

## ИМИТАЦИЯ ДВИЖЕНИЙ ШАРОВОЙ МОЛНИИ

В.Я. Александров, И.В. Подмошенский,  
С.А. Салль

Известно, что самосветящиеся образования в воздухе содержат плазму (метеоры, пламена, сильные ударные волны, электрические разряды). Не вызывает также сомнений ионизация в газовой среде шаровой молнии (ШМ), а следовательно, ее проводимость [1]. В [2, 3] рассмотрено поведение проводящего шара в поле плоского конденсатора. При определенных условиях шар совершает автоколебания между пластинами, перезаряжаясь на них за счет электростатической индукции. Повышение напряжения, способное вызывать искровые разряды между шаром и пластинами, может приводить к перемещению колебательного процесса в среднюю часть промежутка и его пробую. В грозовом электрическом поле ШМ демонстрирует сложный набор движений: зависание над поверхностью земли, подскоки, вращение, гидирование предметами на расстоянии и прилипание к ним [1].

В настоящей работе изучалось поведение легких проводящих шаров в поле плоского конденсатора в воздухе при наличии коронного разряда с их поверхности. В таком случае шар, так же как и ШМ, представляет собой локализованный очаг ионизации, из которого осуществляется электрический вынос ионов разных знаков в противоположные стороны [4].

На плоский заземленный электрод  $\varnothing 30$  см помещался шар радиусом  $r = 2$  см и массой  $m = 0.1$  г, сплетенный из проволоки  $\varnothing 150$  мкм (диаметр проволоки определял условия коронирования). К такому же верхнему электроду, расположенному на расстоянии  $d = 30$  см от первого (рис. 1), прикладывалось регулируемое напряжение отрицательной полярности  $U = 50-160$  кВ. Шар мог свободно перемещаться по вертикально натянутой между электродами капроновой нити. При  $U = 60-90$  кВ шар совершал автоколебания между электродами. С ростом напряжения его поведение становилось неоднозначным: автоколебания происходили с перезарядкой либо на верхнем, либо на нижнем электроде без касания противоположного. Далее амплитуда колебаний уменьшалась, и шар зависал вблизи верхнего или нижнего электродов. Увеличение напряжения приводило к перемещению обеих точек зависания к середине промежутка. На рис. 2 представлена вольт-амперная характеристика промежутка, состоящая из двух ветвей, соответствующих верхнему (1) и нижнему (2) положениям зависания. Точка влияния ветвей соответствует зависанию шара в середине промежутка. Зависание шара сопровождалось его вращением в произвольном направлении со скоростью до 5 об/с. Однако если под воздействием внешней силы шар приближался к какому-либо из электродов, то затем сампроизвольно прилипал к нему. При этом через остающийся

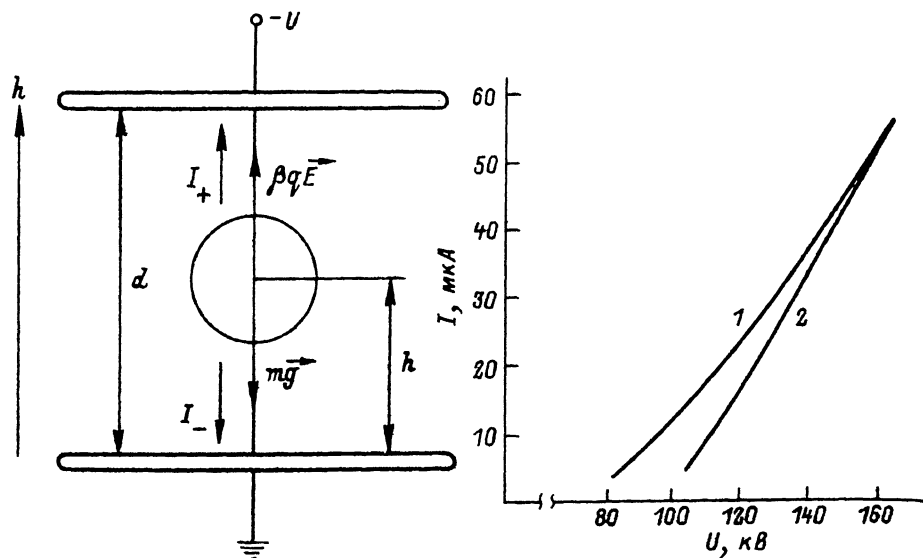


Рис. 1. Шар в поле плоского конденсатора.

Рис. 2. Вольт-амперная характеристика промежутка.

между шаром и электродом зазор 1–3 мм на большой частоте шел искровой разряд. Осциллограмма тока в цепи питания у данного электрода представляла собой непрерывно следующие с частотой около 1 кГц короткие импульсы.

Для проверки влияния на поведение шара его массы и способности его поверхности к коронированию были испытаны следующие конструкции: шар из проволоки  $\varnothing 150$  мкм массой 0.2 г; пенопластовый шар массой 0.5 г с наклеенными тонкими полосками фольги; вырезанный из полого пластмассового шара каркас массой 0.5 г с натянутой между его образующими проволокой  $\varnothing 50$  мкм; мяч для игры в настольный теннис массой 2.5 г с проводящей графитизированной поверхностью. Увеличение массы проволочного шара привело к небольшому смещению характерных режимов движения в сторону больших напряжений. Снижение порога коронирования в случае пластмассового каркаса с проволокой привело к исключению режима автоколебаний между электродами, в то время как теннисный упругий шарик с плохо коронирующей поверхностью совершал колебательные движения между электродами с возрастающей частотой вплоть до пробоя промежутка.

Пренебрегая неоднородностью поля, вносимой короной, запишем необходимые для зависания шара условия:

$$\beta q \vec{E} + m \vec{g} = 0, \quad (1)$$

$$I_+ = I_-, \quad (2)$$

$$\frac{d(\beta q)}{dh} < 0, \quad (3)$$

где  $mg$  - сила тяжести,  $q$  - заряд шара,  $\vec{E}$  - напряженность поля в промежутке при отсутствии шара,  $I_+$  и  $I_-$  - токи положительных и отрицательных ионов (рис. 1),  $\beta$  - коэффициент, учитывающий силу зеркального отражения;  $\beta=1$  вдали от электродов. Условия (1) и (2) очевидны, а (3) обеспечивает устойчивость равновесия, т. е. возвращение шара в прежнее положение после воздействия на него малой возмущающей силы. Возникающие у точки равновесия колебания затухают вследствие диссипативных процессов.

Расположение точек устойчивого равновесия определяется характером зависимости  $I(h)$ . В сильном электрическом поле, когда область коронирования на поверхности шара расширена, ток короны шар - плоскость с удалением от плоскости монотонно уменьшается, что связано с "запиранием" короны объемным зарядом (как в случае системы электродов плоскость - плоскость,  $I \sim (Eh)^2 h^{-3} \sim E^2 h$ ). Тогда, в силу почти одинаковой подвижности положительных и отрицательных ионов [5], точка устойчивого равновесия должна находиться вблизи середины промежутка. Условие (3) при этом автоматически выполняется. В поле с пониженной напряженностью коронирует лишь вершина шара. При малых  $h$ , по аналогии с короной плоскость - плоскость,  $I \sim E^2 (h-r)^{-3}$ . При удалении от электрода зависимость  $I(h)$  плавно меняет свой характер и становится слабо возрастающей (ток короны острее - плоскость возрастает, если пропорционально увеличивать расстояние и прикладываемое к острию напряжение). В результате условие (2) выполняется уже в трех точках: вблизи обоих электродов и середины промежутка. В первых двух точках условие (3) выполняется, и равновесие устойчивое, а в середине промежутка - не выполняется, и зависание шара не наблюдается. С ростом напряжения точки устойчивого равновесия перемещаются к середине промежутка и сливаются.

В случае подвески шара на искре разряд емкости шар - плоскость увеличивает разность потенциалов между шаром и противоположным электродом, а следовательно, и ток короны. В результате достигается равенство средних токов искры и короны.

Вращение шара происходит вследствие неустойчивости сходящегося к очагу ионизации радиального движения воздуха [6]. Начальный импульс вращению шара придают кулоновские силы из-за естественной асимметрии поля на поверхности шара.

Итак, очевидны аналогии в поведении коронирующего шара и ШМ: 1) зависание в промежутке и гидирование ШМ предметами (в т.ч. поверхностью земли); 2) подскоки на нижнем электроде и на поверхности земли; 3) прикрепление к электродам и различным предметам; 4) вращение, наблюдающееся у ШМ в 30% случаев [1].

Однако следует отметить некоторые отличия лабораторных и природных условий. Во-первых, напряженность грозового электриче-

ского поля на 1-2 порядка ниже, чем в наших опытах; во-вторых, поверхность ШМ не коронирует, а эмитирует заряженные частицы; в-третьих, при движении ШМ над поверхностью земли, которая является нижним электродом, верхний отсутствует, и ионный ток, текущий наверх, разносится ветром. Эти отличия существенны для количественного описания движений ШМ, но непринципиальны для физической стороны вопроса. По-видимому, наибольшее приближение к условиям ШМ в наших опытах достигалось при испытаниях шара с очень тонкой, легко коронирующей проволокой.

### Л и т е р а т у р а

- [1] С та х а н о в И.П. О физической природе шаровой молнии. М.: Энергоатомиздат, 1985. 208 с.
- [2] М я з д р и к о в О.А. Электродинамическое псевдооживление дисперсных систем. Л.: Химия, 1984. 160 с.
- [3] И о с с е л ь Ю.Я. Электрические поля постоянных токов. Л.: Энергоатомиздат, 1986. 160 с.
- [4] П о д м о ш е н с к и й И.В., А л е к с а н д р о в В.Я. - ЖТФ, 1985, т. 55, № 11, с. 2129-2133.
- [5] В е р е щ а г и н И.П., Л е в и т о в В.И., М и р з а б е к я н Г.Э. и др. Основы электрогазодинамики дисперсных систем. М.: Энергия, 1974. 480 с.
- [6] А л е к с а н д р о в В.Я., П о д м о ш е н с к и й И.В., С а л л ь С.А. Письма в ЖТФ, 1986, т. 12, № 20, с. 1230-1233.

Поступило в Редакцию  
4 апреля 1987 г.  
В окончательной редакции  
13 января 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 7

12 апреля 1988 г.

### НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ВОЛНОВОДОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛООБРАЗНОГО $As_2S_3$

А.Ю. В и н о г р а д о в, Э.А. С м о р г о н с к а я,  
Е.И. Ш и ф р и н

В работах [1, 2] обнаружены и исследованы значительные по величине эффекты фоторефракции и фотопоглощения в пленках халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) при оптическом возбуждении выше края фундаментального поглощения. Эти результаты стимулировали изучение нелинейных оптических свойств пленок ХСП в традиционном однолучевом варианте при возбуждении в области слабой дисперсии.