

В.Т. Астрелин, А.В. Бурдаков, П.В. Денисенко, Б.А. Князев, В.С. Койдан, С.В. Лебедев, К.В. Локонов, К.И. Меклер, П.И. Мельников, В.В. Поступаев, Р.В. Разилов, А.Ф. Ровенских, В.В. Филиппов, К.В. Цигуткин, О.А. Шевченко, М.А. Щеглов, Л.В. Юшкина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВУФ-ИЗЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ РАЗЛИЧНОГО ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИ ИНЖЕКЦИИ РЕЛЯТИВИСТСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА УСТАНОВКЕ ГОЛ-3

На установке ГОЛ-3 проведена первая серия экспериментов по генерации мощной вспышки вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения. Как показал предварительный теоретический анализ, возможно эффективное преобразование энергии РЭП (100 кДж, 5 мкс, 1 МэВ) в ультрафиолетовое излучение в схеме двухступенчатого нагрева плотной ($n \sim 10^{16} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$) плазменной смеси. Такая плазма может служить активной средой для ультрафиолетового лазера. В экспериментах были исследованы параметры плотных плазменных ступеней с различными массовыми соотношениями азота, криптона и водорода. Показано, что возможно получение вспышки ВУФ-излучения мощностью 5 – 50 МВт и длительностью ~ 5 мкс в схеме двухступенчатого нагрева активной среды. Обсуждаются перспективы создания мощного ультрафиолетового лазера на основе установки ГОЛ-3.

Введение

Источники мощного излучения в вакуумной ультрафиолетовой и ближней рентгеновской областях (далее их будем называть ВУФ-источниками), с одной стороны, представляют значительный интерес для многих приложений (см., например, [1]). С другой стороны, получение достаточно мощного излучения в данном диапазоне является и самостоятельной физической задачей. К настоящему времени выполнено большое число исследований различных типов источников как когерентного, так и некогерентного излучения, обзор которых можно найти, например, в [1–4]. Обычно для получения интенсивного ВУФ-излучения используются два механизма возбуждения рабочей среды: возбуждение атомных (ионных) уровней электронным ударом и рекомбинационное возбуждение, возникающее на стадии распада плазмы. Другие методы, такие как фотовозбуждение или накачка верхних уровней путем ионизации атомов и ионов, менее эффективны и поэтому здесь не рассматриваются. Основными способами получения излучающей плазмы служили быстрый разряд вблизи поверхности в вакууме или плотном газе, взрыв тонких проволок, мощный импульс лазерного излучения, сфокусированного на поверхности мишени заданного элементного состава.

В настоящей статье предложен новый тип источника, отличающийся от вышеупомянутых как по способу создания излучающей среды, так и по характеристикам последней, – горячая плазма, возникающая при коллективном взаимодействии мощного микросекундного релятивистского электронного пучка с газом или предварительно созданной низкотемпературной плазмой.

В данной статье сначала теоретически рассмотрена возможность получения на установке ГОЛ-3 плазмы с инверсной заселенностью уровней, излучающих в вакуумном ультрафиолетовом диапазоне, далее описаны экспериментальные исследования по созданию на установке ГОЛ-3 плазмы с требуемыми параметрами и измерению ее излучательных характеристик.

Возможные схемы накачки

Оценим возможность достижения лазерной генерации в ВУФ-диапазоне применительно к установке ГОЛ-3 для некоторых перспективных элементов, имея в виду два способа накачки – столкновительную и рекомбинационную.

Столкновительная накачка

Этот способ накачки описывается уравнением $X_o^{i+} + e \rightarrow X_u^{i+} + e$, где X^{i+} обозначает i -кратно ионизированный атом, в котором накачка происходит с уровня o в верхнее возбужденное состояние u этого же иона. Скорость столкновительной накачки $P_{ст}$ (c^{-1}) связанного электрона с уровня o на уровень u (разность энергий ΔE_{ou}) описывается формулой [1]:

$$P_{ст} = N_e C_{ou} = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{N_e f_{ou} \langle g_{ou} \rangle}{\Delta E_{ou} (kT_e)^{1/2}} \exp\left(-\frac{\Delta E_{ou}}{kT_e}\right) c^{-1},$$

где N_e – электронная концентрация; $C_{ou} = \langle \sigma_{ou} v \rangle$ – коэффициент скорости возбуждения, усредненный по максвелловской электронной функции распределения для сечения σ_{ou} и скорости v ; f_{ou} – сила осциллятора для перехода $o \rightarrow u$; $\langle g_{ou} \rangle$ – эффективный фактор Гаунта, усредненный по максвелловскому распределению скоростей. Зависимость фактора Гаунта от $\Delta E/kT$ приведена в [5].

В наиболее простой форме лазерная схема с электронно-столкновительной накачкой включает $2p \rightarrow 3p$ возбуждение валентного электрона, где уровень $2p$ является основным состоянием в конфигурации $1s^2 2s^2 2p^n$. Уровень $3p$ достаточно быстро возбуждается и является метастабильным по отношению к прямому излучательному дипольному переходу в основное состояние. Лазерная генерация появляется на переходе $\Delta n = 0$ с уровня $3p$ на $3s$. Лучшее из себя зарекомендовала неоподобная изоэлектронная последовательность $2p^6$. Это связано, в частности, со стабильностью неоподобных ионов в нестационарной плазме.

Были проведены оценки коэффициента усиления и интенсивности линий переходов $3p \rightarrow 3s$ для плазмы, состоящей из ионов следующих элементов: алюминий, магний и кремний, так как именно эти элементы при ожидаемой температуре плазмы (10 – 50 эВ) будут находиться в неоподобном состоянии. Результаты проведенных оценок представлены в табл. 1.

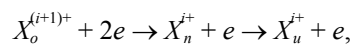
Таблица 1

Ион	$\lambda, \text{нм}$	$N_e, \text{см}^{-3}$	$G, \text{см}^{-1}$	$I_{ul}, \text{Вт/см}^3$
Mg III	1551	10^{16}	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^3$
		10^{17}	$4,9 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^5$
Al IV	1481	10^{16}	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^3$
		10^{17}	$2,3 \cdot 10^{-1}$	$6,8 \cdot 10^4$
Si V	874	10^{16}	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^3$
		10^{17}	$9,4 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^5$

Следует отметить, однако, что эти оценки сделаны для плазмы, состоящей только из ионов данного элемента. Если рассматривать выбранный элемент как примесь в водородной плазме, то можно ввести константу k , которая является отношением концентрации электронов примеси к общей концентрации электронов. В этом случае населенность верхнего уровня N_u^n , коэффициент усиления G' и интенсивность излучения спектральной линии I'_{ul} выражаются через приведенные для полностью неводородной плазмы следующим образом: $N_u^n = kN_u$, $G' = kG$, $I'_{ul} = kI_{ul}$.

Рекомбинационная накачка

Процесс рекомбинации и последующего каскада описывается уравнением



где o обозначает основное состояние; n – промежуточное возбужденное; u – верхний лазерный уровень.

При остывании плазмы, в результате рекомбинации с электронами, образуются ионы с зарядностью на единицу меньше, которые находятся в возбужденном состоянии. При этом распределение по возбужденным состояниям отличается от равновесного больцмановского, как правило, в сторону большей заселенности верхних уровней. Для количественного описания этого процесса удобно ввести эффективный уровень n' такой, что у более высоких квантовых состояний скорость столкновительного возбуждения превышает скорость высвечивания, а у уровней, лежащих ниже n' , преобладает излучательный распад (высвечивание). При этом мо-

жет быть достигнута инверсная населенность между уровнем u , лежащим выше n' , и уровнем l , лежащим ниже n' . Скорость трехчастичной рекомбинации $P_{\text{рек}}$ (с^{-1}) определяется следующим соотношением [5, 6]:

$$P_{\text{рек}} = 1,4 \cdot 10^{-31} \zeta^{-6} N_e^2 \left(\frac{\chi}{kT_e} \right)^2 \exp \left[\frac{\chi}{(n' + 1)^2 kT_e} \right] \text{с}^{-1},$$

где ζ – эффективный заряд иона, который «видит» рекомбинирующий электрон; χ – потенциал ионизации излучающего иона, а эффективный уровень n' описывается как [5, 6]

$$n' = 1,26 \cdot 10^2 \left(\frac{N_e}{\zeta^7} \right)^{-2/17} \left(\frac{\chi}{kT_e} \right)^{-1/17} \exp \left[\frac{4\chi}{17(n')^3 kT_e} \right].$$

Были проведены оценки интенсивности и усиления спектральных линий для ионов C IV и N V. Это литиеподобные ионы, у которых существуют переходы в интервале 1000 – 2000 Å. Инверсная заселенность соответствующих уровней может быть получена при рекомбинации гелиеподобных ионов C V и N VI, преобладающих в плазме над ионами другой зарядности в диапазоне температур, характерном для плазмы установки ГОЛ-3. Результаты проведенных оценок для $N_e = 10^{17} \text{см}^{-3}$ представлены в табл. 2. Рассматривался переход между близлежащими к n' уровнями (для N V $u=5$, а $l=4$). Для гелиеподобных ионов было принято $\zeta \sim Z - 1$.

Таблица 2

Ион	n'	$\lambda, \text{Å}$	$P_{\text{рек}}, \text{с}^{-1}$	$N_{i0}, \text{см}^{-3}$	$G, \text{см}^{-1}$	$I_{ul}, \text{Вт/см}^3$
C IV	4,5	2530	$1 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^{11} k$	$5 \cdot 10^{-3} k$	$1,7 \cdot 10^2 k$
N V	5	1620	$6,1 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^{10} k$	$6,3 \cdot 10^{-4} k$	$1,3 \cdot 10^2 k$

Экспериментальная установка и методы диагностики

Эксперименты проводились на первой очереди установки ГОЛ-3 (см. рис. 1), схема которой, а также отдельные системы и технические параметры описаны в [7]. Она состоит из генератора электронного пучка, плазменной камеры внутри соленоида с однородным полем до 6 Тл на длине 7 м и 12 Тл в одиночных пробках на концах, 10-МДж конденсаторной батареи для питания соленоида, систем управления и диагностики.

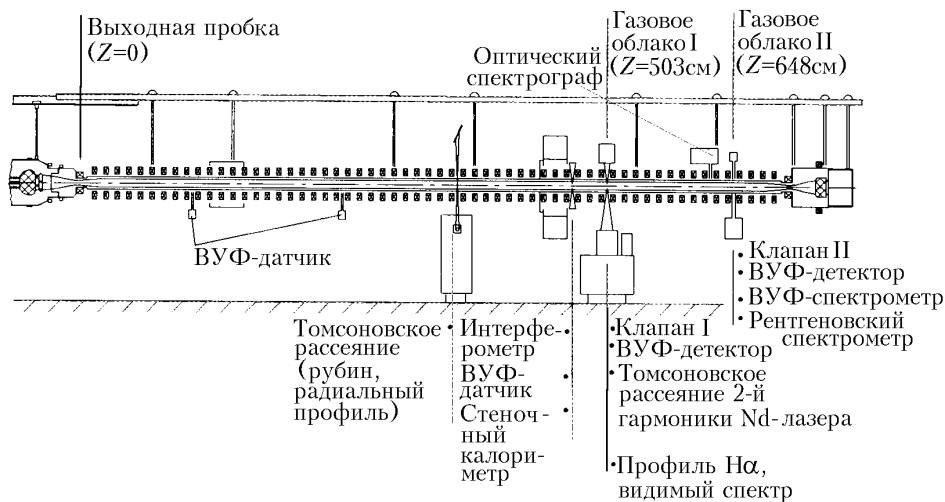


Рис. 1. Схема расположения участков разрядной камеры для генерации ВУФ-излучения на установке ГОЛ-3. Показаны специальные диагностики для определения параметров активной среды и излучения из плазмы

Электронный пучок с энергией 0,8 – 0,9 МэВ и длительностью 3–5 мкс генерируется в квазиплоском диоде с графитовым катодом диаметром 20 см, при этом на катоде плотность тока пучка достигает 200А/см^2 . Для увеличения плотности тока пучок затем сжимается в

магнитном поле пробочной конфигурации и инжектируется в плазменную камеру. В описываемых экспериментах плотность тока пучка в плазме составляла $1\text{--}2\text{ кА/см}^2$ при его диаметре 4 см, а его энергосодержание – $40\pm 5\text{ кДж}$.

Диагностический комплекс установки позволяет в одном выстреле измерять основные параметры пучка, плазмы и процесса взаимодействия пучка с плазмой. Первоначальная энергия электронов пучка определяется по диодному напряжению, токи пучка в разных частях установки измеряются поясами Роговского (на рис. 2, *a*, *б* представлены типичные сигналы напряжения на диоде ускорителя и тока генератора пучка).

Энергосодержание прошедшего пучка определяется с помощью графитового калориметра, а также вычислением интеграла $\int U_d I_b dt$. По разнице между этими двумя величинами определяются потери энергии пучка ($\sim 25\%$). Для измерения параметров плазмы использовались оптический интерферометр с $\lambda = 3,39\text{ мкм}$, диамагнитные датчики для измерения давления плазмы (на рис. 2, *в* приведен сигнал диамагнитного зонда, расположенного на $Z = 442\text{ см}$), многоканальный детектор мягкого рентгеновского излучения, система томсоновского рассеяния на второй гармонике неодимового лазера. Измерение энергетического спектра пучка на выходе проводилось при помощи двух разных по принципу действия анализаторов и многослойного калориметра. Для регистрации вакуумного ультрафиолетового излучения плазмы на установке применяются вакуумные фотодиоды с алюминиевыми фотокатодами (см., например, [8]). Они используются как с фильтрами для ближней ВУФ-области спектра (LiF, MgF₂, CaF₂, кварц, алюминий), так и без них.

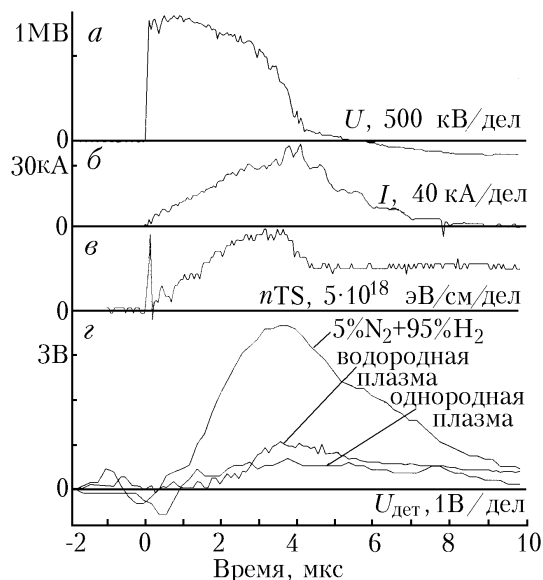


Рис. 2. Осциллограммы напряжения на диоде генератора электронного пучка (*a*), сигнала тока генератора (*б*), сигнала диамагнитного зонда, расположенного на $Z = 442\text{ см}$ (*в*), и осциллограммы сигналов ВУФ-детектора ($Z = 503\text{ см}$) в случае однородной водородной плазмы, водородного облака и двухкомпонентного облака $N_2:H_2 = 0,05:0,95$ (*г*)

Горячая плазма, удерживаемая от поперечного разлета соленоидальным магнитным полем, сама по себе является источником коротковолнового излучения. Однако более эффективной для генерации ВУФ-излучения на установке ГОЛ-3 представляется так называемая «двухступенчатая схема нагрева плазмы» [9]. При этом в соленоиде с помощью прямого разряда создается длинный столб водородной плазмы (диаметром 5 см и длиной 7 м) с относительно низкой ($3\cdot 10^{14} - 1\cdot 10^{15}\text{ см}^{-3}$) плотностью («редкая» плазма), обеспечивающей эффективную релаксацию электронного пучка за счет коллективных процессов. В центральной же части соленоида на коротком участке создается плазма более высокой плотности («плотная» плазма) с элементарным составом, оптимальным для получения нужной световой «вспышки».

Энергия пучка, выделенная в «редкой» плазме, передается плотной плазме надтепловыми плазменными электронами за счет парных столкновений, а далее она «высвечивается» с высокой эффективностью в этом небольшом объеме. Тем самым достигаются две цели – высокий

кпд преобразования энергии пучка в энергию коротковолнового излучения (можно ожидать мощность ~ 1 ГВт) и высокая яркость источника.

Если говорить о перспективах лазера, то известно, что мощность накачки на единицу поперечного сечения плазменного столба, необходимая для достижения порога генерации, должна расти с уменьшением длины волны пропорционально λ^{-4} . Следовательно, высокая мощность возбуждения среды на установке ГОЛ-3 является весьма благоприятным фактором.

Для генерации мощной вспышки ВУФ-излучения оборудованы два специальных участка камеры. Один из них (см. рис. 1), расположенный на $Z = 503$ см (здесь и далее Z означает расстояние от входной пробки установки), состоит из блока импульсного напуска газа, совмещенного с 4-канальным детектором ВУФ-излучения, системы томсоновского рассеяния излучения второй гармоники неодимового лазера и приемной части (объектив и световоды), аппаратуры для измерения спектра в видимой области. На расстоянии 35 см от места напуска газа в сторону входа установки расположены (также в одном сечении вакуумной камеры) интерферометр на длине волны 3,39 мкм, датчик ВУФ-излучения и стеночный калориметр.

На расстоянии $Z = 648$ см располагается второй импульсный клапан для напуска облака газа. В этом же сечении установлены детекторы ВУФ-излучения, вакуумный спектрометр ВУФ-диапазона, спектрограф УФ- и видимого света, рентгеновский спектрограф с рентгеновским электронно-оптическим преобразователем (РЭОП) [10].

Основные параметры плотного плазменного сгустка в точке импульсного напуска газа имели следующие значения: плотность $5 \cdot 10^{15}$ см $^{-3}$ и температура ~ 50 эВ. В зависимости от цели эксперимента включался клапан на $Z = 503$ либо 648 см.

Временная последовательность срабатывания различных узлов установки является следующей. Предварительно откачанная разрядная камера заполняется водородом до концентрации $10^{14} - 10^{15}$ см $^{-3}$. Затем включается система питания магнитного поля. Перед максимумом магнитного поля соленоида срабатывает импульсный клапан, напускающий в разрядную камеру локальное облако газа с заданным составом. Затем через 500 – 1000 мкс зажигается прямой разряд, создающий предварительную ионизацию. Изменением давления рабочей смеси и временного интервала между запуском клапана и началом прямого разряда выбирается требуемое распределение плотности облака газа по длине установки. Через 15 – 30 мкс после начала разряда в плазму инжектируется пучок электронов.

Временная и пространственная эволюция излучения в ВУФ-диапазоне

Регистрация излучения плазмы с помощью четырехканальных ВУФ-детекторов, расположенных на расстоянии $Z = 503$ см, проводилась в различных режимах работы установки: с однородной плазмой, при напуске водородного облака, при напуске газовой смеси 5% N $_2$ + 95% H $_2$.

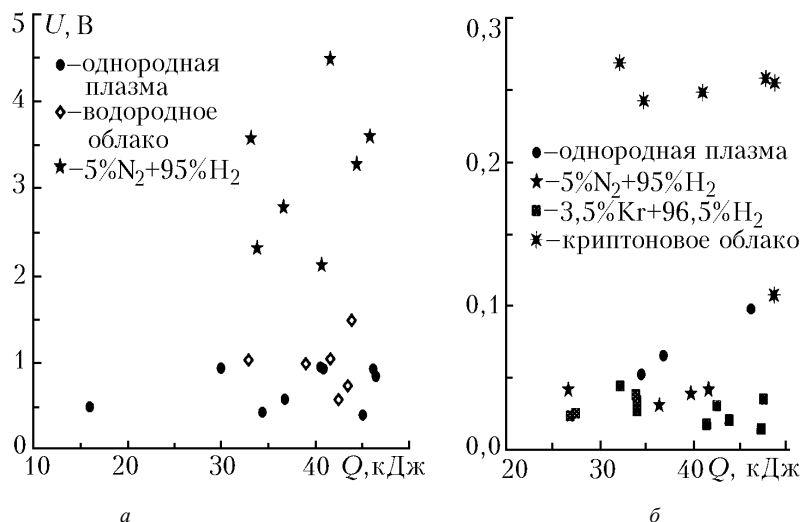


Рис. 3. Амплитуда сигнала вторично-эмиссионного детектора, зарегистрированная в отдельных выстрелах ($a - Z = 503$ см, $b - Z = 677$ см)

На рис. 3, *a* представлены зависимости амплитуды сигнала ВУФ-детектора от энергии пучка в этих трех режимах. Из рисунка видно, что уровень излучения однородной плазмы практически не зависит от энергии пучка и всегда примерно одинаков (амплитуда сигнала ~ 1 В). Некоторое возрастание амплитуды сигналов при напуске водородного облака объясняется увеличением плотности плазмы. При напуске же смеси 5% $N_2 + 95\% H_2$ сигналы возрастают в $4 \div 5$ раз. Типичные сигналы для этих трех режимов работы приведены на рис. 2, *z*. Моменту времени «0» соответствует начало пучка, через 5 мкс пучок заканчивается, и наблюдается спад сигнала. Следует отметить, что в этом месте установки излучение плазмы было жестче, чем 1050 \AA , так как оно не проходило через фильтр из LiF. По форме сигналов видно, что ВУФ-излучение плазмы имеет максимальную интенсивность во время инъекции пучка, что указывает на следующий характер излучения: происходит возбуждение атомных и ионных уровней электронным ударом с последующим их высвечиванием.

Была проведена оценка мощности ВУФ-излучения плазмы. При характерной амплитуде сигнала ВУФ-детекторов 4 В для смеси 5% $N_2 + 95\% H_2$ оценка снизу удельной мощности излучения составляет $p_{\min} \sim 9 \text{ кВт/см}^3$. При характерной длине облака $L = 1$ м и поперечном сечении 15 см^2 полная мощность излучения из облака не менее $P_{\min} = 13 \text{ МВт}$, а полная энергия излучения за импульс – 65 Дж.

Энергия, идущая на стенку камеры, измерялась при помощи калориметра. По результатам этих измерений можно сделать оценку сверху на возможную мощность ультрафиолетового излучения из плазмы (поскольку стеночный калориметр регистрирует перенос энергии излучения во всем спектре, начиная от видимого света и заканчивая рентгеновским излучением, а также перенос энергии нейтральными частицами). Максимальный измеренный нагрев приемной пластины за импульс составил 3,3 К, что дает оценку погонной энергии, попадающей на стенку, 2,5 Дж/см в случае работы со смесью 5% $N_2 + 95\% H_2$. Полная энергия, выделяемая на длине облака (~ 100 см), составляет 250 Дж.

Проводились также эксперименты с напуском азотного облака. Оптимальный по амплитуде ВУФ-излучения профиль концентрации азота соответствует задержке инъекции пучка относительно момента срабатывания клапана, равной 500 мкс. Сигналы при этом превышали уровень излучения однородной плазмы примерно в 2 раза. При нагреве пучком азотной однородной плазмы уровень излучения упал примерно на порядок по сравнению с однородной водородной плазмой. Характерный сигнал приведен на рис. 4.

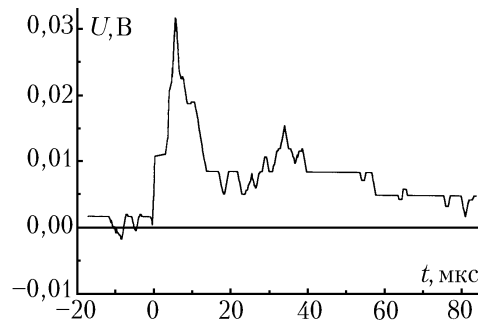


Рис. 4. Осциллограмма сигнала детектора ВУФ-излучения азотной плазмы ($Z = 503$ см)

В экспериментах с отдельным напуском азота и водорода с помощью сборки из двух клапанов амплитуды сигналов ВУФ-детекторов сильно зависели от парциального давления азота и от задержки запуска клапанов, что также связано с различным количеством азота в облаке. При этом максимальные сигналы не превышали половины от сигналов, полученных в выстрелах с напуском предварительно подготовленной смеси 5% $N_2 + 95\% H_2$.

Вторая серия экспериментов проводилась при напуске облака в конце установки ($Z = 677$ см), в месте расположения вакуумного монохроматора и РЭОП. Там же детектировалось излучение плазмы аналогичным четырехканальным ВУФ-детектором. На рис. 3, *b* приведены зависимости амплитуды сигнала от энергии пучка при следующих режимах работы установки: с однородной плазмой и при напуске облаков из смеси 5% $N_2 + 95\% H_2$, 3,5% $Kr + H_2$ и из чистого криптона. Излучение в этом месте установки носит более мягкий характер (через фильтр CaF_2 с границей пропускания 1200 \AA проходит более половины потока излучения из плазмы). Это можно объяснить тем, что плазма здесь более холодная и быстрее остывает из-за близости торца уста-

новки. Следовательно, степень ионизации ионов меньше, и переходы более длинноволновые, соответственно, добавка азота меньше влияет на мощность излучения плазмы.

Измерение выхода рентгеновского К-излучения криптона

В экспериментах были проведены также измерения интенсивности линий $K_{\alpha}(\lambda = 0,98 \text{ \AA})$ и $K_{\beta}(\lambda = 0,88 \text{ \AA})$ при напуске криптонового облака плотностью $n_0 \sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Свечение в линиях возбуждалось электронным пучком, а также быстрыми электронами, образующимися при взаимодействии пучка с основной водородной плазмой плотностью $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$. В качестве спектрографа использовался плоский кристалл графита (002), селективно отражающий рентгеновские лучи в соответствии с законом Брэгга. Была вычислена абсолютная величина интенсивности. Для этого использовались результаты работы [11], в которой проведена абсолютная калибровка РЭОП в соответствующем диапазоне. С учетом коэффициента отражения излучения от кристалла и чувствительности фотопленки получено, что интенсивность К-излучения, определяемая в основном линией K_{α} , составляет $\sim 1 \text{ кВт/см}^3$ (при объеме облака $\sim 2 \cdot 10^3 \text{ см}^3$ полная мощность К-излучения $\sim 2 \text{ МВт}$, что соответствует излучаемой за импульс энергии $\sim 10 \text{ Дж}$).

Заключение

В результате проведенных экспериментов получена вспышка ультрафиолетового излучения плазмы, нагреваемой с помощью электронного пучка. Полная энергия в ВУФ-излучении оценивается в 50 – 250 Дж при энергосодержании в пучке $\sim 40 \text{ кДж}$. Такие результаты представляются достаточно обнадеживающими с точки зрения следующих шагов в эксперименте, в частности, по оптимизации параметров активной среды. Важным представляется также поиск условий, приводящих к увеличению энерговклада в сгусток плотной плазмы, имеющий целью повышение концентрации многозарядных ионов (при сохранении температуры) и улучшение других параметров излучающего сгустка.

1. Elton R. C. X-ray lasers. NY: Academic Press, 1990.
2. Зайдель А.Н., Шрейдер Е.Я. Спектроскопия вакуумного ультрафиолета. М.: Наука, 1967.
3. Бункин Ф.Б., Держиев В.И., Яковленко С.И. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 8. С. 1641–1649.
4. Skinner C. H. // Review of soft X-ray lasers and their applications. Princeton. 1991. (Preprint/Princeton Plasma Physics Laboratory; PPLP – 2741).
5. Elton R. C. Atomic processes // Methods of experimental physics. Plasma Physics. V. 9 / Eds. H.R. Griem and R.H. Lovberg NY: Academic Press, 1970.
6. Griem H. R. Plasma spectroscopy. NY: McGraw–Hill Publ. Co. 1964.
7. Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Kapitonov V.A. et al. // Proc. 15th Europ. Conf. on Plasma Physics and Contr. Fusion. Dubrovnik. 1988. V. 30. N 11. P. 1571–1588.
8. Arzhannikov A.V., Burdakov A.V., Chikunov V.V. et al. // Proc. 8th Intern. Conf. on High–Power Particle Beams. Novosibirsk, 1990. V. 1. P. 14–25.
9. Koidan V.S., Kruglyakov E.P., Ryutov D.D. // Proc. 4th Internat. Topical Conf. on High Power Electron and Ion Beam Research and Technol. Palaiseau. 1981. V. 2. P. 531.
10. Астрелин В.Т., Бурдаков А.В., Денисенко П.В. и др. // Эксперименты по генерации ультрафиолетового излучения на установке ГОЛ-3. Новосибирск, 1994. (Препринт/Ин-т ядерной физики СО РАН, 94–105).
11. Dolbnya I.P., Feldman G.G., Knyazev B.A. et al. // Nucl. Instr. Meth. 1991. V.A 308. P. 435–437.

ГНЦ Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
Новосибирск

Поступила в редакцию
31 июля 1995 г.

V.T. Astrelin, A.V. Burdakov, P.V. Denisenko, B.A. Knyazev, V.S. Koidan, S.V. Lebedev, K.V. Lokonov, K.I. Mekler, P.I. Melnikov, V.V. Postupaev, R.V. Rrazilov, A.F. Rovenskikh, V.V. Filippov, K.V. Tsigitkin, O.A. Shevchenko, M.A. Shcheglov, L.V. Yushkina. **Study of VUV Emission of Variable Composition Plasmas under Relativistic E-Beam Injection on the GOL-3 Device.**

First experiments on generation of powerful flash of VUV emission were performed on the GOL-3 device. A preliminary theoretical analysis shows, that during two-stage heating of dense ($n \sim 10^{16} - 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) plasma mixture the effective energy transformation from relativistic electron beam (50 kJ, 5 μs , 1 MeV) to the ultraviolet emission is possible. In principle, such plasma can be a working body of the ultraviolet laser. Parameters of dense plasma cloud with different mass balance of nitrogen, krypton and hydrogen were studied. A flash of VUV emission of power of 5 – 50 MW and $\sim 5 \mu\text{s}$ duration was obtained in the two-stage heating scheme. The prospects of creation of high-power ultraviolet laser based on E-beam-heated plasma are discussed.