

ЧЕТЫРЕХФОТОННЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР НА АТОМАРНЫХ ПАРАХ КАЛИЯ

Кирин И.Г., д-р техн. наук, профессор
Оренбургский государственный университет

Параметрические генераторы широко используются для селективного воздействия на вещество, в частности на биологические объекты [1,2]. Как правило, для этого используются трехфотонные параметрические генераторы. Они, традиционные трехфотонные параметрические генераторы достаточно сложны, дорогостоящие [2].

В настоящей работе описан простой четырехфотонный параметрический генератор построенный на базе перестраиваемого лазера на красителе. Он может быть использован в тех случаях, когда нужна незначительная, до ~ 50 Вт мощность перестраиваемого инфракрасного (ИК) излучения. В основу работы предлагаемого параметрического генератора положен процесс четырехфотонной параметрической суперлюминесценции, экспериментально обнаруженный и исследованный в [3, 4]. Предлагаемый параметрический генератор, в основе которого лежит экспериментальная установка, использованная в [3, 4, 5, 6], состоит из импульсного лазера на красителе с перестраиваемой частотой излучения накачиваемого импульсным рубиновым лазером, кюветы с парами щелочного металла, контрольно-измерительной системы. Его оптическая схема приведена на рис. 1.

Рубиновый лазер четырехфотонного параметрического генератора представляет собой лазер с модуляцией добротности. Его резонатор образован зеркалом с коэффициентом отражения 99 % для длины волны $\lambda = 694,3$ нм (1) и плоскопараллельной пластинкой (4) с коэффициентом отражения 8%. В качестве модулятора добротности использовался просветляющийся фильтр (2). Мощность рубинового лазера составляла ~ 35 МВт, длительность импульса ~ 35 нс, угловая расходимость $\sim 20'$.

Излучение рубинового лазера через фокусирующую линзу (5) с фокусным расстоянием $f = 1$ м направляется в кювету с красителем, находящуюся на расстоянии 40 см от линзы (5). Резонатор лазера на красителе образован выходным зеркалом (7) с коэффициентом отражения 40% для $\nu = 13160$ см⁻¹ и дифракционной решеткой (9). Дифракционная решетка, в составе резонатора лазера на красителе, использована в качестве одного из отражателей его резонатора для осуществления перестройки частоты и сужение линии генерации. Дополнительно сужение линии генерации достигается введением в резонатор лазера на красителе расширительной призм (8). Перестройка частоты генерации лазера на красителе осуществляется поворотом дифракционной решетки. В составе лазера на красителе использованы красители 4568 и 341, растворенные в эталоне. Они имеют низкий порог возбуждения, при сравнительно высокой эффективности преобразования ($\sim 45\%$ для красителя 4568 и 20% для красителя 341), и не теряют своих генерационных свойств после большого числа импуль-

сов накачки рубиновым лазером (~ 2000 импульсов). Область перестройки частоты излучения лазера на красителе при использовании раствора красителя 4568 составляет $13980 \div 12990 \text{ см}^{-1}$, а для красителя 341 - $12990 \div 12660 \text{ см}^{-1}$. В последнем случае для повышения мощности генерации к раствору красителя 341 необходимо подмешивать в равной концентрации раствор красителя 4568. Оптимальная концентрация красителей подбирается экспериментально. Излучение лазера на красителе линейно поляризовано, а плоскость поляризации совпадала с таковой для рубинового лазера. Выходная мощность лазера на красителе $\sim 1 \text{ МВт}$, а ширина линии генерации $\sim 0,4 \text{ см}^{-1}$, длительность импульса $\sim 35 \text{ нс}$.

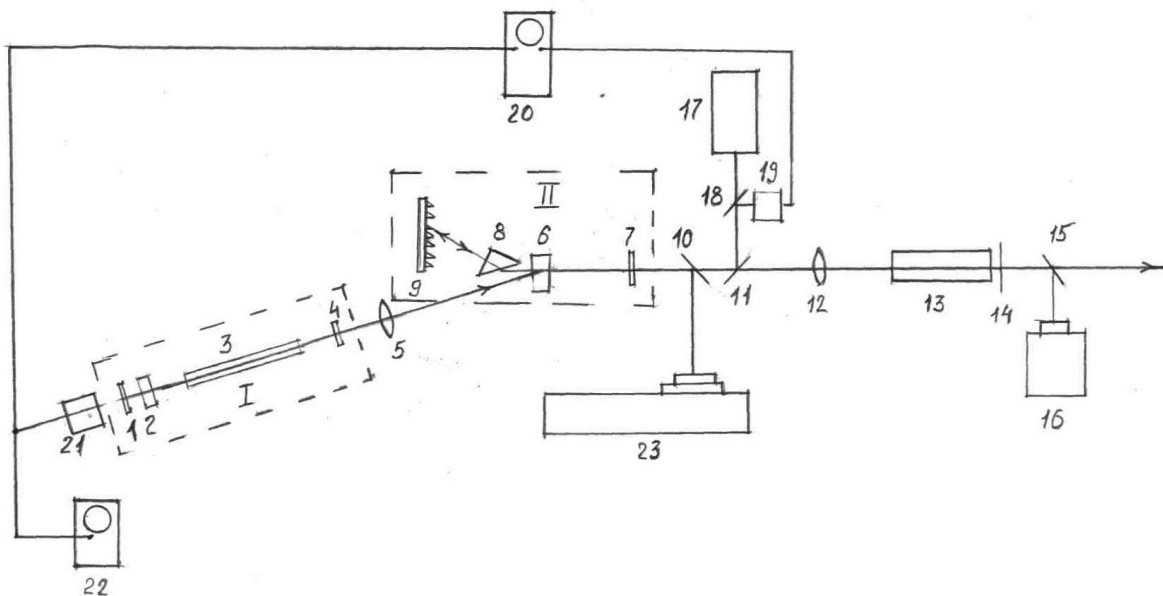


Рис. 1. Оптическая схема четырехфотонного параметрического генератора
I - рубиновый лазер, II - лазер на красителе,

1,7 - зеркала; 2 - кювета с пассивным затвором; 3 - рубиновый стержень; 4 - плоскопараллельная пластинка; 5,12 - линзы; 6- кювета с раствором красителя; 8 - расширительная призма; 9 - дифракционная решетка; 10; 11,18 - делительные пластинки из стекла; 13 - кювета с парами металлов; 14 - ИК светофильтр; 15 - делительные пластинки из KBr ; 16- ИК регистратор; 17 - ФОР; 19; 21 - фотоэлементы ФЭК-09; 20 - осциллограф И2-7; 22- осциллограф С8-22; 23 - ДФС-8.

В составе предлагаемого четырехфотонного параметрического генератора для получения атомарных паров калия используется металлическая, нагревательная, высокотемпературная кювета, позволяющая получить давление паров щелочного металла от 5 до 100 Тор. Она (рис. 2) представляет собой цилиндрическую трубку (1) из нержавеющей стали длиной 25 см и внутренним диаметром 3 см. Оба конца трубки закрыты окнами. Входным окном (2) служит плоскопараллельная стеклянная пластинка, а выходное окно (3) из KBr . Внутри

трубки плотно к стенкам укладывается в несколько слоев сетка (4) из нержавеющей стали с размером ячейки 40 мкм, так, чтобы она покрывала область нагрева (5) и холодильников (6). Гибким шлангом кювета соединяется с вакуумным постом, с помощью которого откачивается воздух и напускается гелий (*He*). Перед напуском *He* предварительно очищается от кислорода и паров воды методом глубокого вымораживания, проходя через змеевик, помещенный в дюар с жидким азотом. Давление *He* измеряется образцовым вакуумметром с точностью до 5 Тор. В центральную часть кювета помещается предварительно очищенный щелочной металл (7). Трудность заключалась в том, чтобы успеть поместить металл до того, как он успеет окислиться на воздухе.

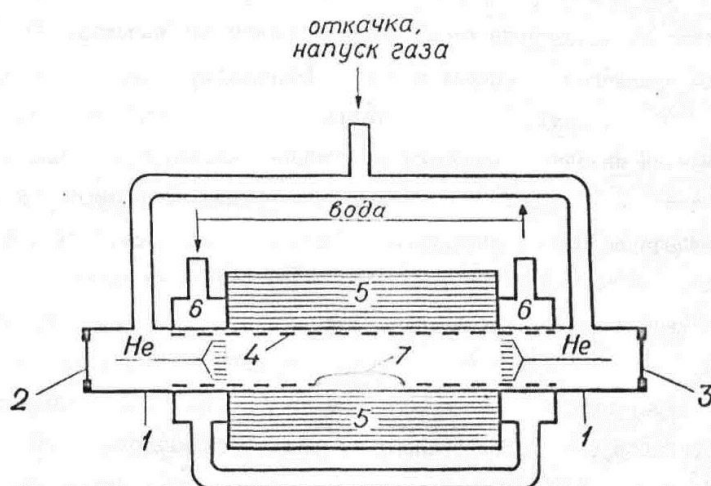


Рис.2. Металлическая кювета для получения паров щелочных металлов.

1 - цилиндрическая трубка из нержавеющей стали, 2 - стеклянное входное окно, 3 - выходное окно из *KBr*, 4 - сетка из нержавеющей стали, 5 - нагреватель, 6 - холодильник, 7 - щелочной металл.

Принцип действия такой конструкции кюветы состоит в следующем. При нагреве кюветы пары щелочного металла заполняют лишь центральную часть, где непосредственно расположен нагреватель (5). Общее давление паров щелочного металла и *He* должно быть постоянным в любой точке кюветы, тогда как их парциальные давления зависят от температуры. Поэтому пары металла, попадая в область действия холодильников (6), будут конденсироваться на сетке из нержавеющей стали, которая играет роль фитиля, возвращающего жидкий сконденсированный металл в зону нагрева. Тогда парциальное давление *He* около окон кюветы будет больше, чем в зоне нагрева, где его частично вытесняют пары калия. Гелий не оказывает влияния на процессы взаимодействия излучения с парами металла, так как его первый резонансный уровень лежит значительно выше потенциала ионизации паров калия. Его функция сводится лишь, к защите окон кюветы от конденсации паров.

Контрольно-измерительная система четырехфотонного параметрического генератора включает системы измерения длины волны и мощности излучения

лазера на красителе, давления паров калия в кювете и изменения мощности выходящего из него ИК излучения.

Длина волны возбуждающего излучения определяется на дифракционном спектрографе ДФС-8 (23). Для этого часть излучения лазера на красителе делительной пластинкой (10) направляется спектрограф ДФС-8.

Делительные пластинки (11) и (18) направляют излучение лазера на красителе на фотооптический гальванометр ФОГ (17) и скоростной фотоэлемент ФЭК-09 (19), соответственно. ФОГ регистрирует энергию и мощность возбуждающего излучения, а его временные характеристики измеряются с помощью фотоэлемента ФЭК-09. Сигнал с фотоэлемента поступает непосредственно на пластины измерителя временных интервалов И2-7 (20). Для контроля за пиковым режимом генерации рубинового лазера и для запуска И2-7 за зеркалом (1) помещается скоростной фотоэлемент ФЭК-09 (21). Возникающий сигнал запускает И2-7, и кроме того регистрируется запоминающим осциллографом С8-2 (22).

Для измерения мощности ИК – излучения четырехфотонного параметрического генератора делительной оно пластинкой (15) из KBr направляется на ИК-фотоприемник (16). Схема измерителя мощности ИК-излучения показана на рис. 3. В соответствии с этой схемой сигнал с ИК-фотоприемника (1) через усилитель (3) поступал на вход двухлучевого запоминающего осциллографа С8-2 (4).

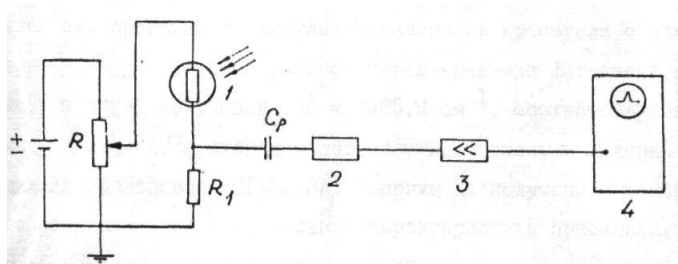


Рис. 3. Схема измерителя мощности ИК - излучения:

1 - ИК фотоприемник ФСГ-22-3А, 2 - предварительный усилитель, 3 - усилитель с коэффициентом усиления $\kappa=1000$, 4 - осциллограф С8-2.

Давление паров калия определяется по температуре нагреваемой ячейки термодарой металлической кюветы для получения паров, расположенной на внешней стороне нагреваемой части цилиндрической трубки. Точность определения температуры составляет 10% от измеряемой величины. Длина нагреваемой части кюветы - 10 см. Давление паров вычисляются по формуле [2,3] :

$$p(T) = \exp \left[-\frac{a}{T} + d \right]$$

где p - давление паров в Тор ; T - температура в градусах Кельвина ; a и d - константы (для калия $a = 10210,4$; $d = 16,539$).

Принцип работы предлагаемого четырехфотонного параметрического генератора основан на двухфотонном возбуждении атомов калия на переходе

$4S_{1/2} - 6S_{1/2}$ ($\nu_{4S_{1/2}-6S_{1/2}} = 27450,65 \text{ см}^{-1}$) вырожденной накачкой. Схема процесса генерации четырехфотонной параметрической люминисценции и энергетических уровней калия приведены на рис. 4. Для получения необходимой интенсивности накачки для генерации четырехфотонной параметрической люминисценции, излучение лазера на красителе фокусируется линзой с $f = 50 \text{ см}$ (12, рис.1) в центр кюветы с парами (13, рис.1). Интенсивность возбуждающего излучения на входе в кювету достигает $\sim 100 \text{ МВт/см}^2$.

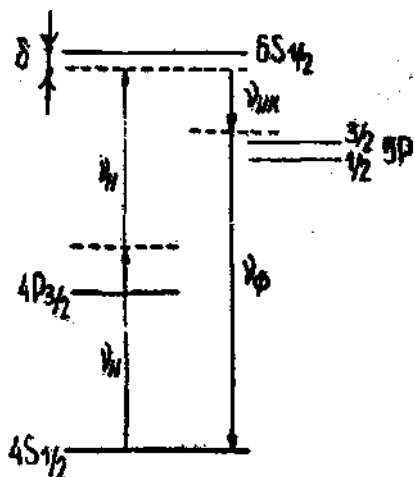


Рис. 4. Схемы четырехфотонной параметрической суперлюминисценции в парах калия.

Точка синхронизма для четырехфотонной параметрической генерации смещена на 20 см^{-1} в высокочастотную сторону от перехода $5P_{3/2} - 4S_{1/2}$ [3,4]. Спектр излучения предлагаемого параметрического генератора состоял из частот вынужденного излучения на переходах $6S_{1/2} - 5P_{3/2}$ ($\nu = 2730, 45 \text{ см}^{-1}$) и $6S_{1/2} - 5P_{1/2}$ ($\nu = 2749, 45 \text{ см}^{-1}$) и перестраиваемой компоненты, генерируемой за счет четырехфотонной параметрической люминисценции. Частота этой ИК компоненты определяется из соотношения: $\nu_{ИК} = 2\nu_H + 20 - \nu_{5P_{3/2}-4S_{1/2}}$ ($\nu_{5P_{3/2}-4S_{1/2}} = 24720 \text{ см}^{-1}$). Максимальная мощность перестраиваемого ИК излучения генерируемого за счет четырехфотонной параметрической суперлюминисценции $I_{ИК} = 50 \text{ Вт}$ соответствовало давлению паров калия $p = 1,1 \text{ Тор}$.

Список литературы

1. Ахманов С.А. Параметрические усилители и генераторы света / С.А.Ахманов, Р.В. Хохлов // УФН. -1966.-Т 88.-В 3.-С. -465-498.
2. С.А. Четырехфотонная параметрическая суперлюминисценция в парах калия / С.А. Бахрамов, И.Г.Кирин, П.К. Хабибуллаев // Доклады АН УзССР. - 1980. - N.46.- С. 27-28.

3. Бахрамов С.А., Наблюдение резонансной четырехфотонной параметрической суперлюминесценции при двухфотонной накачке паров калия и рубидия / С.А. Бахрамов, И.Г. Кирин, Г.Х. Тартаковский //Изв. АН СССР, Сер. физ. - 1981. – Т 45.- N 6. - С. 1059-1063.

4. Бахрамов С.А., О влиянии резонансной трехфотонной ионизации на преобразование частоты в парах щелочных металлов / С.А. Бахрамов, И.Г. Кирин И.Г., П.К. Хабибуллаев, Н.Ш. Шаабдурахманова //Изв. АН УзССР. Сер. физ.-мат. наук. - 1981. - N 5. - С.69-73.

5. Бахрамов С.А., Влиянии многофотонной ионизации на преобразование частоты в парах щелочных металлов / С.А. Бахрамов, И.Г. Кирин И.Г., П.К. Хабибуллаев, Н.Ш. Шаабдурахманова // Квантовая электроника - 1982. -Т 9.- N 5. - С. 2386-2391.