

Вильям Томсон

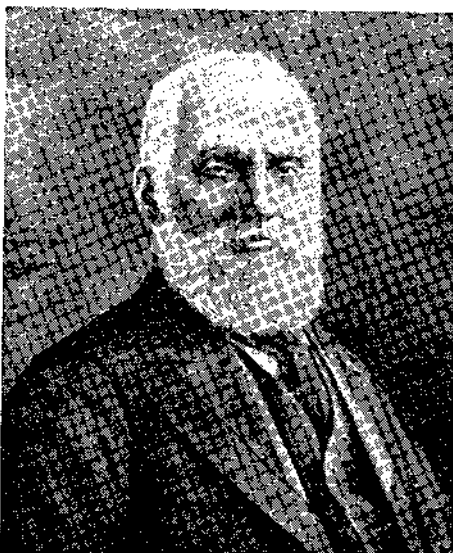
(1824 — 1907 гг.)

Доктор техн. наук, проф. Л. А. ЖЕКУЛИН

Вильям Томсон родился 26 июня 1824 г. в г. Бельфасте (Ирландия). Его отец, Джемс Томсон, был профессором математики в университете в Глазго. В детстве В. Томсон обнаруживал исключительные способности к математике и физике. В возрасте десяти лет В. Томсон уже был зачислен студентом в Глазговский университет; тогда требовалась меньшая подготовка по сравнению с современной, однако в старших классах студенты знакомились с такими глубокими произведениями, как, например, «Аналитическая механика» Лагранжа или «Небесная механика» Лапласа. Учитель В. Томсона, профессор физики Д. Николь, указал ему на знаменитую книгу Фурье «Теория тепла», вышедшую в свет в 1822 г. Эта книга сыграла большую роль в научном творчестве В. Томсона. Он длительно и детально изучал работу Фурье и часто в дальнейшем при исследовании различных явлений сравнивал их с распространением тепла.

В период с 1841 по 1845 г. В. Томсон обучался в Кембриджском университете, где получил фундаментальное математическое образование. В этот период уже публиковались его оригинальные работы, относящиеся к идеям, развитым Фурье. Первая работа была написана им в 1841 г. на тему «О разложениях Фурье функций в тригонометрические ряды».

После окончания Кембриджского университе-



та В. Томсон жил в Париже, где познакомился с известным французским математиком М. Лиувиллем. Совместное обсуждение глубоких вопросов анализа и геометрии способствовало дальнейшему углублению его математического образования. В это время В. Томсону удалось достать редкую книгу Грина «Опыт приложения математического анализа к теории электричества и магнетизма», которая вышла в свет ничтожным тиражом (в количестве менее 100 экземпляров).

Изучение этой книги, так же как и книги Фурье, оказало большое влияние на его работы в области теоретической

физики. В своих исследованиях В. Томсон часто обращает внимание на аналогии между механическими, тепловыми и электрическими явлениями и придает им большое значение. Наряду с теоретическими занятиями В. Томсон обучается здесь же в Париже технике тонкого эксперимента, работая ассистентом в лаборатории известного французского физика А. Реньо.

В 1846 г. освободилась кафедра физики в Глазговском университете. В. Томсон был избран по конкурсу на эту кафедру, которую он занимал до 1899 г. 22-летний профессор В. Томсон с энергией взялся за преподавание физики. Он прежде всего организовал физические лаборатории и стремился привить студентам любовь и навыки к экспериментальной работе. Группы сту-

рая может быть использована в качестве фильтровой или сумматорной.

Действие сумматорной защиты основано на использовании токов прямой и обратной последовательности, появляющихся при всех междуфазных повреждениях и ненормальных режимах работы. Защита реагирует и на перегрузку двигателя по току. Для перехода от фильтровой защиты к сумматорной достаточно замкнуть накоротко активное сопротивление в активноемкостном плече фильтра. В остальном электрическая схема не изменяется.

В комбинированной защите регулировка чувствительности осуществляется путем использования ответвлений вторичных обмоток трансформа-

торов тока. Защита пригодна для двигателей любых мощностей и напряжений. Ее присоединение осуществляется через обычные трансформаторы тока со вторичным током 5 а.

Для всех разновидностей защиты принято поляризованное двухобмоточное реле типа РП-4172-2028. В каждой обмотке 22 000 витков, сопротивление каждой обмотки 8 500 ом. Выпрямитель собран из германиевых диодов ДГ-Ц27, в каждом плече по одному диоду. Шунт для отсечки собран из селеновых элементов диаметром 25 мм.

В таблице приведены технические данные фильтровой и комбинированной защит, достаточные для их изготовления.

[30. 11. 1956]



дентов участвовали в его собственных научных исследованиях. Так постепенно образовался физический практикум, являющийся необходимым и важнейшим элементом обучения студентов в современных университетах. В. Томсон всегда стремился иллюстрировать свои теоретические положения опытом.

Будучи молодым профессором, он слушал лекции знаменитого Михаила Фарадея. Впоследствии В. Томсон встречался с Фарадеем, посещая его лабораторию в Лондоне. Фарадей ценил и одобрял работы В. Томсона. Это одобрение вдохновляло В. Томсона в его научных исследованиях.

Лекции В. Томсона отличались глубиной и оригинальностью содержания; в них излагались последние научные достижения. Совместно со своим другом, профессором П. Тэт, Томсон задумал написать фундаментальный курс физики. Был напечатан только первый том этого курса под заглавием «Трактат натуральной философии» (1867 г.). В этом капитальном труде содержится изложение механики. Математические вопросы излагаются авторами не в отвлеченной форме, а в связи с решением конкретных физических задач (например, проблема устойчивости фигур равновесия вращающейся жидкости рассмотрена в связи с вопросами космогонии; исследования гидродинамической проблемы приливов и отливов, имеющей важнейшее значение в мореплавании, сопровождалась экспериментальными работами в главнейших портах Англии и т. д.).

В. Томсон был в дружеских отношениях с известным математиком и физиком Г. Стоксом. Нередко их интересовали одни и те же проблемы теоретической физики. Первые результаты, полученные по отдельным научным вопросам, они сообщали друг другу в письмах. В. Томсон высоко ценил работу Г. Стокса и считал его крупнейшим ученым. Они последовательно занимали почетную должность президента Королевского общества: Стокс в период с 1885 по 1890 г., а Томсон — с 1890 по 1895 г.

В 1847 г. в Оксфорде В. Томсон встретился с молодым ученым А. Джоулем, производившим свои первые опыты по превращению механической энергии в тепловую. С первой же встречи между ними установились близкие, дружеские отношения. Они совместно обсуждали физическую природу тепловых процессов. Опыты Джоуля убедили В. Томсона в том, что теплота есть вид энергии и что возможно превращение тепловой энергии в механическую и обратно. Они вместе открыли явление охлаждения газа при адиабатическом расширении. Этот эффект Джоуля — Томсона имеет большое значение в технике получения низких температур. Дальнейшие исследования В. Томсона относились к установлению так называемого второго начала термодинамики, которому он дал свою формулировку. Ему принадлежат введение понятия абсолютной температуры и установление шкалы абсолютной температуры. Определение градуса в этой шкале температур основано на применении цикла Карно и замечательно тем, что не зависит от свойств вещества, участвующего в определении температуры.

Основная работа В. Томсона по термодинамике была издана в 1851 г. под заглавием «О динамической теории тепла». Карно, Клаузиус и Томсон являются основоположниками классической термодинамики. Полученные ими результаты имеют непосредственное приложение в теплотехнике; они создали новый метод оценки работоспособности паровых машин. Второе начало термодинамики имеет весьма важное значение в физике и технике. Однако необоснованное стремление придать ему универсальное значение и распространить его на системы, не ограниченные в пространстве и во времени, привели к идеалистической гипотезе «тепловой смерти Вселенной». Принципы термодинамики были положены В. Томсоном в основу теории термоэлектрических явлений. Им было показано, что если в проводнике имеется перепад температур, то при прохождении тока выделяется или поглощается (в зависимости от его направления) некоторое дополнительное количество тепла (теплота Томсона) по отношению к теплу, определяемому законом Джоуля — Ленца. Этот эффект получил название явления Томсона. Принципы термодинамики были приложены далее к объяснению явлений электролиза.

В. Томсон прекрасно владел методами механики и стремился все явления природы объяснить при помощи законов механики. Такая точка зрения характерна для представителей механистического материализма XVIII—XIX вв.

Познакомившись с работами Гельмгольца, впервые исследовавшего вихревое движение, В. Томсон своими оригинальными работами значительно расширил теорию вихрей. Ему принадлежит важная теорема о сохранении циркуляции скорости в идеальной жидкости. Полученные В. Томсоном результаты содержатся в его статье «О вихревых движениях» (1869 г.). Теорию вихрей он пытался применить к строению атома и к модели гипотетического эфира.

В 1884 г. В. Томсон был приглашен прочесть лекции в Балтиморе. Среди слушателей присутствовали крупнейшие физики: Рэлей, Роуленд, Майкельсон, Форбс, Морлей. Нередко лекции переходили в оживленные беседы, в которых обсуждались те или иные вопросы. Эти лекции после дополнений и обработки были изданы в 1903 г. под названием «Балтиморские лекции».

В. Томсон был энергичным, живым, увлекающимся научными идеями человеком. Его интересы были очень широки. Он любил музыку. В студенческие годы он был большим любителем парусного спорта. В 1870 г. он приобрел яхту «Лалла Рук», на которой совершал многочисленные прогулки. В. Томсон любил путешествовать. Он посетил Одессу и Севастополь. Нередко на «Лалла Рук» он приглашал своих друзей — Типдала, Гексли, Гельмгольца, Максвелла. Некоторые из работ В. Томсона помечены названием его яхты. В 1892 г. В. Томсон за научные заслуги получил титул лорда Кельвина.

В июне 1896 г. в Глазго был торжественно отпразднован 50-летний юбилей профессорской деятельности Томсона. На юбилее присутство-

вали делегаты 51 ученого общества, 28 университетов и 12 колледжей. Из Москвы на торжество приехал проф. Н. А. Умов, была прислана поздравительная телеграмма от студентов.

17 декабря 1907 г. В. Томсон скончался в Лондоне.

* * *

Важнейшим фактором, определяющим развитие теоретической физики, является открытие новых методов исследования физических проблем. Нередко гипотезы или теории, созданные для объяснения физических явлений, с течением времени теряют свое значение и отживают свой век, в то время как эффективные методы исследования не только сохраняют свою силу, но часто находят все новые и новые (иногда неожиданные) применения в различных областях наших знаний. В. Томсону принадлежат многочисленные совершенно оригинальные и исключительно изящные и простые методы решения разнообразных физических задач. Далее приводятся некоторые из этих методов; при этом главное внимание обращено на исходные положения и на идею излагаемого метода; формулы и соотношения взяты из подлинников с сохранением обозначений автора.

Перед нами статья В. Томсона, написанная им в 1887 г. Статья содержит всего четыре страницы, но какое важное значение она имеет! Она посвящена волнам, возбужденным импульсом в дисперсионной среде. Поставленная задача сводится к вычислению интеграла вида

$$u = \int_0^{\infty} dm \cos m [x - tf(m)].$$

Идея Томсона заключается в том, что при большом $|x - tf(m)|$ для приближенного вычисления интеграла, содержащего быстро колеблющуюся тригонометрическую функцию, достаточно учитывать лишь малый промежуток интегрирования (от $\mu - \alpha$ до $\mu + \alpha$) в окрестности точки стационарной фазы $m = \mu$, для которой

$$\frac{d}{dm} \{m [x - tf(m)]\} = 0.$$

В указанном малом промежутке (стационарной фазы) легко оценивается величина интеграла с помощью разложения функции $f(m)$ в ряд Тэйлора. Вне рассматриваемого промежутка значением интеграла в первом приближении можно пренебречь вследствие интерференции колебаний подынтегральной функции с одинаковой амплитудой.

В конце этой маленькой статьи указываются конкретные случаи применения развитого метода к распространению волн в жидкости и в упругих средах, а также к распространению световых волн в диспергирующей среде. А. Пуанкарэ рассмотрел этот метод с точки зрения функций комплексного переменного и применения его для получения

асимптотических формул для ряда специальных функций и для исследования дифракции волн Герца. Ценность метода стационарных фаз состоит в том, что он дает простую оценку величины интеграла вне зависимости от сложности функции $f(m)$. Он имеет широкое применение и в современной теории распространения волн.

В течение всей своей жизни В. Томсон занимался электромагнитными явлениями. Первые его работы относятся к электростатике и магнетизму. Он создал основы математической теории этих явлений. Ему принадлежит отчетливая формулировка основных положений и определений, относящихся к электростатике и магнетизму. Следует заметить, что им был введен в науку термин «магнитная проницаемость».

Работы Фарадея, которые показали важную роль диэлектрика при взаимодействии наэлектризованных проводников и привели его к понятию электрических силовых линий обычно криволинейной формы, послужили в то время причиной сомнений в справедливости закона Кулона. В. Томсон разъяснил несостоятельность такого вывода.

В. Томсон занимался теорией потенциала, а также исследованием знаменитой задачи о распределении электричества на двух шарах и определении силы взаимодействия между ними. Им предложен исключительный по своему остроумию и изяществу метод электрических изображений. Этот метод был первоначально изложен в трех письмах, адресованных французскому математику М. Ливуиллю.

Представим себе, что элементарный положительно заряженный шарик расположен перед неограниченной плоской поверхностью проводника с нулевым потенциалом. Тогда вследствие электростатической индукции на поверхности проводника будут распределены по определенному закону электрические (отрицательные) заряды. Оказывается, что электрическое поле, обусловленное этими зарядами в области, где расположен электрический заряженный шарик, может быть определено крайне просто. Оно тождественно с полем так называемого электрического изображения заряда $+q$ шарика, расположенного в точке p . Для его построения достаточно поместить заряд $-q$ в точке p' , симметричной точке p относительно плоскости проводника, а проводник при этом удалить. Если заряженный шарик помещен между параллельными или наклонными под углом проводящими плоскостями, то вместо одного изображения получается система изображений, образующих своеобразный «электрический калейдоскоп». Метод изображений обобщается далее для случая сферических проводящих поверхностей. Он является эффективным средством решения многих задач электростатики. В. Томсон применил свой метод также и к расчету магнитного поля и рассмотрел вопрос о магнитных экранах. Магнитные экраны впервые вошли в конструкцию его морских гальванометров.

Метод изображений имеет широкое распространение в современной технике, например при расчетах электрических линий, заземлений, антен-

ных устройств, электрических машин, возбуждения волноводов и т. д.

Исключительно велики заслуги В. Томсона в области электрических измерений. Для измерения разности потенциалов В. Томсоном был изобретен его знаменитый абсолютный электромметр, основанный на взаимодействии двух пластинок, к которым приложена измеряемая разность потенциалов. Крайне остроумной деталью этого прибора является так называемое охранный кольцо, окружающее подвижную пластину электромметра. Это кольцо охраняет пластину от неравномерного распределения зарядов вблизи ее краев и дает возможность получить для силы взаимодействия между пластинами прибора элементарно простую формулу.

Положенный в основу электромметра принцип «электрических весов» впервые позволил с большой точностью измерять разность потенциалов в абсолютных единицах. Этот принцип был также применен В. Томсоном для измерения и других электрических величин.

Для измерения весьма малых разностей потенциалов В. Томсон изобретает хорошо известный квадрантный электромметр. Принципы действия названных здесь электромметров были положены в основу В. Томсоном и другими конструкторами измерительных приборов для разработки технических электростатических вольтметров.

В то же время электромметры В. Томсона являются родоначальниками многочисленных конструкций электромметров, предложенных различными авторами. Нельзя не упомянуть далее о весьма чувствительном зеркальном астатическом гальванометре Томсона.

Математический анализ явлений, на которых основана работа электромметров и гальванометров, впервые разрабатывается В. Томсоном. Принцип «электрических весов» применен В. Томсоном в его приборах электродинамической системы для постоянного и переменного токов. В них электродинамическое действие на подвижную катушку уравнивается соответствующим грузом («электрические весы Томсона»). В. Томсоном также были сконструированы приборы электромагнитной системы с мягким железом (в форме тонкого стержня) для постоянного и переменного токов.

Ему мы также обязаны разработкой оригинальных методов измерения. Исключительно важное значение в электротехнике имеет предложенный им метод измерения малых сопротивлений (мост Томсона), который находит широкое применение и в настоящее время. Для оценки величины высокого напряжения В. Томсон исследовал зависимость длины искры от приложенного напряжения.

В. Томсон отчетливо понимал важность выбора системы электрических единиц и установления для них стандартов. По его предложению для этой цели была организована специальная комиссия, которая подготовила необходимые материалы для решений первого Международного электротехнического конгресса, состоявшегося в Париже

в 1881 г. Этот конгресс впервые установил электрические единицы: ампер, вольт, фарада и кулон.

Явления атмосферного электричества также привлекали внимание В. Томсона. Для наблюдений атмосферного электричества ему служил переносный электромметр с вертикальным стальным стержнем. Для того чтобы верхний конец стержня принял потенциал атмосферы в том месте, где он находится, к нему был прикреплен зажженный фитиль. В письме к Фарадею от 12 июня 1860 г. В. Томсон описывает свои интересные наблюдения во время грозы. Стрелка электромметра испытывала резкие отклонения, связанные с дальними грозовыми разрядами, так как после каждого такого броска через несколько секунд был слышен гром.

Мемуары В. Томсона в области электричества и магнетизма были собраны вместе и опубликованы отдельной книгой, изданной в 1872 г.

В 1853 г. появляется в печати замечательный мемуар В. Томсона, имеющий своей целью «определение движения электричества в любой момент после того, как наэлектризованный проводник заданной емкости, заряженный первоначально определенным количеством электричества, соединен с землей проволокой или другим линейным проводником данной формы и сопротивления». В то время были известны отдельные опыты, косвенно указывавшие на то, что ток разряда наэлектризованных проводников может иметь колебательный характер. К таким опытам относились намагничивание стальных игл и электролиз воды.

Исходя из энергетических соображений, В. Томсон с исчерпывающей полнотой выполнил математическое исследование данного вопроса. В его обозначениях уравнение баланса энергии имеет вид:

$$-d\left(\frac{1}{2} \frac{q^2}{C}\right) = d\left(\frac{1}{2} A \gamma^2\right) + k \gamma^2 dt.$$

[В современной терминологии величина A называется индуктивностью. Кроме того, здесь k обозначает сопротивление и $\gamma = -\frac{dq}{dt}$ — ток.]

Это уравнение вместе с выражением для тока и начальными условиями

$$q = Q \text{ и } \gamma = 0 \text{ при } t = 0$$

определяет решение поставленного вопроса. Дифференциальное уравнение задачи В. Томсон получает в виде

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \frac{k}{A} \frac{dq}{dt} + \frac{1}{CA} q = 0.$$

Интегралы этого уравнения в мемуаре пишутся как для действительных, так и для ком-

плексных корней соответствующего характеристического уравнения. В последнем случае для колебательного разряда ток

$$i = \frac{Q}{a'AC} e^{-\frac{k}{2A}t} \sin a't,$$

где

$$a' = \left(\frac{1}{CA} - \frac{k^2}{4A^2} \right)^{1/2}.$$

Отсюда следует, что промежуток времени

$$\frac{\pi}{\left(\frac{1}{CA} - \frac{k^2}{4A^2} \right)^{1/2}}$$

определяет полупериод свободных колебаний. Интересно отметить, что В. Томсон указывает на возможность обнаружения колебательного разряда с помощью вращающегося зеркала. В 1859 г. В. Феддерсену удалось получить с помощью такого зеркала первые фотографии колебательного разряда лейденской банки, что и явилось экспериментальным подтверждением теории В. Томсона.

В современной технике колебательный контур получил самое широкое распространение, и это придает классической работе В. Томсона особенно важное значение.

В середине XIX столетия ставится важная техническая задача: осуществить с помощью подводного кабеля трансатлантическую телеграфную передачу. В разрешении этой задачи В. Томсон принимает участие не только как выдающийся ученый, но и как первоклассный инженер. Прежде всего он выясняет принципиальную возможность передачи телеграфных сигналов на большое расстояние по кабелю. В первом письме проф. Стоксу от 28 октября 1854 г. сообщаются основы теории передачи по кабелю. Если в момент t количество электричества на длине dx проволоки будет $vc dx$, то

$$-c dx \frac{dv}{dt} dt = dt \frac{d\gamma}{dx} dx,$$

и, принимая во внимание, что $k\gamma = -\frac{dv}{dx}$, В. Томсон находит основное дифференциальное уравнение задачи

$$ck \frac{dv}{dt} = \frac{d^2v}{dx^2}.$$

Далее В. Томсон замечает, что полученное уравнение вполне аналогично соответствующему уравнению распространения тепла и потому для его решения можно применить методы Фурье. Для кабеля бесконечной длины, когда потенциал V , приложенный к его началу (в момент $t=0$), действует в течение T секунд, имеем:

$$v = \frac{Vz}{2\pi^{1/2}} \int_0^T \frac{d\theta}{(t-\theta)^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4(t-\theta)}}.$$

где $z = x\sqrt{kc}$, а $t > T$.

Для весьма малого T получается простое выражение для потенциала v на расстоянии x от начала

$$v = T \frac{Vz}{2\pi^{1/2} t^{3/2}} e^{-\frac{z^2}{4t}}.$$

Это выражение определяет своеобразное искажение формы сигнала, сопровождаемое его расплыванием. Далее исследуется импульс тока (пропорциональный производной $\frac{dv}{dx}$). Отсюда получаются важнейшие для практики следствия о скорости телеграфирования по кабелю.

В своем втором письме проф. Стоксу от 30 октября 1854 г. В. Томсон дает обобщенное решение данного вопроса для кабеля конечной длины l , учитывающее потери в (гуттаперчевой) изоляции кабеля. Следует заметить, что общеизвестная формула для емкости цилиндрического кабеля также принадлежит В. Томсону. Работы В. Томсона дали возможность выполнить первые инженерные расчеты проектируемого подводного кабеля. На основании проведенных расчетов В. Томсон приходит к выводу о возможности осуществления телеграфной связи через океан. Наряду с теоретической работой В. Томсон конструирует свой зеркальный гальванометр и приспособливает его для приема телеграфных сигналов.

В то же время он непосредственно участвует в прокладке кабеля. Встречались большие затруднения и неудачи: кабель многократно обрывался и повреждался. Несколько лет длилась эта работа, она успешно закончилась только в 1866 г.

В этот период творческая мысль В. Томсона работает над устройством чувствительного пишущего телеграфного приемника. В семидесятых годах входит в эксплуатацию его знаменитый сифон-рекордер. Подвижная часть прибора представляет собою легкую навитую на рамку тонкую обмотку изолированной проволоки; находящуюся в постоянном магнитном поле. Колебания рамки, вызванные приемным током, передаются пишущему приспособлению, которое производит запись сигнала на движущуюся ленту с помощью миниатюрного стеклянного сифона. Все это тонкое устройство содержит ряд остроумных деталей. Например, для облегчения вытекания из капилляра сифона анилиновой краски она электризуется с помощью маленькой электростатической машинки В. Томсона. Следует обратить внимание на то, что принцип сифона-рекордера положен в основу современных весьма точных и чувствительных магнитоэлектрических приборов.

В. Томсона интересовали самые разнообразные электротехнические вопросы. В связи с применением на практике переменных токов он занимается изучением свойств этих токов и, в частности, вопросом неравномерного распределения плотности тока по сечению проводника (поверхностный эффект). Отношение активного сопротивления цилиндрического проводника при переменном токе к сопротивлению того же проводни-

ка на постоянном токе В. Томсон выражает в специальных им введенных цилиндрических функциях $berq$ и $bei q$, для которых приводится таблица числовых значений.

В. Томсон описывает интересный опыт, сообщенный ему Армстронгом. Стальной брусок, который Армстронг держал в руке, случайно включился в цепь динамо. Он ощутил сильный ожог и выршил из руки брусок. Непосредственно после этого не было обнаружено заметного нагревания бруска. Очевидно, быстро нагрелась только поверхность металла, а количество тепла было недостаточным, чтобы заметно повысить температуру всего бруска.

Вопросы передачи электрической энергии им рассматривались как с электротехнической, так и с экономической точек зрения. Большое значение В. Томсон придавал применению аккумуляторов. Он занимается также электрическим освещением, электрическими машинами и многими другими вопросами практического применения электричества.

Им разработаны приборы и в других областях техники. Например, он изобрел механический интегратор для решения линейных дифференциальных уравнений, внес значительные усовершенствования в конструкции компаса и прибора для измерения глубины. В. Томсон получил 70 патентов на изобретения. В. Томсон многократно избирался президентом или председателем различных научных и технических конгрессов. Кроме того, он являлся членом многих научных и технических учреждений и обществ в Англии и в других странах. В 1877 г. он был избран членом-корреспондентом, а в 1896 г. — почетным членом Петербургской академии наук.

Талант Томсона сочетался с исключительной работоспособностью: им написано более 650 различных трактатов, мемуаров и статей. Его работы

отличались ясностью и краткостью изложения; содержащиеся в них отдельные темы обычно нумеровались.

В этом кратком очерке упомянута лишь незначительная доля всех работ В. Томсона, причем несколько более оттенены его работы, относящиеся к электротехнике.

Первая научная работа была выполнена Томсоном в 18-летнем возрасте, а его последние работы относятся к возрасту 83 лет.

Классические работы В. Томсона сыграли огромную роль в развитии физики, математики и техники.

Литература

1. W. Thomson. Mathematical and physical papers, vol. I—6, Cambridge, 1882—1911.
2. W. Thomson. Treatise on natural philosophy, vol. I (совместно с P. G. Tait), 5 ed., Cambridge, 1912.
3. W. Thomson. Reprint of papers on electrostatics and magnetism, 2 ed., L., 1884.
4. W. Thomson. Baltimore lectures on molecular dynamics and the Wave theory of light, L.—Baltimore, 1904.
5. W. Thomson. Строение материи. Популярные лекции и речи, пер. сангл., СПб, 1895.
6. Лебединский В. Вильям Томсон лорд Кельвин (1824—1907), Л., 1924.
7. Электричество, № 6, 1924 (этот номер посвящен памяти Томсона; статьи: В. К. Лебединского, В. А. Стеклова, В. Ф. Миткевича, Ю. А. Круткова, П. С. Осадчева и М. А. Шателена).
8. S. P. Thompson. The life of William Thomson, vol. 1, 2, London, 1910.
9. A. Gray. Lord Kelvin, London, 1908.

[20.7.1957]

