

## ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ НА D-ЛИНИЯХ НАТРИЯ ПРИ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКЕ

*Т.Д. Петухов, С.Н. Торгаев, Г.С. Евтушенко, Е.Н. Тельминов*

Научный руководитель: профессор, д. т. н. Г.С. Евтушенко  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: smileedition@gmail.com

В связи с развитием лазеров на парах щелочных металлов с диодной накачкой интересно рассмотреть возможность применения такого типа лазеров в усилителях яркости изображения [1–5].

В данной работе рассматривается механизм получения генерации в ячейке с парами натрия при продольной накачке лазером на красителе, при длине волны меньшей, чем переход из основного состояния в уровень  $D_2$ , что моделирует накачку лазерными диодами. Приводится расчет уширения линии излучения.

### Схема эксперимента

Упрощенная схема переходов в спектре натрия и схема эксперимента представлены на рисунках 1 и 2, соответственно. В работе использована ячейка с парами натрия, с длиной подогреваемой зоны 10,5 см и диаметром 2,6 см. Температура внешней стенки ячейки составляла 200–250 °С, давление буферного газа – гелия при рабочей температуре достигает 500 Торр (исходное давление 300 Торр).

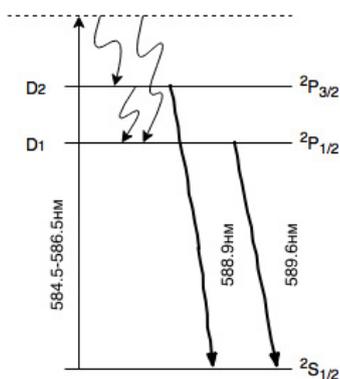


Рис. 1. Схема рабочих переходов натрия

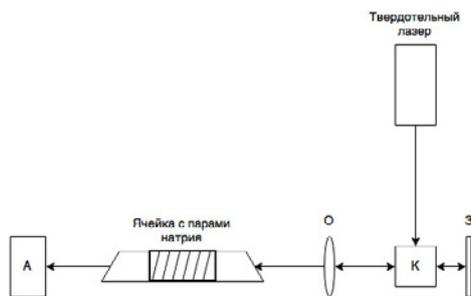


Рис. 2. Схема эксперимента

### Результаты эксперимента

Вынужденное излучение на линиях натрия регистрировалось на краю прошедшего излучения накачки. При движении приемника от центра к краю излучения наблюдалось уменьшение интенсивности излучения накачки, и увеличение интенсивности вынужденного излучения (рис. 3).

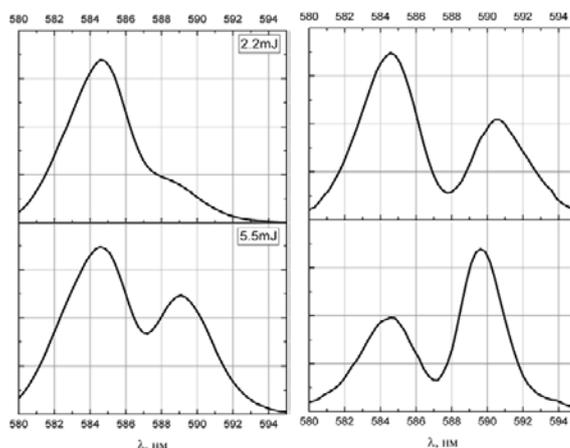


Рис. 3.

При фокусировке излучения накачки, вынужденное излучение наблюдалось при площади пятна 20,4 мм<sup>2</sup> и энергии излучения 3,3 мДж, что соответствует плотности мощности 1,6 МВт/см<sup>2</sup>.

Без фокусировки излучения накачки, вынужденное излучение наблюдалось при энергии накачки 12 мДж и площади пятна 94,2 мм<sup>2</sup>, что соответствует плотности мощности 1,3 МВт/см<sup>2</sup>.

Из рисунка 3 отчетливо видно, что мы имеем дело с вынужденным излучением на обеих линиях натрия D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub>. Ширина линии регистрируемого излучения не больше ширины линии накачки и составляет порядка 2–3 нм по полувысоте, с максимумами, соответствующим линиям D<sub>1</sub> и D<sub>2</sub>. Точность определения максимумов и полуширин линий ограничена разрешающей способностью спектрометра. Мы попытались оценить предельную минимальную полуширину излучения расчетным путем.

### Расчет полуширины линии излучения

Ниже приведен расчет полуширины линии излучения D<sub>1</sub> (589,6 нм). При расчете ширины линии излучения необходимо учесть, что среда находится под достаточно высоким давлением, а, следовательно, необходимо учитывать не только Доплеровское (тепловое) уширение линии, но и столкновительное. Получение результирующего уширения линии излучения возможно при использовании функции свертки (функцию Фойгта) [6]:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta v_L}{\Delta v_D \cdot \pi^{\frac{3}{2}}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{e^{-z^2}}{\left( \left( \frac{\Delta v_L}{\Delta v_D} \cdot \sqrt{\ln(2)} \right)^2 + \left( \frac{c}{\lambda} - v_0 \right) \cdot 2 \cdot \sqrt{\ln(2)} - z \right)^2} dz$$

Результаты расчета контура линии D<sub>1</sub> приведены на рисунке 4. Результирующее значение уширения линии излучения по полувысоте составляет  $\Delta\lambda = 2,9 \cdot 10^{-12}$  м. Расчеты показывают, что для используемых условий (температуры ячейки, давления буферного газа) вклады доплеровского и ударного механизмов уширения в результирующее уширение оказываются одного порядка.

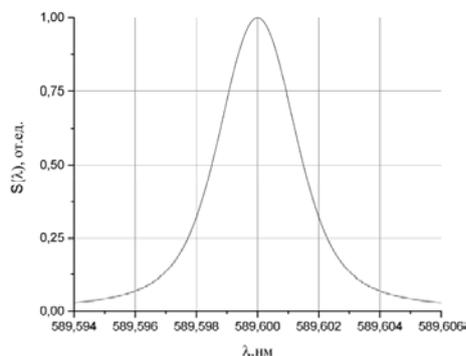


Рис. 4. Результирующее уширение

### Обобщение результатов

В ходе работы получено вынужденное излучение в ячейке с парами натрия при продольной оптической накачке лазером на красителе. Регистрируемое излучение содержит две линии D<sub>1</sub>=589,6 нм и D<sub>2</sub>=588,9 нм и имеет расходимость, близкую по величине к излучению накачки. Определены пороговые значения плотности мощности, при которых регистрируется вынужденное излучение с фокусировкой 1,6 МВт/см<sup>2</sup> и без фокусировки 1,3 МВт/см<sup>2</sup>.

Рассчитанная полуширина линии излучения 2,5 пм, оказывается одного порядка с полуширинами атомных линий на самограниченных переходах меди и других металлов, используемых в активных оптических системах (лазерном проекционном микроскопе и лазерном мониторе) [1].

В дальнейшем планируется проведение экспериментов по оценке величины однопроходowego усиления среды.

*Авторы выражают благодарность Суханову В.Б. и Соковинову В.Г.  
за помощь при подготовке экспериментов.  
Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда,  
проект № 14-19-00175.*

### Список литературы

1. Evtushenko G.S. From a metal vapor laser projection microscope to a laser monitor (by the 50 year-anniversary of metal vapor lasers) // Proc. of International Conference on Atomic and Molecular Pulsed Lasers (AMPL-2015) Tomsk, Russian Federation, September, December 15, 2015 / (eds.) V.F. Tarasenko, A.M. Kabanov // Proc. of SPIE. – Vol. 9810. – P. 98101F1-98101F-9.

2. Evtushenko G.S., Trigub M.V., Gubarev F.A. et al. Laser monitor for non-destructive testing of materials and processes shielded by intensive background lighting // *Review of Scientific Instruments*. – 2014. – Vol. 85, Issue 3, Article number 033111. – P. 1–5.
3. Shalagin, A.M. Celebrating 50 years of the laser (Scientific session of the General Meeting of the Physical Sciences Division of the Russian Academy of Sciences, 13 December 2010) // *Physics-Uspekhi*. – 2011. – Vol. 54, No. 9. – P. 975–980.
4. Gao, F., Chen, F., Xie, J.J. et al. Review on diode-pumped alkali vapor laser // *Optik*. – 2013. – Vol. 124, No. 20. – P. 4353–4358.
5. Zhdanov, B.V., Knize, R.J. Efficient diode pumped cesium vapor amplifier // *Optics Communications*. – 2008. – Vol. 281, No. 15–16. – P. 4068–4070.
6. Varghese P.L., Hanson R.K. Collisional narrowing effects on spectral line shapes measured at high resolution // *Appl. Opt.* – 1984. – Vol. 23, No.14. – P. 2376–2385.