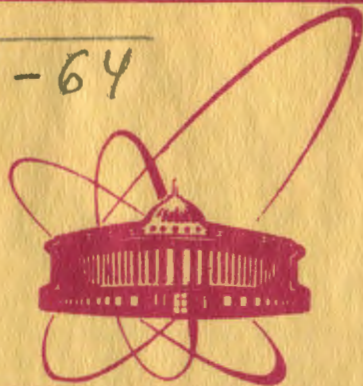


A-64



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5776 / 2-81

23/4-81

P9-81-632

О.Б.Ананьин, Ю.А.Быковский, В.П.Гусев,
Ю.П.Козырев, И.В.Колесов, А.С.Пасюк,
В.Д.Пекленков

ПОЛУЧЕНИЕ МНОГОЗАРЯДНЫХ ИОНОВ
ИЗ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Направлено в "Письма в ЖТФ"

1981

1. Наряду с поисками оптимальной длины волны лазерного излучения для получения многозарядных ионов /1/ представляется целесообразным с помощью определенных физических условий затянуть спад электронной температуры, вызванный адиабатическим расширением факела лазерной плазмы. Это может позволить, с одной стороны, увеличить время жизни ионов в высокотемпературной области и тем самым повысить вероятность многократной ионизации, с другой - вследствие поддержания более высокой температуры в плазме при ее расширении понизить эффективность рекомбинации. Весьма интересным представляется использование для этих целей поперечного магнитного поля /нормаль к поверхности мишени перпендикулярна магнитным силовым линиям/. Как показано в /2/, расширение плазмы поперек магнитных силовых линий в области $\beta \geq 1$ / β - отношение газокINETического давления плазмы к магнитному / сопровождается увеличением температуры плазмы за счет омического нагрева электронным током, индуцированным на поверхности плазмы. Омический нагрев лазерной плазмы сопровождается перераспределением кинетической энергии ионов, причем в соответствии с /3/ до 60% кинетической энергии ионного компонента может перейти в тепловую энергию плазмы. Ввиду того /2/, что максимальный прирост температуры ΔT_e за счет взаимодействия плазмы с магнитным полем достигается в области $\beta \approx 1$ и сама величина ΔT_e слабо зависит от магнитного поля ($\Delta T_e \sim B^{4/21}$), возникает уникальная возможность задавать профиль температуры при разлете плазмы путем изменения величины магнитного поля B . Это может позволить создать оптимальные условия для получения многозарядных ионов в лазерной плазме.

Целью настоящей работы явилось экспериментальное изучение влияния поперечного магнитного поля на степень ионизации, количественные и временные характеристики ионного компонента лазерной плазмы на поздних стадиях ее разлета.

2. Анализ спектра зарядностей ионного компонента лазерной плазмы производился по измерению периода вращения иона в магнитном поле /4/. Методика измерений позволяла также выявить влияние магнитного поля на длительность и количественные характеристики импульса ионов. Лазерная плазма создавалась в том же магнитном поле, которое использовалось для аналитических целей.

3. Описание экспериментальной установки приведено в работе /4/. Использовался CO_2 -лазер, который позволял получать плот-

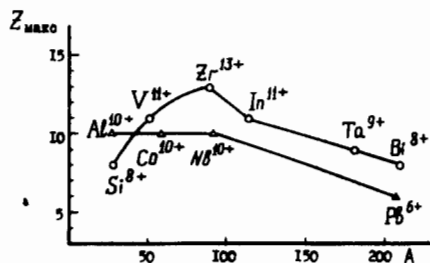


Рис. 1. Зависимость максимальной кратности ионизации ионов $z_{\text{макс}}$ от атомного веса A материала мишени: Δ - экспериментальные результаты работы /6/; $q \approx 3 \cdot 10^9$ Вт/см², $B=0$, \circ - экспериментальные результаты данной работы, $q \approx 10^9$ Вт/см², $B = 0,2 \div 0,5$ Т.

ность мощности лазерного излучения на поверхности мишени $q \approx 10^9$ Вт/см². Анализ ионного компонента лазерной плазмы, осуществляемой на мишенях из Si, V, Zr, Ta, Bi, производился в магнитном поле $B = 0,2 \div 0,5$ Т, величина которого определялась пространственными характеристиками лазерной плазмы в поперечном магнитном поле /5/, необходимостью получения требуемого временного разрешения и техническими возможностями экспериментальной установки. Анализ ионного компонента осуществлялся на расстоянии 6 см от поверхности мишени при значении $\beta < 1$ в пределах телесного угла $1,4 \cdot 10^{-2}$ ср.

4. а/ Как показали эксперименты, при неизменной плотности мощности лазерного излучения наличие магнитного поля приводит к увеличению максимальной кратности ионизации ионов. Более того, как видно из рис. 1, максимальная кратность ионизации в данном эксперименте при $q \approx 10^9$ Вт/см² в основном выше, чем в отсутствие магнитного поля даже при $q \approx 3 \cdot 10^9$ Вт/см², а максимальная кратность ионизации In^{11+} зарегистрирована в отсутствие поля при $q \approx 1,5 \cdot 10^{10}$ Вт/см² /1/, что более чем на порядок превышает величину q в данном эксперименте. Оценка газокINETического давления плазмы в области факела $> 10^7$ Н/м² / и магнитного $\leq 10^5$ Н/м² / показывает, что магнитные поля таких напряженностей не могут существенным образом повлиять на параметры плазмы в области факела $\beta \gg 1$. Поэтому наиболее вероятным представляется механизм повышения степени ионизации ионного компонента лазерной плазмы на поздних стадиях ее разлета за счет снижения рекомбинационных потерь. Отметим, что в сравнении с результатами работы /1/, где зарегистрированы ионы Nb^{14+} , In^{11+} /в нашем случае Zr^{13+} , In^{11+} /, данные экспериментальные условия, по-видимому, более оптимальны для получения многозарядных ионов при использовании мишеней с атомным весом ≈ 100 .

Баланс давлений $\beta \approx 1$ при разлете плазмы в магнитном поле в данных экспериментальных условиях выполняется на расстоянии $0,5 \div 2,5$ см от точки фокусировки на поверхности мишени и зависит от величины магнитного поля и материала мишени. Транс-

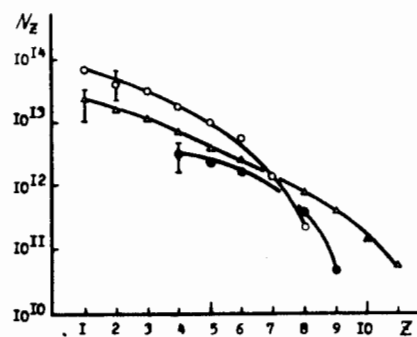


Рис. 2. Зависимость количества ионов N_z от кратности ионизации z , получаемых за один импульс лазера для различных материалов мишени: \circ - Si, Δ - V, \bullet - Ta.

портировка плазмы от области баланса давлений до области анализа осуществлялась за счет поляризации плазменного сгустка /7/, при этом в соответствии с результатами работы /8/ наблюдается интенсивный уход многозарядных

ионов из плазменного сгустка вдоль магнитных силовых линий. Поэтому, при уменьшении расстояния до области анализа, максимальная степень ионизации ионов может оказаться еще более высокой.

б/ Как показали экспериментальные исследования временных характеристик ионного компонента лазерной плазмы, так же как и в отсутствие магнитного поля, многозарядный ионный компонент находится в головной части плазменного сгустка. Энергетический спектр ионов, как и следовало ожидать /7/, сдвигается в сторону меньших энергий. Средняя кинетическая энергия многозарядных ионов \bar{E}_i в поперечном магнитном поле не зависит от кратности ионизации иона z , в отличие от случая образования и разлета лазерной плазмы в отсутствие поля, где с увеличением z наблюдается монотонный рост величины \bar{E}_i /9/. Так, для ионов ($\text{V}^{11+} \div \text{V}^{7+}$) $\bar{E}_i = 115 \pm 20$ эВ. Данный эффект представляется вполне естественным, поскольку в соответствии с /2/ наиболее сильные потери в кинетической энергии будут испытывать ионы, находящиеся в головной части плазменного сгустка, сформированного при разлете факела в области $\beta \gg 1$.

Длительность импульса ионов на полувысоте в области анализа составляла для всех материалов мишени от нескольких сотен нс до десятка мкс и монотонно уменьшалась с увеличением z . Так, например, длительность импульса ионов ванадия на полувысоте составляла от ≈ 300 нс (V^{11+}) до ≈ 10 мкс (V^{1+}).

в/ При анализе количества ионов N_z , получаемых за один импульс лазера, было найдено /рис. 2/: $1/N_z$ монотонно уменьшается при увеличении z ; $2/$ с увеличением атомного веса материала мишени наблюдается монотонный спад общего количества ионов $\sum N_z$; $3/$ количество ионов с максимальной кратностью ионизации $z_{\text{макс}}$ составляло не менее 10^{10} частиц за импульс лазера.

5. В данной работе проведено экспериментальное изучение зарядового спектра и временных характеристик ионного компонента

лазерной плазмы, образующейся и движущейся поперек магнитных силовых линий, которое позволяет более полно описать физику взаимодействия лазерной плазмы с магнитным полем. Полученные результаты представляются весьма важными с точки зрения разработки лазерного источника ионов для циклотронов, который должен работать в условиях магнитного поля $B = 2 \text{ Т}$.

Авторы благодарят Г.Н.Флерова и Ю.Ц.Оганесяна за полезные дискуссии, а также В.Б.Кутнера, Ю.П.Третьякова, С.Л.Богомолова за помощь в проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быковский Ю.А. и др. Письма в ЖТФ, 1979, 5, 1, с. 46.
2. Sudo S., Sato K.N., Sekiuchi T. J.Phys.D: Appl.Phys., 1978, 11, p. 389.
3. Fabre E., Stenz C., Colburn S. J.Physique, 1973, 34, p. 323.
4. Ананьин О.Б. и др. Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, ОИЯИ, 1981, 1, с. 98.
5. Ананьин О.Б. и др. ОИЯИ, P9-89-832, Дубна, 1980.
6. Сильнов С.М., Суслов А.И. Препринт ВИНТИ, 2010-78, 1978.
7. Matoba T., Ariga S. Journal of the Phys. Sos.Japan, 1971, 30, 5, p. 1477.
8. Демиденко И.И. и др. ЖТФ, 1964, 34, с. 1183.
9. Ананьин О.Б. и др. ОИЯИ, P7-7368, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 октября 1981 года.