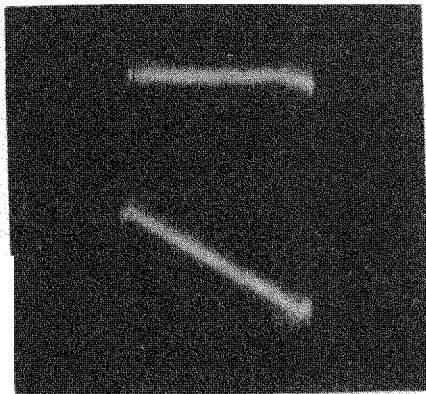


## ОПТИЧЕСКИ ИНИЦИИРУЕМЫЙ НАПРАВЛЕННЫЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРОБОЙ В ГАЗЕ

А.Г.Ахманов, Л.А.Ривлин, В.С.Шильдлеев

Успехи в генерировании интенсивного когерентного ультрафиолетового излучения [1] открывают возможность наблюдать плазменные следы ультрафиолетового пучка в газе и различные связанные с этим электрические явления. К таким явлениям в первую очередь относятся [2] направленный электрический пробой вдоль протяженного ионизированного канала (плазменного шнура), а также отражение радиоволн от шнура или их распространение вдоль него. Известно, что аналогичные



явления наблюдаются при оптическом пробое газа лазерным излучением инфракрасного и видимого диапазона [3, 4] при высоких плотностях потока световой энергии ( $\sim 10^5$  Мвт.см<sup>-2</sup>) [5]. Повышение частоты света (вплоть до ультрафиолета), увеличивающее вероятность фотоионизации, должно привести к значительному понижению необходимого уровня плотности потока световой энергии и к возможности отделить в эксперименте рассматриваемые явления от оптического пробоя.

Оценки [2] степени ионизации

$$n/n_0 = (\pi/2) (I_0/\hbar\omega) \omega \tau [1 + (\gamma_s/w_s)]^{-1}$$

в плазменном шнуре, возникшем в газе с потенциалом ионизации  $I_0$  под действием кратковременного импульса ультрафиолетового излучения с длительностью порядка  $\tau$ , энергией фотонов  $\hbar\omega$ , с напряженностью электрического поля  $F$ , и вероятности ионизации

$$w_s = \omega (I_s/\hbar\omega)^{3/2} \exp(I_s/\hbar\omega)(2\gamma)^{-2} < I_s/\hbar\omega + 1 > \int_0^z \exp y^2 dy$$

для случая ионизации с переходом в промежуточное возбужденное состояние с потенциалом ионизации  $I_s$  и радиационной шириной  $\gamma_s$  следуют из формул (1) и (43) работы [6], если округлить  $(I_0 - I_s)/\hbar\omega$  до единицы и опустить коэффициенты  $\alpha_s \sim 1$  и  $A \sim 1$  (здесь

$$y = (\omega/eF)\sqrt{2mI_s} \gg 1, \quad z = \sqrt{2 \langle (I_s/\hbar\omega) + 1 \rangle - 2(I_s/\hbar\omega)},$$

$\langle x \rangle$  — целая часть  $x$  и  $e$ ,  $m$  — заряд и масса электрона). Численные оценки по приведенным формулам показывают, что под действием ультрафиолетового луча с энергией фотонов  $4,7 \text{ эВ}$  и с плотностью потока энергии порядка сотен мегаватт на квадратный сантиметр можно ожидать образования в воздухе плазменного шнура со степенью ионизации порядка  $10^{-5}$  и более.

В эксперименте коллимированный ультрафиолетовый луч с длиной волны  $0,265 \text{ мк}$  (четвертая гармоника излучения неодимового лазера), длительностью импульса  $10 \text{ нсек}$  и сечением пучка  $0,005 \text{ см}^2$  пропускался без касания через прорези в двух плоскопараллельных латунных электродах, разделенных воздушным промежутком в  $1 \text{ см}$ . Угол наклона луча относительно нормали к поверхности электродов можно было изменять.

Самопроизвольный пробой межэлектродного промежутка в отсутствии луча происходил при напряжении  $V_{SB} = 17,5 \text{ кВ}$  по нормали к плоскости электродов. Под действием луча с плотностью потока энергии около  $300 \text{ Мвт/см}^2$  напряжение пробоя по нормали снижалось до  $13 \text{ кВ}$ . При наклоне луча относительно электродов при напряжениях, меньших  $V_{SB}$  пробой следовал за лучом вплоть до угла  $32^\circ$  к нормали. На рисунке представлены самопроизвольный пробой по нормали и направленный пробой по лучу под углом  $30^\circ$  к нормали (плоскость электродов расположена вертикально). При углах наклона луча, превышающих  $32^\circ$ , происходил частично направленный пробой: наклонный искровой канал вблизи катода претерпевал излом в нормальном направлении.

Явление направленного пробоя хорошо воспроизводилось в условиях эксперимента при плотности потока энергии, превосходящей  $300 \text{ Мвт/см}^2$ . Если наблюдавшееся явление направленного пробоя, инициированного интенсивным ультрафиолетовым лучом, может быть истолковано на основе представлений о развитии положительного стримера, то согласно допущениям [7] начальную концентрацию ионов в шнуре следует оценить величиной порядка  $10^{13} \text{ см}^{-3}$ . По-видимому, также существует аналогия между явлением направленного пробоя и развитием разряда вдоль трека ионизирующей частицы в искровых камерах [8].

Следует отметить, что плотность потока энергии иницирующего луча, по крайней мере, на два порядка уступает плотности энергии, необходимой для возникновения световой искры.

Значению концентрации ионов в плазменном шнуре, которое оценено величиной  $10^{13} \text{ см}^{-3}$ , соответствует критическая длина волны порядка 1 см. Таким образом, наблюдение упомянутых выше явлений отражения и распространения радиоволн возможно в микроволновом диапазоне, что совпадает с оценками [2].

Авторы благодарны М.Ф.Стельмаху за стимулирующее внимание и А.И.Ковригину за полезную дискуссию.

Поступило в редакцию  
7 августа 1968 г.

#### Литература

- [1] С.А.Ахманов, А.И.Ковригин, А.С.Пискараскас, Р.В.Хохлов. Письма ЖЭТФ, 2, 223, 1965.
- [2] Л.А.Ривлин. Электроника СВЧ, вып. 3, 156, 1967.
- [3] Г.А.Аскарьян, М.С.Рабинович, М.М.Савченко, В.К.Степанов. Письма ЖЭТФ, 3, 465, 1966.
- [4] В.И.Владимиров, Г.М.Малышев, Г.Г.Раздобарин, В.В.Семенов. ЖТФ, 37, 1742, 1967.
- [5] С.Л.Мандельштам, П.П.Пашинин, А.М.Прохоров, Ю.П.Райзер, Н.С.Суходрев. ЖЭТФ, 49, 127, 1965.
- [6] Л.В.Келдыш. ЖЭТФ, 47, 1945, 1964.
- [7] Дж.Мик., Дж.Крэгс. Электрический пробой в газах. М., 1960.
- [8] S. Fukui, S. Miyamoto. Nuov. Cim., 11, 113, 1959.