee имеет несколько значений, лучше всего данному контексту соответствуют такие варианты перевода: посвятивший себя и подвижник.

В начале статьи, сравнивая Джоуля и Ленца, я отметил противоположность их «социальных портретов». По понятным причинам декан Ленц не мог позволить себе то, что позволял владелец физической лаборатории Джоуль: в течение нескольких лет фактически решать одну задачу (прецизионное измерение механического эквивалента теплоты) и выдерживать безразличие научного сообщества к своей деятельности.

Завершая статью, вернусь к ее началу — к теме именных законов. Привычное нашему уху словосочетание *закон Джоуля–Ленца* не всегда было таковым. Симпатии и антипатии в отношении этих двух ученых могли проявиться самым неожиданным образом... Так, неожиданное именование закона теплового действия тока мы встречаем в вышедшем в 1847 г. трактате Г.Л.Ф. фон Гельмгольца «О сохранении силы» — так сказать, главной книге в истории закона сохранения энергии. Естественно, в трактате обсуждается тема выделения тепла в проводниках с током. Гельмгольц пишет: «...выделение тепла при протекании тока по металлическому проводнику называется законом Ленца». Впрочем, чуть ниже он вспоминает и Джоуля, как исследователя, подтвердившего закон Ленца в случае электролиза. Для Гельмгольца игнорирование Джоуля как соавтора закона, скорее всего, связано с недоверием к точности его экспериментов — недоверие, сформировавшееся при знакомстве с первыми опытами Джоуля по измерению механического эквивалента теплоты. Напомню, что в одном из таких экспериментов Джоуль в качестве результата представил среднее значение нескольких измерений, существенно отличавшихся друг от друга. Замечу, что спустя сто с

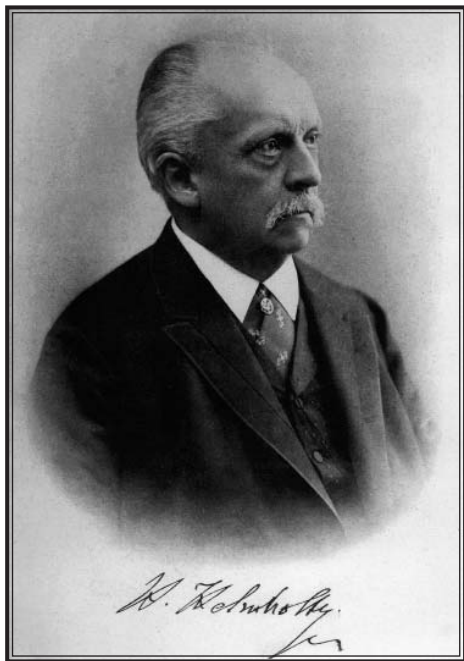


Рис. 10. Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц.

лишним лет в своей книге о законе сохранения энергии израильский историк науки И. Элкана приводит фразу Г.Л.Ф. фон Гельмгольца без какого-либо комментария (видимо, соглашаясь с ним).

Второй пример относится к книге М. Планка, представителя уже следующего за Г.Л.Ф. фон Гельмгольцем поколения физиков: его книга «Принцип сохранения энергии» была опубликована через четыре десятилетия после трактата Гельмгольца. К тому времени формальный и неформальный статус Джоуля в научном сообществе был весьма высоким. Планк, однако, не сделал свой выбор: упоминая джоулево тепло, он пишет в скобках *тепло Ленца*, а закон теплового действия тока в одном месте называет

*закон Ленца (Джоуля)*⁴], в другом — просто *закон Ленца*.

Ближе всех к исторической правде оказались П. Лакур и Я. Аппел, авторы «Исторической физики»: «Полное объяснение теплового действия электрического тока было впервые дано Джоулем». При этом они замечают, что результаты Джоуля были подтверждены Ленцем. Лакур и Аппель подчеркивают связь открытого Джоулем закона с его последующими измерениями механического эквивалента теплоты: «...это было сделано при помощи тех же опытов, которыми он начал свои исследования над определением теплового эквивалента». В дальнейшем, когда детали открытия стали достоянием истории, закон приобрел современный вид, и в привычном для нас названии *закон Джоуля–Ленца* первым упомянут тот, кто действительно был первым — Джеймс Прескотт Джоуль.

⁴ В русском переводе книги Планка Джоуль назван Джаулом.

Литература

- Гельмгольц Г. 1934. О сохранении силы. М.; Л.
- Зибум Х.О. 1998. Воспроизведение экспериментов по определению механического эквивалента теплоты: точность инструментов и правильность измерений в ранневикторианской Англии // *Вопр. истории естествозн. и техн.* № 1. С. 9–46.
- Кравец Т.П. 1950. О работах Ленца в области электромагнетизма // *Ленц Э.Х. Избранные труды.* М. С. 465–474.
- Лакур П., Аппель Я. 1908. Историческая физика. Одесса. Т. 2.
- Лежнева О.А., Ржонсинский Б.Н. 1952. Эмилий Христианович Ленц. М.; Л.
- Ленц Э. 1950. О законах выделения тепла электрическим током // *Ленц Э.Х. Избранные труды.* М. С. 360–446.
- Планк М. 1938. Принцип сохранения энергии. М.; Л.
- Розенбергер Ф. 1936. История физики. М.; Л. Ч. 3. Вып. 2.
- Яроцкий А.В. 1988. Борис Семенович Якоби. М.: Наука.
- Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester.
- Elkana Y. 1974. The discovery of the concept of energy. L.
- Fox R.M. 1969. James Prescott Joule // *Mid-Nineteenth-Century Scientists.* L.; N.Y.; Toronto; Paris. P. 72–103.
- Joule J. 1840. On the producing of heat by voltaic electricity society // *Proceedings of the Royal Society.* Vol. 4. P. 280–282.
- Joule J. 1841. On the heat evolved in metallic conductors of electricity and in the cells of a battery during electrolysis // *Philosophical Magazine.* Vol. 19. No. 124. P. 260–277.
- Joule J.P. 1841. On the electric origin of the heat of combustion // *Philosophical Magazine.* Ser. 3. Vol. 20. No. 129. P. 98–113.
- Joule J. 1843. On the caloric effects of magneto-electricity and on the mechanical value of heat // *Philosophical Magazine.* Vol. 23. P. 263–276, 347–355, 435–443).
- Kargon R.H. 1977. James Joule as Devotee // Kargon R.H. *Science in Victorian Manchester: Enterprise and Expertise.* Manchester. P. 49–60.
- Kipnis N.M. 2014. Thermodynamics and Mechanical Equivalent of Heat // *Science & Education.* Vol. 23. P. 2007–2044.
- Lentz E. 1843. Ueber die Gesetze der Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom. P.I // *Annalen der Physik und Chemistry.* Bd. 59. S. 203–239.
- Lentz E. 1844. Ueber die Gesetze der Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom. P.II // *Annalen der Physik und Chemistry.* Bd. 61. S. 18–49.

«Силы» и энергия: Фарадей против Джоуля

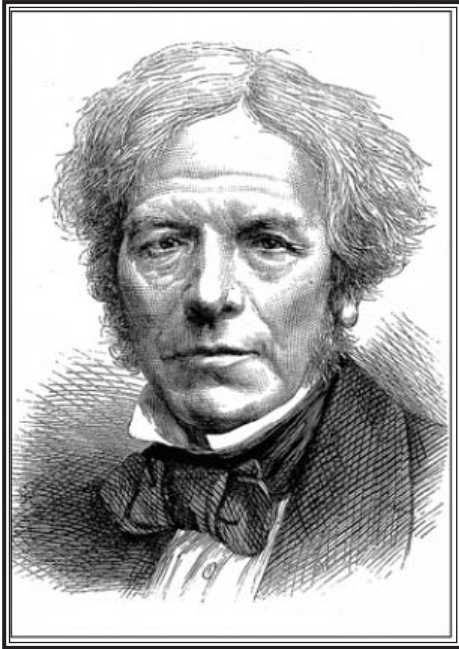


Рис. 11. Майкл Фарадей.

Слово *scientist* (ученый), сменившее словосочетание *natural philosopher* (философ, изучающий природу), появилось в английском языке в середине XIX в. Придумавший его методолог науки У. Уэвелл откликнулся на изменения в обществе, осознавшем значение научных исследований для своего развития. Одним из безусловных достижений науки того времени было открытие закона сохранения энергии, а одной из основ этого закона стало точное измерение механического эквивалента теплоты. Описание соответствующих экспериментов английского физика Дж.П. Джоуля можно найти практически в любом учебнике физики для средней школы. Эти опыты вошли в

историю науки как экспериментальное обоснование закона сохранения энергии, а Джоуль — как один из трех авторов этого закона. Два других — немецкий врач Ю.Р. фон Майер и немецкий же естествоиспытатель Г.Л.Ф. фон Гельмгольц — ответственны главным образом за математическое (Гельмгольц) обоснование закона сохранения энергии и его обоснование с точки зрения теории познания (Майер). В разной степени в истории и предыстории этого закона представлены и другие имена, в том числе имя знаменитого английского физика-экспериментатора М. Фарадея.

Про «силу» и энергию

Термин «энергия» впервые появился в начале XIX в. в одной из статей английского физика Т. Юнга. В 1853 г. шотландский инженер У.Дж.М. Ранкин впервые применил словосочетание «потенциальная энергия», но в современном понимании — как запасенная энергия — этот термин впервые был использован только в 1870 г. В том же году еще один английский физик, У. Томсон (барон Кельвин), ввел термин «кинетическая энергия». Таким образом, использовать термин «энергия» в современном смысле физики начали только в последней трети XIX в. До тех пор весьма часто применяется слово «сила» (по-английски — *force* или *power*, по-немецки *Kraft*), но в данный термин, впрочем, разные авторы в разное время вкладывали разный смысл. Историк науки О.В. Кузнецова написала об этом так: «Вот лишь несколько выражений, в которых ученые XVIII и XIX вв. употребляли слово “сила”: “мускульная сила”, “магнитная сила”, “сила машины”, “сила гравитации”, “электрическая сила”, “гальваническая сила”, “месмерическая сила”, “живая сила”, “сила природы”». Она также отметила, что «само понятие энергии стало значимым и содержательным только после установления принципа сохранения энергии во всей его полноте и общности в математической форме <...>. Звучит парадоксально, но тем не менее представление об энергии как о фундаментальном понятии было сформулировано на точном математическом языке только внутри закона сохранения энергии».

Приведя формулировки закона сохранения энергии, принадлежащие А. Эйнштейну, Р.Ф. Фейнману и Ж.А. Пуанкаре, Р.Н. Щербаков определяет закон сохранения энергии как «фунда-

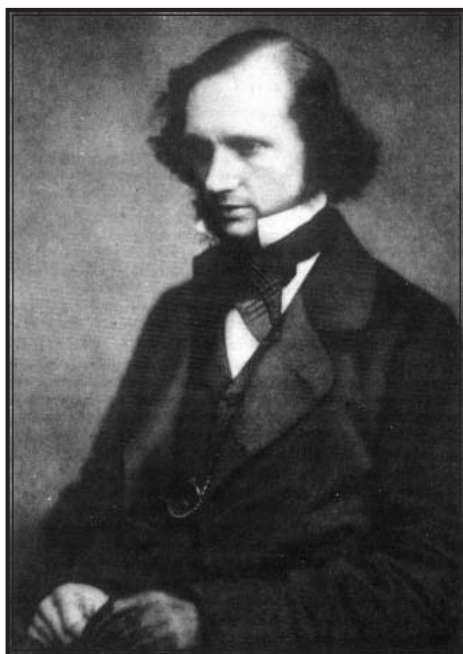


Рис. 12. Уильям Томсон в 1852 г.

ментальный закон природы, утверждающий, что для изолированной системы может быть введена скалярная физическая величина, являющаяся функцией параметров системы и называемая энергией, которая сохраняется с течением времени».

Популярный теплород

Эксперименты Джоуля свидетельствовали о связи механической энергии и теплоты. Чтобы объяснить эту связь, физика должна была отказаться от субстанциальной теории теплоты и признать основные положения динамической теории. Первая теория предполагала существование теплорода — невесомой жидкости, проникающей в тела и ответственной за изменение температуры. Вторая теория связывала это изменение с изменением кинетической энергии хаотического движения частиц тела. В ее рамках повышение температуры тела в результате трения объяснялось превращением механической энергии в энергию движения частиц.

Однако отказаться от концепции теплорода оказалось не просто. В ее активе были в том числе и достижения французской математической физики — в частности, математическое описание тепловых явлений и процессов в работах Ж.-Б.Ж. Фурье. Связывая явление теплопроводности с перемещением теплорода, Фурье сформулировал закон, согласно которому плотность потока тепла от горячего тела к холодному пропорциональна градиенту температуры. Коэффициентом пропорциональности был коэффициент теплопроводности среды, отделяющей горячее тело от холодного. По аналогии, связывая явление электропроводности с перемещением электрического флюида, Г.С. Ом сформулировал в 1827 г. закон, названный впоследствии его именем. Согласно закону Ома, в дифференциальной форме, плотность тока пропорциональна градиенту потенциала, а коэффициентом пропорциональности является коэффициент электропроводности среды (величина, обратная удельному сопротивлению).

Было еще одно обстоятельство, воспринимавшееся как аргумент за субстанциальную теорию: понятие теплорода использовал в теории тепловых двигателей французский физик Н.Л.С. Карно. Работу тепловых машин Карно связывал с движением теплорода от нагревателя к холодильнику.

Джоуль против Фарадея

Аргументами в пользу динамической теории тепла были в первую очередь эксперименты немецкого естествоиспытателя Б. Томпсона (графа Румфорда) и английского химика и физика Х. Дэви. Румфорд продемонстрировал выделение большого количества тепла при сверлении пушечных стволов, а Дэви расплавил кусочки льда в процессе их трения друг о друга. Происходившее при этом превращение работы в тепло динамическая теория объясняла превращением механической «силы» (*force*) в скрытую от наших глаз «живую силу» (*vis viva*) — механическую энергию частиц льда.

Сказанное выше отчасти объясняет, почему закон сохранения энергии не сразу нашел поддержку в научном сообществе. Это сообщество не проявляло интереса к экспериментам Джоуля без малого семь лет, хотя его статьи регулярно публиковал журнал «*Philosophical Magazine*». Фарадей — один из наиболее авторитетных членов Лондонского королевского общества — также не придавал значения работам Джоуля. Удивительно: именно открытия Фарадея подготавливали научное сообщество к идее сохранения энергии.

Эта странная ситуация требует подробного обсуждения. В более широком контексте тема «Джоуль и Фарадей» связана с различием в их понимании целей и задач научного исследования, что, в свою очередь, можно объяснить принадлежностью Фарадея к протестантской общине сандеманиан⁵. Что касается Джоуля, то его самый известный опыт по измерению механического эквивалента теплоты был подробно описан в статье, опубликованной в 1850 г. в журнале Лондонского королевского общества «*Philosophical Transactions of the Royal Society*». Напечататься в этом журнале Джоулю удалось только с третьей попытки. Предыдущие две были неудачными — в 1839 и 1843 гг.

⁵ Буквалистская секта, названная по имени шотландского теолога Р. Сандемана, который перевез ее в Англию. Сандеманиане веровали не в прямые линии, а в совсем иную геометрическую фигуру — в круг. «Люди святы, — говорили они, — и каждый из нас имеет обязательства перед другими, на святости нашей природы и основанные. Я помогу тебе, ты поможешь еще кому-то, и так оно будет продолжаться, пока не замкнется круг». И этот круг — понятие вовсе не отвлеченное. Фарадей в течение многих лет проводил значительную часть своего свободного времени либо в церкви, рассуждая об этих круговых отношениях, либо в работе, посвященной благотворительности и взаимопомощи.

О законе Джоуля–Ленца и слепоте Лондонского королевского общества

В статье, направленной Джоулем в 1839 г. в журнал «Philosophical Transactions of the Royal Society», описывались эксперименты по измерению количества теплоты, которая выделялась в проводниках, включенных в электрические цепи с разными источниками тока. В ходе опытов ученый эмпирически обнаружил закономерность, которая связывала измеренные им величины: количество теплоты, выделяющееся в проводнике в единицу времени, оказалось прямо пропорциональным сопротивлению проводника и квадрату силы тока. В главе 2 мы подробно обсуждали этот вопрос.

Найденная зависимость выполнялась и для токов индукционного происхождения. Установив это, Джоуль ответил на естественный для его современников вопрос: теплота генерируется в самом проводнике, а не передается по проводам от источника тока. Однако в публикации в «Transactions» Джоулю было отказано; и статья была напечатана в журнале «Philosophical Magazine».

Известный физик-теоретик, профессор теоретической физики Манчестерского университета Л. Розенфельд осудил отказ экспертов Лондонского королевского общества напечатать статью Джоуля. В своем выступлении на открытии музея Джоуля в Салфорде 3 июля 1951 г. Розенфельд выделил в его биографии историю со статьей о «джоулевом тепле». Он отметил, что на открытие Джоуля никак не отреагировали влиятельные члены Лондонского королевского общества. По его словам, это явление «было пропущено Дэви и Фарадеем, сконцентрировавшими свое внимание на других, возможно, более близких им аспектах вольтаического электричества». И далее: «Во внимании, которое Джоуль уделил отношениям эквивалентности между теплотой и другими физическими величинами, проявлялся совершенно новый взгляд на изучаемые явления». Следует сразу сказать, что Розенфельд ошибся: сам факт нагрева проводников, по которым протекает электрический ток, был известен и до Джоуля, в «Экспериментальных исследованиях по электричеству» Фарадей обсуждал соответствующие эффекты.

В 1843 г. Джоуль сделал вторую попытку и послал в «Philosophical Transactions» статью, рассказывающую об экспериментах со сжатием и расширением воздуха. Лабораторная уста-

новка состояла из двух цилиндров, соединенных между собой трубкой с краном. Вся конструкция помещалась в заполненный водой калориметр. В первом эксперименте в один из цилиндров закачивался воздух до достижения давления в 22 атм. Рассчитывалась работа по сжатию воздуха, а по изменению температуры воды измерялось выделившееся при этом количество теплоты. В предположении, что работа равняется количеству теплоты, вычислялся механический эквивалент теплоты.

В другом эксперименте из второго цилиндра при перекрытом кране откачивался воздух. После этого кран открывали, предоставляя воздуху возможность занять больший объем. Температура воды при этом не изменялась. Отсутствие выделившейся теплоты было интерпретировано как свидетельство того, что работу по расширению воздуха в вакуум можно считать равной нулю. Этот эксперимент был, впрочем, модифицирован: цилиндры помещали в два разных калориметра. В новом эксперименте температура воды в первом цилиндре повысилась, а во втором понизилась на одну и ту же величину — на $2,36^{\circ}\text{C}$.

В этой статье Джоуля появляется первая (хотя и не строгая) формулировка закона сохранения энергии. Однако позитивно на статью никто не отреагировал. В публикации ему вновь отказано, а коллеги с недоверием высказываются о точности измерений Джоуля, утверждавшего, что ему удастся измерять температуру воды с точностью до тысячных долей градуса.

В 1843 г. в жизни Джоуля произошло важное событие: семья переехала в новый дом. Его отец, Бенджамин Джоуль, владелец пивоваренного завода, оборудовал в одной из комнат нового дома лабораторию для Джеймса. Одними из главных измерительных приборов в лаборатории были изготовленные манчестерским мастером Дж. Дансером специально для Джоуля уникальные термометры. Их точность действительно достигала нескольких тысячных долей одного градуса. В статье Джоуль, не забывая, что ее будут внимательно читать эксперты Лондонского королевского общества, несколько раз упоминает о работах Фарадея, называя его «великим человеком». Д. Кардвелл рассказал в биографии Джоуля о его попытках обратить на себя внимание влиятельных фигур: о письме М. Фарадею, к которому Дж. Джоуль приложил свои статьи, о встречах с М. Фарадеем и Дж.Ф.У. Гершелем.

Фарадей и ранняя история закона сохранения энергии

Советский историк науки З.А. Цейтлин вполне обоснованно заявлял, что первые (нестрогие) формулировки закона сохранения энергии принадлежат именно Фарадею: «Фарадей в своих исследованиях руководился величайшего значения идеей, именно принципом сохранения энергии или, как выражался Фарадей, принципом сохранения силы. К этому принципу Фарадей пришел самостоятельно задолго до опубликования работ Майера, Джоуля, Гельмгольца и других ученых, которые дали этому принципу точную количественную и качественную формулировку». В подтверждение этих слов Т.П. Кравец, редактор трехтомника М. Фарадея «Экспериментальные исследования по электричеству», перечисляет, основываясь на высказываниях Фарадея, физические

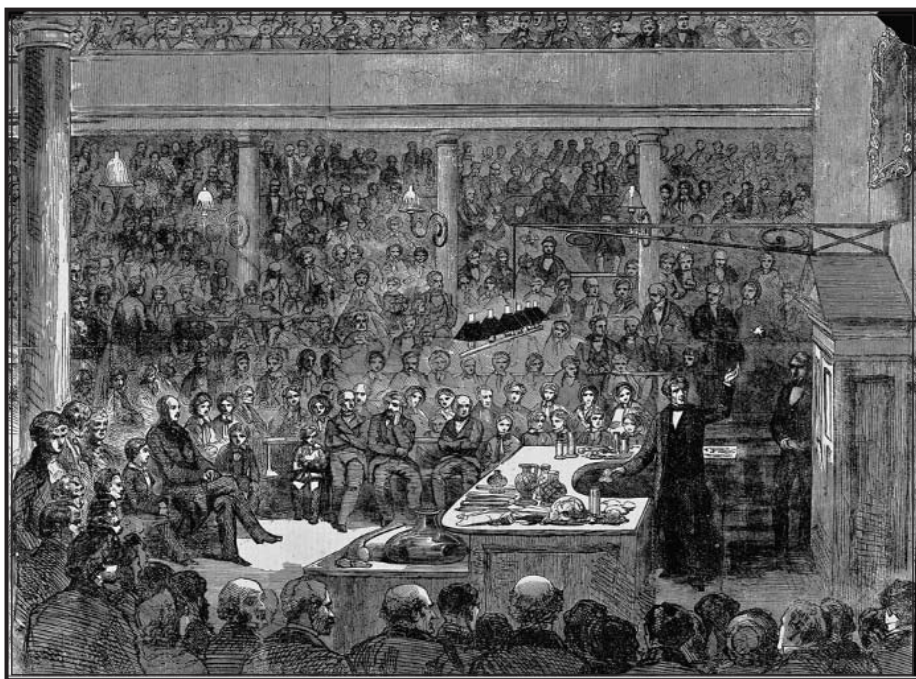


Рис. 13. Лекция Фарадея в Королевском институте Великобритании, на которой присутствовали принц Уэльский Альберт и его сын принц Альфред. Ксилография по оригиналу работы А. Блейкли.

явления, иллюстрирующие принцип сохранения силы: «“Сила” во многих явлениях, так изменяется, что можно говорить о “преобразовании силы”. Так, “химическая сила” дает электрический ток, и обратно. Теплота может преобразовываться в электричество, электричество и магнетизм преобразуются друг в друга. Но никогда, даже (!) в рыбах с электрическими органами, не наблюдается “творения силы”, “производства силы” без затраты чего-либо, ее “доставляющего»». Кравец приходит к следующему выводу: «Заменим здесь “силу” “энергией” — и мы увидим широкую формулировку закона сохранения и превращения энергии; для времени Фарадея это — целая программа подлежащих установлению количественных соотношений». Отметим, что «сила» здесь всегда соответствует слову *«force»* в оригинальном тексте.

«Не проникся в полной мере новым видением ситуации...»

Я уже упоминал о первых формулировках закона сохранения энергии в статье Джоуля. Но как тогда объяснить отсутствие у Фарадея интереса к его работам? Прежде чем ответить на этот вопрос, отмечу, что разрушение стены безразличия к трудам Джоуля началось 23 июня 1847 г. В тот день в Оксфорде проходило очередное собрание Британской Ассоциации содействия развитию науки. Доклад Джоуля был посвящен очередной серии измерений механического эквивалента теплоты. Неожиданно для него один из слушателей проявил к докладу и докладчику неподдельный и нескрываемый интерес. Тем слушателем был 23-летний профессор университета Глазго У. Томсон. Двумя днями позже он написал отцу: «Джоуль, я уверен, ошибается во многих из своих идей, но, кажется, он открыл несколько фактов исключительной важности, к примеру генерацию тепла вследствие трения жидкостей».

Если верить воспоминаниям Томсона, «доклад Джоуля на оксфордском собрании Британской ассоциации произвел сенсацию» и, в частности, впечатлил Фарадея. Однако тут же Томсон заметил, что Фарадей «не проникся в полной мере новым видением ситуации» (*did not enter fully into new views*). Что скрывается за этой репликой, возвращающей нас к вопросу об отношении Фарадея к Джоулю? Почему знаменитого физика не заинтересовали эксперименты его манчестерского коллеги — эксперименты, сближающие два разных раздела физики: механику и науку о теплоте? Эксперименты, результаты которых явно «работали» на достижение единства в

описании физических явлений — того единства, которое выстраивал своими открытиями и сам Фарадей. Напомним, что в 1831 г. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции, а в 1845 г. — явление вращения плоскости поляризации в магнитном поле.

Механический эквивалент теплоты

В 1850 г. Джоуль в третий раз послал статью в «Transactions». К тому времени он стал уже известен в научном сообществе и, надо полагать, не сомневался в положительном решении вопроса. Действительно, в 1850 г. его статья «О механическом эквиваленте теплоты» была опубликована в журнале «Philosophical Transactions of the Royal Society».

В этой статье Джоуль описал в общей сложности пять серий опытов по измерению механического эквивалента теплоты. В первой серии медное колесо с черпаками вращается в плотно закрытом медном цилиндре с ртутью. Во второй и в третьей сериях опытов использовался чугунный цилиндр, ртуть была заменена водой, а колесо сделано из кованого железа. При этом экспериментальная установка модифицирована так, чтобы минимизировать перемещение самой жидкости в ходе эксперимента. В четвертой и пятой сериях использовался чугунный резервуар, внутри которого была ртуть, но выделение теплоты было связано уже с трением друг о друга двух чугунных дисков. Ученый рассчитал механическую работу, измерил количество выделившейся теплоты и определил механический эквивалент теплоты. В последних двух сериях численное значение коэффициента получилось несколько большим, нежели в предыдущих (примерно на 0,14%). По этому поводу Джоуль заметил: «В высшей степени вероятно, что эквивалент, полученный по чугуну, получился несколько выше потому, что при трении отрывались частицы металла и, следовательно, некоторая часть силы шла на преодоление сцепления».

Сравнивая разные серии экспериментов, Джоуль предложил считать наиболее точным то значение механического эквивалента теплоты, которое было получено в опытах с водой, отметив, впрочем, что некоторые погрешности оказываются неустраняемыми: «...так как даже при опытах с жидкостями невозможно устранить полностью ни сотрясений, ни хотя бы тихих звуков, то приведенное число, вероятно, еще несколько велико». В целом в экспериментах 1850 г. численное значение механического эквивалента теплоты близко к современному и составляет 4,16 Дж/кал.

Фарадей — рецензент Джоуля. Слова против слов

Весьма любопытный документ был обнаружен в архиве лорда Кельвина в Кембриджском университете. В его обширной переписке с Джоулем (она началась в 1847 г.) есть письмо Джоуля от 21 сентября 1855 г. Тот пишет, что, разбирая свои бумаги, обнаружил листки с рукописным текстом — рецензией на его статью «О механическом эквиваленте теплоты», представленную для опубликования в «Philosophical Transactions». Подписи на листе нет, но почерк практически без сомнений принадлежит Фарадею. Рецензент (т.е. Фарадей) позитивно отозвался об авторе, отметив, в частности, его «детальные и многочисленные эксперименты, выполненные с большим усердием (with great industry)». Несколько замечаний касались ясности изложения. В самом начале рецензии Фарадей, следуя тексту рецензируемой статьи, кратко перечисляет основные результаты, полученные Джоулем начиная с 1840 г.

В изложении Фарадея автор рецензируемой статьи приходит к следующим выводам: «...что при трении жидкостей так же, как и твердых тел, выделяется теплота и что количество единиц работы, которую необходимо совершить для производства такого количества тепла, которое необходимо для повышения температуры одного фунта воды на 1°F и выделяющегося или вследствие трения жидкостей либо твердых тел, или посредством магнито-электрического действия, является одной и той же величиной».

Есть в рецензии и замечание по содержанию статьи. Что не понравилось Фарадею в статье Джоуля? Фарадей выделяет следующее высказывание Джоуля: «...для определенного количества теплоты, порожденного механической силой, требуется всегда одно и то же количество силы (измеренной как работа); поэтому теплота может быть превращена в силу и сила в теплоту». Для одного из авторов закона сохранения энергии высказывание вполне ожидаемое. Однако Фарадей выделяет фрагмент этого высказывания, называет его «странным» и отмечает, что, основываясь на нем, Джоуль говорит о трении «как состоящем в преобразовании силы в тепло». Отмечая это, рецензент рекомендует переработать статью.

Пожелания рецензента были доведены до сведения автора, и Джоуль внес в текст изменения.

О разрушении неразрушаемой «силы»

Эти изменения легко увидеть, сравнив два варианта статьи: журнальный и опубликованный в 1885 г. в сборнике научных трудов Джоуля. Журнальную статью завершают два вывода. Во-первых, количество теплоты, производимое при трении тел, твердых или жидких, всегда пропорционально количеству расходуемой силы. Во-вторых, на производство теплоты, способной увеличить температуру фунта воды (взятой при температуре между 55 и 60 °F) на один градус по шкале Фаренгейта, требуется израсходовать механическую силу, представленную падением 772 фунтов с высоты в один фут.

В издании 1885 г. эти выводы сопровождаются комментарием автора: «Третий вывод... удаленный в соответствии с пожеланиями комитета, которому была направлена статья, утверждал, что трение состоит в преобразовании механической энергии [здесь Джоуль использует слово «power» — Б.В.] в тепло». Итак, реагируя на замечания «комитета» (который, видимо, и представлял Фарадей), Джоуль удалил одну фразу — скорее всего, это было условием публикации в «Philosophical Transactions». Этот факт подробно прокомментировал английский историк науки К. Смит. Он подчеркнул, что Фарадей, признавая экспериментально обоснованные выводы № 1 и № 2, отверг «теоретический» вывод № 3, предполагающий вполне определенную интерпретацию выполненных Джоулем экспериментов. Соглашаясь с тем, что «определенное количество теплоты, будучи порождено механической силой, требует всегда одинаковой силы (измеренной как работа)», Фарадей отвергает тезис «поэтому тепло может быть превращено в силу и сила в тепло».

Пятью годами раньше, в 1845 г., позиция Фарадея не столь сильно отличалась от взглядов Джоуля: «Я давно уже придерживался мнения — и оно почти достигло степени убеждения, — и того же мнения, как, мне думается, придерживаются многие другие любители естествознания, а именно что различные формы, в которых проявляются силы материи, имеют общее происхождение, или, другими словами, настолько близко родственны друг другу и взаимно зависимы, что они могут как бы превращаться друг в друга и обладают в своем действии эквивалентами силы». Но со временем взгляды Фарадея изменились. В 1857 г. в статье «О сохранении силы» он написал: «Сила никогда не может быть ни создана, ни разрушена». Попробуем понять, в каком смысле это утверждение противоречит отвергнутым Фарадеем словам Джоуля.

«Сила» Джоуля и «сила» Фарадея

Как уже было отмечено, термин «сила» (*force*) не поддается однозначному переводу на современный язык. О. Рейнольдс, первый биограф Джоуля, следующим образом расшифровывает позицию Фарадея: «сила» не может превратиться в теплоту, поскольку, допуская это, необходимо будет допускать ее («силы») разрушение. «Сила» Джоуля, напротив, очень близка к понятию энергии, и превращение ее в теплоту означает примерно то же самое, что имеем в виду мы, когда говорим о превращении кинетической энергии системы во внутреннюю — в энергию беспорядочного теплового движения частиц тела. Соответственно, «сила» Джоуля не разрушается, но превращается в другую «силу». Возможность превращения допускается динамической теорией тепла и не допускается субстанциальной теорией.

В 1857 г., упоминая динамическую теорию тепла и концепцию теплорода, Фарадей указал, что принцип сохранения силы совместим с каждой из них. В то же самое время Джоуль в разных статьях подчеркивал, что только динамическая теория теплоты, объясняющая теплоту движением частиц, соответствует представлениям о превращении механической энергии в тепловую.

Суммируя высказывания Фарадея, Смит сделал попытку реконструировать его отношение к Джоулю. Смит считает, что у Фарадея был собственный принцип сохранения силы. В этом смысле и следует понимать его слова об *общем происхождении* различных форм, в которых проявляются *силы материи* и которые *могут как бы превращаться друг в друга* [подчеркнуто мной. — Б.Б.]. Установленные Джоулем в его многочисленных экспериментах «соотношения эквивалентности» вполне вписывались в такую отвлеченную формулировку. Однако не «как бы», а реальное превращение механической энергии в тепловую в процессе трения жидкостей и твердых тел, подтверждаемое численным равенством этих энергий, принципу сохранения силы в понимании Фарадея не соответствовало. Фарадей не был сторонником ни динамической теории тепла, ни субстанциальной теории. Ни о каком превращении механической энергии в тепловую при трении говорить, с его точки зрения, недопустимо. Напомню также о скептическом отношении Фарадея к математическому описанию физических явлений (в 1833 г. в письме М.Ф. Соммервилль⁶ он от-

⁶ Мэри Фэрфекс Сомервилль — шотландский популяризатор науки и эрудит, специалист в области математики и астрономии. Ее деятельность относится ко времени, когда участие женщин в научной деятельности было крайне ограниченным.

метил успех своего экспериментального подхода к изучению физических явлений, противопоставив его *математическому подходу* Ампера, ограниченному в возможностях).

Кому и для чего нужна наука?

Некоторые исследователи считают, что различие между Фарадеем и Джоулем не ограничивается разным пониманием закона сохранения энергии. Так, автор книги «Фарадей — сандеманианин и ученый» Дж. Кантор проследил влияние религиозных взглядов Фарадея на его мировосприятие. Сравнивая Фарадея с Джоулем, он сослался на слова Джоуля о «мудрости Великого архитектора природы, создавшего механическую Вселенную».

Фарадей же, как член протестантской общины сандеманиан, воспринимал библейский текст дословно. В его представлении Творец создает Силу (power) — источник тех сил, которые мы наблюдаем и изучаем. Эти силы не сводятся к механике и не могут быть описаны языком математики. По словам Кантора, «Бог Фарадея не был ни инженером, ни механиком». Напротив, для Джоуля, как жителя промышленного Манчестера, ценность представляет в первую очередь количественный эксперимент.

Фарадей был ориентирован на открытие законов, которые согласно воле Творца, управляют Вселенной. С наукой он прежде всего связывал совершенствование человека как личности. И в меньшей степени его интересовала наука как источник новых технологий. Замечу, что Джоуль, как и Фарадей, не получил высшего образования. В отличие от Фарадея, у него это не было связано с отсутствием средств. Семья Джоулей принадлежала к Независимой церкви, и Кардвел полагает, что именно это обстоятельство удерживало Джоуля от поступления в университет. В 1830-х годах британские университеты выдавали дипломы только тем, кто принадлежал к англиканской церкви.

Есть и другое мнение: получить систематическое образование Джоулю помешало слабое здоровье — в детстве он часто болел. Школу Джеймсу и его брату заменил частный учитель. Напомним: им был знаменитый английский химик и физик Дж. Дальтон.

Литература

- Кравец Т.П. 1951. О втором томе «Экспериментальных исследований по электричеству» М. Фарадея // Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству: Т. 2. М. С. 407–422.
- Кузнецова О.В. 1995. Учение о теплоте в XIX веке: атомистика, термодинамика и статистическая механика. Физика XIX–XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX века. М. С. 117–193.
- Розенбергер Ф. 1936. История физики: Ч. 3. Вып. 2. М.; Л.
- Фарадей М. 1959. Экспериментальные исследования по электричеству: Т. 3. М.
- Цейтлин З.А. 1940. Михаил Фарадей. Краткий биографический очерк // Фарадей М. Силы материи и их взаимоотношения. М. С. 3–22.
- Щербаков Р. 2016. Рыцари великого закона // Природа. Вып. 2. С. 68–76.
- Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester.
- Cantor G. 1991. Michael Faraday: Sandemanian and Scientist. A Study of Science and Religion in the Nineteenth Century. L.
- James F. 2002. Faraday, Michael (1791–1867). 2004. // Oxford Dictionary of National Biography (online ed.). Oxford.
- Rosenfeld L. 1952. Joule's scientific outlook // Bulletin of the British Society for the History of Science. Vol. 1. No. 7. P. 169–176.
- Smith C.W. 1976. Faraday as referee of Joule's Royal Society paper "On the mechanical equivalent of heat" // Isis (A Journal of the History of Science Society). Vol. 67. No. 3. P. 444–449.

Джоуль, Майер и другие: спор длиною в полтора десятилетия

Медаль Королевского общества

Первая в мире официальная награда за научные достижения — Медаль Копли (Copley Medal) — присуждается Лондонским королевским обществом начиная с 1731 г. Первым обладателем медали стал английский физик Стивен Грей. С тех пор и по сей день медаль Копли остается самой престижной наградой Лондонского королевского общества. В разное время её обладателями были Чарльз Дарвин, Дмитрий Менделеев, Альберт Эйнштейн, Иван Павлов.

В 1870, 1871 и в 1873 гг. медалью Копли были награждены авторы закона сохранения энергии: соответственно английский физик Джеймс Джоуль, немецкий врач и естествоиспытатель Роберт Майер и немецкий естествоиспытатель Герман Гельмгольц.

Номинатором Джоуля был профессор Королевского института в Лондоне Джон Тиндаль. Представление Тиндаля было ко-

ротким: «за экспериментальные работы по динамической теории тепла». В терминологии того времени динамической теорией тепла обычно называли концепцию, согласно которой теплота не является материальной субстанцией, но представляет собой состояние движения, измеряемое кинетической энергией. В следующем 1871 году профессор Тиндаль номинировал на медаль Роберта Майера. В качестве достижений Майера он назвал статьи по разным вопросам, в том числе по небесной ме-



Рис. 14. Медаль Копли.

ханике и по механическому эквиваленту теплоты. Номинатором Германа Гельмгольца был физиолог Майкл Фостер, отметивший среди достижений номинируемого «мемуар о сохранении энергии», а также «работы по физиологической оптике и физиологической теории музыки.

Как уже было сказано, и Джоуль, и Майер и Гельмголец получили высшие награды ЛКО за вклад (каждый — за свой) в открытие закона сохранения энергии. Для Джоуля это была уже вторая награда Лондонского королевского общества; первую — Королевскую медаль — он получил в 1852 г. Обращая внимание на сам факт присуждения двух наград за одно открытие, президент ЛКО Эдвард Сабин самокритично отметил, что речь идет о крайне редком событии. Надо полагать, Лондонское королевское общество не было готово наградить медалью Гельмгольца и Майера и оставить без награды своего знаменитого соотечественника.

Джоуль и Майер

В 1852 г., когда Джоуль получил первую награду ЛКО, главные события в истории закона сохранения энергии были уже в прошлом. Таким событием стал выход в свет трактата Германа Гельмгольца «О сохранении силы» (1847 г.). Гельмгольцу удалось среди прочего построить математическое описание процессов превращения энергии в механике и электромагнетизме.

К главным событиям относятся также и сами эксперименты Джоуля, в которых был измерен механический эквивалент теплоты (1843–1847 гг.) и появление в 1850 г. в журнале «*Philosophical Transactions of The Royal Society*» статьи с описанием этих экспериментов. Впервые Джоуль представил их в 1843 г. на собрании Британской Ассоциации в Корке; в своем докладе он рассказывал об определении механического эквивалента, основанном на измерениях количества теплоты, выделяемой током индукционного происхождения и работы, затраченной на генерацию тока. Среднее по серии экспериментов значение эквивалента оказалось равным 4,19 Дж/кал при значительном разбросе.

В том же году Джоуль определяет механический эквивалент по иной схеме, продавливая воду через маленькие отверстия и вновь измеряя повышение ее температуры и рассчитывая соответствующую работу. В этом случае выделение теплоты связано с действием сил вязкого трения — с непосредственным превращением механической энергии в тепловую. Именно в этой статье

Джоуль впервые пишет о своем убеждении в том, что «могучие силы природы, созданные велением творца, неразрушимы и что во всех случаях, когда затрачивается механическая сила, получается точное эквивалентное количество теплоты». В современных единицах измерения механический эквивалент теплоты получался равным 4,14. Таким образом, численные значения механического эквивалента теплоты в существенно отличающихся схемах измерений оказались величинами одного порядка. Этот факт Джоуль рассматривал как свидетельство реального существования коэффициента пересчёта между калорией и единицей механической энергии (работы).

Что же касается Роберта Майера, то в качестве «соавтора» закона сохранения энергии он был признан научным сообществом позже — в 60-х годах XIX столетия. Заметим, что, описывая историю закона, многие авторы — отдавая должное Джоулю и Гельмгольцу — наибольшее внимание уделяют Роберту Майеру.

По словам Макса Планка, Майер «предпочитал философски обобщать, нежели эмпирически строить по частям». Возможно, именно таких обобщений не хватало естествоиспытателям, уже прочитавших трактат Гельмгольца и статьи Джоуля. Именно поэтому Майер стал первым, кто обсуждал происходящие в живой и неживой природе превращения энергии из одной формы в другую, метаболические процессы в живых организмах.

«Научные характеры» Майера, Джоуля и Гельмгольца друг от друга существенно отличались. При этом — вновь обратимся к книге Макса Планка «Принцип сохранения энергии» — «иногда любят противопоставлять несколько неопределенно философствующему Майеру его партнера Джоуля — как более трезвого, придерживающегося отдельных фактов строгого эмпирика». Черно-белые краски такого противопоставления Планка не устраивают и он продолжает: «Но как было бы мыслимо, чтобы Джоуль проводил свои знаменитые опыты с таким неутомимым усердием и таким упорным терпением... как это было бы мыслимо, если бы он уже заранее при своих первых экспериментах, которые сами по себе еще не дают права на столь великолепное обобщение, не был бы одушевлен новой идеей и не охватил бы её сразу во всей ее общности». Планка не устраивает и характеристика Майера как «неопределенно философствующего», он считает необходимым подчеркнуть: «...хорошо известно, что заслуги Майера в новое время вполне оценены и признаны нашими наиболее талантливыми людьми науки (в Англии они были впервые представлены в истинном свете Тиндалем)».

Активные действия по пропаганде работ Майера, предпринятые профессором Королевского института в Лондоне Джоном Тиндалем с 1862 г., были непосредственно связаны с дискуссией о том, кто первым (Майер или Джоуль) определил численное значение механического эквивалента теплоты.

Ситуация, при которой авторами одного и того же открытия признаются сразу несколько человек, в истории науки встречается не часто, тем более если речь идет о позапрошлом столетии, когда ученые проводили исследования, как правило, в одиночку. В нашем случае каждый из авторов, действуя независимо, внес в создание закона свой уникальный вклад и возможность приоритетного спора, казалось бы, должна быть исключена. Так, дедуктивный метод Роберта Майера (обосновавшего закон с точки зрения теории познания) и индуктивный метод Джеймса Джоуля (экспериментальное подтверждение закона) удачно дополняют друга. Однако любые классификации неизбежно упрощают реальное развитие событий... в нашем случае интуиция помогла Майеру использовать имеющиеся в литературе данные и, не проводя опытов, первым в истории оценить величину механического эквивалента теплоты. Эту же величину определил Джоуль, но в собственноручно выполненных экспериментах. Кого считать первым? Ответ на этот вопрос как раз и стал причиной дискуссии между Джеймсом Джоулем и Робертом Майером.

Вопрос об упущенном приоритете впервые поставил сам Майер в 1848 г., когда прочитал в журнале «*Comptes Rendus*» статью Джоуля с описанием его экспериментов по определению механического эквивалента теплоты. Ссылки на Майера в статье отсутствовали, в то время как еще в 1842 г. — за год до первого эксперимента Джоуля — он представил собственные оценки коэффициента, связывающего калорию с единицей измерения механической энергии, в статье, опубликованной в журнале «*Annalen der Chemie und Pharmacie*». Не найдя у Джоуля ссылок на свои работы, Майер написал письмо в Парижскую Академию наук. Журнал «*Comptes Rendus*» напечатал это письмо; оно и стало началом дискуссии.

Джоуль статью Майера не читал (она была опубликована в «непрофильном» для него журнале) и узнал о ее существовании из опубликованного письма Майера. Он полагал, что речь шла о недоразумении. В 1848 г. Джоуль располагал несколькими численными значениями механического эквивалента теплоты, измеренными по различной методике в поставленных им экспериментах. Майер же собственных экспериментов не проводил; его оценка механического эквивалента теплоты основывалась на анализе

имевшихся в литературе экспериментальных данных. При этом методика оценки не была должным образом обоснована. Соответственно Джоуль не считал обоснованными и заявления Майера о своем приоритете.

Начавшаяся в 1848 г. дискуссия закончилась в 1849 г. и фактически свелась к трем статьям, опубликованным в журнале: первой статьи Майера, ответа Джоуля и «ответа на ответ», написанном Майером. Медаль, которой Лондонское королевское общество в 1852 г. наградило Джоуля, имела к дискуссии самое непосредственное отношение. Своим решением Королевское общество поддерживало соотечественника в противостоянии с немецким коллегой.

В действительности тема дискуссии не была закрыта... как мы увидим, вопрос о Майере как об одном из авторов закона сохранения энергии вновь стал предметом дискуссии в 1862 г.

Роберт Майер: наука и жизнь

Роберт Майер (1814–1878), родился в семье аптекаря в городе Хейлбронне. Учился в классической гимназии. В 1832 г. стал студентом медицинского факультета университета в Тюбингене. В 1837 г. арестован и исключен из университета как член запрещенного студенческого кружка. В 1838 г. сдал государственные экзамены и получил диплом врача. В этом качестве с февраля 1840 по февраль 1841 г. совершил плавание в Восточную Индию. Его наблюдения в этом плавании и как врача и как естествоиспытателя в широком смысле этого слова стали началом его научной биографии.

В мае 1842 г. научный журнал «Анналы химии и фармации» публикуют небольшую по объему (6 стр.) статью Майера «Замечания о силах неживой природы».

Эта статья осталась единственной публикацией Майера в научном журнале, в остальных случаях его работы игнорировались или отвергались редакторами как не удовлетворяющие критериям научности. Шести страниц Майеру явно не хватило и некоторые важные идеи были изложены им конспективно. Как уже говорилось, численные оценки механического эквивалента теплоты были приведены в этой статье без надлежащих пояснений. Обоснование же сделанных оценок Майер привел в своей следующей статье «Органическое движение в связи с обменом веществ», изданной за счет автора в 1845 г. В ней, в соответствии с названием, среди прочего обсуждаются энергетические процессы в живых организмах.

Никакого интереса у научного сообщества публикации Майера не вызывали. Майер продолжает работать и в 1848 г. — вновь за свой счет — издает книгу «Динамика неба в популярном изложении»; в ней он предлагает метеорную теорию происхождения энергии Солнца. Согласно Майеру, Солнце получает энергию в виде кинетической энергии соударяющихся с его поверхностью метеоритов. Независимо от Майера метеорная гипотеза разрабатывалась позже Уильямом Томсоном и Джеймсом Уотерстоном⁷, а также Германом Гельмгольцем.

Отсутствие какой-либо реакции коллег на его исследования, жизненные трагедии (пятеро из семи детей Роберта Майера умерли в младенчестве). и особенности личности стали причиной глубокой депрессии; несколько месяцев Майер проводит в психиатрической клинике, в мае 1850 г. он совершает попытку самоубийства.

«Силы» Роберта Майера

В какой форме идея сохранения и превращения энергии присутствовала в работах Майера? Первое наблюдение в этом направлении было связано с его опытом кровопускания в качестве корабельного врача. Майер обратил внимание на изменение в окраске венозной крови матросов: с приближением к экватору кровь становилась более красной. Это означало, что в южных широтах в венозной крови остается больше кислорода. Майер делает вывод: в условиях жаркого климата человек потребляет меньшее количество кислорода — поскольку нуждается в меньшем количестве энергии для поддержания постоянной температуры тела (энергия выделяется при окислении пищевых продуктов).

В целом аргументация Майера лишь в незначительной степени была связана с наблюдениями, экспериментами или математическими расчетами. Наиболее адекватным представляется определение его текстов как натурфилософских. Обращая внимание на их уникальность, Р. Турнер, автор статьи о Майере в Словаре научных биографий, замечает, что историкам науки пока не удалось выявить связь идей Майера с немецкой наукой и философией.

⁷ Джеймс Уотерстон (1811–1883) — английский физик. В 1845 г. представил в журнал «Philosophical Transactions» статью, с изложением основных идей молекулярно-кинетической теории. В его модели молекулы были твердыми шариками, а давление газа пропорционально плотности газа и живой силе (т.е. кинетической энергии) молекул. Статья Уотерстона была обнаружена Рэлеем в архиве журнала в 1892 г. и тогда же опубликована.

Центральным понятием для Майера является понятие «силы» (близкое по смыслу к понятию энергии). Майер настаивал на использовании именно этого термина и продолжал использовать его даже когда физики повсеместно заменили «силу» энергией. Майер называет силы первопричинами всех явлений, и, ссылаясь на закон логики *causa aequat effectum* (причина равносильна следствию), делает вывод о «неразрушимости» силы. Наукой о силах Майер называет физику — в той же степени, в которой химия — это наука о веществе. Он подчеркивает, что, в отличие от вещества, силы невесомы.

И подобно тому как в химии выполняется закон сохранения массы, в физике — при происходящих с различными формами силы качественных изменениях — единая «сила» остается неизменной. В качестве примера Майер рассматривает движение и теплоту, определяя их как формы проявления единой неразрушаемой силы.

В «Органическом движении...» идея превращения разных форм силы друг в друга (при сохранении силы в целом) распространяется на область магнитных, электрических и химических явлений. В этом же сочинении Майер обсуждает превращения форм силы в живых организмах. Так, в растениях тепло от Солнца превращается в скрытую химическую силу, животные получают «химическую силу» с пищей, после чего она преобразуется в тепло организма и мускульную силу. Использование же мускульной силы при наличии трения сопровождается выделением некоторого количества теплоты. Майер отмечает, что у такой теплоты и у теплоты живого организма должно быть одинаковое происхождение, связанное с «химической силой».

Вопрос об эквивалентности теплоты и механической работы заинтересовал Майера в связи с обсуждением теории дыхания французского химика Лавуазье. Достаточно быстро Майеру стало ясно: чтобы установить соотношение между теплотой и механической работой нужно обратиться к анализу явлений, более простых по сравнению с физиологическими процессами в живых организмах.

Замечая, что движение часто исчезает без возникновения равного количества другого движения, Майер предполагает, что в подобных случаях оно (движение) превращается в другую форму проявления силы — в теплоту. А, следовательно, должен существовать численный коэффициент, связывающий единицу измерения движения с единицей измерения количества теплоты. Естественное название для такого коэффициента — механический эк-

вивалент теплоты. В статье 1842 г. Майер вычисляет примерное численное значение этого коэффициента. В современных единицах измерения коэффициент, согласно Майеру, равен 3,65. Иначе говоря, $1 \text{ кал} = 3,65 \text{ Дж}$ (современное значение 4,19). Как уже говорилось, подробности своих вычислений Майер обнарудовал только через три года.

Неизвестный эксперимент известного химика

В случае с оценкой механического эквивалента теплоты Майер, как уже было сказано, компенсирует отсутствие собственных экспериментов анализом литературы. Так, он использовал данные малоизвестного в научном сообществе эксперимента, выполненного Гей-Люссаком в 1806 г.

В опыте Гей-Люссака происходило расширения воздуха из баллона (в котором он находился под давлением), в другой баллон (из которого воздух был предварительно откачан). Гей-Люссак хотел выяснить, зависит ли теплоемкость газа от его плотности. Эксперимент показал, что при расширении воздуха «в пустоту» его температура не менялась; таким образом, уменьшение плотности не сказывалось на теплоемкости воздуха. Напомним, что теплоемкость численно равна количеству теплоты, необходимому для повышения температуры тела на один градус.

Что же увидел в том эксперименте Майер? Он знал, что расширение газа при постоянном давлении сопровождается понижением его температуры. В этом случае, чтобы повысить температуру газа на один градус, нужно было сообщить ему добавочное количество теплоты — добавочное по сравнению с необходимым для такого же повышения температуры, но в усло-

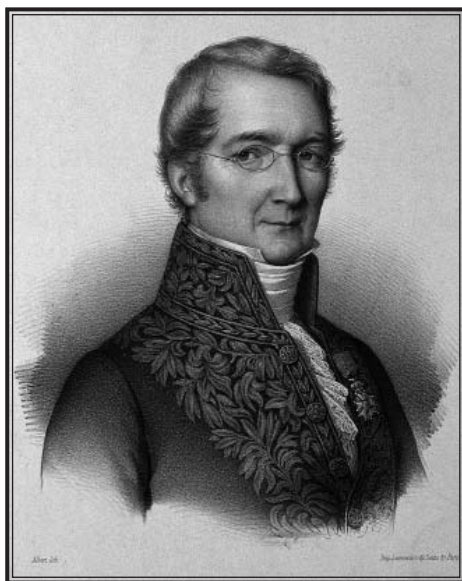


Рис. 15. Жозеф Луи Гей-Люссак.

виях постоянного объёма. А, следовательно, теплоемкость газа при постоянном давлении должна превышать его теплоемкость при постоянном объеме; разность этих теплоемкостей как раз и составляет добавочную теплоту. Майер предположил, что добавочная теплота численно равна работе, совершаемой газом против внешнего давления. Тогда, если такое давление равно нулю, то одновременно с работой газа должна обратиться в ноль и добавочная теплота. Но именно такая ситуация реализована в опыте Гей-Люссака: при расширении в пустоту воздух не совершает работы, а его температура не меняется — и для ее повышения требуется такое же количество теплоты, как и при неизменном объеме. Добавочное тепло отсутствует. Майер, таким образом, увидел в опыте Гей-Люссака косвенное подтверждение своей гипотезы.

Выступая на открытии музея Джоуля в 1927 г., профессор теоретической физики Манчестерского университета Леон Розенфельд обратил особое внимание на предлагаемую Майером интерпретацию опыта Гей-Люссака: «В своей убедительности и простоте рассуждения Майера являют собой один из самых прекрасных примеров аргументации, приводящей нас к великим открытиям в физике».

Пусть в нашем распоряжении имеется один моль газа. Гипотеза Майера означает, что разность молярных теплоемкостей при постоянном давлении и при постоянном объеме работе газа при повышении его температуры на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, т.е. равна газовой постоянной:

$$C_p - C_v = R \quad (*)$$

Уравнение (*) известно как уравнение Майера.

Майер воспользовался имеющимися в литературе данными о численном значении C_p . Отношение теплоемкостей можно было определить из также имевшихся в литературе сведений об скорости звука в воздухе. Левая часть уравнения (*) — разность теплоемкостей — измеряется в калориях, правая часть — работа — в механических единицах (в системе СИ — в джоулях). Таким образом, (*) дает нам соотношение между единицей измерения механической энергии (работы) и калорией.

Приведем, следуя Тернеру, вывод Майером соотношения между калорией и механической единицей энергии:

Пусть x — количество теплоты, необходимое для нагрева одного кубического сантиметра воздуха от 0° до $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ в условиях постоянного объема. Если же постоянным поддерживается давление, то теплоты нужно будет больше, скажем, $x+y$, т.к. воздух

при расширении совершит работу против силы, обеспечивающей постоянство давления. Если неизменное давление обеспечено столбиком ртути, то дополнительное количество теплоты u будет израсходовано на поднятие этого столбика. Пусть P — вес ртутного столбика и h — расстояние на которое он поднимается при расширении воздуха. Тогда $u =$ работе против силы тяжести $= Ph$. Из опубликованных данных Майер знал, что для повышения температуры одного кубического сантиметра воздуха на один градус при постоянном атмосферном давлении (т.е. высота столбика ртути равна 76 см) потребуется $3,47 \times 10^{-4}$ калорий. Иначе говоря, $x + u = 3,47 \times 10^{-4}$ калорий. Майер также знал, что отношение теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме равно 1,421. Тогда $u = 1,03 \times 10^{-4}$ калориш. Коэффициент объемного расширения воздуха был известен — $1/274$. Это означает, что расширяющийся воздух совершает работу по поднятию столбика ртути высотой 76 см на высоту $h = 1/274$ см. Следовательно, в соответствии с уравнением $u = Ph$,

$$1,03 \text{ калориш} = 10^5 \text{ Па} \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times 1/274 \times 10^{-2} \text{ м}; 1 \text{ кал} = 3,65 \text{ Дж}$$

Статья Гей-Люссака с описанием эксперимента была опубликована в малоизвестном сборнике трудов Аркейского научного общества. Джоуль не знал о существовании сборника; соответственно, не знал и об эксперименте. В современных учебниках уравнение (*) следует из первого начала термодинамики и закона Джоуля, согласно которому внутренняя энергия идеального газа зависит только от абсолютной температуры газа (и не зависит от объема). Закон был установлен Джоулем в 1844 г. в отдельном эксперименте, аналогичном эксперименту Гей-Люссака. Для Джоуля результаты эксперимента были аргументом против концепции теплорода, в соответствии с которой газ должен был охлаждаться также и при расширении в вакуум.

Начало приоритетного спора

Через два месяца после выхода в свет статьи Майера в «Comptes Rendus» Джоуль сообщает в письме Томсону о претензиях «немца по имени Майер» на приоритет в открытии механического эквивалента теплоты: «Это не для меня, поскольку

предполагает необходимость писать ответ в *Comptes Rendus*, но я не буду включаться в противостояние по вопросу о приоритете ...Я не хочу монополизировать ситуацию, поскольку заслуги принадлежат всем, кто разрабатывал нашу доктрину». Действительно, участие Джоуля в дискуссии ограничилось одной публикацией в «*Comptes Rendus*».

В то же время его реакцию на заявления Майера можно увидеть в переписке с Томсоном. Так, в марте 1849 г. Джоуль сообщает Томсону, что Майер называет утверждение о существовании механического эквивалента теплоты «мой закон», «хотя он и не пытался его экспериментально проверить». При этом Джоуль подчеркивает: «я не имею ни малейшего желания приуменьшить реальные заслуги Майера и я, надеюсь, не сказал ничего, что можно было бы воспринять как сарказм или несправедливость».

В декабре 1848 г. Джоуль пишет ответ Майеру; соответствующая публикация появилась в «*Comptes Rendus*» в январском выпуске 1849 г. Джоуль уверяет Майера, что не знал о его статье в «*Анналах химии и фармации*»... ему вполне можно поверить: физики не имеют обыкновения читать химические журналы. По поводу же заявления Майера о приоритете в определении численного значения механического эквивалента теплоты Джоуль высказывается вполне определенно. Не зная наверняка, действительно ли отсутствует зависимость теплоемкости от объема, Майер не имел никаких оснований предполагать, что вся теплота, израсходованная на расширение газа в условиях постоянного давления численно равна совершенной газом работе.

В своем ответе Майеру Джоуль называет сделанные им оценки механического эквивалента теплоты «предсказанием»: «...каждый признает остроумие Майера, предсказавшего численные отношения, которые должны быть установлены между теплотой и силой; но нельзя, мне кажется, отрицать, что я был первым, доказавшим существование механического эквивалента теплоты и определившим его численное значение с помощью бесспорных опытов».

В «ответе на ответ», Майер опроверг эти суждения Джоуля «настолько легко и убедительно, насколько только это было возможно». Главный упрек Джоуля он отвергает, ссылаясь на эксперимент Гей-Люссака (о котором Джоуль, напомним, не знал). На эту статью Майера Джоуль не ответил, и дискуссия закончилась (неожиданно возобновившись через 14 лет).

Признание с оговорками

В результате Джоуль и Томсон признали (с оговорками) приоритет Майера. В статье Джоуля, опубликованной в 1850 г. в «Transactions of Royal Society», появилась ссылка на Майера (но исключительно на его статью в «Анналах химии и фармацевтики»). Джоуль писал: «Первое упоминание об опытах, в которых было установлено возникновение теплоты от трения жидкостей принадлежит, насколько мне известно, Майеру, который утверждает, что взбалтыванием воды поднял ее температуру от 12° до 13° C; при этом он, однако, не указывает величины затраченной им работы...» Как мы видим, Джоуль не ссылается на сделанные Майером оценки механического эквивалента теплоты. В определенной степени признал вклад Майера и У. Томсон, выразившийся в 1851 г. в одной из своих статей следующим образом: «Первым опубликованным в печати сообщением об этом принципе (эквивалентности механической работы и количества теплоты) по-видимому, является работа Майера “Замечания о силе неживой природы”...». сразу же после этого у Томсона следует ссылка на Джоуля: «В работе, опубликованной спустя примерно четырнадцать месяцев после этого... Джоуль из Манчестера ... определил на бесспорных основаниях абсолютные численные отношения, связывающие между собой теплоту и механическую силу».

Несомненным последствием дискуссии стала Королевская медаль, которой Лондонское королевское общество наградило Джоуля в 1852 г.

Судя по всему, признав формально правоту претензий Майера, ни Джоуль, ни Томсон не увидели в его статьях ничего, что заслуживало бы их внимания. Между тем необычные по содержанию размышления Майера получили (впоследствии) высокую оценку. Вот что пишет Макс Планк про Майера в 1878 г.: «То, что у него (Майера) не хватало строго научной школы, что он мог бы в некоторых пунктах, а именно в первых исследованиях, выражаться более ясно и отчетливо для специалистов физиков, что, наконец, почти все примыкающее к метафизике его обоснование его учения стоит на довольно слабых опорах — во всем этом приходится уступить тем, которые в недостаточной степени признают его значение. Но совершенно бесспорно, что Майер был не только первым, удачно высказавшим те идеи, которые характерны для нашего современного естествознания, но и первым, давшим меру и число (а к этому больше всего и сводится дело), применившим эту идею ко всем доступными ему явлениям природы». Мы продолжим это высказывание Планка несколько позже.

Спор о приоритете: неожиданное продолжение

В 1862 г. в Лондоне проходила третья Всемирная промышленная выставка. Выставку сопровождала культурная программа, одним из пунктов которой была научно-популярная лекция профессора Королевского института в Лондоне Джона Тиндаля. Тиндаль — известный физик и популяризатор науки — рассказал гостям выставки историю «открытия» закона сохранения энергии. Лекция состоялась 6 июня, а уже в июльском номере журнала «Philosophical Magazine» было опубликовано ее краткое содержание. Среди прочего Тиндаль сообщил, что за три недели до лекции радикально изменил ее содержание. Приведя несколько примеров превращения и сохранения энергии, он поразил слушателей, следующим высказыванием: «Всё, что я вам рассказал, было обнаружено в работах немецкого физика по имени Майер...». Джоуль в лекции Тиндаля был упомянут всего один раз.

Как и 14 лет назад, стороны излагали свою точку зрения на страницах научного журнала. Только теперь таким журналом был не французский «Comptes Rendus», а британский «Philosophical Magazine».

Участники

На этот раз в дискуссии участвовали представители научно-го истеблишмента: на стороне Майера Джон Тиндаль⁸, на стороне Джоуля — кроме него самого — профессор натуральной философии Эдинбургского университета Питер Тэт⁹ и профессор университета Глазго Уильям Томсон.

⁸ Джон Тиндаль (1820–1893) — физик, член Лондонского королевского общества. С 1853 по 1887 г. профессор Королевского института в Лондоне. Открыл повышенное поглощение инфракрасного излучения Земли парниковыми газами земной атмосферы. Обнаружил специфический эффект, связанный с рассеянием света в коллоидных растворах. Изобрел прибор для определения количества двуокси углерода в выдыхаемом воздухе. Автор более 147 статей в научных журналах и 12 книг о науке для широкой аудитории. Был известен в Англии и на континенте Европы как харизматический лектор — популяризатор науки. Англоязычная Википедия называет его одним из самых известных в мире ученых в 60-х годах девятнадцатого столетия.

⁹ Питер Тэт (1831–1901) — английский физик и математик, член Эдинбургского королевского общества. С 1860 по 1900 г. профессор натуральной философии Эдинбургского университета. В соавторстве с У. Томсоном написал получивший широкую известность «Трактат по натуральной философии» — учебник по классической физике.

На новом этапе градус дискуссии оказался весьма высоким... тому причиной было не столько содержание обсуждавшихся вопросов, сколько личностные особенности участников и особенности их взаимоотношений. Так, Джон Тиндаль был известен своим агностицизмом, а Питера Тэта, напротив, отличала глубокая религиозность. Что же касается Тиндаля, то к особенностям его характера относят высокий уровень конкурентности и любовь к дискуссиям. Так, вполне определенную характеристику Тиндаля мы находим в переписке Джемса Клерка Максвелла: «Доктор Тиндаль — единственный из известных мне людей, кто может сделать темой дискуссии всё, что угодно». Неудивительно, что в 1864 г. Тиндаль стал членом клуба Х — группы ученых, ориентированных на продвижение в обществе естественнонаучных знаний, неформально рассматриваемых как своеобразная альтернатива религии. В клубе Х Тиндаль был единственным физиком.

Что касается Питера Тэта, то его отличительными чертами современники называют чувство юмора и упорство в достижении поставленных целей. На втором этапе дискуссии именно Тиндаль и Тэт были ее главными «действующими лицами».

Из трех человек, представлявших в дискуссии сторону Джоуля, хорошими отношениями с Тиндалем мог похвастаться только сам Джоуль. Тэт и Тиндаль друг друга недолюбливали... среди прочего, их разделяло отношение к религии. Отношения Тиндаля с Томсоном были испорчены давним спором по поводу теории ледников. Явно не облагораживал дискуссию и национализм Питера Тэта, во всех возможных и невозможных ситуациях отдававшего предпочтение британским ученым. К примеру, основателем экспериментального метода в науке Тэт называл не итальянца Галилео Галилея, но англичанина Уильяма Гильберта.

Полемика на страницах «Philosophical Magazine»

Первым отреагировал на лекцию Тиндаля Джоуль. На страницах «Philosophical Magazine» он написал, что не согласен с объявлением Майера одним из создателей динамической теории тепла. Джоуль напомнил, что полноценное доказательство справедливости динамической теории впервые появилось в его собственных исследованиях, что это доказательство было экспериментальным и что его приоритет в этом вопросе признан научным сообществом. Одновременно Джоуль пишет Тиндалю частное письмо, в котором благодарит (!) профессора Тиндаля за лекцию, «по поводу которой я опубликовал одну или две заметки в Phil. Mag».

Свое несогласие с позицией Тиндаля в отношении Майера Джоуль формулирует, не называя имен: «Я думаю, что в случаях, подобных ситуации с коэффициентом эквивалентности, предпочтение следует отдавать тому, кто реально разработал методику эксперимента — но не “резонеру”, оперирующему логическими конструкциями». Имеется в виду, конечно же, Роберт Майер, в аргументации которого Джоуль, очевидно, не видит ничего заслуживающего внимания. Должна была пройти четверть столетия, прежде чем Макс Планк воздаст должное «логическим конструкциям» Роберта Майера: «Если мы ... и не приписываем философским рассуждениям Майера какой-либо силы физического доказательства, то все же практически они чрезвычайно важны, поскольку они облегчают обозрение всего содержания принципа и дают таким образом руководящие идеи, на основании которых мы должны ставить вопросы природе». Судя по всему, не считал в то время «философские рассуждения» Майера сколько-нибудь ценными и сам Тиндаль. Однако через восемь лет, выдвигая Майера на медаль Копли, Тиндаль назовет в качестве его достижений статьи о «силах неорганической природы» и статьи об «органическом движении в связи с питанием», рассматривая, впрочем, и то и другое как часть исследований по «механике теплоты». По-видимому, за восемь лет отношение к «философским рассуждениям» Роберта Майера успело измениться... Эти изменения, несомненно, ускорились благодаря появлению переводов сочинений Майера на английский язык (они были опубликованы в «Philosophical Magazine» в 1862–1863 гг. — т.е. параллельно с дискуссией).

Еще одно письмо Джоуль отправил Уильяму Томсону. Описывая свои впечатления от лекции Тиндаля, Джоуль не сдерживает эмоций: «он называет вас, меня и Уотерстоуна и только для того, чтобы сообщить, что сделанное нами было предсказано Майером». Джоуль высказывается также по поводу психической болезни Майера, о которой рассказал своим слушателям Тиндаль. Сочувствуя Майеру, Джоуль не считает это печальное обстоятельство основанием для отказа выяснять истинное положение вещей.

Почему Джон Тиндаль реанимировал старый спор?

Тиндаль возобновил дискуссию, казалось бы, закончившуюся 14 лет назад. Он к ней готовился: незадолго до лекции заручился поддержкой Гельмгольца, одного из самых авторитетных ученых Европы того времени. Отвечая на вопрос Тиндаля о своем отношении к приоритетному спору Майера и Джоуля, Гельмголец

написал, что считает претензии Майера справедливыми. Одновременно он признал недостаточность обоснования Майером своих расчетов и важность измерений, сделанных Джоулем.

Мнение Гельмгольца существенно усиливало позицию Тиндаля... но что заставило его возобновить давнюю дискуссию? Скорее всего какого-то определенного ответа на этот вопрос не существует; у поступка Тиндаля могло быть несколько причин. Возможно, интуиция подсказывала ему ограниченность представлений о работах Майера, и он хотел восстановить справедливость, не преуменьшая при этом роль Джоуля.

А возможно, им двигали конкурентные чувства. Так, английский историк науки Кардвелл считает, что целью Тиндаля в этой дискуссии был не Джоуль, отношения с которым были хорошими, а стоявшая за Джоулем фигура Томсона. Кардвелл замечает, что до Тиндаля профессором Королевского института в Лондоне был Фарадей и статус этой должности ассоциировался со статусом первого лица национальной науки. Неудивительно поэтому, что Тиндаль претендовал на неформальное звание «главного физика» Англии. В то же время, замечает Кардвелл, и в поездках по стране и за ее пределами Тиндаль имел возможность неоднократно убедиться в том, что первым физиком Англии научное сообщество считает не его, а будущего лорда Кельвина.

Джон Тиндаль vs Питер Тэт

В октябре 1862 г. в дискуссию вступают Томсон и Тэт. Свое послание Тиндалю — статью «Энергия» они размещают не в «*Philosophical Magazine*», а в популярном журнале для семейного чтения «*Good Words*». В журнале был серьезный научный отдел, в котором регулярно печатался Дэвид Брюстер¹⁰, ректор Эдинбургского университета и редактор «*Philosophical Magazine*».

Можно предположить, что инициатива ответить Тиндалю именно здесь, а не на страницах научного журнала, принадлежала Тэту, стремившегося тем самым снизить пафос дискуссии. Интересно, что эта статья Томсона и Тэта в журнале для семейного чтения — одна из первых публикаций, в которой встречается словосочетание «кинетическая энергия». В статье среди прочего был

¹⁰ Сэр Дэвид Брюстер (1781–1868) — английский физик. Член Лондонского королевского общества, президент Эдинбургского королевского общества. Открыл существование угла Брюстера — угла падения света на поверхность диэлектрика, при котором отраженный свет полностью поляризован. Открыл явление двойного лучепреломления в средах с искусственной анизотропией. Изобрел калейдоскоп.

отмечен вклад Майера в определение механического эквивалента теплоты. Рассказывая о Майере, Томсон и Тэт отрицательно отзываются о «недавних попытках поставить его в положение, на которое он никогда не претендовал и которое до сих пор было занято другим человеком...»

Реакции Тиндаля на статью Томсона и Тэта пришлось долго ждать: его ответ появился в мартовском выпуске «*Philosophical Magazine*» за 1863 г. Тиндаль замечает, что статью Томсона и Тэта обнаружил случайно, поскольку не предполагал увидеть ее в ненаучном издании. Тиндаль не скрывал возмущения этим обстоятельством. Его неприязнь вызвало, в частности, соседство с научно-популярными статей религиозного содержания. Эти эмоции Тиндаля скорее всего предназначались Тэту, религиозность которого была общеизвестна.

В апрельском номере «*Philosophical Magazine*» дискуссию продолжает Тэт. На этот раз свои возражения Тиндалю он излагает в письме, адресованном редактору журнала Дэвиду Брюстеру. Отвечая на замечания Тиндаля, Тэт приводит ряд ссылок, свидетельствующих, что Томсон знал о работах Майера задолго до лекции Тиндаля. В этом же письме (адресованном не Тиндалю!) Тэт спрашивает, «знает ли профессор Тиндаль, что претензии на приоритет, связанные со статьей Майера, основываются на случайно полученной им численной оценке величины механического эквивалента теплоты?».

Тиндаля явно задела демонстративность Тэта, адресовавшего письмо не тому, кому было предназначено содержание и уже в майском номере журнала опубликовано его письмо Томсону (и только ему). Он обращался к Томсону:

«В любой статье, в которой фигурируют ваше имя и имя профессора Тэта, можете быть уверены, что вы рассматриваетесь как “главный”. Вы старше и более известны и именно ваше мнение в этой дискуссии представляет интерес для научного мира». В этом же письме Тиндаль ссылается на поддержавшего его точку зрения Гельмгольца. Тиндаль также обращает внимание Томсона на значительный разброс численных значений механического эквивалента теплоты, полученных Джоулем в эксперименте 1843 г., в котором тепло генерировалось индукционными токами.

В июньском номере Тиндалю ответили по отдельности и Томсон и Тэт. Томсон был краток. Назвав Тэта «выдающимся» ученым, он отметил, что «тон, принятый д-ром Тиндалем, беспрецедентен для научной дискуссии». В связи с этим Томсон заявил об отказе участвовать в каких-либо дискуссиях с д-ром Тиндалем.

Тэт же, комментирует реплику Тиндаля о разбросе экспериментальных данных, обращает его внимание на эксперимент Джоуля (относящийся к тому же 1843 г.), в котором вода продавливалась сквозь узкие отверстия и измерялись повышение ее температуры и совершённая работа. Соответствующее значение эквивалента составило 4,142 Дж/кал. Ответное письмо Тиндаля публикуется в июльском номере «Philosophical Magazine». Тиндаль признается, что не учитывал упоминаемые Тэтом опыты Джоуля, замечая при этом, что рассматривает в качестве основных его магнито-электрические опыты, в которых выделение теплоты было связано с электрическим током.

Джоуль и Тиндаль

Интересна позиция Джоуля. Сознывая, что дискуссия становится токсичной для ее участников, он старается сохранить отношения с Тиндалем (но не может не реагировать на его критику). В итоге ответ Джоуля мы находим в личном письме Тэту 25 июля 1863 г. Джоуль отвечает на замечание Тиндаля, заметившего, что впервые именно Майер использовал словосочетание «Механический эквивалент теплоты». Джоуль пишет Тэту — но не Тиндалю! — «В заголовке моей статьи 1843 г. я использовал сочетание слов «Механическое значение теплоты» (Mechanical value of heat). А в 1844 г., в докладе перед Королевским обществом я использовал сочетание слов «Механический эквивалент» (опустив, но подразумевая слово «теплота»)). Отдавая Майеру первенство в этом вопросе, Тиндаль скорее всего прав... Но вряд ли такой вопрос вообще заслуживает обсуждения. Джоуль, впрочем, находит «в ответ» столь же «существенный» недостаток у Майера: объем его статьи в «Анналах химии и фармации». Джоуль замечает, что шестистраничная статья была фактически заметкой (note) и делает вывод: «Майер опубликовал ее с единственной целью — зафиксировать свой приоритет», подчеркивая, что сам он «никогда таких статей не публиковал». При этом он в очередной раз фиксирует существенные отличия своего научного стиля от стиля Майера: «Статья Майера была не более чем размышлением (speculation), в то время как моя была исследованием».

Появление в дискуссии вопросов об объеме статьи и о приоритете в употреблении словосочетания «механический эквивалент теплоты» вызывает ощущение исчерпанности темы. Это, по-видимому, чувствует Джоуль. В августе 1863 г. журнал «Philosophical Magazine» публикует его письмо с благодарностью Томсону и Тэту за поддержку. Джоуль также благодарит и Тинда-

ля — вновь демонстрируя свой нейтралитет. Контраст с жесткостью дискуссии между Тиндалем с одной стороны и Томсоном и Тэтом с другой очевиден. Кардвелл объясняет поведение Джоуля его нелюбовью к публичным выяснениям истины. Свое раздражение Джоуль оставляет частной переписке; его явно не успокоила фраза Тиндала в одном из писем: «сцена большая, на ней достаточно места для вас двоих».

Луна горячая?

В марте 1863 г. Джоуль сообщает Томсону, что «взял реванш у Тиндала: обнаружил, что Луна горячая, а не холодная, как он утверждал». Термоскоп для измерения температуры Луны Джоуль сконструировал в 1863 г.; его описание мы находим в письме Томсону. Согласно Джоулю, свет от Луны, нагревая воздух внутри термоскопа, вызывал конвекционное движение воздуха, отклонявшего подвешенную на нити стрелку компаса. По оценкам Джоуля, в условиях полной Луны температура воздуха внутри термоскопа повышалась за счет лунного света на 10^{-4} °F. Рассказывая в одном из выпусков 1869 г. об измерениях температуры Луны, журнал «Scientific American» упоминает о неудаче профессора Тиндала, проводившего такие измерения с помощью телескопарефлектора с металлическими зеркалами. Определить температуру спутника Земли Тиндалю помешал лондонский смог. Возможно, Джоуль имеет в виду именно эти опыты.

Финал спора

Итак, дискуссия закончилась. Спустя четыре года Тиндаль так описывал вклад Майера и Джоуля в создание закона сохранения энергии: «Майер завершил свою теорию умственно и довел ее до ее прекрасных применений. Джоуль разработал свою теорию и сообщил ей надежность закона природы. Верный умозрительному инстинкту своей страны, Майер сделал великие и важные выводы из своих исходных положений, англичанин же больше всего старался о том, чтобы с полной неоспоримостью установить факты. Полагаю, что будущий историк науки не станет смотреть на этих людей как на соперников». Заметим, что различие приоритетов у англичанина Джеймса Джоуля и немца Роберта Майера иллюстрирует различие национальных образов научного знания. Английскую науку отличает ориентация на экспериментальное исследование проблемы, немецкую — ее теоретическое изучение. Безу-

словно, в XXI веке отличия национальных образов научного знания в значительной степени затушевываются глобальным характером современной цивилизации и обеспечивающими его современными средствами коммуникации. Применительно же к классической науке XVIII–XIX вв. акцент на ее национальных особенностях вполне оправдан. Впервые этот вопрос подробно исследовал в начале XX в. французский методолог науки Пьер Дюгем.

Надежды Тиндаля не оправдались. Несовместимость «научных характеров» Джоуля и Майера дает основания биографу Джоуля Дональду Кардвеллу говорить о несовместимости их как личностей. С ним согласен и автор обширной биографической статьи о Джоуле Роберт Фокс. А уже упоминавшийся нами Леон Розенфельд, профессиональный физик-теоретик, критически оценивает непримиримость Джоуля к «рассуждениям» Майера. Розенфельд замечает, что в лице Майера философия немецкого романтизма напоминала физикам о важности качественных изменений, «о которых физики временами склонны были забывать». Розенфельд пишет: «В одном из дневников Джоуля имеется перевод первой статьи Майера. Должен сказать, что перевод скорее плохой; самые трудные для понимания фразы оказались для Джоуля совершенно неприемлемыми. Он, очевидно, настолько раздражен взглядами Майера, что не может удержаться и не вставлять в перевод разнообразные уничижительные реплики».

Разговор о последствиях дискуссии возвращает нас к началу этой статьи — к присуждению Джоулю и Майеру высшей награды ЛКО. Выдвинувший на медаль Копли и своего соотечественника и его оппонента-немца, Тиндаль символически завершал давний приоритетный спор. В истории науки хватило места и экспериментам Джеймса Джоуля, и размышлениям Роберта Майера.

Литература

- Гельмгольц Г. 1934. О сохранении силы. М.-Л.: Гос.изд-во технико-теоретической литературы.
- Дюгем П. 1910. Физическая теория, ее цель и строение. СПб.: Образование.
- Кудрявцев П.С. 1955. История физики. Гос. учебно-педагог. изд-во. Т. 2.
- Планк М. 1938. Принцип сохранения энергии. М.-Л.
- Розенбергер Ф. 1936. История физики. Ч. 3. Вып. 2. М.; Л. С. 36.
- Сивухин Д.В. 1990. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука. Глав. ред. физ.-мат. лит-ры.

- Тиндаль Дж. 1864. Теплота, рассматриваемая как род движения. СПб.: Изд-во книжного магазина Е.С. Баллиной.
- Франкфурт У.И. 1978. Закон сохранения и превращения энергии. М.
- Щербаков Р. 2016. Рыцари великого закона // Природа. № 2. С. 68–76.
- Cahan D. 2012. The awarding of the Copley Medal and the discovery of the law of conservation of energy // Notes and Records of the Royal Society. P. 125–139. (Published online 16 November 2011).
- Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester: Manchester University Press.
- Collins M.W. 2015. The First Law of Thermodynamics: The Joule – Mayer Controversy // WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering. Vol. 89.
- Fox R.M. 2014. James Prescott Joule // Mid-Nineteenth-Century Scientists: The Commonwealth and International Library. Liberal Studies Division. Elsevier. P. 72.
- Gay-Lussac J.L. 1807. Premier essay pour determiner les variations de temperature qu'éprouvent les gaz en changeant de densite, et considerations sur leur capacité pour le calorique // Mémoires de physique et de chemie, de la Société d'Arcueil. P. 180–203.
- Heat from the Moon. 1869. // Scientific American. Vol. 21. 19 November. P. 293–294.
- Joule J. 1843. On the caloric effects of magneto- electricity and on the mechanical value of heat // Philosophical Magazine. Vol. 23. P. 263–276.
- Joule J. 1849. Sur l'équivalent mecanique de calorique // Comptes Rendus. T. 28. P. 132–135.
- Joule J. 1850. On the mechanical equivalent of heat // Phil. Trans. R. Soc. Vol. 140. Pt. 1. P. 61–82.
- Joule J. 1863. On the dynamical theory of heat // Philosophical Magazine. Vol. 26. P. 145.
- Mayer J.R. 1842. Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Nature // Annalen d. Chem. u. Pharm von Wohler und Liebig. Bd. 42. S. 232–237.
- Mayer L.R. 1845. Die organische Bewegung mit dem Stoffwechsel. Heilbronn.
- Mayer L.R. 1848. Beiträge zur Dynamik des Himmels in popular Darstellungen. Heilbronn.
- Mayer J.R. 1849. Reclamation de priorité contre M. Joule, relativement a la loi de l'équivalence du calorique // Comptes Rendus. T. 29. P. 534–535.

- Mayer J.R. 1862. Remarks on the forces of inorganic nature // Philosophical Magazine. Ser. 4. Vol. 24. Is. 162. P. 371–377.
- Mayer J.R. 1863. Remarks on the mechanical equivalent of heat // Philosophical Magazine. Ser. 4. Vol. 25. Is. 171. P. 493–522.
- Rosenfeld L. 1952. Joule's Scientific Outlook // Bulletin of the British Society for the History of Science. Vol. 1. No. 7. P. 172.
- Sur la transformation de la force vive en chaleur et reciproquerent (extrait de un lettre de M. Mayer). 1848. // Comptes Rendus. T. 27. P. 385–387.
- Tait P. 1863. On the conservation of energy // Philosophical Magazine. Vol. 25. P. 429.
- Tait P. 1863. Reply to professor Tyndall's remarks on a paper on "Energy" in "Good Words" // Philosophical Magazine. Vol. 25. P. 263.
- Thomson W. 1853. On the dynamical theory of heat with numerical results deduced from Mr Joule's equivalent of a thermal unit, and Mr Regnault's observations on steam // Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Vol. 20. P. 262.
- Thomson W. 1863. Note on Professor Tyndall's remarks on the dynamical theory of heat // Philosophical Magazine. Vol. 25. P. 429.
- Thomson W., Tait P. 1862. Energy // Good Words. P. 601–607.
- Turner R. 1974. Robert Mayer // Dictionary of Scientific Biography. Vol. 9. P. 237.
- Tyndall J. 1862. On force // Philosophical Magazine. Vol. 24. P. 57–66.
- Tyndall J. 1863. Remarks on the dynamical theory of heat // Philosophical Magazine. Vol. 25. P. 368–387.
- Tyndall J. 1863. Remarks on Professor Tait's last letter to Sir David Brewster // Philosophical Magazine. Vol. 26. P. 65.

Джоуль и Томсон

Встреча в Оксфорде

Историческая встреча Джоуля и Томсона состоялась в июне 1847 г. в Оксфорде на ежегодном собрании Британской Ассоциации содействия развитию науки. Выступление Джоуля было заявлено в химической секции; как он сам впоследствии вспоминал, он собирался повторить доклад четырехлетней давности, сделанный им в 1843 г. на аналогичном собрании Ассоциации в г. Корке. Тогда, по словам Джоуля, доклад «не вызвал большого общего внимания... так что когда я представил его в 1847 г., то организаторы, ссылаясь на нехватку времени, предложили мне ограничиться форматом краткого сообщения, быть предельно лаконичным и обойтись без ответов на вопросы». Интересно, что, цитируя Джоуля, современные авторы опускают его признание в том, что он собирался повторять доклад четырехлетней давности. В итоге действия организаторов выглядят абсолютно неоправданными, являя собой еще один пример недооценки Джоуля в экспертном сообществе. На самом деле действия организаторов вполне объяснимы.

Однако этому докладу суждено было изменить настроение коллег Джоуля; причиной тому было присутствие в аудитории профессора университета Глазго Уильяма Томсона. Несмотря на свою молодость (23 года), Томсон был известен в научном мире. Выпускник Кембриджского университета 1845 г. со званием «второго спорщика» (что означало второе место на трайпосе — наиболее сложнейшем экзамене по математике), в 1841–1845 гг., еще будучи студентом, Томсон в серии статей развивает идеи французского математика Ж. Фурье. В трактате Фурье «Аналитическая теория теплопроводности» задачи о распределении температур в нагретом теле решались с помощью дифференциальных уравнений. Фурье подчеркивает, что, не ставя задачу отыскания первопричины тепловых явлений, «мы можем, опираясь на опыт, найти математические законы, описывающие эти явления». Такой подход называют феноменологическим.

Для дальнейшего повествования важно иметь в виду, что Томсон несколько месяцев проработал в Париже, в лаборатории извест-

ного французского физика-экспериментатора Виктора Реньо. Реньо, в частности, показал, что существующие газовые законы: закон Шарля, закон Гей-Люссака, закон Бойля–Мариотта — на самом деле справедливы только для «совершенных газов» (в современной литературе их называют идеальными). Реальные газы описываются этими законами лишь с известной (хотя и высокой) степенью точности.

Стажировка в лаборатории Реньо сформировала у Томсона интерес к экспериментальным исследованиям и особенно к количественным измерениям. Кроме того, в Париже Томсон прочитал статьи Клапейрона с изложением идей Сади Карно по теории тепловых машин и стал убежденным последователем Карно и Клапейрона. Согласно Карно, тепловой двигатель совершает механическую работу за счет перехода некоторого количества теплорода (тепловой субстанции) от горячего резервуара к холодному — по аналогии с водяной мельницей, колесо которой приводит во вращение поток воды.

Количество теплорода при этом оставалось неизменным. Принимая теорию Карно–Клапейрона, Томсон «по умолчанию» стал сторонником концепции теплорода.

В отличие от Томсона, Джоуль уже в своих ранних работах представлял теплоту как род движения. В 1841 г. он связывал теплоту с вибрациями окружающих атомы электрических и магнитных «атмосфер». Спустя два года Джоуль писал: «когда мы рассматриваем тепло не как субстанцию, но как состояние вибрации, то, кажется, не остается причин, по которой она (теплота) не должна индуцироваться действием чисто механического характера».

Судя по всему, Томсон был знаком с работами Джоуля... действительно, на заседание химической (а не физической) секции в Оксфорде он пришел именно из желания услышать доклад Джоуля.

Джоуль: «таким образом, после моего выступления не было бы обсуждения, если бы молодой человек не встал и не вызвал своими репликами живой интерес к новой теории». Молодым человеком был Уильям Томсон, в воспоминаниях которого некоторые детали (что естественно) выглядят иначе. Он замечает, что во время доклада хотел встать и обратить внимание Джоуля на допущенные им ошибки. Однако, выслушав доклад целиком, он увидел, что речь идет о большом открытии и, подождав окончания заседания секции, сообщил Джоулю о своем интересе к его исследованиям.

Признание

Не скрываемый Томсоном интерес к работам Джоуля кардинально изменил его статус в научном сообществе. Предметом повышенного внимания стал, в частности, принцип эквивалентности теплоты и работы. Были, впрочем, слышны и голоса тех, кто полагал, что все аргументы Джоуля основаны исключительно на его уверениях в исключительной точности измерений температуры — до тысячных долей градуса. Опытами Джоуля заинтересовался Фарадей, но без видимых последствий. Зато Дж. Стокс¹¹ откровенно сообщил Томсону, что стал последователем Джоуля. Один из биографов Джоуля так описывает ситуацию: «Долгие годы фрустрации закончились и концепция сохранения энергии **внезапно** (выделено мною — Б.В.) стала полностью признанной».

Неуничтожимая *vis viva*

Рассказывая в письме отцу (профессору математики в университете Глазго) свои впечатления об оксфордском съезде Ассоциации, Томсон выделяет среди прочего доклад Джоуля о «динамическом эквиваленте теплоты»: «...кажется, он открыл несколько фактов чрезвычайной важности — к примеру, что теплота создается трением движущихся жидкостей». Томсон имеет в виду в первую очередь те опыты Джоуля, в которых вода продавливалась сквозь узкие отверстия... измерялась работа по продавливанию и количество выделившегося тепла. Описывая эти опыты, Джоуль не ограничивается вычислением механического эквивалента теплоты; он делает важные заявления: «силы природы неуничтожимы» и «при всякой затрате силы возникает соответствующее количество теплоты».

Попробуем ответить на два вопроса. Один относится к Томсону: почему он считает фактом чрезвычайной важности (называя его открытием) продемонстрированное Джоулем возникновение теплоты в процессе трения движущихся жидкостей? Второй вопрос касается Джоуля: что именно он имеет в виду, когда говорит о неуничтожимых силах природы?

На современном языке «факт чрезвычайной важности» воспринимается как тривиальное явление: превращение кинетиче-

¹¹ Сэр Джордж Габриэль Стокс (1819–1903) — английский математик и механик, член Лондонского королевского общества, его президент в 1885–1890 гг. Профессор Кембриджского университета. Вывел дифференциальные уравнения, описывающие течение вязких жидкостей.

ской энергии жидкости в тепло. Термину «кинетическая энергия» еще только предстоит появиться на свет (его ввел Томсон в 1870 г.) и Джоуль пользуется термином *vis viva* (живая сила).

Скорее всего энтузиазм Томсона в отношении открытого «факта чрезвычайной важности» связан с тем обоснованием этого факта, которое предлагает Джоуль.

Действительно, если мы не связываем выделение теплоты с трением жидкостей, мы должны ответить на вопрос: куда исчезла *vis viva* жидкости — ее механическая энергия? Джоуль считает, что такое исчезновение невозможно; соответствующий тезис — о неразрушимости *vis viva* — Джоуль обосновывает теологическими аргументами: «веря, что способность разрушать относится только к Создателю, я полностью совпадаю в их мнении с Роже и Фарадеем, что любая теория, которая объявляет исчезновение силы (здесь под «силой» следует понимать энергию — Б.Б.), с необходимостью ошибочна».

Такие аргументы близки и понятны Томсону, мировоззрение которого соответствовало определенной христианской традиции; аналогичные взгляды были характерны для Роберта Бойля, Рене Декарта и Исаака Ньютона. В их представлении Вселенной управляет всемогущий Создатель. Инструменты божественного провидения — законы природы — не обладают независимым существованием и не могут быть изменены или разрушены чем либо помимо божественной воли. Концепция превращения *vis viva* жидкости в теплоту снимает проблему разрушения *vis viva*.

Мы можем также предположить, что работы Джоуля привлекали В. Томсона ясно выраженной ориентацией на достижение единства физического знания. Важно отметить, что к тому времени Томсон уже был под впечатлением от аналогий, пронизывающих математическое описание явлений в электростатике, магнитостатике и гравитации (уравнения Лапласа и Пуассона). Возможность использовать одни и те же уравнения при описании явлений из разных разделов физики, безусловно, было шагом к будущему объединению этих разделов.

Что же касается Джоуля, то свидетельством будущего единства физики в его работах были не уравнения, но эксперименты, в которых трение (механика) было источником теплоты (физика тепловых явлений). И эти эксперименты и само понятие механического эквивалента теплоты Томсон воспринимал как своего рода предвосхищения «механической теории теплоты».

Услышанное от Джоуля и прочитанное в его статьях побудило Томсона организовать в конце 1847 г. в Глазго, в универси-

тетской лаборатории собственные эксперименты по превращению трения движущейся жидкости в теплоту. Томсон пытался довести воду до кипения посредством ее перемешивания. При этом в письме одному из своих коллег он откровенно пишет, что успех этого эксперимента вряд ли возможен, поскольку «машина, которую я сделал, недостаточно эффективна». В первом эксперименте температура росла от 45° до 57° со скоростью примерно один градус за пять минут. Во втором эксперименте начальная температура воды составляла 98° ... она возрастала очень медленно и в итоге поднялась до 99° .

Означало ли это, что Томсон отказывается от концепции теплорода? Не означало. По его словам, «мистер Джоуль из Манчестера... сделал очень замечательные открытия по вопросу образования теплоты в результате трения движущейся жидкости, а также некоторые известные опыты с магнитоэлектрическими машинами, которые, кажется, указывают на действительные превращения механического эффекта в теплород». Обратим внимание на слова Томсона о «превращении механического эффекта в теплород». Признавая саму идею превращения, Томсон пока еще не разделяет идеи Джоуля о динамической природе теплоты. Пока он — пассивный сторонник теплорода. Отметим, что Томсон здесь же считает необходимым оговориться: «Однако не сделано и одного опыта, в котором имела бы место обратная операция; впрочем, надо сознаться, что пока многое в отношении к этим фундаментальным вопросам естественной философии окружено тайной».

Водопад как возможный объект научного исследования

Первое совместное исследование Джоуля и Томсона вполне могло состояться вскоре после их знакомства. Спустя примерно две недели после конференции в Оксфорде Томсон совершал прогулку в горной местности и неожиданно встретил Джоуля в сопровождении молодой женщины и с длинным термометром в руках. Как выяснилось Джоуль и его жена (шла первая неделя их медового месяца) шли к водопаду, где Джоуль собирался измерить температуру воды в верхней и нижней части водопада. Томсон вспоминает, что они договорились встретиться через несколько дней и сходить на водопад вместе. Джоуль предполагал — в полном соответствии со своими представлениями — что кинетическая энер-

гия падающей воды превращается в тепло. Ожидаемое повышение температуры воды оценивалось в 1 градус по шкале Фаренгейта для 600-футового перепада высот. Совместный эксперимент не состоялся; обсуждая детали, Джоуль и Томсон пришли к выводу, что высокая турбулентность в потоке падающей в водопаде воды будет искажать результаты измерений температуры.

Совместные экспериментальные исследования Джоуль и Томсон проводили в период 1852–1862 гг. Что мешало начать их раньше? Можем предположить, что и Джоуль и Томсон вполне прагматично ждали избрания в Лондонское королевское общество, поскольку одной из немногих льгот для членов ЛКО было право претендовать на исследовательские гранты.

Кроме того, Томсону требовалось время для согласования идей Клапейрона–Карно с идеями Джоуля. С момента встречи с Джоулем прошло четыре года и в марте 1851 г. выходит статья Томсона «Основные принципы теории движущей силы тепла». Там он, в частности, пишет: «После опытов Дэви, а в особенности Майера и Джоуля, динамическая (т.е. механическая) теория теплоты не должна вызывать никаких сомнений, так как любого из опытов было бы достаточно для того, чтобы доказать нематериальность теплоты...» Томсон имеет в виду опыты английского химика и физика Хэмфри Дэви, который в 1799 г. расплавил два куска льда посредством трения их друг о друга.

«Главным» результатом «дуэта» Томсон–Джоуль, стал эффект, названный в честь авторов эффектом Джоуля–Томсона.

Физический энциклопедический словарь эффект Джоуля–Томсона определяет как «Изменение температуры газа в результате “адиабатического дросселирования” — протекание газа под воздействием постоянного перепада давлений сквозь дроссель». Под дросселем понимается местное препятствие газовому потоку; таким может быть, например, пористая перегородка, расположенная на пути потока газа. Чтобы эффект наблюдался, и трубка с газом, и препятствие должны обладать низкой теплопроводностью.

Примерная схема экспериментальной установки показана на рис. 16. Подлежащий изучению газ прокачивается через трубку с пористой пробкой из ваты. Измерялись температура и давление газа до пробки и после нее. Начальное давление P_1 составляло 0,45 МПа. Температура газа на входе T_1 находилась в интервале от 4 до 100 °С. Было установлено, что «на выходе» — т.е. после пробки температура газа понижалась. В случае воздуха при перепаде давлений в одну атмосферу и при комнатной температуре воздух по ту сторону пробки оказался холоднее воздуха

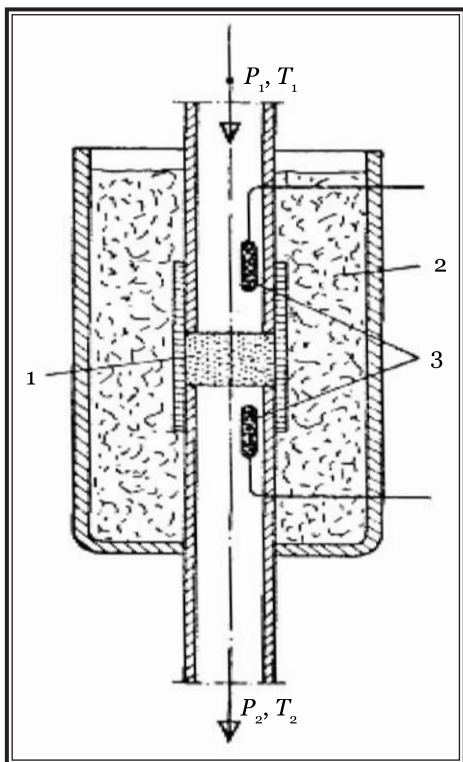


Рис. 16. Схема установки Джоуля: 1 — пористая дроссельная пробка; 2 — тепловая изоляция; 3 — датчики измерения температуры.

«до пробки» на четверть градуса по шкале Цельсия. Изменение температуры газа могло стать весьма значительным при условии поддержания больших перепадов давления по обе стороны от препятствия. Так, если давление газа до препятствия составляет 200 атм, а после — 1 атм (газ расширяется в атмосферу) то при начальной температуре 17 °С воздух охлаждается на 35 °С.

В эффекте Джоуля–Томсона проявляют себя силы межмолекулярного взаимодействия газа (в модели идеального газа мы считаем их исчезающе малыми). Действительно, если мы учтем притяжение молекул, то внутренняя энергия газа будет складываться из кинетической энергии движения молекул и потенциальной энергии их взаимодействия. Напомним, что газ энергетически изолирован от окружающей среды (низкая теплопроводность трубки и препятствия) — а потому при рас-

ширении его внутренняя энергия не меняется. Расстояние между молекулами при этом растет, а, следовательно, растет потенциальная энергия их взаимодействия (оставаясь при этом отрицательной). Соответственно уменьшается кинетическая энергия молекул — уменьшается температура газа.

Реальная картина выглядит существенно сложнее. При изменении условий дросселирования для одного и того же газа уменьшение температуры может смениться ее увеличением. Еще раз напомним, что в рамках модели идеального газа эффект Джоуля–Томсона отсутствует.

Эффект Джоуля–Томсона стал основой методики охлаждения газов, разработанной немецким инженером Карлом фон Линде. В 1895 г. Линде построил первую установку для получения жидкого воздуха в промышленных масштабах. Методика Линде использовалась также для сжижения кислорода, азота и аргона.

Предыстория эффекта связана с именем французского физика-экспериментатора Виктора Реньо и с понятием «совершенного газа». Как мы уже говорили, Реньо, исследовательскую деятельность которого иногда называют «погоней за следующим десятичным знаком», обнаружил незначительные отклонения свойств некоторых газов от справедливого для «совершенных газов» закона Бойля–Мариотта

$$PV = \text{const:}$$

плотность воздуха при постоянной температуре возрастала несколько быстрее давления... тот же эффект наблюдался у углекислого газа. Согласно расчетам У. Томсона, прохождение реального газа через препятствие на пути газового потока (сужение трубки с газом либо перфорированная отверстиями перегородка) должно сопровождаться небольшим понижением его температуры.

Соответствующая экспериментальная установка была построена и в начале мая 1852 г. в подвале дома Джоуля на Acton Square в манчестерском районе Салфорд. 33-летний Джеймс Джоуль (в статусе независимого исследователя) и 27-летний Уильям Томсон (профессор университета Глазго) начали совместные исследования, продолжавшиеся с перерывами почти десять лет. Основным местом этих исследований был Манчестер... некоторые эксперименты проводились в лаборатории университета Глазго.

В первой серии экспериментов Томсон и Джоуль воплощали в жизнь идею Томсона об охлаждении газов. Для создания перепада давлений в газовом потоке (до и после препятствия) использовался компактный ручной насос, и определенного устойчивого эффекта выявить не удалось. Судя по всему, основной причиной было недостаточное давление в газовом потоке. Ситуацию мог изменить насос большей мощности и — как следствие — приспособленная к высоким давлениям экспериментальная установка.

Эти соображения были представлены в совместном докладе Джоуля и Томсона на собрании Британской Ассоциации содействия науке в Белфасте 3 сентября 1852 г. Доклад читал Томсон; Джоуль не смог приехать в Белфаст из-за занятости «по основному месту работы» — т.е. на пивоварне. В докладе, в частности, го-

ворилось: «...авторы убеждены что без аппаратуры много большего масштаба ...они не смогут получить такие исчерпывающие и точные результаты, которые желательны».

Этой репликой авторы недвусмысленно заявляли о необходимости им финансовой поддержке. В 1850 г. Джоуль, а в 1851 г. Томсон были избраны членами Лондонского королевского общества и по этой причине рассчитывали на гранты ЛКО. Еще в мае 1851 г. Томсон обсуждал вопрос финансовой поддержки с секретарем ЛКО Эдвардом Сэбином и был заверен в положительном решении вопроса. Вслед за неформальной договоренностью появилось (после доклада в Белфасте) официальное заключение экспертов ЛКО: рекомендовать выделение Томсону и Джоулю специального гранта на закупку оборудования.

Открывшееся финансирование позволило Джоулю и Томсону планировать эксперименты на совершенно другом уровне. Так, производительность изготовленного по специальному заказу нового насоса была в 16 раз больше, чем у ручного. Новый насос приводился в действие паровым двигателем пивоварни. Отдельные инструменты изготавливались по спецзаказу и должны были выдерживать давление до 10 атмосфер.

О судьбе научных инструментов

На тот момент времени процедура выделения грантов на научные инструменты не была еще рутинной и Джоуль в письме Томсону обсуждает возможную судьбу таких инструментов после завершения эксперимента. Он считает, что насос и термометры могут быть возвращены в ЛКО для повторного использования или для передачи в музей.

В итоге все действительно закончилось в музее. После смерти в 1922 г. сына Джоуля Бенджамена Артура Джоуля Манчестерский колледж наук и технологий приобрел инструменты Джоуля и передал их в местный музей науки и промышленности. В настоящее время эти инструменты — часть экспозиции музея.

Серия экспериментов на новом оборудовании была выполнена уже на территории пивоварни.

Исследования продолжались, расходы росли. и в октябре 1853 г. достигли почти 200 фунтов; Джоуль и Томсон решают просить ЛКО о дополнительном гранте.

Ситуация осложнялась еще тем, что в начале 1854 г. отец Джоуля тяжело заболел и перед семьей встал вопрос о продаже

бизнеса. Напомним, что новый насос приводился в действие с помощью паровой машины пивоварни (ее мощность составляла 3 л.с.). Джоуль рассчитывал, что в крайнем случае новый паровой двигатель можно будет купить и в Глазго и в Манчестере за 100 фунтов с возможностью последующей перепродажи за 40 фунтов. В неформальных контактах представители ЛКО сообщили Джоулю, что Общество удовлетворит их заявку на дополнительное финансирование.

Виктор Реньо и несостоявшийся приоритетный спор

Проблемы с финансированием, впрочем, были вполне предсказуемыми. Однако никто не ожидал приоритетного спора. На этот раз вопрос о приоритете был поставлен Виктором Реньо (напомним, что именно его измерения свойств газов инициировали эксперимент Джоуля и Томсона). Как стало известно Джоулю и Томсону, в письме, полученном Лондонским королевским обществом от Виктора Реньо, утверждалось, что автор письма завершил собственное исследование той проблемы, которой занимались Джоуль и Томсон. Результаты исследования Реньо предлагал опубликовать в ближайшем выпуске одного из журналов ЛКО. «Труды ЛКО» опубликовали письмо Реньо и ответ Джоуля. Критические замечания Реньо касались, в частности, использованного Джоулем метода определения удельной теплоемкости воздуха. Отвечая на критику, Джоуль сослался на свои статьи, которые не учел Реньо... дискуссия более не возобновлялась, но отношения с Реньо навсегда остались прохладными.

Настороженные заявлениями Реньо, Томсон и Джоуль срочно подготовили и отправили в печать те материалы, которые относились к экспериментам по охлаждению реальных газов. Соответствующая статья явно выделялась среди других своим небольшим объемом. Так или иначе, но свой приоритет они надежно зафиксировали.

Эксперименты в целом подтвердили предварительные расчеты: было зафиксировано незначительное понижение температуры в случае воздуха и углекислого газа; в то же время в случае водорода было замечено небольшое повышение температуры.

Биограф Джоуля Дональд Кардвелл, рассказывая о сотрудничестве Джоуля и Томсона, видит в этом сотрудничестве черты будущей big science — большой науки. Он пишет о новом масшта-

бе научного исследования, об остающемся в прошлом привычным для Англии ученом-любителе, ученом-одиночке, с приборами, приобретенными в «магазине философского инструмента», или сделанными собственными руками. Самым известным представителем такой категории ученых был Генри Кавендиш, «открытый» Дж. Максвеллом.

Тему «большая наука в экспериментах Джоуля и Томсона» выразительно проиллюстрировал автор англоязычного блога о термодинамике. Рядом с изображением экспериментальной установки он поместил фотографию примерно одинакового с установкой по своим размерам знаменитого двухэтажного лондонского автобуса.

После модернизации оборудования эти размеры весьма заметно выросли и на новом его изображении автобусов было уже три...

Джоуль и Томсон жили в разных городах... анализ переписки между Глазго и Манчестером позволяет историкам науки с достаточной полнотой описывать уникальное сотрудничество «манчестерского пивовара» и университетского профессора.

Как измерить неидеальность газа?

В своих письмах и Джоуль и Томсон постоянно упоминают «гипотезу Майера», обсуждая способы ее экспериментальной проверки. Что они имели в виду? На этот вопрос в журнале «Centaurus» отвечает историк науки Кейт Хатчинсон. По ее словам, «гипотеза Майера» — это общее название для нескольких утверждений, касающихся свойств идеального газа — отличающихся по форме, но фактически идентичных по содержанию. Все эти утверждения относятся к идеальному газу. Например:

1. Количество теплоты, поглощаемое (или выделяемое) газом при обратимом изотермическом расширении (или сжатии) является точным эквивалентом совершенной работы.

2. Внутренняя энергия газа зависит только от его температуры. Силы межмолекулярного взаимодействия в газе пренебрежимо малы, поэтому потенциальной энергией взаимодействия молекул можно пренебречь по сравнению с кинетической.

Как мы знаем, применительно к реальным газам эти утверждения «не работают». Используя построенную экспериментальную установку, Томсону удалось измерить степень «неидеальности» конкретного газа.

Методика измерений обосновывалась при этом следующим образом. Пусть некоторая фиксированная порция газа в момент

поступления в трубку характеризуется давлением P , объемом V , температурой T . Та же порция после прохождения препятствия характеризуется давлением P^* , объемом V^* , температурой T .

Пусть входная часть трубки (включая препятствие) теплоизолирована, а оставшаяся ее часть помещена в резервуар постоянной температуры, от которого упомянутая порция газа получает количество теплоты Q — такое, чтобы температура газа после препятствия не отличалась от температуры газа до препятствия T . Q может быть равно нулю или быть отрицательным).

Согласно закону сохранения энергии

$$U(V^*, T) = U(V, T) + PV + Q - P^*V^*$$

Здесь U — внутренняя энергия выделенной порции газа. Согласно закону Бойля–Мариотта, $PV = P^*V^*$ и

$$U(V, T) = U(V^*, T) + Q;$$

Из последнего уравнения следует, что внутренняя энергия является функцией только температуры (что означает справедливость гипотезы Майера в одной из формулировок) только если $Q = 0$. В противном случае внутренняя энергия зависит от объема.

Теперь, измерив Q , мы получаем возможность не просто подтвердить или опровергнуть гипотезу Майера — но определить степень ее достоверности. Говоря современным языком, измерить неточность модели идеального газа для конкретного случая.

В итоге Томсон и Джоуль установили, что при сжатии углекислого газа, воздуха и водорода количество выделившейся теплоты превышает эквивалент работы на незначительную величину для водорода, значительно большую для воздуха и еще большую для углекислоты. Так, в случае углекислоты количество выделившейся теплоты превышало совершенную работу на $1/77$, а в случае воздуха на $1/420$.

Заметим, что 11 марта 1851 г. Джоуль в письме Томсону касается этой темы. Он замечает, что простой факт — выделение теплоты при сжатии газа — «не означает эквивалентность этой теплоты и работы, затраченной на сжатие». Джоуль предлагает представить газ состоящим из частиц, между которыми действуют силы отталкивания. В таком газе часть работы по сжатию будет израсходована на сближение таких частиц и только оставшаяся часть работы превратится в тепло.

Жжение в пальце и «падающие звезды»

В марте 1853 г. Томсон делает небольшое открытие, ставшее началом серии экспериментов. Он замечает, что, если определенным образом сложить пальцы и поместить их в воздушный поток, создаваемый насосом, то пальцы ощутимо становятся теплыми. Джоуль, с недоверием выслушав Томсона, достаточно быстро смог убедиться в его правоте. Обнаруженный Томсоном «эффект» означал для Джоуля возвращение к вопросу о природе «падающих звезд»... этот вопрос он впервые затронул в 1847 г., в публичной лекции, прочитанной им в Манчестере в читальном зале библиотеки церкви Св. Анны. Рассказывая о превращении *vis viva* (механической энергии) в тепло. Джоуль в качестве образного и понятного примера использовал феномен «падающих звезд». На тот момент времени адекватного объяснения этого природного явления не существовало. Непонятно было, в частности, происхождение света, излучаемого «падающими звездами»; в качестве вариантов предлагались химические реакции или атмосферное электричество. Объяснение, которое предложил Джоуль, было



Рис. 17. Метеорит в ночном небе.

другим в принципе: движущиеся с большой скоростью метеоры влетали в атмосферу Земли и их *vis viva* («живая сила», она же кинетическая энергия) настолько интенсивно превращалась в тепло, что «гости из космоса» начинали светиться.

Обращаясь к аудитории, Джоуль, в частности, сказал: «Вы без сомнения часто наблюдали явление, называемое падающими звездами. Остается мало сомнений в том, что это — малые планеты, которые вращались вокруг Солнца и были захвачены гравитацией Земли. Попробуйте представить ситуацию, в которой каменный метеорит влетает в наше помещение со скоростью, в 60 раз превышающей скорость пушечного ядра. От подобных событий нас защищает окружающая Землю атмосфера». Такое объяснение феномена падающих звезд означало, что в отсутствие атмосферы непрерывная бомбардировка Земли метеорами сделала бы жизнь на ней невозможной. Подобный вывод воспринимался как еще одно свидетельство мудрости Создателя.

Объяснение Джоуля противоречило, однако, повседневному опыту, согласно которому движение объекта через холодный воздух должно было не нагревать объект, но, напротив, охлаждать. Более-менее очевидно, что движение объекта в воздухе можно моделировать по принципу аэродинамической трубы — обдувая объект воздушным потоком.

В 1853 г. в распоряжении Джоуля были инструменты, позволявшие выяснить, можно ли доверять повседневному опыту. Используя один из насосов, приобретенных на гранты ЛКО, Джоуль закачал в сосуд воздух из атмосферы, довел его давление до 5 атмосфер и затем начал выпускать этот воздух через маленькое отверстие. Попытавшись закрыть отверстие пальцем, он фактически повторил опыт Томсона и почувствовал в этом пальце жжение. Поток тепла к пальцу был обусловлен *vis viva* (кинетической энергией) выходящего через отверстие воздуха.

Это означало, что «повседневный опыт» не соответствовал действительному положению дел. Джоуль вместе с Томсоном выполнили серию экспериментов, закончившихся в целом к концу 1859 г. и продемонстрировавших, в частности, что показания термометра, движущегося со скоростью 100 миль в час, увеличивались на 20 градусов по шкале Фаренгейта; в рамках того же исследования было показано, что температура движущегося объекта возрастала пропорционально квадрату скорости.

Во втором томе общего курса физики Д. Сивухина приводится решение следующей задачи. «Тело (например, космический корабль движется в идеальном газе со скоростью v . В какой точке

тела температура газа будет максимальной? Найти эту температуру, если скорость v существенно превышает скорость звука в газе, а температура окружающего газа равна T .» Решение задачи основывается на уравнении Бернулли.

$$T_{\max} = [1 + \frac{M^2(\gamma - 1)}{\gamma}] ,$$

где M — число Маха (отношение скорости корабля к скорости звука).

Мы видим, что температура действительно растет пропорционально квадрату скорости.

В статье «Джоуль и метеоры», опубликованной в профессиональном астрономическом журнале, Джоуля называют «отцом физики метеоров». Отмечается, что он первым проанализировал на научной основе взаимодействие между метеороидом и земной атмосферой.

Томсону понравилась «метеорная гипотеза» Джоуля и он использовал ее для объяснения возможного механизма выделения энергии на Солнце. В 1862 г. Томсон замечает, что более сильное по сравнению с земным гравитационное воздействие Солнца гарантирует бóльшую скорость попадающих в Солнце метеоров. Он уверен, что по крайней мере часть тепла и света от Солнца имеют «метеорное происхождение».

Но в этом случае масса Солнца, в которое попадают метеориты, должна увеличиться со временем, что не подтверждалось никакими наблюдениями и в том же 1862 году Томсон отказывается от метеорной гипотезы; он становится сторонником объяснения Гельмгольца, считающего, что Солнце использует энергию, высвобождающуюся в процессе его гравитационного сжатия. По вполне определенной причине вопрос о происхождении энергии Солнца был для современников Томсона и Джоуля вопросом мировоззренческим. В 1859 г. в Великобритании была опубликована книга Чарльза Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора» — книга, в которой Чарльз Дарвин изложил основные положения теории эволюции. Принимая идею естественного отбора, мы по умолчанию предполагаем, что возраст Земли должен был быть достаточно большим... Дарвин ссылаясь на геологов, оценивавших его в 300 миллионов лет. Возраст Солнца должен был быть не меньше этой величины.

Оценки геологов вызывали у Томсона резкое неприятие. В этой связи Джоуль писал ему 13 мая 1861 г.: «Я рад, что вы чувствуете себя достаточно свободным для того, чтобы продемонстрировать примеры той чепухи, которая недавно стала предме-

том общественного внимания». Джоуль оговаривается: сказанное не относится к Дарвину: «я верю, что он не планировал публиковать какую-либо законченную теорию, но, скорее обозначить проблемы, которые надо решить».

Выступая в 1887 г. в ЛКО по вопросу источника энергии Солнца, Томсон отмечал, что Солнце «совершало работу с интенсивностью 476×10^{21} лошадиных сил на протяжении 3000 лет и, возможно, с большей интенсивностью...*в течение нескольких миллионов лет*» (курсив мой — Б.Б.).

И эффект Джоуля–Томсона, и гипотезу о природе падающих звезд естественно отнести к фундаментальной науке. Наряду с этим сотрудничество двух выдающихся физиков оказалось весьма результативным и в сфере прикладной физики.

Так, в 1855 г. Джоуль изобретает способ сварки металлов электрическим током, причем первые демонстрации изобретенной им методики были организованы в лаборатории профессора Томсона в университете Глазго. Используя в качестве источника тока гальванический элемент, Джоуль прочно соединил вместе несколько металлических проволок... сварка была успешной и когда все соединяемые проволоки были стальными, и когда стальные проволоки соединялись с медными и платиновыми.

К сфере прикладной науки мы можем отнести и активное участие Джоуля в разработке стандарта электрического сопротивления. В этой его работе Томсон представлял «заказчика» — комитет по стандартам Британской Ассоциации. Отсутствие международных стандартов сопротивления было одной из основных проблем в ходе освоения подводного трансатлантического телеграфного кабеля, соединившего Старый и Новый свет. Уильям Томсон, главный научный консультант проекта по эксплуатации кабеля, был возведен в рыцарское звание и стал сэром Уильямом. Подробности этого «сюжета» рассказаны в главе 7.

Литература

- Бродянский В.М. 1995. От твердой воды до жидкого гелия (история холода). М.: Энергоатомиздат.
- Визгин В.П. 1995. Математика в классической физике // Физика XIX–XX веков в общенаучном и социокультурном контекстах. Физика XIX века. М. С. 6–72.
- Кузнецова О.В. 1995. Учение о теплоте в XIX веке: атомистика, термодинамика и статистическая механика // Физика XIX–

- XX вв. в общенаучном и социокультурном контекстах: Физика XIX века. М. С. 117–193.
- Сивухин Д.В. 1982. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука.
- Физический энциклопедический словарь. 1983. М.: Советская энциклопедия.
- Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester.
- Hutchison K. 1976. Mayer's Hypothesis: A Study of the Early Years of Thermodynamics // Centaurus. Vol. 20. Is. 4. P. 279–304.
- Hughes D.W. 1990. James Joule and meteors // Vistas in Astronomy. Vol. 33. P. 143–148.
- Smith C., Wise M.N. 1989. Energy and Empire. Cambridge University Press.
- Joule, Thomson and the birth of big science. Carnotcycle. The classical blog on thermodynamics. <https://carnotcycle.wordpress.com/2013/01/01/joule-thomson-and-the-birth-of-big-science/>

Джоуль: физик vs пивовар

Проблемы реконструкции

В 1990 г. Отто Зибум, на тот момент сотрудник германского университета им. Карла Осецкого, неожиданно для себя начал изучать историю пивоварения. Интерес к этой теме возник у него в связи с участием в проекте по экспериментальной истории науки. Проект предполагал реконструкцию классического эксперимента Джоуля, в котором был измерен механический эквивалент теплоты. «Экспериментальная история науки», представленная этим проектом, ориентирована как на классическую историю науки (изучение статей, писем, воспоминаний, научных школ) так и на музеи науки с их коллекциями научных инструментов прошлых столетий.

Напомним схему эксперимента Джоуля: привязанные к нитям, падающие грузы через систему блоков приводили во вращение погруженное в воду колесо с лопастями. При этом работа силы тяжести, затрачиваемая на перемещение грузов, преобразовывалась в кинетическую энергию колеса. Соответственно увеличивалась внутренняя энергия воды и ее температура, изменение которой нужно было измерить как можно более точно. Приравнивая работу силы тяжести изменению внутренней энергии воды, мы находим численное соотношение между единицей измерения количества теплоты и единицей измерения механической энергии-механический эквивалент теплоты. Экспериментальная установка и действия экспериментатора были подробно описаны в статье Джоуля.

Приступая к реализации проекта, Зибум изучил хранящиеся в Институте науки и техники Манчестерского университета записные книжки Джоуля. К своему удивлению, он не нашел там никаких «письменных свидетельств ни о термометрических навыках Джоуля, ни о работе оборудования, ни о возможных трудностях при выполнении экспериментов, ни о его вероятных ассистентах».

В своей лаборатории Джоуль работал до и после работы на пивоварне отца, в основном утром и вечером. Биограф Джоуля Дональд Кардвелл: «Молодой Джоуль был бизнесменом. Он отмечал, что когда его подготовка (учеба) закончилась, он имел обыкнове-

ние посещать пивоварню каждый день с 9 утра до 6 вечера. По манчестерским стандартам это не было запредельной нагрузкой».

Для нас Джеймс Прескотт Джоуль — выдающийся ученый и ежедневную работу на пивоварне отца мы воспринимаем как досадное ограничение его возможностей проявить себя как физика-экспериментатора. С другой стороны, именно отец предоставил ему эти возможности: выделил помещение для проведения экспериментов и обеспечил Джеймса эксклюзивными измерительными инструментами. Напомним, что лаборатория Джоуля была единственной частной физической лабораторией в Англии в XIX столетии. Ее владелец сам определял направление своих исследований, руководствуясь исключительно своей интуицией и игнорируя отсутствие интереса со стороны научного сообщества.

Отто Зибум стал первым историком науки, увидевшим в Джоуле не только физика, но также и опытного мастера-пивовара с без малого двадцатилетним стажем. По его мнению, именно работа на пивоварне сформировала у Джоуля те умения и навыки, которые позволили ему успешно измерить механический эквивалент теплоты и стать одним из трех «авторов» закона сохранения энергии.

Биографы деятельность Джоуля на пивоварне специально не отслеживали ... главным образом по причине отсутствия на этот счет каких-либо письменных свидетельств. Тема пивоварни появляется в письмах Джоуля лишь однажды — в связи с необходимостью ее продать (после смерти отца). В письмах Томсону он рассказывает о неудовлетворительном менеджменте пивоварни и о своих попытках исправить положение дел.

Первые трудности возникли у Зибума при строительстве аутентичной экспериментальной установки. Они были связаны с типом лопастного колеса и прочностью шнуров. Зибум: «Самой мучительной механической проблемой была прочность шнуров. Сохранившаяся нить, которая соединяет деревянный вал оси лопастного колеса и блоки, сделана из очень тонкого просмоленного волокна. Мы не знаем, какой шнур Джоуль использовал для поднятия грузов, — вероятно, очень тонкий, так как это уменьшало бы трение. В моих экспериментах даже прочная рыболовная леска, рассчитанная на 60 кг, не выдерживала нагрузки».

Но сложнее всего было измерять температуру. Само по себе возникновение проблемной ситуации при повторении классических экспериментов не является чем-то необычным. Так, Лондонское королевское общество регулярно получало письма от джентльменов, которым не удавалось воспроизвести эксперименты Ньютона по изучению спектра белого света и которые заявля-

ли на этом основании об опровержении Ньютона. В ответ на эти претензии Роберт Гук в качестве секретаря Королевского общества неоднократно повторял эксперименты с призмой.

Впрочем, у Гука было с кем посоветоваться: автор экспериментов (Исаак Ньютон) был в принципе доступен для консультаций. В иной ситуации оказался американский философ и историк науки Роберт Крис: «Как-то я задумал повторить эксперимент, с помощью которого Резерфорд открыл ядро атома. На практике опыт представлялся достаточно простым: источник излучения, мишень, экраны осцилляции, микроскопические вспышки, которые нужно было подсчитывать в темноте».

Обсудив свои планы с коллегами-физиками, Роберт Крис признал их нереалистичность — поскольку в действительности эксперимент такого уровня является настоящим искусством, и многие его детали неизбежно остаются непроясненными. Крис делает важный вывод: «Как показывает открытие Резерфордом атомного ядра, научные объекты приходится выводить в центр поля зрения подчас из довольно размытого и неопределенного фона... Инструментарий предоставляет нам “картинку”, где за-

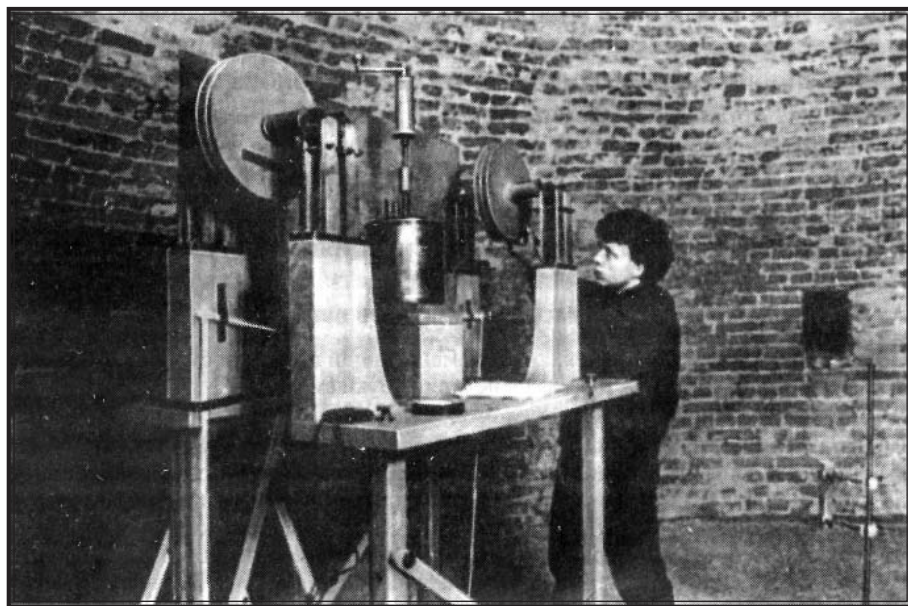


Рис. 18. Подготовка к проведению эксперимента Джоуля с лопастным колесом в пороховой башне г. Ольденбурга.

ключены и объект и фон, из которого необходимо вычлениить объект исследования».

Неизвестно обсуждал ли Зибум свои планы с коллегами-физиками, но свой проект он успешно довел до конца. Полученное им численное значение механического эквивалента теплоты всего лишь на 3% отличалось от результата Джоуля.

Обстоятельства, в которых измерялась температура, удивительным образом подпадали под высказывание Роберта Криса про объект и фон. Главной проблемой этих измерений был обнаруженный Зибумом «эффект присутствия» — влияние теплового излучения тел экспериментатора и его помощников на показания термометра. Дополнительное исследование показало, в частности, что сопровождавшее поднятие грузов выделение пота приводило к повышению температуры помещения на 1 °F. Ни в статье, ни в своих записных книжках Джоуль ни о чем подобном не упоминает.

Возникает естественный вопрос: Как решал эту проблему сам Джоуль? Зибум считает, что измерять температуру в неблагоприятных условиях Джоуль научился в те ежедневные восемь часов, которые он проводил на пивоварне и что он был одним из тех мастеров, которым их интуиция заменяла измерительные приборы. Документальных подтверждений у гипотезы Зибума нет, он этого обстоятельства не скрывает: «Ни записи самого Джоуля, ни работы историков не утверждают ничего определенного относительно этого аспекта его экспериментальной практики».

Изучая переписку Джоуля, Зибум обратил внимание на письмо, адресованное Стоксу с необычным высказыванием: «Прежде всего я не думаю, что для экспериментов с теплом необходимо иметь постоянную температуру, хотя было бы желательно избежать внезапных или неконтролируемых изменений». Зибум интерпретирует это высказывание как аргумент в пользу своей гипотезы: «...постоянство температуры в понимании Джоуля, очевидно, допускало подобные колебания, — не в силу его неведения, но потому, что он был уверен в своей способности контролировать их с помощью определенной методики измерения температуры».

В чем именно состояла эта методика, остается неясным... в то же время известно, что мастера пивоваренного дела умели определять температуру технологически важных процессов с точностью до десятых долей градуса — при колебаниях температуры окружающего воздуха порядка одного градуса.

Термометры и пивовары

В своем исследовании Зибум описывает события, происходившие в пивоваренном бизнесе в первые десятилетия девятнадцатого столетия. Речь идет о революционных изменениях, включавших в том числе усложнения технологии производства популярного напитка.

Эпоха домашнего пива закончилась... точно так же и пить его стали вне дома; пивные стали популярными общественными пространствами. Производство пива переместилось в большие пивоварни (а потребление — в пивные); которые, естественно, облагались налогом. При этом и для качества пива и для размера налога одним из определяющих факторов был температурный режим некоторых химических процессов. Мастера, умевшие контролировать эти режимы, высоко ценились, приобрести же такое умение можно было только в режиме длительной совместной работы. Разработать инструкции, которые могли бы формализовать эти умения и обеспечить обучение новых мастеров передачу «скрытого знания», не представлялось возможным.

В новых условиях умение работать с термометрами и определять температуру с точностью до десятых долей градуса стало для пивовара умением обязательным. Благодаря термометрам ремесленные навыки ушли в прошлое, их постепенно заменили абсолютные стандарты. Соответственно мастерство пивовара всё в меньшей степени напоминало искусство и всё в большей степени — экспериментальное исследование. О развитии соответствующих технологий подробно рассказывает изданный в 1838 г. «Словарь или Энциклопедии пивоварения». Автор словаря — бизнесмен из Брайтона Джордж Вигни — уверенно заявляет: «пивоварня вполне может быть названа пивоваренной химической лабораторией».

Джоуль — пивовар, желающий стать физиком?

Отто Зибум: «За двадцать лет существования в мире пивоварения (т.е. с 1834 по 1854 г., когда пивоварня была продана) Джоуль приобрел особое операционное знание, которое пригодилось ему в качестве *физика* (курсив мой. — Б.Б.). Приобретенные им навыки восприятия и измерения температуры стали самоочевидными методами в его экспериментах по определению механического экви-

валента теплоты. И они постоянно совершенствовались». С этой точки зрения Джоуль — сначала пивовар, и только потом — физик.

Благоприобретенная интуиция Джоуля была не единственным источником его успеха; большое значение имели первоклассные инструменты. Как мы уже отмечали, лаборатория Джоуля была оснащена уникальными измерительными приборами и инструментами, изготовленными по индивидуальному заказу Джоном Дансером. Как и Джоуль, Дансер был членом общества «Lit & Phil»; «его собственное мастерство, а также материальная культура Манчестера были важнейшими предпосылками достижения непревзойденного искусства в измерении температуры».

Впечатляющим примером был инструмент, который сам Дансер называл «скользящим микроскопом». Он позволил резко повысить чувствительность термометров. Инструмент представлял собой микроскоп, перемещаемый при помощи специального винта, шаг резьбы которого составлял $1/20$ дюйма; винт поворачивался с помощью скрепленного с ним градуировочного диска, разделенного по окружности на 200 равных частей. Точность скользящего микроскопа составляла таким образом $1/4000$ дюй-

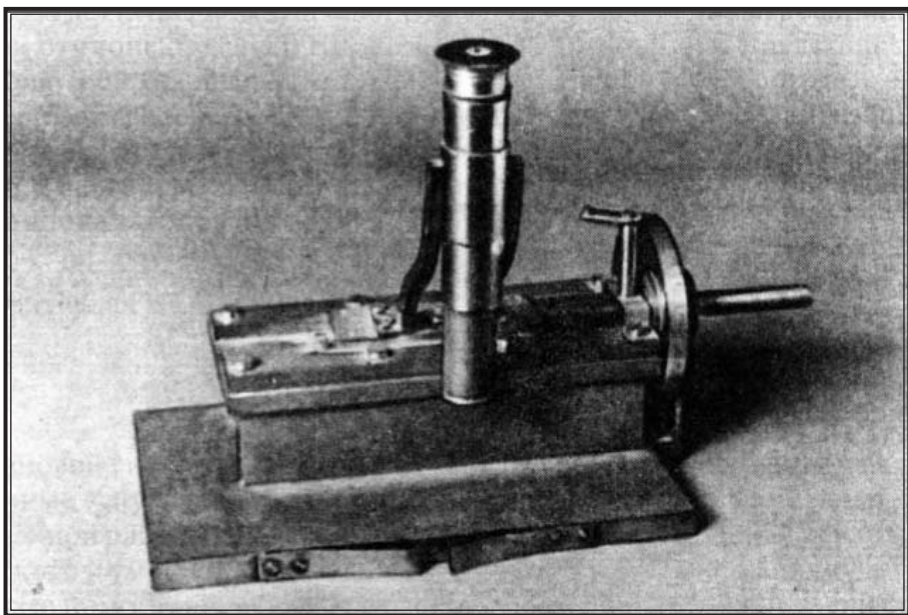


Рис. 19. Скользящий микроскоп Дж. Дансера, созданный для градуировки термометра Джоуля.

ма. Скользящий микроскоп Дансера использовался, в частности, для выявления неидеальности термометров и в первую очередь неидеальности стеклянных трубок. Для этого в трубку исследуемого термометра вводился столбик ртути длиной в 1 дюйм. После этого с помощью изобретенного Дансером инструмента замерялось расстояние между концами столбика. После этого ртутный столбик передвигали таким образом, чтобы его начало оказалось на том месте, на котором находился конец. В тех случаях, когда диаметр трубки одинаков по всей ее длине, все измерения окажутся идентичными. В случае же изменяющегося диаметра скользящий микроскоп быстро это обстоятельство выявит. В этом случае наносимые на термометр деления будут условными величинами, которые для разных термометров будут иметь разные значения. В итоге Джоуль располагал уникальным измерительным прибором, позволившим существенно повысить чувствительность измерений. «Джоуль превратил свои измерения в свой собственный стандарт, создав систему значений, соответствующую конкретному термометру, которым обладал лишь он один».

Зибум связывает с именем Джоуля «индивидуальную фабрику по производству знания». Он пишет: «Создавая инструментарий новшеств со своими собственными стандартами, Джоуль стал актером без публики... как показала наша реконструкция, никто не мог непосредственно наблюдать его эксперименты из-за возникающих при этом возмущающих эффектов теплового излучения тела». И добавляет: «Не мог Джоуль устроить и публичную демонстрацию успешности своего эксперимента. Ведь его только что изобретенные инструменты оперировали с произвольными величинами, которые никто другой в то время не мог проверить».

При всем том Джоуль, олицетворяя «индивидуальную фабрику по производству знания», не превращался в самодостаточного ученого, избегавшим какого-либо взаимодействия с коллегами. Напротив, Джоуль регулярно сравнивал свои термометрические измерения с измерениями, сделанными вне его лаборатории. Для этого он приносил в лабораторию термометры, качество которых должно было быть заведомо высоким. Доподлинно известно, что свои термометры одалживали Джоулю профессора химии Томас Грэм и Лайон Плэйфэйр. Грэм преподавал в Лондонском университетском колледже, Плэйфэйр — в Королевском институте в Манчестере. Заметим, что Томас Грэм в 1840-х гг. был одним из главных консультантов налогового департамента.

Уверенный в надежности своей методики измерений, Джоуль, согласно Зибуму, стремился убедить в этом читателей своих статей

и аудиторию своих докладов на конференциях. Он рассчитывал, что доклады и статьи смогут заменить демонстрацию экспериментов. Широкую известность получает его заявление о том, что он может различить невооруженным глазом $1/20$ миллиметрового деления шкалы термометра. В записных книжках Джоуля встречается другая информация — о том, что он умеет снимать показаний с точностью $1/10$ деления шкалы. Маленькая неправда, предназначавшаяся для научного сообщества, вписывается в общее нежелание Джоуля информировать коллег о своей методике измерений: честный рассказ о ней потребовал бы ссылок на его прошлое пивовара, что для экспертного сообщества было бы абсолютно неприемлемым.

Завершая рассказ о проекте Зибума и о его гипотезе, должен сказать, что отдельные предположения Зибума представляются вполне оправданными. Так, нельзя не согласиться с его замечанием: «Благодаря опытам по механическому и химическому разложению органических веществ для него (Джоуля — Б.В.) сделалось самоочевидным, что трение может быть источником тепла, а не только препятствием, над преодолением которого должны трудиться инженеры».

Вполне правдоподобно и предположение о том, что еще до начала экспериментов по определению механического эквивалента теплоты Джоуль был убежден в его существовании. «Его задачей было найти экспериментальную процедуру, которая позволила бы утверждать, что теплота имеет механический эквивалент». Подобная ситуация — когда опытный экспериментатор еще до решающего эксперимента «знает» результат этого эксперимента — является нередкой в истории науки.

Проект, реализованный историком науки Отто Зибумом, оказался весьма трудоемким. В чём его ценность? Сам он отвечает на этот вопрос так: «Такой подход может помочь нам воссоздать скрытые стороны деятельности прошлого — которые либо считались само собой разумеющимися, но хранились в тайне и потому не записывались, либо стали жертвами формального или механического представления их первоначального содержания». Скрытая сторона — это (если мы разделяем точку зрения Зибума) успешная деятельность Джоуля в качестве пивовара-технолога... Возможно, впрочем, что гипотеза Зибума не соответствует действительности и демонстрируемое Джоулем мастерство в измерении температуры объясняется исключительно его изобретательностью и целеустремленностью.

В этом случае гипотеза Зибума (но не его исследование) превращается в сюжет «виртуальной истории науки», в рамках которой обсуждаются события, которых не было, но которые при известных обстоятельствах могли бы произойти.

К сожалению, Отто Зибум в некотором смысле становится заложником своей гипотезы. Так, он безо всяких на то оснований представляет Джоуля опытным пивоваром, который волею судеб превращается в физика: «за двадцать лет существования в мире пивоварения Джоуль приобрел особое операциональное знание, которое пригодилось ему в его новом качестве физика». Это и созвучное ему высказывание обесценивают ранние работы Джоуля, в ходе которых, напомним, были открыты магнитострикция и магнитное насыщение.

Исходя из гипотезы о пивоваренном прошлом Джоуля, Зибум предлагает нам неожиданный портрет одного из трех авторов закона сохранения энергии. Это портрет работника «пивоваренной химической лаборатории», пожелавшего стать профессиональным физиком: «Когда Джоуль начал публиковать результаты своих экспериментов о природе тепла, он хотел *выступить в качестве физика* (курсив мой — Б.Б.). Однако... он мог лишь *сообщать* о том, что происходило в его лаборатории, так как тонкость измерений не допускала непосредственного присутствия свидетелей (курсив Зибума)».

Свою статью Зибум завершает эффектным заявлением: «Но подобно тому как раньше его (Джоуля — Б.Б.) экономические интересы пивовара требовали контроля над мастерством ремесленника, теперь он ощутил себя ремесленником, который испытывает контроль со стороны ученых-физиков».

Если игнорировать эмоциональную составляющую этого высказывания, то оно сводится к тривиальному утверждению, справедливому в отношении любой публикации в рецензируемом журнале. Качество публикации по умолчанию контролируется рецензентами журнала и его читателями.

В январе 2013 г. интервью с Зибумом публикует испанское онлайн-издание. Отто Зибум: «мой рассказ об открытии этой ... связи между производством пива и научным экспериментом, мой рассказ как мне казалось, всех сразу же убедил. Это выглядело правдоподобно и возникал вполне естественный вопрос: почему же никто не заметил этой связи до вас? Я бы ответил на этот вопрос так: потому что никто не смотрел на практическое измерение эксперимента. А в историко-научной литературе Джоуль до сих пор представлен гением с экстраординарными способностями, талантом. Мои находки показывают, что Джоуль воспринимался как гений, пока были неизвестны его скрытые связи с сообществом работников пивоварни. Но он остается уникальной фигурой, поскольку никто больше не смог сделать того, что сделал он».

Допустим вслед за Зибумом, что историки науки действительно заблуждались в своих оценках физика Джеймса Джоуля.

Но что делать с теми эпитетами в адрес Джоуля, на которые не скупился Уильям Томсон, определявший идеальное научное исследование как исследование, ориентированное на принципы Ньютона и Джоуля? Сомневаться в адекватности лорда Кельвина, связанного с Джоулем многими годами совместной работы?

Еще один аргумент. Американский историк науки Н. Кипнис рассчитал «индекс научного цитирования» (т.е. количество упоминаний известных ученых в области физики тепловых явлений) для трех десятилетий с 1840 по 1870 г. Кипнис просмотрел порядка двухсот книг и статей. В каждое из трех десятилетий Джоуля упоминали существенно чаще других!

Нарисованный Зибумом психологический портрет Джоуля несовместим с «пенсионной историей» (см. гл. 7). Петицию премьер-министру, призывающую назначить Джоулю государственную пенсию, подписали почти все члены научного сообщества. Такое единодушие было бы невозможным, если бы у общества были сомнения в моральном облике Джоуля.

В рамках масштабного проекта Отто Зибума было осуществлено уникальное исследование уникального историко-научного сюжета. Однако «разоблачение» Джеймса Прескотта Джоуля, привлекая массовую аудиторию борьбой с авторитетами, явно противоречит ценностям истории науки как академической дисциплины.

Литература

- Зибум Х.О. 1998. Воспроизведение экспериментов по определению механического эквивалента теплоты: точность инструментов и правильность измерений в ранневикторианской Англии // *Вопр. истории естествозн. и техн.* № 1. С. 9–46.
- Криз Р. 2014. Призма и маятник. 10 самых красивых экспериментов в истории науки. М.: АСТ.
- Погребысская Е.И. 1981. Оптика Ньютона. М.: Наука.
- Joule J. 1850. On the mechanical equivalent of heat // *Phil. Trans. R. Soc.* Vol. 140. Pt. 1. P. 61–82.
- Kipnis N.M. 2014. Thermodynamics and mechanical equivalent of heat // *Science & Education.* Vol. 23. P. 2007–2044.
- Sibum H.O. 2014. Science is better understood through the engagement with its objects. <https://www.uab.cat/web?cid=1096481466574&pagename=UABDivulga%2FPage%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1345648057039>

Джоуль и научное сообщество: новые измерения

Выступление Томсона на оксфордской конференции 1847 г. инициировало в научном сообществе процесс признания экспериментов Джоуля. Признание происходило на удивление быстро. Существование механического эквивалента теплоты (коэффициент J) воспринималось теперь как опытное подтверждение закона сохранения энергии; а измеривший J Джеймс Прескотт Джоуль как один из авторов этого закона.

Признание проявлялось во вполне определённых событиях: в присуждении почетных научных степеней и избрании в руководящие органы общественных организаций. Заметим, что первую выборную должность, именовавшуюся «почетный библиотекарь Манчестерского литературного и философского общества Lit & Phil», Джоуль занял в 1844 г. (т.е. за три года до выступления Томсона). На этой (неоплачиваемой, кстати) должности Джоуль редактировал издаваемые Обществом «Мемуары». А в 1846 г. он был избран почетным секретарем «Lit & Phil». В 1850 г. Джоуль избирают вице-президентом «Lit & Phil», а затем президентом (в общей сложности четыре раза).

Кроме того, в 1845 г. Джоуль был избран секретарем химической секции Британской Ассоциации содействия развитию науки. Его биограф О. Рейнольдс замечает, что эта должность давала Джоулю возможность устанавливать неформальные отношения с ведущими английскими учеными. Что, без сомнения, ускорило процесс признания.

Член Лондонского королевского общества, почетный доктор Оксфорда, et cetera...

В 1850 г. Джоуль наконец-то стал fellow — членом Лондонского королевского общества; через семь лет он был избран в Совет ЛКО.

Напомним, что Джоуль дважды награждался медалями ЛКО: в 1852 г. золотой медалью за исследования механического эквивалента теплоты и в 1870 г. медалью Копли за эксперимен-

тальные работы по динамической теории тепла. А в 1880 г. принц Уэльский вручил Джоулю медаль Альберта — награду королевского общества искусств.

И только в 1857 г. Джоуль стал почетным доктором; эту степень ему присудил Тринити-колледж в Дублине. Отныне он имел право именоваться «доктор Джоуль» а в 1860 г. степень доктора присвоил Джоулю Оксфордский университет. Полный список почетных званий Джоуля можно найти в посвященных ему биографических статьях.

Механический эквивалент теплоты и подводный телеграф

Признание не ограничилось новыми должностями и почетными степенями. Появился общественный запрос на мастерство Джоуля-экспериментатора — на его опыт измерения механического эквивалента теплоты. Напомним, что в активе Джоуля было два способа измерения J : «электрический», при котором нагревается проводник с током и «механический», и когда нагревается вода за счет трения.

Кто и по какому поводу сформулировал общественный запрос? В 1851 г. между Великобританией и Францией был проложен подводный телеграфный кабель. Аналогичные кабели связали вскоре Великобританию с другими странами. А в 1853 г. стартовал растянувшийся больше чем на десятилетие проект прокладки телеграфного кабеля по дну Атлантического океана от Ирландии до Ньюфаундленда. Проект должна была воплотить в жизнь специально созданная Англо-американская компания. Научным консультантом проекта был назначен Уильям Томсон.

Достаточно быстро участники проекта согласились в том, что в отсутствие международно-признанных единиц сопротивления наладить более-менее устойчивую связь между Европой и Америкой не представляется возможным. Поэтому в 1861 г. в Манчестере на очередном собрании Британской Ассоциации по предложению У. Томсона в структуре Ассоциации был создан комитет по единицам измерения (стандартам) электрического сопротивления.

Первая система измерений электрических величин была разработана Гауссом и Вебером в Геттингенском университете в 30-е годы девятнадцатого столетия. Система называлась абсолютной и предполагала, что используя известные законы физи-



Рис. 20. Эпизод из истории прокладки трансатлантического телеграфного кабеля.

ки, единицы измерения всех физических величин, можно выразить через «механические» единицы измерения длины, времени, массы. Эта система была использована Гауссом и Вебером в ходе апробации созданной Гауссом теории земного магнетизма.

Джоуль проверяет Максвелла

В 1863 г. по инициативе Томсона в состав комитета по сопротивлениям Британской ассоциации был введен Джоуль. А в 1862–1864 гг. стандарт сопротивления для Британской Ассоциации разработала группа физиков из лондонского Кингс-колледжа под руководством Джемса Клерка Максвелла. Соответствующая единица сопротивления получила название 1 Ом. Группа из Кингс-колледжа предоставила в распоряжение Джоуля проводник, сопротивление которого было рассчитано в омах.

Следуя электрическому методу определения J , Джоуль измерил силу тока в проводнике и рассчитал в соответствии с зако-

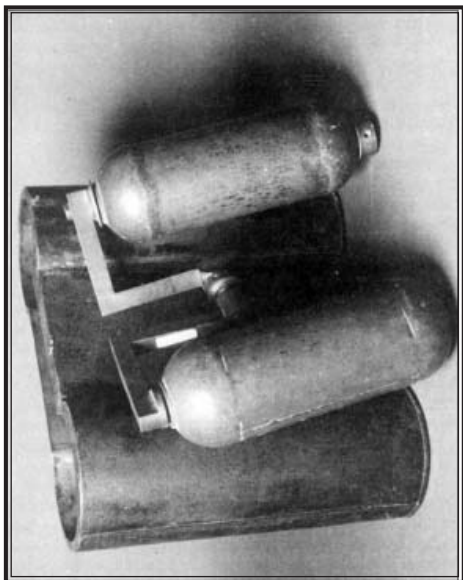


Рис. 21. Цилиндры и калориметр Джоуля.

ном теплового действия тока (т.е. законом Джоуля–Ленца) количество выделенной теплоты в механических единицах. Измерив это же количество теплоты с помощью калориметра, он разделил вторую величину на первую и нашел механический эквивалент теплоты.

Полученное число отличалось от последнего измерения эквивалента, найденного механическим методом в 1849 г. Различие численных значений одной и той же величины, найденных разными методами, невозможно было игнорировать. Джоуль предположил, что при определении единицы сопротивления группа Максвелла допустила ошибку, но Томсон авторитетно

заявил, что результатам, полученным в Кингс-колледже, можно доверять. Следует учесть, что в это же самое время группа Максвелла измеряла отношение электростатической и электромагнитной единиц заряда. Это отношение практически совпадало со скоростью света в вакууме... точное совпадение воспринималось как сильный аргумент в пользу электромагнитной теории света Максвелла. Сомнения же в корректности измерений в Кингс-колледже порождали сомнения в правильности разрабатываемой Максвеллом динамической теории электромагнитного поля.

Из письма Джоуля Максвеллу: «... если вы предпримете новые эксперименты для переопределения единиц сопротивления, это будет иметь огромную важность. Я искренне желаю... чтобы вы взялись за это дело, и тогда станет ясно — останутся мои результаты на плаву или пойдут ко дну!». Известно, впрочем, что Джоуль предполагал данные Максвелла завышенными, и что это его предположение было отвергнуто. Трудно поэтому представить, что Джоуль был действительно готов увидеть свои измерения «лежащими на дне». Так или иначе, он вернулся к своим инструментам и снова определил J электрическим методом, на этот раз с учетом времен-

ных колебаний напряженности магнитного поля Земли. Эти колебания влияли на показания тангент-гальванометра, положение стрелки которого (т.е. сила тока) определялось равенством моментов сил, обусловленных магнитными полями Земли и измеряемого тока. Впрочем, учет вариаций земного магнитного поля практически не повлиял на рассчитанное значение J .

В опубликованном отчете Комитета цитировался Джоуль, отметивший большую точность электрического метода определения J по сравнению с механическим. Джоуль предложил Томсону, чтобы кто-то еще выполнил требуемые эксперименты.

«Кто-то еще», способный повторить эксперимент, однако, не появился. В 1869 г. Британская Ассоциация содействия развитию науки образует комитет, который предложил Джоулю возвратиться к измерениям J и перепроверить их. Однако в ближайшие годы Джоуль тяжело болеет; его здоровье восстанавливается только к 1875 г. и только тогда он принимает решение выполнить поручение Британской Ассоциации. Достаточно быстро становится очевидным, что небольшого гранта в 50 фунтов от Британской Ассоциации явно недостаточно и Лондонское королевское Общество выделяет Джоулю уже существенно большую сумму в 200 фунтов. На этот раз его измерения коэффициента J практически не отличаются от данных, полученных без малого три десятилетия назад. Результаты были представлены Лондонскому королевскому обществу 28 января 1878 г. Численное значение по-прежнему отличалось от полученного в 1867 г. электрическим методом и связанного с разработкой группы Максвелла.

Проблема несовпадения численных значений коэффициента J , найденных двумя разными способами, оставалась в повестке дня. Реалии того времени отражены в высказывании британского историка науки С. Шейфера: «В викторианской Англии точное измерение выставлялось в качестве необходимого атрибута коммерческого и военного успеха — а стало быть и победоносного шествия Империи вообще».

5 ноября 1879 г. умирает Максвелл. Руководителем Кавендишской лаборатории становится лорд Рэлей. Он организует пересмотр результатов всех ранее выполненных измерений, в том числе, измерений стандарта электрического сопротивления. Окончательный вывод Рэрея: численное значение единицы сопротивления 1 Ом, рассчитанное группой Максвелла, было завышено на 1,3 процента. Вспомним, что такое предположение высказывал Джоуль. 6 января 1882 г. Джоуль письменно поздравил Рэрея (и, надо полагать, в его лице и самого себя) с прояснением вопроса.

Пенсионная история

В истории назначения Джоулю государственной пенсии научное сообщество проявило исключительную солидарность и эффективность во взаимодействии с властными структурами.

Одной из главных особенностей английской науки была высокая степень независимости от государства. Лондонское королевское общество среди прочего отличалась от иных национальных академий наук отсутствием регулярного вознаграждения, получаемого академиками. В Великобритании, как нигде в мире, было много успешных естествоиспытателей, проводивших исследования на собственные средства. Таким ученым-любителям был, к примеру, знаменитый Г. Кавендиш. Таким был и сын владельца пивоваренного завода Джоуль.

При этом государство ученых поддерживало. Как известно, выдающиеся представители британской науки возводились в рыцарское достоинство (сэр Хемфри Дэви, лорд Кельвин, лорд Резерфорд). Поддержка была не только символической, но в некоторых случаях финансовой, в виде ежегодных пенсий. У Фарадея такая пенсия составляла 300 фунтов в год (от титулов он отказался), у Джоуля — 200.

Сообщая Фарадею о назначении ему пенсии, премьер-министр допустил бестактные высказывания, в ответ на которые Фарадей от пенсии отказался. В ситуацию вмешался король Вильгельм IV, и премьер-министру пришлось извиниться перед знаменитым физиком.

Почему же пенсия Джоуля была меньше пенсии Фарадея? Означает ли это, что заслуги Джоуля государство оценило в меньшую сумму, нежели заслуги Фарадея? Ответ на этот вопрос находим в сохраненной архивами переписке коллег Джоуля с офисом премьер-министра.

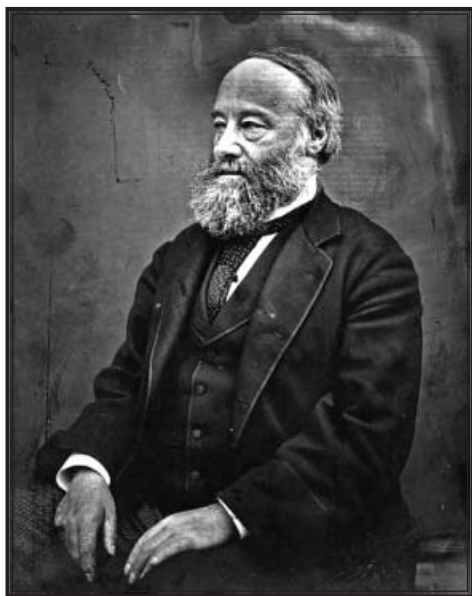


Рис. 22. Дж.П. Джоуль в конце жизни.

Первое событие в пенсионном кейсе Джоуля датировано 16 апреля 1878 г., в тот день сэр Дж.Д. Гукер, президент ЛКО, направил М.У.Л. Корри, личному секретарю премьер-министра Б. Дизраэли, графа Биконфильда, петицию, подписанную практически всеми известными учеными Великобритании. Петиция призвала правительство назначить доктору Джоулю ежегодную пенсию. В сопровождающем петицию письме президент ЛКО отметил, что «доктрина сохранения энергии по важности сравнима с гравитацией и с открытиями Фарадея, и мы надеемся, что д-р Джоуль получит такое же признание, как и д-р Фарадей, а именно ежегод-

ную пенсию в 300 фунтов стерлингов». Что представляла собой эта сумма? С 1836 по 1856 г. Фарадей был научным консультантом морской компании «Тринити Хаус» (он занимался, в частности, модернизацией маяков и ламп для них). Компания платила знаменитому физику 200 фунтов в год.

Петиция начинается с напоминания премьер-министру о той особенности английской науки, о которой мы говорили выше: «До сих пор научная репутация этой страны среди других европейских стран в большей степени определялась достижениями отдельных личностей, нежели вкладом больших групп. Этими достижениями мы обязаны усилиям людей, мотивацией для которых была в большей степени любовь к знанию, а не занимаемая ими должность. Ни Кавендиш, ни Дарвин не были университетскими профессорами; то же самое относится и к исследователю, научным работам которого посвящено данное письмо. В течение сорока лет, не занимая никакой официальной должности, Джеймс Прескотт Джоуль проводил научные исследования. Ни по масштабу проблем, в решении которых он участвовал, ни по успешности и завершенности реше-



Рис. 23. Б. Дизраэли (граф Биконфильд). Фото К.Дж.Хьюза.

ний, ему не было равных. Не только в этой стране, но и в научном мире в целом он занимает, по общему согласию, положение, соответствующее только большим именам. Тридцать пять лет назад он начал исследования в отношении великого принципа сохранения энергии и с тех пор и по настоящее время он в основном вовлечен в усиление и иллюстрацию этого принципа. Никакой закон или теория, когда-либо провозглашенные в науке, не превосходят его по своей важности. Его экспансия и разнообразные применения в настоящий момент большей частью проистекают из инициатив Джоуля <...> именно он поставил доктрину сохранения энергии на неоспоримую основу эксперимента».

Вскоре президент Лондонского Королевского Общества встретился с премьер-министром. Встреча была весьма продолжительной, и вот что сообщал президент в письме, адресованном Г.Э. Роско (профессору химии Оуэнс-колледже в Манчестере): «300 фунтов получить будет непросто, но я не отчаиваюсь. Пенсия для Фарадея не рассматривается как прецедент. Тогдашнее правительство назначало такие пенсии разным выдающимся людям в знак признания их заслуг, в дальнейшем же от такой практики отказались, и в течение многих лет никто более 200 фунтов не получал». В том же письме президент ЛКО сообщал также о просьбе премьера информировать его в частном порядке об образовании Джоуля и о его семейном положении.

В ответном письме Роско заметил, что образование Джоуль получил самостоятельно, поскольку «в то время в провинции у молодых людей не было возможностей изучать естественные науки, и, следовательно, государство обязано своими важнейшими открытиями единственно таланту Джоуля». Упоминание о пенсии Фарадея как о прецеденте предполагало, что его и Джоуля вклад в науку сопоставим. К чести действующих лиц этой истории, они не стали сравнивать между собой «что больше весит» — многочисленные открытия Фарадея или многолетние эксперименты Джоуля по измерению механического эквивалента теплоты. К тому же главное достижение Фарадея — его участие в создании теории электромагнитного поля — не могло быть оценено должным образом. До опытов Герца, зарегистрировавшего электромагнитные волны и подтвердившего тем самым одно из главных предсказаний теории электромагнитного поля Фарадея—Максвелла, оставалось десять с лишним лет.

При всем том в одном измерении своей научной биографии Фарадей, без сомнения, опередил Джоуля. Речь идет о публичных научно-популярных лекциях. Автор законов электролиза и закона электромагнитной индукции заслужил признание обще-

ства бескорыстностью, с которой на протяжении всей жизни просвещал своих соотечественников вне зависимости от их возраста и социального положения. Отметив это обстоятельство в письме, адресованном Роско, президент ЛКО, написал: «Хотя теоретически работа д-ра Джоуля заслуживает 300 фунтов, я думаю, что его друзья согласятся на 200 фунтов». Публичные лекции читал и Джоуль; правда, Д. Кардвелл говорит о всего лишь нескольких таких лекциях за всю его жизнь. Для Джоуля — в этом еще одно его отличие от Фарадея — публичные лекции были прежде всего еще одной возможностью популяризировать свои идеи. Такой, например, была лекция «О веществе, живой силе и теплоте», прочитанная в Манчестере в библиотеке одной из школ города 28 апреля 1847 г. Полный текст лекции опубликовала газета «Манчестерский курьер». Биографы Джоуля называют эту лекцию «вехой» в научной биографии своего героя: именно в ней впервые были от-



Рис. 24. Участники съезда Британской Ассоциации содействию развития науки (Манчестер, 1887), стоит крайний справа Дж.П. Джоуль; в центре сидит Д.И. Менделеев.

четливо сформулированы идеи Джоуля в отношении сохранения энергии (сам термин у него отсутствует).

В июне 1878 г. Джоуль получил письмо от Дизраэли с сообщением об указе Ее Величества, назначившей ему ежегодную пенсию размером в 200 фунтов стерлингов.

Память

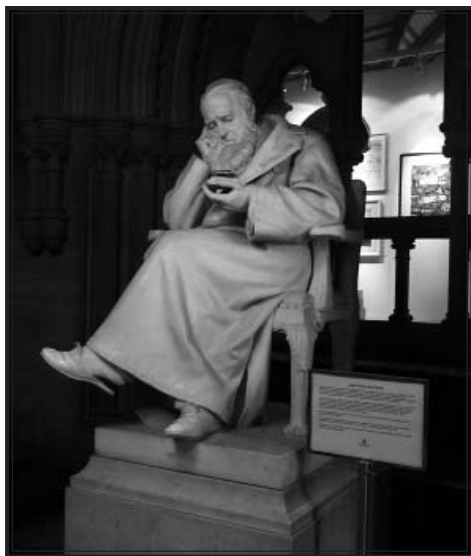


Рис. 25. Статуя Дж.П. Джоуля в городской ратуше Манчестера.

Джоуль ушел из жизни 11 октября 1889 г. В ратуше Манчестера, напротив друг друга, установлены два мраморных памятника двум знаменитым жителям Манчестера, прожившим в этом городе всю свою жизнь — Далтону и Джоулю.

На месте захоронения Джоуля установлена плита. На плите выбиты цифры: 772,55 — численное значение J , полученное в измерениях Джоуля в 1878 г. Имеются в виду единицы измерения, распространенные в викторианскую эпоху: футофунты на одну британскую тепловую единицу. Это соответствует 4,15 Дж/кал. Кроме числа, на плите выбиты

строки из Евангелия от Иоанна: «Мне должно делать дела Пославшего Меня, доколе есть день; приходит ночь, когда никто не может делать.»

Литература

Менцин Ю.Л. 2014. Великий морской змей или 2000 миль под водой // Наука и жизнь. № 5.

Шейфер С. 1997. Точное измерение — это английская наука // Вопр. истории естествозн. и техн. № 2.

Cardwell D. 1989. James Joule: A biography. Manchester: Manchester University Press.

Kargon R.H. 1977. James Joule as Devotee // Kargon R.H. Science in Victorian Manchester: Enterprise and Expertise. Manchester. P. 49–60.

Reynolds O. 2012. Memoir of James Prescott Joule. Ulan Press.

Основные даты жизни и научного творчества Джеймса Джоуля

1818	Родился 24 декабря в Салфорде, в семье владельца пивоваренного завода.
1834–1836	Вместе с братом Бенджамином частным образом изучает математику и химию под руководством выдающегося английского химика Джона Дальтона.
1838	Начинает работать на пивоварне отца полный рабочий день. Работает в таком формате до продажи пивоварни в 1854 г.
1838–1840	Изучая и конструируя электродвигатели, проводит исследования в области электромагнетизма. Открывает явления магнитострикции и намагниченности насыщения.
1841	Экспериментально устанавливает закон теплового действия тока (закон Джоуля–Ленца).
1843	В докладе на собрании Британской Ассоциации содействия развитию науки впервые формулирует концепцию механического эквивалента теплоты.
1843	Отец Джоуля выделяет специальное помещение под лабораторию Джеймса и заказывает для нее уникальные инструменты, а первую очередь термометры.
1847	В публичной лекции «О веществе, живой силе и теплоте» впервые в явном виде формулирует основные идеи о превращении энергии.
1847	Доклад Джоуля о механическом эквиваленте теплоты публично поддержан У. Томсоном. Начало признания научным сообществом.
1847	Заключает брак с Амелией Краймс.
1848–1849	Обменивается публичными заявлениями с Р. Майером в связи с его письмом о своем приоритете в определении механического эквивалента теплоты.
1850	Избран членом Лондонского королевского общества.
1852	Награжден золотой медалью Общества.
1852	В совместных экспериментах с У. Томсоном устанавливает эффект изменения температуры газа при адиабатическом дросселировании (эффект Джоуля–Томсона).

- 1852 Выдвигает гипотезу о метеорной природе «падающих звезд».
- 1854 Смерть жены. Джоуль остается с сыном и дочерью.
- 1865 В связи с проектом по разработке стандарта электрического сопротивления проводит измерения механического эквивалента теплоты.
- 1870 Удостоен высшей научной награды Лондонского королевского общества — медали Копли.
- 1878 Королевским указом Джоулю назначена государственная пенсия размером в 200 фунтов в год.
- 1884–1887 Лондонское физическое общество издает двухтомник научных статей Джоуля.
- 1889 Смерть Джоуля 11 октября.
- 1889 В Лондоне, в Вестминстерском аббатстве рядом с захоронениями Ньютона, Гершеля и Дарвина в честь Джоуля установлена памятная плита.