

РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ ФИЗИЧЕСКОГО КАБИНЕТА САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СРЕДАХ. ЧАСТЬ II - НА «ПЕРЕДНЕМ ФРОНТЕ» НАУКИ

Коржуев М.А.<sup>1</sup>, Тихомирова О. Ф.<sup>2</sup>, Темяков В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН ИМЕТ им. А.А.Байкова РАН, <sup>2</sup> Политехнический музей, <sup>3</sup> ОАО «Большая Российская Энциклопедия», Москва, Россия  
E-mail: [korzhuev@imet.ac.ru](mailto:korzhuev@imet.ac.ru); <sup>1</sup> [oftih@live.ru](mailto:oftih@live.ru); <sup>2</sup> [vtemyakov@mail.ru](mailto:vtemyakov@mail.ru)

После гибели Рихмана работа ФК была временно приостановлена руководством СПб АН [1].<sup>1</sup> Рукописи неопубликованных работ Рихмана были выкуплены у его семьи в обмен на денежное пособие, равное сумме годового оклада академика (660 руб.), и сданы в архив.<sup>2</sup> Кратценштейн был уволен из Академии по истечении срока контракта (1748- 1753) [2].<sup>3</sup> Ломоносов получил от графа Шувалова встречный правительственный заказ по написанию фундаментального труда по истории России, что делало невозможным продолжение каких-либо работ по физике из-за недостатка времени [1]. При этом, президент СПб АН Разумовский распорядился опубликовать уже подготовленные доклады Рихмана и Ломоносова по атмосферному электричеству (АЭ) «дабы между учеными в Европе людьми не опоздать» [1]. В результате на свет появилась одна из наиболее известных работ Ломоносова – «О явлениях воздушных от электрических сил происходящих» (рис.1) [1].

В этой работе Ломоносов приводит результаты своих наблюдений грозных явлений в СПб (1744 – 1748). Он обнаружил, что «... тяжелые громом и молниею тучи по большей части после полудня ...случаются, когда действие солнца в согреении воздуха всех больше чувствительно» [1]. Механизм электризации облаков Ломоносов связал с термической неустойчивостью атмосферы, вызванной неоднородным нагревом поверхности Земли солнечными лучами (рис. 1в). Пространственное разделение зарядов в атмосфере Ломоносов объяснил «сражением (соударением) электрических паров и их трением ...при опускании верхней атмосферы в нижнюю атмосферу» (рис. 1б) [1]. В результате Ломоносов

<sup>1</sup> В 1753- 1757 ФК был под наблюдением М. Софронова [1].

<sup>2</sup> Работы Рихмана были полностью опубликованы только в 1956 [1].

<sup>3</sup> Он уехал в Копенгаген, где занимался теорией газов и электролечением [2]

установил ТЭ природу АЭ, определив АЭ как «...электрическую силу, которая натуральной теплотой производится...» [1]. В качестве других возможных источников АЭ Ломоносов рассмотрел также тепло земных недр, пожары и даже курение [1]. Интересно заметить, что механизм возникновения АЭ, предложенный Ломоносовым 270 лет назад, используется с различными вариациями до настоящего времени [3].<sup>4</sup>

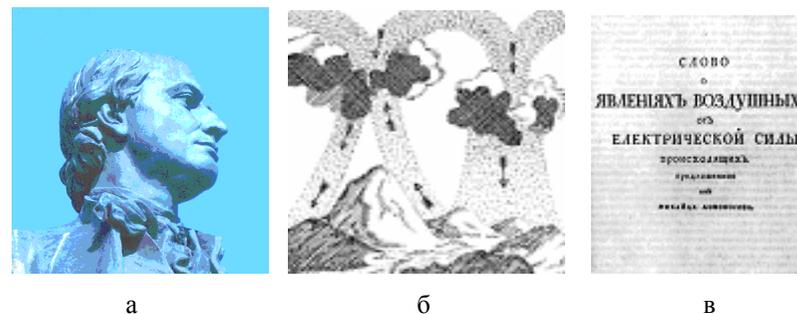


Рис.1. М.В.Ломоносов (1711- 1762) (а) (памятник около Госуниверситета, СПб), механизм возникновения АЭ, связанный с взаимодействием восходящих и нисходящих потоков воздуха и обложка приоритетной работы Ломоносова - «О явлениях воздушных от электрических сил происходящих» (1753) [1].

В 1757 г. новым руководителем ФК СПб АН стал директор Берлинской обсерватории, математик и полиглот Эпинус, приглашенный в Россию по рекомендации Л. Эйлера [4].<sup>5</sup> Для занятия вакансии профессора физики по электричеству Эпинусу пришлось срочно изменить свой научный профиль. Предметом его исследований стали кристаллы турмалина  $(\text{Na}(\text{Li}_{1,5}\text{Al}_{1,5})\text{Al}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}][\text{BO}_3]_3(\text{OH})_4)$  - пироэлектрика,<sup>6</sup> обладающего способностью электризоваться и притягивать пыль при нагреве. Об этих свойствах некоторых драгоценных камней (ДК), а также серы и сургуча, знали еще античные ученые (рис.2а). С эффектом сталкивались также европейские ювелиры, использовавшие нагрев для проверки подлинности ДК,<sup>7</sup> почтовые работники, ставившие сургучные

<sup>4</sup> Ломоносовым внес также важный вклад в физику трибоэлектричества, где он предложил производить электризацию металлов ударом (1753) [1].

<sup>5</sup> Рихман и Эпинус в разное время обучались физике у Г.Е. Гамбергера в Йене.

<sup>6</sup> Пироэлектрики (от греч. *πῖρ* – огонь, *electron* - янтарь)

<sup>7</sup> ДК обычно устойчивы до температур  $T_m = 2000- 3000$  К, а температура размягчения подделок из стекла обычно не превышает  $T = 850- 1000$  К.

печати на письма, и даже моряки, использовавшие турмалин для извлечения пепла из курительных трубок. Ранее турмалин исследовали также европейские ученые - Н. Лемери и К. Линней (рис. 2б), связавшие способность турмалина притягивать легкие предметы с электризацией кристаллов при нагреве. Однако, некоторые легкие предметы турмалин отталкивал. В эту «проблему турмалина» Эпинус ввел профессор Берлинской АН минеролог И.Г. Леман, также затем работавший в СПб с 1761 г. (рис.2в). В опытах Эпинусу помогал его ученик И. К. Вилке (рис.2г), впоследствии известный шведский физик [4, 5]. В 1756 г. Эпинус публикует в Берлине свою первую работу по турмалину, где сообщает об обнаружении им в природе «естественных электрических диполей»– аналогов постоянных магнитов [4].



Рис. 2. Исследователи пирозлектричества - предшественники и современники Эпинуса: а - Теофраст (Theophrastus (372 — 287 до н. э.)), б - К. Линней (1707-1778), в - И.Г. Леман (1719-1767), г - К.И. Вильке (1732-1796) (б, в - официальные портреты РАН)).

В основе открытия Эпинуса лежало глубокое понимание явления электростатической индукции, которое он изучил в известном опыте со стеклянной палочкой и металлической пластиной (рис.3а) [4]. Эпинус приближал заряженную стеклянную палочку (+) к металлической пластине и наблюдал перераспределение зарядов по ее длине. Распределение зарядов Эпинус исследовал с помощью заряженных пробковых шариков (подвес Кантона) (рис.3б). Ближайший к палочке конец пластины заряжался отрицательно (-), а отдаленный – положительно (+) (рис.3а). При этом электрически нейтральные шарики во всех случаях притягивались к заряженной пластине.<sup>8</sup> Соответственно для

<sup>8</sup> Притяжение нейтральных тел, как к положительным, так и к отрицательным электризирующим зарядам Эпинус объяснил, полагая, что сила взаимодействия зарядов убывает с расстоянием по степенному закону  $F \sim r^{-n}$  (где  $n \sim 2$ )

идентификации «дипольных» зарядов кристаллов турмалина Эпинус также применил не нейтральные (как его предшественники), а заряженные пробные шарики, что и обеспечило общий успех эксперимента. Затем Эпинус повторил опыты Рихмана с плавленной серой и обнаружил, что после отвердевания сера получала положительный заряд (+), а изложница – отрицательный (-).<sup>9</sup> Тот же результат был получен Эпинусом и для трибоэлектрического эффекта, контр - тела, участвующие в трении, заряжались зарядами противоположных знаков (рис.3б) [4]. При этом эффект электризации трением наблюдался им также и для пластин, изготовленные из одного и того же материала (зеркального стекла) (рис.3б) [4].<sup>10</sup> Для объяснения результатов своих опытов Эпинус использовал теорию «электрической жидкости» Франклина [6].

Мы повторили некоторые опыты Эпинуса и его предшественников и обнаружили их хорошую воспроизводимость (рис.4 и 5) [7, 8]. Для опытов мы использовали монокристалл черного турмалина (шерла)  $(\text{NaFe}^{2+}_3\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_4)$  естественной огранки (70 карат), а также образцы сургуча и серы, которые «заряжали» путем нагрева и охлаждения в интервале температур  $T = 300 \leftrightarrow 400 \text{ K}$ .

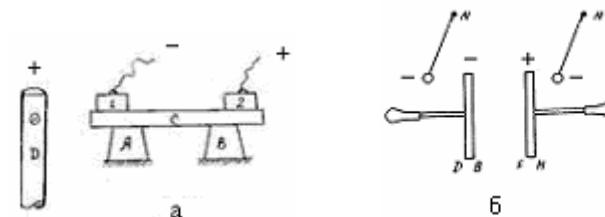


Рис.3. Опыты Эпинуса по наблюдению пространственного разделения зарядов в результате электростатической индукции (а) и трения диэлектриков (б).



Рис.4. Притяжение пенопластовой стружки к поверхности «заряженных» сургучной печати (а) и кристалла шерла (б).

<sup>9</sup> На различные знаки зарядов серы и изложницы Рихман не обратил внимания.

<sup>10</sup> Эффект можно объяснить различной шероховатостью пластин, приводящей к появлению локальных градиентов температуры в местах фрикционных контактов.

На рис.4 показан характер осаждения незаряженной пенопластовой стружки ( $d= 1-2$  мм) на «заряженных» сургучной печати (а) и кристалле турмалина (б). На рис.5 приведены результаты определения с помощью заряженных (-) пенопластовых шариков знаков дипольных зарядов в системе «сера – изложница» и для кристаллов турмалина [4]. Проведенные опыты (рис.4 и 5) подтвердили высокое мастерство Эпинуса как физика – экспериментатора [4, 9].



Рис.5. Опыты с отрицательно заряженными пенопластовыми шариками, подтверждающие полярность системы «плавленная сера- изложница» и «заряженного» кристалла турмалина (шерла) после нагрева [7, 8].

Таким образом, период 1753- 1765 г. оказался одним из наиболее результативных в деятельности ФК СПб АН. В этот период при исследовании перекрестных эффектов «электричество – тепло» в диэлектриках сотрудники ФК СПб АН оказались на «переднем фронте» мировой науки [4]. Ломоносов рассмотрел атмосферу Земли, как сложную ТЭ машину, использующую для своей работы солнечное тепло, он же предложил механизм возникновения АЭ, близкий к принятому в настоящее время. Со своей стороны, Эпинус обнаружил новое фундаментальное физическое явление – пирозлектричество. На основе этого и других открытий Эпинуса были созданы новые физические приборы - электрофор, пирозлектрический маятник и пирозлектрический приемник излучения (рис.6).<sup>11</sup>

<sup>11</sup> После 1760- 1765 Эпинус отошел от научных исследований и работал главным инспектором классов Сухопутного Шляхетского Кадетского Корпуса (1760- 1765), воспитателем наследника престола - Павла I (с 1765) и начальником шифровальной службы Коллегии иностранных дел (КИД) России (1765- 1798) [4].

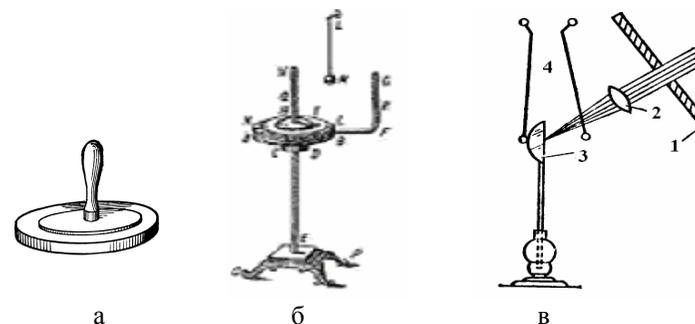


Рис. 6. Приборы, созданные на основе открытий Эпинуса: а - электрофор [4], б - пирозлектрический маятник [4, 8], в - приемник светового излучения (1 — диафрагма; 2 — линза (оптическая система); 3 — кристалл турмалина (чувствительный элемент); 4 — бузиновые шарики электроскопа) [4, 10].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ломоносов М.В. Избранные труды по химии и физике. М, АН СССР,1961, 560 с.
2. Копелевич Ю.Х., Цвєрава Г.К. Христиан Готтлиб Кратценштейн. Л., Наука, 1988, 131 с.
3. Мучник В.М. Физика грозы. Л, Гидрометеиздат, 1974, 352 с.
4. Эпинус Ф. Т. У. Теория электричества и магнетизма. М, АН СССР, 1951, 564 с.
5. Wilcke J.C. Historien om tourmaline. Kngl. Vetenskaps Academiens Handlingar (Stockholm). 1762. d.27.
6. Франклин В. Опыты и наблюдения над электричеством. М., Изд. АН СССР, 1956, 272 с.
7. Коржув М.А., Катин И.В. В сб. «Диэлектрики – 2014». СПб, РГПУ им. А.И. Герцена. т. 2. 2014. с. 179- 181.
8. Коржув М.А., Катин И.В., Крєтова М.А., Авилов Е.С., Темяков В.В. В сб. «Диэлектрики – 2014». СПб, РГПУ им. А.И. Герцена. т. 2. 2014. с. 317- 320.
9. Тихомирова О.Ф. Химия и жизнь, 2013. №9. с. 10- 14.
10. Гаврилова Н. Д., Данилычева М. Н., Новик В. К. Пирозлектричество, М., Знание, 1989, 64 с.