



## Умножение движущих сил



Николай ГРИГОРЬЕВ

Nickolay D. GRIGORIEV

**Имя А. Г. Столетова вошло в мировую историю как основателя одной из научных школ русских физиков, сыгравшего выдающуюся роль в создании теории фотоэффекта и фотометрического контроля, установлении факта чудесного содружества электричества и света, исследовании электрических явлений в разреженных газах. Своим примером он воспитал и привлек в науку целую плеяду ученых, инженеров, проявивших себя в разных областях электротехники, достигших блестящих результатов при транспортировке электроэнергии на большие расстояния, конструировании электродвигателей, электрических и электронных ламп, солнечных батарей. Многогранная деятельность профессора Московского университета А. Г. Столетова показана в статье с очевидным желанием подтвердить принадлежащие ему приоритеты, а сама публикация посвящена 175-летию со дня рождения великого ученого.**

*Ключевые слова:* физика, электротехника, Столетов, электромагнитная система, электродвигатель, законы фотоэффекта, электронная лампа, солнечная батарея.

*Григорьев Николай Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика транспорта» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.*

Основатель школы русских физиков, основоположник теоретической электротехники и профессор Московского университета Александр Григорьевич Столетов родился 10 августа (29 июля по старому стилю) 1839 года во Владимире в многодетной (он был одним из шести детей) купеческой семье.

По окончании гимназии с золотой медалью юноша в 1856 году поступил на математическое отделение физико-математического факультета Московского университета на казенный кошт. Тогда особо умные и перспективные учились бесплатно, им еще выделяли бесплатное жилье, давали стипендию и оплачивали все необходимые нужды. Спустя четыре года Столетов с отличием окончил университет, и его пытались оставить при кафедре физики, но он как казенноштатный студент обязан был отработать шесть лет «по учебной части Министерства Народного просвещения».

### САПЁР МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В сентябре 1861 года Александр получил разрешение вернуться в университет, чтобы готовиться к профессорскому званию. Летом следующего года он по специальной стипендии для талантливого выпускника, учрежденной профессорами К.А. и С. А. Рачинскими,

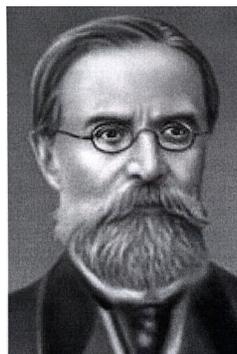
был направлен в заграничную командировку. До декабря 1865 года стажировался: в Гейдельберге у Г.Л.Ф. Гельмгольца и Р. В. Бунзена, в Геттингене у В. Э. Вебера, в Берлине у Г. Г. Магнуса и Г. Г. Квинке. В Париже в Сорбоннском университете познакомился с преподаванием физики.

За границей Столетов выполнил первую научную работу. Вместе с К. А. Рачинским он установил, что диэлектрические свойства среды не влияют на взаимодействие между магнитами и проводниками.

С февраля 1866 году молодой исследователь, получив место преподавателя математической физики и физической географии в Московском университете, начал чтение лекций. В мае 1869 года он защитил магистерскую диссертацию теоретического характера под заглавием «Общая задача электростатики и приведение ее к простейшему случаю», в которой им найдено распределение электричества на произвольном числе проводников, помещенных в пространство. Для двух проводников задача была решена английским физиком В. Томсоном. В июне того же года Столетова утвердили в звании доцента по кафедре физики. Он организовал физический кружок, который работал у него на квартире.

Вскоре после защиты магистерской диссертации Столетов заболел нервным расстройством и почти год провел в больницах, ему было запрещено читать и писать. Справившись с болезнью, он в 1871 году отправился в командировку за границу для проведения экспериментов в лаборатории Кирхгофа по теме докторской диссертации «Исследование о функции намагничивания мягкого железа», которую защитил в апреле 1872 года.

Считалось, что намагниченность железа пропорциональна индукции намагничивающего поля. Придав образцу обожженного железа форму тороида (для устранения намагничивающего фактора), он установил, что с увеличением напряженности магнитного поля магнитная проницаемость сначала возрастает, затем достигает максимума и начинает убывать. Работа Столетова имела большое значение для расчета электрических двигателей и генераторов. Подобные операции ранее выполнялись на основе эмпирических данных, причем созданный им в противовес прежнему способу расчетов метод определения магнитных свойств материалов был на-



*Александр Григорьевич Столетов*

столько хорош, что применяется и в современной практике.

В июне 1872 года Столетов стал экстраординарным (сверхштатным) профессором, а в следующем году — ординарным (штатным) профессором Московского университета. Он читал вначале курсы математической физики и физической географии, затем перешел на изложение опытной физики, энергично занимался организацией практических занятий и устройством физической лаборатории, которая была открыта в 1874 году. В ней проводились не только учебные занятия студентов, но и велась научно-исследовательская работа.

Первым серьезным лабораторным исследованием можно считать поставленный Столетовым опыт по измерению отношения электромагнитной единицы количества электричества к электростатической. Коэффициент пропорциональности оказался близким к скорости света. Это подтвердило справедливость электромагнитной теории света английского физика Д. К. Максвелла (в то время еще не являющейся общепризнанной).

В 1881 году на I Всемирном конгрессе электриков в Париже Столетов выступил с докладом о результатах исследований. За эту работу его физическая лаборатория удостоилась «Диплома сотрудничества». На конгрессе был принят ряд предложений русского ученого: о сохранении для применения в теории и практике электрических измерений электромагнитной и электростатической систем единиц; об установлении единицы сопротивления Ом (в 1880 году применялось 15 различных единиц сопротивления); о точном определении отношения, которое существует между электромагнитными единицами и электростатическими. Плодами принятых





тогда решений до сих пор пользуются в науке и технике во всем мире.

### ... И ДИРИЖАБЛЬ ЦИОЛКОВСКОГО

Физический кружок, работавший под его руководством на московской квартире, спустя примерно двенадцать лет слился с физическим отделением общества любителей естествознания. Слияние неожиданно превратилось для Столетова в знаменательное событие, прямое или косвенное, но вполне очевидное подтверждение сложившегося за эти годы научного авторитета. Александра Григорьевича при объединении кружка с официальным общественным формированием физиков избирают председателем отделения, и события быстро толкают его к активному и плотному сотрудничеству с коллегами.

По словам К. А. Тимирязева, физическое отделение при Столетове сделалось сборным местом для всего молодого, живого, интересующегося точным естествознанием в области механики и математики, физики и астрономии, химии и физиологии.

Значительно увеличилось не только количество научных сообщений на заседаниях профильных комиссий, но и расширился диапазон исследовательских тем, с которыми выступали члены отделения. Говорили, к примеру, о химическом составе комет и передаче электроэнергии на дальние расстояния, феномене полярного сияния и теории дифференциальных уравнений, проекте электрической дороги и устройстве электроламп накаливания.

А какие имена стояли в списке докладчиков! Свои работы демонстрировал будущий корифей авиационной науки Жуковский, об открытом им свойстве хлорофилла накапливать энергию солнечного света рассказывал Тимирязев, результаты астрофизических исследований комментировал Бредихин, с экспериментами, предлагающими «взвесить свет, измерить световое давление», знакомил ставший вскоре знаменитым молодой тогда Лебедев. Да и сам Столетов не скупился на идеи о центробежных силах, делился мыслями о 55-ступенной гамме Израилева, программе Венской электрической выставки, распределении энергии с помощью электричества.

По сути, физическое отделение под руководством Столетова превратилось в форпост российской науки, причем так считать давало

право еще и то, что с участием тогдашних «естествоиспытателей» шла последовательная борьба за отечественный приоритет на многие открытия и изобретения, которые незаслуженно замалчивали или приписывали иностранцам.

Известно, как реагировал на эти случаи Александр Григорьевич и с какими усилиями ему приходилось отстаивать недооцененные проекты, пытаться помочь доселе непризнанным талантам. Характерный пример: в 1882 году он выступил в защиту «электромагнитного наборщика», изобретенного студентом-медиком П. П. Княгининским. Пусть пока и на словах, но приоритет уже скончавшегося автора первой в мире автоматической наборной машины был утвержден на заседании физического отделения. Задолго до появления монотипов и логотипов. И хотя официальной наукой этот факт был на какое-то время забыт, в конце 1940-х годов преимущество конструкции Княгининского в СССР признали.

Немало сил было приложено к тому, чтобы обратили должное внимание на достижения М. П. Авенариуса — создателя системы деления электрического света. Эта система имела заметные преимущества перед зарубежными вариантами, однако без авторитетной поддержки не могла пробить себе дорогу к «ученой публике». Физическое отделение по предложению Столетова избрало киевлянина своим «непременным членом».

Складывалось впечатление, что ни одно заседание физиков не обходилось без хотя бы маленьких открытий, примечательных знакомств, многообещающих докладов. То, допустим, А. И. Доброхотов-Майков знакомил отделение с изобретенной им электролампой, то Ф. С. Буткевич демонстрировал коллегам сконструированные недавно электрические часы, то П. М. Голубицкий весь вечер с энтузиазмом вел пропаганду телефонии — причем одновременно показывая и собственные изобретения в этой области. В частности, большие громкоговорящие телефоны, предшественники знакомых всем громкоговорителей: на аудиторию произвело яркое впечатление, когда из телефонных трубок неслись звуки военного оркестра, передававшиеся по проводам из подвала, где играли музыканты.

Кстати, именно Голубицкий в 1887 году, как свидетельствуют современники, поведал

Столетову о работах К. Э. Циолковского, молодого учителя из Калужской губернии. Прочитав их, Александр Григорьевич сразу оценил масштаб фигуры будущего основателя космонавтики и пригласил его приехать в Москву. Выступая с докладом на заседании физического отделения, Циолковский не только получил возможность познакомиться со своими проектами закрытый до сего момента от него ученый мир, но и вступить в долгие и плодотворные отношения со многими выдающимися исследователями, включая профессора Н. Е. Жуковского (давшего прекрасный отзыв о проекте цельнометаллического дирижабля калужанина).

Такие доклады, как у Циолковского, предназначались, конечно, специалистам, но отделение с участием и самого Столетова проводило периодически и общедоступные лекции. Знаменитый аэродинамик С. А. Чаплыгин вспоминал: «Только что прозвучали в науке блестящие открытия Герца и Рентгена. Те и другие были освещены Столетовым в его сообщениях, сопровождавшихся превосходными опытами. Весьма просто и совершенно ясно продемонстрировалось перед внимательной аудиторией новое явление электрических волн. Незадолго до этого появившееся в Америке изобретение — фонограф Эдисона — также было подвергнуто демонстрации...».

Популяризация достижений науки (особенно отечественной) при Столетове составляла обязательную часть добровольных функций членов общества любителей естествознания. В 1882 году они все вместе помогли организовать Всероссийскую художественно-промышленную выставку в Москве. Она показала немало экспонатов, относящихся к отечественной новой технике — в том числе действующий трансформатор, замечательное изобретение И. Ф. Усагина. На этой выставке москвичи увидели и первую электрическую железную дорогу для города — предвестницу трамвая.

Тогда же, в 1882 году, став заведующим кафедрой опытной физики Московского университета, профессор Столетов достал необходимые средства и перестроил физическую аудиторию, оснастив ее нужными лекционными атрибутами: газом, водой, электрическим освещением, гелиостатом для солнечного света, газовым двигателем и генератором, экспериментальным столом, системой затемнения, экранами, досками и пр.

Было огромное желание не только учить, но и исследовать ещё неизведанное.

### ТРИ ЗАКОНА СРАЗУ

Немецкий физик Г. Р. Герц обнаружил, что электрическая искра легче проскакивает между двумя электродами, если они освещены ультрафиолетовыми лучами. В феврале 1888 года Столетов начал исследования этого явления. Он установил вертикально друг перед другом цинковую пластинку и металлическую сетку, соединенные с отрицательным и положительным полюсами электрической батареи. Для изучения тока в воздушной среде впервые был применен гальванометр. Ныне этот прием используется в исследованиях прохождения электрического тока через газы. Сквозь воздушный зазор между пластинкой и сеткой ток проходить не мог. Однако когда через сетку на пластинку был направлен свет электрической дуги, гальванометр показал наличие в цепи тока. Увеличивая напряжение (при неизменном освещении пластинки), Александр Григорьевич обнаружил, что электрический ток в цепи не подчинялся закону Ома: сначала ток возрос, затем его величина изменялась все медленнее и достигала наибольшего значения. Так ученым была получена вольтамперная характеристика фотоэлемента.

Позднее причина тока насыщения выяснена. Д. Томпсон и Ф. Ленард в 1899 году доказали, что свет, падающий на металлическую пластинку, вырывает электроны. При увеличении напряжения большее количество электронов достигает сетки и ток возрастает. Но если напряжение стало таким, что к сетке будет долетать столько электронов, сколько их вылетает из пластинки, то дальнейший рост напряжения силу тока не увеличит.

Столетов установил три закона фотоэффекта: 1. Фототок насыщения прямо пропорционален световому потоку, падающему на катод. 2. Максимальная скорость фотоэлектронов, покинувших катод, уменьшается с ростом длины волны света. 3. Существует критическая длина волны (своя для каждого металла), с превышением которой фотоэффект прекращается. Поскольку она находится в длинноволновой области спектра, то ее принято называть красной границей фотоэффекта.

Теперь первый закон фотоэффекта может быть объяснен в рамках классической волно-





вой физики: чем больше световой поток, тем большая энергия передается катоду, тем большее число электронов вылетает из катода. Для объяснения второго и третьего законов фотоэффекта Эйнштейн привлек представление о фотонах (квантах света), которые имеют энергию, пропорциональную частоте электромагнитной волны.

Фотон, попавший на металл, поглощается одним из электронов этого металла. Часть полученной энергии электрон тратит на то, чтобы вырваться из металла, а оставшуюся часть уносит в виде кинетической энергии. При уменьшении частоты электромагнитной волны энергия фотона уменьшается. Поэтому кинетическая энергия электрона и его скорость уменьшаются, что и объясняет второй закон фотоэффекта.

При критической частоте энергии фотона хватает только на совершение работы выхода, и при дальнейшем снижении частоты фотоэффект прекращается, что объясняет третий закон фотоэффекта. В настоящее время фонограмма звуковых кинофильмов воспроизводится за счет фотоэффекта.

Продолжая свои исследования, Столетов в том же 1888 году создал первый фотоэлемент (прибор, преобразующий свет в электричество): пластинку и сетку поместил в стеклянный сосуд, из которого можно было выкачать воздух. Теперь фотоэлементы используются для автоматизации технологических процессов, в системах охранной сигнализации, фототелеграфии. Они читают чертежи и изготавливают по ним детали, открывают и закрывают двери и турникеты, останавливают пресс, когда рука человека оказывается в опасной зоне.

Ученый произвел измерения тока несамостоятельного газового разряда при различных значениях: давления газа в сосуде, напряжения, расстояния между сеткой и пластинкой. Он установил, что сила тока достигает наибольшего значения при определенном давлении газа и что это давление зависит от напряжения и расстояния между сеткой и пластинкой. Но если умножить давление газа, при котором наблюдается наибольший ток, на расстояние между пластинкой и сеткой и разделить полученный результат на напряжение, то получится постоянная величина (названная впоследствии константой Столетова).

Теоретический смысл константы был

открыт после смерти ученого английским физиком Таунсендом. Электроны, летящие от пластинки к сетке, на своем пути разбивают молекулы на положительные остатки и электроны. При некотором определенном давлении электроны ионизируют наибольшее число молекул, и получается наиболее сильный ток из возможных при данном напряжении для установленного расстояния между пластинкой и сеткой.

Закономерности, открытые Столетовым, легли в основу современных теорий электрического разряда в газах. Его вакуумная установка для изучения электрических явлений в разреженных газах стала прообразом электронной лампы, которая совершила подлинную революцию в электротехнике. Радиоприемники и радиопередатчики, рентгеновские аппараты и газоразрядные трубки, радиолокаторы и электронные микроскопы, телевизоры и электронно-вычислительные машины, как и многое другое, стали возможны благодаря трудам русского физика.

В 1889 году в Париже на II международном конгрессе электриков Столетов был избран его вице-президентом. Он являлся на тот момент почетным членом Императорского университета святого Владимира, Общества любителей естествознания, Киевского физико-математического общества, Киевского общества естествоиспытателей; членом обществ Московского математического, Русского физико-химического, Парижского Société Française de Physique; членом-основателем и корреспондентом Парижского Société internationale des electriciens; иностранным членом Лондонского Institution of Electrical Engineers.

Однако не был избран в Петербургскую (Российскую) Академию наук. Его кандидатура выдвигалась для избрания. 14 апреля 1893 года на заседании отделения физико-математических наук президент академии неожиданно для всех отложил голосование на неопределенный срок, мотивируя свое решение тем, что у Столетова, как человека с беспокойным нравом, много противников, и он, наверное, будет забаллотирован. Затем его кандидатура была снята совсем.

В 1893 году окончился срок тридцатилетней службы Столетова в Московском университете и он получил официальное извещение об отставке. Привыкший к постоянному труду и широкому размаху своей деятельнос-

ти, ученый почувствовал себя больным. Целые дни проводил он дома. Посещал только физическую лабораторию, где подолгу засиживался, беседуя о всевозможных научных новостях. В ночь с 26 на 27 мая 1896 года холостяк Столетов в возрасте 56 лет умер от воспаления легких и ослабления сердечной деятельности.

\*\*\*

Александр Григорьевич Столетов — один из основателей современной теоретической электротехники, незримый соавтор всех генераторов, трансформаторов, электродвигателей и солнечных батарей, оставивший глубокий след в электростатике, магнетизме, электромагнетизме, в фотоэлектрических приборах и фотометрии.

Всем этим, естественно, пользуется сейчас и транспорт, однако многоотрасле-

вая принадлежность электротехники не позволяет отдать никому из потенциальных потребителей заслуг русского физика условную пальму первенства. И это только подчеркивает несомненную величину его таланта и полезности для науки и общества.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Болховитинов В. Н. Александр Григорьевич Столетов. — М.: Молодая гвардия, 1951. — 544 с.
2. Шателен М. А. Русские электротехники второй половины XIX века. — М.; Л.: Госэнергоиздат, 1949. — 380 с.
3. Шателен М. А. Русские электротехники XIX века. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1955. — 432 с.
4. Компанец А. И. Мировоззрение А. Г. Столетова. — М.: Изд-во АН СССР, 1956. — 287 с.
5. Белькинд Л. Д., Конфедератов И. Я., Шнейберг Ф. А. История техники. — М. — Л.: Госэнергоиздат, 1956. — 491 с.
6. Веселовский О. Н., Шнейберг Я. А. Очерки по истории электротехники. — М.: Изд-во МЭИ, 1993. — 252 с.

## MULTIPLICATION OF DRIVING FORCES

*Grigoriev, Nikolay, D. — Ph.D. (Tech.), associate professor of electric engineering, metrology and power engineering department of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.*

### ABSTRACT

*Alexander Stoletov went down in history as the founder of one of the scientific schools of Russian physicists, played a prominent role in creation of the theory of photoelectric effect and photometric control, establishment of a wonderful community of electricity and light, study of electrical phenomena in rarefied gases. By his example he trained and involved in science a whole galaxy of scientists, engineers, approved themselves in various fields of electrical engineering, achieved excellent results when transporting electricity over long distances, the construction of electric motors, electric lamps and electronic tubes, solar batteries. Multifaceted activities of professor of Moscow University A. G. Stoletov is shown in the article with an obvious desire to confirm priorities belonging to him, and the publication itself is devoted to the 175th anniversary of the great scientist.*

### ENGLISH SUMMARY

**Background.** *Alexander Stoletov was one of the greatest Russian scientists, whose scientific activity led to excellent results in different aspects of physics, in particular creation of theory of photoelectric effect and photometric control, establishment of a wonderful community of electricity and light, study of electrical phenomena in rarefied gases.*

**Objective.** *The objective of the author is to demonstrate life and scientific journey of the prominent Russian scientist.*

**Methods.** *The author uses historical method.*

**Results.** *The founder of Russian physicists' scientific school, founder of theoretical electrical engineering and professor of Moscow University Alexander Stoletov was born on the 10<sup>th</sup> of August (29<sup>th</sup> July, old style) 1839 in Vladimir, in a large (he was one of six children) merchant family.*

*On leaving school with a gold medal in 1856 a young man entered mathematical department of physico-mathematical faculty of Moscow University. Four years later Stoletov graduated with honors from the University, and the department of physics wanted him to continue working at this department, but as his education was paid by the government, Stoletov had to work six years «in favor of Ministry of Public Education».*

### Combat engineer of magnetic fields

*In September 1861, Alexander received permission to return to university to prepare for getting a professorship. In summer 1862, after getting a special scholarship for talented graduate, established by professors K.A. and S. A. Raczynski, he was sent to a trip abroad. Until December 1865 he underwent a training under the guidance of prominent professors in Heidelberg, G ttingen, Berlin, Paris at the Sorbonne.*

*Abroad Stoletov performed the first study. Together with K. A. Rachinsky he found out that dielectric properties of the medium did not affect the interaction between magnets and conductors.*

*Since February 1866 a young researcher, received a teaching position of mathematical physics and physical geography at Moscow University, began lecturing. In May 1869, he presented his master's thesis of theoretical nature entitled «The overall objective of electrostatics and bringing it to the simplest case», in which he found the distribution of electricity on an arbitrary number of conductors placed in space. In June of the same year Stoletov was approved in the rank of associate professor at the Department of Physics. He organized the physics club, which functioned at his apartment.*

*Shortly afterwards Stoletov developed nervous breakdown and spent nearly a year in hospitals, it was forbidden for him to read and write. After recovery, in 1871 he went on a business trip abroad to conduct experiments in a laboratory of Kirchhoff, which were related to his*

