

Б. М. ГОХБЕРГ, И. С. СТЕКОЛЬНИКОВ и А. З. ЭФЕНДИЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ПРОБОЯ ГАЗОВ И СКОРОСТИ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАВИН

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 12 IX 1952)

1. Как в теории Таунсенда — Роговского, так и в теории Мика и Леба, которыми до последнего времени описывается механизм развития разряда в газах, вопрос о причинах, определяющих различную электрическую прочность у разных газов, оставался открытым.

Этот вопрос ранее исследовался одним из нас (¹). В результате этих исследований было установлено, что основной величиной, определяющей пробой газа, является коэффициент ударной ионизации электронами α роста этого коэффициента с ростом величины электрического поля. Высказывались предположения, что величина коэффициента α будет значительно меньше в тех газах, в которых велики неупругие потери, при энергиях электронов, меньших энергии ионизации, и, соответственно, для начала ионизации в таких газах необходимы большие электрические поля.

Таким образом, вопрос о пробое газов и причинах, определяющих различную пробивную прочность разных газов, непосредственно связан с условиями движения электронов в электрическом поле.

При постановке нашей работы мы считали, что так как скорость развития лавины электронов непосредственно связана со скоростью движения электронов в электрическом поле, рационально заняться изучением скорости развития лавин электронов в различных газах, с сильно различающейся диэлектрической прочностью.

2. Скорость развития лавины электронов в воздухе при различных полях определялась Петером, однако эти измерения относились к довольно узкому интервалу изменения X/p , и поэтому их нельзя считать достаточно убедительными (как это подчеркивал и сам Петер (²)).

Мы поставили своей задачей проследить зависимость скорости лавин электронов от X/p при довольно широком диапазоне изменения X/p . Для исследования нами были выбраны воздух и элегаз SF_6 .

Для решения поставленной задачи было намечено провести исследование импульсного пробоя газов, измеряя время развития разряда при различных напряженностях электрического поля. Отметим, что, кроме решения поставленной задачи, исследование импульсного пробоя газов имеет и большое практическое значение в связи с различными применениями газовой изоляции.

При определении скорости развития электронных лавин мы исходили из представлений стримерной — однолавиновой теории пробоя. При приложении к газовому промежутку напряжения, достаточного для пробоя, от катода к аноду развивается электрическая лавина, которая переходит положительный стример, распространяющийся к катоду; этот стример распространяется со скоростью на порядок больше, чем скорость разви-

тия лавины электронов, и поэтому мы вправе считать, что время формирования разряда, в основном, определяется временем развития электронной лавины. Если создать такие условия эксперимента, при которых лавина электронов проходит всю длину газового промежутка, то частное от деления длины газового промежутка на время формирования разряда с достаточным приближением можно принять за скорость развития лавины электронов.

Таблица 1
Воздух

d , мм	ρ , мм рт. ст.	ω , %	τ , сек. $\cdot 10^{-8}$
1	740	15—53	22—1
2	370	10—84	18—1
4	185	4—84	51—1,8
8	93	3—86	63—1,8
2	748	1,5—83	65—1,5
8	190	9—87	37—2,5
3	762	6—57	20—2
6	381	8—83	35—3,4
4	760	0,6—61	40—1,6
8	376	5—61	30—3,5

3. При исследовании импульсного пробоя газов применялся осциллографический способ регистрации пробоя, с использованием высокоскоростных электронных осциллографов, разработанных в Энергетическом институте АН СССР.

Время запаздывания разряда определялось как время, проходящее от момента приложения напряжения пробоя к газовому промежутку до момента резкого провала напряжения, регистрируемого электронным осциллографом. В свою

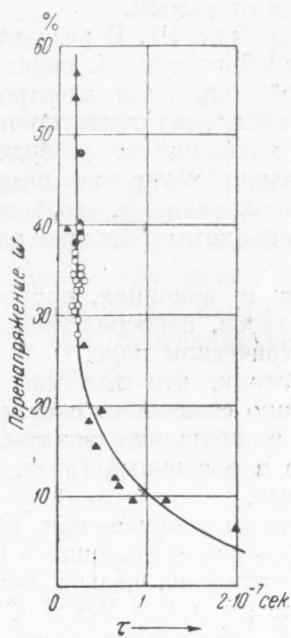


Рис. 1

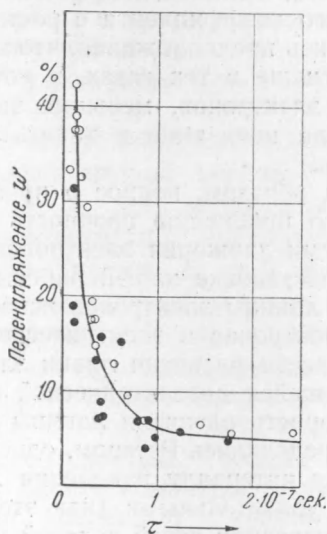


Рис. 2

очередь, время запаздывания разряда состоит из времени статистического запаздывания и времени формирования разряда. Для измерения времени формирования разряда при помощи электронного осциллографа необходимо время статистического запаздывания свести к столь малому значению, чтобы им можно было пренебречь по сравнению с временем формирования разряда.

Нами была разработана схема исследования импульсного пробоя, которая сводила время статистического запаздывания к величине меньшей 10^{-8} сек.

Изучая импульсный пробой газов при различных перенапряжениях, мы находили время формирования разряда в зависимости от напряженности поля.

4. Для воздуха времена формирования определялись при разных давлениях при различных длинах газового промежутка. В табл. 1 приведено описание различных серий измерений, проведенных в воздухе; в первом столбце указана длина газового промежутка d , во втором — давление газа p , в третьем и четвертом столбцах указаны для данной серии пределы изменения перенапряжения ω на газовом промежутке и, соответственно, пределы изменения времени формирования разряда τ .

На рис. 1 приведена типичная зависимость времени формирования разряда от перенапряжения на газовом промежутке для воздуха ($p = 762$ мм рт. ст., $d = 3$ мм).

Для элегаза, как и для воздуха, времена формирования разряда определялись при разных давлениях газа и разных длинах газового промежутка. На рис. 2 дается аналогичная зависимость τ от ω для элегаза при $p = 748$ мм рт. ст. и $d = 2$ мм.

Как отмечалось выше, по кривым зависимости времени формирования разряда от напряженности электрического поля, зная величину газового промежутка, можно определять скорость развития лавины электронов в зависимости от напряженности поля. Это определение скорости развития лавины можно сделать только в том случае, если пробой является однолавиновым и лавина электронов пересекает всю длину газового промежутка.

Если вся длина газового промежутка пересекается одной электронной лавиной и время формирования разряда задается скоростью лавина электронов, то увеличение длины газового промежутка должно вызывать пропорциональный рост времени формирования разряда (при постоянной напряженности поля и одном и том же давлении). Данные, полученные нами, подтверждают пропорциональный рост времени формирования разряда с увеличением длины газового промежутка, и это позволяет нам с достаточной достоверностью определять скорость развития лавины.

На рис. 3 приведена зависимость τ от d для воздуха и элегаза; наклоны этих прямых линий (проходящих через начало координат) дают значение скорости. Цифры над точками показывают число осциллограмм, данные по которым подвергались усреднению.

На рис. 4 представлены зависимости скорости лавин электронов в воздухе и элегазе от отношения X/p . Для воздуха значения X/p меняются

в пределах от 38 до 62 $\frac{\text{В/см}}{\text{мм рт. ст.}}$ и для элегаза от 83 до 111 $\frac{\text{В/см}}{\text{мм рт. ст.}}$ при

этом нижние пределы X/p соответствуют отношению статической пробивной прочности к давлению (при данных условиях опыта, т. е. при существовании освещения испытываемого газового промежутка, что несколько снижает напряжение пробоя).

Погрешность при вычислении скорости лавины растет с увеличением величины скорости, так как при данной длине газового промежутка с увеличением скорости уменьшается величина времени формирования, а

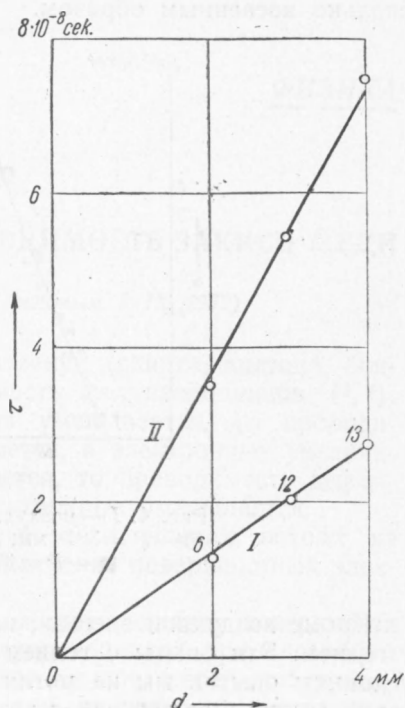


Рис. 3. I — воздух, $X = 40$ кв/см, $p = 742$ мм рт. ст.; II — элегаз, $X = 75$ кв/см, $p = 760$ мм рт. ст.

абсолютная ошибка в определении времени формирования остается постоянной. В среднем эта ошибка не более 10%.

Найденные нами значения скорости развития лавин электронов в воздухе находятся в удовлетворительном согласии со значениями скоростей, определенных другими авторами. Это сравнение позволяет нам с достаточной надежностью использовать наш материал по определению скоростей электронных лавин, полученный не непосредственным, а несколько косвенным образом.

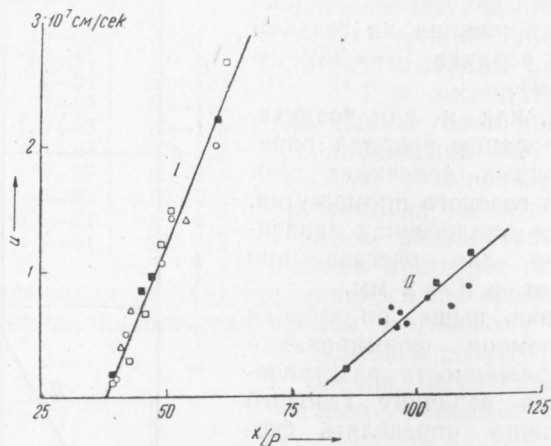


Рис. 4. I — воздух. Δ — $P = 760$ мм рт. ст., $d = 3$; \circ — $P = 381$ мм, $d = 6$; \square — $P = 752$ мм, $d = 4$; \blacksquare — $P = 376$ мм, $d = 8$ II — аргон

Кроме воздуха и аргона, нами были проведены аналогичные опыты с гелием. Эти опыты с гелием являются только предварительными; по условиям опытов мы не могли использовать в них предельно чистый гелий (гелий был загрязнен воздухом и в нем пробивная прочность была всего приблизительно в 4 раза меньше пробивной прочности воздуха). По результатам этих предварительных опытов, скорость развития разряда (и, соответственно, скорость лавин) растет аналогично росту скорости лавин в воздухе, но только начало роста скорости в гелии лежит в области значений X/p приблизительно в 4 раза меньших, чем в воздухе.

5. На основании полученных нами результатов можно сделать следующие выводы.

1) Скорость развития лавин электронов в воздухе и аргоне, в первом приближении, является линейной функцией отношения X/p (в исследованном нами интервале изменения X/p).

2) Скорость развития лавины электронов является функцией не только X/p , но существенно зависит и от природы газа.

3) Для получения одинаковых скоростей развития электронных лавин, т. е. скорости движения электронов в направлении электрического поля, в разных газах требуются существенно различные поля, находящиеся в прямой связи с пробивной прочностью газов.

Институт физических проблем им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР и
Энергетический институт им. Г. М. Кржижановского
Академии наук СССР

Поступило
29 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. М. Гохберг, Изв. АН СССР, сер. физ., 10, 425 (1946). ² H. Raether, Zs. f. Phys., 107, 91 (1937).