

# Нагрѣваніе парафина въ переменномъ электрическомъ полѣ.

М. ПОЖАРИСКІЙ.

Однимъ изъ вопросовъ сравнительно мало разработанныхъ въ электротехникѣ является проводимость и нагрѣваніе діэлектриковъ въ электрическомъ полѣ.

Особенно по отношенію къ нагрѣванію существуютъ довольно неопредѣленные иногда даже противорѣчащіе другъ другу данные въ литературѣ.

Въ разсматриваемомъ вопросѣ подлежатъ изслѣдованію слѣдующіе главные пункты:

Опредѣленіе зависимости электрической мощности превращающейся въ теплоту отъ напряженія электрическаго поля, отъ рода источника тока, отъ числа переменъ въ секунду при переменномъ напряженіи и наконецъ отъ разныхъ постороннихъ дѣтелей, между которыми первое мѣсто занимаетъ температура діэлектрика.

Съ изслѣдованіемъ выше указанныхъ зависимостей связанъ тѣсно вопросъ о причинахъ нагрѣванія діэлектриковъ въ переменномъ электрическомъ полѣ.

Тутъ различаютъ обыкновенно два явленія проводимость діэлектрика и отставаніе измѣненія заряда по отношенію къ переменамъ происходящимъ въ напряженіи электрическаго поля. Взгляды на первое явленіе вообще довольно однообразны, развѣ степень вліянія приписываемаго проводимости діэлектриковъ на нагрѣваніе таковыхъ, не всѣми одинаково оцѣнивается, что-же касается нагрѣванія діэлектриковъ вслѣдствіи отставанія заряда по отношенію къ напряженію

поля, то въ этомъ вопросѣ встрѣчаются довольно разнообразныя взгляды въ зависимости отъ получаемыхъ экспериментаторомъ результатовъ испытаній, произведенныхъ нерѣдко съ небольшимъ числомъ діэлектриковъ при однообразныхъ условіяхъ.

Главное разногласіе заключается въ признаніи или не признаніи діэлектрикамъ свойствъ аналогичныхъ свойствамъ желѣза по отношенію къ магнитному полю. Разсматриваемое тутъ явленіе въ желѣзѣ — гистерезисъ.

Въ діэлектрикахъ нѣкоторые изслѣдователи и авторы не хотятъ признать гистерезиса и предлагаютъ между прочимъ для происходящихъ тамъ явленій названіе видоизмѣненное: „вязкій гистерезисъ“ (*hystérésis visqueuse*), другіе напротивъ считаютъ неоспоримымъ существованіе гистерезиса діэлектрическаго совершенно аналогичнаго магнитному, есть, впрочемъ еще мнѣнія и такого рода, что вообще нагрѣваніе діэлектриковъ слѣдуетъ приписать лишь ихъ проводимости.

Различіе между гистерезисомъ въ желѣзѣ и въ діэлектрикахъ усматриваемое нѣкоторыми авторами заключается въ томъ, что мощность превращающаяся въ теплоту въ теченіи одного цикла перемагничиванія въ желѣзѣ почти не зависитъ отъ продолжительности этого цикла, въ діэлектрикахъ-же мощность превращающаяся въ теплоту за одинъ циклъ значительно больше при быстромъ измѣненіи электрическаго поля, чѣмъ при медленномъ. О. Д. Хвольсонъ \*) считаетъ, что, на основаніи новѣйшихъ изслѣдованій, слѣдуетъ признать діэлектричскій гистерезисъ отсутствующимъ и можно согласиться только съ тѣмъ, что существуетъ вязкій гистерезисъ отличный отъ гистерезиса въ желѣзѣ какъ выше было указано.

Оставляя вопросъ терминологіи въ сторонѣ и разсматривая дѣло по существу, слѣдуетъ замѣтить, что результаты полученные разными экспериментаторами довольно разнообразны. Steinmetz <sup>1)</sup>, Guye и Denso <sup>2)</sup>, Monasch <sup>3)</sup>, Skinner <sup>4)</sup> и др. считаютъ потери въ діэлектрикахъ на гистерезисъ пропорціональными числу періодовъ, впро-

\*) Курсъ физики IV томъ первая половина 1907 г. стр. 255.

<sup>1)</sup> Steinmetz. Some notes on dielectric losses. The Electr. World 1901. Bd. 37. стр. 1065.

<sup>2)</sup> Guye и P. Denso. Sur l'énergie dissipée sous forme de chaleur dans la paraffine. L'Eclairage électrique 1905, T. 44, стр. 361, 401.

<sup>3)</sup> Monasch. Sur les pertes d'énergie dans les diélectriques placés dans un champ alternatif. L'Eclairage électrique 1907, T. 51, стр. 377.

<sup>4)</sup> Ch. E. Skinner. Energy loss in commercial insulating materials when subjected to high potential stress Jour. Am. Jn. El. Eng. 1902, стр. 689.



чемъ Skinner только для низкихъ температуръ. Въ такомъ случаѣ потери за одинъ циклъ остаются постоянными.

Mościcki <sup>5)</sup>, Marcanton <sup>6)</sup>, Beaulard <sup>7)</sup>, Corbino <sup>8)</sup>, Eisler <sup>9)</sup> и др. нашли потери не пропорціональными числу періодовъ въ секунду.

Конечно гораздо болѣе существеннымъ разногласіемъ является признаніе или непризнаніе существованія гистерезиса вообще и вліянія проводимости на нагреваніе.

Нагреваніе діэлектриковъ приписываютъ проводимости: Боргманъ <sup>10)</sup>, Borel <sup>11)</sup>, Apt и Mauritius <sup>12)</sup>, другіе: Stockl <sup>13)</sup> и Eisler <sup>9)</sup> считаютъ напротивъ что вліяніе этого фактора имѣетъ малое значеніе.

Зависимость потерь на нагреваніе діэлектриковъ отъ напряженія электрическаго поля, по преимуществу считается согласно съ уравненіемъ:

$$W = C \cdot E^2$$

Такая зависимость получена Боргманомъ <sup>10)</sup>, Steinmetz'емъ <sup>14)</sup>, Guye и Denso <sup>2)</sup>, Monasch-емъ <sup>3)</sup> и др., но есть изслѣдованія, по которымъ показатель у  $E$  бываетъ разный отъ 1,5 до 2, таковы напр. результаты изслѣдованій Threlfall'a <sup>14)</sup>, Hoór'a <sup>15)</sup>, Arno <sup>16)</sup>, нѣкоторые даже считаютъ выше упомянутый показатель больше 2-ухъ напр. Mościcki.

По отношенію къ зависимости потерь отъ температуры мнѣнія

<sup>5)</sup> Mościcki Hechspannungskondensatoren. Elek. techn. Zeitsch. 1904 ст. 527.

<sup>6)</sup> Marcanton L'énergie dissipe dans les dielectriques soumis à l'action des champs alternatifs.—Jour. de Phys. 1901. Jenvie 33.40.

<sup>7)</sup> Beaulard. Sur l'hysteresis et la viscosité des dielectriques. Comptes Rendus 1900 T. 130, ст. 1182. Ecl. elec. T. 23, ст. 235.

<sup>8)</sup> Corbino. Sur la viscosité dielectrique L'Eclairage électrique 1905. T. 43, ст. 227.

<sup>9)</sup> Eisler. H. Untersuchungen über den Arbeitsverlust im Dielektrikum Zeitschrift. für Elektrotechnik. 1895, ст. 345.

<sup>10)</sup> И. И. Боргманъ. Журналъ русскаго физико - химическаго общества 1886 г.

<sup>11)</sup> C. Borel. Compts. Rendus 1893. 1192.

<sup>12)</sup> Apt. Mauritius. Arbeitsverluste in Hochspannungskabeln. Elek. techn. Zeitschrift. 1903, ст. 879.

<sup>13)</sup> J. A. Stockl. Lumier electric 1909 № 28 T. VII.

<sup>14)</sup> R. Threlfall. Physic. Revue 1897. 4, ст. 457. 5, ст. 21. 65.

<sup>15)</sup> M. Hoór. Elektr. technisch. Zeitschrift. 1901. ст. 187.

<sup>16)</sup> Arno. Sur la dissipation d'énergie dans une champ électrique tournant et sur l'hysteresise electro-statique. L'umiere électrique 1893 T. 49, ст. 92.

исслѣдователей однообразны Monasch<sup>3)</sup>, Humann<sup>17)</sup>, Skinner<sup>18)</sup> нашли, что патеры возрастаютъ съ возвышеніемъ температуры.

При изслѣдованіи діэлектриковъ разнаго состава обнаружено многими изслѣдователями вліяніе проводящихъ частицъ внутри діэлектрика и многіе изслѣдователи стараются явленіе діэлектрическаго гистерезиса приписать главнымъ образомъ вліянію мелкихъ проводящихъ частицъ или воздуха, попавшаго внутрь массы изолятора.

Вслѣдствіи большаго разнообразія изоляторовъ, а нерѣдко также по причинѣ трудности точнаго, общепонятнаго обозначенія изслѣдуемаго матеріала систематизировать результаты по двумъ послѣднимъ, выше указаннымъ вопросамъ, еще затруднительно.

Методы примѣнявшіеся изслѣдователями для опредѣленія потерь на нагрѣваніе діэлектриковъ въ переменномъ электрическомъ полѣ разбиваются на слѣдующія группы:

1. Измѣреніе мощности переменнаго тока питающаго конденсаторъ съ изслѣдуемымъ изоляціоннымъ матеріаломъ. Онъ примѣнялся въ изслѣдованіяхъ Rosa Schmith'a<sup>19)</sup>, Heinke<sup>20)</sup>, Steinmetz'a<sup>1)</sup>.

2. Изслѣдованіе количества энергіи поглощаемой діэлектриками путемъ опредѣленія кривой выражающей зависимость величины заряда конденсатора отъ циклически мѣняющагося напряженія. Marcanton<sup>6)</sup>, Beaulard<sup>7)</sup>, Moritz von Noör<sup>15)</sup> при медленномъ измѣненіи напряженія электрическаго поля пользовались баллистическимъ гальванометромъ. E. Madelung<sup>21)</sup> и Corbino<sup>8)</sup>, изслѣдовали выше упомянутую кривую при посредствѣ трубки Брауна.

3. Изслѣдуемый конденсаторъ сравнивается съ конденсаторомъ воздушнымъ, въ которомъ предполагается отсутствіе всякихъ потерь. Для сообщенія цѣпи воздушнаго конденсатора свойствъ одинаковыхъ съ конденсаторомъ изслѣдуемымъ, включаютъ послѣдовательно съ воздушнымъ конденсаторомъ омическое сопротивленіе соотвѣтствующей величины. Сравненіе производилось разнымъ образомъ

<sup>17)</sup> P. Humann. Der Isolationswiderstand von Hochspannungskabel mit imprägnirter Papierisolation Elek. techn. Zeitschrift. 1905, ст. 300.

<sup>18)</sup> Ch. E. Skinner. Energy loss in commercial insulating materials when subjected to high potential stress. Journal Americ Inst. Electr. Engeneer. 1902, ст. 689.

<sup>19)</sup> Rosa и Smith. Philos. Magaz. 1899, T. 47, ст. 222, Phys Revue 1899.

<sup>20)</sup> Heinke. Bestimmung der Energiverluste im Dielektrikum. Elek. tech. Zeitsch. 1897.

<sup>21)</sup> E. Madelung. Physikal. Zeitschrift. 1907. Bd. 8.



Мопасch <sup>3)</sup> пользовался схемою мостика Уитстона, а Stockl <sup>1)</sup> устанавливалъ одинаковыя свойства конденсаторовъ по резонансу, пропуская черезъ нихъ токи большой частоты.

4. Очень своеобразный методъ примѣнялся Schaufelberger'омъ <sup>2)</sup>, который наблюдалъ колебанія элпсоида приготовленнаго изъ діэлектрика подвѣшеннаго между обкладками конденсатора. При сообщеніи обкладкамъ заряда колебанія затухали быстрѣе, по этому затуханію Schaufelberger рассчитывалъ потери на гистерезисъ.

5. Непосредственное измѣреніе температуры въ діэлектрикахъ при номѣщеніи таковыхъ въ электрическое поле производили напр. Guye и Denso <sup>2)</sup> при посредствѣ термоэлемента.

Ограничиваясь бѣглымъ обзоромъ результатовъ работъ и указаніемъ на методы примѣнявшіеся при изслѣдованіи діэлектриковъ въ электрическомъ полѣ, я перейду къ моимъ изслѣдованіямъ по этому вопросу произведеннымъ въ 1905 г. въ электротехнической лабораторіи Цюрихскаго Политехникума подъ руководствомъ проф. F. Weber'a.

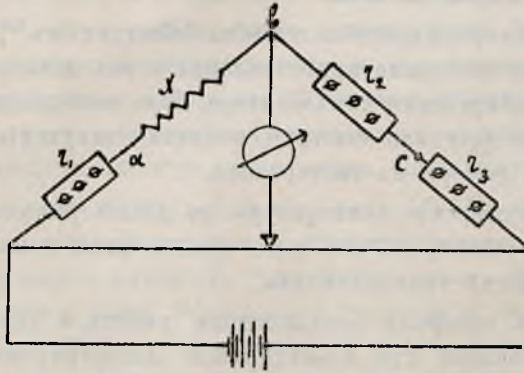
Считая практически важнымъ всестороннее выясненія явленія нагрѣванія діэлектриковъ въ приборахъ переменнаго тока примѣняемыхъ въ технику, я приступилъ къ испытанію одного изъ самыхъ однородныхъ и легко опредѣляемыхъ діэлектриковъ—парафина между обкладками конденсатора питаемаго переменнымъ токомъ городской центральной станціи.

Такъ какъ желательно было выяснить самъ фактъ нагрѣванія начиная съ самыхъ низкихъ напряженій, то я по совѣту проф. Weber'a примѣнилъ методъ непосредственнаго измѣренія возрастанія температуры при посредствѣ болометра. Прежде чѣмъ приступить къ работѣ съ діэлектриками я занялся выборомъ проволоки для болометра и изслѣдованіемъ чувствительности болометрической схемы приборовъ предоставленныхъ въ мое распоряженіе.

**Изслѣдованіе проволокъ.** Для разнаго сорта платиновыхъ проволокъ опредѣлялся ихъ температурный коэффициентъ измѣненія сопротивленія путемъ измѣренія сопротивленія мостикомъ Уитстона при 0° въ тающемъ льдѣ и при комнатной температурѣ, температура измѣрялась ртутнымъ термометромъ съ точностью до десятой доли градуса. Мостикъ примѣнялся проволочный (фиг. 1)  $r_1, r_2, r_3$  ящики сопротивленій,  $x$  — изслѣдуемая проволока. Гальванометръ послѣдовательно присоеди-

<sup>22)</sup> Schaufelberger. Annalen der Physique Chemie. 1899, T. 67, стр. 307

нялся къ точкамъ  $a$ ,  $b$  и  $c$  и по положенію контакта на проволокахъ соотвѣтствующему этимъ тремъ случаямъ включенія гальванометра,



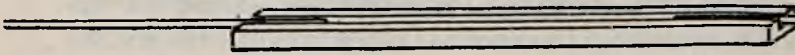
Фиг. 1.

разсчитывались величины  $x$ . Измѣреніе повторялось второй разъ при перемѣнѣ положенія реостатовъ  $r_2$ ,  $r_3$  и  $r_1$ ,  $x$ . Положеніе контакта на полтора метровой шкалѣ опредѣлялось путемъ интерполяціи по отклоненію гальванометра.

Послѣ испытанія нѣсколькихъ сортовъ, платиновыхъ проволокъ, я оставилъ на проволоку изъ

самой чистой платины фабрики Heräus'a въ Напау толщиною въ 0,03 мм.

Проволоки эти испытывались припаянными къ мѣднымъ стерженькамъ укрѣпленнымъ на деревянной палочкѣ съ углубленіемъ, гдѣ именно и помѣщалась платиновая проволока (фиг. 2).



Фиг. 2.

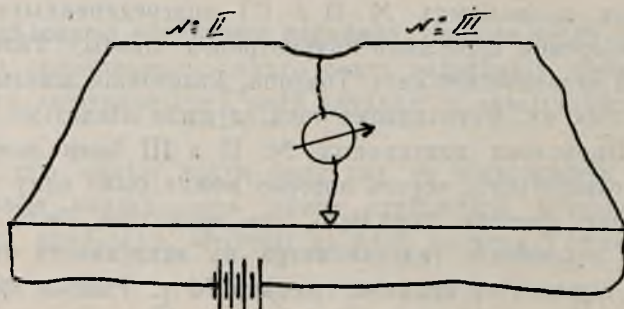
Температурный коэффициентъ измѣненія сопротивленія опредѣлялся для четырехъ кусковъ проволоки обозначенныхъ номерами I, II, III, IV. Сопротивленія въ схемѣ мостика Унтстона примѣнялись:  $r_1 = 0,2\Omega$ ,  $r_2 = 7,3\Omega$ ,  $r_3 = 1,3\Omega$ . Комнатная температура колебалась отъ  $18,02$  до  $19,08$ .

Данные относительно сопротивленій проволокъ, температуръ и разсчитанныхъ по этимъ даннымъ коэффициентовъ приведены въ таблицѣ I-ой. Средній коэффициентъ  $\alpha = 0,003852$ .

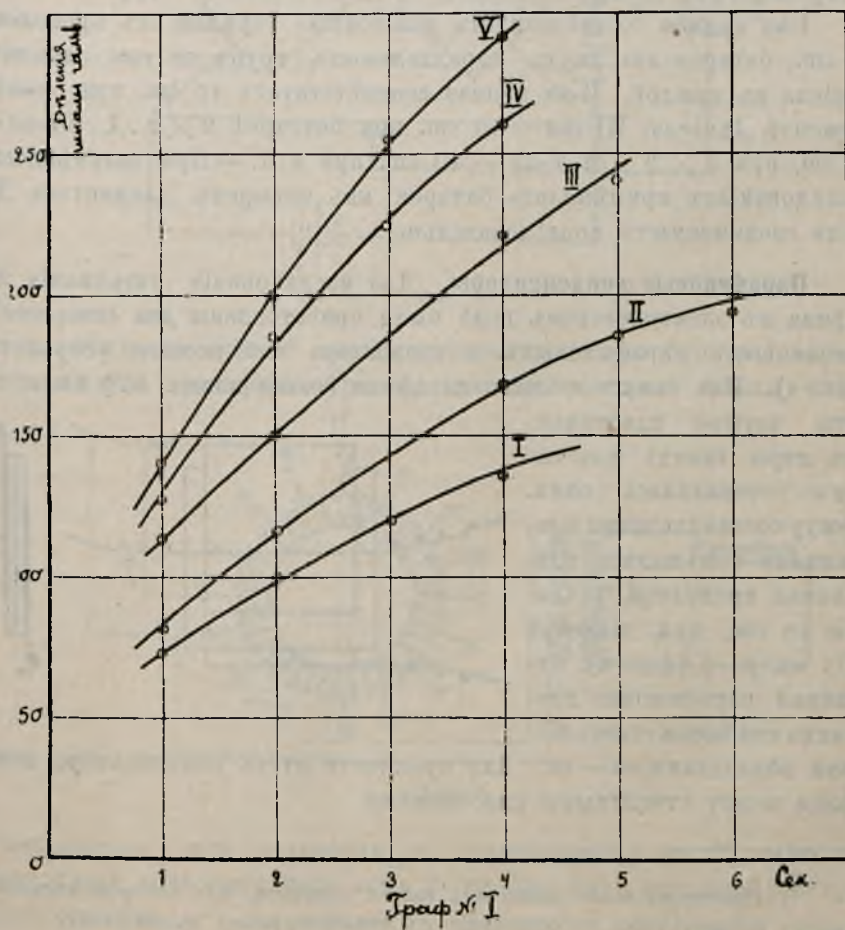
I-ая.

№ проволоки	$t$	$x_t$	$x_0$	$\alpha$
I	$19,05$	7,6676	7,0968	0,004124
II	$19,07$	7,4784	6,9726	0,003682
III	$19,08$	7,4638	6,9546	0,003698
IV	$18,02$	7,1857	6,7087	0,003906

Испытаніе чувствительности метода. Для того чтобы получить нѣкоторое представленіе о чувствительности метода, который пред-



Фиг. 3.



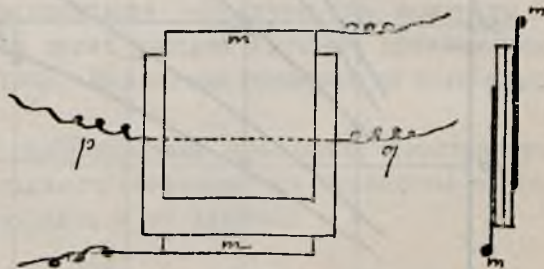


полагалось примѣнить для изслѣдованія нагрѣванія парафина въ электростатическомъ полѣ, составленъ былъ мостикъ (фиг. 3) изъ платиновыхъ проволочекъ № II и III присоединенныхъ мѣдными къ нейзильберовой проволоки полуметровой шкалы. Гальванометръ примѣнялся аstaticескій сист. Томсона. Разстояніе шкалы отъ гальванометра 1800 мм. Источникомъ тока служило нѣсколько элементовъ Даніеля. Проволоки платиновыя № II и III были помѣщены въ ящикъ съ отверстіемъ, черезъ которое можно было одну изъ проволокъ освѣщать газовой горѣлкой, эта проволока была закована. Измѣненіе отклоненія гальванометра въ зависимости отъ времени освѣщенія выразилось кривыми графика № 1. Разныя кривыя соответствуютъ разнымъ разстояніямъ горѣлки отъ проволоки и разному числу элементовъ, включенныхъ послѣдовательно или группами.

I-ая кривая соответствуетъ разстоянію горѣлки отъ проволоки 50 см., батарея изъ двухъ параллельныхъ группъ по три элемента Даніеля въ каждой. II-ая кривая соответствуетъ 40 см. при одномъ элементѣ Даніеля, III-ья — 40 см. при баттарей  $2 \times 2$  Д., IV-ая — 40 см. при  $2 \times 3$  Д и V-ая — 40 см. при 4 Д. — При дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ примѣнялась батарея изъ четырехъ элементовъ Даніеля соединяемыхъ послѣдовательно.

**Парафиновые конденсаторы.** Для изслѣдованія нагрѣванія парафина въ электрическомъ полѣ были приготовлены два совершенно одинаковыхъ парафиновыхъ конденсатора слѣдующаго устройства (фиг. 4). Изъ самаго чистаго парафина (точка плавл.  $46^{\circ}$ ) были отлиты четыре пластинки.

Изъ пары такихъ пластинокъ составлялась одна. Между составляющими пластинками помѣщалась платиновая проволока <sup>1)</sup> длиною 18 см. при діаметрѣ 0,03 мм.  $p-q$  (фиг. 4). Составная парафиновая пластинка снабжена станиольевыми обкладками  $m-m$ . Для прочности этотъ конденсаторъ помѣщался между стеклянными пластинками.



Фиг. 4.

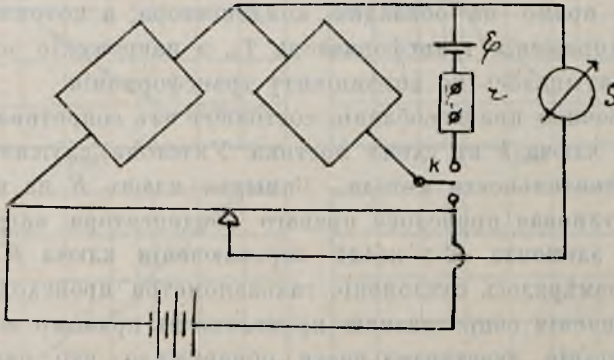
<sup>1)</sup> Проволока была взята изъ той-же катушки, изъ которой нѣсколько кусковъ испытывалось по отношенію къ температурному коэффициенту.



Толщина сложной парафиновой пластинки составляла 2,8 мм. Въ другомъ точно такомъ же конденсаторѣ она составляла 2,9 мм.

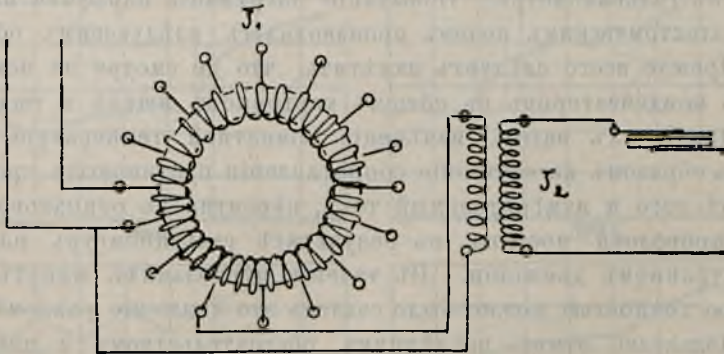
**Изслѣдованіе нагрѣванія парафина.** Прежде всего рѣшено было провѣрить существованіе самого факта нагрѣванія парафина въ перемѣнномъ электрическомъ полѣ начиная съ самыхъ низкихъ напряженій.

Съ этою цѣлью взяты были два по возможности одинаковые парафиновые конденсатора выше описаннаго устройства и ихъ платиновы проволоки введены въ цѣпь мостика Уитстона (фиг. 5).



Фиг. 5.

Обкладки правой пластинки сообщались съ борнами высокаго напряженія трансформатора  $T_2$  (фиг. 6), котораго борны низкаго



Фиг. 6

напряженія были соединены съ трансформаторомъ  $T_1$ . Въ этотъ послѣдній трансформаторъ токъ поступалъ изъ городской центральной станціи.

Трансформаторъ  $T_2$ —фирмы Шукерта типъ Е II № 5243 вольт-метровый, для трансформации напряженія съ 1100 V на 110 V.

Трансформаторъ  $T_1$ —изготовленъ мастерской Цюрихской лабораторіи съ сердечникомъ изъ тонкой желѣзной полосы свернутой въ нѣсколько витковъ. Намотка изъ мѣдной проволоки образуетъ  $87\frac{1}{2}$  витковъ съ рядомъ зажимовъ отвѣтвленныхъ отъ разнаго числа витковъ, дающихъ возможность въ широкихъ предѣлахъ мѣнять коэффициентъ трансформации.

Напряжение переменнаго тока измѣрялось электростатическимъ вольтметромъ системы Томсона. Пока допускала шкала вольтметръ включался прямо на обкладки конденсатора, а потомъ на борны низкаго напряженія трансформатора  $T_2$ , а напряжение на конденсаторѣ рассчитывалось по коэффициенту трансформации.

Добавочное приспособленіе состоящее изъ сопротивленія  $r$ , элемента  $E$  и ключа  $k$  въ схемѣ мостика Уитстона служило для испытанія чувствительности метода. Замыкая ключъ  $K$  на верхній контактъ, платиновая проволока праваго конденсатора нагрѣвалась токомъ отъ элемента  $E$  и послѣ переключенія ключа  $K$  на нижній контактъ измѣрялось отклоненіе гальванометра происходящее вслѣдствіи увеличенія сопротивленія проволоки въ правомъ конденсаторѣ.

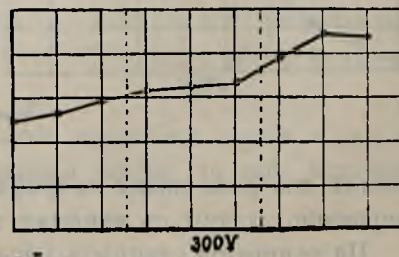
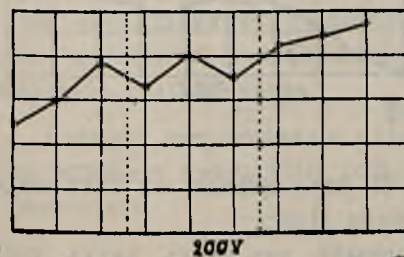
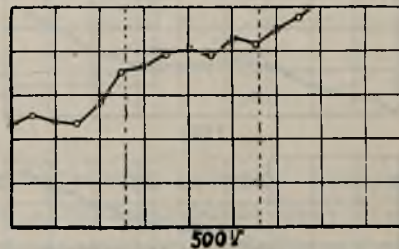
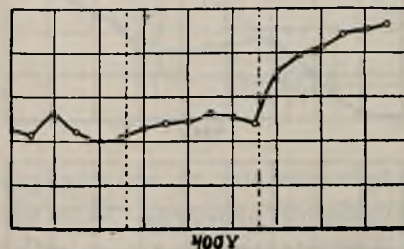
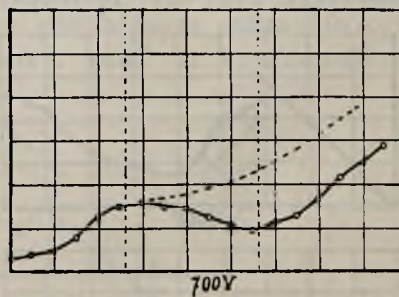
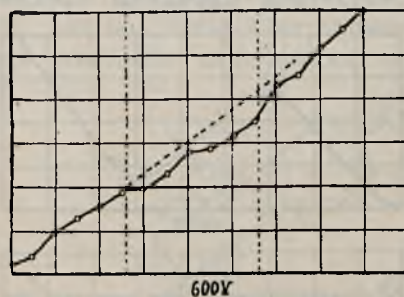
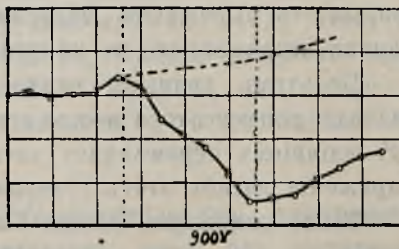
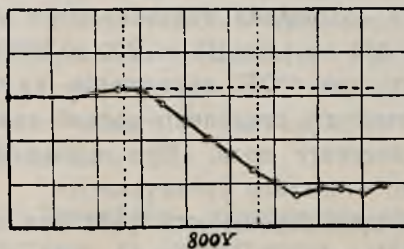
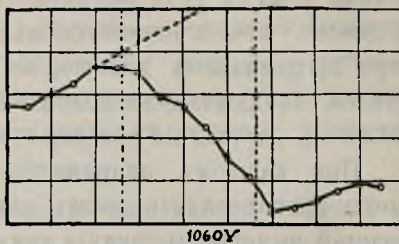
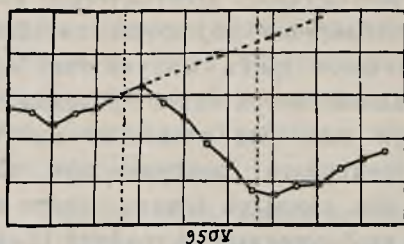
Испытаніе чувствительности обнаружило, что нагрѣваніе токомъ отъ одного элемента Даніеля при  $r = 100\Omega$  въ теченіе пяти секундъ вызывало отклоненіе гальванометра въ границахъ отъ 10-ти до 30-ти дѣленій въ зависимости отъ положенія астазирующаго магнита въ гальванометрѣ. Испытаніе нагрѣванія парафина переменнымъ электрическимъ полемъ производилось слѣдующимъ образомъ:

Прежде всего слѣдуетъ замѣтить, что не смотря на помѣщеніе обоихъ конденсаторовъ въ общемъ картонномъ ящикѣ и тщательное обертываніе ихъ ватою, измѣненіе комнатной температуры вліяло явнымъ образомъ на состояніе сопротивленія платиновыхъ проволокъ. а кромѣ того и измѣрительный токъ, вѣроятно не одинаково нагрѣвалъ проволоки мостика, въ результатѣ гальванометръ находился въ постоянномъ движеніи. Въ теченіи нѣсколькихъ минутъ съ извѣстною точностью можно было считать это движеніе равномернымъ.

Пользуясь этимъ послѣднимъ обстоятельствомъ я наблюдалъ положеніе гальванометра при посредствѣ шкалы и трубы въ теченіи цѣлаго ряда моментовъ въ первыхъ опытахъ черезъ каждую минуту въ послѣдующихъ черезъ полъ минуты.

Отчеты сначала производились въ отсутствіи электрическаго поля въ теченіе двухъ или двухъ съ половиною минутъ, потомъ,





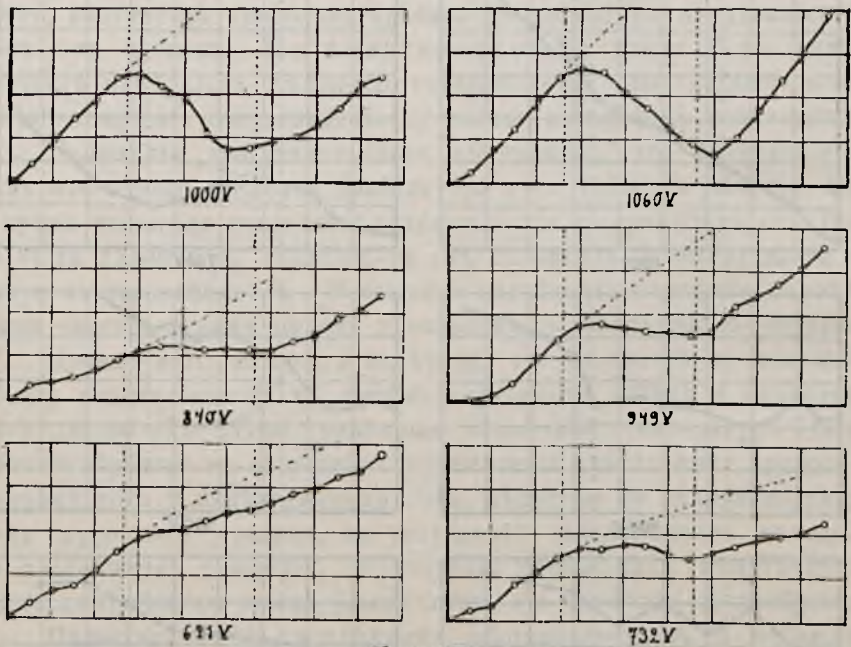
Graph No. 11

замыкая токъ въ трансформаторахъ возбуждалось электрическое поле въ одномъ изъ конденсаторовъ, а наблюденіе положенія гальванометра продолжалось дальше, по истеченіи трехъ минутъ токъ прерывался, наблюденіе-же положенія гальванометра опять продолжалось дальше въ отсутствіи электрическаго поля еще нѣсколько минутъ.

При каждомъ напряженіи переменнаго электрическаго поля отчеты производились десять разъ, изъ каждаго такихъ десяти наблюденій вычерчены среднія кривыя изображенныя на графикѣ II-омъ. Кривыя эти выражаютъ зависимость положенія гальванометра отъ времени, выраженнаго въ минутахъ, для напряженій съ 200 до 1060V.

По этимъ кривымъ видно, что при 600V напряженія на обкладкахъ конденсатора можно ясно замѣтить отклоненіе кривой внизъ подъ влияніемъ переменнаго электрическаго поля. При повышеніи напряженія изгибъ этотъ совершенно отчетливо увеличивается.

Выше описанные опыты были произведены еще разъ при напряженіяхъ отъ 621 до 1060V и результаты выражены средними



Граф. № III

кривыми изображенными на графикѣ III-емъ; кривыя эти какъ видно совершенно сходны съ кривыми графика II-ого.

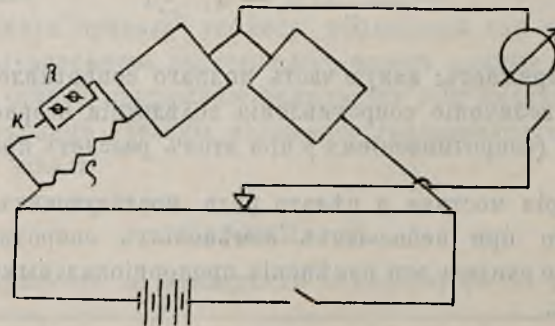
На основаніи данныхъ полученныхъ изъ этихъ двухъ серій



опытовъ слѣдуетъ заключить, что парафинъ въ переменномъ электростатическомъ полѣ безусловно нагревается и степень нагреванія возрастаетъ быстрее, чѣмъ напряженіе; это послѣднее обстоятельство легко обнаружить, сравнивая послѣдовательныя кривыя графиковъ II-ого или III-яго.

Выраженіе въ формѣ математической зависимости степени нагреванія парафина отъ напряженія поля на основаніи данныхъ выше описанныхъ опытовъ является затруднительнымъ ввиду того, что наблюдавшіеся отклоненія гальванометра вообще довольно малы и сильно подвержены вліянію внѣшнихъ причинъ не имѣющихъ ничего общаго съ нагреваніемъ діэлектрика подѣ дѣйствіемъ электрическаго поля.

**Опредѣленіе зависимости возрастанія температуры парафиновой пластинки въ переменномъ электрическомъ полѣ отъ напряженія поля.** Для полученія количественныхъ результатовъ схема болометра была измѣнена слѣдующимъ образомъ: (фиг. 7) послѣдовательно



Фиг. 7.

съ проволокою въ конденсаторѣ подвергаемому дѣйствію электрическаго поля, включено сопротивленіе  $r$ , параллельно къ нему присоединенъ ящикъ сопротивленій  $R$  съ выключателемъ  $K$ . Замыкая ключъ  $K$  при опредѣленномъ сопротивленіи  $R$  измѣняется сопротивленіе вѣтви мостика  $ab$  и наблюдается соответствующее этому измѣненію отклоненія гальванометра.

Называя сопротивленіе платиновой проволоки черезъ  $r$ , мы можемъ выразить уменьшеніе сопротивленія вѣтви  $ab$  при включеніи  $R$  разностью:

$$(r + r) - \left( r + \frac{R \cdot r}{R + r} \right) = k \cdot (r + r)$$

По особымъ измѣреніямъ оказалось  $r = 21,5 \Omega$ , а  $\rho = 0,0163 \Omega$ . Коэффициентъ  $k$  вычисленъ для разныхъ  $R$  и величина его указана въ таблицѣ II-ой.

II

$R$	$k$
1	$1,219 \cdot 10^{-5}$
2	$0,614 \cdot 10^{-5}$
3	$0,410 \cdot 10^{-5}$

При возрастаніи температуры платиновой проволоки на  $\Delta t$  градусовъ увеличеніе сопротивленія вѣтви  $ab$  мостика можно выразить формулою:

$$\frac{r \cdot \alpha \cdot \Delta t}{r} = \alpha \cdot \Delta t$$

тутъ  $\alpha \Delta t$  выражаетъ: какую часть полного сопротивленія вѣтви  $ab$  составляетъ увеличеніе сопротивленія вслѣдствіи возрастанія температуры на  $\Delta t$  (сопротивленіемъ  $\rho$  при этомъ расчетѣ пренебрегаемъ).

Изъ теоріи мостика и цѣлаго ряда послѣдующихъ наблюденій вытекаетъ что при небольшихъ измѣненіяхъ сопротивленія вѣтви мостика можно считать эти измѣненія пропорціональными отклоненію гальванометра.

Обозначая черезъ  $\beta$  отклоненіе гальванометра вслѣдствіи нагрѣванія парафина, а черезъ  $\gamma$  отклоненіе гальванометра вслѣдствіи введенія сопротивленія  $R$  параллельно сопротивленію  $\rho$ , можемъ написать

$$k = G \cdot \gamma; \quad \alpha \Delta t = G \cdot \beta$$

гдѣ  $G$  — постоянная. Изъ выше написанныхъ равенствъ вытекаетъ:

$$\Delta t = \frac{k}{\alpha} \cdot \frac{\beta}{\gamma} = C \cdot \beta;$$

тутъ  $C = \frac{k}{\alpha \cdot \gamma}.$



Опыты для опредѣленія степени нагрѣванія парафина были произведены при напряженияхъ на обкладкахъ конденсатора отъ 1500 до 4300 V. Для полученія этихъ болѣе высокихъ напряженій трансформаторъ  $T_2$  чер. 6 былъ замѣщенъ трансформаторомъ вольт-метровымъ Сименсъ—Шукерта модель  $E 4^a$  № 5648 110V : 4500V.

Работа производилась слѣдующимъ образомъ. Прежде всего для данныхъ условій опыта опредѣлялась постоянная  $C$ , путемъ измѣренія отклоненія вызываемаго включеніемъ сопротивленія  $R$  чер. 7; обыкновенно производилось пять наблюденій при разныхъ величинахъ  $R$ ; изъ всѣхъ отклоненій которыхъ было около двадцати пяти высчитывалась средняя величина  $C$ , согласно выше приведеннымъ формуламъ.

Затѣмъ опредѣлялось отклоненіе гальванометра получающееся подъ дѣйствіемъ напряжения на обкладкахъ конденсатора въ теченіи трехъ минутъ, опредѣленіе этого отклоненія повторялось приблизительно при томъ же напряженіи пять разъ.

Изъ пяти данныхъ рассчитывалось среднее отклоненіе и среднее напряженіе.

Для примѣра приведу таблицу наблюденій для одного случая. Положеніе гальванометра записывалось черезъ каждыя полъ минуты. При первомъ отчетѣ напряженіе включается при послѣднемъ выключается. Въ таблицѣ указаны положенія гальванометра выраженные въ дѣленіяхъ шкалы.

ТАБЛИЦА III.

V — напряженіе на обкладкахъ конденсатора въ вольтахъ.

V	3070	3085	3065	3085	3075
	41,5	27,0	24,0	55,0	31,5
	28,5	28,5	13,0	57,0	32,5
	16,5	20,0	0,5	48,0	22,0
	10,0	10,0	— 9,0	36,0	11,5
	— 4,0	— 1,0	—19,0	26,5	0,0
	—14,0	—13,0	—33,0	14,0	—12,0
	—25,0	—23,0	—43,0	0,5	—24,0

По даннымъ этой таблицы среднее отклоненіе въ теченіи трехъ минутъ получается  $\beta = 59$ , а среднее напряженіе 3062 V.

Испытаніе чувствительности для этого случая было произведено слѣдующимъ образомъ.

Отклоненіе гальванометра при введеніи реостата  $R$  указано въ таблицѣ IV.

ТАБЛИЦА IV.

$R$	3 $\Omega$	3 $\Omega$	2 $\Omega$	1 $\Omega$	1 $\Omega$
	16,0	11,5	27,5	56,0	57,0
	16,0	12,5	26,0	58,0	60,0
	17,5	15,0	33,0	58,0	59,0
	16,0	15,5	28,0	57,0	61,0
	16,5	16,0	27,0	58,5	62,0

Среднее отклоненіе при 3  $\Omega$  — 15,3; при 2  $\Omega$  — 28,4 и при 1  $\Omega$  — 58,8.

По этимъ отклоненіямъ, которыя я раньше обозначилъ буквою  $\gamma$  — рассчитываются отношенія  $\frac{\kappa}{\gamma}$  для разныхъ  $R$ . Въ разсматриваемомъ случаѣ и въ двухъ другихъ подробно не разсматриваемыхъ отношенія  $\frac{\kappa}{\gamma}$  получились слѣдующія при  $R$  — 1 — 2 и 3  $\Omega$ :

ТАБЛИЦА V.

$R$	$\frac{\kappa}{\gamma} \cdot 10^5$ случ. I-ый	$\frac{\kappa}{\gamma} \cdot 10^5$ случ. II-ой	$\frac{\kappa}{\gamma} \cdot 10^5$ случ. III-ий
1	0,02073	0,03233	0,01574
2	0,02163	0,03333	0,01647
3	0,02684	0,03366	0,01656



По этимъ даннымъ для каждого случая разсчитывалось среднее отношеніе  $\frac{\kappa}{\gamma}$  и постоянная  $C = \frac{\kappa}{\gamma \cdot \alpha}$ , причемъ  $\alpha$  принималось равнымъ 0,003852 на основаніи выше описанныхъ опытовъ. Для случая приведеннаго въ таблицѣ IV-ой  $C$  получается равнымъ  $5,98 \cdot 10^{-5}$ .

По этой постоянной и отклоненію взятому изъ III-ей таблицы получается приращеніе температуры парафина:

$$\Delta t = 5,98 \cdot 10^{-5} \cdot 59 = 353,93 \cdot 10^{-5}$$

при 3062 вольтахъ напряженія на обкладкахъ конденсатора.

Такимъ путемъ, были произведены нѣсколько разъ измѣренія возрастанія температуры парафина при разныхъ напряженіяхъ электрическаго поля. Результаты измѣреній приведены въ пяти таблицахъ: VI-ой, VII-ой, VIII-ой, IX-ой и X-ой.

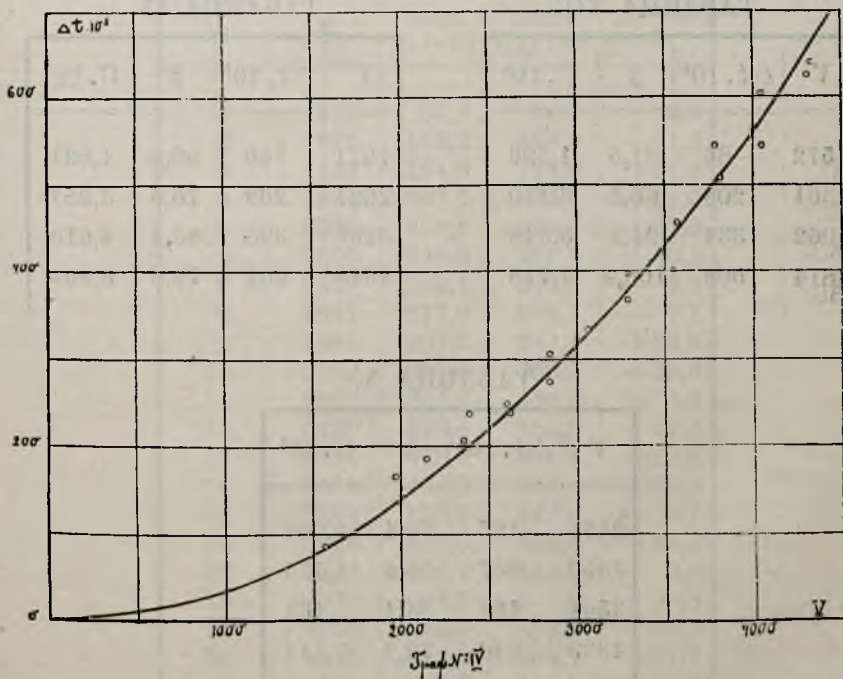


ТАБЛИЦА VI.

V	$\Delta t \cdot 10^5$	$\beta$	$C \cdot 10^5$
789	25	30	0,829
1564	83	104	0,794
2384	192	164,4	1 170
3334	385	41,2	9,348

ТАБЛИЦА VII.

V	$\Delta t \cdot 10^5$	$\beta$	$C \cdot 10^5$
2388	238	95,2	2,503
2600	248	75,4	3,290
2841	277	65,6	4,219
3062	353	59,0	5,988
3293	368	72,8	5,062
3545	402	76,8	5,284
3788	543	67,0	8,111
4053	545	63,4	8,594
4313	623	74,0	8,416

ТАБЛИЦА VIII.

V	$\Delta t \cdot 10^5$	$\beta$	$C \cdot 10^5$
1572	86	61,5	1,396
2361	208	66,8	3,110
3062	334	94,2	3,548
3814	508	106,4	4,778

ТАБЛИЦА IX.

V	$\Delta t \cdot 10^5$	$\beta$	$C \cdot 10^5$
1971	166	90,8	1,831
2621	239	70,6	3,387
3290	398	86,4	4,610
4048	604	72,0	3,393

ТАБЛИЦА X.

V	$\Delta t \cdot 10^5$	$\beta$	$C \cdot 10^5$
2153	185	69,4	2,663
2850	307	75,4	4,075
3564	456	88,4	5,161
4329	640	70,2	9,114



По даннымъ этихъ таблицъ на графикѣ № IV нанесены точки въ координатахъ  $\Delta t$  и  $V$ .

На основаніи уравненія:

$$\Delta t = K \cdot V^2$$

построена кривая, которая какъ видно довольно хорошо согласуется со средними значеніями величины  $\Delta t$  при разныхъ  $V$ .

Для построенія выше указанной кривой  $K$  рассчитано наиболѣе вѣроятное на основаніи теоріи наименьшихъ квадратовъ согласно уравненію:

$$K = \frac{\sum V^2 \Delta t}{\sum V^4}$$

Величина  $K$  получилась равною:  $35,19 \cdot 10^{-11}$ .

Для болѣе строгой оцѣнки того, на сколько результаты наблюденій отклоняются отъ кривой  $\Delta t = KV^2$  я рассчиталъ разности значеній величины  $\Delta t$  полученныхъ изъ выше указанной формулы и наблюденныхъ.

Результаты этихъ расчетовъ сопоставлены въ таблицѣ XI-ой, гдѣ выше упомянутыя разности обозначены буквою  $\eta$ .

ТАБЛИЦА XI.

№	$V$	набл. $\Delta t \cdot 10^5$	разсч. $\Delta t \cdot 10^5$	$\eta$
1	1572	85,8	86,7	— 0,9
2	1971	166,2	136,0	+21,8
3	2153	184,8	163,0	+21,8
4	2361	207,7	196,1	+11,6
5	2388	238,0	200,7	+37,3
6	2600	248,0	237,9	+10,1
7	2621	239,1	242,9	— 3,4
8	2841	277,0	284,1	— 7,1
9	2850	307,2	284,2	+23,0
10	3062	353,0	330,0	+23,0
11	3062	334,2	330,0	+ 4,2
12	3290	398,3	381,0	+17,3
13	3293	368,0	381,6	—13,6
14	3545	402,0	442,3	—40,3
15	3564	456,2	447,0	+ 9,2
16	3788	543,0	505,0	+38,0
17	3814	508,4	511,0	— 2,6
18	4048	604,3	560,0	+24,3
19	4053	545,0	579,5	—34,5
20	4313	623,0	654,7	—31,7
21	4329	639,8	658,0	—18,2

Изъ данныхъ этой таблицы средняя ошибка наблюденія будетъ:  
для  $\Delta t \cdot 10^5$ .

$$\sqrt{\frac{\sum \alpha^2}{21-1}} = \pm 23,55$$

а средняя ошибка для  $K \cdot 10^{11}$

$$\pm 23,55 \sqrt{\frac{1}{\sum V^4}} = 0,45.$$

Результаты описанныхъ опытовъ можно резюмировать слѣдующимъ образомъ:

1. Чистый парафинъ (темп. плав.  $46^\circ$ ) въ видѣ пластинки толщиной около 2,9 мм., помѣщенный между двумя станиольевыми пластинками, замѣтно нагревается въ переменномъ электрическомъ полѣ начиная съ разности потенциаловъ на обкладкахъ въ 600 вольтъ, при 50 періодахъ въ секунду.

2. При примѣненіи напряженія отъ 1572 до 4329 вольтъ степень возрастанія температуры парафина въ теченіи первыхъ трехъ минутъ послѣ включенія тока измѣняется вѣроятно всего пропорціонально квадрату напряженія. Въ границахъ выше указанныхъ напряженій возвышеніе температуры колебалось отъ 0,00086 до 0,00640 градусовъ Цельсія.

Испытанія подобнаго характера производились мною въ теченіи 1908 и 1909 г. въ лабораторіи Института, результаты обнаружили возрастаніе температуры парафина того-же порядка, что выше указаныя. Подробныхъ данныхъ относительно этихъ испытаний я не привожу, такъ какъ они еще только начаты.

Представленное мною сообщеніе я считаю только предварительнымъ, имѣя ввиду при посредствѣ болѣе совершенныхъ приборовъ и устройствъ достигнуть большей точности измѣреній и независимости отъ постороннихъ дѣятелей. Кромѣ того предполагаю примѣнить парафиновыя пластинки болѣе однородныя, приготовляя таковыя изъ одного цѣльнаго куска и обеспечивая плотное соприкосновеніе станиоля съ парафиномъ.

Дальше имѣю ввиду найти зависимость возрастанія температуры отъ числа переменъ въ секунду тока и отъ температуры діэлектрика, а примѣняя постоянный токъ высокаго напряженія попытаться установить какую долю возвышенія температуры слѣдуетъ приписать проводимости діэлектрика.

Наконецъ предполагается еще опредѣлить вліяніе формы кривой напряженія переменнаго тока.