

03; 07

© 1992

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАКАЧКИ ГАЗОВЫХ СРЕД
ОСКОЛКАМИ ДЕЛЕНИЯМ.Г. А н у ч и н, К.Ф. Г р е б е н к и н,
В.А. К р ы ж а н о в с к и й, Э.П. М а г д а

В последние годы повысился интерес к нетрадиционным лазерным системам, в частности – к лазерам с ядерной накачкой [1], в которых газовая активная среда возбуждается потоком осколков деления из тонкого слоя делящегося материала, нанесенного на граничащую с газом поверхность. Для правильной интерпретации результатов экспериментальных исследований лазеров с ядерной накачкой, и, в первую очередь – для определения их КПД, необходимо знать эффективность передачи энергии из активного слоя в газовую среду.

В расчетном плане проблема энерговыклада осколков деления хорошо изучена (см., например, [1–6]) и предполагалось, что погрешность расчетных моделей сравнительно невелика. Однако в недавних экспериментах [7] было обнаружено двухкратное снижение измеренного энерговыклада осколков деления в аргон по сравнению с расчетным значением. Вопрос о причинах столь большого расхождения теории и эксперимента пока остается открытым и требует дальнейшего изучения.

Ниже представлены результаты выполненных нами независимых измерений энерговыклада при ядерной накачке гелия и неона. Эксперименты проводились с цилиндрической кюветой длиной 800 мм. На внутреннюю поверхность кюветы диаметром 28 мм на длину 520 мм наносился слой окиси-закиси урана-235 толщиной 3 мг/см². Окруженная полиэтиленовым замедлителем кювета помещалась во внутренний канал импульсного ядерного реактора на быстрых нейтронах. Максимальный поток тепловых нейтронов в середине кюветы составлял $\sim 10^{17}$ т.н./см² с при длительности импульса накачки ~ 0.4 мс. Энерговыделение в активном слое и его распределение по длине кюветы измерялось с помощью активационной экспериментальной методики.

Как и в работе [7], энерговыклад осколков деления в газовую среду определялся по результатам измерений обусловленного ядерной накачкой увеличения давления газа. Типичная осциллограмма сигнала с датчика давления, установленного на торце кюветы, показана на рис. 1. На ней наблюдаются осцилляции давления, связанные с затухающими звуковыми колебаниями, возникающими при импульсном нагреве центральной части газа. Аналогичный результат был получен в работе [7].

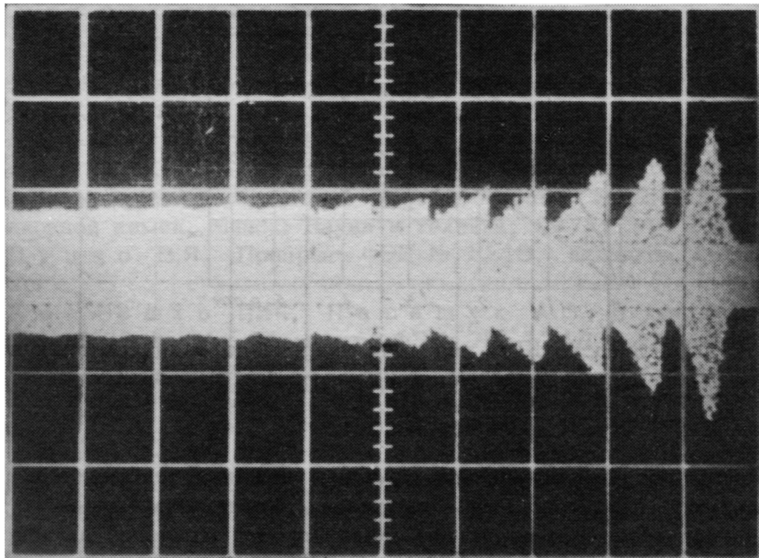


Рис. 1. Пример осциллограммы сигнала с датчика давления. Цена деления: по вертикали – 5 мВ/дел, по горизонтали – 2 мс/дел.

Оценка энерговклада по измеренному давлению производилась двумя способами. В первом варианте методики энерговклад определялся по установившемуся после затухания звуковых колебаний давлению в газе с учетом небольшой поправки на остывание газа за счет теплопроводности. Во втором варианте методики производилось сравнение расчетного и экспериментального значений амплитуды первого импульса давления на торце кюветы. Расчеты нестационарного течения газа вдоль оси кюветы проводились в одномерном приближении, применялась программа решения уравнений газодинамики, описанная в работе [8]. В расчетах учитывалось реальное распределение энерговклада вдоль оси кюветы и зависимость мощности накачки от времени. Была выполнена серия расчетов с вариацией полного энерговклада в газ и в качестве оценки энерговклада принималось значение, при котором в расчетах воспроизводятся результаты измерений амплитуды первого импульса давления.

Полученная зависимость эффективности передачи энергии из активного слоя в гелий от давления газа при начальной температуре 20 °С представлена на рис. 2. Оба варианта методики обработки результатов эксперимента дали близкие результаты. Аналогичная зависимость была получена также для неона.

На рис. 2 показана также расчетная зависимость эффективности энерговклада от давления гелия, полученная по методу Монте-Карло [6] с учетом экспериментальных данных по числу делений в активном слое. Измеренное значение энерговклада оказалось в среднем в ~ 2 раза меньше, чем по расчетам. В этом смысле полученные результаты согласуются с результатами работы [7].

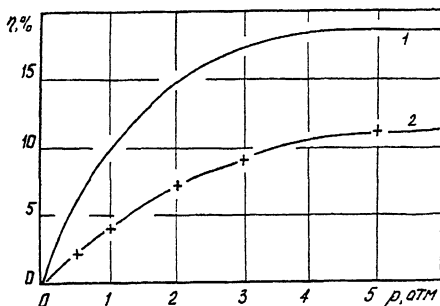


Рис. 2. Зависимость КПД передачи энергии делений из активного слоя в гелий от давления гелия (1 - расчет, 2 - эксперимент).

Кратко обсудим возможные причины снижения энерговыклада по сравнению с расчетом. Ранее высказывалось предположение [6], что потери обусловлены низким качеством изготовления активного слоя. Другая возможная причина может быть связана с тем, что в чистых инертных газах при умеренной мощности накачки около 50 % энерговыклада от внешнего ионизатора может трансформироваться в УФ излучение димеров [9]. Таким образом, половина вложенной энергии, в принципе, может уноситься из газа, не давая вклада в его нагрев и, следовательно, не оказывая влияния на возникающее в газе давление.

Для проверки рассмотренного механизма формирования импульсов давления при ядерной накачке инертных газов целесообразно исследовать в экспериментах влияние примесей, например азота, на скачок давления. Смысл данного предложения очевиден - при добавлении примеси механизмы плазмохимической релаксации газа изменятся и при определенных условиях можно практически полностью заблокировать канал образования эксимеров и, следовательно, существенно уменьшить потери на излучение.

Таким образом, в работе выполнены измерения энерговыклада осколков деления в гелий и неон по скачку давления, возникающему при импульсной накачке газа. Как и в аналогичных экспериментах с аргоном [7], обнаружено двукратное снижение энерговыклада по сравнению с расчетным значением. В качестве наиболее вероятных причин потерь обсуждаются низкое качество изготовления активных слоев, а также возможность уноса значительной части вложенной энергии в виде неравновесного УФ излучения димеров инертного газа. Предложен способ экспериментальной проверки роли второго эффекта путем изучения влияния примесей на скачок давления при импульсной ядерной накачке.

Авторы признательны В.И. Литвину, Ю.А. Панфилову, и Л.В.Семкову за помощь при проведении экспериментов, а также П.П. Дьяченко и А.В. Зродникову за стимулирующие обсуждения.

- Schneider R.T., Hohlf F. // Adv. Nucl. Sci. and Eng. 1984. N 16. P. 123-287.
- Казазян В.Т., Литвиненко Б.А., Рогинец Л.П., Савушкин И.А. Физические основы использования кинетической энергии осколков деления в радиационной химии. Минск: Наука и техника, 1972. 246 с.
- Пупко В.Я. Препринт ФЭИ № 1245. Обнинск, 1981. 73 с.
- Дьяченко П.П., Парашук А.В., Пупко В.Я. и др. Препринт ФЭИ № 1745. Обнинск, 1985. 15 с.
- Карелин А.В., Середина О.В., Харитонов В.В. и др. // Атомная энергия. 1986. Т. 61. № 1. С. 44-46.
- Анучин М.Г., Гребенкин К.Ф., Кандиев Я.З., Черепанова И.Л. // ЖТФ. 1991. Т. 61. В. 1. С. 3-8.
- Torchynski J.R., Gross R.J., Hauss G.N. et al. // Nucl. Sci. and Eng. 1989. V. 101. N 3. P. 280-284.
- Андрющенко Н.В., Банных В.И., Легонькова Г.С. // Численные методы в механизме сплошной среды. 1977. Т. 8. № 3. С. 5-26.
- Prelas M.A., Woody F.P., Mileu G.H., Kunze J.F. // Laser and Particle Beams. 1988. V. 6. Pt. 1. P. 25-62.

Поступило в Редакцию
10 февраля 1992 г.