

# ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

УДК 535.372

## УЗКОПОЛОСНЫЕ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЕ ФИЛЬТРЫ НА ПАРАХ ЦЕЗИЯ

© 2012 г. В. Н. Кулясов, канд. физ.-мат. наук; В. Б. Шилов, доктор техн. наук;  
Г. М. Ермолаева, канд. физ.-мат. наук

НПК “Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

E-mail: shilov@npkgoi.ru

Исследованы характеристики флуоресцентных узкополосных атомных фильтров, предназначенных для выделения полезного сигнала на фоне широкополосного шумового излучения. В качестве рабочей среды фильтров использованы пары цезия в вакуумном исполнении и с добавками буферных газов. Показано, что при определенных условиях добавка буферного газа приводит к увеличению квантовой эффективности.

*Ключевые слова:* селективная спектральная фильтрация, атомные переходы, квантовая эффективность, флуоресценция.

Коды OCIS: 020.1335, 120.2440.

Поступила в редакцию 01.08.2012.

1. Флуоресцентные фильтры на парах металлов [1–3] являются одними из самых узкополосных в оптике и позволяют с высоким отношением сигнал/шум регистрировать узкополосный сигнал на фоне широкополосного шумового излучения, например на фоне солнечного света. Спектральная полоса таких фильтров определяется шириной линии поглощения атомов (менее 0,002 нм). При необходимости спектральную полосу фильтра можно увеличить в несколько десятков раз путем добавления инертных газов к рабочим атомам. Атомные пары характеризуются изотропностью поглощения, что позволяет создавать оптические фильтры с большой угловой апертурой. Флуоресцентные фильтры обладают независимостью положения спектральной полосы от внешних параметров, обусловленной стабильностью частоты атомных переходов.

Принцип работы флуоресцентных фильтров состоит в том, что сигнальное излучение на частоте резонансного атомного перехода поглощается атомами рабочего вещества. Далее происходят спонтанные переходы через промежуточные уровни на более низкий возбужденный атомный уровень, флуоресценция с которого несет информацию исходного сигнального излучения. Широкополосное фоновое излучение

вносит вклад в флуоресценцию только в пределах ширины атомной линии. Таким образом, сигнальное излучение, поглощаясь рабочими атомами в кювете, вызывает вторичное свечение в области спектра, лежащего вне полосы пропускания широкополосного входного фильтра. Вторичное флуоресцентное свечение регистрируется через выходной широкополосный фильтр, полоса пропускания которого смещена в длинноволновую область по отношению к полосе входного фильтра. Если полосы пропускания входного и выходного фильтров не перекрываются, то происходит практически полное подавление широкополосного фонового излучения, сопровождающего излучение полезного сигнала.

К недостаткам флуоресцентных фильтров следует отнести фиксированные длины волн их работы (как правило, всего несколько оптических частот для каждого рабочего атома), определяемые частотами резонансных переходов атомов, и необходимость нагрева кюветы при работе с атомами щелочных металлов до температуры 100–200 °С.

2. В качестве объекта исследования был выбран флуоресцентный фильтр на парах атомов цезия. Схема уровней и переходов атома цезия представлена на рис. 1.

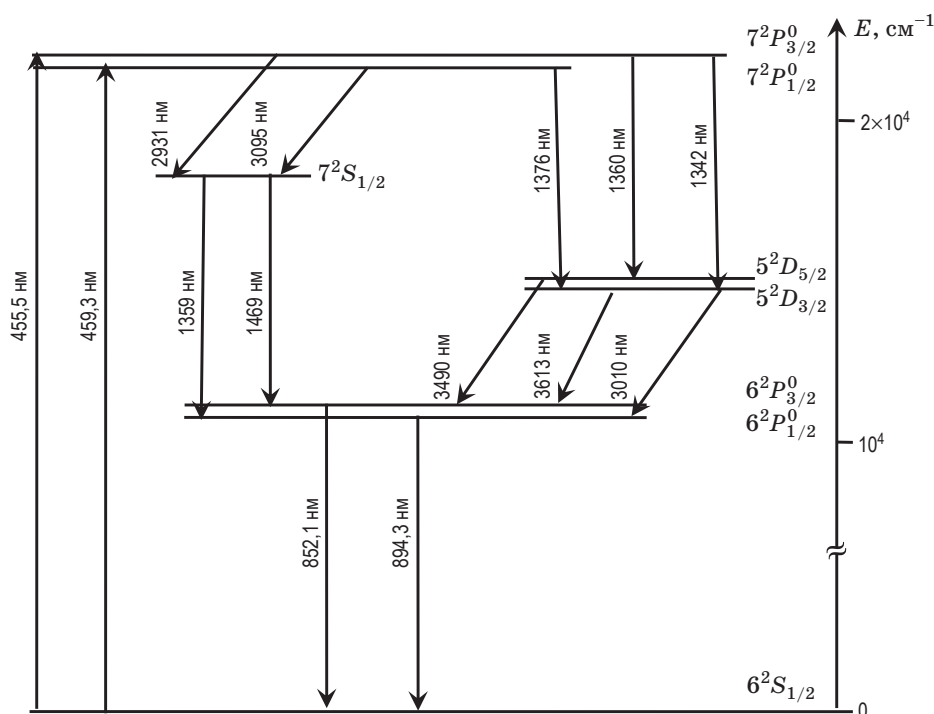


Рис. 1. Схема уровней и переходов атома Cs.

При возбуждении состояний  $7^2P_{3/2}^0$  или  $7^2P_{1/2}^0$  второго резонансного дублета излучениями с длинами волн 456 или 459 нм соответственно дезактивация происходит каскадно через состояния  $7^2S_{1/2}$  и  $5^2D_{5/2, 3/2}$  на состояния первого резонансного дублета  $6^2P_{3/2}^0$  и  $6^2P_{1/2}^0$ , с которых происходит спонтанное излучение (флуоресценция) на длинах волн 852 и 894 нм.

Максимальная квантовая эффективность этих процессов (отношение количества фотонов флуоресценции к числу возбуждающих квантов), измеренная в работе [2], составляла более 95%. Условия, при которых была зарегистрирована такая высокая квантовая эффективность, приведены не были.

3. Целью представленной работы было проведение испытаний цезиевых кювет, как вакуумных, так и с различными инертными газами, для определения оптимального газового и температурного режимов флуоресцентных фильтров.

Исследования характеристик атомных флуоресцентных фильтров проводилось в кюветах из молибденового стекла диаметром 35–38 мм и толщиной 7–9 мм с наполнением парами цезия, как в вакууме, так и с буферными газами (неоном и криптоном), при различных давлениях. Выбор неона был обусловлен минимальным сдвигом, криптона – максимальным уширением линий второго резонансного дублета среди всех инертных газов.

В качестве источника исходного излучения использовались шаровые излучатели на парах цезия [4]. Источник состоял из генератора возбуждения на частоте около 80 МГц, в контуре которого помещена спектральная лампа с цезием и инертным газом (ксенон при давлении 0,4 кПа). Для проверки работоспособности источника излучения было проведено сравнение интенсивности линий второго резонансного дублета цезия (длины волн 455,528 и 459,317 нм) и самой интенсивной линии ксенона (длина волны 467,1 нм). Как и ожидалось, интенсивность дублета оказалась в 50 раз больше интенсивности ксеноновой линии. Оценка полной мощности излучения источника для второго резонансного дублета цезия в угле 4π стерадиан составила более 1 мВт.

4. Исследование характеристик активного цезиевого фильтра проводилось на установке, собранной с использованием инфраструктуры оптического полигона комплекса “ПУЛС-М” [5]. Блок-схема установки приведена на рис. 2.

Возбуждающее резонансное излучение пропусклось через синий фильтр СЗС-22 толщиной 5 мм, механический модулятор, линзу диаметром 60 мм с фокусным расстоянием 60 мм и цезиевую кювету, находящуюся в основной верхней печи. Для сбора флуоресцентного излучения за цезиевой кюветой установлена вторая линза диаметром 50 мм с фокусным расстоянием 60 мм и красный фильтр

КС-19 толщиной 5 мм. Регистрация флуоресценции осуществлялась фотоприемником Hamamatsu S5107. Электрический сигнал с приемника поступал на селективный усилитель У2-6. Отросток цезиевой кюветы был помещен в нижнюю вспомогательную печь, в которую была установлена хромель-алюмелевая термопара. Интенсивность источника контролировалась кремниевым фотоприемником ФД-7К, свет на приемник поступал из дополнительного отверстия в корпусе источника через стеклянный светофильтр СЗС-22 толщиной 5 мм. Ток фотоприемника измерялся микроамперметром М-95.

5. Измерение характеристик различных цезиевых кювет проводилось по следующему алгоритму: при холодных печах включался модулятор и убирался красный фильтр КС-19 перед приемником, регистрировался сигнал с помощью усилителя У2-6, который настраивался на частоту модулятора сначала в первой узкой, а потом и во второй узкой полосе. Тем самым измерялась интенсивность прошедшего через холодную кювету света второго резонансного дублета цезия с небольшой добавкой ксеноновых линий. Затем для регистрации сигнала флуоресценции фильтр КС-19 устанавливался на свое место после кюветы. При отсутствии заметного количества паров цезия в холодной кювете люминесцентный сигнал был равен нулю. Далее включалась большая верхняя печь, и после ее разогрева начинался нагрев отростка кюветы в нижней печи. Это приводило к росту концентрации в кювете атомов цезия, способных к поглощению света и, соответственно, к флуоресцентному излучению. Продолжая медленный нагрев отростка кюветы, проводили измерения поглощения и флуоресценции

каждые 5 мин до тех пор, пока не прекращался рост сигнала флуоресценции.

Далее измерения поглощения и флуоресценции проводились при медленном остывании отростка с цезием вплоть до отсутствия флуоресценции при полном остывании. В каждой точке при измерении поглощения и интенсивности флуоресценции фиксировалась температура отростка, которая определяла концентрацию атомов цезия в кювете.

6. Во всех исследованных кюветах при нагревании наблюдались поглощение линий второго резонансного дублета и флуоресценция на линиях первого резонансного дублета цезия. С учетом различного квантового выхода фотоприемника Hamamatsu S5107 при регистрации синих (54%) и инфракрасных (88%) цезиевых атомных линий с учетом апертуры измерительного тракта были определены значения квантовой эффективности (отношения числа квантов люминесценции к количеству поглощенных фотонов возбуждения) для каждой из кювет. Давление инертных газов приведены при температуре 20 °С. Погрешность измерения квантовой эффективности составляет  $\pm 10\%$ . Зависимость измеренной квантовой эффективности цезиевых кювет от типа буферного газа и давления приведена в таблице.

Зависимость квантовой эффективности цезиевых кювет от типа и давления газа

Наполнение	Давление, кПа	Квантовая эффективность, %
Вакуум	0	70
Криптон	13	80
Неон	1,3	45
Неон	4	40
Неон	13	35

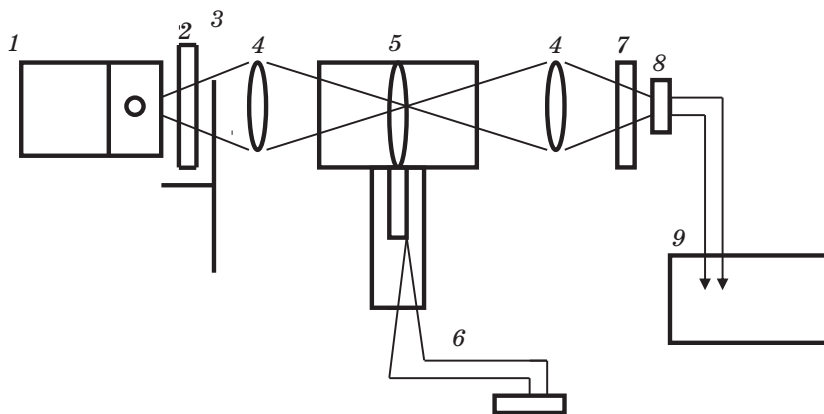


Рис. 2. Блок-схема экспериментальной установки. 1 – источник излучения, 2 – фильтр СЗС-22, 3 – модулятор, 4 – линзы, 5 – рабочая ячейка и 2 печи, 6 – термопара с милливольтметром, 7 – фильтр КС-19, 8 – фотоприемник Hamamatsu S5107, 9 – селективный усилитель У2-6.

Газовое наполнение заметно влияет на квантовую эффективность цезиевых кювет: кюветы с неоном обладают меньшей квантовой эффективностью, чем вакуумные, а с криптоном – превышают вакуумные по квантовой эффективности. Причины такого поведения газонаполненных флуоресцентных цезиевых фильтров можно объяснить межатомными взаимодействиями цезия, благородных газов и примесей к ним.

Авторы выражают искреннюю благодарность Е.Б. Александрову, В.В. Хромову и Н.Н. Якобсону за полезные обсуждения и поддержку, а также Л.Н. Капорскому и Э.В. Кувалдину за помощь в проведении эксперимента.

Представленная работа выполнена в рамках НИР, проведенной по заказу Министерства образования и науки РФ (государственный контракт от 26 октября 2011 г. № 07.514.11.4111).

\* \* \* \* \*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Матвеев О.И.* Атомные резонансные спектрометры и фильтры (обзор) // ЖПС. 1987. Т. 46. № 3. С. 359–375.
2. *Marling J.B., Nilsen J., West L.C., Wood L.L.* An ultrahigh-Q isotropically sensitive optical filter employing atomic resonance transitions // J. Appl. Phys. 1979. V. 50(2). P. 610–614.
3. *Flusberg A.* The spectral characteristics of an atomic cesium resonance filter // J. Appl. Phys. 1983. V. 54(10). P. 6036–6037.
4. *Казанцев С.А., Хуторщиков В.И.* Источник линейчатого спектра на основе высокочастотного разряда // СПб.: СПбГУ, 1995. 324 с.
5. *Непорент Б.С., Шилов В.Б.* Пикосекундный универсальный лазерный спектрометр “ПУЛС” // Изв. АН СССР, сер. физ. 1987. Т. 51. № 8. С. 1300–1308.