

**Л.П. Воробьева, Г.С. Евтушенко, В.М. Клишкин, М.М. Макогон, В.Г. Соколов, Н.А. Филонова, В.А. Чикуров**

**Св-ЛАЗЕР В ПРОБЛЕМЕ ЗОНДИРОВАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ЙОДА**

Исследовано поглощение излучения Св-лазера парами йода  $^{127}\text{I}_2$ . Показано, что методом внутри и вне резонансной селекции с помощью ячейки с парами йода можно изготовить Св-лазер, селективный по отношению к изотопам йода. Изотопоселективный Св-лазер сохраняет высокие энергетические параметры. Результаты могут быть использованы в задаче зондирования радионуклидов  $\text{I}_2$  в атмосфере.

Изотопы йода  $^{129}\text{I}$  и  $^{131}\text{I}$  присутствуют в технологических цепях объектов ядерного производства и в силу высокой летучести паров являются опасными загрязнителями как воздушной среды производственных объектов, так и свободной атмосферы.

Радиоактивные загрязнения местности, вызванные технологическими нарушениями ядерных производств, могут быть долговременными источниками поступления радиоактивных изотопов йода в атмосферу. Разработка методов оперативного контроля  $\text{I}_2$  в атмосфере нерадиометрическими методами является весьма актуальной задачей. Особый интерес представляют дистанционные высокочувствительные методы, так как они позволяют выявить источники поступления  $\text{I}_2$  в атмосферу в реальном времени.

Среди возможных дистанционных методов регистрации изотопов  $\text{I}_2$  выделяются оптические, основанные на абсорбции излучения и флюоресценции. Для случая замкнутых производственных объемов и низких давлений вмещающего газа выполнен значительный объем исследований [1], показавших возможность регистрации изотопа  $^{129}\text{I}_2$  в технологических объемах по возбуждаемой лазером флюоресценции.

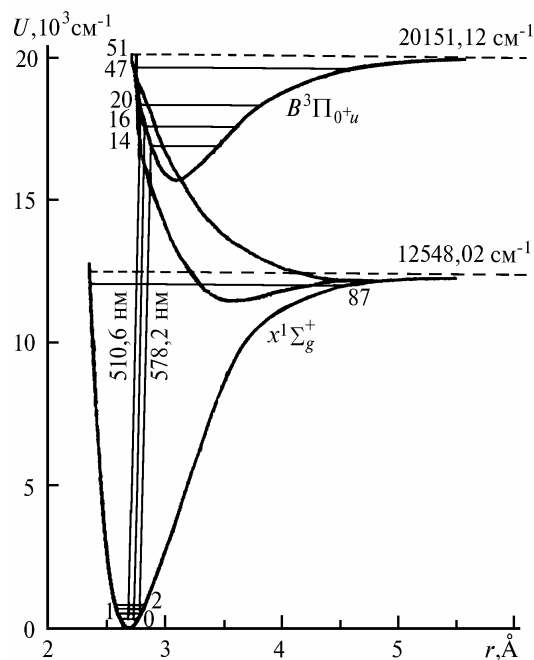


Рис. 1. Схема термов  $\text{I}_2$ :  $U$  – энергия;  $r$  – межъядерное расстояние

В настоящей статье исследуются спектроскопические свойства Cu-лазера с точки зрения перспектив его использования в качестве источника излучения для оптического обнаружения и зондирования паров радионуклидов йода  $^{129}\text{I}_2$ ,  $^{131}\text{I}_2$ ,  $^{131}\text{I}^{129}\text{I}$  в газовых ореолах радиохимических комбинатов. Плотность паров радионуклидов йода в газовых ореолах радиохимических производств, работающих в штатном режиме, находится в диапазоне  $10^5$ – $10^9$ , а пространственные размеры ореола составляют 100–1000 м.

Для понимания перспектив использования Cu-лазера в данной проблеме рассмотрим спектроскопические свойства молекулы  $\text{I}_2$  и Cu-лазера. На рис. 1 приведена схема термов  $\text{I}_2$  и переходов, резонансных линиям излучения лазера на парах меди.

На рис. 2 показано положение линии Cu-лазера по отношению к абсорбционному спектру полосы  $A, B \leftarrow X$  молекулы йода, записанному оптико-акустическим методом [2]. Как видно из рис. 1 и 2, зеленая (510,6 нм) и желтая (578,2 нм) линии Cu-лазера находится вблизи максимума полосы  $A, B \leftarrow X$ .

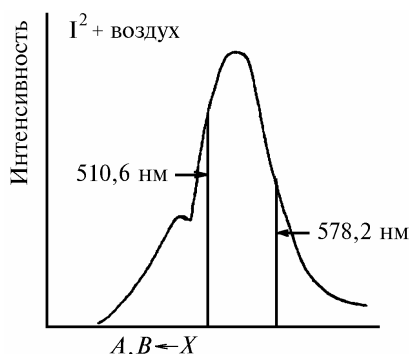


Рис. 2. Положение линий Cu-лазера относительно максимума абсорбционной полосы  $A, B \leftarrow X \text{I}_2$

Анализ данных [3, 4] показывает, что в максимуме абсорбционной полосы  $A, B \leftarrow X$  плотность линии  $^{127}\text{I}_2$  составляет  $\approx 10/\text{см}^{-1}$ . Следовательно, в контурах линий Cu  $\lambda = 510,6$  и  $578,2$  нм лежат несколько линий  $^{127}\text{I}_2$ .

На рис. 3 представлены условно тонкая структура линий Cu естественного изотопного состава и соответствующие участки полосы  $A, B \leftarrow X$  молекулы  $^{127}\text{I}_2$ . Эти данные взяты нами из работы [4]. Как видно из рис. 3, спектральная плотность электронно-колебательно-вращательных линий  $\text{I}_2$  столь велика, что в контурах каждой из линий Cu лежат несколько линий поглощения  $^{127}\text{I}_2$ . В результате излучение Cu поглощается парами  $^{127}\text{I}_2$  и возбуждает флуоресценцию в полосе  $A, B \leftarrow X$  [4, 5].

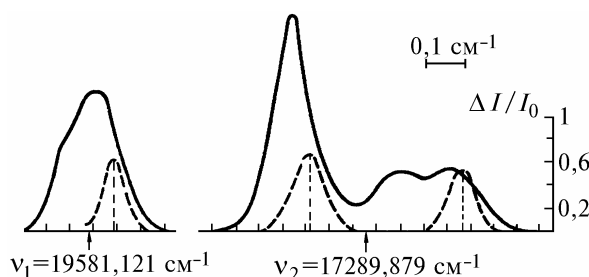


Рис. 3. Контур линий  $4p^2P_{3/2} - 4s^2D_{3/2}$  (510,6 нм) и  $4p^2P_{1/2} - 4s^2D_{3/2}$  (578,2 нм) спонтанного излучения меди. Сплошными линиями указаны контуры линий меди без поглощения их парами йода, штриховыми – контур линий поглощения  $^{127}\text{I}_2$   $\Delta I/I_0 = (I_0 - I)/I_0$ ;  $I_0$  – интенсивность падающего света,  $I$  – интенсивность света, прошедшего через кювету;  $\nu_1$  и  $\nu_2$  – частоты излучения  $\lambda = 510,6$  и  $578,2$  нм

То же относится к полосе  $AB \leftarrow X$  радионуклидов  $^{129,131}\text{I}_2$ . Учитывая, что внутри контуров линии Cu-лазера лежат линии всех трех изотопов, можно изготовить Cu-лазер, настроенный селективно на любой из этих изотопов. Например, чтобы настроить Cu-лазер в резонанс толь-

ко с  $^{129}\text{I}_2$ , в конструкцию такого лазера необходимо ввести кювету с изотопами  $^{127,131}\text{I}_2$  и поместить ее вне или внутри резонатора лазера, по аналогии с [6].

Для проверки этого положения нами был выполнен эксперимент по селекции излучения Си-лазера изотопом  $^{127}\text{I}_2$ . На рис. 4 представлена схема экспериментальной установки. Установка содержала Си-лазер 1, набор фильтров для выделения желтой и зеленой линий в излучении лазера 2, абсорбционную кювету с парами  $^{127}\text{I}_2$  3, флюоресцентную кювету с парами  $^{127}\text{I}_2$  4. Использовались два канала регистрации сигналов. Флюоресцентный канал регистрировал интенсивность флюоресценции в кювете 4, а второй канал контролировал мощность лазерного излучения, прошедшего через обе кюветы.

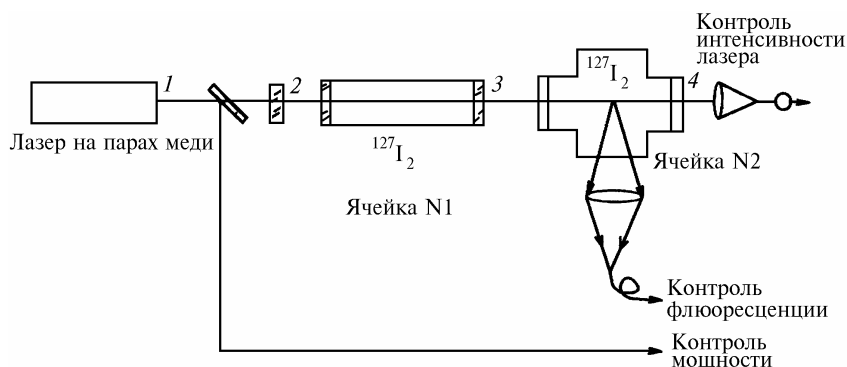


Рис. 4. Схема экспериментальной установки

Установка работала следующим образом. Отросток с йодом абсорбционной кюветы охлаждался, и измерялись сигналы в обоих каналах. Затем кювета и отросток с йодом нагревались потоком теплого воздуха до температуры  $40^\circ\text{C}$ , при этом наблюдалось изменение сигналов в обоих каналах. В таблице приведены результаты экспериментов.

Длина волны, нм	Температура кюветы N1, $^\circ\text{C}$	Мощность лазера, отн. ед.	Интенсивность флюоресценции, отн. ед.
510,6	0	1	1
	40	0,25	0
578,2	0	1	1
	40	0,75	0

Как видно из таблицы, при введении паров йода в абсорбционную кювету 3 сигнал флюоресценции в кювете 4 полностью затухает, однако излучение лазера, как и следовало ожидать, согласно рис. 3, поглощается не полностью. Отсутствие флюоресценции в кювете 4 при наличии паров  $^{127}\text{I}_2$  в кювете 3 свидетельствует о глубокой селекции излучения лазера парами  $^{127}\text{I}_2$ . Естественно, что излучение, прошедшее через нагретую кювету с парами  $^{127}\text{I}_2$ , будет поглощаться только парами радионуклидов йода  $^{129,131}\text{I}_2$  и возбуждать в них флюоресценцию.

Отметим особенности абсорбции желтой и зеленой линий лазера парами  $^{127}\text{I}_2$ . Во-первых, излучение  $\lambda = 510$  нм поглощается сильнее, чем  $\lambda = 578$  нм, во-вторых, прозрачность паров для зеленого излучения определяется уровнем превышения лазера над порогом (пороговый эффект). Возможной причиной сильной абсорбции зеленой линии является наличие континуального поглощения, имеющего место в этой области спектра [7]. Рис. 5 иллюстрирует вклад линейчатого и континуального поглощения в полосу  $A, B \leftarrow X$  [5]. «Пороговый эффект» указывает на совпадение линии йода с наиболее сильной компонентой  $\lambda = 510$  нм.

Отметим, что имеются по крайней мере две возможности оптимизации спектра (а также эффективности) и, следовательно, резонансных свойств медного лазера по отношению к изотопам  $\text{I}_2$ . Одна из них связана с применением в лазере на парах меди не естественного изотопного состава, а моноизотопов  $^{63}\text{Cu}$  и  $^{65}\text{Cu}$  либо смеси изотопов с заданным составом, вторая – с подбором оптимальных давлений буферных газов в лазере и абсорбционной кювете.

Учитывая, что Си-лазер является лучшим лазерным источником, работающим в полосе  $A, B \leftarrow X \text{ I}_2$ , результаты настоящей работы открывают возможность его использования для мониторинга радионуклидов йода в атмосфере.

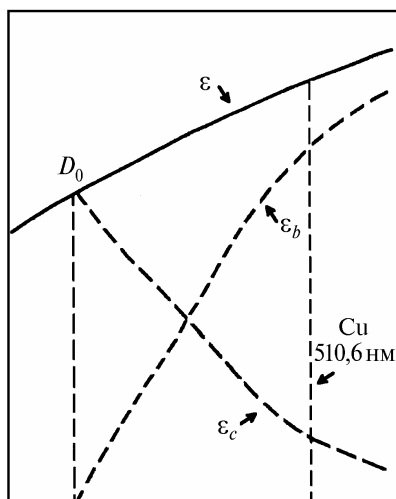


Рис. 5. Вклад линейчатой  $\epsilon_b$  и непрерывной  $\epsilon_c$  компонент в абсорбцию излучения  $\epsilon$  в области зеленой линии меди, для желтой линии  $\epsilon_c \rightarrow 0$

Одним из возможных путей детектирования  $I_2$  в атмосфере является возбуждаемая лазером флюоресценция. Однако флюоресценция атомных и молекулярных компонент атмосферы подвержена тушению в межмолекулярных столкновениях.

Для оценки сигналов флюоресценции паров  $I_2$  в выбросах РХК были измерены факторы тушения флюоресценции  $I_2$  в полосе  $A, B \leftarrow X$ . Для атмосферных условий фактор тушения оказался равным  $10^{-4}$ . С учетом этого факта для указанных выше концентраций радионуклидов в воздухе при дальности зондирования 1000 м, глубины слоя зондирования 10 м, площади приемной антенны  $0,25 \text{ м}^2$  для селективного излучения Cu-лазера мощностью 1 Вт ожидаемый уровень сигнала составит один фотон в секунду.

1. Киреев С.В., Проценко Е.Д., Шнырев С.Д. // Оптика атмосферы и океана. Т.7. №3. С.373–378.
2. Narayanan K., Thakur S.N. // Appl Opt. 1992. V.31. N24. P.4987–4994.
3. Голикова В.Е., Привалов В.Е. Расчет линий поглощения для лазеров, стабилизированных по реперам йода. С.-Петербург, 1992. (Препринт / Институт аналитического приборостроения, N53).
4. Каслин В.М., Петраш Г.Г., Якушев О.Ф. // ЖЭТФ. 1980. Т. 78. Вып. 4. С.1349–1364.
5. Прингсгейм П. Флюоресценция и фосфоресценция. М.: ИЛ, 1951. С. 133–135.
6. Hansch T.W., Schawlow A.L., Toschek P.E. // JEEE Journal of Quantum Electronics. 1972. V.QE-8. N10. P.802–804.
7. Tellinghuisen Y. // The Journal of Chemical Physics. 1973. V.59. N2. P.849–852.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
8 июня 1995 г.

L.P. Vorob'yova, G.S. Evtushenko, V.M. Klimkin, M.M. Makogon,  
V.G. Sokovikov, N.A. Filonova, V.A. Chikurov. **Cu Laser Use for Iodine Radionuclides Remote Sensing.**

Absorption of Cu laser emission by iodine vapor has been studied. Isotopic selection of the emission is demonstrated using a cell filled with iodine-127 vapor. The results have shown that the technique can be used for sensing iodine radionuclides in the atmosphere.