

ИНЖЕКЦИЯ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ В СТЕЛЛАРАТОР

Э. Д. Андрухина, Р. Бланкен, Г. С. Воронов,
Н. П. Донская, М. С. Рабинович, А. Д. Смирнова,
О. И. Федянин, Ю. В. Хольнов, И. С. Шпигель

Предположение использовать плазму, создаваемую при взаимодействии лазерного излучения с твердой мишенью для заполнения магнитных ловушек было высказано давно [1]. Существенное повышение мощности лазеров сделало эту идею особенно перспективной, так как позволило получить плотную плазму с высокими температурами ионов (полное число частиц $\approx 10^{17}$, $T_i \approx 5 \cdot 10^2$ эв). Использование лазерной плазмы для заполнения тороидальных магнитных ловушек, в частности, стеллараторов [4], представляет большой интерес, поскольку позволяет получить плотную плазму с горячими ионами. Низкая электронная температура (масштаба 1 эв) не представляется существенным недостатком, так как нагрев только электронов – относительно простая задача.

В настоящей работе приведены результаты изучения основных закономерностей параметров захваченной лазерной плазмы при ее инжекции в замкнутую магнитную ловушку TOP-1 [2] и показана высокая эффективность захвата.

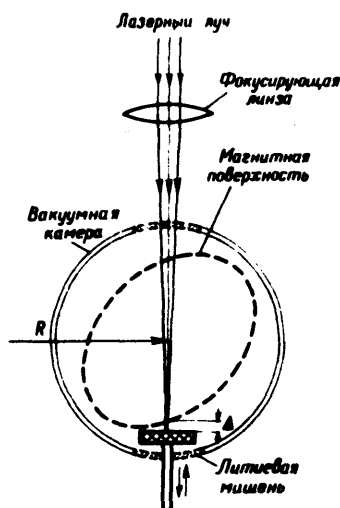


Рис. 1. Схема эксперимента

Установка ТСП-1 представляет собой стелларатор с двухзаходным винтовым полем. Большой радиус тороидальной вакуумной камеры 60 см, радиус ее поперечного сечения 5 см. Эксперименты выполнены при величине угла преобразования поворота $0,72\pi$, напряженность магнитного поля изменялась в пределах $3 + 10$ кГс.

Схема эксперимента показана на рис. 1. Луч неодимового лазера (длительность импульса $3 \cdot 10^{-8}$ сек, энергия $0,5 + 5$ Дж) с помощью линзы фокусировался на массивную мишень. Мишень могла перемещаться относительно граничной магнитной поверхности. В качестве мишени применялся диск из лития диаметром 24 мм и толщиной 5 мм. Выбор лития был обусловлен тем, что из всех твердых веществ он имеет ми-

нимальный атомный вес и, соответственно, ларморовский радиус ионов. Кроме того, большая эф. эффективность прилипания атомов лития при столкновении со стенкой вакуумной камеры должна приводить к очистке плазмы от нейтральных частиц, образующихся как при воздействии лазера на мишень, так и в процессе нейтрализации распадающейся плазмы.

Исследовались зависимости плотности электронной температуры, потенциала захваченной плазмы и давления от энергии лазера, размеров фокусного пятна, положения мишени и напряженности магнитного поля.

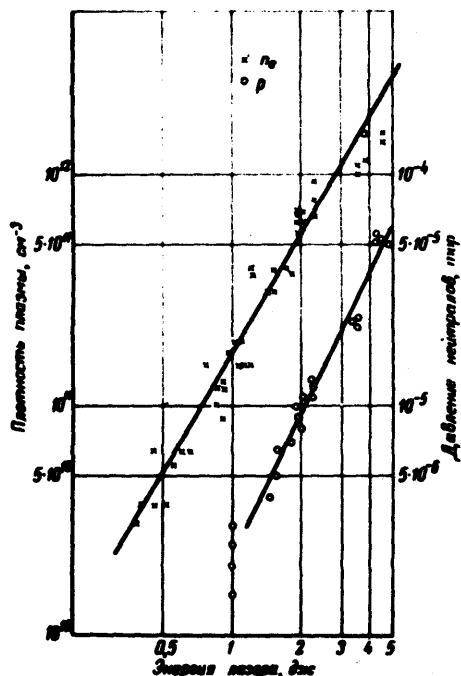


Рис. 2. Зависимость плотности плазмы (n) через 300 – 500 мксек после инъекции и давления нейтральных частиц (p) от энергии лазера (Q), $H = 6,7$ кэ

Плотность плазмы измерялась с помощью СВЧ интерферометра Фабри – Перо [3]. На рис. 2 показана зависимость плотности плазмы, захваченной в ловушку, от энергии лазерного импульса Q через 300 – 500 мксек после инъекции. Плотность плазмы растет с энергией лазерного импульса примерно квадратично, достигая при 5 Дж значения $\sim 2 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. Общий объем плазмы в ловушке $\sim 10^4 \text{ см}^3$, т. е. число захваченных ловушкой частиц достигает $2 \cdot 10^{16}$. Если учесть, что полное число заряженных частиц в сгустке лазерной плазмы не превышает 10^{17} , то это указывает на высокую эф. эффективность захвата.

Температура электронов T_e определялась по проводимости плазменного шнура, измеряемой при возбуждении в плазме пробного тока. На рис. 3 представлена зависимость T_e от Q через 1 мсек после инъекции. Температура электронов порядка одного электронвольта и слабо зависит от энергии лазерного излучения. Плавающий потенциал U_f плазмы измерялся прогреваемым ленгмювским зондом. Потенциал плазмы отрицательный, что указывает на преимущественный уход ионов. При плотности $\sim 10^{11} \text{ см}^{-3}$, $U_f = 20 + 25 \text{ в}$, с ростом энергии лазера потенциал уменьшается в 3 – 4 раза (рис. 3). Измерения устано-

вившегося давления газа показали, что оно растет при увеличении энергии лазерного импульса (см. рис. 2), достигая при энергии $5 \text{ Дж } 5 \cdot 10^{-5} \text{ тор}$. (Начальное давление в камере $\approx 5 \cdot 10^{-7} \text{ тор}$). Можно предположить, что основным источником нейтралов является газ сорбированный на стенках вакуумной камеры. Весьма важной характеристикой захваченной

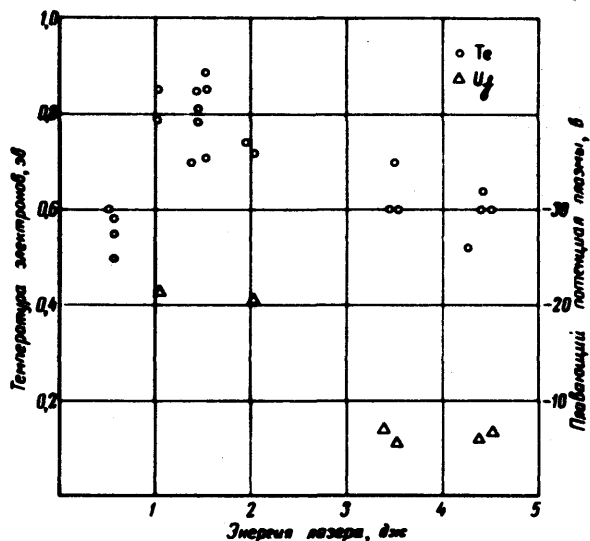


Рис. 3. Зависимость температуры электронов (T_e) и плавающего потенциала (U_f), измеренных через 1 мсек после инжекции от энергии лазера (Q), $H = 6,7 \text{ кэ}$

плазмы является температура ионов, однако прямых измерений ионной температуры пока еще не производилось. Оценка энергии ионов, проведенная на основании измерений скорости потока плазмы в процессе заполнения ловушки показала, что их направленная энергия порядка сотен электронвольт и возрастает с энергией лазера. Были проведены эксперименты по изучению связи величины плотности захваченной плазмы с размером фокусного пятна на мишени (0,3 – 3 мм), положения мишени относительно граничной магнитной поверхности ($\pm 10 \text{ мм}$) напряженности магнитного поля ($3 \pm 10 \text{ кэ}$). Все эти факторы не очень сильно влияют на параметры плазмы, например, при изменении магнитного поля в 3 – 3,5 раза плотность захваченной плазмы изменяется в 2 – 2,5 раза.

Таким образом, в настоящей работе показана возможность использования лазерной плазмы для заполнения тороидальной магнитной ловушки, высокая эффективность захвата и возможность изменения в широких пределах параметров захваченной плазмы.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 июля 1971 г.

Литература

- [1] Г.А.Аскарьян, Н.Б.Делоне, М.С.Рабинович. Авторское свидетельство № 172411, 1963, Б.И. № 13, июль 1965г., стр. 45; ЖЭТФ, 46, 814, 1964.
- [2] В.Л.Зубков, О.И.Федянин, Ю.В.Хольнов. Препринт ФИАН СССР №94, 1968.
- [3] Д.К.Акулина, Ю.И.Нечаев, О.И.Федянин. Труды III-й Всесоюзной конференции по диагностике плазмы, Сухуми, 1970.

[4] R.A.E.Bolton, J. Hugill, D.L.Lees, W.Miller, P.Reynolds. IV Conf. on Plasma Phys. and Contr. Nucl. Fusion Research. CN-28/H-6, Visconsin, USA, 1971.
