

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 11.03.03 «Электроника и наноэлектроника»

**Шандаров, Станислав Михайлович**  
**Акрестина, Анна Сергеевна**

Практикум по квантовой и нелинейной оптике: методические указания по самостоятельной работе для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» / 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. – 16 с.

Целью настоящего пособия является обучение студентов способности аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроника и наноэлектроника» 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 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

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

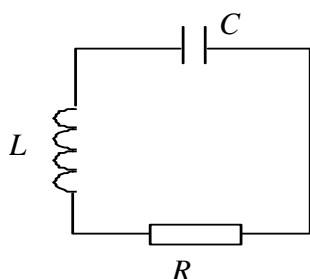
1 Введение.....	5
2 Задачи для самостоятельной работы и методические указания .....	5
3 Тестовые задания .....	8
Список литературы .....	15

## 1 Введение

Целью занятий является обучение студентов способности аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения.

## 2 Задачи для самостоятельной работы и методические указания

### Задание 1

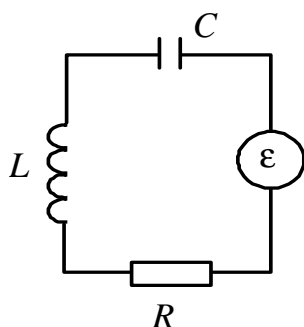


Для последовательного колебательного контура с параметрами  $L = 16$  мкГн,  $C = 25$  пФ,  $R = 4$  Ом найти зависимость напряжения на конденсаторе от времени, если в момент времени  $t = 0$  напряжение на конденсаторе  $U_C(0) = 0$  В, а напряжение на сопротивлении потерь  $U_R(0) = 1$  В.

### Методические указания

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

### Задание 2



В последовательном колебательном контуре действует электродвижущая сила  $E(t) = E_m \cos(\omega t)$ . Параметры элементов контура:  $L = 16$  мкГн,  $C = 64$  пф,  $R = 50$  Ом.

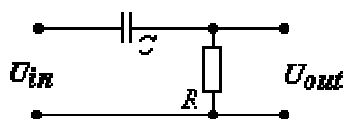
- Найдите закон изменения во времени заряда конденсатора  $q(t)$ , при условии  $R/2L < 1/\sqrt{LC}$ .
- Найдите в аналитическом виде временную зависимость напряжения на конденсаторе  $U_C(t)$  при  $t \gg 2L/R$  и приведите конечное выражение для  $U_C(t)$  к тригонометрической форме.

### Методические указания

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

**Задание 3**

Для дифференцирующей цепи (см. рис.) с параметрами  $C = 2$  мкФ,  $R = 10$  Ом найдите аналитические зависимости от времени для выходного напряжения  $U_{out}(t)$  и напряжения на конденсаторе  $U_C(t)$ , при входном напряжении в виде функции Хэвисайда:



$$U_{in}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \leq 0, \\ U_0, & \text{при } t \geq 0. \end{cases}$$

**Методические указания**

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

**Задание 4**

Электрический диполь состоит из положительного и отрицательного зарядов, равных по абсолютной величине значению  $q_m = 1$  нКл и расположенных соответственно в точках  $y = +r_0/2$  и  $y = -r_0/2$  декартовой системы координат, где  $r_0 = 10$  мкм.

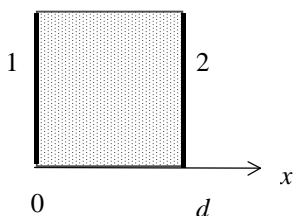
- Найдите соотношения, описывающие распределения электрического потенциала  $\varphi(x, y, z)$  и напряженности электрического поля  $\vec{E}(x, y, z)$ , создаваемых данным диполем.
- Найдите аналитическое выражение для эквипотенциальных поверхностей, в декартовой системе координат.

**Методические указания**

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

**Задание 5**

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  $U_0$ . Используя условие непрерывности линий полного тока, найдите общее решение для зависимости напряженности электрического поля в диэлектрике от времени.

**Методические указания**

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

**Задание 6**

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  $\xi = 10 \text{ Кл/м}^2$ . Определите поле вектора электрической индукции, создаваемое данной пленкой в верхней и нижней полуплоскости.

**Методические указания**

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

**Задание 7**

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

**Методические указания**

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

**Задание 8**

Заряженная частица с массой  $m = 1 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$  совершает гармонические колебания вдоль оси  $x$  относительно положения равновесия  $x = x_0$  и характеризуется потенциальной энергией  $U(x) = b(x - x_0)^2$ , где  $b = 2\pi^2 \text{ Дж/м}^2$ . Вычислите частоту колебаний частицы в Гц, соответствующую длину волны электромагнитного излучения и его волновое число.

**Методические указания**

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

**Задание 9**

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.

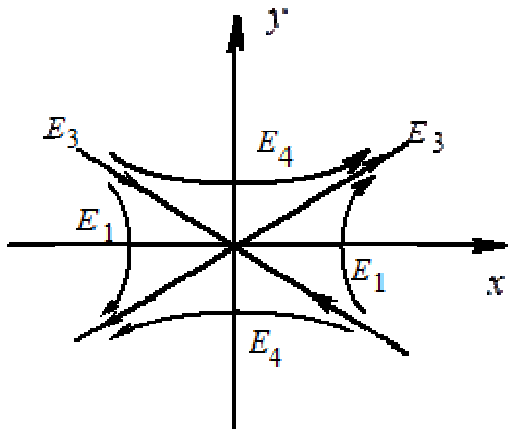
**Методические указания**

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

### 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  $\omega$  и начальной фазой  $\varphi_0$
  - периодическим с частотой  $a_m$ , амплитудой  $\omega$  и периодом  $\varphi_0$
  - гармоническим с частотой  $a_m$ , амплитудой  $\omega$  и периодом  $\varphi_0$
  - импульсным с периодом повторения  $\omega$ , амплитудой  $a_m$  и начальной фазой  $\varphi_0$
  - гармоническим с амплитудой  $a_m$ , частотой  $\omega$  и начальной фазой  $\varphi_0$
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 мм (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  $\omega_0^2$ , совершаемые одномерной колебательной системой
  - гармонические колебания с частотой  $\omega_0$ , совершаемые одномерным линейным осциллятором
  - вынужденные колебания с частотой  $\omega_0^2$ , совершаемые одномерной колебательной системой
  - колебания с частотой  $\omega_0$ , совершаемые в колебательной системе с двумя степенями свободы
  - свободные колебания с периодом  $\omega_0^2$ , 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;  $\rho$  – 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;  $\rho$  – 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;  $\rho$  – 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;  $\rho$  – 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;  $\rho$

– 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  $-45^\circ$  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  $\dot{\vec{\Pi}} = \frac{1}{2} [\dot{\vec{E}} \times \dot{\vec{H}}^*]$

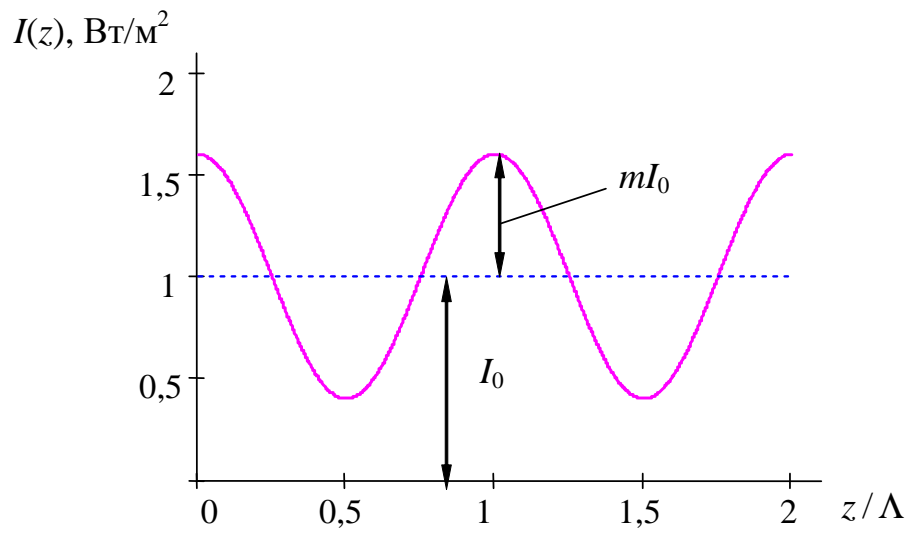
12. Волновой фронт сферической электромагнитной волны представляет из себя ...

- 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  $\text{BT}/\text{M}^2$
- -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>

Учебное пособие

Шандаров С.М.  
Акрестина А.С.

Практикум по квантовой и нелинейной оптике:

Методические указания по самостоятельной работе  
для студентов направления 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

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