

СБОРНИК
вариантов заданий для расчётно-графических
работ по оптике

Для студентов всех специальностей

2019 г.

Раздел 4. Элементы волновой оптики

Основные формулы.

Электромагнитные волны

Векторы напряжённости электрического поля и индукции магнитного поля в бегущей плоской гармонической волне взаимно ортогональны и изменяются синфазно в соответствии с уравнениями

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi_0),$$

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_0 \cos(\omega \cdot t - \vec{k} \cdot \vec{r} + \varphi_0)$$

Направление распространения волны задаётся *волновым вектором*

\vec{k} . Модуль волнового вектора называется *волновым числом* и определяется по формуле

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}$$

где: ω - угловая или циклическая частота, λ - длина волны, φ - фаза волны

Интерференция света

Скорость света в среде

$$v = \frac{c}{n}$$

где c – скорость света в вакууме; n – абсолютный показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны

$$L = nl$$

Оптическая разность хода двух световых волн

$$\Delta = L_1 - L_2$$

где l – геометрическая длина пути световой волны в среде.

Условие максимумов и минимумов интенсивности света при интерференции

$$\Delta_{\max} = \pm k\lambda,$$

$$\Delta_{\min} = \pm (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (k = 0, 1, 2, 3 \dots)$$

где λ – длина волны.

Разность фаз колебаний

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda}$$

Оптическая разность хода световых волн отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластины или пленки

$$\Delta = 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}$$

где d – толщина пластинки, α – угол падения.

Радиусы темных и светлых колец Ньютона в отраженном свете или светлых и темных в проходящем

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}, \quad r_k = \sqrt{(2k-1)R(\lambda/2)}$$

где k – номер кольца; R – радиус кривизны поверхности линзы.

Дифракция света

Дифракция света на одной щели при нормальном падении лучей. Условие минимумов интенсивности света

$$a \sin \varphi = \pm k\lambda \quad (k = 1, 2, 3 \dots)$$

где a – ширина щели; φ – угол дифракции; k – номер минимума.

Дифракция света на дифракционной решетке при нормальном падении лучей.
Условие главных максимумов интенсивности

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots)$$

где d – период решетки, k – номер главного максимума; φ – угол между нормалью к поверхности решетки и направлением на соответствующий максимум.

Поляризация света

Степень поляризации света

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

где I_{\max} и I_{\min} – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света пропускаемого анализатором.

Закон Малюса.

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

где I_0 , I – интенсивности падающего на анализатор и прошедшего через него плоскополяризованного света; α – угол между плоскостью пропускания анализатора и направлением колебаний светового вектора.

Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \alpha_B = n_{21}$$

где α_B – угол падения, при котором отраженная световая волна полностью поляризована; n_{21} – относительный показатель преломления.

Угол поворота φ плоскости поляризации оптически активными веществами:

в твердых телах $\varphi = \alpha d$

где α – постоянная вращения, d – длина пути света в веществе;

в чистых жидкостях $\varphi = [\alpha] \rho d$,

где ρ – плотность жидкости, $[\alpha]$ – удельное вращение;

в растворах $\varphi = [\alpha] C d$,

где C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе.

Задания для расчётно - графических работ

Задание 4.1

Тема: Поляризация электромагнитных волн.

Два источника излучают линейно-поляризованные электромагнитные волны. Вдали от источников в некоторой рассматриваемой ограниченной области поле излучения распространяется в виде плоских волн в положительном направлении оси Ox :

$$\vec{E}_1(x,t) = E_{10} \vec{e}_y \cos(\omega t - kx + \varphi_1),$$

$$\vec{E}_2(x,t) = E_{20} \vec{e}_z \cos(\omega t - kx + \varphi_2),$$

где $\omega = 3,14 \cdot 10^6 \text{ c}^{-1}$, амплитуды E_{10}, E_{20} и начальные фазы φ_1, φ_2 заданы в таблице вариантов **4.1**. Изобразите графически в плоскости yOz положение вектора результирующей электромагнитной волны в точке с координатой x_0 в последовательные моменты времени t_n . Определите тип поляризации результирующей волны.

Указание. Для нечетных вариантов рекомендуется выбрать $t_n = n \frac{T}{12}$ ($n = 0, 1, 2, \dots, 11$), для четных $t_n = n \frac{T}{8}$ ($n = 0, 1, 2, \dots, 7$), где T - период волны.

Значения параметров по вариантам

Таблица 4.1

Вариант	E_{10} , В/м	E_{20} , В/м	φ_1 , рад	φ_2 , рад	x_0 , м
1	2	1	0	$\pi/6$	50
2	3	1	0	$\pi/4$	300
3	1	2	0	$\pi/3$	150
4	1	3	$-\pi/4$	0	75
5	1	2	0	$-\pi/6$	100
6	3	2	0	$-\pi/4$	150
7	2	1	0	$-\pi/3$	50
8	2	3	$\pi/4$	0	75
9	1	1	$\pi/6$	0	200
10	2	1	0	$3\pi/4$	300
11	1	1	$\pi/3$	0	50
12	1	3	$-3\pi/4$	0	150
13	2	1	$\pi/6$	$\pi/3$	100
14	1	1	0	$-3\pi/4$	225
15	1	3	$-\pi/3$	0	150
16	2	1	$3\pi/4$	0	75
17	3	1	0	$2\pi/3$	200
18	1	2	$\pi/4$	$-\pi/2$	150
19	1	2	0	$-2\pi/3$	50
20	3	1	$-\pi/4$	$\pi/2$	300
21	1	1	π	$\pi/3$	100
22	1	3	$\pi/2$	$-\pi/4$	225
23	2	1	$-\pi/3$	$\pi/3$	150
24	3	2	$-\pi/2$	$\pi/4$	75
25	2	1	$\pi/3$	$-2\pi/3$	200
26	2	1	0	$\pi/6$	50
27	3	1	0	$\pi/4$	300
28	1	2	0	$\pi/3$	150
29	1	3	$-\pi/4$	0	75
30	1	2	0	$-\pi/6$	100

Задание 4.2**Тема:** Интерференция света.

На поверхности стекла ($n=1.75$) находится плёнка жидкости с показателем преломления n . На неё падает свет с длиной волны λ под углом θ к нормали. Найти скорость, с которой уменьшается толщина плёнки (из-за испарения), если интенсивность отражённого света меняется так, что промежуток времени между последовательными максимумами отражения равен Δt . Построить график зависимости скорости от показателя преломления жидкости.

Значения параметров по вариантам**Таблица 4.2**

Вариант	λ	θ	Δt	n
	мкм	град	мин.	
1	0,68	30	15	1,2
2	0,52	20	5	1,3
3	0,6	18	10	1,4
4	0,4	30	12	1,33
5	0,75	25	8	1,25
6	0,38	30	18	1,5
7	0,42	5	3	1,6
8	0,65	10	14	1,7
9	0,7	15	10	1,2
10	0,78	20	15	1,4
11	0,68	30	15	1,2
12	0,52	20	5	1,3
13	0,6	18	10	1,4
14	0,4	30	12	1,33
15	0,75	25	8	1,25
16	0,38	30	18	1,5
17	0,42	5	3	1,6
18	0,65	10	14	1,7
19	0,7	15	10	1,2
20	0,78	20	15	1,4
21	0,68	30	15	1,2
22	0,52	20	5	1,3
23	0,6	18	10	1,4
24	0,4	30	12	1,33
25	0,75	25	8	1,25
26	0,38	30	18	1,5
27	0,42	5	3	1,6
28	0,65	10	14	1,7
29	0,7	15	10	1,2
30	0,78	20	15	1,4

Задание 4.3**Тема:** *Кольца Ньютона.*

Плоско-выпуклая стеклянная линз соприкасается со стеклянной пластинкой сошлифованным на вершине сферической поверхности плоским участком радиуса r_0 . Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы R . Найти радиус светлого кольца номер K при наблюдении в отражённом свете с длиной волны λ . Построить график зависимости радиуса кольца от длины отражённой волны

Значение параметров по вариантам

Таблица 4.3

Вариант	λ	r_0	R	K
	нм	мм	см	
1	655	3	150	4
2	555	2	100	5
3	400	4	120	6
4	750	3	130	7
5	500	2	155	8
6	450	4	150	2
7	650	2	100	3
8	525	3	120	6
9	700	2	130	5
10	780	4	155	9
11	655	3	150	4
12	555	2	100	5
13	400	4	120	6
14	750	3	130	7
15	500	2	155	8
16	450	4	150	2
17	650	2	100	3
18	525	3	120	6
19	700	2	130	5
20	780	4	155	9
21	655	3	150	4
22	555	2	100	5
23	400	4	120	6
24	750	3	130	7
25	500	2	155	8
26	450	4	150	2
27	650	2	100	3
28	525	3	120	6
29	700	2	130	5
30	780	4	155	9

Задание 4.4**Тема:** *Кольца Ньютона.*

На вершине сферической поверхности плоско-выпуклой стеклянной линзы имеется сошлифованный плоский участок высотой h , которым она соприкасается со стеклянной пластинкой. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы R . Найти радиус тёмного кольца номер K при наблюдении в отражённом свете с длиной волны λ . Построить график зависимости радиуса кольца от высоты сошлифованного участка.

Значение параметров по вариантам**Таблица 4.4**

Вариант	λ	h	R	K
	нм	мм	см	
1	655	1	150	4
2	555	1.5	100	5
3	400	2	120	6
4	750	1.2	130	7
5	500	1.4	155	8
6	450	1.3	150	2
7	650	0.5	100	3
8	525	1	120	6
9	700	1.5	130	5
10	780	2	155	9
11	655	1	150	4
12	555	1.5	100	5
13	400	2	120	6
14	750	1.2	130	7
15	500	1.4	155	8
16	450	1.3	150	2
17	650	0.5	100	3
18	525	1	120	6
19	700	1.5	130	5
20	780	2	155	9
21	655	1	150	4
22	555	1.5	100	5
23	400	2	120	6
24	750	1.2	130	7
25	500	1.4	155	8
26	450	1.3	150	2
27	650	0.5	100	3
28	525	1	120	6
29	700	1.5	130	5
30	780	2	155	9

Задание 4.5**Тема:** *Кольца Ньютона.*

На вершине сферической поверхности плоско-выпуклой стеклянной линзы имеется сошлифованный плоский участок радиуса r_0 , которым она соприкасается со стеклянной пластинкой. Радиус кривизны выпуклой поверхности линзы R . Найти радиус тёмного кольца номер K при наблюдении в отражённом свете с длиной волны λ . Построить график зависимости радиуса кольца от радиуса сошлифованного участка.

*Значение параметров по вариантам***Таблица 4.5**

Вариант	λ	r_0	R	K
	нм	мм	см	
1	450	3	150	4
2	650	2	100	5
3	525	4	120	6
4	700	3	130	7
5	780	2	155	8
6	655	4	150	2
7	555	2	100	3
8	400	3	120	6
9	750	2	130	5
10	500	4	155	9
11	450	3	150	4
12	650	2	100	5
13	525	4	120	6
14	700	3	130	7
15	780	2	155	8
16	655	4	150	2
17	555	2	100	3
18	400	3	120	6
19	750	2	130	5
20	500	4	155	9
21	450	3	150	4
22	650	2	100	5
23	525	4	120	6
24	700	3	130	7
25	780	2	155	8
26	655	4	150	2
27	555	2	100	3
28	400	3	120	6
29	750	2	130	5
30	500	4	155	9

I. *Справочные данные*

<i>Константы</i>	
число π	$\pi = 3,14$
ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
постоянная Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$
элементарный заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

<i>Соотношение между различными единицами</i>	
температура	$0 \text{ К} = -273,15^\circ\text{С}$
атомная единица массы	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	$931,5 \text{ МэВ}$
1 электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

<i>Масса частиц</i>	
электрона	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а.е.м.}$
протона	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,007 \text{ а.е.м.}$
нейтрона	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,008 \text{ а.е.м.}$

<i>Плотность</i>			
воды	1000 кг/м^3	алюминия	2700 кг/м^3
древесины (сосна)	400 кг/м^3	меди	8900 кг/м^3
парафина	900 кг/м^3	ртути	13600 кг/м^3

<i>Удельная</i>	
теплоемкость воды	$4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
теплоемкость алюминия	$900 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
теплоемкость железа	$640 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
теплоемкость меди	$380 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
теплоемкость свинца	$130 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$
теплота парообразования воды	$2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$
теплота плавления свинца	$2,5 \cdot 10^4 \text{ Дж/кг}$
теплота плавления льда	$3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$
<i>Нормальные условия</i> давление 10^5 Па , температура 0°С	

<i>Молярная масса</i>			
азота	$28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	кислорода	$32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
аргона	$40 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	лития	$6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
водорода	$2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	молибдена	$96 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
воздуха	$29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	неона	$20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль
гелия	$4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	глекислого газа	$44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

II. *Рекомендации к решению задач и содержанию отчёта по расчётно – графическому заданию.*

При решении задач необходимо:

- выполнить рисунок или начертить схему (если это требуется для решения);
- сопровождать применяемые формулы и законы пояснениями, мотивирующими решение;
- представить результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в условии задачи, и необходимые физические константы;
- проверить размерность полученного результата;
- выполнить необходимые вычисления и представить результат в Международной системе единиц;
- построить графики (если необходимо);
- сформулировать полный ответ в соответствии с вопросом задачи.

При выполнении расчётно-графических работ по общей физике рекомендуется оформить отчёт следующего содержания:

- I. Титул в соответствии с требованиями вуза.
- II. Задание в соответствии с вариантом.
- III. Краткое теоретическое содержание:
 1. Явление изучаемое в РГР.
 2. Определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин.
 3. Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы.
 4. Пояснение к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерения.
- IV. Решение поставленных задач:
 1. Рисунок (если необходимо для решения)
 2. Обоснование применения законов, уравнений и соотношений, используемых при решении.
 3. Вывод формул для определяемых физических величин.
 4. Проверка размерности величин, полученных в результате решения.
 5. Вычисления.
- V. Графический материал:
 1. Таблицы (если необходимо для построения графиков).
 2. График полученной зависимости.

При этом следует указать аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить и на осях координат указать масштаб, физические величины и единицы измерения.
- VI. Анализ и выводы по результатам работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб.пособие [Электронный ресурс]/ Т.И.Трофимова. - 21-е изд., стер. - М.: Академия, 2015. - 560 с. и пред.изд. (2008, 2007, 2004, 1997)
http://irbis.spmi.ru/jirbis2/components/com_irbis/pdf_view/
2. Детлаф А.А. Курс физики: учеб.пособие [Электронный ресурс]/ А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. - 5-е изд., стер. – М.: АCADEMIA, 2005. - 720 с.и пред. изд. (2003, 2002, 2001, 1998)
http://irbis.spmi.ru/jirbis2/components/com_irbis/pdf_view/
3. Савельев И.В. Курс физики: учеб.пособие: в 3 т. Т.1. Механика. Молекулярная физика [Электронный ресурс] /И.В. Савельев – Изд. 5-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань,2016. - 352 с.и пред. изд. (2008, 1998, 1989)
<https://e.lanbook.com/reader/book/95163/#1>
4. Савельев И.В. Курс физики: учеб.пособие: в 3 т. Т.2. Электричество. Колебания и волны [Электронный ресурс] /И.В. Савельев – Изд. 4-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань,2016. - 480 с.и пред. изд. (2008, 1998, 1989)
<https://e.lanbook.com/reader/book/100927/#1>
5. Савельев И.В. Курс физики: учеб.пособие: в 3 т. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц [Электронный ресурс] /И.В. Савельев – Изд. 4-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань,2016. - 308 с.и пред. изд. (2007,1989, 1987)
<https://e.lanbook.com/reader/book/98247/#1>

Дополнительная

1. Иродов И.Е. Задачи по общей физике [Электронный ресурс]: учеб.пособие / И. Е. Иродов. - Москва: Лань, 2009. - 416 с.— 434 с. и пред.изд. (2007, 2004, 2003, 1988)
<https://e.lanbook.com/reader/book/99230/#1>
2. Мустафаев А.С. Введение в ядерную физику: учеб. пособие [Электронный ресурс] /А.С.Мустафаев, Н.С.Пщелко; Нац. минер.-сырьевой ун-т "Горный". СПб.: Горн.ун-т, 2013.-132 с.
http://irbis.spmi.ru/jirbis2/components/com_irbis/pdf_view/
3. Чуркин Ю.В. Физика твердого тела: учеб.пособие [Электронный ресурс]/ Ю. В. Чуркин, С. В. Субботин; СЗТУ. - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2008. - 144 с.
http://irbis.spmi.ru/jirbis2/components/com_irbis/pdf_view/