

Новиков Н.Б.
Институт психологии РАН
Россия, г. Москва
Novikov N.B.
Institute of Psychology RAS
Russia, Moscow

**СИЛА АНАЛОГИЙ. ТВОРЧЕСТВО ВИЛЬЯМА ТОМСОНА
(ЛОРДА КЕЛЬВИНА)**

Аннотация: Вильям Томсон – лорд Кельвин – один из наиболее выдающихся ученых девятнадцатого столетия. Под влиянием отца, профессора математики, В.Томсон с ранних лет приобщался к анализу научной литературы и решению физических задач. В 16-летнем возрасте В.Томсон написал блестящий очерк на 85 страниц, посвященный проблемам строения Земли. Неудивительно, что после такого начала уже к 22 годам он стал профессором натурфилософии университета в Глазго. Здесь он сразу же основал физическую лабораторию для проведения разнообразных экспериментов. Круг его интересов был огромен: он вел исследования в области магнетизма, электричества, оптики, термодинамики, геофизики, астрономии. Он внес значительный вклад в прокладку трансатлантического телеграфного кабеля. На счету В.Томсона множество великолепных научных идей. Как же известный физик приходил к этим идеям? Благодаря плодотворному использованию интеллектуальной стратегии под названием «аналогия».

Ключевые слова: новые идеи, физические теории, обнаружение сходства, проведение аналогии.

Abstract: *William Thomson - Lord Kelvin - one of the most prominent scientists of the nineteenth century. Under the influence of his father, a professor of mathematics, W. Thomson from an early age was involved in the analysis of scientific literature and the solution of physical problems. At the age of 16, W. Thomson wrote a brilliant 85-page essay on the problems of the structure of the Earth. It is not surprising that after such a start, by the age of 22, he became a professor of natural philosophy at the University of Glasgow. Here he immediately founded a physical laboratory for various experiments. The range of his interests was huge: he conducted research in the field of magnetism, electricity, optics, thermodynamics, geophysics, astronomy. He made a significant contribution to the laying of the transatlantic telegraph cable. W. Thomson has many remarkable scientific ideas. How did the famous physicist come up with these ideas? Through the fruitful use of an intellectual strategy called “analogy”.*

Key words: *new ideas, physical theories, discovery of similarities, drawing analogies.*

1. Аналогия первая: описание распределения электрических сил с помощью математических средств теории теплоты Ж.Фурье

Поступив в университет Глазго (Шотландия), молодой В.Томсон в течение 1839-1840 учебного года познакомился с двумя работами, повлиявшими на его последующую деятельность в области физики. Это были «Аналитическая механика» Жозефа Луи Лагранжа и «Небесная механика» Пьера-Симона Лапласа. В.Томсон впервые услышал об этих трактатах от своего научного наставника Д.Николя, королевского преподавателя астрономии. Несмотря на значительную математическую сложность этих работ, Д.Николь подтолкнул студента к их глубокому изучению, а также побудил его познакомиться с трудами математика А.М.Лежандра и создателя волновой теории света О.Френеля.

Летом 1840 г. В.Томсон посетил Германию, и именно в это время он впервые прочитал (опять же по совету Д.Николя) «Аналитическую теорию тепла» французского математика и физика Жана-Батиста Фурье. На 16-летнего В.Томсона работа Фурье произвела глубокое впечатление, о чем свидетельствует одно из его воспоминаний: «Отправившись тем летом в Германию вместе со своим отцом, братьями и сестрами, я захватил с собой Фурье. Отец, взяв нас в Германию, потребовал, чтобы все остальные занятия были оставлены, и всё наше время было посвящено изучению немецкого языка. <...> Мы остановились во Франкфурте. Я взял за привычку тайком забираться ежедневно в подвал, чтобы читать там отрывок за отрывком из Фурье. Когда отец открыл это, он не поступил со мной очень строго» [1, с.19].

В феврале 1842 г., уже обучаясь в Кембриджском университете, В.Томсон опубликовал статью, озаглавленную «О равномерном тепловом движении в твердых однородных телах и его связи с математической теорией электричества». На эту работу его вдохновили два великих физика. Первым был Шарль Кулон, открывший в 1785 г. закон взаимодействия зарядов («закон Кулона»), а вторым - Майкл Фарадей, первооткрыватель электромагнитной индукции, сформулировавший понятие «силовых линий» (линий электрического поля), что привлекло наибольшее внимание В.Томсона. Он пришел к выводу, что электрические заряды, взаимодействующие по закону Кулона, притягиваются друг к другу посредством «силовых линий» Фарадея.

Сопоставляя процесс притяжения зарядов с процессом распространения тепла в твердом теле, изученным Ж.Фурье, В.Томсон понял, что между этими физическими эффектами существует сходство. Это сходство натолкнуло его на мысль о том, что распределение электрических сил в области пространства, содержащей наэлектризованные проводники, можно описать теми же математическими средствами, с помощью которых Ж.Фурье исследовал распределение потоков тепла в твердом теле. При таком подходе электрические заряды будут эквивалентны источникам тепла, а

эквипотенциальные поверхности – изотермическим поверхностям. Эта «электротепловая» аналогия, обнаруженная В.Томсоном, получила высокую оценку Джеймса Максвелла. По свидетельству историков, статья В.Томсона с изложением данных результатов, определила (стимулировала) первоначальный интерес Максвелла к методу аналогий в физике.

В.М.Дуков в книге «Электродинамика» [2] относит данную аналогию В.Томсона к категории «далеких», а, значит, наиболее ценных: «Существовали примеры использования далеких аналогий. Здесь, прежде всего, следует указать на работы В.Томсона. Еще на студенческой скамье он опубликовал работу, в которой провел аналогию между распределением электрических сил в системе заряженных проводников и распределением потоков тепла в безграничном теле. Эквипотенциальные поверхности – изотермические поверхности, электрические заряды – источники тепла. Пользуясь результатами, полученными Фурье для теплоты, он получил решение электростатических задач» [2, с.137].

В.Карцев в книге «Максвелл» [3] пишет о том, как будущий создатель электромагнитной теории света воспринял результат В.Томсона: «Максвелл всегда восхищался подмеченной Томсоном аналогией, существующей между вопросами притяжения электрически заряженных тел и вопросами установившейся теплопередачи. Это остроумное наблюдение обогатило обе отрасли физики; с одной стороны, оказалось возможным использовать при разъяснении распределения электричества многие результаты, полученные Фурье для теплоты. С другой стороны, оказалось возможным распространить результаты, полученные Пуассоном для электричества, на область тепловых явлений» [3, с.128]. «...Будущему лорду Кельвину, а тогда еще кембриджскому «фрешмену» - первокурснику, - замечает В.Карцев, - было всего семнадцать лет, когда он подметил эту далеко идущую аналогию» [3, с.129].

Приведем еще один источник, освещающий указанную аналогию В.Томсона и то влияние, которое она оказала на Максвелла. М.В.Терентьев в монографии «История эфира» [4] отмечает: «...От Томсона исходит метод физических аналогий, который Максвелл воспринял и использовал с большим мастерством. В 17-летнем возрасте Томсон написал работу, где статическое распределение сил в области, содержащей электрические заряды, было вычислено по аналогии с распределением тепла в твердом теле. Заряды в такой задаче были эквивалентны источникам тепла, а математические соотношения, описывающие электрическое дальное действие в стандартной интерпретации Кулона и Пуассона, оказывались такими же, как если бы они были получены с помощью механизма теплопередачи, где, как известно, распределение устанавливается локально – от точки к точке – и нет даже намека на дальное действие. Максвелл хорошо знал эту важную статью и разумно предположить, что она стимулировала его первоначальный интерес к методу аналогий в физике» [4, 137-138].

2. Аналогия вторая: обнаружение эквивалентности между электрическими явлениями и явлениями упругости

В возрасте 21 года В.Томсон уехал в Париж. Он прибыл в столицу Франции 30 января 1845 г., чтобы поработать в лаборатории Анри Виктора Реньо (1810-1878) – ученого, который в то время исследовал физико-химические свойства газов. В.Томсон принимал непосредственное участие в экспериментальных исследованиях, которые велись в лаборатории. В Париже он встретился и познакомился с такими учеными, как Жан-Батист Био, Огюстен Коши, Леон Фуко. Самые близкие отношения у него сложились с Жозефом Лиувиллем, издателем «Журнала чистой и прикладной математики». Ж.Лиувилль попросил В.Томсона написать статью, проясняющую вопрос относительно совместимости закона Кулона и модели силовых линий

Фарадея. Согласно закону Кулона, сила, возникающая между двумя зарядами, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, что предполагает взаимодействие по соединяющей их прямой линии. Для Фарадея взаимодействие между зарядами происходит по силовым линиям - кривым, заполняющим пространство вокруг себя. Ж.Лиувилль считал, что один результат (закон Кулона) не вполне согласуется с другим (моделью Фарадея). В.Томсон написал статью, в которой показал, что между обоими представлениями об электрической силе нет противоречий.

В это же время, а именно в 1846 г., В.Томсон обнаружил аналогию между задачами теории электрических явлений и задачами теории упругости. Он изучил уравнения равновесия несжимаемого упругого твердого тела в состоянии натяжения и показал, что распределение вектора, представляющего упругое смещение, эквивалентно распределению электрической силы в электростатической системе. Эта аналогия также послужила одним из фактов, подсказавших Максвеллу способ построения электромагнитной теории.

Я.Г.Дорфман во 2-ом томе книги «Всемирная история физики» [5] констатирует: «В 1846 г. В.Томсон исследовал также аналогию между электрическими явлениями и явлениями упругости и установил, что вектор распределения электрической силы в электростатической задаче может служить также для описания упругого сдвига. Более того, он показал, что упругий сдвиг аналогичен вектору A , связанному с вектором магнитной индукции B соотношением $\text{rot } A = B$, где A – вектор-потенциал. Эти математические аналогии, предложенные В.Томсоном, навели Максвелла на мысль о возможности иллюстрировать процессы, механизм которых неизвестен, с помощью некоторых других процессов, доступных знанию при условии, что эти разнородные процессы имеют одинаковое математическое описание» [5, с.96].

Об этом же пишет В.М.Дуков [2]: «В 1846 г. В.Томсон обратился к аналогии электрических и упругих сил. Он исследовал уравнение равновесия

несжимаемого упругого тела в состоянии напряжения и показал, что распределение вектора упругого смещения в твердом теле может быть сопоставлено с распределением электрических сил в системе заряженных тел» [2, с.137].

Аналогичные сведения содержатся в книге Э.Уиттекера «История теории эфира и электричества» [6], где автор повествует: «В 1846 году – через год после того, как он получил звание второго студента, особо отличившегося по математике, в Кембридже, - Томсон исследовал аналогии электрических явлений и упругости. С этой целью он изучил уравнения равновесия несжимаемого упругого твердого тела в состоянии натяжения; и показал, что распределение вектора, который представляет упругое смещение, можно сравнить с распределением электрической силы в электростатической системе. Однако, продолжал он, это не единственная возможная аналогия с уравнениями упругости, так как упругое смещение столь же успешно можно отождествить с вектором \mathbf{a} , определенным через магнитную индукцию \mathbf{B} отношением $\text{rot } \mathbf{a} = \mathbf{B}$ » [6, с.289].

3. Аналогия третья: перенос в физику метода преобразования обратных радиусов - векторов, взятого из геометрии

Еще греческий астроном и математик, создатель гелиоцентрической системы, Клавдий Птолемей (100-160) использовал метод преобразования инверсии относительно сферы для решения ряда геометрических задач. Ознакомившись с данным методом, В.Томсон понял (1845, 1847), что его можно применить для решения задач теории потенциала, в частности, для решения основной проблемы электростатики. Другими словами, В.Томсон, руководствуясь аналогией, счел целесообразным перенести метод преобразования инверсии относительно сферы из геометрии в физику (электростатику). Основные принципы данного метода В.Томсон изложил в

переписке с Ж.Лиувиллем. Последний называл его «методом преобразования обратных радиусов - векторов», тогда как сам В.Томсон называл его «методом электрических образов». В дальнейшем этот метод показал свою эффективность при решении краевых задач теории потенциала (в том числе первой краевой задачи для уравнения Лапласа).

В.С.Сологуб в книге «Развитие теории эллиптических уравнений в XVIII и XIX столетиях» [7] пишет: «...Следует остановиться на «методе электрических образов» Томсона, или «методе преобразования обратных радиус-векторов». Первый термин принадлежит самому Томсону, второй – Лиувиллю. В основе метода лежит геометрическое преобразование инверсии относительно сферы, которое встречается еще у Птолемея и которым до Томсона пользовались при решении многих задач геометрии. Существо этого преобразования известно. Заслуга Томсона состоит в том, что он впервые усмотрел плодотворность применения преобразования инверсии к решению задач теории потенциала, в частности, к решению основной проблемы электростатики» [7, с.81].

Именуя указанный способ преобразования инверсии относительно сферы «методом Томсона», В.С.Сологуб отмечает: «Большинство соответствующих исследований по методу Томсона, в частности, работы Гельмгольца [222], Липшица [270] и Максвелла [281], связаны с первой краевой задачей для уравнения Лапласа и относятся ко второй половине XIX столетия; тогда же этот метод был применен к решению краевых задач для уравнения Лапласа и на плоскости. Сам же Томсон, предложив метод электрических образов специально для решения основной проблемы электростатики, решил ее этим методом для неконцентрического сферического слоя, для частей сферы и некоторых правильных многогранников [352]. При решении указанных задач он пользовался в основном геометрическими рассуждениями, изредка прибегая к разложениям в ряд по сферическим функциям» [7, с.84].

4. Аналогия четвертая: построение термодинамической теории термоэлектрических явлений

В Париже, проводя эксперименты в лаборатории А.Реньо, В.Томсон нашел возможность прочитать трактат французского инженера и физика Эмиля Клапейрона под названием «О движущей силе теплоты» (1834). В этом трактате в доступной форме был описан так называемый цикл Карно, в котором тепловая машина выполняет механическую работу за счет обмена теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой получил название нагревателя, а с более низкой температурой – холодильника. В.Томсон стал искать книгу С.Карно «Размышления о движущей силе огня», на что потратил достаточно много времени.

Анализ идей С.Карно привел В.Томсона (1852) к формулировке нового физического принципа, согласно которому в термодинамической системе количество тепла (энергии), способного производить работу, постоянно уменьшается. Независимо от В.Томсона этот же физический принцип, названный вторым законом термодинамики, был открыт Р.Клаузиусом. Одним из отправных пунктов для формулировки данного принципа послужило утверждение С.Карно о том, что теплота не может (самопроизвольно) переходить от холодного тела к горячему. Учитывая, что невозможность подобного перехода теплоты – чисто эмпирический факт, обнаруженный при изучении функционирования тепловых машин (и не только их), можно сказать, что В.Томсон и Р.Клаузиус открыли второе начало термодинамики индуктивно, обобщив информацию, взятую из эмпирических наблюдений.

Об индуктивном (опытном) открытии второго начала термодинамики говорит Я.М.Гельфер в книге «История и методология термодинамики и статистической физики» [8]: «Исторически сложившимся путем развития термодинамики был путь эмпирический. В работах Карно, Клаузиуса и

В.Томсона второе начало было сформулировано как **обобщение** опытного факта. Карно связал известный опытный факт (переход тепла может происходить только в направлении от нагретого тела к холодному) с работоспособностью паровых машин и развил впервые в истории науки совершенно новый метод исследования тепловых явлений – метод круговых процессов» [8, с.204-205].

Этот же вопрос рассматривает известный физик, лауреат Нобелевской премии, Макс Борн в статье «Эксперимент и теория в физике», содержащейся в сборнике [9]: «Термодинамика являет собой классический пример **индуктивного** метода. Два фундаментальных закона, касающихся сохранения энергии и существования монотонного возрастания энтропии, являются конденсированными выражениями накопленного опыта, а именно невозможности построения перпетуум-мобиле и машины, которая могла бы почерпнуть теплоту из резервуара (вроде моря) и преобразовать ее полностью в механическую работу (перпетуум-мобиле второго рода)» [9, с.154].

Продуктивность термодинамических идей С.Карно заставила В.Томсона (1852, 1854) предпринять попытку использовать их при описании явлений термоэлектричества. Ученый, прежде всего, изучил два термоэлектрических эффекта, известных к тому времени. Первый из них – эффект Зеебека – был открыт немецким физиком Томасом Зеебеком в 1821 г. Он состоит в появлении электрического тока в цепи, образованной двумя биметаллическими соединениями, когда между этими соединениями устанавливается разница температур. Вторым термоэлектрическим эффектом – эффектом Пельтье – открыт французским физиком Жаном Пельтье в 1834 г. Он проявляется при пропускании тока через соединение (контакт) двух различных металлов; при этом выделяется или поглощается тепло. В 1851 г. к этим двум эффектам добавился еще один, открытый самим В.Томсоном: он обнаружил нагревание или охлаждение проводника, концы которого имеют разную температуру, когда по нему (проводнику) течет электрический ток.

Как же В.Томсон построил термодинамическую теорию перечисленных выше термоэлектрических эффектов? Используя аналогию. Он провел аналогию между исследуемой электрической цепью и тепловой машиной, то есть взглянул на эту цепь (термоэлемент) как на тепловой двигатель, принципы работы которого описал С.Карно в трактате «О движущей силе огня». Это позволило применить к электрической цепи, демонстрирующей тот или иной термоэлектрический эффект, теорему Карно о коэффициенте полезного действия (КПД) тепловых двигателей и найти выражение для электродвижущей силы элемента (ЭДС). Напомним, что теорема Карно – это сформулированное им в 1824 г. утверждение о том, что КПД цикла Карно не зависит от природы рабочего тела и конструкции теплового двигателя, а является лишь функцией температур нагревателя и холодильника.

Я.М.Гельфер в книге «История и методология термодинамики и статистической физики» [8] пишет об этой аналогии В.Томсона: «В 1854 г. В.Томсон опубликовал шестую часть своей «Динамической теории теплоты», целиком посвященную теории термоэлектричества. Эта часть так и называется «Термоэлектрические токи». В этой работе он устанавливает важные феноменологические соотношения между величинами, характеризующими тепловые эффекты, возникающие в проводнике при прохождении по нему электрического тока» [8, с.432]. «В рассматриваемой работе Томсон впервые предложил **сопоставить работу термопары с работой идеальной тепловой машины**, в которой горячий спай играл роль нагревателя, а холодный – холодильника. Такой термодинамический подход к явлениям термоэлектричества лишний раз показывал плодотворность этого метода. В частности, он открывал возможность оценки коэффициента полезного действия термопары» [8, с.433].

Независимо от В.Томсона такую же аналогию провел Р.Клаузиус, что позволило ему перенести идеи термодинамики на область электричества (в данном случае термоэлектричества). «В 1853 г., - пишет Я.М.Гельфер, -

Клаузиус опубликовал работу «Применение механической теории тепла к термоэлектрическим явлениям», в которой рассматривал термоэлемент как своеобразную тепловую машину. Применив к этому случаю теорему Карно (теорему о КПД тепловых двигателей – Н.Н.Б.), Клаузиус нашел выражение для ЭДС термоэлемента. К аналогичному соотношению несколько раньше пришел и В.Томсон» [8, с.201].

5. Аналогия пятая: перенос второго начала термодинамики на Вселенную в целом

Размышления над принципом Карно, согласно которому тепло не может самопроизвольно переходить от холодного тела к горячему, неизбежно должны были завершиться широкими обобщениями. Как отмечено выше, первое обобщение данного принципа привело В.Томсона (и Р.Клаузиуса) к формулировке второго начала термодинамики, согласно которому в термодинамической системе количество тепла (энергии), способного производить работу, постоянно уменьшается. До определенного момента указанные ученые не рассматривали возможность распространения второго начала на всю Вселенную, а ограничивались «земными явлениями» (сначала нужно было разобраться в работе тепловых машин и т.д.). Однако, когда такой «разбор» (анализ) был завершен, появились условия для того, чтобы рассмотреть всю Вселенную как разновидность тепловой машины и постулировать уменьшение количества энергии, способной производить работу, во Вселенной в целом.

В 1852 г. В.Томсон опубликовал статью «Об универсальной тенденции природы к рассеянию механической энергии». Разумеется, в ней он не использовал термин «энтропия» (он был введен в науку Р.Клаузиусом лишь в 1865 г.). В упомянутой статье В.Томсон отметил, что количество рассеянной (ставшей бесполезной) энергии во Вселенной растет, и в своем конечном

состоянии Вселенная будет иметь максимальную величину этой рассеянной энергии. Другими словами, с течением времени между разными участками Вселенной произойдет выравнивание температур, вследствие чего она достигнет равновесного состояния. Этому состоянию достигнет и наша планета, о чем В.Томсон писал в указанной статье: «Земля в течение конечного периода времени в прошлом должна была быть и в течение конечного времени в будущем должна будет стать непригодной для жизни человека в том виде, в каком она предстает сегодня...» [1, с.87].

Таким образом, проведя аналогию между тепловой машиной Карно и Вселенной в целом, В.Томсон распространил на всю Вселенную принцип рассеяния энергии (полезной энергии, способной совершать работу), открытый при эмпирическом анализе характера протекания земных физических процессов.

Этот вывод о неизбежном «выравнивании температур» в космическом пространстве В.Томсон дополнил фразой: «...если только не окажутся осуществленными или на грани осуществления операции, невозможные в рамках законов, которым подчиняются операции, о которых сегодня известно, что они работают в материальном мире» [1, с.87].

Операции, о которых говорит В.Томсон, открыл русский математик и физик, основоположник современной физической космологии, Александр Александрович Фридман (1888-1925). Изучив уравнения стационарной модели Вселенной, предложенной А.Эйнштейном, А.А.Фридман в 1922 г. обнаружил, что эти уравнения допускают нестационарные решения. Под этими нестационарными решениями он понимал варианты, при которых замкнутая Вселенная сначала расширяется, а затем (под действием сил гравитации) сжимается. Взаимное удаление галактик, открытое Э.Хабблом в 1929 г., и космическое реликтовое микроволновое излучение, зарегистрированное А.Пензиасом и Р.Вильсоном в 1965 г., подтвердили выводы А.А.Фридмана. Сжатие и расширение вещества Вселенной – это

операции, выполняемые ею для того, чтобы избежать «тепловой смерти», то есть операции, которые имел в виду В.Томсон.

6. Аналогия шестая: разработка теории передачи электрического сигнала по кабелю

В 1854 г. талантливый американский предприниматель Сайрус Филд организовал привлечение первичного капитала для масштабного проекта, связанного с прокладкой трансатлантического телеграфного кабеля. Первая экспедиция по прокладке телеграфного кабеля, соединившего Англию и США, стартовала 5 августа 1857 г., а последняя, пятая по счету, успешно завершилась 27 июля 1866 г. Создатели первого трансатлантического кабеля столкнулись с массой финансовых, организационных и технических сложностей, неизбежных при реализации проектов такого масштаба. Но главная (хотя поначалу осознанная далеко не всеми специалистами) проблема заключалась в выяснении принципиальной возможности устойчивой передачи электрических сигналов на большие расстояния без ретротрансляционных подстанций, которые использовались в наземных линиях.

Еще в 1856 г. Вильям Гамильтон (автор знаменитой оптико-механической аналогии) обратился к В.Томсону за консультацией по вопросу прохождения электрических сигналов по кабелю, погруженному в воду. В.Томсон посоветовал В.Гамильтону побеседовать с Г.Стоксом, автором дифференциальных уравнений, описывающих течение вязких жидкостей (гидродинамических уравнений Навье - Стокса). Но Г.Стокс не смог решить вопрос и снова передал проблему В.Томсону, который в итоге сформулировал основные уравнения телеграфии. Другими словами, В.Томсон разработал математическую теорию передачи электрических сигналов по проводам. Полученное им уравнение (с легкой руки А.Пуанкаре) получило название

«телеграфного уравнения». Свои результаты английский ученый изложил в статье «О теории электрического телеграфа» (1856).

Как же В.Томсон открыл знаменитое «телеграфное уравнение», которое стало основой математической теории прохождения электрического тока по проводам? По аналогии с уравнением Фурье для линейного распространения тепла. Иначе говоря, В.Томсон снова вспомнил результаты Ж.Фурье, представленные в его трактате «Аналитическая теория тепла» (1822), и применил их для описания процесса прохождения электрического тока по кабелю.

Б.М.Болотовский в книге «Оливер Хевисайд» [10] пишет: «Теория передачи сигнала по кабелю была разработана У.Томсоном (Кельвином) в 1855 г. Кельвин рассматривал кабель как систему, обладающую двумя параметрами – значениями емкости и сопротивления на единицу длины кабеля. При этом и для тока, и для напряжения в кабеле получились уравнения типа уравнения теплопроводности, но только роль теплопроводности играла величина, обратная произведению емкости и сопротивления. Таким образом, в этом случае распространение сигнала по кабелю подчиняется тем же законам, что и распространение тепла вдоль длинного стержня с теплоизоляцией на боковой поверхности» [10, с.46-47].

Об этом же сообщает Э.Уиттекер в книге «История теории эфира и электричества» [6]. В частности, автор говорит о «телеграфном уравнении» В.Томсона, ошибаясь лишь в датах вывода этого уравнения: «Томсон, в одном из писем Стоксу, в 1854 году получил это уравнение в форме, применимой к атлантическим кабелям, т.е. пренебрегая членом, содержащим L (самоиндукцию на единицу длины – Н.Н.Б.). В такой форме это уравнение не отличается от уравнения Фурье для линейного распространения тепла: так что известные решения теории Фурье можно применить в новой интерпретации» [6, с.274].

Аналогия, использованная В.Томсоном при выводе телеграфного уравнения, известна также автору книги «Физике становится тепло» [1]. Данный автор пишет о результатах, полученных В.Томсоном при разработке теории передачи электрических сигналов по кабелю: «Томсон опубликовал эти результаты в статье под названием «О теории электрического телеграфа», в которой снова провел **аналогию** с теорией Фурье: переданный электрический импульс аналогичен теплу, движущемуся через твердое металлическое тело. Томсон очень любил проводить **анalogии** между проблемами из разных областей, и это его пристрастие было общеизвестным» [1, с.104].

7. Аналогия седьмая: изобретение зеркального гальванометра

Будучи научным консультантом Atlantic Telegraph Company – фирмы, занимавшейся прокладкой трансатлантического телеграфного кабеля, В.Томсон сосредоточился на проблеме запаздывания электрических сигналов, передаваемых по кабелю, а также на проблеме искажения их формы. Он пришел к выводу, что для решения этих проблем нужно выполнить простое условие: сигналы, подаваемые по кабелю, должны быть слабыми и короткими. Соответственно, чтобы принимать их на выходе, требовалось использовать чувствительные приборы (устройства, способные воспринимать слабые сигналы). Таким прибором стал изобретенный В.Томсоном зеркальный гальванометр.

Конструируя гальванометр как эффективный детектор слабых электрических сигналов, В.Томсон использовал две аналогии (подсказки). Первая заключалась в том, что в качестве образца для своего устройства В.Томсон выбрал зеркальный гальванометр, созданный в 1826 г. Иоганном Поггендорфом. И.Поггендорф – ученый, основавший журнал «Анналы физики и химии» и отказавшийся в 1841 г. (как это ни удивительно!) печатать в этом

журнале статью Роберта Майера, посвященную открытию закона сохранения энергии. Вторая аналогия – это ситуация, подсказавшая В.Томсону, каким образом следует усовершенствовать гальванометр Поггендорфа, то есть какие механизмы необходимо включить в уже существующий прибор, чтобы по своим характеристикам он соответствовал замыслу. Однажды В.Томсон произвольно вращал в руке монокуляр и заметил, что световые блики, отраженные от стекол, быстро бегали по комнате. Это навело его на мысль, что в центр катушки гальванометра (внутри воздушной камеры) нужно поместить небольшое искривленное зеркало, подвешенное на тонкой шелковой нити, с крошечными магнитами, прикрепленными к его задней части.

На зеркало В.Томсон направил узкий луч света от лампы, который после отражения проецировал световую точку на шкалу, расположенную на расстоянии нескольких метров. Когда ток, принимаемый в кабеле, вызывал вращение катушки, магниты заставляли вращаться зеркало, и световая точка перемещалась в ту или иную сторону от нулевого деления шкалы. Воздух в камере, где было расположено зеркало, сжимался, в связи с чем колебания, которые могли возникнуть после каждого сигнала, максимально сокращались. Увеличенное отражение позволяло намного легче различить движения, даже когда они были очень незначительными.

Описывая историю зеркального гальванометра В.Томсона, автор книги [1] отмечает: «...Томсон выступал за использование низкого напряжения, а так как это предполагало чрезвычайно слабые сигналы, разработал принимающее устройство, которое назвал зеркальным гальванометром и запатентовал в 1858 году. На самом деле ученый улучшил изобретение, сделанное немецким физиком Иоганном Христианом Поггендорфом в 1826 году» [1, с.94-95].

Относительно обстоятельств, подсказавших В.Томсону способ усовершенствования гальванометра Поггендорфа, пишет Артур Кларк в книге «Голос через океан» [11]: «Решение проблемы приёма сигналов было найдено,

как ни странно, благодаря моноклю Томсона. Непроизвольно вращая в руке монобль, Томсон заметил, что световые блики, отражённые от стёкол, быстро бегают по комнате. Это навело его на мысль о создании зеркального, впоследствии широко известного, гальванометра» [11, с.59-60].

Аналогичные сведения можно найти в статье Ю.Менцина [12], где автор поясняет принцип работы гальванометра В.Томсона: «Очень легкая катушка, подвешенная на вертикальной нити между полюсами магнита, поворачивалась на небольшой угол при прохождении через нее тока. Приклеенное к катушке зеркальце отбрасывало узкий луч от осветителя на удаленный экран, во много раз увеличивая чувствительность гальванометра. В своих воспоминаниях Томсон писал, что эту идею, использованную затем во многих приборах, ему подсказал солнечный зайчик на стене, отражённый от его монобля» [12].

8. Аналогия восьмая: вывод формулы для периода свободных колебаний электрического контура

В настоящее время основой для расчета всех электрических колебательных контуров является знаменитая формула В.Томсона $T=2\pi\sqrt{LC}$, где T – период (частота) электрических колебаний, L – емкость конденсатора, входящего в состав электрического контура, C – индуктивность катушки (соленоида). В.Томсон получил эту формулу в 1853 г., и для любого историка науки представляет интерес вопрос о том, как он это сделал.

Оказывается, ученый руководствовался аналогией с формулой, описывающей колебания механического маятника и впервые выведенной Галилео Галилеем (1564-1642). В свою очередь, Г.Галилей открыл закон колебаний механического маятника, согласно которому период колебаний маятника пропорционален квадратному корню из его длины, по аналогии со своим законом свободного падения тел. Как известно, данный закон утверждает, что время свободного падения пропорционально квадратному

корню из пройденного пути. Таким образом, В.Томсон провел аналогию между электрическими и механическими колебаниями, вычислив период колебаний электрической системы по аналогии с тем, как Г.Галилей вычислил период колебаний маятника.

Отметим, что содержащиеся во многих исторических источниках ссылки на то, что Г.Галилей вывел формулу колебаний маятника, наблюдая за люстрой Пизанского собора, не вполне верны. Эти наблюдения могли привести его к выводу об изохронности колебаний маятника, но не к указанной формуле (повторим, что она подсказывалась законом свободного падения).

Г.И.Бабат в книге «Рассказы о токах высокой частоты» [13] обсуждает аналогию В.Томсона: «Когда прикрепленная к пружине гири колеблется, то запас энергии непрерывно перебрасывается из гири в пружину и обратно. В электрическом же маятнике запас энергии перебрасывается из конденсатора в индуктивность и, обратно, из индуктивности в конденсатор. Такая аналогия между механическими и электрическими колебаниями позволяет рассчитывать электрические колебательные процессы по тем же формулам, что и процессы механические. И вот Вильям Томсон использовал ту формулу, **которую предложил еще Галилей**, чтобы вычислить период колебаний лампы (люстры Пизанского собора – Н.Н.Б.), и заменил в этой формуле механические величины электрическими. По этой формуле он вычислил период колебаний электрической системы (или электрического колебательного контура, как его также называют). И до наших дней эта знаменитая формула Томсона является основой для расчета всех электрических колебательных контуров: $T = 2\pi\sqrt{LC}$ » [13, с.16-17].

Об этом же сообщает Д.Данин в книге «Резерфорд» [14]. Правда, Д.Данин считает, что Г.Галилей получил формулу для частоты колебаний маятника, изучив качания люстры в Пизанском соборе, но это не так (о чем мы уже сказали). Д.Данин пишет: «В часы богослужения в Пизанском соборе, следя за

качаниями люстры и отсчитывая равные промежутки времени по пульсу в своей руке, Галилей набрел на простую формулу для частоты колебаний маятника. Почти за двадцать лет до рождения Эрнста (Резерфорда – Н.Н.Б.), в 1853 году, боготворимый учительницей Мартой лорд Кельвин вывел по сходству столь же простую формулу для частоты колебаний электрических» [14, с.52]. Здесь Марта – мать Резерфорда, всю жизнь работавшая учителем и восхищавшаяся В.Томсоном (лордом Кельвином), который был одним из наставников ее сына.

9. Аналогия девятая: обнаружение эквивалентности между задачами теории упругости и гидродинамики

По мере развития таких областей физики, как теория упругости и теория течения жидкости (гидродинамика), ученые выявляли сходство между задачами, относящимися к этим разным областям. Это открывало возможность для того, чтобы попытаться распространить (экстраполировать) уже разработанные математические методы из одного раздела в другой. В.Томсону принадлежит заслуга открытия одной из аналогий, связывающих теорию упругости и гидродинамику. В частности, он заметил, что функция напряжений, используемая в задачах о кручении в теории упругости, совпадает с функцией тока для некоторого безвихревого движения идеальной жидкости в трубе того же поперечного сечения, что и скручиваемый стержень. Следует отметить, что изоморфизм (эквивалентность) между задачами теории упругости и гидродинамики обнаруживал также французский механик и математик Жозеф Валантен Буссинеск (1842-1929). В связи с этим во многих монографиях, освещающих принципы гидродинамики и теории упругости, указанные аналогии В.Томсона и Ж.Буссинеска излагаются совместно.

Так, С.П.Тимошенко и Дж. Гудьер в книге «Теория упругости» [15] пишут: «Существует несколько аналогий между задачами о кручении и

гидродинамическими задачами о движении жидкости в трубах. Кельвин заметил, что функция φ_1 (смотрите уравнение (а) §106), которая иногда используется в задачах о кручении, тождественно совпадает с функцией тока для некоторого безвихревого движения идеальной жидкости в трубе того же поперечного сечения, что и скручиваемый стержень. На другую аналогию указал Буссинеск. Он показал, что дифференциальное уравнение и граничное условие для определения функции напряжений φ (смотрите уравнения (150) и (152)) тождественно совпадают с теми, которые служат для определения скоростей в ламинарном потоке вязкой жидкости по трубе того же сечения, что и скручиваемый стержень» [15, с.331-332].

Об этом же сообщают В.И.Ерофеев и соавторы в статье «Качественное исследование уравнений нелинейной волновой динамики в теории упругости, гидро-газодинамике и акустике» [16]: «Большое практическое значение имеют аналогии между задачами о кручении в теории упругости и гидродинамическими задачами о движении жидкости в трубах [1]. Кельвин заметил, что функция напряжений, используемая в задачах о кручении, совпадает с функцией тока для некоторого безвихревого движения идеальной жидкости в трубе того же поперечного сечения, что и скручиваемый стержень. Буссинеск показал, что дифференциальное уравнение и граничное условие для определения функции напряжений совпадают с теми, которые служат для определения скоростей в ламинарном потоке вязкой жидкости по трубе того же сечения, что и скручиваемый стержень» [16, с.64].

10. Аналогия десятая: разработка вихревой модели атома

В 1866 г. немецкий физик, один из первооткрывателей закона сохранения энергии, Герман Гельмгольц опубликовал статью «Об интегралах гидродинамических уравнений, соответствующих вихревым движениям». В этой работе он, по существу, построил теорию гидродинамических вихрей.

Разумеется, разрабатывая данную теорию, Г.Гельмгольц опирался на аналогии и сопоставления, заимствуя ряд идей и методов из смежных разделов физики (теории упругости, электродинамики и т.д.). Например, Г.Гельмгольц разлагает движение элементарного объема жидкости на 1) поступательное, 2) растяжения – сжатия по главным (взаимно перпендикулярным) осям, 3) вращение вокруг некоторой мгновенной оси – по аналогии с результатами теории упругости [17, с.282]. В той же теории Г.Гельмгольц получил выражение для скорости, индуцируемой вихревой частицей жидкости в любой другой ее частице, по аналогии с законом Био – Савара. Как известно, данный закон определяет вектор индукции магнитного поля, порождаемого постоянным электрическим током [17, с.284]. Как подчеркивает И.Б.Погребыский в замечательной книге «От Лагранжа к Эйнштейну», характеризуя работу Г.Гельмгольца, «импульсом или одним из импульсов для этой работы были аналогии и сопоставления с другими областями физики (в данном случае с теорией электромагнитных явлений; в кинематической части Гельмгольц, как он прямо указывает в своей полемике с Бертраном, исходил из того, что уже было тогда в ходу в теории упругости)» [17, с.287].

Статья Г.Гельмгольца, содержащая новую теорию – теорию гидродинамических вихрей, - произвела огромное впечатление на В.Томсона. Она быстро была переведена с немецкого на английский язык и натолкнула В.Томсона (1867) на идею провести аналогию между гидродинамическими вихрями, описанными Г.Гельмгольцем, и атомами, структура которых в 1860-х годах еще не была известна. В.Томсон предположил, что атомы имеют вихревую структуру, то есть представляют своеобразные вихри вещества (материи). Даже характер излучения атомов (их оптические спектры) В.Томсон рассчитывал объяснить, исследуя характер колебаний вихревого атома. Желая доказать свою гипотезу о том, что атомы – это вихри (узлы), он обобщил формулы теории потенциала, выведенные Г.Гельмгольцем, ввел понятие циркуляции скорости и обобщил формулу Г.Стокса, связывающую

поверхностный интеграл с криволинейным. Эти результаты существенно пополняли математический аппарат физики.

Для проверки своей гипотезы В.Томсон совместно с Питером Тэтом (Тэйтом) провел ряд экспериментов, убедивших их в том, что при столкновении два дымовых кольца отскакивают друг от друга, как отталкиваются при соударении два каучуковых кольца. В дальнейшем теория вихревых атомов развивалась братом В.Томсона – Джозефом Томсоном, первооткрывателем электрона, лауреатом Нобелевской премии по физике за 1906 г.

Аналогия, проведенная В.Томсоном между атомами и гидродинамическими вихрями, рассматривается во многих работах. Так, И.Б.Погребыцкий отмечает: «Работа Гельмгольца о вихрях принадлежит не только механике, но и физике. В 1867 г. В.Томсон (Кельвин) выступил с докладом о вихревых атомах. Рассказав о «замечательном открытии Гельмгольца – законе движения вихрей в идеальной жидкости», он утверждал, что это открытие подсказывает мысль о том, что вихри Гельмгольца – «единственные настоящие атомы» [17, с.288].

«...Гипотеза о том, что все тела состоят из вихревых атомов в идеальной однородной жидкости, - продолжает автор, - не требует особых допущений для объяснения наличия упругости. При опытах с кольцами дыма В.Томсон и Тэт наблюдали, что при столкновении два таких кольца отскакивали одно от другого, как отскакивают друг от друга при соударении в воздухе два каучуковых кольца. Видимо, упругость дымовых колец не более отлична от абсолютной упругости, чем упругость твердого каучукового кольца той же формы. Для вихревых колец, вероятно, верны все те допущения, которые вводились в кинетической теории газов, от Д.Бернулли до Максвелла, относительно сил и кинетической энергии взаимодействия между атомами» [17, с.289]. Аналогичные сведения содержатся в [18, с.89].

Безусловно, модель вихревых атомов, предложенная В.Томсоном, повлияла на модель строения атома, описанную Джозефом Томсоном (1904) и названную «сэндвичевой» моделью. Хотя модель В.Томсона оказалась неверной, развитая им теория вихрей (узлов) послужила импульсом для прогресса аэродинамики, где теория вихрей нашла широкое применение (Н.Е.Жуковский, С.А.Чаплыгин и др.).

Кроме того, вихревая модель В.Томсона дала толчок развитию математической теории узлов. Воган Джонс в статье «Теория узлов и статистическая механика» [19] замечает: «Математики впервые заинтересовались узлами лишь в XIX в. Так, лорд Кельвин попытался составить периодическую таблицу элементов, исходя из предположения, что атомы в действительности являются завязанными в узлы вихрями «эфира». (Хотя эта попытка оказалась безуспешной, она, тем не менее, вдохновила Питера Дж. Тэйта на создание первых таблиц узлов, в которых узлы располагались в определенном порядке в зависимости от их сложности). С этого времени теория узлов обрела статус самостоятельного раздела математики» [19, с.44].

Об этом же пишет Марио Ливиио в книге «Был ли бог математиком?» [20]: «...Главный толчок в развитии современной математической теории узлов был сделан с неожиданной стороны – при попытке объяснить структуру вещества. Эта идея зародилась в голове прославленного английского физика Уильяма Томсона, который в наши дни известен как лорд Кельвин (1824-1907). <...> Он предложил весьма оригинальную гипотезу: атомы – это узлы, завязанные из трубочек эфира, загадочной субстанции, которая, как тогда полагали, пронизывает всё пространство. Согласно этой модели, разнообразие химических элементов как раз и объясняется богатейшим разнообразием узлов» [20].

11. Аналогия одиннадцатая: попытка определить возраст Земли

Еще французский натуралист Жорж-Луи Бюффон (1707-1788) пытался определить абсолютный возраст нашей планеты с помощью расчетов скорости охлаждения первоначально раскаленного земного шара. Этот расчет, но в более совершенном виде, повторил в XIX веке В.Томсон. Он собрал данные из шахт по температурным градиентам в недрах Земли; в среднем температура увеличивалась на один градус по Фаренгейту на каждые 100 футов глубины. Это в сочетании с удельной теплопроводностью горных пород дало ему скорость выделения тепла из земных недр. Поскольку сильно нагретые тела сначала теряют тепло с очень большой скоростью, которая со временем экспоненциально уменьшается, то «даже если бы Кельвин допустил самую высокую возможную первоначальную температуру Земли, он смог бы вычислить, как долго она остывала, чтобы достичь современного теплового потока» [21, с.93]. Вначале В.Томсон определил возраст нашей планеты в 100 миллионов лет, а позже, несколько изменив заданные величины, снизил этот возраст до 20 миллионов лет.

Полученные им оценки противоречили оценкам, которых придерживался Ч.Дарвин в своей теории биологической эволюции (эта эволюция требовала миллиардов, а не миллионов лет). Тем не менее, достойна уважения и восхищения сама попытка В.Томсона вычислить возраст Земли на основе использования законов, уже открытых и доказанных в физике. Можно сказать, что он стремился решить важную проблему геологии за счет переноса в нее идей и методов, взятых из физики. Одна из его статей, посвященных этому переносу, называлась «О вековом охлаждении Земли» (1864).

Какие же результаты, уже известные в математической физике, использовал В.Томсон для определения абсолютного возраста нашей планеты? Уравнение распространения тепла в твердых телах, впервые полученное Ж.Фурье! Иначе говоря, английский ученый вновь обратился к

идеям Ж.Фурье, содержащимся в его трактате «Аналитическая теория тепла» (1822). К тем идеям, с которыми молодой В.Томсон познакомился, по его собственным воспоминаниям, в подвале дома, в котором проживала его семья во время пребывания во Франкфурте (Германия). Таким образом, В.Томсон обнаружил аналогию между проблемой, стоявшей в геологии, и теми математическими средствами, которые предоставляла теория Ж.Фурье.

Автор книги [1] раскрывает подход В.Томсона при вычислении возраста Земли: «Согласно модели Томсона, Земля образовалась в результате застывания некоторого количества расплавленного материала. После застывания у системы должна была быть однородная начальная температура, и она должна была находиться в среде, поддерживавшей на поверхности Земли постоянную температуру. Томсон предположил, что дополнительные источники тепла отсутствовали, и рассмотрел систему, **используя уравнение распространения тепла в твердых телах, которое за несколько лет до этого разработал Фурье** и с которым Томсон был хорошо знаком с молодых лет. При таких обстоятельствах температура в любой точке земного объема зависела только от расстояния от этой точки до поверхности и от времени, пройденного от начального состояния. Решая уравнение Фурье, ученый нашел отношение между временем, пройденным от начала, начальной температуры системы, температурным градиентом на поверхности и константой, которая называется термодиффузией. Этих величин было достаточно, чтобы оценить возраст Земли» [1, с.142].

А.И.Равикович в монографии [22] пишет о В.Томсоне: «Его исходные позиции (определение скорости охлаждения нашей планеты и пр.) по современным представлениям оказались неверными, но это не снимает признания того, что его расчеты сыграли революционизирующую роль в геологии, реально показав, что история Земли насчитывает многие миллионы лет» [22, с.244].

12. Аналогия двенадцатая: исследование устойчивости вращения системы вихрей

Во многих работах, в том числе в [23], указывается, что Д.Д.Томсон (первооткрыватель электрона) был первым, кто использовал эксперименты американского физика А.Н.Майера, основанные на методе плавающих магнитов, для описания размещения электронов в атоме. Эти эксперименты заключались в следующем. В пробковые диски воткнуты одинаково намагниченные иглы. Пробки плавают в воде, над поверхностью которой помещен магнит, обращенный противоположным полюсом к полюсам иголок. Пуская поочередно пробки с иглами в воду, можно видеть, что три иглы располагаются в вершинах квадрата, пять – вершинах пятиугольника. Если пустить шесть игл, то пять располагаются в вершинах пятиугольника, а шестая игла будет уже располагаться в центре. Если пустить семь игл, то шесть из них расположатся в одном кольце, а седьмая – в его центре. Д.Д.Томсон рассматривал эксперименты А.Н.Майера, поставленные в 1878 г., как наглядную иллюстрацию размещения электронов в атоме.

Однако первым здесь был все-таки В.Томсон (лорд Кельвин), а не его младший брат Д.Д.Томсон. Именно Вильям Томсон впервые обнаружил аналогию между проблемой устойчивости вращения системы вихрей, которой он занимался, и опытами А.Н.Майера, в которых изучалось равновесие системы плавающих магнитов во внешнем магнитном поле. Аналогия, выявленная В.Томсоном, способствовала появлению соответствующих (описанных выше) работ Д.Д.Томсона. Она как бы катализировала (ускорила) формирование идеи о том, что электроны распределены в атоме по оболочкам и это может объяснить периодичность свойств химических элементов в таблице Д.И.Менделеева. То есть эксперименты А.Н.Майера моделировали размещение электронов в атоме по кольцам, а это размещение электронов, в

свою очередь, обнаруживало сходство с вертикальными столбцами таблицы Д.И.Менделеева (чем впоследствии воспользовался Нильс Бор).

Приоритет В.Томсона в обнаружении аналогии между опытами А.Н.Майера и проблемой устойчивости системы вихрей описывается в книге А.В.Борисова и И.С.Мамаева «Математические методы динамики вихревых структур» [24]: «Задача об устойчивости правильных вихревых многоугольников является наиболее ранней проблемой вихревой динамики. Она была поставлена лордом Кельвином (1878) и состоит в определении устойчивости стационарного вращения системы n одинаковых точечных вихрей, расположенных в вершинах правильного n -угольника (полигона). Интерес к этой задаче в наше время возникает в связи с исследованием вихрей в жидком гелии и электронных колонн в физике плазмы. Кельвин поставил вопрос об устойчивости отчасти в связи с его вихревой теорией атома и первым обратил внимание на **аналогию** этой проблемы с проблемой устойчивости равновесия одинаковых плавающих магнитов, находящихся во внешнем магнитном поле. В серии экспериментов Майер [1, 2, 3] использовал намагниченные иголки, которые он втыкал в пробки и погружал в воду так, чтобы северные полюса всех этих магнитов были направлены вверх. Затем он приближал к этой системе сверху сильный магнит южным полюсом вниз и наблюдал равновесные конфигурации. Результаты опытов показали, что при $n \leq 5$ магнитики располагаются в вершинах правильного n -угольника, при $n \geq 6$ – такой многоугольник неустойчив и возникают другие структуры. Кельвин высоко оценил экспериментальные результаты Майера...» [24, с.261-262].

13. Аналогия тринадцатая: предсказание электромагнитных волн, излучаемых атомами, движущимися со сверхсветовой скоростью

В 1934 г. аспирант Сергея Ивановича Вавилова, будущего президента Академии наук СССР, Павел Алексеевич Черенков, исследуя люминесценцию жидкостей под воздействием гамма-излучения, обнаружил слабое голубое свечение неизвестной природы. С.И.Вавилов выдвинул гипотезу, что это свечение представляет собой тормозное излучение электронов, выбитых гамма-лучами из атомов жидкости. Другими словами, С.И.Вавилов предположил, что излучение, наблюдаемое в экспериментах его аспиранта, - результат того, что электроны тормозятся при движении через жидкость из-за соударений с атомами [10, с.234-235]. Однако гипотеза С.И.Вавилова оказалась неверной. В 1937 г. советские физики И.Е.Тамм и И.М.Франк предложили правильное объяснение эффекта, обнаруженного П.А.Черенковым. Они показали, что эффект вызывается электронами, движущимися со скоростями, превышающими фазовую скорость света в среде. Стало ясно, что если электрон движется в среде быстрее, чем свет в той же среде, то в этом случае он будет излучать электромагнитные волны. В 1958 г. П.А.Черенков, И.Е.Тамм и И.М.Франк были удостоены Нобелевской премии по физике «за открытие и истолкование эффекта Черенкова». Правильнее было бы сказать: эффекта Вавилова-Черенкова, поскольку С.И.Вавилов сыграл ключевую роль в обнаружении эффекта. П.А.Черенков, столкнувшись с новым эффектом, рассматривал его как фактор, мешающий исследовать диссертационный вопрос и, соответственно, препятствующий завершению диссертационной работы. Однако С.И.Вавилов настоял на изучении нового эффекта.

Примечательно, что еще в 1901 г., до возникновения специальной теории относительности, в которой А.Эйнштейн постулировал, что скорость света – предельная скорость движения частиц, В.Томсон предсказал излучение, ныне

называемое «излучением Вавилова-Черенкова». Лорд Кельвин пришел к выводу, что атом, движущийся со скоростью, большей скорости света, неизбежно должен излучать электромагнитные волны. Если заменить в этой гипотезе Кельвина слово «атом» на слово «электрон», то мы получим, по сути дела, каркас теории Тамма – Франка, увенчанной Нобелевской премией.

Как же В.Томсон догадался, что атом, перемещающийся со «сверхсветовой» скоростью, должен излучать электромагнитные волны? По аналогии с акустическим эффектом Маха. В 1888 г. австрийский физик Эрнст Мах экспериментально установил, что снаряд, движущийся в воздухе быстрее звука (со «сверхзвуковой» скоростью), неизбежно станет источником излучения звуковых волн. Таким образом, руководствуясь аналогией, В.Томсон перенес акустический эффект Маха (механизм этого эффекта) на световые, т.е. электромагнитные волны.

И.М.Франк в статье «Переходное излучение и эффект Вавилова-Черенкова» [25] пишет: «В 1901 г. Кельвин отметил, что при движении атома со скоростью, большей скорости света, должно возникать электромагнитное излучение. Это утверждение прямо основывалось на аналогии с опытами Маха. В дальнейшем предсказание Кельвина оказалось полностью забытым, и почти сорок лет спустя его вновь открыл С.И.Вавилов, который был, как известно, выдающимся знатоком истории физики» [25, с.233].

Отметим, что указанная гипотеза В.Томсона была также сформулирована Оливером Хевисайдом (1888) и Арнольдом Зоммерфельдом (1904). Последние независимо от В.Томсона, руководствуясь аналогией с эффектом Маха, пришли к мысли о способности тела, движущегося со сверхсветовой скоростью, излучать световые колебания. Информацию об этом можно найти в книге «Воспоминания о И.Е.Тамме» [26], написанной под редакцией Е.Л.Фейнберга.

14. Заключение

Идеи и открытия В.Томсона, многие из которых возникли, как мы увидели, на основе мыслительной операции аналогии, оказали большое влияние на целые поколения исследователей. Они служили источником вдохновения для таких крупных ученых, как А.М.Ляпунов, Н.Е.Жуковский, Х.Нагаока, Д.Джинс, К.Шварцшильд, Т.Скирм и т.д. Лорд Кельвин был физиком, но даже в биологии его идеи и методы оказались весьма ценными. Так, британский нейрофизиолог и биофизик Алан Ходжкин (1914-1998) однажды понял, что «телеграфное уравнение», полученное В.Томсоном и составившее теоретическую основу работы трансатлантического телеграфного кабеля, можно использовать для описания передачи импульсов в нервных волокнах. Описание процесса распространения нервного возбуждения с помощью уравнения Кельвина явилось одним из тех результатов, за которые Алан Ходжкин совместно с Эндрю Хаксли получил в 1963 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине. И вновь мы наблюдаем, как перенос определенной идеи из одной научной области в другую позволяет пролить свет на стоящую (еще не решенную) проблему.

Дж.Николлс, А.Р.Мартин и др. в книге «От нейрона к мозгу» [27] отмечают: «Анализ тока в кабеле был начат лордом Кельвином применительно к трансатлантической телефонной связи и усовершенствован Оливером Хевисайдом. В конце 19 века Хевисайд впервые учел значимость утечки тока через изоляционную оболочку, эквивалентную клеточной мембране, а также внес множество важных дополнений в кабельную теорию, в том числе определил понятие импеданса. Кабельная теория была впервые использована для нервных волокон Ходжкиным и Раштоном, которые экспериментально измерили распространение потенциала действия в аксоне омара с помощью внеклеточных электродов» [27, с.126].

Этот же перенос, осуществленный А.Ходжкиным, описывается в книге С.В.Фомина и М.Б.Беркинблита «Математические проблемы в биологии» [28]: «Несколько полезных математических моделей для описания биологических явлений удалось создать, сформулировав соответствующие биологические задачи как задачи физики или химии. Примером может служить использование так называемых кабельных уравнений в задаче о распространении нервного импульса. Эти уравнения были впервые предложены Кельвином для описания процессов в кабеле в связи с прокладкой трансатлантической телефонной линии. Оказалось, что свойства нервного волокна как устройства, передающего импульсы, достаточно просты и близки к свойствам кабеля, т.е. покрытого изоляцией проводника» [28, с.14].

Существенная роль аналогии в творчестве В.Томсона и других ученых наталкивает на мысль, что если мы хотим создать искусственный интеллект, который мог бы самостоятельно генерировать новые идеи, он должен, прежде всего, научиться сопоставлять разные пласты информации, обнаруживать эквивалентность между ними и в дальнейшем переносить решения из одних теорий в другие. Способность «наводить мосты» между разными парадигмальными структурами – одна из ключевых особенностей продуктивного мышления в науке.

Литература:

1. Рохо А. Физике становится тепло. Лорд Кельвин. Классическая термодинамика. – М.: изд-во «Де Агостини», 2015. – 160 с.
2. Дуков В.М. Электродинамика. – М.: «Высшая школа», 1975. – 248 с.
3. Карцев В. Максвелл. – М.: «Молодая гвардия», 1974. – 336 с.
4. Терентьев М.В. История эфира. – М.: «Фазис», 1999. – 176 с.
5. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики. Том 2. – М.: изд-во «ЛКИ», 2007. – 320 с.

6. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. Классические теории. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 512 с.
7. Сологуб В.С. Развитие теории эллиптических уравнений в XVIII и XIX столетиях. – Киев: изд-во «Наукова думка», 1975. – 280 с.
8. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. – М.: «Высшая школа», 1981. – 536 с.
9. Борн М. Эксперимент и теория в физике // сборник статей «Физика в жизни моего поколения». – М.: изд-во иностранной литературы, 1963. – С.135-171.
10. Болотовский Б.М. Оливер Хевисайд. – М.: «Наука», 1985. – 256 с.
11. Кларк А. Голос через океан. – М.: изд-во «Связь», 1964. – 236 с.
12. Менцин Ю. Великий морской змей, или Две тысячи миль под водой // Наука и жизнь. – 2014. - № 5. – С.46-57.
13. Бабат Г.И. Рассказы о токах высокой частоты. – Москва-Ленинград: «Госэнергоиздат», 1948. – 153 с.
14. Данин Д. Резерфорд. – М.: «Молодая гвардия», 1966. – 624 с.
15. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: «Наука», 1975. – 576 с.
16. Ерофеев В.И. и др. Качественное исследование уравнений нелинейной волновой динамики в теории упругости, гидро-газодинамике и акустике // Вестник Нижегородского университета им. Н.И.Лобачевского. - Серия «Механика». – 2013. - № 1 (3). - С.64-69.
17. Погребысский И.Б. От Лагранжа к Эйнштейну. Классическая механика XIX века. – М.: «Наука», 1966. – 327 с.
18. Лебединский А.В., Франкфурт У.И., Френк А.М. Гельмгольц. – М.: «Наука», 1966. – 319 с.
19. Джонс В. Теория узлов и статистическая механика // В мире науки. – 1991. - № 1. – С.44-50.
20. Ливио М. Был ли бог математиком? – М.: изд-во «АСТ», 2016. – 383 с.

21. Кэри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. – М.: «Мир», 1991. – 447 с.
22. Равикович А.И. Развитие основных теоретических направлений в геологии XIX века. – М.: «Наука», 1969. – 248 с.
23. Кудрявцев С.П. Д.Д.Томсон. – М.: «Просвещение», 1986. – 80 с.
24. Борисов А.В., Мамаев И.С. Математические методы динамики вихревых структур. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 368 с.
25. Франк И.М. Переходное излучение и эффект Вавилова-Черенкова // Успехи физических наук. – 1961. - Том 75. - № 2. – С.231-240.
26. Воспоминания о И.Е.Тамме. Под ред. Е.Л.Фейнберга. – М.: «Наука», 1986. – 312 с.
27. Николлс Дж.Г., Мартин А.Р. и др. От нейрона к мозгу. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 672 с.
28. Фомин С.В., Беркинблит М.Б. Математические проблемы в биологии. – М.: «Наука», 1973. – 200 с.