

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ПРАКТИКУМ ПО КВАНТОВОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКЕ

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

Шандаров, Станислав Михайлович
Акрестина, Анна Сергеевна

Практикум по квантовой и нелинейной оптике: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика» / С.М. Шандаров, А.С. Акрестина; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. – Томск : ТУСУР, 2018. – 17 с.

Целью настоящего пособия является подготовка студентов к математическому моделированию процессов и объектов фотоники и оптоинформатики, их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по дисциплине «Практикум по квантовой и нелинейной оптике».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2018 г.

**ПРАКТИКУМ
ПО КВАНТОВОЙ И НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКЕ**

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

Разработчики

д-р. физ.-мат. наук,
проф. каф. ЭП
_____ С.М. Шандаров
«___» _____ 2018 г.

канд. физ.-мат. наук,
ст. преподаватель каф. ЭП
_____ А.С. Акрестина
«___» _____ 2018 г.

Содержание

1 Введение.....	5
2 Задачи для самостоятельной работы и методические указания	5
3 Вопросы для подготовки к контрольной работе.....	9
Список литературы	16

1 Введение

Целью занятий является обучение студентов математическому моделированию процессов и объектов фотоники и оптоинформатики, их исследованию на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов.

2 Задачи для самостоятельной работы и методические указания

Задание 1

Заряженная частица с массой $m = 1 \cdot 10^{-26}$ кг совершает гармонические колебания вдоль оси x относительно положения равновесия $x = x_0$ и характеризуется потенциальной энергией $U(x) = b(x - x_0)^2$, где $b = 2\pi^2$ Дж/м².

- Вычислите частоту колебаний частицы в Гц, соответствующую длину волны электромагнитного излучения и его волновое число.
- Постройте временную зависимость отклонения частицы от положения равновесия $x(t)$ для начальных условий $x(0) = x_0$ и $x(T/4) = x_0 + 1 \times 10^{-13}$ м, где T – период гармонических колебаний, при $x_0 = 3 \cdot 10^{-10}$ м, с использованием пакета OpenOffice Calc [3].

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 1, 2.1 [1], 2.1 [2].

Задание 2

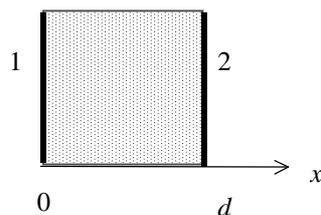
Для колебательного процесса, заданного при $0 \leq t \leq 4T_0$ в виде зависимости $q(t) = 2 \left(1 - \frac{t}{4T_0} \right) \cos \left(\frac{2\pi}{T_0} t \right)$, постройте фазовую траекторию с использованием пакета OpenOffice Calc.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 2.2 [1], 2.1 [2].

Задание 3

Проводящий диэлектрик, изображенный на рисунке, заключен между обкладками плоского конденсатора, отключенного от внешних источников, и имеющего поперечные размеры обкладок, многократно превышающие расстояние d между ними. В момент времени $t = 0$ разность потенциалов на обкладках 1 и 2 имела значение U_0 .



- a. Используя условие непрерывности линий полного тока, найдите общее решение для зависимости напряженности электрического поля в диэлектрике от времени.
- b. Постройте с использованием пакета OpenOffice Calc временные зависимости для напряженности электрического поля в диэлектрике при $t \geq 0$, для следующих параметров диэлектрического слоя и значений начальной разности потенциалов:
 - а) $d = 1$ мм, $\varepsilon = 30\varepsilon_0$, $\sigma = 10^{-9}$ Ом $^{-1}$ м $^{-1}$, $U_0 = 100$ В;
 - б) $d = 0,2$ мм, $\varepsilon = 200\varepsilon_0$, $\sigma = 10^{-6}$ Ом $^{-1}$ м $^{-1}$, $U_0 = 1$ В.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 3.1, 3.2 и 3.3 [1].

Задание 4

Расположенная при $z = 0$ бесконечно тонкая по оси z и имеющая бесконечно большие размеры по осям x и y диэлектрическая пленка имеет поверхностный электрический заряд с плотностью $\xi = 10$ Кл/м 2 .

- a. Определите поле вектора электрической индукции, создаваемое данной пленкой в верхней и нижней полуплоскости.
- b. Нарисуйте (постройте) картину создаваемого однородно заряженной пленкой распределения вектора электрической напряженности в пространстве вблизи нее, по координатам x и y .

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 3.2 и 3.3 [1].

Задание 5

Плоская электромагнитная волна с вектором напряженности электрического поля $\vec{E}(z, t) = E_m \vec{j} \cos(\omega t - kz)$ и с длиной волны $\lambda = 500$ нм распространяется в вакууме.

- a. Найдите выражение для напряженности магнитного поля данной волны.

- b. Нарисуйте картину распределения в пространстве, для $0 \leq z \leq \lambda$, вектора напряженности электрического поля, при $E_m = 10$ В/м и $t = 0$.
- c. Нарисуйте картину распределения во времени, для $0 \leq t \leq 2\pi/\omega$, вектора напряженности магнитного поля, при $E_m = 10$ В/м и $z = \lambda/4$.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 3.7 и 3.9 [1].

Задание 6

Плоская электромагнитная волна, распространяющаяся вдоль оси z , имеет проекции вектора напряженности светового поля на оси y и x , равные соответственно $E_y = 10$ В/м и $E_x = 8$ В/м. При этом сдвиг по фазе для составляющей E_y относительно E_x имеет значение $\varphi = 3\pi/4$.

- a. Определите вид поляризации данной волны.
- b. Нарисуйте картину эволюции вектора напряженности электрического поля $\vec{E}(0, t)$ для интервала времени $0 \leq t \leq 2\pi/\omega$, наблюдаемую при $z = 0$.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 3.10 [1], 1.1 и 1.2 [2].

Задание 7

Для плоской световой волны, поляризованной в плоскости падения и распространяющейся в воздухе, найдите:

- a. Зависимость коэффициента отражения от угла падения на границу раздела с оптическим стеклом, имеющим значения показателя преломления $n = 1,51$.
- b. Зависимость интенсивности отраженной волны от угла падения, $I_r(\theta_i)$, для рассмотренного выше случая, при интенсивности падающей волны $I_i = 100$ мВт/см².
- c. Постройте с использованием пакета OpenOffice Calc данные зависимости от угла падения θ_i для: а) модуля коэффициента отражения; б) фазы коэффициента отражения; в) интенсивности $I_r(\theta_i)$.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 4.2 [1], 2.3 [2].

Задание 8

Плоскопараллельный световой пучок с апертурой $D = 4$ мм, поляризованный перпендикулярно плоскости падения, падает на границу плоскопараллельной кварцевой пластины с показателем преломления $n = 1,51$ и с толщиной $h = 20$ мм под углом $\theta_i = 30^\circ$ из воздуха. Изобразите траекторию пучка в масштабе 2:1 до пластины, внутри нее, и после нее. Найдите:

- Интенсивность прошедшего пучка при входной интенсивности $I_i = 1$ Вт/см².
- Поперечное смещение пучка, вызванное его прохождением через плоскопараллельную пластину.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 4.1 [1], 2.3 [2].

Задание 9

Две плоские монохроматические волны 1 и 2 с длиной волны $\lambda = 405$ нм и амплитудами $E_{m1} = 10$ В/м и $E_{m2} = 100$ В/м, поляризованные в плоскости XU , распространяются в немагнитной среде с коэффициентом преломления $n = 1,46$. Волновые векторы волн \vec{k}_1 и \vec{k}_2 ориентированы в плоскости XU и составляют с осью $+X$ углы $\theta_1 = 5^\circ$ и $\theta_2 = -5^\circ$, соответственно.

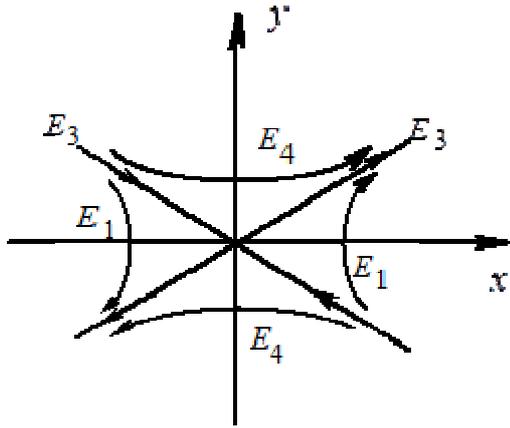
- Запишите выражения для распределений электрического поля в среде, используя комплексную форму записи.
- Найдите распределение интенсивности светового поля в среде и проведите его анализ:
 - Определите направление волнового вектора \vec{K} интерференционной картины, её контраст и пространственный период;
 - Нарисуйте световые пучки, создающие интерференционную картину, дополнив ее диаграммой волновых векторов \vec{k}_1 , \vec{k}_2 и вектора \vec{K} ;
 - Постройте с использованием пакета OpenOffice Calc зависимость интенсивности света в интерференционной картине от соответствующей координаты.

Методические указания

При решении задачи следует обратить внимание на разделы 3.9, 5.1.1 [1], 5.1 и 5.4 [2].

3 Тестовые задания

1. Если электрический сигнал описан функцией $x(t) = a_m \cos(\omega t + \varphi_0)$, то такой сигнал называют ...
 - импульсным с амплитудой a_m , частотой ω и начальной фазой φ_0
 - периодическим с частотой a_m , амплитудой ω и периодом φ_0
 - гармоническим с частотой a_m , амплитудой ω и периодом φ_0
 - импульсным с периодом повторения ω , амплитудой a_m и начальной фазой φ_0
 - гармоническим с амплитудой a_m , частотой ω и начальной фазой φ_0
2. К *оптическому* диапазону относят излучение с длинами волн от ...
 - 1 мм до 1 нм ($3 \cdot 10^{11}$ – $3 \cdot 10^{17}$ Гц)
 - 10 м до 0,3 мм (30 МГц – 1 ТГц)
 - 100 км до 0,1 мм (3 кГц – 3 ТГц)
 - 1 мм до 0,1 м (300 ГГц – 3 ТГц)
 - 10 см до 1 см (3 ГГц – 30 ГГц)
3. Линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами $\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ описывает ...
 - свободные колебания с частотой ω_0^2 , совершаемые одномерной колебательной системой
 - гармонические колебания с частотой ω_0 , совершаемые одномерным линейным осциллятором
 - вынужденные колебания с частотой ω_0^2 , совершаемые одномерной колебательной системой
 - колебания с частотой ω_0 , совершаемые в колебательной системе с двумя степенями свободы
 - свободные колебания с периодом ω_0^2 , совершаемые одномерной колебательной системой
4. Решение уравнения свободных колебаний $\ddot{q} + 2\gamma\dot{q} + \omega_0^2 q = 0$ при выполнении условия $\omega_0 > \gamma$ определяется выражениями ...
 - $q(t) = a_m \exp(\gamma t) \cos(\omega_1 t + \varphi_0)$, $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$
 - $q(t) = a_m \exp(\omega_1 t) \cos(\gamma t + \varphi_0)$, $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$
 - $q(t) = a_m \exp(-\gamma t) \cos(\omega_1 t + \varphi_0)$, $\omega_1 = \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$
 - $q(t) = a_m \exp(-\gamma t) \cos(\omega_1 t + \varphi_0)$, $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$
 - $q(t) = a_m \exp(-\gamma t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$
5. На данном рисунке, представляющем фазовую плоскость,



изображен фазовый портрет ...

- гармонических колебаний с особой точкой «центр»
- затухающих колебаний с особой точкой «устойчивый фокус»
- движения в системе с мнимыми собственными частотами ($\omega_0^2 < 0$) и особой точкой «седло»
- нарастающих колебаний с особой точкой «неустойчивый фокус»
- затухающих колебаний с особой точкой «устойчивый узел»

6. В приведенных уравнениях Максвелла

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \vec{\delta}_{\text{compl}}, \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad \operatorname{div} \vec{D} = \rho, \quad \operatorname{div} \vec{B} = 0,$$

использованы обозначения ...

- \vec{E} и \vec{H} – векторы напряженности электрического и магнитного полей, \vec{D} и \vec{B} – векторы электрической и магнитной индукции; ρ – объемная плотность электрического заряда и $\vec{\delta}_{\text{compl}}$ – вектор плотности полного тока
- \vec{E} и \vec{H} – векторы электрической и магнитной индукции, \vec{D} и \vec{B} – векторы напряженности электрического и магнитного полей; ρ – объемная плотность электрического заряда и $\vec{\delta}_{\text{compl}}$ – вектор плотности полного тока
- \vec{E} и \vec{H} – векторы напряженности электрического и магнитного полей, \vec{D} и \vec{B} – векторы электрической и магнитной индукции; ρ – поверхностная плотность электрического заряда и $\vec{\delta}_{\text{compl}}$ – вектор плотности тока проводимости
- \vec{E} и \vec{H} – векторы напряженности электрического и магнитного полей, \vec{D} и \vec{B} – векторы электрической и магнитной индукции; ρ – удельная проводимость среды и $\vec{\delta}_{\text{compl}}$ – вектор плотности тока смещения
- \vec{E} и \vec{H} – векторы напряженности электрического и магнитного полей, \vec{D} и \vec{B} – векторы электрической и магнитной индукции; ρ

– удельная плотность среды и $\vec{\delta}_{compl}$ – вектор плотности тока переноса

7. Волновое уравнение для напряженности электрического поля в непроводящей однородной изотропной безграничной среде, в которой отсутствуют объемные заряды и сторонние токи, имеет вид ...

$$- \nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{\mu\epsilon} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$- \nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$- \nabla^2 \vec{E} - \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$- \nabla^2 \vec{E} - \frac{\epsilon}{\mu} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$- \nabla^2 \vec{E} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

8. Геометрическое место точек, в которых фаза волны остается постоянной, $\varphi(z, t) = \omega t \mp kz + \psi = \text{const}$, называют ...

- фазовой скоростью волны
- фазовым или волновым фронтом
- эквипотенциальной поверхностью волны
- плоскостью поляризации волны
- поверхностью волновой нормали

9. Амплитуды напряженности электрического и магнитного полей в плоской волне связаны соотношениями ...

– $H_m = \frac{E_m}{W}$, где $W = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}}$ – безразмерное волновое сопротивление среды

– $H_m = \frac{E_m}{W}$, где $W = \sqrt{\frac{\epsilon_r \epsilon_0}{\mu_r \mu_0}}$ – волновое сопротивление среды с размерностью [1/Ом]

– $E_m = \frac{H_m}{W}$, где $W = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}}$ – волновое сопротивление среды с размерностью [Ом]

– $H_m = \frac{E_m}{W}$, где $W = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}}$ – волновое сопротивление среды с размерностью [Ом]

- $E_m = \frac{H_m}{W}$, где $W = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$ – волновое сопротивление среды с размерностью [1/Ом]

10. Плоскость поляризации плоской электромагнитной волны проходит ...

- через векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H}
- через вектор напряженности магнитного поля \vec{H} и направление распространения, задаваемое волновым вектором \vec{k}
- через вектор напряженности электрического поля \vec{E} и направление распространения, задаваемое волновым вектором \vec{k}
- под углом $+45^\circ$ к векторам напряженности электрического и магнитного полей \vec{E} и \vec{H} через направление распространения, задаваемое волновым вектором \vec{k}
- под углом -45° к векторам напряженности электрического и магнитного полей \vec{E} и \vec{H} через направление распространения, задаваемое волновым вектором \vec{k}

11. Среднее значение вектора Пойнтинга $\langle \vec{\Pi} \rangle$ в гармоническом электромагнитном поле равно ...

- мнимой части комплексного вектора $\dot{\vec{\Pi}} = \frac{1}{2} [\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*]$
- вещественной части комплексного вектора $\dot{\vec{\Pi}} = \frac{1}{2} [\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*]$
- мнимой части комплексного вектора $\dot{\vec{\Pi}} = \frac{1}{2} (\dot{\vec{E}} \cdot \dot{\vec{H}}^*)$
- вещественной части комплексного вектора $\dot{\vec{\Pi}} = \frac{1}{2} (\dot{\vec{E}} \cdot \dot{\vec{H}}^*)$
- модулю комплексного вектора $\dot{\vec{\Pi}} = \frac{1}{2} [\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*]$

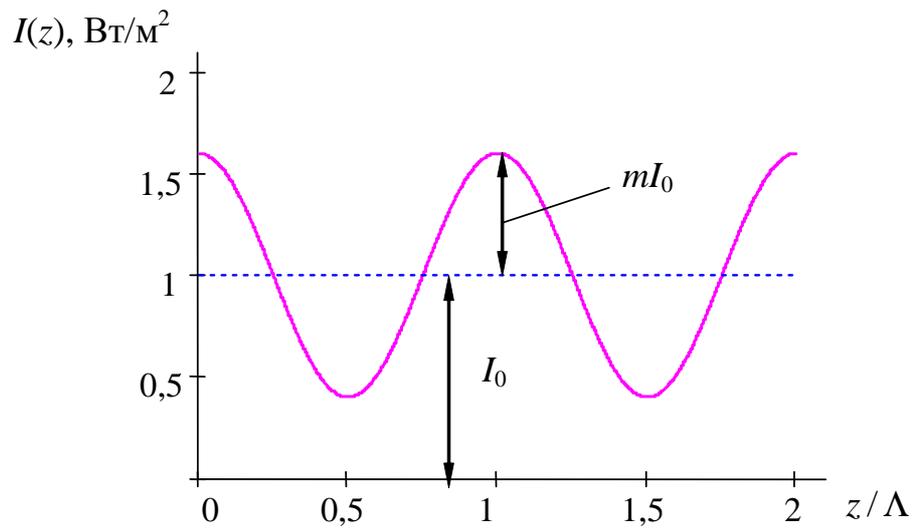
12. Волновой фронт сферической электромагнитной волны представляет из себя ...

- плоскость, ортогональную волновому вектору \vec{k}
- плоскость, параллельную единичному вектору волновой нормали \vec{m}
- сферическую поверхность
- поверхность кругового цилиндра с образующей, параллельной волновому вектору \vec{k}
- тороидальную поверхность с осью, параллельной единичному вектору волновой нормали \vec{m}
- окружность

13. Плоскость падения волны определяется как плоскость, ...

- проходящая через направление распространения падающей волны, задаваемым волновым вектором \vec{k}_i , и нормаль \vec{m} к границе раздела
 - проходящая через направление распространения падающей волны, задаваемым волновым вектором \vec{k}_i , и её вектор напряженности электрического поля \vec{E}_i
 - проходящая через направление распространения падающей волны, задаваемым волновым вектором \vec{k}_i , и её вектор напряженности магнитного поля \vec{H}_i
 - ортогональная волновому вектору \vec{k}_i падающей волны
 - проходящая через вектор напряженности электрического поля \vec{E}_i падающей волны и нормаль \vec{m} к границе раздела
14. При падении на плоскую границу раздела двух прозрачных сред плоской световой волны под углом Брюстера ...
- модуль коэффициента отражения $|R_{\perp}|$ для составляющей вектора поляризации, перпендикулярной плоскости падения, стремится к единице
 - модуль коэффициента отражения $|R_{\parallel}|$ для составляющей вектора поляризации в плоскости падения равен $1/2$
 - модуль коэффициента отражения $|R_{\parallel}|$ для составляющей вектора поляризации в плоскости падения стремится к единице
 - модуль коэффициента отражения $|R_{\perp}|$ для составляющей вектора поляризации, перпендикулярной плоскости падения, обращается в нуль
 - модуль коэффициента отражения $|R_{\parallel}|$ для составляющей вектора поляризации в плоскости падения обращается в нуль
15. Полное внутреннее отражение плоских световых волн на границе раздела сред с показателями преломления n_1 и n_2 ...
- наблюдается только для волн с круговой поляризацией
 - наблюдается только для волн, поляризованных нормально к плоскости падения
 - наблюдается только для волн, поляризованных в плоскости падения
 - наблюдается при их падении из оптически более плотной среды на менее плотную под углом $\theta_i > \arcsin(n_2 / n_1)$
 - наблюдается при их падении из оптически менее плотной среды на более плотную под углом $\theta_i > \arcsin(n_2 / n_1)$
16. Интерференцией называют явление, при котором ...

- происходит обмен энергией для двух и более волновых процессов
 - суперпозиция волновых процессов приводит к равномерному и однородному уменьшению средней плотности потока энергии
 - суперпозиция волновых процессов приводит к равномерному и однородному увеличению средней плотности потока энергии
 - суперпозиция волновых процессов приводит к изменению средней плотности потока энергии
 - наблюдается изменение направлений распространения двух и более световых волн
17. Максимумы интерференционной картины двух световых волн наблюдается в точках пространства, где ...
- разности фаз этих волн $\Delta\varphi = 2\pi p$, где p – целое число
 - разности фаз этих волн $\Delta\varphi = \pi(2p + 1)$, где p – целое число
 - разности фаз этих волн $\Delta\varphi = \pi(2p - 1)$, где p – целое число
 - разности фаз этих волн $\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}(2p - 1)$, где p – целое число
 - амплитуды этих волн одинаковы
18. Когерентностью называют ...
- способность световых волн распространяться в прозрачных средах
 - зависимость фазовой скорости световых волн в среде от длины волны
 - способность световых волн распространяться в вакууме
 - зависимость фазовой скорости световых волн в кристаллах от их поляризации
 - согласованное протекание во времени нескольких волновых процессов или свойство, отражающее стабильность фазы одной или нескольких электромагнитных волн
19. Временем когерентности называют ...
- минимальную длительность промежутка между частями сигнала, в которых его фаза меняется непрерывно
 - длительность части сигнала, в течение которой его фаза меняется непрерывно
 - максимальную длительность промежутка между частями сигнала, в которых его фаза меняется непрерывно
 - минимальный период колебаний в спектре сигнала
20. Контраст m для представленного ниже распределения интенсивности света в интерференционной картине равен ...



- 1,6 BT/M^2
- -0,6
- 0
- 0,6
- 1

Список литературы

1. Введение в оптическую физику : учебное пособие для студентов направления подготовки 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика» / С.М. Шандаров. – Томск: ТУСУР, 2018. – 127 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7307>
2. Волновая оптика : Учебное пособие для вузов / Н. И. Калитеевский. - 4-е изд., стереотип. - СПб. : Лань, 2006. – 465 с.
3. Apache OpenOffice.org Calc [Электронный ресурс] : табличный процессор. URL: <https://www.openoffice.org/product/calc.html>

Учебное пособие

Шандаров С.М.
Акрестина А.С.

Практикум по квантовой и нелинейной оптике:

Методические указания по самостоятельной работе
для студентов направления 12.03.03 «Фотоника и оптоинформатика»

Усл. печ. л. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40