

2/10/84

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

P9-84-251

А.Г.Бонч-Осмоловский, В.А.Мончинский

**УВЕЛИЧЕНИЕ ЗАРЯДНОСТИ И ЧИСЛА
ВЫСОКОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
В ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЕ
ПРИ ФОКУСИРОВКЕ ИЗЛУЧЕНИЯ CO_2
ЛАЗЕРА В КРАТЕР**

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1984

При проведении экспериментов по ускорению на синхрофазотроне ядер от лазерного источника на CO_2 -лазере^{/1/} было обнаружено, что после образования в мишенях кратеров количество ионов и их зарядность на выходе линейного ускорителя увеличиваются. При плотности потока излучения на плоской мишени 10^{10} Вт/см² на выходе линейного ускорителя регистрировались ускоренные Li^{3+} /~ $5 \cdot 10^{10}$ яд/имп./, C^{5+} /~ $3 \cdot 10^9$ ионов/имп./ и Mg^{10+} /~ 10^9 ионов/имп./ . Однако после образования кратера на выходе ускорителя появлялись ускоренные ядра углерода /~ 10^9 ядер/имп./ и Mg^{11+} /~ 10^6 ионов/имп./ и отмечалось увеличение количества ионов C^{5+} и Mg^{10+} более чем на порядок.

На коллекторном сигнале на выходе источника /рис.1/ при фокусировке излучения в кратер фиксировался рост скорости и интегрального заряда быстрых ионов.

Увеличение зарядности и количества ионов данной зарядности при формировании в мишени кратера можно объяснить "кумулятивными" явлениями, имеющими место при фокусировке излучения в конус^{/2/}. Рассмотрим подробнее процессы, происходящие при этом.

Пусть излучение лазера фокусируется вблизи основания конуса с вершинным углом 2α . Поскольку, как известно, основной поток вещества в лазерном факеле на плоской мишени направлен перпендикулярно ее поверхности, то, очевидно, на оси конуса происходит столкновение сверхзвуковых потоков плазмы. Если^{/3/} угол

$$\alpha < \alpha_{\text{кр}} = \arctg \frac{1}{\sqrt{\gamma^2 - 1}}, \quad /1/$$

где γ - показатель адиабаты, то значительная часть кинетической энергии сталкивающихся потоков переходит в тепловую энергию плазмы /квазистационарной в лабораторной системе^{/4/}/. Тогда можно оценить ионную температуру этой плазмы из соотношения

$$T_i \sim \frac{m_i v_i^2}{k}, \quad /2/$$

где m_i - масса иона, v_i - скорость потока ионов в лазерном факеле, k - постоянная Больцмана.

Для скоростей, характерных для эксперимента, $v_i \approx 1 \div 1,5 \cdot 10^7$ см/с и, например, для магния имеем $T_i \sim 1$ кэВ. Электроны этим "ударно-вязкостным" механизмом^{/5/} "греются" незначительно ($m_e \ll m_i$), подъем же электронной температуры за счет электрон-ионной релаксации при характерных временах $\tau \approx 10^{-9} - 10^{-8}$ с, как показали расчеты, равен $T_e \approx 1,5 \div 2 / T_{e0}$, где T_{e0} - электронная температура до столкновения.

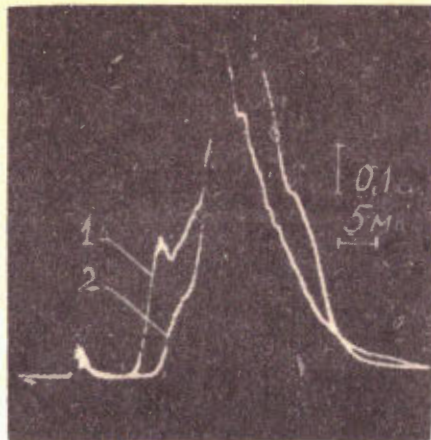


Рис.1. Сигнал с коллектора на выходе источника при фокусировке излучения: 1 - в кратер, 2 - на плоскость.



Рис.2. Срез кратера, образованного в результате взаимодействия излучения CO₂-лазера с Mg-мишенью.

Существует, однако, более эффективный механизм нагрева электронов. Предполагая, что сжимаемая в результате столкновения плазма ведет себя как идеальный газ с постоянной теплоемкостью, термодинамические характеристики которой меняются адиабатически, имеем

$$T = T_e - n_e^{\gamma-1}, \quad /3/$$

где n_e - электронная плотность плазмы.

Показатель адиабаты, с учетом ионизации, несколько меняется, его значение лежит в пределах $1,2 \div 1,67^{1/5}$. Поскольку все времена хаотизации /времена самостолкновений данной группы частиц, по Спитцеру /6/, гораздо меньше времени сжатия $\tau_{сж} \approx 10^{-9}$ с, то для идеального газа, в предположении, что внутренние степени свободы "заморожены", $\gamma = 5/3$.

Тогда $\alpha_{кр} = 37^\circ$ и при $2\alpha < 74^\circ$ имеем квазицилиндрический случай столкновения потоков, когда плотность плазмы возрастает /7/

$$\frac{n_e}{n_{e0}} \leq \left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right)^2 = 16, \quad /4/$$

а температура растет в соответствии с /3/, как

$$\frac{T_e}{T_{e0}} \leq \left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right)^{2\gamma-2} = 6,35. \quad /5/$$

Если процессы ионизации дают заметный вклад в теплоемкость, то рост температуры будет меньше, например, при $\gamma = 4/3$,

$$T_e \approx 3,67 T_{e0}.$$

Обратимся к экспериментальным данным. На рис.2 представлен срез кратера в магниевой мишени, образованного после ~ 200 импульсов. Вершинный угол кратера, как видно, $2\alpha < 60^\circ < 2\alpha_{кр}$, и можно использовать соотношения /4/ и /5/.

Эффективная плотность потока излучения в конусе $q_{эф} = q \sin \alpha$, где q - плотность падающего потока, для нашего случая равна $q_{эф} = 5 \cdot 10^9$ Вт/см², что при характерном размере фокального пятна $\approx 0,5 \cdot 10^{-1}$ см, позволяет сделать оценки для n_{e0} и T_{e0} /8,9/, $n_{e0} \approx 2 \div 3 \cdot 10^{18}$ см⁻³ и $T_{e0} \approx 60$ эВ. Тогда на оси кратера $n_e \approx 4 \cdot 10^{19}$ см⁻³ и $T_e \approx 300$ эВ. /6/

Полученные значения плотности и температуры электронов в рамках корональной модели /10,11/ могут объяснить увеличение количества ионов С и Mg высоких зарядностей.

Отметим, что плотность плазмы в кратере выше критической / $n_{кр} = 10^{19}$ см⁻³/, а повышение температуры плазмы эквивалентно увеличению плотности падающего потока излучения на порядок величины.

Наблюдаемый "кратерный" эффект может с успехом быть использован в лазерных источниках ионов, существенно увеличивая количество многозарядных ионов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безногих Ю.Д. и др. ОИЯИ, Р9-84-246, Дубна, 1984.
2. Грибков В.А. и др. Труды ФИАН, 1976, 85, с. 193.
3. Harlow F.H., Pracht W.E. Phys.Fluids, 1966, v. 9, p. 1451.
4. Rumsby P.T., Paul J.W.H., Masoud M.M. Plasma Phys., 1974, 16, p. 969.
5. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. "Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений", ГИФМЛ, М., 1963.
6. Спитцер Л. "Физика полностью ионизированного газа", ИИЛ, М., 1965.
7. Somon J.P. Proc. Intern.School of Phys. "Enrico Fermi", course 48, 1971.
8. Бойко В.А. и др. Труды ФИАН, 1974, 76, с. 186.
9. Bobin J.L., Tonon G. B.J.S.T. du Commissariat a l'Energie Atomique, France, 1971, No. 160, p. 23.
10. Stratton T.P. Plasma diagnostic techniques, chapitre 5, Academic Press, N.Y., 1965.
11. Colombant D., Perez A., Tonon G. Proc.Sec.Intern.Conf. Ion Sources, 1972, p. 586.

Рукопись поступила в издательский отдел
16 апреля 1984 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
D4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
D1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D2,4-83-179	Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982.	4 р. 80 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Бонч-Осмоловский А.Г., Мончинский В.А. P9-84-251
Увеличение зарядности и числа высокозарядных ионов в лазерной плазме при фокусировке излучения CO_2 -лазера в кратер

При фокусировке излучения CO_2 -лазера с плотностью потока 10^{10} Вт/см² на твердую мишень из лития, углерода и магния обнаружено, что после образования в мишени кратера количество ионов Li, C и Mg и их зарядность увеличиваются. Обсуждаются физические процессы в плазме сталкивающихся в кратере сверхзвуковых потоков вещества, которые приводят к значительному увеличению электронной температуры и выхода многозарядных ионов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Bonch-Osmolovskij A.G., Monchinskij V.A. P9-84-251
Enhancement of Charge and Number of High Charge Ions in Laser Plasma at Focusing of CO_2 Laser Radiation into Crater

By focusing radiation of CO_2 laser with 10^{10} W/cm² flux on solid targets of lithium, carbon and magnesium it has been found that after creating crater in a target the number of Li, C and Mg ions and their charge were increased. The physical processes occurring in plasma of colliding in the crater supersonic streaming matter which lead to a considerable enhancement of plasma electron temperature and multicharged ion yield are discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984