

# ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО НАБЛЮДЕНИЮ НЕЙТРОНОВ ПРИ ФОКУСИРОВКЕ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ ДЕЙТЕРИДА ЛИТИЯ

*Н.П.Басов, С.Д.Захаров, Ц.П.Крыков, Ю.В.Сенатовский,  
С.В.Чекалин*

В настоящей работе сообщаются результаты предварительных исследований, направленных на получение термоядерных температур в плотной плазме с помощью мощного лазерного излучения.

В 1962 году было показано [1], что при фокусировке мощного лазерного излучения на поверхность твердой мишени, содержащей дейтерий, можно получить плотную плазму с температурой, достаточной для протекания термоядерных реакций.

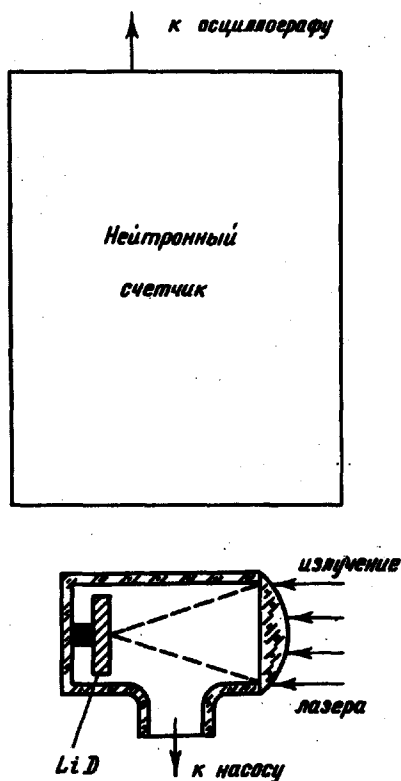


Рис. 1. Схема опыта по наблюдению нейтронов

Для этого требовалась мощность лазеров, существенно превосходящая ту, которая имелаась в то время.

Нами была проведена работа по повышению выходной энергии и мощности лазеров [2,3]. Получение наносекундных импульсов света с мощ-

ностью свыше  $10 \text{ Гэв}$  сопряжено с повреждениями активной среды, что сильно затрудняло проведение экспериментов по нагреву плазмы. Было обнаружено, что порог разрушения по мощности повышается при сокращении длительности импульса [2]. Используя в качестве задающего генератора лазер ультракоротких импульсов с нелинейным поглотителем [4], нам удалось после усиления получить импульс света с энергией до  $20 \text{ Дж}$  за время, по-видимому, не превышающее  $10^{-11} \text{ сек}^1$ .

Схема опыта по наблюдению нейтронов представлена на рис.1. Излучение лазера фокусировалось линзой с фокусом  $60 \text{ мм}$  на поверхность дейтерида лития, находящегося в вакууме. Контакт поверхности мишени с воздухом исключался. На расстоянии  $10 \text{ см}$  от мишени располагался большой сцинтилляционный счетчик. Сцинтиллятор из пластмассы на основе полистирола имел форму цилиндра диаметром  $30 \text{ см}$ , переходящего в усеченный конус с меньшим основанием, согласованным с размерами фотокатода ФЭУ-52. Общая высота сцинтиллятора была  $20 \text{ см}$ , его поверхность была отполирована и окружена слоем порошка окиси магния. Счетчик помещался в двойной дюралевый корпус с толщиной стенок  $16 \text{ мм}$ . Эффективность регистрации нейтронов из мишени в данной геометрии составляла более  $10\%$ .

Импульсы от ФЭУ и сигнал от затвора Керра, указывающий момент прихода лазерного импульса на мишень, подавались на двухлучевой осциллограф С1-17. ФЭУ работал в линейном режиме и имел постоянную времени анодной цепи несколько десятков микросекунд.

Эксперименты по наблюдению нейтронов проводились сериями по  $5-10$  вспышек. Условия эксперимента отличались от серии к серии в связи с возможными изменениями качества мишени, фокусировки, а также с некоторыми повреждениями в стержнях входных каскадов усилителя. Эти повреждения, по-видимому, обусловлены возникновением генерации при обратном рассеянии излучения от плазмы.

Результаты экспериментов в двух сериях приводятся в таблицах.

На рис.2,а приводится одна из осциллограмм при отсутствии совпадений сигнала от счетчика с сигналом от затвора Керра. Можно видеть импульс, обусловленный фоном. Фон состоял из импульсов космического происхождения (амплитуда свыше  $10 \text{ в}$ , частота появления несколько импульсов в  $\text{сек}$ ) и импульсов от естественной радиоактивности сцинтил-

<sup>1)</sup> Опыты, проведенные отдельно с задающим генератором, показали, что длительность лежала в интервале  $10^{-11}$  и  $10^{-12} \text{ сек}$ . Длительность измерялась с помощью методики, описанной в работе [5].

лятора (амплитуда несколько вольт, частота появления  $\sim 10^3 \text{ сек}^{-1}$ ). На рис. 2, б показана одна из осциллограмм в случае совпадения. Калибровка счетчика по источникам  $\text{Cs}^{137}$  и  $\text{Co}^{59}$  показала, что импульсы, наблюдаемые нами при совпадении, могут принадлежать единичным нейтронам с энергией  $\sim 2,5 \text{ мэв}$ . Все случаи совпадений приходится на вспышки с энергией, большей  $6 \text{ дж}$ . Число зарегистрированных нами совпадений в двух сериях в 20 раз превосходит вероятность случайного совпадения фонового импульса с импульсом от затвора Керра.

Т а б л и ц а 1

Энергия, дж	6	4	17	6	5	6	10	8
наличие совпадений	нет	нет	есть	нет	нет	нет	нет	нет

Т а б л и ц а 2

Энергия, дж	6	10	11	11	8	11
наличие совпадений	есть	есть	нет	есть	нет	нет

Оценим среднюю энергию на частицу при энергии, вкладываемой в плазму,  $10 \text{ дж}$  за время  $10^{-11} \text{ сек}$ . Диаметр фокального пятна был в нашем случае  $\sim 0,2 \text{ мм}^2$ ). Из уравнения для набора энергии  $\epsilon$  электроном в поле световой волны

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} = \frac{e^2 E_0^2}{2 m \omega^2} \nu_{\text{эф}}(\epsilon),$$

где  $E_0$  – амплитуда поля;  $e, m$  – заряд и масса электрона;  $\omega$  – частота света,  $\nu_{\text{эф}}(\epsilon)$  – эффективная частота электрон-ионных столкновений, получаем  $\epsilon \sim 3 \cdot 10^4 \text{ эв}$ . Время между электрон-ионными столкновениями  $\sim 3 \cdot 10^{-13} \text{ сек}$ , длина пробега электрона  $\sim 30 \text{ мк}$  и, сле-

2) Размеры пятна определялись по фотографии горячей области плазмы в рентгеновских лучах, полученной с помощью камеры-обскуры.

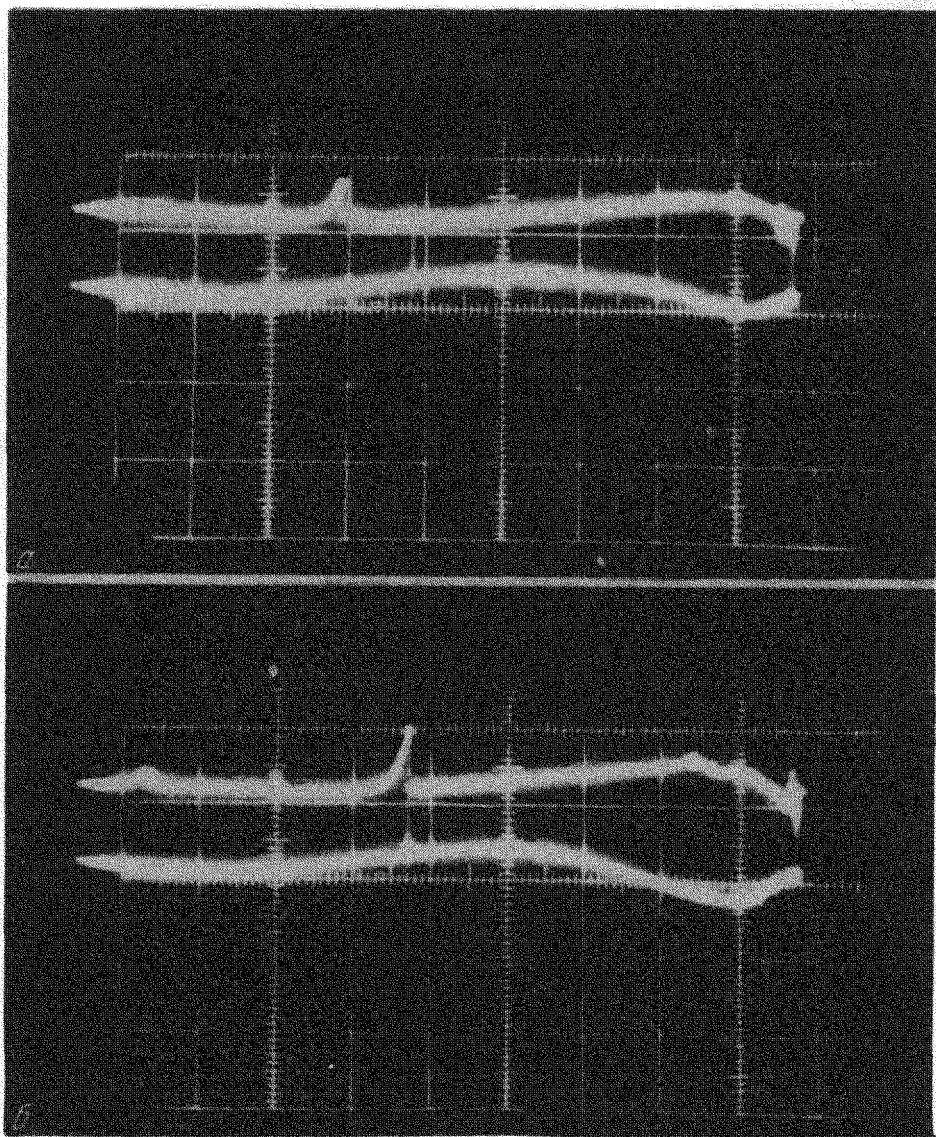


Рис. 2. Осциллограммы импульсов от счетчика (нижний луч) и от затвора Керра (верхний луч): *a* - совпадение импульсов отсутствует; *b* - случай совпадения. Длительность развертки  $200 \text{ мкс} \cdot \text{сек}/\text{см}$

довательно, объем нагреваемой плазмы  $\sim 3 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3$ . Это дает среднюю энергию на частицу  $\sim 2 \cdot 10^3 \text{ эв}$ .

Считая, что в наших экспериментах наблюдались отдельные нейтроны, можно оценить сечение  $d-d$  реакции [6]  $\sigma \sim 10^{-35} \text{ см}^2$ , что дает для средней энергии дейтрона значение  $2 \cdot 10^3 \text{ эв}$ . Это значение согласуется с предыдущей оценкой.

Исследования по нагреву плазмы мощным лазерным излучением в настоящее время продолжаются.

Авторы выражают глубокую благодарность О.Н.Крохину за помощь в работе и обсуждение результатов; сотрудникам Института Атомной энергии им.И.В.Курчатова академику Л.А.Арцимовичу, В.И.Когану, Т.И.Филиповой, Р.В.Лазаренко за неоднократные обсуждения и помощь при организации работы; Ю.А.Матвееву за помощь в проведении экспериментов, Ю.А.Быковскому и В.И.Дымовичу за предоставление масс-спектрометрической установки; Т.А.Романовой за помощь в обработке рентгеновских фотографий; Б.А.Бенецкому за помощь в калибровке счетчика; И.Я.Бариту и Г.Е.Беловицкому за полезные дискуссии; Н.А.Фроловой за помощь в работе и предоставление изотопных источников, а также В.Т.Юрову, Л.М.Кузьмину и Д.Б.Воронцову за помощь в эксперименте.

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

Поступило в редакцию  
14 мая 1968 г.

### Литература

- [1] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин. ЖЭТФ, 46, 171, 1964.
- [2] Р.В.Амбарцумян, Н.Г.Басов, В.С.Зуев, П.Г.Крюков, В.С.Летохов. Письма ЖЭТФ, 4, 19, 1966.
- [3] Н.Г.Басов, В.С.Зуев, П.Г.Крюков, В.С.Летохов, Ю.В.Сенатский, С.В.Чекалин. ЖЭТФ, 54, 3, 1968.
- [4] A.I.De Maria, D.A.Stetser, H.Heypau. Appl. Phys. Lett., 8, 174, 1966.
- [5] W.H.Glenn, M.J.Brienza. Appl. Phys., Lett., 10, 221, 1967.
- [6] Л.А.Арцимович. Управляемые термоядерные реакции, М., 1963.