

УДК 535.13

**ДЖ.К. МАКСВЕЛЛ И ЕГО РОЛЬ В РАЗВИТИИ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ**

**С.П. Кудрявцев¹, В.П. Беляев², Д.Н. Ластовкин²,
Н.М. Макаров², А.С. Рязанова²**

*Кафедры: «Физика» (1); kudrserge@rambler.ru;
«Управление качеством и сертификация» (2);
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: Кавендишская лаборатория; кинетическая теория; распределение Максвелла по скоростям; экспериментальное обучение по физике; электромагнитная теория.

Аннотация: Показана роль Дж.К. Максвелла как организатора и руководителя одной из первых физических лабораторий – Кавендишской лаборатории в Кембридже.

Радио, телевидение, компьютеры, сотовая связь стали неотъемлемой частью нашей жизни. И эти удивительные технические достижения были бы невозможны, если бы не было электромагнитной теории поля, созданной гением Максвелла, 180-летие со дня рождения которого отмечается в этом году.

Эйнштейн сравнивал имена Галилея и Ньютона в механике с именами Фарадея и Максвелла в электромагнетизме. Действительно, такая аналогия правомерна. Галилей положил начало механике. Ньютон ее завершил. Фарадей ввел концепцию электромагнитного поля, которое описывал с помощью силовых линий. Максвелл придал идеям Фарадея математическую завершенность, ввел точный термин «электромагнитное поле», сформулировал математические законы этого поля. Галилей и Ньютон заложили основы механической картины мира, Фарадей и Максвелл – основы электромагнитной картины мира [1, с. 256].

Джеймс Клерк Максвелл родился 13 июня 1831 г. в Эдинбурге. Отец его принадлежал к знатному шотландскому роду и был образованным, культурным человеком. Он с детства прививал сыну любовь к научным исследованиям. Занимался с ним астрономией, учил наблюдать небесные тела в зрительную трубу.

Когда сыну исполнилось десять лет, отец отдал его в Эдинбургскую академию (среднее учебное заведение). В 1846 г., еще будучи учеником, Максвелл опубликовал в Трудах Эдинбургского Королевского общества свою первую статью «О черчении овалов и об овалах со многими фокусами». После окончания учебы в академии в 1847 г. Джеймс поступил в Эдинбургский университет, где наряду с учебной работой занимается научными исследованиями в геометрии и механике. В частности, он сделал в Королевском обществе Эдинбурга доклад о равновесии упругих тел, в котором доказал известную в теории упругости «теорему Максвелл-

ла». После трех лет учебы в университете Эдинбурга Максвелл переводится в Кембриджский университет, в знаменитый Тринити-колледж, в котором учился в свое время Ньютон. Во времена Максвелла выпускники Кембриджа сдавали трудный экзамен – математический трайпос. По результатам сдачи этого экзамена составлялся список, в котором Максвелл был вторым в выпуске 1854 г. В этом году Максвелл в письме к своему старшему другу Уильяму Томсону пишет, что намеревается «атаковать электричество» и начинает с изучения работ Фарадея. А уже через год он доложил Кембриджскому философскому обществу первую часть своего сочинения «О фарадеевых силовых линиях», которое закончил в 1856 г. В этой работе Максвелл уже дает первоначальную формулировку своих знаменитых уравнений. Больцман писал: «Эта первая большая работа Максвелла содержит в себе изумительно много. Уравнения между магнитными и электрическими величинами и напряжениями остались по существу без изменения; лишь диэлектрическая поляризация и электропроводность, а также индуктивное действие вследствие изменения первой во времени, и большая часть того, что относится к уравнениям для движущихся тел, было введено впоследствии...» [4, с. 90].

В этом же году умер отец Максвелла, который был его первым учителем и другом. В 1856 г. Максвелл становится профессором Абердинского университета в Шотландии. Здесь Максвелл пишет работу об устойчивости колец Сатурна, за которую получил премию Адамса в 1857 г. В этой работе он показал, что эти кольца должны состоять из множества мелких твердых частиц, вращающихся вокруг Сатурна со скоростями, зависящими от их расстояний до планеты. Эта его работа впоследствии привела Максвелла к исследованиям по кинетической теории газов, приведшим его к знаменитому закону распределения скоростей молекул газа.

В 1857 г. Максвелл посылает Фарадею свою работу «О фарадеевских силовых линиях». Фарадей был очень тронут. Началась переписка этих двух великих ученых. Их личная встреча произошла в Лондоне, где Максвелл получил профессуру. Фарадей тогда был уже стар и болен. В Лондоне Максвелл пишет статьи «О физических линиях силы» (1861–1862) и «Динамическая теория поля» (1864–1865), в которых развивает электромагнитную теорию. При построении своей теории Максвелл прибегает к механической модели электромагнитного поля. Эта модель была гораздо сложнее, чем в первой его работе по электромагнетизму. И при ее конструировании Максвелл в полной мере проявил свой талант конструктора и инженера.

В нашей статье мы не уделили должного внимания изучению научного наследия Максвелла. Эти вещи достаточно известны и хорошо изучены в историко-научной литературе. Мы хотим подробнее остановиться на другой малоизвестной стороне деятельности Максвелла как организатора и руководителя одной из первых физических лабораторий – Кавендишской лаборатории в Кембридже. Эта лаборатория сыграла выдающуюся роль в развитии физики, и вдохновителем ее достижений был Д.К. Максвелл.

В 1865 г. в Лондоне с Максвеллом произошел несчастный случай. Он упал с лошади и сильно ударился головой. Этот случай вынудил Максвелла покинуть Лондон и уехать в свое родовое имение в Гленлере. Максвелл не оставил занятий наукой и занимался ею как частное лицо.

Во второй половине XIX века в организации физической науки происходят важные перемены. В это время в развитых странах Европы, а затем США, создаются физические лаборатории. В них студенты обучались практической физике, а соискатели ученой степени проводили научные эксперименты под руководством маститых ученых. Отметим, что до этого физическая наука создавалась трудом ученых-одиночек, лабораторий не было. Кембриджский университет – старейший английский университет, уловил важность перемен в подготовке научных кадров,

и 27 февраля 1869 г. сенат университета высказался за основание кафедры экспериментальной физики.

Встал вопрос о руководителе лаборатории. На этот пост приглашали виднейших физиков – Уильяма Томсона и Германа Гельмгольца, но оба ученых по различным соображениям отказались. Выбор пал на Максвелла, и 8 марта 1871 г. он был избран первым профессором Кавендишской лаборатории. «Во времена избрания Максвелла работы его были малоизвестны, его слава была совсем не та, что сейчас, – вспоминал Дж. Дж. Томсон. – “Трактат по электричеству и магнетизму” появился двумя годами позже, и хотя он публиковал фундаментальные идеи в научных журналах задолго до его избрания, они привлекали мало внимания. Репутация его поддерживалась, в основном, благодаря работе по кинетической теории газов» [2, с. 100–101].

Первый профессор Кавендишской лаборатории 8 октября 1871 г. прочитал свою вступительную лекцию о функциях экспериментального практикума в подготовке ученых-физиков. В ней были такие слова: «Мы должны начать в лекционном зале с курса лекций по какой-нибудь отрасли физики, пользуясь опытами как иллюстрациями, и закончить в лаборатории рядом исследовательских опытов» [3, с. 22].

Максвелл высказал важные мысли о назначении преподавателя. Главное для преподавателя – это сконцентрировать внимание студента на проблеме. Полемизуя с противниками экспериментального обучения, Максвелл заявлял, что если человек увлекается проблемой, вкладывает всю душу в ее разрешение, если он понял главную пользу математики в применении ее для объяснения природы, то не будет нанесен ущерб основной специальности, экспериментальные знания не смутят веру в формулы учебников, студент не будет чрезмерно утомляться. Максвелл много времени уделял вопросам строительства и организации лаборатории. Он изучал опыт создания подобных учреждений за границей и в своей стране.

Для обеспечения лаборатории необходимой аппаратурой Максвелл подготовил список лучших приборов, и в письме в вице-канцлеру высказал благодарность герцогу за полное понимание, что снабжение лаборатории займет несколько лет. Максвелл также писал в этом письме: «Я буду считать себя свободным снабжать лабораторию приборами, которые сконструировал и которые еще будут найдены полезными, а также время от времени снабжать другой аппаратурой, необходимой для специальных исследований» [5, с. 85].

Кавендишская лаборатория была многим обязана ее первому профессору. Перед Максвеллом стояла трудная задача – создание новой кафедры экспериментальной физики в Кембридже, где до этого в основном преподавались математические науки, и многие профессора прямо возражали против проведения в университете каких-либо опытов. Так, А. Шустер вспоминает, как Максвелл, обрадованный удавшимся ему только что очень трудным экспериментом (демонстрацией конической рефракции в вырезанной и отшлифованной им пластинке двоякопреломляющего кристалла) спросил у преподавателя математики: «Хотите видеть коническую рефракцию?» – «Нет! – ответил преподаватель, я ее преподавал всю жизнь и вовсе не хочу, чтобы все мои представления перевернулись, когда я ее увижу» [8, с. 28].

Торжественное открытие лаборатории произошло 16 июня 1874 г. На нем присутствовал знаменитый русский ученый А.Г. Столетов (1839–1896), который написал отчет об этом событии в газету «Московские ведомости» [7, с. 341].

В первом отчете о лаборатории Максвелл писал, что занятия в ней начались с октября 1874 г., во втором он давал список аппаратуры, переданной лаборатории канцлером и Британской ассоциацией, в третьем отчете Максвелл упомянул о даре Х.В. Элфистона – переданной им аппаратуре, принадлежавшей Волластону. И наконец, в четвертом, спустя три года после открытия, Максвелл писал,

что лаборатория включает все «инструменты, требуемые настоящим состоянием науки».

В последнем отчете Максвелл сообщал также о неудобствах, связанных с тем, что вся аппаратура для лаборатории конструировалась в Лондоне. Поэтому в 1877 г. в лабораторию был приглашен рабочий – так было положено начало мастерским, которые постепенно сильно разрослись.

Кавендишская лаборатория – это красивое трехэтажное здание, в котором находились комнаты для экспериментов по электричеству, магнетизму, теплоте, оптике, акустике, лекционная аудитория, препараторская и т.д. Все столы лаборатории покоились на балках, независимых от пола, что позволяло производить очень тонкие эксперименты, не боясь сотрясений. На крыше лаборатории был укреплен металлический шест, соединенный проводкой со всеми комнатами. Это давало возможность в любой момент измерить потенциал атмосферного электричества. Люки в полах позволяли протянуть провода между этажами, повесить маятник Фуко и т.п. Во всех комнатах лаборатории были газ, вода, свет.

Большинство тем исследований, проведенных в максвелловское время, было подобрано главой лаборатории. Однако Максвелл предоставлял своим ученикам полную самостоятельность в выборе тем. Он говорил Шустеру: «Я никогда не пытался отговорить человека от попытки эксперимента. Если он не найдет то, что хочет, он может найти нечто другое» [5, с. 20].

Лабораторные занятия начинались с изучения шкал и нониусов, работы с зеркальными гальванометрами и с измерения сопротивления проволок. Спустя некоторое время студенты приступали к измерению горизонтальной составляющей магнитного поля Земли при помощи магнитометра Kew.

После предварительного лабораторного практикума начиналась работа над специальными проблемами. Так, Дж. Кристал, позднее профессор математики Эдинбургского университета, проверял справедливость закона Ома. Этот эксперимент подобрал ему Максвелл. Измерениями сопротивлений занимался Дж. Флеминг, а Д. Мак-Листер проводил ряд измерений электрических величин.

Максвелл, как вспоминал его ученик Шустер, ежедневно посещал лабораторию и расспрашивал о ходе экспериментов, «обыкновенно больше говорил о том, что занимало его мысль в то время, так как он всегда был до такой степени поглощен собственными идеями, что не мог сразу перевести свои мысли на новый предмет. Случалось, что он ничего не отвечал на обращенный к нему вопрос, заставляя сомневаться, слышал-ли он его, но на следующий день он обыкновенно начинал свой разговор так: «кстати, вы вчера задали мне вопрос, я подумал о нем»... и затем следовал побуждающий к исследованию глубоко продуманный ответ» [8, с. 32].

Помимо руководства исследованиями в лаборатории, Максвелл много времени отдавал редактированию трудов Генри Кавендиша, который опубликовал при жизни всего две статьи и оставил двадцать пачек рукописей по математике и экспериментальному электричеству. Изучив эти работы и проделав опыты, описанные в них, Максвелл выпустил в 1879 г. статью под названием «Электрические исследования Генри Кавендиша». Из нее следовало, что Кавендиш задолго до Ома установил закон, который пришлось переоткрывать Ому, сформулировал закон Кулона, ввел понятие электростатической емкости. Интересно отметить, что все законы Кавендиш открыл, не имея электроизмерительных приборов, которые еще не были изобретены. Электрическое действие оценивалось им по физиологическим ощущениям человеческого организма.

Максвелл точно воспроизводил опыты Кавендиша и был очень увлечен изучением его наследия. Так, Шустер вспомнил разочарование молодого американского астронома, приехавшего в Кембридж специально для того, чтобы обсудить с Максвеллом некоторые темы из астрономии, но «Максвелл говорил только о Кавендише и почти вынудил его снять пиджак и опустить руки в таз с водой, чтобы получить ощущение от серии электрических ударов» [5, с. 18].

Основное направление исследований, проводимых в лаборатории в тот период, – точные измерения и прежде всего измерения электрических величин. Максвелл уделял этим опытам большое внимание, поскольку в то время еще не было твердо установленной системы единиц. Единицы, принятые Британской ассоциацией в 1864 г., были несовершенны, они не были связаны с другими единицами (гауссова система еще не воплотилась в жизнь).

Максвелл недолго руководил лабораторией. Он умер от рака 5 ноября 1879 г. Традиции, которые он заложил в Кембридже, развивались его преемниками, которые превратили Кавендишскую лабораторию в выдающийся международный центр физической науки.

После смерти Максвелла, 12 декабря 1879 г., по специальному разрешению сената был избран второй профессор Кавендишской лаборатории – лорд Рэлей.

Сам Рэлей продолжил исследовательскую работу, начатую Максвеллом, по определению абсолютных значений электрических величин. Три года напряженной работы Рэрея в сотрудничестве с Шустером и другими привели к определению единицы сопротивления – ома. Ими также были уточнены значения ампера и вольта. Электрические стандарты, вычисленные Рэлеем, за небольшим изменением в величине ома, были приняты Международным электрическим конгрессом в Чикаго в 1892 г.

И хотя главный заслугой Максвелла была теория электромагнитного поля, организация, планирование, руководство Кавендишской лабораторией внесли в развитие экспериментальной физики неоценимый вклад. Вся последующая деятельность Кавендишской лаборатории была озарена гением Максвелла.

Список литературы

1. Кудрявцев П.С. Курс истории физики : учеб. пособие для пед. вузов / П.С. Кудрявцев. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Просвещение, 1982. – 447 с.
2. Thomson, J.J. Recollections and Reflections / J.J. Thomson. – London : G. Bell and Sons, 1936. – 451 p.
3. Максвелл, Дж.К. Статьи и речи : пер. с англ. / Дж.К. Максвелл. – М. : Наука, 1968. – 423 с.
4. Максвелл, Дж.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля : пер. с англ. / Дж.К. Максвелл. – М. : Гостехтеоретиздат, 1954. – 681 с.
5. History of the Cavendish Laboratory. – London : Longmans, Green, 1910. – 344 p.
6. Glazerbrook, R.T. James Clerk Maxwell and Modern Physics // R.T. Glazerbrook. – New York : Macmillan, 1896.
7. Столетов, А.Г. Собрание сочинений. В 3 т. Т. 1 / А.Г. Столетов. – М. : Гостехтеоретиздат, 1939. – 464 с.
8. Шустер, А. Прогресс физики / А. Шустер. – Петроград : Естествоиспытатель, 1915. – 167 с.

J.C. Maxwell and His Role in the Development of Experimental Education in Physics

**S.P. Kudryavtsev¹, V.P. Belyaev², D.N. Lastovkin²,
N.M. Makarov², A.S. Ryazanova²**

*Departments: “Physics” (1); kudrserge@rambler.ru;
“Quality Management and Certification” (2); TSTU*

Key words and phrases: Cavendish Laboratory; experimental studies in physics; electromagnetic theory; kinetic theory; Maxwell distribution of velocities.

Abstract: The paper describes the role of James Clerk Maxwell as an organizer and leader of one of the first physical laboratories – the Cavendish Laboratory in Cambridge.

Dzh.K.Makswell und seine Rolle in der Entwicklung der experimentellen Ausbildung in der Physik

Zusammenfassung: Es ist die Rolle von Dzh.K. Makswell als des Organisations und des Leiters eines der ersten physikalischen Laboratorien – des Kawendschiden Laboratoriums in Cambridge gezeigt.

D. K. Maxwell et son rôle dans le développement de l'enseignement expérimental dans le domaine de la physique

Résumé: Est montré le rôle de D.K. Maxwell comme organisateur et dirigeant d'un des premiers laboratoires de physique, celui de Cavendish à Cambridge.

Авторы: *Кудрявцев Сергей Павлович* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика»; *Беляев Вадим Павлович* – магистрант кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Ластовкин Денис Николаевич* – магистрант кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Макаров Никита Михайлович* – магистрант кафедры «Управление качеством и сертификация»; *Рязанова Анастасия Сергеевна* – магистрант кафедры «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Коновалов Виктор Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы и аппараты», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
