



Ордена Ленина и ордена Октябрьской Революции

Институт атомной энергии

им. И. В. Курчатова

20108 10369

С.Л. Боголюбский

ИАЭ-4505/7

**АНИЗОТРОПИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
СИЛЬНОТОЧНОГО РАЗРЯДА
В ПЛАЗМЕ ВЗОРВАННОЙ ПРОВОЛОЧКИ**



Москва — ЦНИИатоминформ — 1987

Ключевые слова: взрывающаяся проволока, плазменный канал, ультрафиолетовое излучение, рекомбинация, z-пинч, электронный пучок, корона.

В экспериментах по взрыву пятидесятимикронной вольфрамовой проволоки в диоде сильноточного генератора релятивистских электронных пучков обнаружено, что в течение 5 – 10 нс ультрафиолетовое излучение, испускаемое плазменным каналом, имеет выраженную осевую направленность, обусловливаемую квантами с энергией в диапазоне 60 – 120 эВ. Контрольные эксперименты показали, что этот эффект не связан с различными приэлектродными явлениями.

Эксперименты по взрыву тонких проволочек в диоде сильноточного генератора релятивистских электронных пучков (РЭП) "Тритон" продемонстрировали, что для образующегося радиационно-охлаждаемого Z-пинча характерно наличие горячей плазменной короны и более холодной и плотной сердцевины [1]. При этом радиационные потери обуславливаются излучением короны, переносящей основную часть тока. В экспериментах с пятидесятимикронной вольфрамовой проволочкой температура короны, толщина которой не превышала 80 мкм при диаметре плазменного канала ≈ 400 мкм [2], согласно измерениям [3], составляла ~ 500 эВ. Плотность частиц в короне, оцененная аналогично [4] по измеренной мощности радиационных потерь с учетом излучательных характеристик соответствующей вольфрамовой плазмы и соотношения Беннета, не превышала $n_e \leq 10^{19}$ см $^{-3}$. При этих условиях в плазменном канале может создаваться инверсная заселенность за счет механизма, предложенного В.В. Яньковым, — рекомбинации при влете иона из горячей короны в холодную сердцевину, так как градиенты температур в зоне перехода велики, а размер зоны перехода меньше ларморовского радиуса иона. Фотографирование кадровыми рентгеновскими электронно-оптическими преобразователями с наносекундным разрешением показало, что в течение $\sim 5 \div 10$ нс плазменная корона имеет однородную структуру (рис. 1,а),

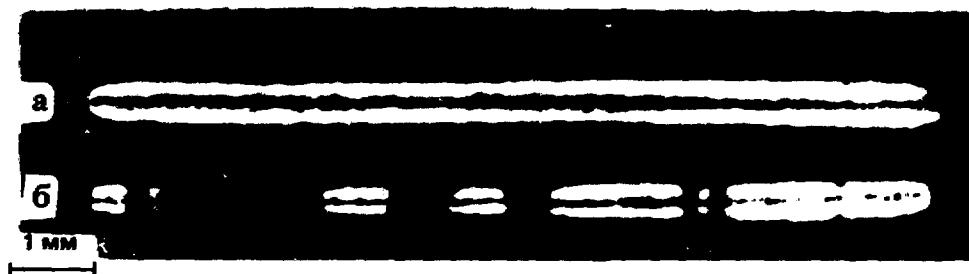


Рис. 1. Фотографии плазменного канала взорванной пятидесятимикронной вольфрамовой проволочки, полученные рентгеновскими электронно-оптическими преобразователями с интервалом 10 нс

которая впоследствии нарушается из-за возникновения перегретых кольцевых образований [2] (рис. 1,б).

Исследования показали, что в экспериментах с пятидесятимикронной вольфрамовой проволочкой на той стадии импульса, когда плазменная корона однородна, наблюдается интересная особенность ультрафиоле-

того (УФ) излучения, испускаемого в осевом направлении. Схема эксперимента показана на рис. 2. Проволочка длиной ~ 1 см размещалась между катодом и анодом выходного узла ускорителя. Регистрация УФ-

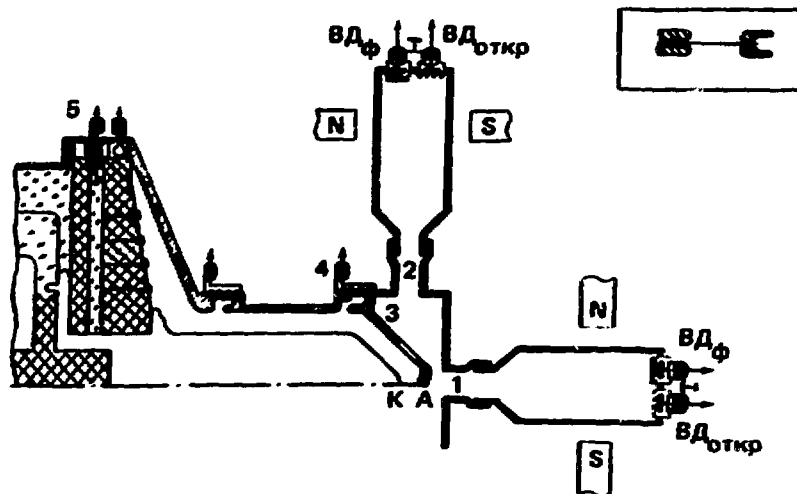


Рис. 2. Схема эксперимента и конструкция держателей проволочки (в рамке): 1 – осевой; 2 – боковой диагностические патрубки; 3 – обратный токопровод; 4 – измерительный шунт; 5 – омический делитель для измерения напряжения

излучения плазменного канала взорванной проволочки осуществлялась вдоль оси проволочки и перпендикулярно к ней через диагностические патрубки длиной ~ 1 м с помощью вакуумных фотоэмиссионных детекторов (ВД) с алюминиевыми фотокатодами [5]. Осевые наблюдения проводились через 1,5 мм отверстие в анодном держателе. Спектральные характеристики используемых ВД (открытого и с субмикронным фильтром из нитроцеллюлозы) приведены на рис. 3. Точечный изотропный моноэнергетичного излучателя связаны соотношением

$$I(A) = \frac{s}{4\pi R^2} \cdot \frac{\alpha(h\nu) \cdot \Pi(h\nu)}{h\nu} \cdot P_{h\nu},$$

где s – площадь фотокатода; R – расстояние от излучателя до датчика; $\alpha(h\nu)$ – квантовая эффективность фотокатода; $\Pi(h\nu)$ – пропускание фильтра; $h\nu$ – энергия кванта, эВ.

Во избежание попадания на ВД потоков заряженных частиц применялись отклоняющие магниты.

Для осциллограмм УФ-излучения, регистрируемого в осевом направлении, характерно наличие пика, который наиболее выражен на сигнале

ВД, снабженного фильтром (рис. 4). На рис. 4 показаны временные зависимости величин отношения сигналов, регистрируемых осевыми ВД, к сигналам боковых ВД, как снабженных фильтром, так и открытых. Сопоставление этих величин с учетом спектральной чувствительности детекторов позволяет сделать вывод, что регистрируемая особенность обусловлена квантами с энергией 60 – 120 эВ.

В момент рассматриваемой особенности (см. рис. 4) абсолютная мощность потока квантов с указанной энергией, испускаемых плазменным каналом, в осевом направлении выше, чем в направлении, перпенди-

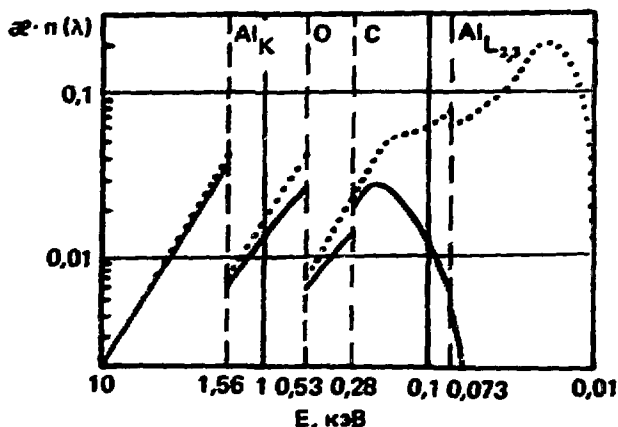


Рис. 3. Спектральные чувствительности открытого (..) вакуумного фотоэмиссионного детектора и с субмикронным фильтром из нитроцеллюлозы (—)

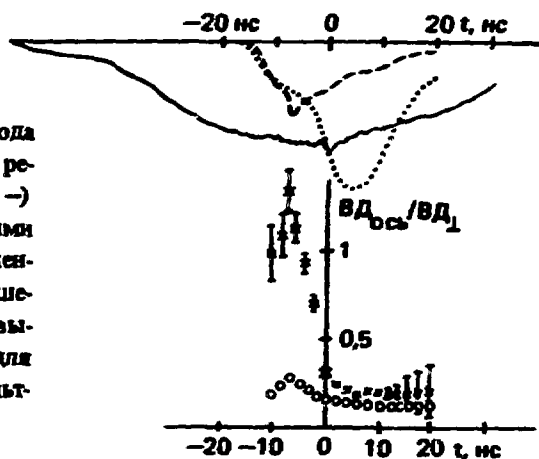


Рис. 4. Осциллограммы тока анода $I_D \leq 200$ кА (—), сигналов, регистрируемых осевым ВД_{ось}^х (---) и боковым ВД₁^х (...) вакуумными детекторами с фильтрами, и временные зависимости величин отношения сигналов, регистрируемых осевыми ВД, к сигналам боковых ВД для открытых (o) и снабженных фильтрами (x) детекторов

кулярном оси. Это в данной геометрии эксперимента не может быть обеспечено объемным, изотропно излучающим источником, а зачернение излучения в силу протяженности объекта ($l/d \sim 25$) может привести только к уменьшению величины отношения сигналов, регистрируемых торцовым и боковым ВД. Следовательно, особенность обуславливается либо возникновением индуцированного излучения указанного диапазона энергии в осевом направлении, либо наличием эффекта испускания излучения, не регистрируемого в боковом направлении. За такой эффект могут быть ответственны приэлектродные явления, связанные с бомбардировкой анода электронным пучком, распространяющимся вдоль оси проволоочки. Для определения величины тока, переносимого в диоде электронным пучком, были проведены эксперименты, в которых использовался медный конусный анодный держатель проволоочки (рис. 5). Характеристиче-

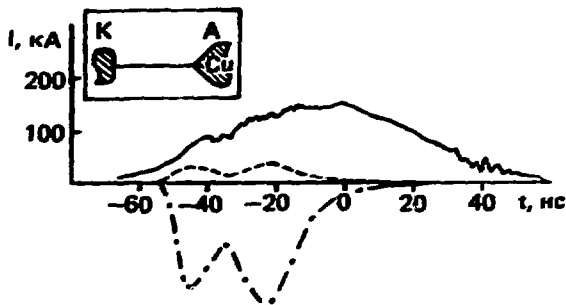


Рис. 5. Оциллограммы тока диода I_d (—), сигнала характеристического излучения линии меди $P_{\gamma}CuK_{\alpha}$ (---), регистрируемого СПИД с медным фильтром толщиной 15 мкм, и восстановленного тока электронного пучка (---) в эксперименте с конусным анодным держателем из меди (в рамке)

ское излучение с поверхности конуса, бомбардируемого ускоренными электронами, регистрировалось в плоскости, перпендикулярной проволочке, с помощью полупроводникового детектора СПИД, снабженного медным фильтром толщиной 15 мкм. Испускаемая за импульс энергия характеристического излучения линии CuK_{α} достигала $(0,75 \div 1,5) \times 10^{-2}$ Дж при длительности импульса ~ 70 нс. В соответствии с расчетом, основанным на данных по выходу характеристического излучения [6], энергия пучка ускоренных электронов не превышала 15 – 30 Дж при максимальной мощности $\sim (2 \div 4) \cdot 10^8$ Вт. Поскольку регистрируемая мощность УМР-излучения плазменного канала в момент рассматриваемой особенности на порядок больше, то причина ее возникновения не связана с бомбардировкой анодного держателя электронным пучком. Плазма же, имеющая температуру порядка нескольких электрон-вольт, которая может возникать в месте контакта проволоочки с электродом в процессе протекания тока через плазменный канал, способна лишь затенить обзор через отверстие в анодном держателе, т.е. дать эффект, обратный наблюдаемому.

В заключение автор выражает благодарность В.В. Янькову за полезные обсуждения и Л.Е. Аранчуку, предложившему эксперимент для определения параметров электронного пучка по выходу характеристического излучения.



Список литературы

1. Аранчук Л.Е., Боголюбский С.Л., Тельковская О.В. Энергобаланс высоко-точного разряда в плазме взрывающихся проволочек. — ЖТФ, 1985, т. 55, вып. 11, с. 2222 — 2224.
2. Айвазов И.К., Аранчук Л.Е., Боголюбский С.Л., Волков Г.С. Кольцевые образования в короне проволочки, взорванной током. — Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, вып. 3, с. 111 — 114.
3. Аранчук Л.Е., Боголюбский С.Л., Волков Г.С. Измерение спектра низ-коэнергетического рентгеновского излучения высокоточного наносе-кундного разряда в диоде генератора РЭП. — В кн.: Диагностика плаз-мы. — М.: Энергоатомиздат, 1986, вып. 5, с. 230 — 233.
4. Аранчук Л.Е., Боголюбский С.Л., Волков Г.С. и др. Радиационно-ох-лаждаемый Z-пинч, возникающий при взрыве медной проволочки то-ком. — Физика плазмы, 1986, вып. 12, с. 1324 — 1328.
5. Аранчук Л.Е., Боголюбский С.Л., Тельковская О.В. Диагностика ульт-рамягкого рентгеновского излучения плотной термоядерной плазмы с помощью вакуумных фотозмиссионных детекторов: Препринт ИАЭ-4100/7. — М., 1985, 13 с.
6. Dick C.E., Lucas A.S., Motz J.M. et al. Large-angle L X-ray production by electrons. — J. Appl. Phys., 1973, vol. 44, № 2, p. 815 — 826.

Редактор И.Н. Фролова
Технический редактор Н.И. Мазеева
Корректор Л.В. Пономарева

Подписано в печать 17.08.87. Т-17537. Формат 60x90/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,31. Уч.-изд. л. 0,4
Тираж 157. Цена 5 коп. Заказ 314. Индекс 3624

Подготовлено к изданию и отпечатано
в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова
123182, Москва, пл. Академика Курчатова



Препринт ИАЭ-4505/7. М., 1987

