

12

© 1990

ЭЛЕКТРОННО-ИНЕРЦИОННЫЕ ОПЫТЫ
С СОУДАРЯЮЩИМСЯ СТЕРЖНЕМ

Е.А. Девяткин

Классические электронно-инерционные опыты (ЭИО) Толмена-Стюарта с быстрой остановкой вращающейся катушки позволили определить отношение массы электрона к его заряду [1]. Катушка при торможении деформируется, что может приводить к возникновению в проводнике электрических полей (см., например, [2, 3]), гораздо больших по сравнению с полями, обусловленными электронно-инерционным эффектом. В работе [3] отмечено, что в известных ЭИО этими „деформационными” полями можно пренебречь, рассмотрен случай, когда они существенны, и предложена новая постановка ЭИО с соударяющимся стержнем. Описание аналогичных опытов содержится также в работе [4]. Такая постановка принципиально отличается от известных ЭИО Толмена-Стюарта волновым характером деформирования проводника, когда лишь в достаточно малой области на фронте волны одновременно реализуются значительные градиенты упругой деформации и очень большие продольные ускорения. Цель работы состоит в постановке ЭИО с соударяющимся стержнем и экспериментальном подтверждении положения о малости „деформационных” эффектов в них.

Дюралюминиевый стержень длиной 0,45 м и диаметром 9,8 мм разгонялся пневмометательным устройством и соударялся с укрепленной на массивной преграде пластиной, для предотвращения контактных явлений изготовленной из того же материала, что и стержень. В момент удара происходило замыкание электрической цепи, состоящей из пластины, трех метров кабеля РК-50 и части стержня длиной около 0,11 м (на таком расстоянии от торца стержня, приходящего в соприкосновение с пластиной, был укреплен алюминиевый хомутик, предназначенный для соединения одного из выводов кабеля со стержнем). Регистрация импульсов тока, возникающих в этой цепи при соударении, осуществлялась индукционным датчиком, выполненным на ферритовом кольцевом сердечнике марки М1500-НМ-А ($19,5 \times 10 \times 5$ мм³) и имеющим 60 витков провода ПЭЛШО-0,1. Осциллограф С8-13, регистрирующий сигнал с датчика, и сам датчик выносились от места соударения стержня с пластиной на расстояние около 3 м (на длину кабеля), достаточное для предотвращения возбуждения их звуковой волной, распространяющейся в воздухе от места соударения. Для подавления резонансных колебаний в колебательном контуре, состоящем из индуктивности обмотки датчика и емкости

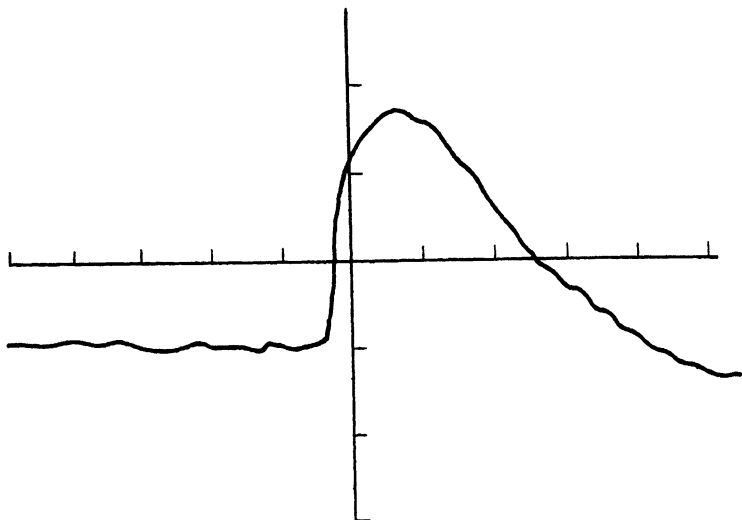


Рис. 1. Оциллограмма регистрируемых импульсов при $V = 4.89$ м/с (масштабы: по вертикали — 0.5 мВ/дел, по горизонтали — 2 мкс/дел).

входа осциллографа, параллельно им подключалось сопротивление величиной 470 Ом. Измеритель скорости стержня, выполненный на базе лазера ЛГ-78 и двух фотодиодов, измерял время пролета стержнем известного расстояния между двумя параллельными лучами. Синхронизация осциллографа производилась сигналом, возникающим при пересечении торцом стержня последнего по направлению его движения. Типичная оциллограмма сигналов с датчика и необходимая для расчета переходная характеристика, описывающая изменения в линейной системе, возникающие под действием скачка тока, представлены на рис. 1 и 2.

Для проведения численной оценки воспользуемся простейшей моделью распространения волн в стержне. Будем считать, что инерционный ток вызван, главным образом, продольной волной (поверхностные волны из-за малости занимаемого ими объема не рассматриваем), т.к. именно при ее распространении реализуются максимальные продольные ускорения. Поперечные изгибные волны в стержне вызывают в замкнутой цепи токи, обусловленные движением различных частей стержня во внешнем магнитном поле. Например, в магнитном поле Земли эти индукционные токи в известном смысле не малы, но при достаточно больших продольных деформациях стержня в нем возникают значительные продольные ускорения (простая оценка дает значения $\sim 10^6$ м/с²), в результате чего инерционные токи оказываются преобладающими. Для проверки этого была проведена серия опытов во внешнем магнитном поле, создаваемом системой колец Гельмгольца, которые показали, что

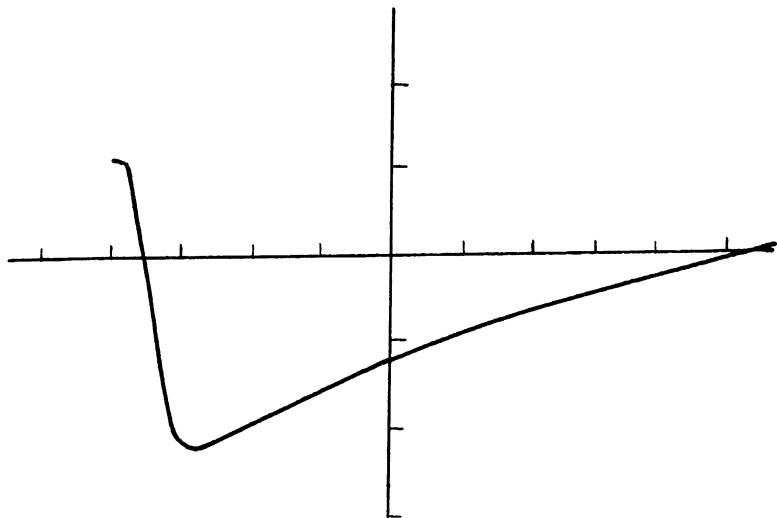


Рис. 2. Отклик системы на скачок тока $I^* = 0.94$ мА (масштабы: по вертикали - 2 мВ/дел, по горизонтали - 1 мкс/дел).

для данной экспериментальной установки изменения направления и величины внешнего магнитного поля в пределах, превышающих напряженность магнитного поля Земли более чем в три раза, не оказывают заметного влияния на величину и характер регистрируемых импульсов.

Проведем численную оценку величины сигнала, считая, что он вызван инерционными токами. Непосредственной проверкой установлено, что направление тока в опытах соответствует току, обусловленному движением по инерции отрицательных зарядов - электронов. Так как эффект имеет требуемый знак, последние в дальнейшем не учитывались. Наличие сил инерции в какой-нибудь части замкнутой цепи равносильно появлению в ней сторонней э.д.с. Работа в единицу времени, совершаемая этими силами над свободными электронами, заключенными в слое проводника толщиной l , движущимся с постоянным ускорением a , равна $P = maV_e nSl$, где m и n - масса и концентрация свободных электронов, S - площадь поперечного сечения проводника. Дрейфовая скорость электронов V_e при наличии в проводнике электрического поля $E = \frac{m}{\sigma} a$ определяется соотношением $V_e = \frac{m \sigma}{e^2} \frac{a}{n}$, здесь e - заряд электрона, σ - электропроводность. При протекании во „внешней“ цепи сопротивлением R стационарного тока I_0 в пренебрежении потерями в ускоряемом слое величина P равна мощности тепловыделения в этой цепи $I_0^2 R$. Таким образом, при распространении вдоль длинного однородного проводника со скоростью c продольной

упругой волны деформации с размером фронта, равным l , за которым скорость частиц равна нулю, а перед ним - V , в цепи течет постоянный ток $I_0 \approx \frac{m}{e} a \sqrt{\frac{6Sl}{R}} \sim \frac{m}{e} Vc \sqrt{\frac{6S}{Rl}}$. Для оценки предположим, что во время формирования фронта волны инерционный ток I в цепи в течение времени τ возрастал линейно со временем t от нуля до своего максимального значения I_0 : $I = I_0 \frac{t}{\tau} (l \sim c \cdot \tau)$. Аппроксимируя переходную характеристику (рис. 2) функцией $g(t) = \frac{g_0}{I^*} \exp(-\beta t)$, где $g_0 = -6.97 \cdot 10^{-3}$ В и $\beta = 0.15 \cdot 10^6$ с $^{-1}$, для регистрируемого напряжения получаем выражение:

$$U(t) = \int_0^t g(t-x) dI(x) = \begin{cases} \frac{g_0}{\beta \tau} \cdot \frac{I_0}{I^*} [1 - \exp(-\beta t)], & 0 \leq t \leq \tau \\ \frac{g_0}{\beta \tau} \cdot \frac{I_0}{I^*} [\exp(\beta \tau) - 1] \cdot \exp(-\beta t), & t \geq \tau \end{cases}$$

Максимальное значение напряжения достигается при $t = \tau$ и равно $U_{max} = \frac{g_0}{\beta \tau} \cdot \frac{I_0}{I^*} [1 - \exp(-\beta \tau)]$. Входящие в приведенные соотношения параметры имели следующие значения: $S = 75.4 \cdot 10^{-6}$ м 2 , $\sigma = 3.55 \cdot 10^7$ Ом $^{-1}$ м $^{-1}$, $R = 0.223$ Ом, $c = 5.42 \cdot 10^3$ м/с, подстановка которых дает значение $I_0 \approx 1.6 \cdot 10^{-4}$ А. Из осциллограммы рис. 1 определяем величину $\tau \approx 2 \cdot 10^{-6}$ с, тогда при $V = 4.89$ м/с и $\frac{m}{e} = 5.69 \cdot 10^{-12}$ кг/кл для максимального значения напряжения получаем величину $U_{max} \approx 10^{-3}$ В.

При незначительно отличающихся значениях скорости стержня имеется определенный разброс в амплитудах регистрируемых импульсов, например при $V = 4.77$ м/с она достигала значения $2.5 \cdot 10^{-3}$ В. Сравнение расчетного значения U_{max} следует, вероятно, проводить с максимальным экспериментальным значением, т.к. можно предположить, что именно в этих случаях образовывалась главным образом продольная волна, дающая основной вклад в инерционный ток.

Таким образом, в работе осуществлена постановка новых ЭИО с соударяющимся стержнем. Произведенная численная оценка, дающая совпадение результатов по порядку величины, допускает интерпретацию поставленных опытов в рамках электронно-инерционного эффекта и, вероятно, может свидетельствовать о малости „деформационных“ эффектов в них.

Выражаю благодарность А.С. Чурсину за предоставление для работы пневмометательного устройства и Т.М. Караджали за разработку конструкции измерителя скорости.

- [1] T o l m a n R.C., S t e w a r t T.D. // Phys. Rev. 1916. V. 8 N 2. P. 97-116.
[2] К о г а н Ш.М. // УФН. 1971. Т. 105. № 1. С. 157-161.
[3] Г и н з б у р г В.Л., К о г а н Ш.М. // ЖЭТФ. 1971. Т. 61. № 3. С. 1177-1180.
[4] Ц и д и л ь к о в с к и й И.М. // УФН. 1975. Т. 115. № 2. С. 321-331.

Институт проблем
механики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
23 мая 1989 г.
В окончательной редакции
2 октября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 3

12 февраля 1990 г.

04; 09

© 1990

СТРУКТУРА И ХАРАКТЕР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНИЦИИРОВАННОГО СВЧ - РАЗРЯДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.Г. Б р о в к и н, Ю.Ф. К о л е с н и ч е н к о

В последние годы СВЧ разряд, создаваемый пучком электромагнитных волн, становится объектом повышенного интереса со стороны плазмохимии, лазерной технологии и др. Одновременно продолжается изучение физики самого разряда, в которой до сих пор остается много неясного. Цель настоящей работы - показать, что принятый в настоящее время взгляд на характер распространения сильнонеоднородной формы инициированного СВЧ разряда [1, 2] встречает серьезные возражения в области высоких давлений. Согласно [1, 2], распространение разряда имеет характер скачков в пространстве - на некотором расстоянии перед фронтом разряда происходит последовательное рождение все новых и новых каналов.

Как уже указывалось в [3, 4], опирающаяся на эти представления модель не дает количественного согласия с экспериментом, причем расхождение по скорости разряда достигает полутора порядков величины (при $\frac{E}{N} \sim 10^{-16}$ В·см², E - среднеквадратичная напряженность электрического поля волны, N - концентрация нейтральных молекул газа). В [3, 4] было высказано предположение о пространственно непрерывном (связном) характере развития разряда и рассмотрена соответствующая такому представлению стримерная модель.