

Явление остаточного заряда в жидких диэлектриках.

(К статье 1 стр. чертёжей).

В некоторых твёрдых и жидких диэлектриках наблюдается явление остаточного заряда, которое заключается в следующем. Если в течение некоторого времени пропускать через диэлектрик постоянный электрический ток и затем, удалив электродвижущую силу, соединить между собой электроды, то в замкнутой цепи возникает электрический ток обратный первоначальному. С ионной точки зрения это явление объясняется тем, что у электродов при протекании тока накапливаются ионы, которые после уничтожения внешнего электрического поля, вследствие взаимного отталкивания, рассеиваются по жидкости, главным образом в направлении противоположном первоначальному движению, и создают конвекционный ток.

Остаточный заряд в жидких диэлектриках впервые был обнаружен Н. Hertz'ем¹⁾. После целого ряда проб он остановился на продажном бензине, как веществе, которое обладает большим сопротивлением и дает явление остаточного заряда. Он пропускал ток от 100 вольт в течение 24 часов, измеряя время от времени сопротивление и остаточный заряд. Опыт состоял в том, что пара квадрантов электрометра изолировалась спустя одну секунду после удаления напряжения и наблюдалось положение стрелки. Оказалось, что стрелка быстро отходила от положения равновесия в отрицательном направлении, достигала максимума и медленно возвращалась к нулю. Сила прямого тока убывала с течением времени и вместе с тем сила обратного тока и количество электричества, переносимое этим током, уменьшались по мере удаления от начала приложения электродвижущей силы.

Для выяснения причины появления остаточного заряда Hertz произвел следующие опыты.

В тот момент, когда уничтожилось внешнее электрическое поле и изолировалась пара квадрантов, т. е. когда начинал проявляться остаточный заряд, он открывал кран в дне металлического цилиндра, служившего внешней обкладкой конденсатора, и бензин вытекал. Отклонение стрелки при вытекании происходило в ту же сторону, как и при покое. Это по мнению Hertz'a доказывает то, что остаточный заряд обусловлен поляризацией электродов, а не является следствием существования свободного электричества, скапливающегося около электрода во время прохождения прямого тока.

В другом опыте Hertz наливал бензин в большой сосуд с двумя взаимнопараллельными пластинками (электродами), находившимися друг от друга на расстоянии нескольких сантиметров. Через некоторое время после пропускания тока удалялась электродвижущая сила, электроды соединялись с землей и тотчас же между ними помещалась система из трех пластинок 1, 2, и 3. Пластинка 1 была отведена к земле, пластинка 2 была соединена с одной, а пластинка 3—с другой парой квадрантов электрометра. Кроме того пластинки 2 и 3 были отделены друг от друга изолятором, так что бензин не мог входить между ними, тогда как между пластинками 1 и 2 был слой бензина в несколько

¹⁾ Н. Hertz. W. A. 20, 279 (1883)

см. При вдвигании этой системы стрелка электрометра отклонялась в обратном направлении, при чем отклонение было меньше, чем при замыкании электродов А и В. Этот опыт также привел Hertz'a к заключению о существовании поляризации, заключающейся в образовании двойных слоев у электродов, которые Hertz приписывал посторонним примесям.

Quincke¹⁾ не мог обнаружить существование тока поляризации для скипидара, нефти, сероуглерода, эфира и бензола, но это может быть приписано недостаточной чувствительности его метода, который был приспособлен к измерению силы тока при очень высоких напряжениях (до 10^5 вольт на см.) и оказался нечувствительным для слабых остаточных зарядов.

В 1889 г. J. Curie²⁾ высказал для твердых диэлектриков закон наложения (loi de superposition): «Chaque variation de force électromotrice entre les deux faces de la lame agit comme si elle était seule», т. е. всякое изменение эл. дв. силы, приложенной к двум граням пластинки (диэлектрика), производит такое же действие, как если бы это изменение было единственное. Этот закон можно интерпретировать двояко.

Как известно в большинстве случаев сила тока через жидкие или твердые диэлектрики есть убывающая функция времени. Пусть при некоторой эл. дв. силе V_1 сила тока i_1 выражается кривой А (черт. 1), где по оси абсцисс отложено время, а по оси ординат—сила тока. Через некоторое время θ к разности потенциалов V_1 прибавляется новая эл. дв. сила V_2 . Если бы действовала только эл. дв. сила V_2 , то сила тока i_2 изобразилась бы кривой В. При совместном действии V_1 и V_2 сила тока i выражается кривой С, ординаты которой в каждый момент представляют сумму ординат кривых А и В. В этом заключается первая интерпретация закона наложения.

Предположим теперь, что через время θ после приложения эл. дв. силы $+V_1$ уничтожается электрическое поле. Формально это равносильно тому, что в момент θ прикладывается новая эл. дв. сила $-V_1$, равная, но прямопротивоположная, первой. Сила тока при существовании только $+V_1$ изобразилась бы кривой В (черт. 2). При совместном же действии $+V_1$ и $-V_1$ сила тока изменяется по кривой С, которая получается, если ординаты кривой В уменьшить на соответствующие ординаты кривой А. Это явление называется явлением остаточного заряда или остаточного (возвратного) тока и является второй интерпретацией закона наложения.

Для жидких диэлектриков закон наложения в вышеприведенной формулировке, повидимому не является справедливым, но явление остаточного заряда, которое обнаруживается у некоторых диэлектрических жидкостей, показывает, что и для них существует нечто подобное закону наложения.

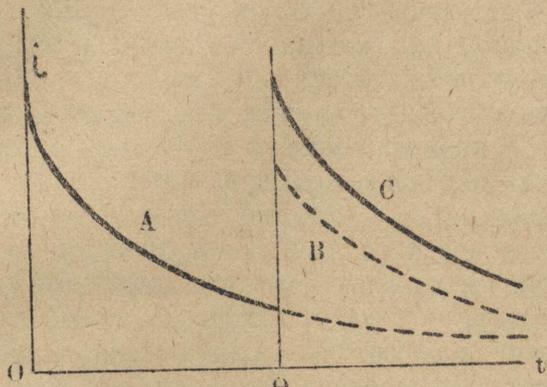
Я пытался обнаружить остаточный ток в нефти, толуоле и бензоле, применяя различные методы, но во всех случаях этот ток был настолько мал и так быстро исчезал, что каких либо количественных наблюдений сделать не удалось. Во всех этих опытах я пользовался квадратным электрометром. На черт. 3 изображена одна из испробованных мною установок. Здесь ИК измерительный конденсатор с охраняющим кольцом, БС—большое сопротивление (стеклянная трубка с копотью), Π_1 , Π_2 и Π_3 —переключатели из парафина с ямками, наполненными ртутью. Расстояние между электродами было 10 мм. Опыт заключался в том, что через некоторое время после приложения разности потенциалов переключатель Π_1 перекидывался к земле, КЛ размыкался и наблюдалось отклонение стрелки электрометра. Разность потенциалов изменялась от 53 до 738 вольт. Остаточный ток был едва заметен.

Когда опыты, подобные описанному, показали, что остаточный заряд безусловно существует, но он так быстро исчезает, что, вследствие большой инерции стрелки квадратного электрометра, его почти нельзя обнаружить,

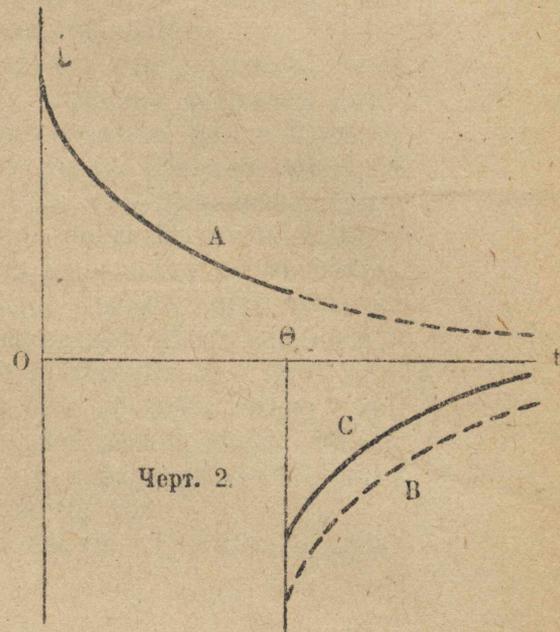
¹⁾ Quincke. W. A. 28. 529 (1886).

²⁾ J. Curie. Ann. de chim. et phys. (6) 18. 203 (1889).

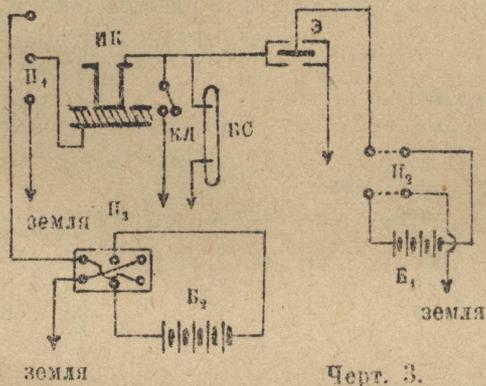
К работе В. Д. Кузнецова. «Явление остаточного заряда в жидких диэлектриках»



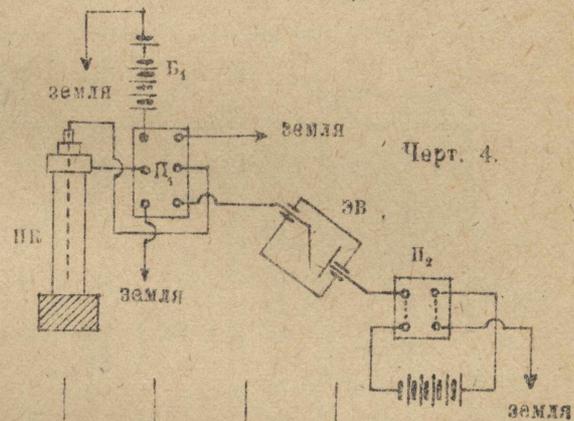
Черт. 1.



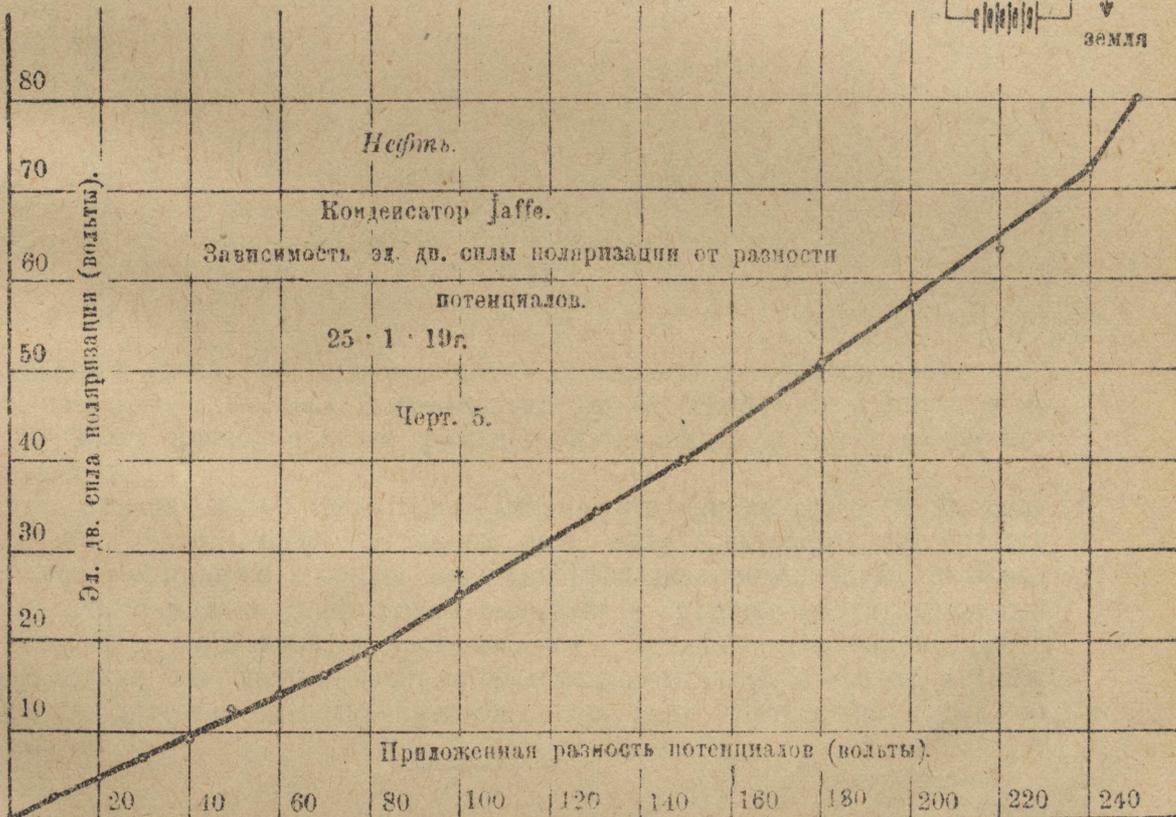
Черт. 2.



Черт. 3.



Черт. 4.



Черт. 5.

тогда я изменил установку, воспользовавшись электроскопом Wilson'a с малой емкостью, и измерял не силу остаточного тока, а эл. дв. силу поляризации. Последние опыты дали некоторые интересные результаты и показали, что метод для измерения остаточного заряда был выбран правильно.

Черт. 4 дает схему установки. Внешняя обкладка измерительного конденсатора ИК, состоящего из латунного сосуда с внутренним стержнем (конденсатор Jaffé), могла соединяться при помощи переключателя или с полюсом батареи B_1 , или с землей, в то же самое время внутренняя обкладка вместе с листочком электроскопа или соединялась с землей или изолировалась. Опыт заключался в том, что в течение времени T внешняя обкладка соединялась с потенциалом V_1 , затем перекидывался переключатель Π_1 и наблюдалось максимальное отклонение α_m листочка электроскопа. В тот момент, когда листочек доходил до крайнего положения пускался в ход секундомер и останавливался в тот момент, когда листочек доходил до нулевого положения α_0 . Этот промежуток времени обозначен через t . Электроскоп был предварительно градуирован. Знак заряда электроскопа был противоположен знаку потенциала V . Я принимал, что разность отсчетов $\alpha_m - \alpha_0$ характеризует величину эл. дв. силы поляризации, которая вызывает остаточный ток.

В качестве примера я привожу наблюдения для нефти. Результаты кроме того изображены на черт. 5.

25.1.19 г.

Таблица.

V вольт.	T	α_m	α_0	$\alpha_m - \alpha_0$	E вольт.	t сек.	V вольт.	T	α_m	α_0	$\alpha_m - \alpha_0$	E вольт.	t сек.	
+100	5"	51	31.0	20	-25	13	+30	1'	36	30.5	5.5	-7	13	
>	10"	51	>	20		12	>	>	36	>	5.5			
>	15"	52	>	21		12	+20	>	34	>	3.5			-5
>	30"	52	>	21		13	+10	>	32.5	>	2.0			-3
>	1'	52	>	21		12	+100	>	52	>	21.5			-27
>	2'	52	>	21		14	>	>	52	>	21.5			
>	2'	50	>	19		10	+150	>	62	30.0	32			-40
>	5'	51	>	20		13	>	>	62	>	32			
>	5'	51	>	20		—	+200	>	75.5	>	45.5			-58
>	5'	52	>	21		13	>	>	—	>	—			—
+80	1'	46	>	15	-19	13	250	1'	92	>	62	-80		
>	1'	46	>	15		13	>	>	92	>	62			
+70	1'	44	>	13	-16	12	>	2'	94	>	64	-80		
>	1'	44	>	13		>	>	4'	93	>	63			
+60	1'	42	>	11	-14	11	>	4'	94	>	64	-59		
>	1'	42	>	11		>	>	4'	94	>	64			
+50	1'	41	>	10	-12.5		+209		76.5	>	46.5	-59		
>	>	40	>	9			+220		80	>	50	-63		
>	>	40	>	9			+240		87	>	57	-72		
+40	>	38	>	7	-9		+180		70.5	>	40.5	-51		
>	>	38	>	7			+130		57	>	27	-34		

Из таблицы видно, что отброс листочка не зависит от времени протекания прямого электрического тока в промежутке от 5 секунд до 5 минут и до $V = +80$ вольт пропорционален разности потенциалов, а затем возрастает быстрее, чем V .

Против опытов можно сделать возражение, что они не дают эл. дв. силу поляризации в чистом виде. В самом деле, если электроскоп изолируется раньше, чем соединяется с землей внешняя обкладка конденсатора, то заряд этой обкладки в момент уничтожения вызывает в листочке индуктированный заряд, который и обуславливает часть отброса. Однако опыты измененные в том направлении, что сперва внешняя обкладка соединялась с землей, а затем изолировался листочек и внутренняя обкладка дали совершенно такие же результаты.