

ИНТЕНСИВНОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФАКЕЛА ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Л.П.Пресняков, А.П.Шевелько

При пересечении факела высокотемпературной лазерной плазмы с поверхностью твердого тела наблюдается интенсивное рентгеновское излучение: интенсивность линий главной серии водородо- и гелиеподобных ионов в несколько раз превышает излучение в тех же линиях в горячем ядре лазерной плазмы. Наблюдаемый эффект объясняется перезарядкой многозарядных ионов на нейтральных атомах и малозарядных ионах вблизи поверхности твердого тела.

На перспективность распространения лазерной плазмы в буферный газ для получения интенсивного излучения в далекой ультрафиолетовой и ближней рентгеновской области спектра за счет процессов перезарядки многозарядных ионов на атомах было указано в работе¹. Альтернативным предложением для решения той же задачи является распространение факела плазмы в вакууме с заселением верхних уровней ионов за счет трехчастичной рекомбинации при охлаждении плазмы². Экспериментальные исследования³⁻⁶ показали перспективность обоих предложений. Результатом экспериментов было некоторое увеличение интенсивности одной из высших линий главной серии, которая тем не менее оставалась значительно слабее резонансной линии, излучаемой в факеле лазерной плазмы.

В настоящей работе на пути распространения лазерной плазмы ставилась поверхность твердого тела, что привело к значительному увеличению общей интенсивности излучения в резонансных линиях водородо- и гелиеподобных ионов. Схема эксперимента приведена на рисунке. Для создания плазмы использовалось излучение второй гармоники ($\lambda = 0,53$ мкм) лазера на неодимовом стекле⁷. Параметры лазерного импульса: энергия до 10 Дж, длительность 5 нс. Излучение фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 300 мм на плоскую поверхность магниевой мишени, расположенной под углом 45° к оси падающего лазерного пучка. На пути лазерного факела устанавливалась пластинка из полиэтилена (или алюминия) на расстоянии 1 мм по нормали от поверхности пластинки до пятна фокусировки. Рентгеновское излучение анализировалось при помощи спектрографа Гамоша⁸, который позволяет получать изображе-

ние источника в "свете" спектральных линий. Радиус изгиба кристалла слюды в спектрографе составлял 20 мм. Все полученные спектрограммы регистрировались за одну вспышку лазера. Ориентация спектрографа соответствовала изображению плазмы вдоль направления разлета лазерного факела. Регистрация рентгеновского излучения велась на фотопленку УФ-ВР, сенситометрические характеристики которой приведены в⁹. Из спектрограммы, приведенной на рисунке видно, что при соприкосновении лазерного факела с поверхностью из полиэтилена $(\text{CH}_2)_n$, наблюдается интенсивное свечение в линиях главной серии водородо- и гелиеподобных ионов Mg, свечение в спутных линиях отсутствует. Между светящимся ядром факела (~ 100 мкм от Mg мишени) и приповерхностной областью интенсивного излучения существует область, где рентгеновское излучение практически отсутствует. Относительные интенсивности излучения в светящейся части спектра факела и приповерхностной области составляют: для резонансной линии водородоподобного иона MgXII ($\lambda = 8,42 \text{ \AA}$) 1 и 1,3; для резонансной линии гелиеподобного иона Mg XI ($\lambda = 9,17 \text{ \AA}$) 1,1 и 3,6. Таким образом, суммарная интенсивность резонансных линий ионов MgXII – MgXI в приповерхностной области в 2,5 раза превышает их интенсивность в горячем ядре факела. Эффект не зависел от материала поверхности: при замене полиэтилена алюминием спектр не менялся. Заметим, что в последнем случае отсутствовало излучение в линиях водородо- и гелиеподобных ионов алюминия, что говорит о низкой температуре электронов в приповерхностной области. Последнее подтверждает и тот факт, что в случае полиэтиленовой пластинки в приповерхностной области в видимом диапазоне спектра наблюдалось излучение линий ионов CII – CIV, что соответствует температуре электронов ~ 10 эВ. Оценка плотности электронов N_e , проведенная по штарковскому уширению линии CIII ($\lambda = 5696 \text{ \AA}$)¹⁰ дает величину $N_e = 4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Полагая, что при разлете плазмы осуществляется закалка степени ионизации, соответствующей температуре горячего ядра факела ($T_e \sim 6 \cdot 10^6 \text{ K}$), получаем отношения концентраций ядер, водородоподобных и гелиеподобных ионов Mg в виде 0,3 : 1 : 1.

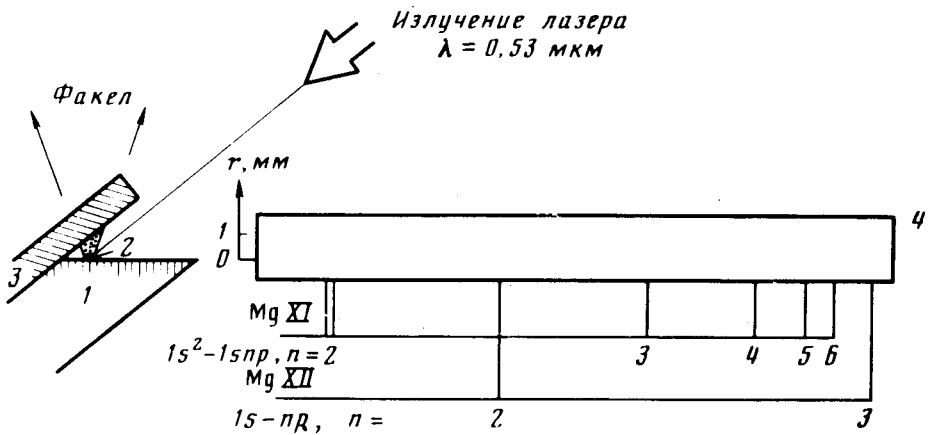


Схема эксперимента: 1 – магниевая мишень, 2 – лазерная плазма, 3 – пластинка из полиэтилена или алюминия, 4 – спектрограмма излучения ионов магния

Перечисленные экспериментальные данные свидетельствуют, что излучение в приповерхностной области связано с захватом электронов на высокие уровни многозарядных ионов Mg и последующим каскадированием за счет радиационных и столкновительных процессов. Механизмами захвата являются перезарядка на атомах и малозарядных ионах в приповерхностном слое, перезарядка вблизи поверхности, трехчастичная рекомбинация и фоторекомбинация. Будем считать, что скорость разлета лазерной плазмы не менее $10^7 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$, суммарная плотность атомов и малозарядных ионов углерода $\sim 4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, а электронная температура $T_e \sim 10$ эВ. В этих условиях расчет вероятностей процессов дает: вероятность перезарядки $W_{\text{п}} \gg 10^{10} \text{ с}^{-1}$; трехчастичной рекомбинации $W_{\text{р}} \lesssim 2 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$; фоторекомбинации $W_{\text{ф}} < 10^8 \text{ с}^{-1}$. Ионы с

зарядом $Z = 10 \div 12$, достигающие поверхности твердого тела, захватывают электроны из атомов поверхности с вероятностью порядка единицы на расстояниях $\sim 10 \text{ \AA}$. В указанных условиях механизм перезарядки является доминирующим, причем преимущественно заселяются уровни водородо- и гелиеподобных ионов Mg со значением главного квантового числа $n = 5 \div 7$. Трехчастичная рекомбинация может вносить некоторый вклад в заселение более высоких уровней.

Перечисленные результаты указывают на новую возможность получения интенсивного рентгеновского излучения при взаимодействии лазерной плазмы с поверхностью твердого тела.

Авторы глубоко благодарны М.А.Мазинг за многочисленные полезные обсуждения результатов.

Литература

1. Виноградов А.В., Собельман И.И. ЖЭТФ, 1972, 63, 2113.
2. Гудзенко Л.И., Шелепин Л.А., Яковленко С.И. УФН, 1974, 114, 457.
3. Dixon R.H., Elton R.C. Phys. Rev. Lett., 1977, 38, 1072.
4. Dixon R.H., Seely J.F., Elton R.C. Phys. Rev. Lett., 1978, 40, 122.
5. Bhagavatula V.A., Yaakobi B. Opt. Comm., 1978, 24, 331.
6. Бойко В.А., Брюнеткин Б.А., Дуванов Б.Н., Дякин В.М., Пикуз С.А., Скобелев И.Ю., Фаенов А.Я., Федосимов А.И., Шилов К.А. Письма в ЖЭТФ, 1981, 7, 665.
7. Горбунов Л.М., Касьянов Ю.С., Коробкин В.В., Поляничев А.Н., Шевелько А.П. Препринт ФИАН, №126, 1979.
8. Мазинг М.А., Шевелько А.П. Препринт ФИАН, № 155, 1980.
9. Мазинг М.А., Мольков В.В., Шевелько А.П., Шпольский М.Р. ПТЭ, 1981, № 5, 188.
10. Грим Г. Уширение спектральных линий в плазме. М.: Мир, 1978.