

**СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

**P15-86-146**

**Бан Хе Сок, В.И.Ляшенко, Нгуен Динь Лок,  
Э.Содномын, Т.Тудор\*, Ю.А.Щербаков**

**АЗОТНЫЙ ЛАЗЕР  
ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ СТРИМЕРНОЙ КАМЕРЫ**

---

\* Бухарестский государственный университет

**1986**

В 1973 г. нами начал разрабатываться новый тип детектора элементарных частиц высоких энергий — лазерная стримерная камера<sup>/1/</sup>. В такой камере фотографируются дифракционные изображения, обусловленные возникновением оптической неоднородности в стримерном канале. В результате этих экспериментов оказалось, что может быть достигнуто хорошее пространственное разрешение (100 мкм), почти такое же, как в пузырьковых камерах, высокая контрастность изображений стримеров при малой чувствительности пленки. Все это подтвердилось в экспериментах с газами  $H_2$ ,  $D_2$ , He и He +  $CH_4$  при больших давлениях газа вплоть до 10 атм<sup>/2-4/</sup>. Как правило, для освещения стримерных камер используются азотные лазеры, простые в изготовлении, эксплуатации и долговечные. Для освещения реальной стримерной камеры объемом  $650 \times 450 \times 150 \text{ мм}^3$  нами разработан метод стереоскопического съема информации со сферическим зеркалом<sup>/5/</sup>. Однако для освещения большого объема требуются лазеры повышенной мощности. С этой целью сделана попытка разработать азотный ультрафиолетовый лазер, на безындукционных керамических конденсаторах, в котором увеличен объем разрядной трубки, повышена емкость накопительных и разряжающихся на трубку конденсаторов и поднята величина питающего напряжения.

В работе приводятся конструкция и рабочие характеристики лазера, которые сопоставляются с аналогичными характеристиками лазеров с поперечной и продольной накачкой, разработанных в ОИЯИ и в ГДР.

## ПРИНЦИП РАБОТЫ АЗОТНОГО ЛАЗЕРА

Азотный лазер на длине волны  $\lambda = 337,1 \text{ нм}$  работает в режиме трехэнергетического уровня ( $\chi \Sigma_g^+$  — основной уровень;  $B^3\Pi_d$  — лазерный нижний уровень;  $C^3\Pi_u$  — лазерный верхний уровень).

Молекулы возбуждаются в основном путем столкновений со свободными электронами.

Из системы динамических уравнений, описывающих процессы, происходящие в разряде азотного лазера, получается общеизвестное условие<sup>/6/</sup> для инверсии населенности между уровнями  $B^3\Pi_d$  и  $C^3\Pi_u$ :

$$t < \frac{1}{\gamma_{32} + \tau_{32}^{-1}} < \tau_{32} \approx 40 \text{ нс},$$

где  $t$  — время инверсии населенности;  $\gamma_{32}$  — скорость девозбужде-

ния  $S^3\Pi_u$ -уровня на  $V^3\Pi_d$  за счет столкновений;  $\tau_{32}$  — время жизни  $S^3\Pi_d$ -уровня. Это означает, что время накачки азотного лазера должно быть меньше 40 нс.

Когда плотность свободных электронов в газе увеличивается ( $N_e > 6 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ), скорость девозбуждения уровня также увеличивается, а время полезной накачки должно быть еще короче. Именно это ограничивает работу азотных лазеров при повышенных давлениях. Чтобы за это время возбудились молекулы азота в лазерной трубке, необходимо обеспечить большую амплитуду разрядного тока с крутым передним фронтом.

Б.Годар в [6] показал, что самые эффективные электроны, которые возбуждают азотные молекулы на уровень  $S^3\Pi_u$ , обладают энергией порядка 14–16 эВ. Из этого можно получить оптимальные условия для работы лазера:  $E/P = 200 \div 250 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{торр}$ , где  $E$  — напряженность поля в лазерной трубке,  $P$  — давление азота.

В работе [7] теоретически и экспериментально исследованы особенности возбуждения азотного лазера и рекомендована область рабочего давления 30–60 торр. При этом выполняется условие  $E/P \sim 100 \div 200 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1}$  (в нашем случае это около  $220 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{торр}^{-1}$ ), длительность импульса накачки 3–5 нс.

## КОНСТРУКЦИЯ ЛАЗЕРА

Нами была выбрана простейшая электрическая схема лазера, представленная на рис.1, такая, чтобы длительность импульса накачки была возможно более короткой при использовании керамических конденсаторов типа К15-4. Это достижимо при минимальном волновом сопротивлении системы питания разрядной трубки и малой паразитной индуктивности между лазерной трубкой, системой питания и разрядником.

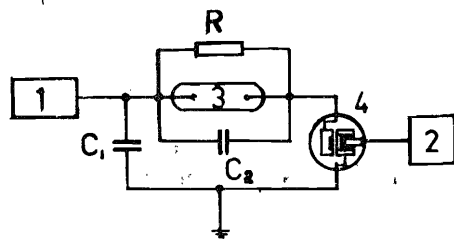
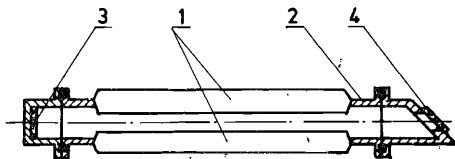


Рис.1. Принципиальная электрическая схема азотного импульсного лазера. 1 — выпрямитель на 50 кВ, 2 — блок запуска, 3 — разрядная лазерная трубка, 4 — коммутирующий разрядник,  $C_1$  — батарея керамических безындукционных конденсаторов — 75 нФ,  $C_2$  — батарея ударных конденсаторов — 18 нФ, балластный резистор — 10 Ом.

Рис.2. Конструкция лазерной трубки. 1 — электроды из нержавеющей стали, 2 — корпус трубки из плексигласа, 3 — полное отражающее зеркало, 4 — кварцевое окно.



Конструкция лазерной трубки показана на рис.2. Лазерная трубка изготовлена из плексигласа. Внутренний диаметр этой трубки составлял 34 мм. В пазы на трубке с помощью эпоксидного клея вклеены электроды из нержавеющей стали толщиной 3 мм и длиной 600 мм, с расстоянием между ними 20 мм.

Для получения однородного разряда и предельно высокой выходной энергии лазера оба электрода должны быть строго параллельны друг другу. Поэтому мы устанавливали эти электроды по специальным калибрам с точностью  $20 \div 50 \text{ мкм}$ . На одном конце лазерной трубки было установлено отъюстированное алюминиевое зеркало, а на другом — тонкое кварцевое окно под углом Брюстера, чтобы избежать излишних потерь выходного излучения. Для уменьшения волнового сопротивления и паразитной индуктивности в цепи соединения между электродами и батареей конденсаторов разряда выполнялись широкой и короткой медной фольгой.

Трехэлектродный разрядник изготовлен из плексигласа с разрядной камерой диаметром 30 мм и высотой 20 мм. Оба электрода, между которыми проходил разрядный импульс, выполнены из нержавеющей стали для обеспечения стабильности размеров и имели тороидальную форму. Это одновременно уменьшало величину индуктивности. Разрядник установлен посередине лазера с тем, чтобы обеспечить однородность в подаче напряжения на разрядную камеру. Расстояние между электродами было выбрано в 3 мм, а рабочее давление газа составляло 5 атм. Для управления работой разрядника сигнал от блока запуска подавался на поджигающий электрод, выполненный также из нержавеющей стали. Зазор между этим электродом и земляным электродом равнялся  $\sim 0,2$  мм. Мы использовали также разрядник с керамикой между земляным и запускающим электродами. При этом величина запускающего напряжения снижалась в 3 раза (с 15 до 5 кВ).

Емкости  $C_1$  и  $C_2$  являются безынерционными керамическими конденсаторами.  $C_1$  состоит из 5 конденсаторов К15-10 (рабочее напряжение до 50 кВ и общая емкость 75 нФ), а батарея  $C_2$ , питающая разрядную трубку, — из 36 конденсаторов типа К15-4 с общей емкостью 18 нФ. Батарея  $C_1$  играет роль основного накопителя энергии. Только тогда, когда срабатывает разрядник, заряжаются и сразу разряжаются через лазерную трубку, вызывая однородное свечение по всему каналу, конденсаторы  $C_2$ .

Питание блока запуска разрядника осуществляется от выпрямителя ВС-20-10 с напряжением 16 кВ. При этом блок запуска дает управляющие сигналы с частотой 1–5 Гц. Сам лазер питается от выпрямителя ВС-50-50. Общий вид лазера со снятым кожухом показан на рис.3.

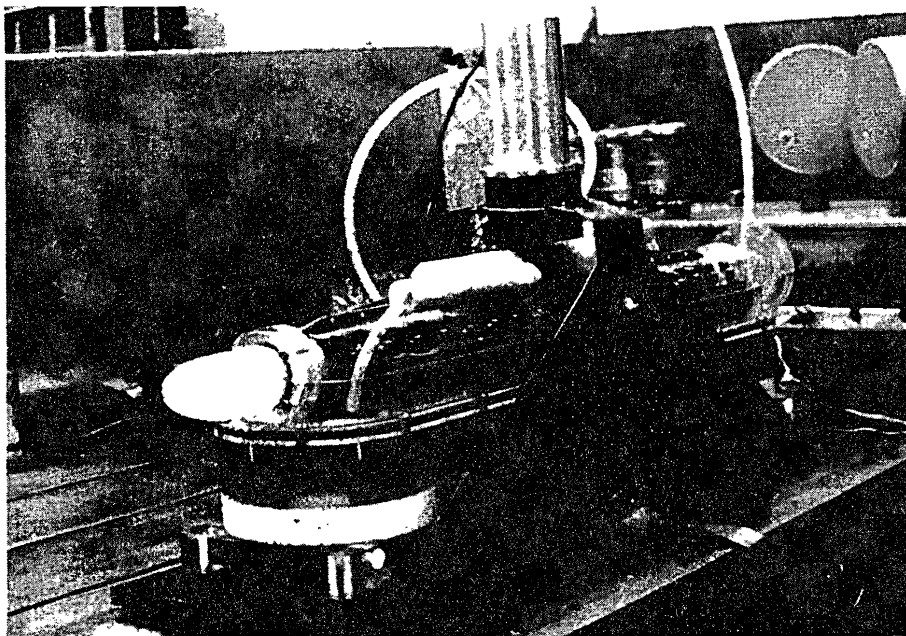


Рис.3. Общий вид лазера со снятым кожухом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Измерение энергии выходного излучения лазеров производилось калориметрическим измерителем энергии LEM-I (производства ГДР), специально приспособленным для работы с импульсными лазерами и имевшим окно из стекла, пронцаемого для ультрафиолета с длиной волны 337,1 нм. Мы также дублировали измерения с помощью калориметрического измерителя ИКТ-1Н, в котором для возможности работы с ультрафиолетом было удалено входное окно. Результаты измерений обоих приборов находились в хорошем соответствии и давали точность измерения ~ 10%. Влияние высоковольтных наводок было достаточно слабым.

На рис.4 показаны зависимости выходной энергии от давления азота в разрядной трубке при различных напряжениях питания лазера. Как видно, для каждого значения напряжения есть оптимальное давление, где выходная энергия максимальна, и это довольно хорошо соответствует теоретическому соотношению  $E/P = 200 \div 250 \text{ В} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{торр}^{-1}$ . С данным лазером мы получили максимальную выходную энергию 3,2 мДж при рабочем напряжении 35 кВ и оптимальном давлении 65 торр.

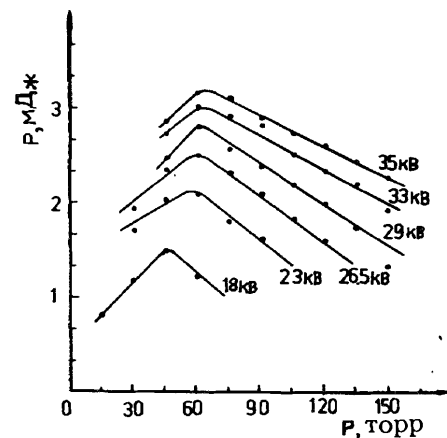


Рис.5. График зависимости оптимального давления в лазерной трубке от питающего напряжения.

Рис.4. График зависимости выходной энергии лазера при разных давлениях и напряжениях.

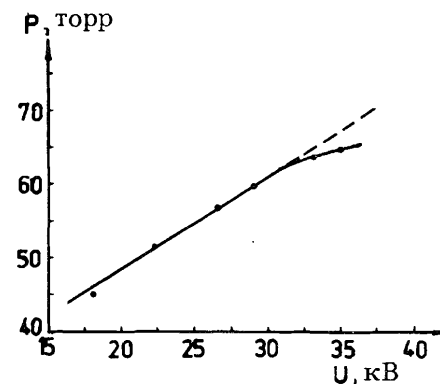
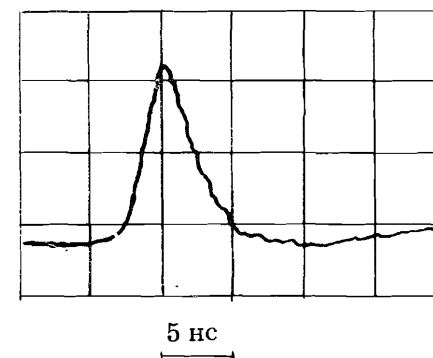


Рис.6. Форма импульса излучения азотного лазера.

На рис.5 дана зависимость оптимального давления азота от напряжения на лазере. Прямая линия представляет собой теоретическую зависимость. При повышении напряжения повышается также и оптимальное давление, что свидетельствует о росте в лазерной трубке числа электронов с энергией 14-16 эВ.



На рис.6 показана форма импульса излучения азотного лазера. Сигнал детектировался быстрым фотодиодом ROL-21 (производства СРР). Для уменьшения наводок осциллограф С1-75 был удален от лазера, и наводок практически не наблюдалось.

Как видно, длительность импульса на полувысоте составляла ~ 5 нс. Таким образом, импульсная мощность нашего лазера равнялась приблизительно 600 кВт.

В таблице приведены для сравнения результаты измерения мощностей различных лазеров, сделанные нами по принятой методике.

Таблица

Тип лазера	Мощность, МВт	Рабочие параметры
Новый лазер (поперечная накачка)	0,6	U = 35 кВ, P = 65 торр
Лазер ГДР (5) (продольная накачка)	0,2	U = 21 кВ —
Старый лазер (3) (поперечная накачка)	0,1	U = 21 кВ, P = 50 торр

Как видно, мы достигли значительного увеличения мощности нового лазера по сравнению с другими установками. Однако величина к.п.д. находится на уровне всего 0,02%. При вычислении к.п.д. мы считали, что энергия, которая запасена в блоке керамических конденсаторов, является ведущей. Естественно, что эти конденсаторы обладают худшими частотными свойствами, чем линии типа "Блюмлейн". Именно поэтому волновое сопротивление может оказаться повышенным.

Дальнейшее повышение мощности лазера может быть, по-видимому, достигнуто лучшим согласованием лазерной камеры с системой питания. Вместе с тем лазер должен работать в проточном варианте, это не будет давать бесполезной перегрузки возбужденными молекулами внутреннего объема и ненужного повышения температуры, а также обеспечит большую стабильность работы лазера. Можно, по-видимому, ожидать дальнейшего повышения мощности лазера за счет охлаждения электродов и увеличения рабочего объема лазерной трубки.

Авторы благодарны профессорам В.П.Джелепову и Нгуен Ван Хьеу за поддержку данной работы.

## ЛИТЕРАТУРА

- Кулюкин М.М. и др. Препринт ЛИЯФ, 136, Л., 1973.
- Щербатов Ю.А. ОИЯИ, Д13-82-417, Дубна, 1982.
- Будзак А. и др. ОИЯИ, Р13-83-183, Дубна, 1983.
- Иванов И.Ц. и др. ОИЯИ, Р13-83-154, Дубна, 1983.
- Иванов И.Ц. и др. ОИЯИ, Д1-83-798, Дубна, 1983.
- Ульман П. и др. ОИЯИ, Р13-81-321, Дубна, 1981.
- Godard V. IEEE J. Quantum Electronics, 1974, vol.Q6-10, p.147.
- Бычков Ю.И. Квантовая электроника, 1975, 2, № 9, с.2047.

Рукопись поступила в издательский отдел  
14 марта 1986 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

## НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
Д3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
Д7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
Д13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
Д2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
Д1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
Д17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
Д10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
Д4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

Бан Хе Сок и др.

P15-86-146

Азотный лазер для освещения стримерной камеры

Для освещения реальной стримерной камеры объемом  $650 \times 450 \times 150 \text{ мм}^3$  требуются лазеры повышенной мощности. С этой целью нами сделана попытка разработать азотный ультрафиолетовый лазер на безындукционных керамических конденсаторах, в котором увеличен объем разрядной трубки, повышена емкость накопительных и разряжающихся на трубку конденсаторов и поднята величина питающего напряжения. Достигнута мощность в импульсе излучения 0,6 МВт в активном объеме  $36 \text{ см}^3$ , при длительности импульса на полувысоте 5 нс. В работе приводятся конструкция и рабочие характеристики лазера и проводится сравнение с аналогичными лазерами с поперечной и продольной накачкой, разработанными в ОИЯИ и ГДР.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Ban Hye Sok et al.

P15-86-146

Nitrogen Laser for Streamer Chamber Illumination

To illuminate the  $650 \times 450 \times 150 \text{ мм}^3$  streamer chamber a laser of increased power is required. For this purpose a high power ultraviolet ceramic nitrogen laser has been constructed using inductionless ceramic capacitors. The volume of its discharge tube and the capacity of storage capacitors as well as the supply voltage are increased. The peak power achieved is 0.6 MW within the  $36 \text{ cm}^3$  active volume for 5 ns pulse duration at midheight. The laser construction and the performances are presented, and the comparison with other similar lasers constructed in the JINR and GDR is carried out.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986