

УДК 538.56

ТЕПЛОЙ ИСТОЧНИК СВЕТА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ КОГЕРЕНТНОСТЬЮ

Андрей Валентинович Будаговский^{1,2}

доктор технических наук

budagovsky@mail.ru

Ольга Николаевна Будаговская^{1,2}

доктор технических наук

¹Федеральный Научный Центр имени И.В.Мичурина

²Мичуринский государственный аграрный университет

Мичуринск, Россия

Аннотация. Создано оптическое устройство, позволяющее из слабокоррелированного излучения теплового источника получать световые пучки с относительно высокой пространственной и временной когерентностью. Достигалось это применением фильтров пространственных и временных частот. В результате формировали световые потоки с длиной когерентности от 5 мкм до 150 мкм и радиусом корреляции от 6 мкм до 36 мкм. Применение данного устройства позволило получить новую информацию о механизме фоторегуляторных процессов.

Ключевые слова: тепловой источник, фильтрация, длина когерентности, радиус корреляции, фоторегуляторные процессы.

В шестидесятые годы прошлого века было установлено, что кратковременное (единицы и десятки минут) воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения способно повышать функциональную активность различных организмов. Проявлялось это в усилении регенерационных, репарационных, пролиферативных иммунных и др. процессов. Явление получило название лазерной стимуляции. Несмотря на широкое практическое применение в медицине, биотехнологии и сельском хозяйстве, механизм действия лазерного излучения до сих пор остаётся предметом дискуссий. Основным камнем преткновения стал вопрос о роли когерентности света в фоторегуляторных процессах. Принято считать, что она несущественна. В качестве главного аргумента приводят результаты многочисленных экспериментов, в которых биологическое действие лазерного (когерентного) излучения и иных источников света (тепловых, газоразрядных, светодиодных, которое считали некогерентным, слабо различалось [1-3]. При этом не учитывали, что для выравнивания спектральных характеристик нелазерных источников проводили пространственно-временную фильтрацию (монохроматоры, апертурные диафрагмы) их излучения. В результате полученный квазимонохроматический пучок света обладал относительно высокой пространственно-временной когерентностью, которой вероятно было достаточно для фотоиндуцированного эффекта, соизмеримого с лазерным. Для разрешения противоречия необходимо перейти от качественных, интуитивных оценок статистических свойств излучения: «когерентное – некогерентное» к количественным расчётам.

Для оценки статистических свойств квазимонохроматического излучения целесообразно использовать объём когерентности поля. Он может быть представлен, как $V_k = \pi (\lambda_0/\Delta\Theta)^2 \lambda_0^2/\Delta\lambda$, где $\Delta\lambda$ - интервал длин волн, соответствующий частотному интервалу $\Delta\omega$, λ_0 - средняя длина волны в интервале $\Delta\lambda$, $\Delta\omega$ и $\Delta\Theta$ - ширина временного и пространственного спектров излучения. Из данного выражения следует: чем выше монохроматичность

потока излучения и уже спектр его пространственных частот, тем в большем объёме будут проявляться когерентные свойства поля.

Для пространственно-ограниченной волны со сравнительно равномерным распределением интенсивности по фронту, модуль нормированной поперечной корреляционной функции можно представить как: $\gamma(s) = 2 |J_1(kas/z)/(kas/z)|$, где $J_1(kas/z)$ - функция Бесселя, $k = 2\pi/\lambda_0$ - волновое число, $s = |\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|$, $2a$ - линейная апертура источника, z - удаление от источника излучения до объекта [4, 5]. Первое нулевое значение функция $\gamma(s)$ приобретает при $kas/z = 3,83$, т.е. при $s = 0,61\lambda z/a$. Данное условие: $\gamma(s) = 0$ если $r_{cor} = s = 0,61\lambda_0 z/a$, используют в качестве определения радиуса корреляции пространственно-ограниченной световой волны с равномерным распределением интенсивности. Радиус корреляции r_{cor} является характеристическим показателем пространственной когерентности излучения. Для временной когерентности таким показателем служит длина когерентности $L_{coh} = \lambda_{max}^2 / \Delta\lambda$ [4]. Её можно изменять, устанавливая определённую ширину спектральной линии монохроматора $\Delta\lambda$.

Для получения светового пучка с заданной пространственно-временной когерентностью поля было изготовлено специальное оптическое устройство (рис. 1). Источником широкополосного излучения служила высокотемпературная лампа накаливания с колбой из кварцевого стекла. Её спектр близок к солнечному. Из него с помощью интерференционного светофильтра вырезали спектральную линию определённой ширины. Чтобы избежать перегрева интерференционного светофильтра перед ним помещали инфракрасный фильтр, отсекающий длинноволновую область спектра. После интерференционного светофильтра установлена круглая регулируемая диафрагма. Меняя её линейную апертуру $2a$ и удаление до объекта облучения z можно сформировать пучки с различным радиусом корреляции, т.е. пространственной когерентностью (таблица).

Изменение временной когерентности происходило посредством выбора интерференционных светофильтров с различной спектральной шириной

пропускания. Это позволяло получать длину когерентности L_{coh} в диапазоне от 5 до 150 мкм.

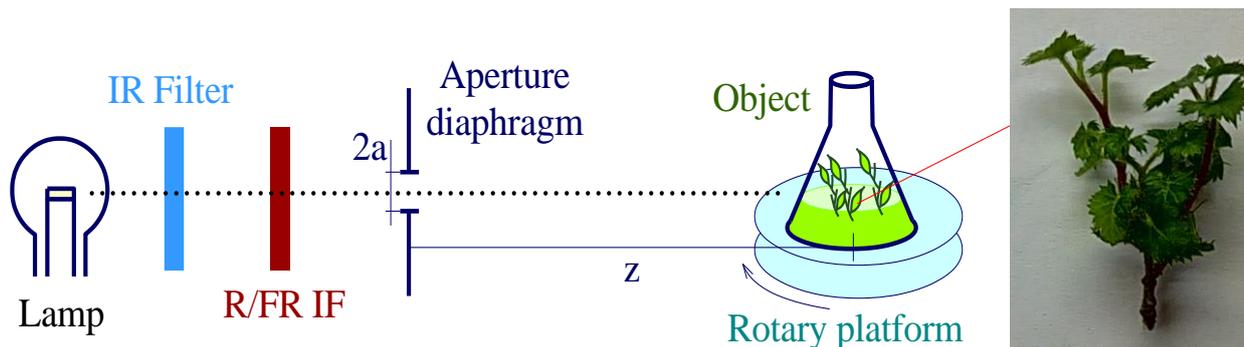


Рисунок 1 - Установка для экспериментов с переменной когерентностью. IR Filter - инфракрасный светофильтр; R/FR IF - красный или дальний красный светофильтр

Таблица 1

Типовые параметры оптического тракта для формирования различной пространственной когерентности светового пучка в экспериментах с растительными организмами

$d = 2a, \text{ мм}$	$Z, \text{ мм}$	$r_{cor}, \text{ мкм}$
32	250	6,03
16	250	12,07
10,7	250	18,04
8	250	24,1
8	310	29,92
8	370	35,7

Ранее было установлено, что наибольшая фотоиндуцированная реакция про- и эукариотических организмов имеет место, когда их клетки полностью помещаются в объёме когерентности поля, т.е. $L_{coh}, r_{cor} > D$, где D - размер клетки [6, 7]. При этом действующее излучение должно соответствовать спектру возбуждения какого-либо из хромопротеидов, например, фитохрому-В. Этим условиям соответствует красный интерференционный светофильтр, спектральная характеристика которого представлена на рис. 2.

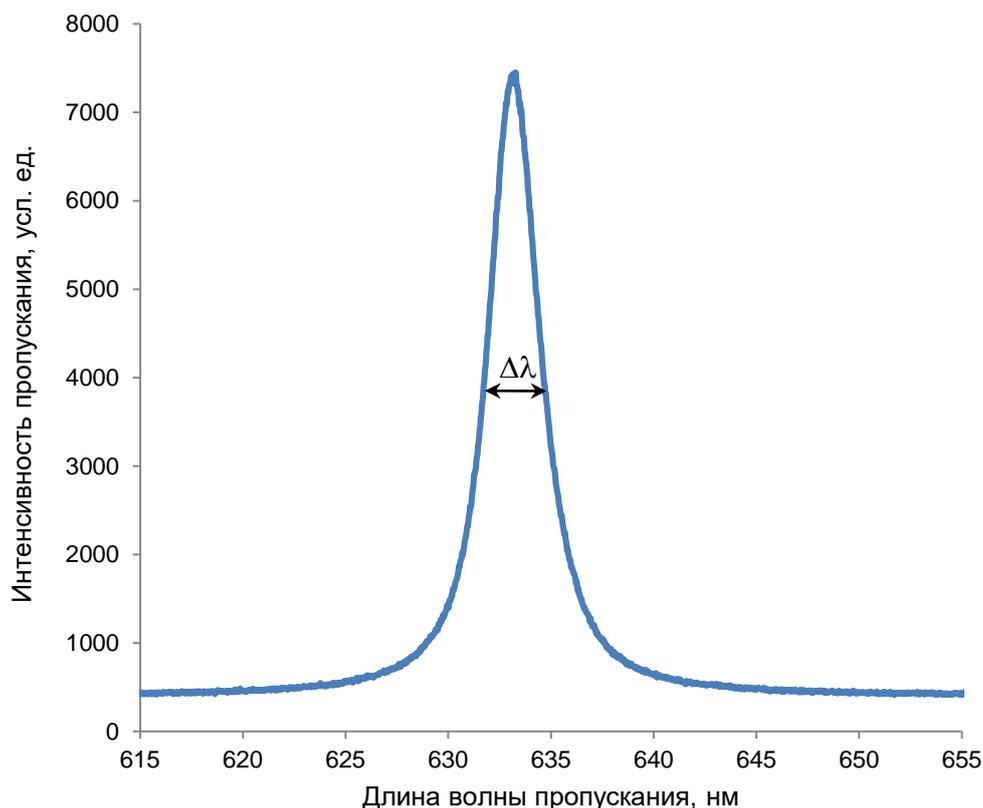


Рисунок 2 - Спектральная кривая интерференционного светофильтра с максимумом пропускания на длине волны 633 нм и полушириной спектральной линии 3 нм.

Применение светофильтра в созданной установке с тепловым источником света позволило на различных организмах получить стимуляционный эффект, не уступающий лазерному облучению.

Список литературы:

1. Лобко В.В., Кару Т.Й., Летохов В.С. Существенна ли когерентность низкоинтенсивного лазерного света при его воздействии на биологические объекты //Биофизика. 1985. Т. 30. №.2. С. 366-371.
2. Smith K.C. Laser (and LED) therapy is phototherapy //Photomedicine and Laser Therapy. 2005. Vol.23. №. 1. P. 78-80.
3. Клебанов Г.И., Шураева Н.Ю., Чичук Т.В. и др. Сравнительное исследование влияния излучения лазера и светодиодов на перекисное окисление липидов раневого экссудата крыс // Биофизика. 2006. Т. 51. Вып. 2. С. 332–339.

4. Born M. and Wolf E. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light. Pergamon Press, Oxford, New York, 1980. - 942 pp.

5. Jakeman E. in *Photon Correlation and Light Beating Spectroscopy*, edited by H.Z. Cummins and E.R. Pike (Springer, Springer, Boston, MA, 1974), pp. 75–149.

6. Budagovsky A.V., et al. Effect of spatial coherence of light on the photoregulation processes in cells // *Physical Review E* 94.1 2016: 012411.

7. Budagovsky A.V., et al. Influence of far-red light coherence on the functional state of plants // *Physical Review E* 103.1 2021: 012411.

UDC 538.56

**THERMAL LIGHT SOURCE WITH VARIABLE
SPATIAL AND TEMPORAL COHERENCE**

Andrey V. Budagovsky

doctor of technical sciences

budagovsky@mail.ru

Michurinsk, Russia

Olga N. Budagovskaya

doctor of technical sciences

Federal research Center named after I. V. Michurin

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Annotation. An optical device has been created that makes it possible to obtain light beams with relatively high spatial and temporal coherence from weakly correlated radiation of a thermal source. This was achieved by using filters of spatial and temporal frequencies. As a result, light fluxes with a coherence length from 5 μm to 150 μm and a correlation radius from 6 μm to 36 μm were formed. The use of this

device made it possible to obtain new information about the mechanism of photoregulatory processes.

Keywords: heat source, filtration, coherence length, correlation radius, photoregulatory processes.