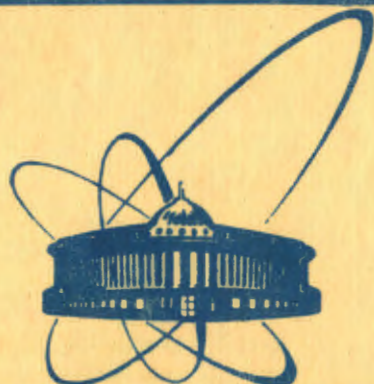


27/II-84



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

1178/84

18-83-822

И.Ц.Иванов, Л.Н.Сомов

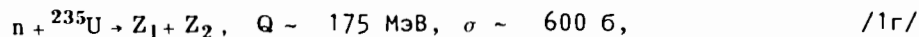
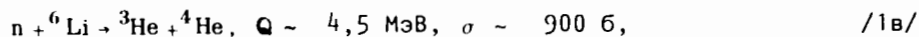
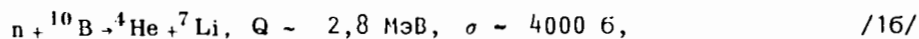
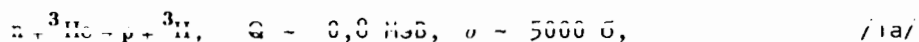
**ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
ДЛЯ ПРЕДИОНИЗАЦИИ И НАКАЧКИ
АКТИВНОЙ СРЕДЫ ЛАЗЕРОВ.**

1983

1. ВВЕДЕНИЕ

Создание мощных лазеров с рабочим объемом порядка нескольких десятков литров требует сильноточных источников для предионизации и накачки их активной среды. С практической точки зрения перспективными являются лазеры, в которых предионизация и инверсная заселенность создаются одним и тем же источником энергии. Одним из возможных путей решения данной проблемы является использование энергии продуктов ядерных реакций, получаемых при облучении нейтронным потоком подходящей активной среды лазера.

Определенный интерес представляет возможность использования потока нейтронов стационарного или импульсного ядерного реактора для предионизации или прямой ядерной накачки активной среды. К числу ядерных реакций можно отнести такие ядерные реакции, как



где ${}^3\text{He}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^6\text{Li}$ и ${}^{235}\text{U}$ являются компонентами активной среды лазера. Здесь Q - суммарная кинетическая энергия продуктов реакции; σ - сечение взаимодействия тепловых нейтронов с ядрами мишени ${}^3\text{He}$, ${}^{10}\text{B}$, ${}^6\text{Li}$ и ${}^{235}\text{U}$; Z_1 , Z_2 - осколки деления ${}^{235}\text{U}$. Быстрые заряженные частицы, полученные при взаимодействии нейтронов с ядрами активной среды, предионизируют или возбуждают ее.

Для детального изучения возможности использования энергии быстрых заряженных частиц, получаемых при взаимодействии нейтронного потока с активной средой лазера, авторами/1/ впервые был поставлен модельный эксперимент. В этой пионерской работе исследовалось влияние пучка протонов на активную среду лазера - $\text{CO}_2\text{-N}_2\text{-He}$ с целью увеличения мощности генерируемого излучения. В результате доказана эффективность применения предлагаемого принципа для накачки и предионизации активной среды лазера.

Лазер, работающий по такому принципу, обладает рядом преимуществ перед лазерами, использующими традиционные методы накачки. А именно:

1/ не требуется источника электрической энергии, так как здесь осуществляется прямое преобразование ядерной энергии в световую, минуя низкоэффективную промежуточную ступень превращения энергии перечисленных реакций в тепловую энергию, а затем в электрическую;

2/ отсутствует проблема "передней стенки", присущая лазерам, в которых предварительная ионизация осуществляется пучком ускоренных электронов или протонов*;

3/ из-за малости возмущения нейтронного потока рабочим веществом лазера достигается высокая степень однородности предионизации и накачка больших объемов, что обеспечивает получение мощного лазерного излучения.

В данной работе приводятся экспериментальные данные о параметрах лазеров, в которых инверсная заселенность и предионизация обеспечиваются энергией продуктов ядерных реакций.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА АКТИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ СРЕДЫ

Для того чтобы оценить возможность однородной предионизации и накачки лазерной среды, необходимо знать длины пробегов продуктов ядерных реакций /1/, которые возникают при облучении потоком тепловых нейтронов соответствующих ядерных мишеней, размещенных в лазерной среде. Некоторое представление о пробегах этих продуктов можно получить из следующей таблицы /2/:

Таблица 1

Реакции	Продукт реакции	Активная среда 1 атм, 273 К	Длина пробега см
$n + {}^3\text{He} \rightarrow p + t$	p	${}^3\text{He}$	6
$n + {}^{10}\text{B} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^7\text{Li}$	${}^4\text{He}$	${}^{20}\text{Ne}$	1,5
$n + {}^{235}\text{U} \rightarrow Z_1 + Z_2$	Z_1, Z_2	${}^3\text{He}$	14,5

*Часть энергии пучка из-за ионизационных потерь при прохождении стенки, отделяющей лазерную камеру от ускорительной, переходит в тепловую, что приводит к быстрому ее разрушению.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ЛАЗЕРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭНЕРГИИ ПРОДУКТОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ

А. ${}^{235}\text{U}$

В /3/ впервые наблюдали лазерную генерацию газа CO при давлении 100 Тор и температуре 77 К фрагментами деления ${}^{235}\text{U}$. Стенки рабочего объема, содержащего CO, были изготовлены из окиси-закиси урана ${}^{235}\text{U}({}^{235}\text{U}_3\text{O}_8)$ - см. рис.1. Источником нейтронов с энергией 0,4 эВ служил импульсный реактор на быстрых нейтронах, пиковая мощность которого составляла $10^{17}\text{н см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Регистрация лазерного излучения велась Ge(Au) - детектором на расстоянии 15 м от стенок реактора.

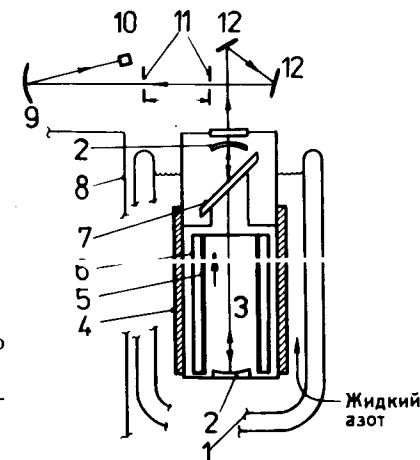


Рис.1. 1 - дьюар, 2 - зеркала лазерного резонатора. 3 - лазерная труба, 4 - замедлитель нейтронов, 5 - активный слой ${}^{235}\text{U}_3\text{O}_8$, 6 - алюминиевый цилиндр, 7 - окно Брюстера из CaF_2 , 8 - реакторная зона, 9, 12 - зеркала, 10 - детектор лазерного излучения, 11 - диафрагма.

Импульсная лазерная генерация длительностью 0,05 мс и энергией /1-4/ 10^{-4} Дж находилась в диапазоне длин волн 5,1-5,6 мкм.

В /4/ приводятся экспериментальные результаты о получении лазерной генерации в смеси He-Xe с помощью продуктов деления ${}^{235}\text{U}$. Принципиально установка не отличалась от установки, описанной в /3/. Смесь He-Xe находилась при давлении 200 Тор. Излучение регистрировалось уже при концентрации Xe порядка 0,5%. Максимальная мощность лазерного импульса наблюдалась при концентрации Xe ~ 5%. На рис.2 приведен временной сдвиг лазерного излучения относительно нейтронного импульса. Как видно из рисунка, излучение запаздывает на 50 мкс по отношению к максимальному потоку нейтронов, что связано с временем термализации быстрых нейтронов. Лазерная генерация при плотности потока фрагментов деления $\sim 5 \cdot 10^{13}\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$ находилась в диапазоне длин

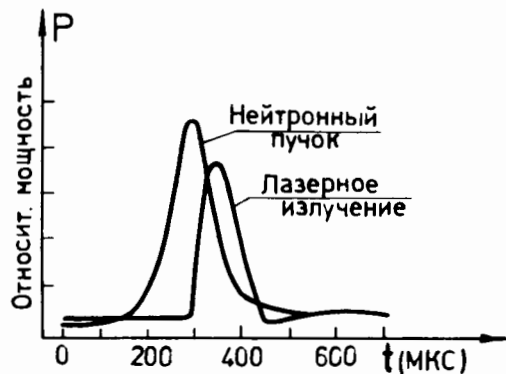


Рис.2. Временной сдвиг импульса лазерного излучения относительно нейтронного импульса.

волн порядка 3,5 мкм. Длина лазерного импульса мощностью 10 Вт составляла 150 мкс. Авторы^{/4/} указывают на возможность получения непрерывной генерации.

Интересная конструкция для повышения отдачи энергии нейтронов

на возбуждение активной среды Xe-Ar/10% Xe / лазера описана в^{/5/}. Активная среда лазера заполняла шесть керамических трубок /длина каждой - 40 см/, внутренняя поверхность которых была покрыта окисью-закисью ^{235}U ($^{235}\text{U}_3\text{O}_8$). Пять зеркал, расположенных на торцах керамических трубок, формировали ход лазерного излучения на длине волны 2,6 мкм ($[5d(3/2) - 6p(1/2)]_0$ и $[5d(5/2)_2 - 6p(5/2)_2]$ в Xe). Таким образом, длина активной среды составляла 244 см при сечении 2,54 см, величина выходной мощности лазерного излучения при плотности потока нейтронов $3,5 \cdot 10^{16} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ - 50 Вт.

Используя лазерную трубку длиной 57 см и $\phi 2,7$ см с внутренней облицовкой окисью-закисью ^{235}U /толщина 9 мкг/см²/, авторы^{/6/} регистрировали генерацию лазерного излучения в смесях: He-Ar и Kr-Xe с длиной волны 0,8-1,2 мкм; He-Ar, He-Kr, Ar-Kr, He-Xe, Ar-Xe и Kr-Xe с длиной волны 2-10 мкм. При облучении потоком тепловых нейтронов, $\rho \sim 10^{15} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, смеси He-0,8% Xe была получена генерация лазерного излучения / $\lambda = 2,63$ мкм/ с энергией 2 Дж и длительностью импульса 0,8 мс.

Б. ^{10}B

Прямая ядерная накачка Ne-N₂ лазера описана в^{/7/}. В этом эксперименте инверсионная заселенность молекулярных уровней азота достигалась за счет ядерной реакции нейтронов с ^{10}B . Смесь Ne-N₂ находилась в алюминиевом цилиндре длиной 68 см и $\phi 205$ см, на внутреннюю поверхность которого был напылен ^{10}B . Заднее зеркало оптического резонатора с радиусом кривизны 200 см имело отражающую способность 99,9%, а выходное зеркало - 99,5% с радиусом кривизны 100 см. Длина резонатора составляла 87 см, и его зеркала были вклеены в кварцевую трубу, в которой размещался алюминиевый цилиндр. Лазер работал синхронно с импульсным реактором на быстрых нейтронах /интенсивность $\sim 10^{16} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, длительность импульса 12 мкс/. Давление газа

в трубе варьировалось от 75 до 375 Тор. Лазерное излучение /максимальная мощность 1,5 мВт/ регистрировалось в диапазоне 8,63-9,40 мкм при давлении рабочей смеси 150 Тор, парциальное давление N₂ составляло 20 мТор.

В. ^3He

К наиболее интересным попыткам прямой ядерной накачки следует отнести эксперименты с ^3He . Все перечисленные выше способы ядерной накачки обладают одним существенным недостатком, а именно: накладывают ограничения на размеры используемого лазерного объема. Подобный недостаток отсутствует при работе с газовой смесью, одной из компонент которой являются газы ^3He , UF₆, BF₃.

В^{/8/} регистрировалось лазерное излучение газовой смеси Hg- ^3He , облучаемой потоком нейтронов $\sim 5 \cdot 10^{16} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ от импульсного источника. Большое сечение реакции /1а/ обеспечивает высокий удельный энерговклад. Торможение продуктов реакции в газе приводит преимущественно к образованию невозбужденных ионов. При перезарядке ионов He^{+(1s)} на атомах Hg селективно возбуждается уровень перехода 7p-7s иона Hg⁺. Газовая смесь Hg- ^3He при давлении 350 Тор заполняла объем лазерной трубки, изготовленной из металлического цилиндра длиной 600 мм и $\phi 40$ мм. Для достижения необходимого давления насыщенных паров ртути трубка подогревалась до 450 К. Резонатор лазера образовывали зеркала со следующими коэффициентами отражения: выходное - с R = 98% для $\lambda = 0,6328$ мкм /кривизна r = 3 м/, заднее /плоское/ с золотым напылением на ситаловой подложке - с R = 100%. Импульсная лазерная генерация длительностью 1 мкс и мощностью 10 мВт регистрировалась ФЭУ на длине волны $\lambda = 0,615$ мкм.

Прямая ядерная накачка лазера, работающего на смеси газов ^3He -Ne-O₂, осуществлялась в эксперименте^{/9/}. Смесь облучалась пучком нейтронов из импульсного реактора на быстрых нейтронах с пиковой мощностью $2,5 \cdot 10^{15} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ /рис.3/. Резонатор образовывали зеркала /переднее зеркало с отражающей способностью R = 99%, заднее - 99,5%/. Смесь ^3He -Ne-O₂ при давлении 600 Тор заполняла стеклянную пирексовую трубу длиной 80 см и $\phi 1,3$ см. Максимальная мощность генерации на длине волны 8,446 мкм наблюдалась при концентрации кислорода и неона соответственно 0,048% и 1,5%. Оптическое усиление $\sim 0,9\%$ оставалось постоянным при изменении плотности нейтронного потока с 10^{13} до $2,5 \cdot 10^{15} \text{ н} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. В^{/9/} не приводятся данные о мощности и длительности полученного лазерного излучения.

Возбуждение ^3He -Ar лазера продуктами ядерной реакции /1а/ осуществлялось в^{/10/}. Экспериментальная методика ничем не отличалась от предыдущей^{/9/}. В оптическом резонаторе, образованном зеркалами /переднее - с R = 99% для $\lambda = 1,7$ мкм и кривизны r =

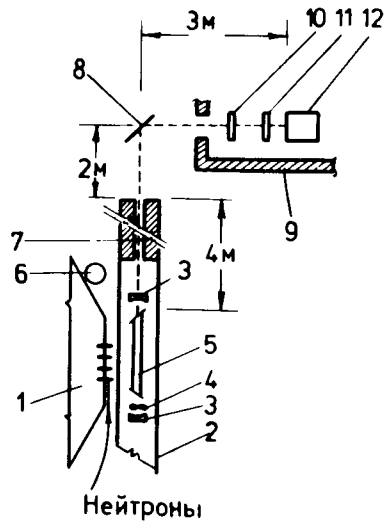


Рис.3. 1 - реакторная зона, 2 - канал реактора, 3 - зеркала лазерного резонатора, 4 - вентиляторы, 5 - лазерная труба, 6 - детектор тепловых нейтронов, 7 - канал вывода лазерного излучения, 8 - отклоняющее зеркало, 9 - радиационная защита, 10 - линза, 11 - фильтр, 12 - фотомножитель.

= 200 см, заднее - с $R = 99,5\%$, размещалась лазерная труба длиной 81 см и $\phi 21$ см. Рабочее давление смеси варьировалось в пределах от 200 до 700 Тор, концентрация аргона составляла 10%. Лазерное излучение мощностью 50 мВт и длительностью ~300 мкс наблюдалось на длине волны 1,79 мкм при плотности нейтронного потока $1,4 \cdot 10^{16}$ н.см⁻².с⁻¹ и давлении смеси 400 Тор. Излучение регистрировалось при 300 К In(As)-детектором.

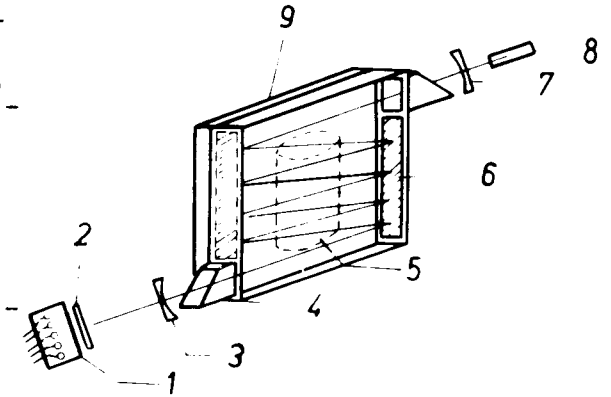
Лазерная генерация на $Xe(5d[5/2]_2^0 - 6p[5/2]_2)$ с длиной волны излучения 2,63 мкм была получена при облучении смеси 3He -5% Xe потоком нейтронов /порог регистрации в такой смеси существенно ниже, чем в смеси 3He -Ar /10/ /11/. Размеры лазерной трубки составляли $0,8 \times 2,5$ см², при ее облучении потоком нейтронов с плотностью $\sim 6 \cdot 10^{16}$ н.см⁻².с⁻¹ регистрировалось лазерное излучение мощностью 200 Вт.

Примерно такая же мощность была получена /12/ в лазере на смеси 3He -CO с добавлением азота (5% CO, 5% N₂). Интерес представляет сделанный авторами работы /13/ вывод о невозможности получения лазерной генерации в смеси 3He -CO-N₂, облучаемой потоком нейтронов с плотностью $\sim 10^{17}$ н.см⁻².с⁻¹.

Авторам /14/ /см. также дискуссию о методе измерения лазерной генерации в /15, 16/ / впервые удалось зарегистрировать лазерное излучение в смеси 3He -Ne / $\lambda = 0,628$ мкм/ при ее облучении потоком нейтронов от стационарного реактора. Пороговое значение плотности нейтронного потока, при котором была получена лазерная генерация, составляло величину $2 \cdot 10^{11}$ н.см⁻².с⁻¹.

Как было показано в /17, 18/, перспективной является смесь 3He -Cd, облучаемая потоком нейтронов, из-за эффективного возбуждения высоколежащих уровней иона CdII. При плотности нейтронного потока $3-5 \cdot 10^{14}$ н.см⁻².с⁻¹ получена лазерная генерация при длинах волн 0,533 и 0,537 мкм и сравнительно высоких давлениях /19/. Для создания давления паров Cd лазерная трубка нагревалась до 600 К. Длительность лазерного импульса составляла 160 мкс. Изотоп ^{116}Cd вводился в лазерную трубку с размерами $80 \times 3,4$ см² в виде металлических шариков. Порог генерации наблю-

Рис.4. 1 - In(As) -детектор, 2 - фильтр, 3 - выходное зеркало, 4 - окно Брюстера, 5 - реактор на быстрых нейтронах, 6 - золотое или алюминиевое плоское зеркало, 7 - отражающее зеркало, 8 - He-Ne лазер для юстировки системы, 9 - замедлитель быстрых нейтронов.



дался при плотности потока $\sim 3 \cdot 10^{14}$ н.см⁻².с⁻¹. Мощность в 0,1 Вт была зарегистрирована при плотности потока $5 \cdot 10^{14}$ н.см⁻².с⁻¹.

Лазерная генерация на смеси 3He -Ar / $\lambda = 1,79$ мкм/ была получена в /20/ с целью реализации максимального КПД нейтронного потока в /20/ была применена специальная конструкция лазерной трубки /эффективная длина которой составляла 175 см/, обеспечивающая многократное прохождение импульса лазерного излучения /рис.4/. После семикратного прохождения лазерного излучения через активную смесь лазерный импульс длительностью 120 мкс и мощностью 1 кВт регистрировался In(As) -детектором. Указанная мощность была получена при потоке нейтронов плотностью 10^{16} н.см⁻².с⁻¹ и давлении смеси 2300 Тор (Ar-0,74%).

Достигнутая сейчас мощность является рекордной для лазеров, возбуждаемых энергией продуктов ядерных реакций. Такой же принцип полноценного использования нейтронного потока, но в лазерной системе "генератор + усилитель", описывается в /21/. В качестве рабочей среды в ней применялась смесь 3He -5% Xe при давлении 600 Тор. При плотности потока тепловых нейтронов $6 \cdot 10^{16}$ н.см⁻².с⁻¹ величина коэффициента усиления данной смеси доходила до трех. В смеси 3He -5% CO в том же потоке коэффициент усиления доходил до 5.

4. ПРИМЕНЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ДЛЯ ПРЕДИОНИЗАЦИИ ЭКСИМЕРНЫХ ЛАЗЕРОВ*

Эксимерные лазеры обладают рядом параметров, которые выделяют их среди остальных лазеров видимого и ультрафиолетового диапа-

* Эксимерные лазеры - это лазеры, использующие энергетические переходы между двумя термами молекул, нижний из которых является отталкивательным, а верхний терм лазерного перехода имеет потенциальный минимум. Молекулы, существующие только в возбужденном состоянии, называются эксимерными, откуда происходит и название данного класса лазеров.

Параметры лазеров, в которых инверсионная заселенность возбужденных уровней обеспечивается энергией продуктов ядерных реакций

Способ возбуждения, плотность нейтронов - ρ /нейтр. см ⁻² с ⁻¹ /, вид реактора	Состав, объем (см ³) и давление активной среды	Длина волны /мкм/ генерации, длительность /мкс/, энергия импульса E/Дж/, мощность P/Вт/	Ссылка
1	2	3	4
n + ²³⁵ U ~10 ¹⁷ импульсный	CO 20x ϕ 1 см 100 Тор, 77 К	5,1÷5,6 50 P = 10 ⁻³	/3/
n + ²³⁵ U ~5·10 ¹⁵ импульсный	He+Xe 30x ϕ 1,9 см 200 Тор	3,508 150 E = 1,5·10 ⁻⁶	/4/
n + ²³⁵ U ~3,5·10 ¹⁶ импульсный	Ar + 10% Xe 240x ϕ 2,54 700 Тор	2,6 P = 50	/5/
n + ²³⁵ U ~10 ¹⁵ - 10 ¹⁶ импульсный	He + (Ar, Kr, Ar+Kr, Ar+Xe, Kr+Xe) 57x ϕ 2,7 3000 Тор	см. текст	/6/
n + ¹⁰ B ~10 ¹⁵ импульсный	Ne-N ₂ 68x ϕ 2,5 см 75÷375 Тор	8,629; 9,393 P = 1,5·10 ⁻³	/7/
n + ³ He ~5·10 ¹⁶ импульсный	Hg- ³ He 60x ϕ 4 см 350 Тор	0,615 E = 10 ⁻⁸	/8/

зона: большое КПД - порядка 10%, широкая линия усиления, большая выходная энергия. Последние два параметра обуславливают требование к большому значению плотности энергии накачки для создания плотности возбужденных молекул порядка 10¹⁴- 10¹⁵ см³. Такая высокая энергия накачки обеспечивается:

- а/ мощным импульсом электрического разряда,
- б/ интенсивным пучком быстрых электронов.

До сих пор не проводились исследования прямого возбуждения активной среды эксимерного лазера ядерным излучением. В настоящее время обсуждается возможность применения нейтронного потока импульсного или стационарного ядерного реактора для предварительной ионизации рабочего объема эксимерного лазера^{/22/}. Авторами данной работы проведена диагностика плазмы, созданной в поле излучения стационарного ядерного реактора в лазерных смесях ³He-Xe-NF₃ и ³He-Xe-CCl₄. Эксперименты проводились в потоке тепловых нейтронов с 10¹⁰ - 10¹⁴ н·см⁻²·с⁻¹. В результате этих исследований в^{/22/} пришли к выводу, что при плотности потока нейтронов больше 10¹² н·см⁻²·с⁻¹ величина плотности ионов превышает 10¹⁰ см⁻³, а плотность электронов - 10⁸ см⁻³. Такие плотности позволили бы создать эксимерные лазеры с рабочим объемом в десятки литров и большой частотой срабатывания.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку нас интересовала практическая реализация возможности использования энергии продуктов ядерных реакций для создания новых способов накачки лазеров, мы ограничились изложением экспериментальных результатов. Любопытного читателя, интересующегося теоретическими поисками в этом направлении, отошлем к работам^{/23-25/} и обзорам^{/26-28/}. Здесь только укажем на предлагаемую автором^{/23/} возможность использования энергии продуктов реакции расщепления урана для диссоциации молекулы ²³⁵UF₆ с целью создания химического лазера, работающего на смеси ²³⁵UF₆ + H₂. Он считает перспективным использование данного способа для создания лазерного усилителя излучения лазер-генератора, возбуждаемого обычным способом. Например, если пучок выходного излучения генератора с ϕ 1 см после расширения до ϕ 100 см подать в предлагаемый усилитель, имеющий такой же диаметр и несколько метров длины, то эффект усиления равнялся бы использованию обычного усилителя длиной в несколько километров.

О достигнутых на сегодняшний день экспериментальных результатах можно судить по данным, приведенным в табл.2, в которой указаны способы возбуждения активной среды лазеров и их параметры. Как видно из таблицы, к настоящему времени оформились два способа возбуждения среды: а/ путем введения расщепляющегося вещества в стенки лазерного объема^{/3-7/}; б/ использования газообразного расщепляющегося вещества в качестве доминирующей

Таблица 2 /продолжение/

1	2	3	4
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 2,5 \cdot 10^{15}$ импульсный	${}^3\text{He-Ne-O}_2$ 80x ϕ 1,3 см 600 Top	8,446	/9/
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 1,4 \cdot 10^{16}$ импульсный	${}^3\text{He+Ar}$ 81x ϕ 2 см 200-700 Top	1,79 300 $P = 50 \cdot 10^{-3}$	/10/
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 6 \cdot 10^{16}$ импульсный	${}^3\text{He+5\%Xe}$ 90x ϕ 2,5 2300 Top	2,63 $P = 200$	/11/
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 3 \cdot 10^{16}$ импульсный	${}^3\text{He+5\%CO+5\%N}_2$ 60x ϕ 2,5 1350 Top, 150 К	5 100 $P = 200$	/12/
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 10^7 - 10^{14}$ стационарный	${}^3\text{He+Ne}$ 300 Top	0,628	/14/
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 5 \cdot 10^{14}$ импульсный	пары Cd 80x ϕ 3,4 400 Top, 600 К	0,533, 0,537 160 $P = 0,1$	/19/
$n + {}^3\text{He}$ $\sim 4,3 \cdot 10^{16}$ импульсный	${}^3\text{He+Ar}$ 2300 Top	1,79 120 $P = 10^3$	/20/

компоненты активной среды /8-20/. При использовании последнего способа такой компонентой во всех экспериментах являлся газ ${}^3\text{He}$ в сочетании со следующими газами: Ar, Xe, CO, Hg, ${}^3\text{He-O}_2$, Kr, парами Cd.

Что касается параметров разработанных лазеров, то здесь сразу же бросаются в глаза две особенности:

а/ за исключением лазеров /8,13,19/ все они генерируют излучение в диапазоне инфракрасных волн 2,63-10 мкм; возможность

создания лазеров с генерацией излучения в коротковолновом диапазоне электромагнитных волн 0,126-0,252 мкм обсуждается в работе /25/;

б/ за сравнительно короткий срок входная мощность лазерного излучения поднялась с 10^{-2} Вт /1970 г./ /8/ до 10^3 Вт /1981 г./ /20/.

Несмотря на прогресс в этом направлении достигнутые мощности явно неудовлетворительны. Это можно объяснить тем фактом, что в проведенных до сих пор экспериментах использовались традиционные лазерные смеси и не велся поиск принципиально новых лазерных смесей, специально приспособленных в такому способу накачки. Надо отметить, что плазма, созданная высокоэнергетичными заряженными частицами при их торможении, как экспериментально, так и теоретически плохо изучена. На то, что традиционные лазерные смеси не всегда оптимальны, указывает и неудача авторов работы /13/, пытавшихся получить генерацию на смеси $\text{He+CO}_2+\text{N}_2$, облучаемой потоком тепловых нейтронов с плотностью 10^{17} н.см $^{-2}$.с $^{-1}$.

С другой стороны, все эксперименты проводились на существующих реакторах, параметры которых не всегда полностью удовлетворяли целям экспериментов.

На основании всего этого нам кажется, что будущее лазеров с использованием энергии продуктов ядерных реакций для накачки и преионизации связано:

- во-первых, с использованием новых нетрадиционных лазерных сред, чья способность к "усвоению" энергии ядерных реакций была бы гораздо выше, чем в исследованных до сих пор;

- во-вторых, созданием специально разработанных реакторов с высокой плотностью нейтронного потока, большей частотой срабатывания и меньшей длительностью импульса.

В этом смысле уникальным является реактор на быстрых нейтронах ИБР-2 в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ, у которого плотность потока тепловых нейтронов в импульсе $3 \cdot 10^{16}$ н.см $^{-2}$.с $^{-1}$ и при длительности импульса 100 мкс частота срабатывания составляет 5 Гц /29/.

Авторы выражают благодарность за стимулирующий интерес к работе В.И.Лушикову и плодотворные обсуждения В.И.Христову и Ю.А.Щербакову.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрияхин В.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1968, 8, с.346-349.
2. Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. "Наукова думка", Киев, 1975.
3. McArthur D.A., Tollefarud P.B. Appl.Phys.Lett., 1975, 26, p.187-190.
4. Helmick H.H., Fuller J.L., Schneider R.T. Appl.Phys.Lett., 1975, 26, p.327-328.

5. De Young R.J. Appl.Phys.Lett., 1981, 39, p.585-587.
6. Воинов А.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1979, 5, с.422-424.
7. De Young R.J. et al. Appl.Phys.Lett., 1976, 28, p.519-521.
8. Андрияхин В.М. и др. Письма в ЖЭТФ, 1970, 21, с.83-85.
9. De Young R.J., Wells W.E., Miley G.H. Appl.Phys.Lett., 1976, 28, p.194-197.
10. Jalufka N.W. et al. Appl.Phys.Lett., 1976, 29, p.188-190.
11. Jalufka N.W. Appl.Phys.Lett., 1981, 39, p.535-536.
12. Jalufka N.W., Hohl F. Appl.Phys.Lett., 1981, 39, p.139-142.
13. Jalufka N.W. Appl.Phys.Lett., 1981, 39, p.190-192.
14. Carter B.D., Rome M.J., Schneider R.T. Appl.Phys.Lett., 1980, 36, p.115-117.
15. Prelas M.A., Schlapper G.A. J.Appl.Phys., 1981, 52, p.496-497.
16. Schneider R.T., Carter B.D., Rowe M.J. J.Appl.Phys., 1981, 52, p.6980-6981.
17. Гурьев И.П. и др. ПТЭ, 1978, 5, с.39-41.
18. Дмитриев А.Б. и др. Опт.и спектр., 1978, 179, с.63-64.
19. Миськевич А.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1980, 6, с.818-821.
20. De Young R.J. Appl.Phys.Lett., 1981, 38, p.297-298.
21. Jalufka N.W. Appl.Phys.Lett., 1981, 39, p.690-692.
22. Батырбеков Г.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1982, 8, с.789-791.
23. Kushner M.J. J.Appl.Phys., 1980, 51, p.2421-2428.
24. Kushner M.J. J.Appl.Phys., 1983, 54, p.39-47.
25. Wilson J.W., Shapiro A. J.Appl.Phys., 1980, 51, p.2387-2393.
26. Schneider R.T., Tom K. Nuclear Technology, 1975, 27, p.34-50.
27. Miley H.G. In: Laser Interaction and Related Plasma Phenomena (Ed. by H.J.Schwarz, H.Hora). Plenum Publ.Corp., 1977, vol.4A, p.181-228.
28. Кроо Н. Межд. школа по нейтронной физике. ОИЯИ, ДЗ-11787, Дубна, 1978.
29. Ananiev V.D. et al. Conf. on Neutron and its Application. Cambridge, 1982, p.497-502.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 декабря 1983 года.

Иванов И.Ц., Сомов Л.Н.

18-83-822

Применение энергии ядерных реакций
для преионизации и накачки активной среды лазеров

Рассматривается возможность использования потока тепловых нейтронов стационарного или импульсного ядерного реактора для преионизации или прямой накачки активной среды лазера. Достигнутые экспериментальные результаты систематизированы в таблице, где указаны способы возбуждения активной среды, плотность потока нейтронов, рабочие объемы лазеров, параметры лазерного излучения /длина волны, длина импульса, мощность/. Отмечается, что полученные мощности явно неудовлетворительны / 10^3 Вт/. Это объясняется тем, что до сих пор в экспериментах использовались традиционные лазерные смеси и не велся поиск принципиально новых, специально приспособленных к такому способу накачки.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Ivanov I.Ts., Somov L.N.

18-83-822

Application of Nuclear Reaction Energy
to Preionization and Pumping of Laser Active Medium

The possibility of using the neutron beam flux from stationary or pulsed nuclear reactor for preionization or direct nuclear pumping of laser active medium is considered. The up-to-date experimental results are summarized in a table where active medium excitation methods, neutron flux density, laser operation volumes, laser radiation parameters (wave length, pulse duration, and output power) are given. It is underlined that the achieved powers are rather unsatisfactory ($\sim 10^3$ W). Obviously it is due to the fact that the traditional laser media are used in the experiments as yet, and no new special media for this pumping method were searched for.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой