

АКТИНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повторяя в начале 1888 г. интересные опыты гг. Герца, Э. Видемана и Эберта, Галльвакса относительно действия лучей на электрические разряды высокого напряжения, я вздумал испытать, получится ли подобное действие при электричестве слабых потенциалов. Кроме прямого ответа на заданный вопрос, такое видоизменение опытов представляло, на мой взгляд, двойкий интерес: с одной стороны, оно позволило бы ярче выставить на вид загадочное действие лучей, не смешивая его с обыкновенным рассеиванием электрических зарядов (которое, в случае слабых потенциалов, бывает вообще ничтожно); с другой стороны, явилась бы возможность подвергнуть явление более точному измерительному изучению, чем это имело место в опытах названных ученых. Методы измерений вообще довольно несовершенны, когда речь идет о высоких потенциалах электрических машин и лейденских банок, и измерительные снаряды такого рода встречаются не везде, между тем как чувствительный гальванометр и обыкновенный квадрант-электрометр имеются во всяком физическом институте и употребление их удобно и надежно.

Моя попытка имела успех выше ожидания. Первые мои опыты начаты около 20 февраля 1888 г. и продолжались непрерывно, насколько позволяли другие занятия, по 21 июня 1888 г. В течение этого времени мне удалось, полагаю, осветить некоторые любопытные вопросы относительно „актино-электрических“ действий*.

* Этот термин казался мне наиболее естественным для обозначения тех явлений, о которых идет речь; по моему почину он принят и некоторыми другими учеными, например, Биша и Блондло, Боргманом и др.

дополнительные наблюдения произведены во второй половине 1888 г. и в текущем году, и я еще не считаю моего исследования законченным.

В течение моей работы я напечатал о ней лишь четыре краткие сообщения в Парижскую академию наук, представленные через любезное посредство г. Маскара: они помещены в *Comptes rendus* 1888 г. (16 avril, 4 juin, 9 juillet) и 1889 г. (17 juin).^{*} Кроме того, мною сделано несколько устных сообщений в Физическом отделении Императорского общества любителей естествознания. Теперь я постараюсь стройнее и подробнее развить то, что по существу содержится в только что названных докладах, не заботясь о хронологическом порядке наблюдений и прибавляя то, что не нашло места в кратком изложении. В этой более поздней обработке полученного мною материала обращено внимание на новые работы других исследователей, вышедшие за последнее время^{**}. Некоторые опыты гг. Аррениуса и Риги, сходные с моими, сделаны были еще раньше моих, но стали мне известны уже в течение моей работы. С другой стороны, опыты Биша и Блондло и некоторые другие являются прямым следствием и продолжением моих.

Все мое исследование производилось при неослабном сотрудничестве моего даровитого и искусного препаратора, И. Ф. Усагина, который во все время работы интересовался ею не менее, чем я сам. Ему принадлежат не только материальное выполнение снарядов и приспособлений, но и ценные практические советы относительно удобнейшей постановки опытов. Считаю долгом выразить И. Ф. Усагину вполне заслуженную им благодарность.

1. Основной опыт, который, после некоторых неудач, зависевших от выбора гальванометра, совершенно убедительно удался 26 февраля (ст. ст.) 1888 г., состоял в следующем.

Два металлические диска („арматуры“, „электроды“), в 22 см. диаметра, были установлены вертикально и друг

^{*} *Comptes rendus*, CVI, 1149 и 1593; CVII, 91; CVIII, 1241.

^{**} Настоящая статья закончена в начале июня 1889 г., но при последнем пересмотре ее к печати (август 1889 г.) вставлено несколько замечаний по поводу работ, появившихся истекшим летом. Окончание статьи (§ 3, 17 и 18) было предметом доклада на втором конгрессе электриков в Париже.

другу параллельно (фиг. 1, *C*) перед электрическим фонарем Дюбоска, из которого вынуты все стекла. В фонаре имелась лампа с вольтовой дугой *A* (регулятор Фуко-Дюбоска), питаемая динамо-машиной (обыкновенно около 70 вольт и 12 амперов). Один из дисков, ближайший к фонарю, сделан из тонкой металлической сетки (встречаемой в продаже), латунной или железной, иногда гальванопластически покрытой другим металлом, которая была натянута в круглом кольце; другой диск — сплошной (металлическая пластинка).

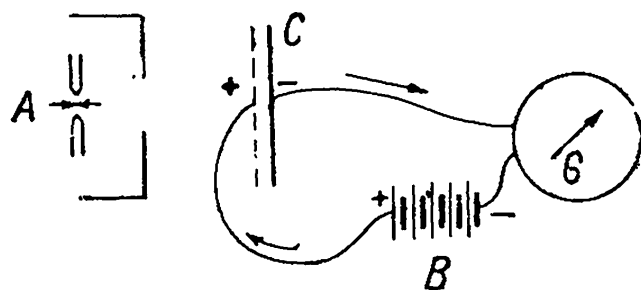
Диски соединены между собой проволокой, в которую введены гальваническая батарея *B* и чувствительный аstaticкий гальванометр Томсона *G* с большим сопротивлением (5212 омов), который

наблюдался по английской методе (с лампой и скалой). Чувствительность гальванометра, без верхнего астазирующего магнита, была такова, что 1 деление соответствовало $6,7 \cdot 10^{-10}$

амперов; при астазирующем же магните наивысшая чувствительность, какой я

пользовался (время качания около 17 сек.), давала 1 дел. = $2,7 \cdot 10^{-11}$ амперов. Батареи употреблялись различные (Вольты, Даниеля, Беетца, Гасснера, Л. Кларка) и с различным числом элементов (от 1 до 200); иногда, как увидим ниже, батарея исключалась.

Таким образом мои два диска представляли род воздушного конденсатора, заряжаемого сравнительно невысокой электродвижущей силой. Благодаря свойству передней, сетчатой арматуры, задняя арматура могла быть освещена лучами вольтовой дуги с внутренней стороны, т. е. с той, где преимущественно накапливается электрический заряд. Другая арматура (сетка) освещалась лишь с невыгодной (слабо заряженной) стороны прямыми лучами, с внутренней же стороны — лишь отраженными от сплошного диска. Такая комбинация казалась мне наиболее удобной, чтобы обнаружить разряжающее действие лучей, что и оправдалось вполне. Размеры дисков были рассчитаны так, чтобы,



Фиг. 1.

при расстоянии их от вольтовой дуги около 20 см. (т. е. довольно малом, но не дающем еще слишком быстрого и большого нагревания) арматуры освещались на всем протяжении лучами, выходящими из отверстия фонаря (10 см. диаметра).

Этот „сетчатый конденсатор“ составляет главную и существенную принадлежность почти всех моих опытов. Уже в течение работы я узнал, что г. Риги употребляет такое же приспособление для опытов, аналогичных с моими, но производимых при помощи *электромметра*; думаю, что при моей (гальванометрической) методе оно имеет более существенное значение.

Я назвал пару дисков *конденсатором*. Мы можем, с другой стороны, назвать их парой *электродов*, погруженных в воздух, который, при известных условиях освещения, должен был обнаружить действительную или кажущуюся электропроводность — пропускать электрический ток, как бы замыкая собой „цепь“ (разорванную этим воздушным слоем, пока нет действия лучей). В последующем я называю мои диски то арматурами, то электродами.

Уже предварительные опыты с другим гальванометром, старой системы (Дюбуа-Реймона), убедили меня, что не только батарея в 100 элементов ($Zn | Aq | Cu$), но и гораздо меньшая, дает во время освещения дисков несомненный ток в гальванометре, если только цельный (задний) диск соединен с ее отрицательным полюсом, а сетчатый (передний) — с положительным. Слово *ток* употребляю в самом общем смысле, не решая пока, какого рода процесс здесь происходит — кондуктивный, электролитический или конвективный. С гальванометром Томсона явление стало еще ярче и могло быть прослежено даже при электродвижущих силах, составляющих небольшую долю 1 вольта (до $\frac{1}{20}$ и даже до $\frac{1}{100}$). Как увидим ниже, малые электродвижущие силы дают даже, при сближенных электродах, сравнительно более сильный ток; другими словами, кажущееся сопротивление освещенного конденсатора с тонким воздушным слоем становится тем меньше, чем меньше разность потенциалов двух арматур. (Впоследствии я подробнее формулирую это замечание). Со сравнительно высокими потенциалами (100 — 200 элементов) ток был замечен даже при расстоянии между арматурами свыше 10 см.

Если задний (изнутри освещаемый) диск конденсатора служит отрицательным полюсом батареи, а передний (сетка) — положительным, в цепи идет электрический ток всякий раз, когда лучи вольтовой дуги беспрепятственно падают на арматуру.

2. Если переместить полюсы батареи, т. е. сделать цельный диск положительным, а сетчатый отрицательным, то обыкновенно получается некоторый ток (в обратную сторону); но он сравнительно слаб, величина его зависит от свойства сетки и, при известной подготовке сетки, может быть уменьшена до нуля. Очевидно, что и здесь играет роль исключительно освещение отрицательного электрода — освещение невыгодное (прямые лучи падают лишь на наружную поверхность сетки, внутренняя освещена отраженными от цельного диска лучами), но все-таки существующее. Если сетка только что вытравлена азотной кислотой и совершенно суха, этот обратный ток еще довольно значителен; если сетка обислена, загрязнена, покрыта лаком — он становится ничтожным; если сетка, после очистки кислотой, погружена была в воду, так что вся ее поверхность влажна и петли застланы водяной пленкой, — обратный ток пропадает совершенно, хотя прямой ток (при сплошном диске отрицательном и сетке положительной) несколько не изменился после такой обработки сетки. Объяснение этих последних фактов откроется из последующего.

В виду всего этого я с самого начала моих исследований категорически настаивал * на совершенной *униполярности* актино-электрического действия, т. е. на нечувствительности положительных зарядов к лучам. О такой униполярности еще ранее меня определительно высказались Э. Видеман и Эберт ** (при своих опытах с электричеством высокого потенциала); но их метода (наблюдение искр) не может считаться особенно чувствительной. С другой стороны, Галльвакс находил заметное разряжение и у положительно наэлектризованных тел ***. Риги, произведший несколько опытов, весьма схожих с моими (с электромет-

* В первой и второй заметке [C. R., CVI, 1149 и 1593 (1888)].

** E. Wiedemann u. H. Ebert, *Wied. Ann.*, XXXIII, 248 и след. (1888).

*** Hallwachs, *Wied. Ann.*, XXXIII, 303 „bei positiver Ladung tritt ein Zusammenfallen (der Goldblättchen) auf den ersten Blick gar nicht, bei genauerer Untersuchung erst nach längerer Zeit in

ром вместо гальванометра), находит полное между нами согласие во всем, за исключением утверждаемой мною нечувствительности положительного электрода*.

Меня крайне изумило, поэтому, что г. Риги — впоследствии переменявший свое мнение и пытающийся, повидимому, внушить, что он и всегда думал так, как теперь,** — в одной из своих последних статей позволяет себе совершенно извратить истину, утверждая, будто не он, а я сомневался в нечувствительности положительного электрода***. Более бесцеремонного способа сваливать свои грехи на чужую голову мне никогда еще не встречалось.

3. Актино-электрический ток мгновенно (говоря практически) прекращается, как скоро лучи задержаны экраном.

merklichem Betrag ein“ [„При положительном заряде на первый взгляд спадания (золотых листочков) нет и только после более продолжительного промежутка времени наступает спадание листочков вполне заметного порядка“ (Ред.).]

* Righi, C. R., CVI, 1349: „Je suis heureux qu'en dehors d'une petite divergence (M. Stoletow ne trouve presque d'action lorsque le disque plein est positif, pendant que j'ai trouvé, même dans ce cas, un effet très sensible) mes résultats reçoivent de ceux de M. Stoletow une confirmation aussi complète“. [„Я счастлив, что, кроме одного маленького расхождения (г-н Столетов не наблюдает почти никакого эффекта, когда сплошной диск заряжен положительно, тогда как я нашел даже в этом случае весьма ощутимое действие), мои результаты получают полное подтверждение в результатах, полученных г. Столетовым“ (Ред.).]

** Righi, C. R., CVII, стр. 559.

*** Righi, N. Cimento, 15 (1889): „In un'ulteriore comunicazione dopo avere riconosciuto la mia priorità sulle esperienze da lui fatte, il Sig. Stoletow riferisce altre esperienze dalle quali risulta, che *contrariamente a quanto egli aveva asserito nella sua prima comunicazione* (!), l'azione delle radiazioni ha luogo solo suò corpi elettrizzati negativamente, acordandosi così con me anche nel solo punto in cui esisteva divergenza fra i nostri risultati“. [„В позднейшем сообщении после признания моего приоритета в выполненных им опытах г-н Столетов сообщает о дальнейших опытах, из которых следует, что *в противоположность тому, что он сам утверждал в своем первом сообщении* (?), действие излучения имеет место только на отрицательно заряженных телах и таким образом соглашается со мной в том единственном пункте, в котором между нами раньше было разногласие“ (Ред.).]

Замечу также, что приоритет г. Риги я признал не по всем моим опытам („esperienze da lui fatte“), а лишь по некоторым результатам („pour certains résultats qui nous sont communs. Методы опыта у нас не вполне одинаковые, и в моей заметке было сообщено не мало таких опытов, о которых ничего не публиковал г. Риги.

Таким экраном может служить не только непрозрачная пластинка из металла, дерева, картона, но и всякое *стекло*. Даже весьма тонкая, тщательно оптически обработанная стеклянная пластинка вполне и мгновенно уничтожает действие лучей. Это вполне согласно с результатами прежних исследователей относительно разрядов при высоком потенциале.

Не вполне задерживают, довольно хорошо пропускают действие пластинки, даже довольно толстые, из кварца или селенита, а еще лучше слой воды или льда. Нельзя, впрочем, сказать, чтобы они пропускали действие без заметного ослабления, как можно заключить из некоторых указаний Герца и Галльвакса*. Так, в моих опытах пластинка селенита 9 мм. толщины (правда, с довольно грубой, истрескавшейся поверхностью) пропускала около 0,67 действия. Небольшая, вполне чистая пластинка кварца, 10 мм. толщины, пропускала в среднем 0,61; другая, большая (70 мм. диаметра) и во всех отношениях безупречная, 5 мм. толщины, была исследована подробнее и давала 0,60 — 0,85 пропускания. Коэффициент пропускания при разных условиях не одинаков, он видимо изменяется, смотря по характеру вольтовой дуги (при длинной дуге меньше, при дуге с алюминием между углями — больше). Этих потерь действия нельзя уже объяснить одним отражением лучей, как склонен думать Галльвакс. Ледяная пластинка (с довольно неправильной поверхностью) в 15 мм. толщины давала вначале 0,71, а когда обтаяла и имела в среднем не более 5 мм. — до 0,83.

Вода жидкая, в виде тонкого слоя (например, в виде пленки, застилающей металлическую или иную сетку), представляется абсолютно прозрачной для действующих лучей; Биша и Блондло нашли то же для водяного слоя, свободно вытекающего через соответственное отверстие**; Герц находил, что слой воды в 5 см. „едва ослаблял действие“***. Тем не менее, когда я заключил между двумя кварцевыми линзами слой дистиллированной воды в 25 мм., оказалось, что такая коробка с водой пропускала лишь около 0,1 того действия, какое получалось сквозь линзы без

* Hertz, *Wied. Ann.*, XXI, 990; Hallwachs, *ibid.* XXXIII, 304.

** Bichat et Blondlot, *C. R.*, CVI, 1349.

*** *Wied. Ann.*, XXXI, 991.

воды. Мне не удалось еще сделать опыт со слоем воды между ледяными пластинками.

Отодвигая конденсатор на различные расстояния от фонаря (но так, чтобы весь выходящий пучок лучей падал на арматуры), я мог оценить коэффициент пропускания для воздуха; в двух опытах оказалось 0,989 и 0,988 (среднее 0,9885) на 1 см. воздушного слоя, но эти числа следует считать меньше истинных, так как лучи были не параллельны. Делая лучи параллельными помощью кварцевой линзы, я получил 0,996. При испытании водорода (в коробке с кварцевыми доньшками) не оказалось заметного различия между ним и воздухом; углекислый газ пропускал заметно слабее (0,896, принимая пропускание через воздух за единицу). Пары эфира пропускали почти втрое хуже, чем воздух (0,32); светильный газ (0,10), пары аммиака (неосушенные, 0,07) и сернистого углерода (0,06) задерживали действие почти вполне.

Все эти результаты не новы: подобное, хотя большею частью без числовых данных и в других условиях (в разрядах с высоким потенциалом) находили ранее меня Герц, Галльвакс и др. Очевидно, что деятельные лучи суть лучи ультрафиолетовые, и притом особенно малой длины волн (не пропускаемые стеклом), — лучи, которых нет в солнечном спектре (благодаря, конечно, атмосферному поглощению).

Действительно, попытка получить какое-либо актино-электрическое действие от солнечных лучей привела к отрицательному результату. В ясный день конденсатор, заряженный свежесобранной батареей в 200 элементов Беттца (около 212 вольт), с возможно сближенными арматурами, был выставлен на открытом балконе нормально к солнечным лучам: гальванометр не дал ни малейшего отклонения. С той же батареей и при дисках, раздвинутых на 5 мм., вольтова дуга дала отклонение в 640 делений*.

* О недейтельности солнечных лучей говорят и другие наблюдатели (Герц, Риги). В недавнее время г. Гоор утверждает напротив, что солнечные лучи действуют разряжающим образом (Exner's Rep., XXV, 105; 1899), а гг. Эльстер и Гейтель находят действие даже от дневного света (*Wied. Ann.*, XXXVIII, 40). Опыты Нодона, производившиеся еще с 1885 г., т. е. ранее работы Герца, и сообщенные в Парижскую академию „sous pli cacheté“ [в запечатанном конверте (*Red.*)], но опубликованные вкратце лишь

4. С самого начала моих исследований я заподозрил, что в прямой связи с *поглощением* активных лучей той или другой пластинкой стоит ее *чувствительность* к актино-электрическому действию (конечно, при условии отрицательного заряда), подобно тому как такого же рода связь замечается в явлениях флуоресценции. Эта мысль оправдалась рядом любопытных опытов, ранее меня никем не произведенных, и повела к открытию особенно чувствительных электродов.

Уже самая униполярность действия доказывает, что *электроды* (точнее сказать, отрицательный электрод) играют в явлении существенную роль, что дело не в одном только „освещенном“ или „фосфоресцирующем воздухе“, как думал Аррениус. Лучи, которые освещают воздушный слой, не задевая поверхности (отрицательно) заряженного тела, не производят действия (Галльвакс); лучи должны падать на нее. Мало того, лучи должны *поглощаться* отрицательно заряженной поверхностью. Очевидно, важно при этом поглощение в тончайшем верхнем слое электрода, в том слое, где, так сказать, сидит электрический заряд. Вещество, не вполне прозрачное для активных лучей в виде достаточно толстого слоя, может казаться абсолютно прозрачным с точки зрения такого *поверхностного* поглощения.

Вода, мы видели, имеет такого рода прозрачность. Покроем цельный (отрицательный) диск нашего конденсатора бумагой, пропитанной водой; такой мокрый электрод становится совершенно нечувствительным к действию лучей. Достаточно подышать на холодный металлический диск, чтобы сделать его временно нечувствительным. Этим же объясняется, почему в конденсаторе, способном давать *заметный обратный ток* (при сетке отрицательно заряженной), этот последний совершенно исчезает, если смочим сетку, и появляется вновь, когда она высохнет.

Этот простой опыт вполне заменяет более сложное приспособление, употребленное у Биша и Блондло*, которые брали в качестве электрода стеклянную пластинку, облива-

недавно (*C. R.*, СІХ, 219; 1839), говорят о заряжающем действии *солнечных* лучей. Но как бы то ни было, несомненно, что действие этих лучей, если оно и существует, весьма слабо сравнительно с тем, что дают лучи искусственных источников, более обильных лучами высокой преломляемости.

* E. Bichat et R. Blondlot, *C. R.*, СVІ, 1349.

емую непрерывными струями воды. По поводу моих мокрых дисков названные авторы замечают*, что при такой форме опыта можно усмотреть (употребляя электрометр) еще заметное действие. Это понятно, если бумага не совсем гладка и плохо пропитана водой, причем бумажные волоски выдаются из воды и быстро высыхают; с другой стороны, вода, как мы знаем, все же несколько поглощает активные лучи.

Эта нечувствительность водяного слоя представляется на первый взгляд парадоксальной: можно бы ожидать, что испарение воды само по себе способствует разряжению электричества, и что некоторое нагревание поверхности лучами будет усиливать эту кажущуюся чувствительность. Приходится заключить, что пары, отделяющиеся от водяной поверхности, не уносят электрических зарядов. Этот довольно странный вывод находит подтверждение в прямых опытах Блека (в лаборатории Гельмгольца), при потенциалах до 480 Zn|Aq|Cu (что вполне подходит к условиям моих опытов)**.

После опытов с чистой водой, я хотел проследить подозреваемую связь между поглощением и чувствительностью на различных водных, а отчасти, спиртовых и аммиачных растворах. Я испытывал эти жидкости, с одной стороны, на поглощение (металлическая или тюлевая сетка, смоченная раствором, ставилась между фонарем и конденсатором), с другой стороны, — на чувствительность к разряду (смоченный бумажный кружок настился на отрицательный диск конденсатора). Соответствие между двумя свойствами оправдалось совершенно убедительным образом***.

* C. R., CVII, 30.

** Blake, *Wied. Ann.*, XIX, 524 (1883); также Sohneke, *ibid.*, XXXIV, 925.

*** При окончательном пересмотре рукописи (август 1889 г.) я встречаю новую статью Галльвакса (*Wied. Ann.*, XXXVII, 666) о связи между поглощением лучей и их разряжающим действием. Стараясь подробнее проследить эту связь, автор встречает затруднения, но в конце замечает: „Indess scheint mir dieser Zusammenhang doch hinlänglich wahrscheinlich gemacht, um bei weiteren Versuchen als Annahme mit Vortheil zu Grunde gelegt werden zu dürfen“. [Тем не менее мне кажется, что эта связь сделана достаточно вероятной, чтобы ее можно было с выгодой положить в основу при дальнейших опытах (Ред.).]

При этом Галльвакс замечает, что моя метода испытывать поглощение и чувствительность посредством смоченных бумажек

У Герца (*l. c.*, p. 991) указано довольно много жидкостей более или менее непрозрачных для активных лучей; но в тонких слоях все они оказались у меня почти прозрачными, и соответственно этому их чувствительность была слаба. Таковы концентрированные растворы поваренной соли, медно-аммиачной соли, азотнокислой ртути, серноватистокислого натрия, иодистого калия: употребленные в качестве электрода по описанному способу они давали несомненное, но малое отклонение гальванометра (5—10 делений). Почти то же дал сернокислый хинин, хотя я рассчитывал на большее, ввиду его флуоресценции.

Но жидкости, густо окрашенные, оптически непрозрачные даже в тонких слоях, оказывались обыкновенно непрозрачными и в актино-электрическом отношении и соответственно тому обнаруживали значительную чувствительность; в числе их нашлись такие, у которых эта чувствительность замечательно высока. Уже аммиачный раствор эозина дал 30 делений, крепкий аммиачный же раствор флуоресцеина, когда несколько (но не вполне) подсох, — до 70 делений. Круг, окрашенный жидким концентрированным раствором фуксина в воде, вынес светлую полоску далеко за пределы скалы (больше 340 делений); подобным образом действовали аниловые краски, зеленая (Methylgrün) и фиолетовая (Methylviolet), слабее — нигрозин. Большая чувствительность сохранялась и по совершенном высыхании. Вместо бумажного кружка эти краски можно прямо наносить на металлический.

При первых опытах с этими телами я удовольствовался тем результатом, что нашлись жидкости, которые ведут себя подобно металлам, что жидкое состояние само по себе не есть препятствие для актино-электрической чувствительности. Этот факт казался мне замечательным еще в том отношении, что он не позволяет приписать актино-электрического действия тем слоям сгущенных газов,

сеток не может считаться надежной, когда речь идет о малочувствительных жидкостях. Одно неудобство моей методы (выступающие наружу волоски бумаги) я сам сознаю и упоминал о нем выше. Но с другой стороны, думаю, что сравнивать по площади и чувствительность следует на очень тонких слоях жидкости, а этому условию гальваксова метода (чашечка с жидкостью, толстый слой жидкости между гипсовыми стенками) удовлетворяет менее, чем моя.

которые покрывают поверхность твердых тел, в частности, металлов.

Но при внимательном сравнении оказалось, что некоторые из только что названных красок, по своей чувствительности, далеко *превосходят все металлы*, хотя бы только что очищенные. Так, при одинаковых условиях (100 Zn |Aq| Cu, 20 мм. между арматурами) концентрированный раствор фуксина (жидкий) давал отклонение в 1^{1/2} раза с лишком большее, чем свежечищенная серебряная поверхность, нигрозин — в 2 раза с лишком, фиолетовая краска (Methyl-violet) в 2^{1/2}, зеленая (Methylgrün) — в 3 раза с лишком. Итак, в этих красках мы имеем тела *особенно чувствительные* к актино-электрическим разрядам. Этот результат впоследствии подтвердился в опытах Видемана и Эберта с высокими потенциалами*.

Что касается самих металлов, между ними, повидимому, нет выдающихся специфических различий относительно чувствительности; если поверхность гладка и хорошо очищена, всякий металл оказывается почти одинаковым с этой стороны. Наиболее сильное и продолжительное действие оказывала, пожалуй, серебряная поверхность (латунный круг, густо посеребренный), но может быть потому только, что особенно тщательно отшлифована и мало окисляется; почти так же, в свежечищенном виде, действовали Al, Ni, Cu, Zn и при неодинаковой отделке поверхностей; оказавшиеся нередкие различия трудно отнести к свойству самого вещества. Утверждение Риги**, будто всего сильнее разряжаются наиболее электроположительные металлы ряда Вольты (Al, Zn), всего слабее электроотрицательные (Cu, Au), в моих опытах не находит ясного подтверждения.

Уже прежние наблюдатели заметили*** громадное влияние *чистки* на чувствительность металлической поверхности; то же, всегда без исключения, получалось и у меня. Для чистки я употреблял обыкновенно „венскую известь“. Даже

* E. Wiedemann u. H. Ebert., *Wied. Ann.*, XXXV, 212 и след. В недавней работе Ленарда и Вольфа (*Wied. Ann.*, XXXVII, 455) подтверждается чувствительность фуксина и метилфиолета, но оценка этой чувствительности не совпадает с моею, может быть от того, что опыты производились в иных условиях относительно электрической плотности.

** Righi, *C. R.*, CVII, 560.

*** Hallwachs, *Wied. Ann.*, XXXIII, 308.

мало окисляющиеся металлы, как Ni, Ag, Pt, недавно (например накануне) отчищенные и на взгляд сохранившиеся в полной чистоте, становятся в 1^{1/2}, в 2 раза чувствительнее тотчас после новой чистки; эта пропорция становится еще больше для залежавшихся поверхностей, для легко окисляющихся металлов (Zn): в этих условиях чувствительность может упасть весьма низко с течением времени. Повидимому, тончайший слой окиси (или же слой адсорбированного газа?) играет роль более или менее прозрачного (для активных лучей) вещества, вроде влаги, растворов солей и т. п. С другой стороны, латунный круг, будучи покрыт черной окисью меди, выиграл в чувствительности*. Покрытие копотью может усилить чувствительность старой, давно нечищенной металлической поверхности, но далеко не в той мере, как чистка (венской известью). О большой чувствительности анилиновых красок (и в сухом виде) я уже сказал выше.

Нужно заметить, что свежая чистка, всегда усиливая чувствительность металла, вместе с тем придает ей менее стойкий характер; только что вычищенный круг быстрее *утомляется*, особенно под действием лучей, т. е. быстрее теряет чувствительность. Поэтому при опытах, требующих постоянства эффекта в течение некоторого времени, я предпочитаю не употреблять только что чищенного диска, а делать чистку за несколько часов, еще лучше накануне.

Белый сухой картон обнаруживает слабую чувствительность того же порядка, как растворы бесцветных солей; цветная бумага вообще действует уже сильнее. Не дала значительного действия и сухая фотографическая пластинка — может быть вследствие непроводимости стекла.

Б. В связи с этими указаниями относительно чувствительности твердых тел и, в частности, металлов упомяну несколько опытов, вызванных статьей Гоора**, которая сперва меня очень заинтересовала, но по проверке оказалась по всем пунктам легкомысленной.

* В новой своей статье (*Wied. Ann.*, XXXVII, 666) Галльвакс рекомендует вместо чистки прокаливание и замечает, что образующийся при этом слой окиси не мешает чувствительности. Я не делал таких опытов.

** Hoop, *Sitzungsberichte d. Wiener. Akad.*, XCVII, Abth. II, 719 (1888). Измененная позднейшая редакция: *Exper's. Rep.*, XXV, 91 (1889).

Задавшись мыслью, что актино-электрическое действие следует приписать исключительно слоям газа, адсорбированным металлическими поверхностями, Гоор пытается различными путями удалить эти слои и находит ослабление чувствительности.

Такое удаление адсорбированного воздуха он мнит, например, произвести, нагревая цинковую пластинку... до 55° (!). Оказывается будто бы весьма сильный упадок чувствительности.

Я повторял такие опыты с кругом серебряным и с цинковым, нагревая их постепенно выше 100° , и находил обыкновенно некоторое *усиление* чувствительности. Но при нагревании необходимо соблюсти чистоту металлической поверхности; если, например, греть на газовой горелке с передней стороны (т. е. той, которая будет обращена к лучам), то ослабление произойдет, но оно объясняется налетом, оседающим из пламени.

Так как конвекция электрических зарядов материальными частицами во всяком случае играет важную роль в актино-электрических явлениях, то усиление чувствительности с температурой весьма понятно. Желая исследовать влияние температуры в более широких пределах и с более точным определением температур, я произвел потом особый ряд опытов над конденсатором с платиновыми арматурами. Он был заключен в латунную коробку, надетую на фонарь и игравшую роль воздушной ванны; от нее шла довольно длинная трубка, которую нагревали газом (прямое действие светильного газа вблизи арматур могло бы маскировать результаты). Нагревание доводилось до 300° ; при этих высших температурах уже сказывались некоторая проводимость горячего воздуха и несовершенства изоляции, но до 250° этих посторонних влияний не замечалось. Результаты, вследствие некоторых недостатков в снаряде, не могут считаться окончательными: но, вообще говоря, чувствительность, несомненно, повышалась от нагревания; ничего подобного тому, что утверждает Гоор, никогда не наблюдалось.

Проверка другого не менее заманчивого опыта Гоора повела также к отрицательному результату. Этот ученик проф. Экснера утверждает, что цинковая пластинка почти вполне теряет чувствительность, если она полежала несколько часов под прессом, покрытая примастиченным к ней на краях стеклом. Я делал такой опыт дважды —

с Zn и с Ni: вычищенный металл покрывался чистым стеклом, которое примазывалось по краям парафином, и оставался в таком виде под прессом в течение целых суток. Никакого особенного упадка чувствительности по снятии стеклянного покрова не оказалось, а при дальнейшем наблюдении действие не восстанавливалось (как находил Гоор), а напротив, несколько падало, как бывает и всегда. Следует думать, что эта потеря чувствительности в опыте Гоора произошла от влаги, сообщившейся от стекла металлу*.

Таким образом все попытки г. Гоора выдвинуть на первый план участие адсорбированных газов следует считать неудачными**.

6. Единственным источником лучей, пригодным для моих опытов, могла служить *вольтова дуга*, и помощью ее произведены все мои исследования. Другие источники (пламя бунзеновой горелки, горящий магний, индуктивная искра) давали действие, но весьма слабое, солнечный же свет — никакого.

Для получения вольтовой дуги служила, как уже сказано, динамо-машина. Первоначально я пользовался своей машиной Victoria (Anglo-American Brush Company), приводимой в движение двухсильным газовым двигателем (Отто).

Необыкновенная чуткость актино-электрического тока ко всякому изменению дуги немало затрудняет количественные наблюдения. Всякий спуск регулятора, всякое дрожание и вращение дуги мгновенно отзываются на величине гальванометрического отклонения. Едва ли есть другой способ так зорко следить за постоянством электрического света (или, вернее, — за напряженностью известной категории радиаций), как эти актино-электрические наблюдения.

Эти изменения вольтовой дуги, иногда совершенно незаметные для глаза, могут зависеть частью от не вполне равномерного хода двигателя и динамо-машины, частью от регулировки лампы и, наконец, — от неоднородности углей. Было бы приятно при измерениях пользоваться, с одной

* Г. Гоора дивит, как новость, даже то, что пластинка при освещении сквозь *стекло* (3,5 мм. толщины) оказалась вполне недействительной; ведь стекло, говорит, пропускает же ультрафиолетовые лучи!

** Совершенно такое же заключение нахожу в новейшей статье Галльвакса (*Wied. Ann.*, XXXVII, 667).

стороны, особенно старательно приготовленными углями, с другой — более постоянным генератором тока (гальванической батареей или аккумуляторами); но это последнее представляло бы большие неудобства и хлопоты, и я оставался при динамо-машинах.

Моя Victoria, при некоторых позднейших опытах, была не без успеха заменяема компаунд-машиной Сименса и Гальске, благодаря любезности представителя этой фирмы в Москве, М. О. Альберта. Тем не менее неровности в дуге связывались более или менее сильно. Для большего постоянства действия приходилось, при количественных сравнениях, употреблять дугу некоторой определенной длины и заботиться о поддержании как силы тока в лампе, так и разности потенциалов углей: первое достигалось (хотя со скачками) самим регулятором; второе, не будучи вполне обеспечено смешанной обмоткой машины, требовало дополнительной регулировки посредством реостата.

Чем длиннее вольтова дуга, тем сильнее ее действие, но наиболее постоянное действие в моем регуляторе оказывала дуга в 6—7 мм., и при опытах, требовавших постоянства, употреблялась эта длина. Я пытался проследить количественно, каким образом актино-электрический ток, *ceteris paribus*, зависит от электрических условий вольтовой дуги, сделал ряд опытов, умышленно изменяя в возможно широких пределах силу тока в лампе и разность потенциалов в дуге (частью посредством перестановки пружины в регуляторе, частью посредством реостата и перемен в ходе двигателя). Этот ток и эта разность потенциалов измерялись посредством градуированных гальванометров Томсона (на амперметре 1 деление = 1,17 ампера, на вольтметре 1 деление = 4,22 вольта). Оказалось, что когда показание вольтметра оставалось почти постоянным (около 64 вольт), актино-электрический ток был довольно близко пропорционален числу амперов (от 9,8 до 17,5 ампера), а следовательно, и числу ваттов в дуге. Но в тех случаях, когда изменялось число вольт в дуге, пропорциональности актино-электрического тока с числом вольт далеко не наблюдалось: первый убывал гораздо быстрее, чем второе.

При особенной важности постоянной разности потенциалов в дуге понятно, что очень существенным улучшением условий было соединение (в начале 1889 г.) моей

лаборатории с городской сетью электрических проводов, где ток дается при постоянной разности потенциалов, 100—110 вольт. (Так как соединение рабочей комнаты с центральной станцией было пока не непосредственное, а через дополнительные провода между двумя зданиями Университета, то я получал не более 85 вольт.)

7. За невозможностью добиться вполне постоянного действия вольтовой дуги при оценке гальванометрических отклонений приходилось делать некоторый компромисс и прибегать к способам контроля. Оценивалось некоторое среднее положение гальванометра, пережидались резкие скачки (например, в момент спуска регулятора); иногда наблюдались, несколько раз сряду, первые элонгации (отнимая экран от фонаря); иногда предпочиталось уменьшить чувствительность гальванометра. Кроме того, сравнительные измерения делались обыкновенно в виде небольших рядов (попарных сравнений), симметрично расположенных, и затем, при сопоставлении в общую таблицу, редуцировались. При позднейших опытах употреблялся иногда, рядом с *главным* конденсатором, еще другой, *контрольный*, который оставался все время *statu quo* (при неизменном расстоянии дисков и неизменной электродвижущей силе), в том же пучке лучей, как и *главный*, и наблюдался *поочередно* с *главным*, с целью более точной редукации результатов.

Но и этого иногда оказывалось мало: там, где исследуемое влияние не резко, оно не выясняется даже при указанных предосторожностях. Явилась потребность иметь *одновременный* контроль, т. е. наблюдать оба конденсатора (*главный* и *контрольный*) в один и тот же момент: только таким путем можно исключить мгновенные и резкие колебания в действии лучей.

Контрольный конденсатор имел вид узкой крестообразной пластинки (каждая перекладина 12 см. длины, 1 см. ширины) из посеребренной латуни, с сеткой такой же формы, укрепленной эбонитом на неизменном расстоянии (2 мм.). Этот крест помещался коаксиально с дисками *главного* прибора; в том же пучке лучей, но ближе к *фонарю* (вследствие чего мог, несмотря на малую поверхность, достигать значительной чувствительности, при зарядке тем или другим, тоже неизменным числом элементов *Кларка*). Актино-электрическая цепь *контрольного* конден-

сатора замыкалась особым, вспомогательным гальванометром, время качания которого было подравнено ко времени качания главного гальванометра. Таким образом, открывая экран фонаря, два наблюдателя (И. Ф. Усагин и я) делали совершенно *одновременные* наблюдения первых элонгаций, и редуция главных отсчетов по контрольным уже освобождала их от влияния перемен в состоянии дуги.

Придумав такой контроль, как единственное прибежище на случай более тонких и надежных количественных сравнений, я счел долгом прежде всего убедиться, что он действительно достигает цели. Для этого был проделан ряд одновременных наблюдений, при которых оба конденсатора оставались *statu quo* (главный заряжен 25 элементами Кларка, а контрольный — 100 кларк), но умышленно изменялась вольтова дуга; по среднему отношению соответственных отсчетов (равному 2,239) отклонения в главном гальванометре вычислены из контрольных отклонений, что привело к числам, весьма удовлетворительно согласующимся с действительно наблюдаемыми:

Контр.	Главн.		Контр.	Главн.	
	Наблюд.	Выч.		Наблюд.	Выч.
321	144,5	143,4	333	147,3	148,8
244	109,0	108,6	345	151,5	154,1
183	81,0	81,8	311	139,0	139,0
305	137,5	136,2	341	152,0	152,4
305	136,5	136,2	118	53,5	52,7

Отсюда заключаем, что точное измерение актино-электрических токов не есть нечто невозможное и что принятый способ контроля достаточно гарантирует от неизбежных случайных влияний*.

Нужно, однако же, заметить, что пропорциональность между действиями в двух различных конденсаторах соблюдается лишь под тем условием, чтобы ряд наблюдений продолжался не слишком долго; иначе оба они заметно, и притом в различной мере, *утомляются*, причем ближайший к фонарю (контрольный) обыкновенно утомляется в более

* Контроль этого был бы еще надежнее, если бы оба гальванометра имели не только одинаковый период, но и одинаковое демпфирование. Мои два гальванометра были разных типов (один Томсона, другой Дюбуа-Реймона), и это условие не выполнялось.

сильной степени; вследствие этого отношение показаний двух гальванометров исподволь изменяется и должно быть проверяемо время от времени.

Понятно, что такой контроль делает наблюдения значительно более сложными и хлопотливыми, а потому он употреблялся лишь в тех случаях, когда казалось особенно важным иметь более точные числа.

8. Пропорциональность актино-электрических действий в двух совершенно различных и различно заряженных конденсаторах имеет и другое важное значение. Чтобы объяснить себе эту пропорциональность, необходимо допустить, что, при равных прочих условиях, *действие* (сила тока) *пропорционально напряженности освещения* или, лучше сказать, количеству активных лучей.

Чтобы проверить этот вывод другим путем, я употреблял способ прерывистого освещения. Большой картонный круг с 7 окошками по секторам (причем окошки и промежутки все одинаковой ширины) помещался вертикально между фонарем и конденсатором и приводился во вращение с различными скоростями, — начиная от весьма медленной (1 оборот в 1 сек., причем гальванометр еще показывал постоянное отклонение) до самой большой, какую удобно было получить (11 оборотов в 1 сек.). Поочередно делались наблюдения активно-электрического тока — при покое (постоянном освещении) и при вращении с определенной скоростью; оказалось, что в последнем случае ток весьма точно равняется *половине* полного. Так, в одном ряде наблюдений с возрастанием скорости получились отношения: 0,501, 0,493, 0,503; в другом: 0,511, 0,498, 0,501. (Большого согласия нельзя и ожидать, тем более, что особого контрольного аппарата не было, а просто чередовались наблюдения при покое и при вращении.) Значит, действительно эффект пропорционален энергии активных лучей.

Этот опыт с прерывистым действием доказывает и еще нечто: доказывает, что лучи производят свое полное действие даже в том случае, когда падают на диск в течение малой доли секунды (около $\frac{1}{150}$ сек. при моей наибольшей скорости вращения). Но такой опыт не решает еще вопроса о том, состоит ли это действие из ряда отдельных электрических толчков, современных с освещением и разделенных промежутками электрического покоя, или же происходит

более или менее непрерывный, быть может, даже постоянный ток, сила которого соответствует средней силе освещения.

Прежде чем опишу попытки решить иным путем эту последнюю дилемму, прибавлю несколько слов по вопросу о пропорциональности между действием и силой освещения. Еще раньше описанных опытов (с двумя конденсаторами и с вращающимся кругом), я думал испытать эту пропорциональность, *наклоня* арматуры конденсатора к направлению лучей (от 90 до 45°). Лучи сводились в параллельный пучок помощью кварцевой линзы. Если деятельные лучи сполна поглощаются одной из арматур, то такой наклон, повидимому, не должен изменять действия (при условии, конечно, что пучок лучей никогда не выходит за пределы поверхности арматуры). От полированных металлов такого полного поглощения нельзя ожидать, а вследствие отражения, которое возрастает с углом падения, количество, поглощенное, должно уменьшаться при наклоне дисков: соответственно этому уменьшался разрядный ток. Когда же я покрыл цельную арматуру копотью, чтобы обеспечить отсутствие отражения, оказалось, что наклон дисков заметно (на 5—10%) *увеличивает* силу тока. Результат этот остался для меня непонятным: заметное поглощение активных лучей воздухом может вести к подобному (говоря качественно) следствию, но не в таком размере.

Наконец, можно еще иначе исследовать зависимость тока от полного количества лучей, меняя не яркость освещения, а величину освещенной части площади конденсатора. Известная доля (сектор) площади сетки ($\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$) закрывалась почти прилегающим экраном (непрозрачным или стеклянным), так что лучи проходили только через непокрытую часть. Ток в гальванометре уменьшался при этом приблизительно пропорционально величине освещенного сектора. (Вследствие неполной симметрии распределения света, следует покрывать то одну, то другую половину, и т. д.) Так, например, в двух рядах наблюдений получались отклонения (для двух половин или четырех четвертей взяты средние):

Освещено:	$\frac{4}{4}$	$\frac{2}{4}$	$\frac{1}{4}$
	112,0	58,3	—
	—	52,7	25,0

9. Я уже упомянул, что опыты с прерывистым освещением невольно подсказывают новый вопрос. Мгновенно ли (говоря практически) устанавливается актино-электрический ток, и соответствует ли его величина наличной (современной) силе освещения? Другими словами, быстро прерывистое освещение дает ли начало прерывистому току или же току без резких изменений, быть может, даже току совсем постоянному?

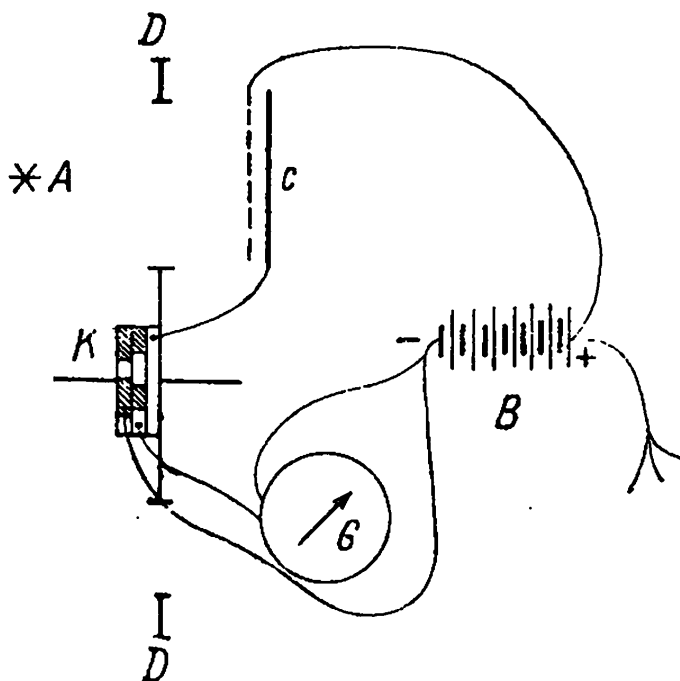
К последнему мнению, повидимому, склоняется профессор Боргман, и его в ту пору появившаяся статья* окончательно побудила меня остановиться на этом вопросе. Употребляя, как и я, картонный круг с вырезами и вводя в актино-электрическую цепь телефон вместо гальванометра, И. И. Боргман не слышал звука в телефоне при вращении круга; из этого он заключает, что „ток постепенно достигает своей предельной величины и также по прекращении освещения непрерывно и постепенно ослабевает“. В момент замыкания цепи, замечает автор, в телефонах слышался довольно резкий удар, которого не было, когда лучи проходили через слюду; значит, чувствительность телефонов была достаточна.

Эти опыты я повторил с полным успехом; но, мне кажется, они не дают ответа на предложенный вопрос. Крайне любопытно то, что тот слабый поток электричества, который появлялся в момент замыкания цепи, чтобы пополнить из батареи произведенное лучами разряжение, все-таки обличался телефоном: но удивительно ли, если токи еще гораздо слабейшего напряжения уже не будут слышны. Замыкая цепь после того как она оставалась разомкнутой (положим хоть 1 секунду), мы мгновенным электрическим толчком вновь заряжаем катушки, успевшие разрядиться значительно, быть может вполне (т. е. дойти до равных потенциалов), и этот зарядный ток еще сравнительно велик. При быстро прерывающемся освещении каждый отдельный „световой удар“ производит, конечно, лишь слабое разряжение (уносит с дисков малые заряды) и соответственно тому сопровождается слабым восполняющим током от батареи через провода телефона; тот заряд, который в первом опыте проходил сразу, теперь распределяется на множество приемов в течение долгого времени.

* *Журнал Русск. Ф.-Х. Общ.*, XXI, 2 отд., 23 (1889).

Рабочая сила (средняя энергия тока) в последнем случае будет гораздо меньше, а потому и звук должен быть менее заметен.

Действительно, если, вместо одного удара замыкания, будем возможно быстро производить поочередные замыкания и размыкания, звук в телефоне слабеет. Если ввести прерыватель электромагнитного камертона (удалившись с телефоном настолько, чтобы слабое гудение камертона не было слышно), звук телефона, можно сказать, исчезает вполне.



Фиг. 2.

Нижеследующая, придуманная мною метода представляла не мало затруднений, но в конце концов приводит, полагаю, к тому выводу, что время, в течение которого актино-электрический ток достигает своей окончательной величины, весьма ничтожно, другими словами, — действие лучей можно считать, практически говоря, мгновенным.

На оси картонного круга DD с 8-ю вырезами по секторам, подобного вышеупомянутому, был насажен особый прерыватель или коммутатор K (фиг. 2). Он состоял из эбонитового кружка с 8 металлическими, никелированными накладками по окружности, в которых прилегалли металлические, тоже никелированные кисточки; две из них соединены с отрицательным полюсом батареи, притом одна, через гальванометр, другая — особой проволокой, и так, что когда одна кисточка лежит на металле, другая прикасается к эбонитовому промежутку; третья кисточка постоянно упиралась в металл прерывателя и соединялась с диском, а положительный полюс батареи — с сеткой конденсатора C (и с землей). Таким образом, при вращении картона с прерывателем, актино-электрическая цепь замыкалась попеременно то через гальванометр, то мимо него.

При вращении картона диски конденсатора C претерпевают по очереди различные фазы освещения, которые

будем обозначать терминами астрономии. Картон и конденсатор стояли в таких расстояниях от лампы, что *полное затмение* последнего продолжалось одно мгновение; в этот момент тень непрозрачного сектора своими боковыми границами (радиусами) как раз касалась окружности отрицательного диска; мгновенно же совершалось и полное освещение (*полнолуние*). Благодаря коммутатору, вращающемуся вместе с картоном, гальванометр собирает только часть актино-электрических токов (другая часть проходит через побочное сопротивление); но эта часть уже не будет половина полного тока (т. е. того, какой соответствовал бы



Фиг. 3.

непрерывному полнолунию), а меньше $\frac{1}{2}$, и притом различна, смотря по тому, в какие фазы совершаются коммутации.

Допустим, что коммутатор установлен на оси вращения таким образом, что включение гальванометра в цепь происходит в момент *первой четверти* (фиг. 3,а), выключение — в момент *последней четверти* (фиг. 3,с). (Побочное сопротивление выключается непосредственно перед включением гальванометра и выключается вслед за выключением последнего.) Гальванометр будет давать ток, соответствующий сумме разрядов, совершающихся в промежутке времени от первой до последней четверти; этот ток, как показывает вычисление, равняется 0,394 полного тока (maximum). На опыте естественно ожидать несколько большего числа вследствие того, что разряжаемый диск остается (хотя краткое время) изолированным и в это время несколько изменяет свой потенциал, который затем пополняется. Сдвинув коммутатор настолько, чтобы моменты коммутации совпадали с моментами полнолуния и новолуния, теоретически получим 0,250 полного тока. Сдвинув его еще, так чтобы

включение гальванометра совершалось в момент последней четверти, получим 0,106 (minimum)*.

Но этот расчет должен оправдываться лишь в том случае, если сила тока в каждый момент в точности соответствует наличному освещению; если это не так, теоретические числа получатся на опыте лишь при достаточно медленном вращении, а при возрастающих скоростях должны постепенно меняться в указанных пределах (между 0,106 и 0,394). Пусть, например, коммутатор установлен на maximum (0,394); если ток *опаздывает*, и в каждый момент сила его соответствует не современной фазе освещения, а несколько более ранней, мы получим в гальванометре менее чем 0,394 полного тока; с увеличением скорости вращения пропорция будет понижаться до 0,106, потом опять возрастать и т. д. Запаздывание тока отзовется на наблюдениях так же, как отозвалось бы постепенное поворачивание коммутатора на оси — из наиболее *выгодного* (максимального) расположения в менее и менее выгодные и т. д. Если, напротив, при всех доступных скоростях пропорция тока в гальванометре останется одна и та же, это будет значить, что запаздывание тока незаметно, что он, говоря практически, устанавливается мгновенно и в каждый момент соответствует существующей силе освещения.

При первых опытах мне показалось, что опаздывание есть и иногда довольно значительное, и я заключил было, что в таком-то случае оно доходит до $\frac{1}{400}$ секунды, в другом около $\frac{1}{200}$, иногда же еще больше. Но при внимательном пересмотре дела оказалось, что здесь участвуют некоторые посторонние влияния, также увеличивающиеся вместе со скоростью вращения, и потому могущие вводить в ошибку. Дело в том, что коммутатор, благодаря, конечно, трениям, есть сам по себе источник маленьких токов, которые являются даже в темноте, даже по выключении батареи; токи эти слабы, но иногда такого же порядка, как и ток актино-электрический. Очевидно, коммутатор представляет нечто вроде самозаряжающейся электрофорной машинки. Были испытаны несколько различных коммутаторов, но все они в большей

* Если в сетке оставим пропускающую площадь в виде сектора, соответственно вырезкам картона, заклеив остальное непрозрачным слоем, и когда, следовательно, освещается не весь диск, а только секторовидная часть его, то вместо чисел 0,394 и 0,106 придется поставить 0,375 и 0,125.

или меньшей мере давали это нежеланное действие. Его можно уменьшить, смазывая трущиеся части тонким слоем масла, который, не прибавляя заметной величины к громадному сопротивлению актино-электрической цепи, ослабляет трение и делает его более однородным; но полное устранение вредных влияний удастся не всегда и не надолго, так что при каждом наблюдении пришлось отдельно определять и вводить в расчет величину постороннего действия.

Для того чтобы вращение картона, производя ветер вблизи вольтовой дуги, не оказывало на нее влияния, полезно защищать отверстие фонаря пластинкой, прозрачной для активных лучей (селенитом).

Тщательно принимая в расчет источники ошибок, я пришел к заключению, что, помимо их, *никакого заметного влияния скорости на величину тока в гальванометре не замечается* и что запаздывание тока, если оно и есть, не превышает $\frac{1}{1000}$ доли секунды. То-есть, практически говоря, ток появляется и исчезает одновременно с освещением, и, следовательно, при прерывистом освещении ток — также прерывистый, с тем же периодом.

10. Уже Герц при своих опытах заметил, что разряжающее действие лучей вольтовой дуги зависит не от света углей, а от *дуги* в тесном смысле слова*. Интересно было испытать, не усилится ли оно от присутствия между углями тех или других металлических паров. В этом отношении я преимущественно рассчитывал на алюминий, который, еще со времени наблюдений Корню, известен богатством и длиной своего ультрафиолетового спектра.

Результат опыта превзошел мои ожидания. Проволока или зерна алюминия, введенные в дугу (всего удобнее делать проволочный фитиль в положительном угле), давали усиление действия в 1,5—19 раз. Пропорция эта менялась, как видим, в очень широких пределах; ясно, что влияние металлических паров весьма сложное. С одной стороны, несомненно, что присутствие Al удлиняет ультрафиолетовый спектр дуги и делает его обильнее активными лучами особенно высокой преломляемости. С другой стороны, при этом могут изменяться и электрические условия дуги, вследствие уменьшенного сопротивления ее. В этом отношении была заметная разница, смотря по тому, употреблялась ли

* *Wied. Ann.*, XXXI, 1000.

компаунд-машина (Сименса) или же шэнт-машина (Victoria). В первом случае машина, стремясь поддержать прежнюю разность потенциалов, давала более сильный ток, и эффект алюминия обнаруживался в *преувеличенном* виде. Во втором случае, напротив, уменьшение сопротивления в дуге влекло за собой упадок индукции в машине, которая при слишком малом сопротивлении в главной цепи может даже разрядиться; таким образом здесь влияние алюминия *ослаблено* побочным обстоятельством. Действительно, самые большие пропорции усиления (до 19) получались с компаунд-машиной, меньшие (не выше 6 или 7) с шэнт-машиной.

Но помимо этого, несомненно, что коэффициент усиления не одинаков, смотря по условиям самого конденсатора: при одной и той же электродвижущей силе коэффициент оказывался больше при сближенных арматурах, при раздвинутых он понижался (почти до 1); при одинаковом расстоянии арматур коэффициент, повидимому, возрастает вместе с электродвижущей силой. Вероятно, величина усиления — как и самая величина тока без Al (что увидим впоследствии) — обуславливается плотностью заряда арматур.

При крайнем непостоянстве дуги с Al и при безуспешности попыток регулировать горение, проследить подробнее ход явлений и дать какие-либо числа оказалось невозможным; здесь не помогал уже и одновременный контроль (конечно, вследствие указанного недостатка в нем). При всех количественных сравнениях я употреблял вольтову дугу с одними углями, о дуге же с металлами могу дать лишь самые общие указания.

Кроме Al, я вводил в дугу некоторые другие металлы. Сильно действовали (хотя уступая алюминию) Zn и Pb (спектр их также богат лучами высокой преломляемости); слабее Cd, Fe, Sn. Оказалось, далее, что Mg в дуге вовсе не усиливал ее действия, а Na даже почти уничтожал его, изменяя характер дуги (дуга получалась от шэнт-машины). Сделать какие-либо количественные сравнения оказалось и тут невозможным; при равных количествах введенного в дугу металла дело, очевидно, зависит от быстроты и характера горения, от электропроводности паров и т. д. Но вышеуказанная изменчивость коэффициента усиления в зависимости от условий конденсатора была весьма заметна и при всех этих металлах.

Любопытно, что металлы, наиболее усиливавшие действие вольтовой дуги (Al, Zn, Pb, Cd), суть наиболее электроположительные металлы в ряду Вольты. Случайность это, или между тем и другим свойством есть существенная связь?

11. Нижеследующие опыты посвящены исследованию того, каким образом актино-электрический ток зависит, с одной стороны, от расстояния δ электродов, с другой, — от электродвижущей силы E , которая их заряжает. Трудность количественных сравнений сказалась здесь особенно сильно, и, долго проработав над задачей, я успел получить сколько-нибудь полный и надежный ряд чисел только тогда, когда обратился к приему одновременного контроля. В конце концов, получен результат в известном отношении простой и естественный, но он не был угадан мною ранее, а обнаружился уже из сопоставления наблюдений.

Арматуры конденсатора были латунные, покрытые серебром. Ножки, служившие им опорой, были надеты на горизонтальную линейку с делениями и закреплены винтами; для перемены расстояния электродов передвигали *сетку*, а расстояние отрицательного диска от фонаря оставалось неизменным. Батарея (свеже приготовленная и исследованная) состояла из 100 элементов Латимера Кларка, причем вводилось в цепь то или другое число элементов. (Контрольный конденсатор заряжался от той же батареи, но, конечно, всегда одинаковым числом элементов.)

Ток для дуги получался от городской сети; в нем амперметр Томсона показал от 10,2 до 11,7 ампера; вольтметр — от 76,0 до 86,5 вольта. Чтобы избежать индуктивных действий регулятора на гальванометр, употреблялась особая компенсирующая катушка, электростатическая же индукция достаточно устраняется соединением сетки с землей.

Для того чтобы отдельные ряды наблюдений (исследование заняло много дней) можно было свести в общую таблицу, не полагаясь ни на постоянство вольтовой дуги, ни на постоянство контрольного конденсатора (который даже и в *одном* длинном ряде обнаруживал признаки *утомления*), каждый раз повторялось наблюдение тока при определенном расстоянии электродов (11,5 мм.) и определенной электродвижущей силе (100 кларк), и помощью этих образцов редуцировались (всегда с принятием в расчет показаний контрольного прибора) все остальные наблюдения. Это

образцовое отклонение гальванометра для $\delta = 11,5$, $E = 100$ кларк мы будем выражать цифрой 100. В действительности, это образцовое отклонение в отдельных рядах изменялось, смотря по вольтовой дуге и по чувствительности арматуры, между пределами 133 и 183 делений скалы, а в среднем оказалось равным 155,3. Чувствительность гальванометра при этих опытах была: 1 дел. = $5,584 \times 10^{-11}$ ампер. (Наблюдались *первые элонгации*, сообщаемые током; в этом смысле, конечно, определена и чувствительность гальванометра, посредством включения определенной малой доли 1 даниеля, сравненного с кларком.)

Таким образом, чтобы перевести нижепоказанные числа в *амперы*, надо их помножить на $1,553 \cdot 5,584 \cdot 10^{-11} = 8,67 \cdot 10^{-11}$.

По трудности оценить абсолютную величину δ отсчитывались (в миллиметрах) *изменения* ее, и в протоколах записывались числа: $x + 1$, $x + 2$, ..., причем x означало неизвестный в точности прибавок. Сначала предполагалось, что x приблизительно равно 1 мм., но впоследствии выяснилось, что надо считать $x = 1,5$ мм. (При образцовом наблюдении собственно было $\delta = x + 10$.)

Электродвижущие силы E даны в элементах Кларка (1 кларк = 1,43 вольта).

На результаты нельзя смотреть очень строго: в постановке опытов были несомненные недостатки, которыми я сознательно не смущался, озабоченный прежде всего другим. Меня занимал главным образом вопрос о том, каким образом освободиться от наиболее характерного затруднения — от непостоянства действий, обусловленного непрерывными колебаниями действующей причины (вольтовой дуги). На этих измерениях я учился получать согласные результаты при одних и тех же остальных условиях и удовлетворился, когда, помощью описанных приемов контроля, это стало удаваться. Чтобы дать результатам более надежное значение, следовало бы позаботиться о других сравнительно легко устранимых несовершенствах.

Так, особенно слабым пунктом было измерение расстояний (δ). Малые расстояния оценены, без сомнения, грубо, и при некотором нагревании снаряда от вольтовой дуги (причем сетка слегка прогибается) могли, в течение продолжительного ряда наблюдений, изменяться на заметную долю своей величины. В этом отношении новый снаряд, построенный мною

для исследований с различными газами и при различных явлениях* (в нем арматуры сближаются микрометрическим винтом, и сетка начерчена на посеребренной кварцевой пластинке), представит большое преимущество.

Далее при малой электродвижущей силе (1 кларк) могла быть заметная и изменчивая ошибка в ее оценке, происходящая от несовершенной однородности двух арматур (в смысле вольтова ряда). Об этом обстоятельстве буду говорить далее.

Наконец, довольно быстрое утомление контрольного конденсатора по сравнению с главным выяснилось уже в течение ряда опытов и не во всех наблюдениях было принято в расчет.

Вообще слишком долгий срок, на который по необходимости пришлось распределить измерения, служил, конечно, в ущерб точности; при изменчивости чувствительности разряжающейся поверхности следовало бы всю совокупность наблюдений сосредоточить на возможно короткое время.

При всех этих недостатках первой попытки рассмотреть явление в довольно широких пределах я привожу мой свод результатов, не успев еще заменить его более удовлетворительным. Обзор его приводит к некоторым общим выводам, которые подтверждаются дополнительными и проверочными сравнениями, выполненными более быстро. В конце концов выяснился некоторый общий закон, который также был проверен более прямым путем и который позволит впредь решить сложную задачу гораздо проще и быстрее.

Следуют самые результаты:

\mathcal{E} (кларк)	$\delta = x + 1$	$x + 2$	$x + 5$	$x + 10$	$x + 25$	$x + 50$	$x + 95$ мм.
100	$i = 152,5$	135,8	116,3	100	73,5	46,4	22,3
50	125,4	114,2	97,3	76,9	48,2	21,7	8,3
25	102,4	94,8	75,0	53,8	24,9	6,9	2,9
10	75,9	62,7	42,6	24,7	6,7	1,4	
5	51,7	41,6	23,4	10,5	2,1		
2	25,7	19,7	8,3	2,8			
1	13,9	10,3	4,0				

* *C. R.*, CVII, 91 [настоящий том стр. 267 (Ред.)].

На фиг. 4 эти числа представлены кривыми (E — абсцисса, i — ордината).

12. Из сопоставления этих чисел находим:

а) Когда расстояние δ не велико, ток приблизительно пропорционален электродвижущей силе лишь при наименьших величинах этой последней, а затем, по мере ее возрастания, хотя и растет также, но *все медленнее*. Так, при $\delta = x + 1$ (т. е. 2,5 мм.), увеличение E в 100 раз усиливает i не более как в 11 раз.

Чем больше расстояние δ , тем далее вверх отодвигаются те пределы электродвижущей силы, между которыми ток остается приблизительно ей пропорциональным. Так, при $\delta = 6,5$ эта пропорциональность видна между $E = 5$ и $E = 10$; при $\delta = 26,5$ — между $E = 25$ и $E = 50$. *Ниже* этих пределов (т. е. при меньших значениях E) открывается область, которой не замечается в первых двух столбцах: в ней ток растет *быстрее*, чем электродвижущая сила (так, при $\delta = 6,5$ — между $E = 2$ и $E = 5$, при $\delta = 11,5$ — до $E = 10$, при $\delta = 26,5$ — до $E = 25$ и т. д.).

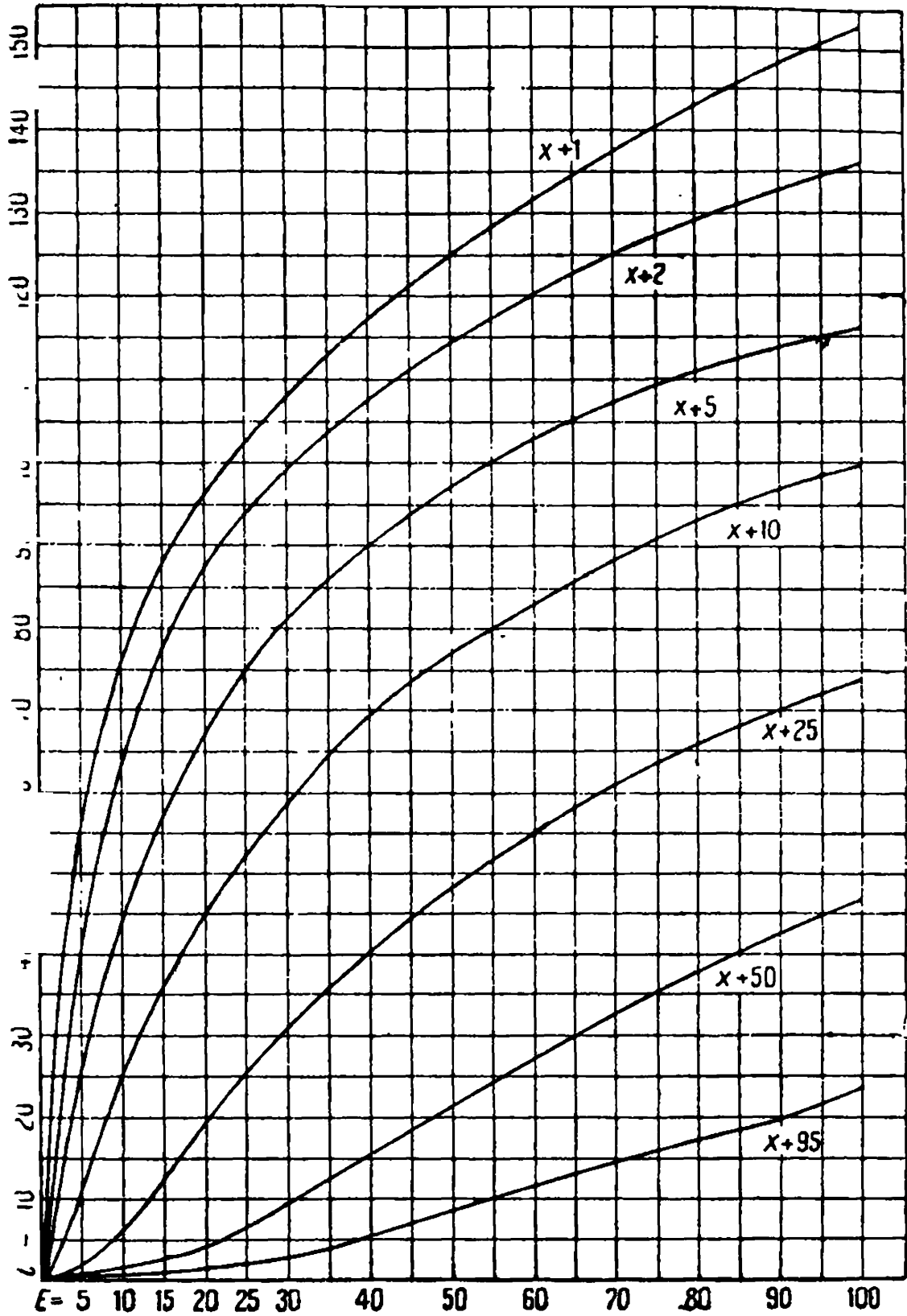
Другими словами, в кривых (фиг. 4), выражающих силу тока i как функцию электродвижущей силы E для $\delta = 6,5$, 11,5 и пр., замечается *перегиб*, который соответствует тем большей E , чем больше δ .

б) Естественно ожидать, что такой же перегиб обнаружится и при малых δ (2—3 мм.), если понизим электродвижущую силу. При этом сперва должна установиться более точная пропорциональность между i и E , а при дальнейшем уменьшении E ток будет ослабевать быстрее, чем E .

Действительно, употребляя элементы Даниеля при $\delta = 2$ —3 мм. я получал почти точное удвоение тока между $E = 1$ дан. и $E = 2$ дан. Например (чувствительность гальванометра здесь гораздо больше), 1 дан. давал 42,7 дел., 2 дан. 84,3 дел. Для дальнейшего полезно запомнить, что в пределах 1—2 вольт и при малом δ ток можно считать пропорциональным с E .

Употребляя *доли* даниеля (посредством ответвления), можно было усмотреть и другую часть кривой (до перегиба) для малых δ . Так, например, (с еще большей чувствительностью гальванометра) было найдено:

$E = 0,05$	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0 дан.
$i = 3,7$	7,2	14,8	26,9	47,8	74,4	96,0	110,9	125,7 дел.



Фиг. 4.

Эти последние наблюдения, понятно, не могут претендовать на точность: но, кроме проверки соображения о характере кривой, они любопытны и тем, что показывают заметный ток даже при $1/20$ дан., можно сказать до $1/100$ дан. Замечу, что влияние *неоднородности* арматур (о котором будет речь ниже) из этих цифр уже исключено.

Таким образом, существование перегиба в кривой $i = f(E)$ представляется общим законом, но при малых δ перегиб не так заметен, ибо лежит вблизи начала координат, где кривая имеет крутой подъем.

с) Вычисляя $\frac{E}{\delta \cdot i}$ получим, в произвольных единицах, величину ρ кажущегося *сопротивления* воздушного слоя между освещенными арматурами, отнесенную к 1 мм. толщины слоя; чтобы найти это сопротивление в омах, следует результат помножить на $\frac{1,43}{8,67} \cdot 10^{11} = 1,65 \cdot 10^{10}$. Это сопротивление ρ уменьшается с уменьшением расстояния δ , уменьшается также с уменьшением электродвижущей силы, но за некоторым пределом E начинает, повидимому, опять возрастать. В приведенных опытах ρ заключалось приблизительно между 4400 и 470 мегомами. При моих первых исследованиях я заключил*, что ρ не зависит от E и может быть представлено в виде $\rho = \frac{a}{\delta} + b$, другими словами, что полное сопротивление всего воздушного слоя выражается через $a + b\delta$; но эти формулы оправдываются только в тесных пределах наблюдений.

При других отдельных опытах, с малыми E и малыми δ , мне случалось получать для ρ величины меньше указанного нижнего предела, приблизительно до 200 мегомов на 1 мм., а при дуге с алюминием ρ падало до нескольких десятков мегомов. Эта оценка кажущихся сопротивлений воздушного слоя подтверждается, как увидим далее, другими способами измерения**.

д) Сопоставление кривых, выражающих $i = f(E)$ для различных величин δ , подсказывает, что между ними есть

* С. В., CVI, 1150.

** Диаметр воздушной пластинки, для которой даны эти цифры сопротивлений, был всегда 22 см. Так как ток пропорционален освещенной площади арматур, то легко найти сопротивления для 1 см.² площади.

весьма простая зависимость: точки равных ординат i в большинстве случаев довольно хорошо удовлетворяют соотношению $\delta : \delta' = E : E'$. Значительные отклонения встречаются почти исключительно либо там, где наблюдения, по описанным причинам, следует считать особенно ненадежными, или же при больших величинах δ (51,5 и 96,5 мм.).

Итак, следует заключить, что ток i есть функция отношения $\frac{E}{\delta}$, т. е. что величина i не меняется, если E и δ увеличены в одинаковое число раз.

Этот простой вывод вполне оправдался, когда я произвел несколько попарных сравнений, изменяя E и δ в одинаковом отношении. Такая проверка имеет большую убедительность, так как происходила весьма быстро и, расстояния были измерены тщательнее.

Так, например, при трех таких сравнениях найдено:

Итак, действительно, $i = \varphi\left(\frac{E}{\delta}\right)$. Но отношение $\frac{E}{\delta}$, при не слишком широ-

роко раздвинутых арматурах, дает меру *плотности заряда*, а также меру той *электрической силы*, которая существует у поверхностей арматур и внутри воздушного слоя и действует

на отрицательные электрические массы в направлении от цельного диска к сетчатому. При значительных величинах δ эту плотность (или эту электрическую силу) уже нельзя считать обратно пропорциональной величине δ (чем, вероятно, и объясняются отклонения соответственных кривых от указанного мною соотношения).

Если это так, то, вычисляя для наших опытов величины $\frac{E}{\delta} = \sigma$, мы можем построить одну кривую $i = \varphi(\sigma)$, которая будет совмещать все результаты. Действительно, отдельные точки с координатами σ, i довольно хорошо приходятся на некоторой кривой, которая имеет тот же общий характер, как и предыдущие; она должна совпадать с кривой $i = f(E)$, взятой для $\delta = 1$. (Прямого определения этой

	δ (мм.)	E (кларк)	i (дел.)
I	13	100	156,4
	6,5	50	155,8
II	18	100	134,4
	9	50	135,7
III	21	99	126,2
	7	33	126,1

последней я не делал, ибо за расстояние в 1 мм. нельзя было поручиться при моей грубой оценке δ .) Значительные отклонения отдельных точек от непрерывной кривой заметны вблизи начала координат и легко объясняются вышеуказанными причинами.

13. Итак, окончательный результат этих измерительных попыток представляется в следующем виде:

Электрический ток, который является между катушками конденсатора вследствие действия лучей на отрицательную катушку, или же ток из батареи к катушкам, восстанавливающий между ними разность потенциалов, которую стремится понизить освещение, определяется *плотностью* заряда на поверхностях катушек; другими словами, величиной *электрической силы* при этих поверхностях. С возрастанием плотности σ ток i сперва растет быстрее, чем σ , потом все медленнее и медленнее, стремясь, так сказать, к некоторому насыщению (которое однако же никогда при опытах не достигалось вполне).

Общий вид кривой $i = \varphi(\sigma)$ невольно напоминает те кривые, какими изображается временный магнитный момент длинного железного стержня или кольца в зависимости от намагничивающей силы: тот же быстрый рост функции при малых величинах аргумента, тот же перегиб кривой, то же стремление к насыщению.

Если этот вывод верен, то он дает возможность определить гораздо проще, быстрее (что, как было замечено, весьма важно) и точнее ход функции $i = \varphi(\sigma)$. Вместо того чтобы менять оба аргумента E и δ , следует оставить δ постоянным (достаточно малым, чтобы емкость конденсатора была пропорциональна с $\frac{1}{\delta}$, и достаточно большим, чтобы можно было ручаться за абсолютную величину δ и за то, что она не претерпевает значительных изменений) и менять только E , т. е. вводить различные числа элементов батареи. Я не имел времени проделать такой новый ряд определений.

Если $i = \varphi\left(\frac{E}{\delta}\right)$, то величина $\rho = \frac{E}{\delta \cdot i}$ (сопротивление на 1 мм. толщины воздушного слоя) представляется тоже как функция от σ , ибо $\rho = \frac{\sigma}{\varphi(\sigma)}$. О том, как изменяется ρ

в зависимости от σ , легко составить себе понятие, и это уже было указано выше.

Я пытался проверить, выполняется ли закон $i = \varphi(\sigma)$, когда вольтова дуга снабжена алюминием, но, при непостоянстве действия, это не привело к ясным результатам. Повидимому, надо ответить утвердительно, причем самая функция φ делается иной, сохраняя тот же общий характер; кривая еще круче поднимается с возрастанием абсцисс.

14. Мне казалось не лишним испытать, действительно ли распределение потенциала между арматурами при освещении следует тому же закону, как и в темноте, т. е. совершается по *линейной* функции. Если бы это оказалось не так, если бы лучи производили нарушение в самом ходе падения потенциала в воздушном промежутке от диска до диска, то нельзя было бы сказать (как я это делал выше), что величина $\frac{V}{\delta}$ дает меру плотности заряда и меру электрической силы в воздушном слое.

Для этой цели пришлось употребить квадрант-электрометр Томсона. Диски конденсатора были раздвинуты на 20 мм. и заряжались батареей 100 Zn|Aq|Cu. В таких условиях электрометру приходилось давать слабую чувствительность: квадранты его заряжались, по приему Маскара, батареей в 25 кларк, и от стрелки шел испытующий электрод, то прилежавший к той или другой арматуре, то зондировавший на известном расстоянии от них величину потенциала в воздушном слое. Для такого зондирования я употреблял то маленькое пламя, то тонкую струйку воды (причем и то и другое представляло свои неудобства), а окончательно остановился на следующем приеме. На электрод надевался маленький кусочек металлической сетки, параллельный арматурам; он освещался вместе с последними и, при *надлежащей чувствительности* сеточки сравнительно с чувствительностью диска, принимал, очевидно, потенциал соответственного места воздуха; это обнаруживалось именно тем, что электрод, при этих условиях, будучи помещен на середину воздушного промежутка, давал среднее из потенциалов той и другой арматуры. Раз это было достигнуто, перемещение электрода в воздушном слое показывало, что потенциал в воздухе распределен по обыкновенному закону (как и в темноте),

т. е. $= V_0 + (V_1 - V_0) \frac{x}{\delta}$, где V_0 — потенциал на сетке конденсатора (она при этом соединялась с землей), V_1 — на отрицательном диске, x — расстояние электрода от сетки.

Если сеточка на электроде разряжается слабо от действия лучей (например, нечиста или слишком редка), то, будучи помещена по середине воздушного промежутка и зарядившись через влияние, она теряет отрицательное электричество медленнее, чем получает его от цельного диска; поэтому она принимает потенциал более низкий, чем имеется здесь в воздухе. Если сеточка густа и чиста, она более теряет отрицательного заряда, чем получает (тем более, что противоположащее место диска ею несколько затенено) и заряжается более высоким потенциалом, чем воздух. Но если чувствительность сеточки приравнять к условиям, то она будет держаться при потенциале окружающего воздуха; в этом случае показание электрометра не изменяется по прекращении света.

Опыт с электрометром показал также, что разность потенциалов между катушками (около 250 дел. электрометра) несколько не изменялась от действия лучей; благодаря громадному (хотя и ослабленному лучами) сопротивлению воздушного слоя, актино-электрическая убыль достаточно быстро восстанавливается батареей.

15. Во всем предыдущем изложении мы принимали, что электродвижущая сила, или разность потенциалов между катушками конденсатора, определяется исключительно той батареей, которая его заряжает. Из того факта, что ток является даже при $\frac{1}{100}$ вольта и что, очевидно, только нечувствительность гальванометра мешает усмотреть его при еще меньших E , следует заключить, что никакой заметной *поляризации* в нашем снаряде не происходит, что его электроды (если обозначить их этим именем) суть электроды неполяризующиеся. С другой стороны, мы видели (14), что действие лучей не убавляет заметным образом разности потенциалов катушек, которая остается равной E .

Но разность потенциалов в воздушном конденсаторе в точности определяется электродвижущей силой заряжающей батареи лишь при том условии, чтобы обе катушки были из *одинакового металла*; иначе эта разность была бы равна $E \pm M|M'$, где $M|M'$ — электрическая разность двух металлов.

Играет ли роль при актино-электрических явлениях этот прибавок (или убавок) $\pm M | M'$ и может ли он сам по себе, без введения батареи, дать начало некоторому току при освещении электродов?

Этот вопрос занял меня в самом начале моих исследований, как только я убедился, что чувствительность гальванометра позволяет обнаруживать актино-электрическое действие даже при $E = 1$ вольту и менее. Результаты моих опытов* совпадают в общих чертах с одновременно полученными (но позже мною прочтенными) результатами Риги** (который работал с электрометром) и согласны с работой Аррениуса, который почти одновременно опубликовал опыты подобного рода, сделанные в весьма разреженном воздухе***.

Мы видели, что при арматурах однородных (например, Ag и Ag) ток i можно считать пропорциональным электродвижущей силе батареи (E), если E не превышает, примерно 2 дан. и если расстояние арматур малое (2—3 мм.). Но когда я взял сетку из латуни (L), а цельный диск из Zn и соединял первую с положительным полюсом маленькой батареи (1—3 дан.), второй — с отрицательным, то получались токи следующего рода (три ряда наблюдений сделаны при различной силе вольтовой дуги):

	1	2	3 дан.
I	$i = 17,2$	58,0	93,5
II	27,0	95,0	146,0
III	23,2	77,0	114,5

То-есть, действие одного элемента было менее, чем половина действия двух; иначе говоря, второй элемент прибавлял неожиданно много к силе тока.

Это станет вполне понятным, если допустим, что за электродвижущую силу в цепи при этих опытах следует считать не 1, 2, 3 дан., а (1 дан. — Zn | L), (2 дан. — Zn | L), (3 дан. — Zn | L).

* C. R., CVI, 1149.

** Righi, *Journal de Physique*, Avril, 1888.

*** Arrhenius, *Wied. Ann.*, XXXIII, 638.

Если так, то, принимая в пределах двух вольт силу тока пропорциональной *полной* электродвижущей силе, можем вычислить из приведенных результатов величину разности $Zn|L$ помощью отношений:

$$\frac{Zn|L}{1 \text{ дан.}} = \frac{58,0 - 2 \cdot 17,2}{58,0 - 17,2} \text{ и т. п.,}$$

что даст нам из опытов I, II, III:

$Zn|L = 0,58, 0,60, 0,57$; среднее $= 0,58$ дан. $= 0,64$ вольта.

Эти числа близки между собой и довольно близки к существующим определениям разности $Zn|L$ (по Эйртону и Перри)* $0,679$ вольта; по Пелла** , смотря по состоянию поверхностей, — между $0,48$ и $0,79$; следовательно, в среднем $0,635$ вольта.

Подобный же опыт с диском из Al и сеткой из Ag (посеребренная латунь) дал мне электрическую разность $Al|Ag$, равную $0,834$ дан. (равна $0,92$ вольта) в случае, когда диск лежал на воздухе, и $0,916$ дан. ($1,01$ вольта), когда диск был только что вычищен.

Если электрическая разность двух арматур идет в счет той электродвижущей силы, которая дает актино-электрический ток, то естественно ожидать, что такой ток может быть получен и без батареи — от одной только этой разности двух металлов. Но если мы в только что описанном опыте устраним батарею, тока не получается. Причина этому понятна: так как сетка состоит здесь из более электроотрицательного металла (L, Ag), чем диск (Zn, Al), то без батареи сплошной диск у нас заряжен положительным электричеством, а следовательно, нечувствителен к действию лучей.

Чтобы опыт получения тока без батареи удался, нужно, следовательно, сделать сетку из металла, более электроположительного, чем диск. Желая воспользоваться для сетки цинком, я, ввиду трудности цинкования латунной сетки, сперва употребил вместо сетки диск из Zn, продырявленный частыми круглыми отверстиями; другой диск (отрицательная арматура) был из серебрянной латуни Ag. Соединяя их проволокой через гальванометр без всякой батареи, я

* Wiedemann, Elektrizität, I, 202.

** Pellat, Thèse de doctorat (1881), p. 82 и след.

действительно получал заметный ток, всякий раз, когда конденсатор был освещен вольтовой дугой. Система: Zn, Ag и воздух, при условии освещения Ag активными лучами, временно обращается в настоящий гальванический элемент, где роль жидкости играет газовая среда. Принимая в расчет, что при этом лучи *должны поглощаться* серебром, мы можем сказать (в чем бы ни состоял механизм явления), что энергия тока в этом воздушном элементе возникает за счет энергии освещающих лучей.

По сравнению полученного тока с тем, какой происходит, когда включим в ту же цепь 1 элемент Даниеля, можно было, подобно предыдущему, судить о величине разности Zn|Ag. Именно, при двух таких опытах получено:

	$E = \text{Zn} \text{Ag}$	$\text{Zn} \text{Ag} + 1 \text{ дан.}$
I	$i = 23,5$	50,0
II	18,5	37,5

Из I находим $\text{Zn} | \text{Ag} = 0,89$ дан., из II: $\text{Zn} | \text{Ag} = 0,97$ дан. среднее $0,98 = 1,02 \text{ V}$. По Пелла (l. c.) эта разность лежит между $0,81 \text{ V}$ и $1,14 \text{ V}$, смотря по состоянию металлических поверхностей; для сильно чищенных металлов (écouis) она равна $1,04 \text{ V}$.

Впоследствии я повторял такие опыты с *цинкованной* (электролитически) латунной сеткой, причем для Zn|Ag получалось $0,815$ и $0,88$ дан. Подобный опыт сделан с цинкованной сеткой и никелированным кругом, с железной сеткой и серебряным кругом и т. п. Всегда числа электрических разностей получались сходные с общепринятыми, представляя при этом такое же непостоянство, смотря по чистоте поверхностей, какое оказывается при всех контактных определениях. Можно заключить, что наша *гальванометрическая* метода определять эти разности ведет к тем же результатам, как методы Кольрауша, Пелла и др., в тех же условиях относительно состояния поверхностей металлов, и что действие лучей при этом не оказывает заметного (или по крайней мере значительного) влияния на величину этих разностей.

Понятно, что для определения электрических разностей подобным путем можно употреблять способ компенсации: взяв электроположительную сетку и электроотрицательный диск, вводить в цепь в возрастающем порядке определенные доли 1 дан. (соединяя цинковый полюс с сеткой,

медный — с диском) до тех пор, пока актино-электрический ток не дойдет до нуля. Но это не будет в собственном смысле *нулевая метода*: если увеличим ту долю 1 дан., при которой ток стал незаметен, то он не восстановится, а останется попрежнему нулем.

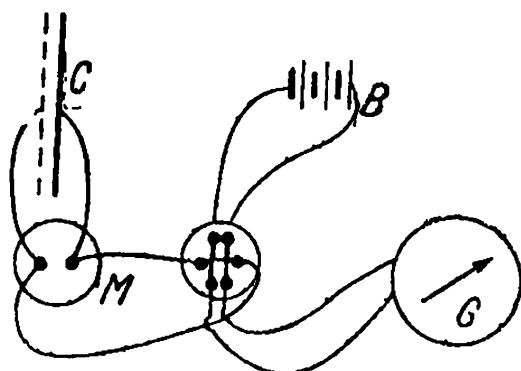
Из сказанного понятно, что при оценке малых электродвижущих сил в конденсаторе следует, даже при однородных, повидимому, арматурах испытывать их собственную электрическую разность; если сетка несколько положительнее, чем сплошной диск, получится при освещении ток без батареи; если сетка отрицательнее, из отсутствия тока нельзя заключить об отсутствии электрической разности арматур, и надо вводить гальванические элементы, чтобы ее обнаружить. Такой способ чрезвычайно чувствителен.

Когда дело идет о малых электродвижущих силах, — каковы контактные электрические разности, — более чувствительным, чем гальванометр, снарядом является, без сомнения, квадрант-электрометр Томсона. Тем не менее я и здесь предпочитал употребление гальванометра, которое не представляет тех особых затруднений, какие представляются часто при электрометрических измерениях. С другой стороны, приведенные опыты имеют, между прочим, именно тот интерес, что в них, сколько я знаю, впервые контактные разности определяются посредством гальванометра.

Интересно было, при этих опытах с „воздушным элементом“, следить за током, возможно параллельно сближая арматуры до соприкосновения. Актинно-электрический ток возрастал с уменьшением расстояния, потом вдруг магнит гальванометра резко возвращался к нулю и переходил на другую сторону: это — *термоэлектрический* ток от неравного нагревания спаев лучами, который при расположении опыта (с конденсатором Zn и Ag) должен был иметь направление, противоположное актино-электрическому. Ток термоэлектрический был обыкновенно меньше актино-электрического, но такого же порядка величины: малая величина термоэлектродвижущей силы (сравнительно с контактной электрической разностью, которая при соприкосновении арматур исключалась) наверстывалась громадным уменьшением сопротивления цепи.

16. Желая разнообразить методы исследования и проверить один прием другим, я произвел несколько опытов

по другой схеме*. Наблюдался не *постоянный* ток под действием лучей, а *мгновенный* разрядный ток от конденсатора, в течение определенного времени стоявшего в лучах вольтовой дуги. Чтобы замедлить разряд, нужно было увеличить емкость моего конденсатора (который иначе разряжался бы мгновенно); я присоединял к нему арматуры большого слюдяного конденсатора (эталона) *M* (фиг. 5), который дает от 0,05 до 1 микрофарады; емкость, таким образом, была известна (сетчатый конденсатор прибавлял к ней ничтожную величину). Эта емкость заряжалась батареей *B*; посредством гальванометра *G* оценивался разрядный ток. Потом тот же конденсатор, по зарядке той же батареей, оставлялся (отомкнутый от нее) на 10, 20, ... секунд под лучами и затем, закрыв фонарь, опять измеряли разрядный ток, замыкая конденсатор гальванометром.



Фиг. 5.

Эти разрядные токи до и после освещения измеряют собой разность потенциалов арматур. Зная отношение $\frac{V_0}{V_1}$ этих потенциалов, зная время освещения t и емкость C , найдем сопротивление изолирующего слоя, в котором происходила „течь“, т. е. сопротивление сетчатого конденсатора. Формула, употребляемая при измерении путем значительных сопротивлений,

$$R = \frac{t \cdot 0,4343}{C \log_{10} \frac{V_0}{V_1}},$$

даст сопротивление R в мегомах, если t выражено в секундах, а C — в микрофарадах.

Опыт показал, что разряжение действительно идет таким порядком, что логарифм отношения $V_0 : V_1$ приблизительно пропорционален времени освещения. Вычисленное сопротивление можно было сравнить с тем числом, которое получалось в тех же условиях (то же расстояние арматур,

* О них прибавлено несколько слов в конце моей первой заметки (С. Р., CVI, 1149).

Та же электродвижущая сила) прямо из наблюдения постоянного актино-электрического тока, т. е. с $\frac{E}{i}$, где E выражено в вольтах и i — в микроамперах. Оба способа давали близкие между собой числа.

Так, в одном опыте с конденсатором серебряным Ag и Ag, к которому придано 0,05 микрофарады и который заряжался 1 даниелем, оказалось:

начальный разряд	239,0 дел.
разряд после 10 сек.	193,0 „
„ „ 20 „	155, „

откуда для R находим от 934 до 936 мегомов.

С другой стороны, постоянный ток в лучах оказался равным 36,70 дел.; тот же элемент Даниеля, при ответвлении от него $\frac{1}{12000}$ в цепь гальванометра (снабженную добавочным сопротивлением 11000 омов, а всего имевшую 16212 омов), дал 175 дел., т. е. элемент дает 175 дел. через сопротивление, равное 194,5 мегома. Отсюда $R = 194,5 \cdot \frac{175}{36,7} = 927$, что весьма близко к предыдущим числам.

В других условиях опыта получилось: из мгновенного разряда (101 s. и 20 s.) в среднем 387, из постоянного тока 395 мегомов, и т. п.

Итак, действительно, мы и при этом способе наблюдений имеем право представлять себе воздушный слой сетчатого конденсатора как проводник с большим сопротивлением, прилагая вышеприведенную формулу убывания потенциала.

Небезынтересно было применить тот же метод измерения к сетчатому конденсатору без батареи, но с разнородными арматурами. Здесь еще нагляднее, чем в факте существования постоянного актино-электрического тока между такими арматурами, обнаружилось, что *действие лучей стремится выравнять потенциалы арматур*, уничтожая контактную электрическую разность двух металлов.

Допустим, что сетка состоит из Zn, сплошной диск — из Ag. Присоединим к этому конденсатору эталон-конденсатор большой емкости (например, 0,05 микрофарады) и соединим обе арматуры через гальванометр. Если они перед тем не были заряжены извне, а, например, были соединены с землей, то в гальванометре не будет никакого разрядного

тока; хотя потенциалы арматур, в силу электрической разности металлов, различны, но, по закону Вольты, эта разница не изменится от введения третьего металлического проводника. Но представим себе, что после этого, отомкнув гальванометр, мы подвергли конденсатор разряжающему действию лучей (которое, благодаря большой емкости, будет действовать медленно); если, спустя несколько секунд, устраним лучи и вновь замкнем арматуры гальванометром, то в последнем окажется мгновенный ток: частью разрядившиеся арматуры вновь заряжаются до первоначальной электрической разности. Чем больше времени стоял изолированный конденсатор в лучах, тем значительнее будет зарядный ток в конденсаторе. После достаточного времени освещения (это время тем меньше, чем меньше емкость), арматуры дойдут до *равных* потенциалов, и теперь наблюдаемый зарядный ток даст меру полной их электрической разности; если определим разряд того же конденсатора после заряжения его, например, 1 даниелем, то упомянутую разность выразим в долях даниеля.

Действительно, это так и бывает; но при этом обнаружилось новое загадочное обстоятельство. Если, так сказать, пропустим время, когда потенциалы арматур сравнялись, и произведем замыкание через гальванометр слишком поздно, повидимому, это не должно влиять на результат. Между тем оказывается, что тогда зарядный ток бывает сильнее и явно не соответствует уже электрической разности. Приходится допустить, что исподволь сплошной диск не только освободился от отрицательного заряда (уравнял свой потенциал с сеткой), но и *зарядился положительно*. Первоначально я приписал этот результат влиянию тока в лампе и пытался устранить это усложнение; но это не достигалось вполне. Остается заключить, что самое действие лучей *заряжает* проводник положительным электричеством. То же обнаруживается и на арматурах *однородных* (например, Ag и Ag).

Это *заряжение* лучами мною подробнее не исследовано, хотя некоторые опыты такого рода я повторил с квадрант-электрометром. Оно было предметом опытов Галльвакса *,

* *Wied. Ann.*, XXXIV, 731, со ссылкой на довольно неопределенно высказанное замечание в конце предыдущей статьи автора (*ibid.*, XXXIII, 311).

опубликованных ранее, чем я выяснил себе дело, а потом опытов Биша и Блондло *, а также Риги **. Думаю, что здесь мы имеем дело не с особым новым фактом, — что это актино-электрическое *заряжение положительным* электричеством следует объяснять себе как результат актино-электрического *разряда отрицательно* заряженных тел; на это намекают и названные французские авторы.

17. Не касаясь в этой статье опытов, произведенных мною, пока еще в предварительном виде, над актино-электрическими разрядами в различных газах и парах и под различными давлениями, постараюсь вкратце сопоставить результаты, найденные для воздуха при обыкновенном давлении.

1. Лучи вольтовой дуги, падая на поверхность отрицательно-заряженного тела, уносят с него заряд. Смотря по тому, пополняется ли заряд и насколько быстро, это удаление заряда может сопровождаться заметным падением потенциала или нет.

2. Это действие лучей есть строго униполярное; положительный заряд лучами не уносится.

3. По всей вероятности, кажущееся зарядение нейтральных тел лучами объясняется той же причиной.

4. Разряжающим действием обладают — если не исключительно, то с громадным превосходством перед прочими — лучи самой высокой преломляемости, недостающие в солнечном спектре ($\lambda < 295 \cdot 10^{-6}$ мм.). Чем спектр обильнее такими лучами, тем сильнее действие.

5. Для разряда лучами необходимо, чтобы лучи поглощались поверхностью тела. Чем больше поглощение активных лучей, тем поверхность чувствительнее к их разряжающему действию.

6. Такой чувствительностью, без значительных различий, обладают все металлы, но особенно высока она у некоторых красящих веществ (анилиновых красок). Вода, хорошо пропускающая активные лучи, лишена чувствительности.

7. Разряжающее действие лучей обнаруживается даже при весьма кратковременном освещении, причем между

* С. Л., CVII, 29.

** С. Р., CVII, 559.

ских течений можно, правда, заметить, но они иного характера, появляются и исчезают не мгновенно вместе с освещением, а исподволь, и, вероятно, происходят просто от изменений диэлектрического коэффициента вследствие нагревания снаряда лучами. То же получается и с сетчатым конденсатором, где вместо воздуха — изолирующая жидкость: алкоголь, сернистый углерод, керосин и т. д. Наконец, в жидких электролитах хотя и давно уже замечено влияние освещения на поляризацию и на электропроводность (опыты Беккереля, Ганкеля и новейшие опыты Аррениуса), но эти действия происходят по другим законам и не представляют прямой аналогии с нашими актино-электрическими явлениями.

Итак, для последних нужна газовая среда, т. е. нужен простор и полная удобоподвижность частиц. Одно это уже внушает мысль, что в разрядах, происходящих под действием лучей, необходимую роль играет механическая конвекция электричества. Некоторые опыты Биша* и Риги** относительно вращения удобоподвижных тел при разрядении их лучами показывают, что процесс рассеивания электричества здесь по существу такой же, как и в обыкновенных условиях (например, при опыте с франклиновым колесом), что здесь есть нечто вроде электрического ветра. Опыты Биша и Блондло***, показывающие, что актино-электрическое действие усиливается при вдувании воздуха, также наглядно говорят в пользу этой мысли. Повторяя такие опыты, Риги попытался даже измерить скорость движущихся частиц и находил ее от 55 до 146 метров в секунду****. Наконец, недавние опыты Ленарда и Вольфа*****, обнаруживая, что лучи производят распыление поверхности катода,

* *C. R.*, CVII, 557.

** *Ibid.*, 559.

*** *C. R.*, CVII, 29.

**** *N. Cimento*, XXV, 207 (1889).

***** Lenard u. Wolf, *Wied. Ann.* XXXIII, 443. Я не считаю этих опытов вполне убедительными: прямые доказательства отрывания твердых частиц (§ 3 статьи) слишком неопределенны (как признают и авторы), и здесь о роли электрического заряда ничего не сказано: косвенный же аргумент (реакция на паровую струю) допускает и другое объяснение (ср. R. v. Helmholtz, *Wied. Ann.*, XXXII, 1—19). Тем не менее я говорю о выводах Ленарда и Вольфа, на случай, если они будут подтверждены. Следовало бы для этой цели попытаться спектральный анализ.

дают новое доказательство конвективного характера разрядов и вместе с тем новый взгляд на характер этой конвекции.

Итак, на актино-электрические токи следует смотреть как на токи конвективные; так и смотрит на них в настоящее время большинство исследователей. Служат ли орудиями конвекции, переносителями зарядов, самые частицы газа (Риги, Биша и Блондло) или же пылинки катода, подобно тому, как это бывает, по мнению Пулуя, при разрядах в кружковых трубках (Ленард и Вольф), это — другой вопрос. Любопытные опыты только что названных исследователей подсказывают второе из двух толкований, хотя оно плохо мирится с фактором убывания тока при сильном разряде воздуха*.

Но как бы то ни было, мысль о конвекции зарядов тем или другим путем — т. е. частицами ли газа или пылинками катода — еще не есть полное объяснение всего явления, как, повидимому, склонны думать некоторые. Эта мысль объясняет нам, как *продолжается* удаление заряда через газ, объясняет, почему только в газовой среде явление может обнаружиться; но мы еще не поняли вполне, почему и как *начинается* процесс. Почему те или другие частицы отделяются от поверхности электрода, почему действие униполярно, почему оно стимулируется лишь лучами известной категории и стоит в тесной связи с поглощением этих лучей поверхностью катода? Эти-то пункты и составляют главный нерв загадки. Опыты относительно „распыления“ составляют важный шаг вперед, но в свою очередь вызывают целый ряд вопросов.

В предыдущем я говорил о *разрядении* тел лучами; но есть опыты, доказывающие, что лучи *заряжают* нейтральное тело. Мне кажется, *первый* из этих фактов следует признать фундаментальным, второй же объяснять как следствие первого. По поводу так называемых контактных электродвижущих сил (электрических разностей металлов) уже давно высказывалась мысль, что здесь играет роль особого рода заряде воздуха у поверхности металла — электрическая разность между металлом и воздухом. Допуская, что на поверхности раздела металла с воздухом имеется такая разность, причем металл положительнее воздуха, а следо-

* Arrhenius, *Wied. Ann.*, XXXIII, 460; Столетов, *C. R.*, CVII, 91.

Вательно, имеется двойной слой электричества (положительный слой на металле, отрицательный на воздухе), можно развить мысль, кратко и недостаточно высказанную у Биша и Блондло *, и объяснить себе до некоторой степени как процесс разряда отрицательно наэлектризованных металлов, так и процесс заряжения нейтральных или положительных — если только прием как факт, что известного рода лучи стремятся уносить отрицательные заряды **.

Кроме вышеизложенных воззрений, по которым актино-электрические токи суть токи конвективные, существуют и другие попытки объяснить эти во многих отношениях загадочные явления.

Так, существует мнение, что газы могут иметь *электролитическую* проводимость. Оно было высказано Шустером *** по поводу обыкновенных разрядов (гейслеровы трубки и т. п.) и развивается в последнее время Аррениусом **** по поводу разрядов актино-электрических. Но некоторые из вышеуказанных фактов убедительно показывают, что в этом последнем классе явлений (да и в первом!) во всяком случае происходят заметные поступательные движения частиц. Таким образом признать здесь конвекцию необходимо, а осложнять ее электролизом газа нет достаточных поводов. Впрочем, для решения вопроса, происходит ли такой „электролиз“, т. е. расщепление частиц и обмен ионов, полезно будет испытать актино-электрические явления в одноатомных парах ртути.

Наконец, совсем особый принцип привимается Э. Видеманом *****. Не отрицая участия конвекции, но сосредоточивая внимание именно на первоначальном стимуле к разряду, Видеман допускает особого рода действие активных лучей, отчасти аналогичное возбуждению флуоресценции. Гипотеза составила еще раньше, по поводу обыкновенных разрядов в разреженном газе, и в актино-электрическом процессе автор видит ей подтверждение.

* C. R., CVII, 31.

** С другой стороны, Ленард и Вольф находят распыление поверхности лучами даже у некоторых ненаэлектризованных металлов (Cu, Fe, Au, Ag), причем отделяющаяся пыль обнаруживает отрицательный заряд.

*** Schuster, *Proc. R. Soc.*, XXXVII, 317 (1884); XLII, 371 (1887).

**** *Wied. Ann.*, XXXII, 565; XXXIII, 638.

***** *Wied. Ann.*, XXXIII, 262; XXXV, 255.

По Э. Видеману „катодные лучи“, замечаемые при светящихся разрядах в разреженном газе, соответствуют эфирным колебаниям весьма малой длины волны, и подобные же лучи происходят или стремятся произойти даже при разрядах темных. Действие лучей подобной категории, падающих извне на катод (на поверхность отрицательно наэлектризованного тела), вызывает в частицах последнего синхронные колебания и тем обуславливает или облегчает испускание катодных лучей.

С этой точки зрения становится понятным важное значение свойств поверхности катода, понятна необходимость поглощения лучей, которое здесь так же требуется, как и при возбуждении флуоресценции. Гипотеза представляется заманчивой и, так сказать, современной — в том смысле, что говорит об „электрических лучах“ и о том единстве по существу, какое все более и более усматривается между явлениями света и электричества. В существовании „электрических лучей“ мы недавно воочию убедились из блестящих опытов Герца, того самого исследователя, которому принадлежит и первое открытие фактов, названных мной „актино-электрическими“. Но электрические лучи Герца и катодные лучи Видемана суть лучи совершенно противоположных категорий по длине волны; между теми и другими остается пока огромный пробел. Почему лучи промежуточные, лучи световые, не производят действий подобных тем, которые составляют предмет этой статьи, или если и производят, то в сравнительно крайне слабой степени? Оттого ли, что в числе „катодных лучей“ они вовсе не находят соответственных (синхронных) зачатков, оттого ли, что недостаточно поглощаются поверхностью катода или прилегающим газом? И то и другое трудно допустить. Мысль Видемана, повторяю, очень заманчива, но ей недостает надлежащего развития и твердых фактических опор — в особенности по отношению к разрядам слабого потенциала. С другой стороны, видеть в катодных эманациях просто эфирные волны во всяком случае преждевременно, пока не изучены ближе те движения весомых частиц, какие здесь, несомненно, происходят.

Закончу одним замечанием. Как бы ни пришлось окончательно сформулировать объяснение актино-электрических разрядов, нельзя не признать некоторой своеобразной аналогии между этими явлениями и давно знакомыми, но до

сих пор мало понятными, разрядами гейслеровых и круксовых трубок. Желая при моих первых опытах ориентироваться среди явлений, представляемых моим сетчатым конденсатором, я невольно говорил себе (понимая всю странность этих слов), что предо мною — гейслерова трубка, могущая действовать и без разрежения воздуха, трубка не с собственным, а с посторонним светом. Там и здесь явления электрические тесно связаны со световыми, там и здесь катод играет особенную роль и, повидимому, распыляется. Изучение актино-электрических разрядов обещает пролить свет на процессы распространения электричества в газах вообще.