

## ЭФФЕКТ СИЛЬНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОГО ГАЗА ПРИ БОЛЬШИХ ИНТЕНСИВНОСТЯХ СВЕТА

*Н.А.Генералов, Г.И.Козлов, Ю.П.Райзер*

Исследовалось поглощение света в плазме. Обнаружен, насколько нам известно, впервые, нелинейный эффект сильного увеличения поглощения при возрастании интенсивности света. Однородная плазма с устойчивыми параметрами создавалась в ударной трубе; труба аналогична описанной в [1]. Использовался рубиновый лазер с модулированной добротностью, дающий стабильные импульсы с мощностью  $20 \text{ Мвт}$  и длительностью  $50 \text{ нсек}$ . Линзой с  $f = 3 \text{ см}$  луч фокусировался в неподвижный ионизованный газ за отраженной ударной волной на расстоянии  $1 \text{ см}$  от торца, вблизи оси трубы. Диаметр кружка фокусировки, определенный путем измерения распределения интенсивности по сечению фокуса, составлял  $1,35 \cdot 10^{-2} \text{ см}$ .

Излучение, прошедшее через трубу (путь  $8 \text{ см}$ ), регистрировалось фотоумножителем ФЭУ-52, импульс напряжения с которого подавался на осциллограф И2-7. Перед ФЭУ-52 помещался светофильтр с полосой пропускания  $6938\text{-}6948 \text{ \AA}$ . Для ослабления интенсивности падающего излучения использовались нейтральные светофильтры.

С помощью специально разработанной системы момент формирования лазерного импульса синхронизовался с моментом прохождения отраженной ударной волны мимо смотровых окон трубы. Синхронизация производилась таким образом, чтобы свет попадал в заведомо однородную, стабильную, термодинамически равновесную область плазмы.

Эксперименты проводились в ксеноне при строго постоянных условиях: начальное давление  $10 \text{ мм рт.ст.}$ , число Маха падающей ударной волны  $10,3$ . При этом за отраженной ударной волной плотность нейтральных атомов была  $N_g = 5,5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , плотности электронов и ионов  $N_e = 0,97 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , температура  $T = 11\ 000^\circ \text{ К}$  (при расчете этих величин учитывалось снижение потенциала ионизации в плазме; охлаждение излучением не учитывалось).

На той же установке были проведены опыты по пробое холодного ксенона в фокусе линзы при давлении  $\approx 200 \text{ мм рт.ст.}$ , соответствующем плотности за отраженной ударной волной. Полученные пороговые значения мощности  $P_p \approx 20 \text{ Мвт}$  и интенсивности  $I_p \approx 1,4 \cdot 10^5 \text{ Мвт/см}^2$  согласуются с известными данными.

Результаты измерений представлены на рис. 1, где  $P_{\text{пр}}/P_{\text{пад}}$  — отношение прошедшей мощности к падающей. Специальные опыты показали, что отражение или рассеяние от плазмы очень мало, небольшое отражение от обзорных стекол учитывалось, так что  $P_{\text{пр}}/P_{\text{пад}}$  характеризует только поглощения. Кривые 1 и 2 относятся к плазме и холодному газу соответственно. Бросается в глаза резкость порога для пробоя в холод-

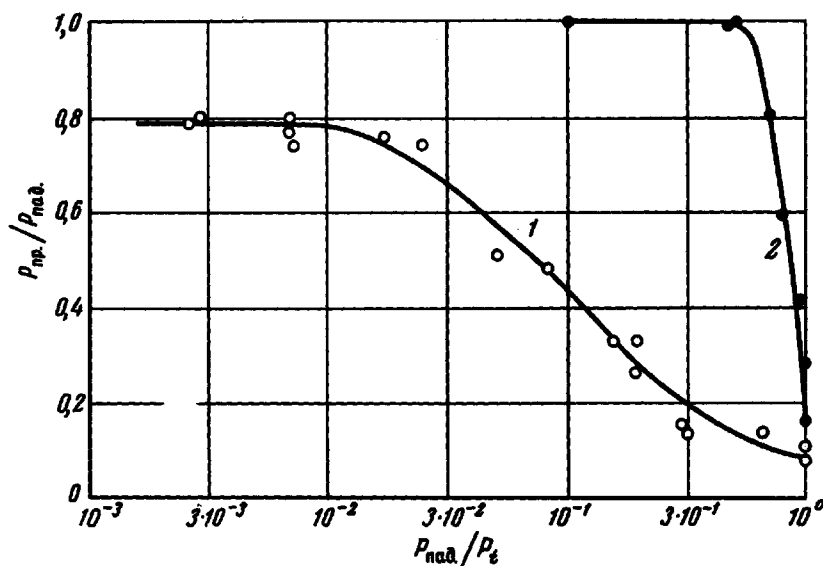


Рис.1

ном газе и постепенность нарастания поглощения в плазме. Существенно меняется и характер поглощения света во времени, что хорошо видно из приводимых на рис. 2 осциллограмм импульсов, на которых верхние кривые относятся к падающему свету, а нижние — к проходящему (2, а — плазма, 2, б — холодный газ).

Основной причиной возрастания поглощательной способности является ионизация, которая развивается под действием света. Электроны, поглощая кванты при свободно-свободных переходах, набирают энергию и возбуждают атомы, которые очень быстро ионизируются электронным ударом (в отличие от случая пробоя холодного газа [2] здесь электронов много с самого начала). Интенсивность  $I_1$ , при которой начинается заметная дополнительная ионизация и возникает нелинейность в погло-

щении, можно оценить, исходя из формулы для набора энергии  $\epsilon$  электроном в световом поле  $E$ , с учетом упругих потерь

$$\frac{d\epsilon}{dt} = \left[ \frac{e^2 E^2}{m\omega^2} - \frac{2m}{M} \left( \epsilon - \frac{3}{2} kT \right) \right] \nu_i.$$

Здесь  $E^2 = 4\pi I/c$ ;  $\nu_i$  — частота кулоновских столкновений электронов с ионами.

Для того, чтобы средняя энергия электронов в поле при наличии упругих потерь поднялась на несколько электронвольт (а именно это необходимо для существенного ускорения актов ионизации), требуется интенсивность  $I_1 = 10^3 \text{ Мвт/см}^2$ , которую найдем из условия  $d\epsilon/dt = 0$ .

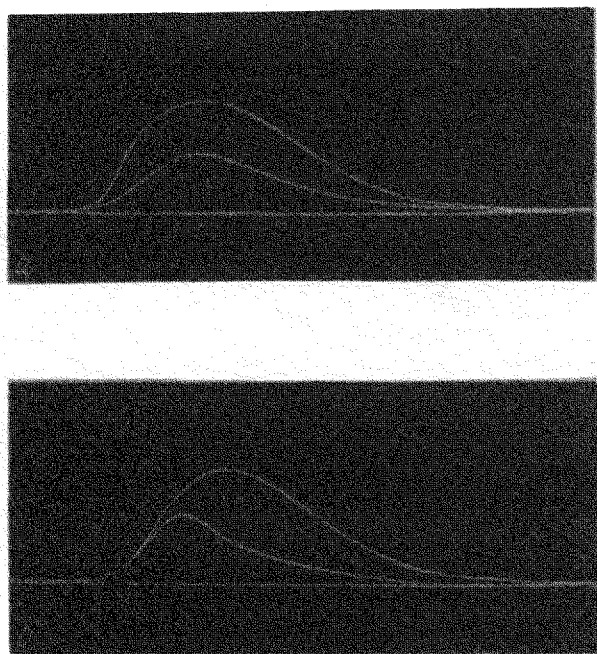


Рис.2

Это значение согласуется с экспериментальной точкой начала сильной нелинейности  $(P_{\text{пад}}/P_t)_1 = I_1/I_0 \approx 10^{-2}$ . Дальнейший ход кривой поглощения определяется кинетикой развития ионизации в плазме и влиянием геометрического фактора — конусностью пучка. Существенно, одна-

ко, что при очень больших интенсивностях нет смысла говорить о локальном коэффициенте поглощения света  $\kappa(I)$ , так как вследствие большого энерговыделения начинаются гидродинамические эффекты [2].

Подчеркнем, что при интенсивностях, превышающих  $I_1$ , нелинейно поглощает не только область фокуса, но и весь объем светового конуса, где  $I > I_1$ , что существенным образом сказывается на оптической толщине нелинейно поглощающего слоя плазмы.

Различие в характере кривых 1 и 2 рис. 1 отчасти связано с тем, что при пробое холодного газа должно народиться много,  $n \approx 40$  поколений электронов [2]. При времени размножения, скажем, обратно пропорциональном  $I$  уменьшение  $I$  вдвое приводит к уменьшению конечной ионизации в  $2^n/2 \approx 10^6$  раз, что равносильно отсутствию поглощения. В плазме же рождается всего несколько поколений и уменьшение  $I$  вдвое приводит к уменьшению числа электронов и поглощения всего в несколько раз.

Другая причина постепенности нарастания поглощения при росте  $I$  — это увеличение геометрической толщины нелинейно поглощающего слоя.

Имея в виду полученные результаты, следует с большой осторожностью применять те методы лазерной диагностики плазмы, в которых используются световые пучки большой интенсивности.

Статьи, посвященные подробному описанию постановки и результатов эксперимента и теоретическому рассмотрению явления, готовятся к печати.

Авторы благодарны В.А.Масюкову и А.Э.Абалиеву за участие в проведении опытов.

Институт проблем механики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
31 мая 1968 г.

#### Литература

- [1] Г.И.Козлов, Ю.П.Райзер, Д.И.Ройтенбург. ПМТФ, № 1, 140, 1968.
- [2] Ю.П.Райзер. УФН, 87, 29, 1965.