

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УДМУРТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт математики, информационных технологий и физики
Кафедра общей физики

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

СБОРНИК
тестов и задач по общей физике

Ижевск 2024

УДК 535 (075.8)
ББК 22.34я73
В 679

*Рекомендовано к изданию
Учебно-методическим советом УдГУ*

Рецензенты: кандидат физико-математических наук, доцент

Владимир Геннадиевич Лебедев,

доктор педагогических наук, профессор

Татьяна Александровна Снизирева

Составитель: кандидат физико-математических наук, доцент

Сергей Николаевич Костенков

В 679 **Волновая оптика:** сборник тестовых заданий и расчетных заданий по общей физике / сост. С. Н. Костенков. – Ижевск, 2024. – 80 с.

Сборник заданий предназначен для студентов направления подготовки бакалавров «Физика». Он включает в себя задания, предлагаемые для проведения тестирования и решения задач на практических занятиях и дома самостоятельно, по дисциплине «Оптика», являющейся разделом курса общей физики. В сборник включены тесты и задачи по всем разделам волновой оптики. Сборник заданий может быть использован в рамках работы по другим дисциплинам близким по своему программному содержанию.

Пособие пригодится студентом направлений подготовки бакалавров «Прикладные математика и физика» при освоении курса общей физики.

УДК 535 (075.8)
ББК 22.34я73

© С. Н. Костенков, сост., 2024
© ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Интерференция света.....	5
Тестовые задания.....	12
Расчетные задания.....	19
2. Дифракция света.....	24
Тестовые задания.....	30
Расчетные задания.....	40
3. Дисперсия света.....	47
Тестовые задания.....	50
Расчетные задания.....	54
4. Поляризация света.....	57
Тестовые задания.....	64
Расчетные задания.....	73
Список литературы.....	78

*«Ну, начнем!
Дойдя до конца нашей истории,
мы будем знать больше, чем теперь»
Х. К. Андерсен*

Введение

В методическом пособии рассматривается один из важнейших разделов общего курса физики: «Волновая оптика». В сборник включены тесты и задачи по темам: «Интерференция света», «Дифракция света», «Поляризация света», «Дисперсия света».

Предназначено студентам всех форм обучения технических направлений, изучающих дисциплину «Физика», как для самостоятельной, так и аудиторной работы.



В разделе физики «Оптика» изучается природа света, закономерности его испускания, распространения и взаимодействия с веществом. В волновой оптике рассматриваются оптические явления, в которых проявляется волновая природа света (интерференция, дифракция, поляризация, дисперсия).

Так как свет представляет собой электромагнитные волны, то в основе волновой оптики лежат уравнения Максвелла и вытекающие из них уравнения для электромагнитных волн. В классической волновой оптике рассматриваются среды, линейные по своим оптическим свойствам, т. е. такие, в которых диэлектрическая и магнитная проницаемости не зависят от интенсивности света.

Явления, наблюдающиеся при распространении света в оптически нелинейных средах, исследуются в нелинейной оптике. Нелинейные оптические эффекты становятся существенными при очень больших интенсивностях света, излучаемых мощными лазерами.

Экспериментально установлено, что действие света на фотоэлемент, фотопленку, флюоресцирующий экран определяется вектором напряженности

электрического поля E , который поэтому называют световым вектором. К такому же выводу подходит и классическая электронная теория.

Данное методическое пособие является дополнением к общему курсу физики, изложенному в литературе. Задачи подобраны в соответствии с программой общего курса физики. Пособие включает в себя краткий теоретический обзор раздела «Волновая оптика», тестовые и расчетные задания по каждой теме. Тестовые вопросы предлагаются студентам с целью лучшего усвоения теоретического материала лекционных занятий. Задачи подобраны из различных учебных пособий, систематизированы по темам курса и уровню сложности.

Основным теоретическим материалом при самостоятельном анализе и решении заданий является курс лекционных, практических занятий, а также основные учебные пособия. Прежде чем приступить к решению задач, студент может проверить теоретические знания с помощью тестовых заданий. Если студент затрудняется при решении задачи, то можно воспользоваться учебными пособиями и доступной литературой.

1. Интерференция

Интерференцией называется наложение друг на друга двух или нескольких когерентных волн, в результате чего происходит распределение интенсивности: усиление света в одних точках пространства и ослабление в других. Однако при наложении света от двух не лазерных источников интерференция не наблюдается. Причиной этого является то, что возбужденный атом излучает электромагнитную волну в течение очень короткого промежутка времени, после чего, растратив свою энергию, возвращается в нормальное состояние. Через некоторое время он, получив энергию, может снова излучать. Такое прерывистое излучение кратковременными импульсами, цугами волн, характерно для любого источника.



При этом излучаемые волны имеют различные начальные фазы. В этом случае при наложении волн интерференции не происходит, а атомы выступают некогерентными источниками.

Когерентными источниками называются источники, которые колеблются с одинаковой частотой, и сдвиг фаз между посылаемыми излучениями остается постоянным с течением времени.

Иначе обстоит дело с вынужденным излучением, возникающим в среде, под действием электромагнитного поля. Вынужденное излучение частиц системы, когерентно с возбуждающим его монохроматическим излучением, т. е. имеет ту же частоту, поляризацию, направление распространения. При наложении таких волн друг на друга происходит перераспределение интенсивности света в пространстве – наблюдается интерференция.

Для получения когерентных волн с помощью обычных (не лазерных) источников применяют метод разделения света на две волны или несколько волн.

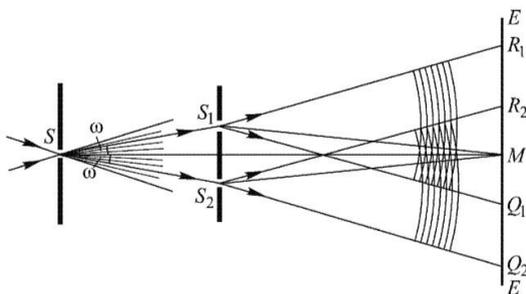


Рис 1. Опыт Юнга.

На рисунке показана схема опыта Юнга. В этом случае от источника S образуются два действительных источника света S_1 и S_2 . Световые волны образующихся источников когерентны, поэтому при их наложении наблюдается усиление света в одних точках пространства и ослабление его в других.

При наложении волн, распространяющихся с постоянной во времени разностью фаз, с одинаковой частотой и в одинаковых направлениях, макси-

мум получается в случае, когда разность фаз двух волн равна целому числу π , а минимум получается при наложении, когда разность фаз соответствующих волн равна нечетному целому числу π .

Условие максимума и минимума можно записать и с позиции оптической разности хода волн. Оптической длиной пути называют произведение геометрической длины пути на показатель преломления среды, в которой распространяется волна. Оптической разностью хода называют разность оптических путей длин волн. Так, пусть две волны $S_1(x, t)$ и $S_2(x, t)$ распространяясь, приходят в точку C .

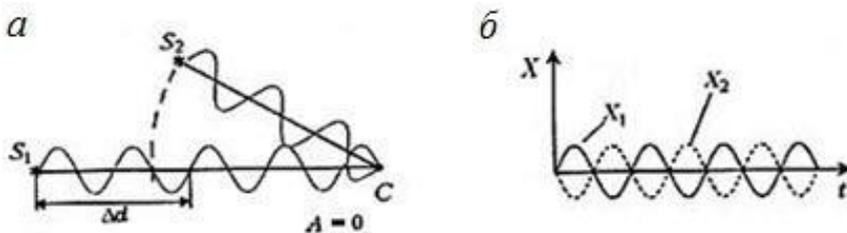


Рис 2. Условие минимума.

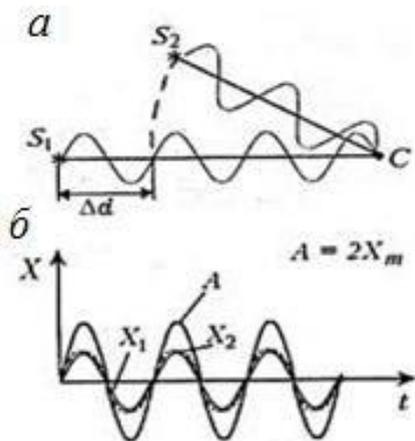


Рис. 3. Условие максимума.

При этом если на их оптической разности хода укладывается нечетное число полуволн, то в точке C наблюдается гашение света, волны, накладываясь, гасят друг друга наблюдается минимум. Если же на оптическую разность хода приходится четное число полуволн, то волны усиливают друг друга, и в точке C наблюдается максимум.

Интерференция наблюдается в тонких пленках. Примером интерференции, в естественных условиях, может быть радужная окраска тонких пленок мыльных пузырей, нефтяной пленки, масляной пленки на поверхности воды. В этом случае образование когерентных волн происходит вследствие отражения, падающего на пленку света от её верхней и нижней поверхностей.

Пусть на плоскопараллельную, однородную, изотропную пластинку толщиной h падает под углом α монохроматическая волна. За счет отражения волны от нижней грани и верхней грани происходит наложение образовавшихся когерентных волн в точке P .

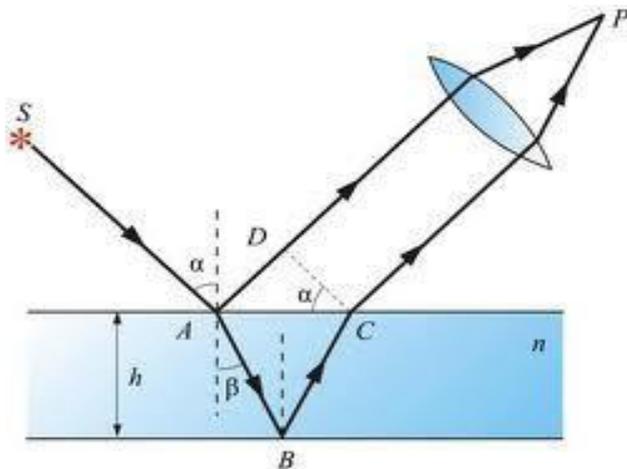


Рис. 4. Интерференция лучей в плоскопараллельной пластинке.

Оптическая разность хода волн равна $\Delta = 2hncos\beta = 2h\sqrt{n^2 - sin^2} \pm \lambda_0/2$. Поправка $\lambda_0/2$ появляется потому, что свет отражается от оптически более плотной среды и при этом переходит в менее плотную.

Тогда условие интерференционного максимума в отраженном свете запишется следующим образом: $2h\sqrt{n^2 - \sin^2} \pm \frac{\lambda_0}{2} = m\lambda_0$, если на разности хода интерферирующих волн укладывается нечетное число полуволн, то при наложении волны усиливают друг друга.

Условие интерференционного минимума в отраженном свете: $2h\sqrt{n^2 - \sin^2} \pm \frac{\lambda_0}{2} = (2m + 1)\lambda_0/2$, если на разности хода интерферирующих волн укладывается четное число полуволн, то при наложении волны гасят друг друга, где $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ - порядок интерференции.

Рассматривая интерференцию в тонких пленках, можно наблюдать полосы равной толщины или полосы равного наклона. Так, полосы равного наклона наблюдаются в том случае, если на плоскопараллельную пленку свет падает под разными углами расходящийся или сходящийся пучок света. При этом показатель преломления и толщина пленки всюду одинаковы, поэтому разность хода зависит от угла падения.

Полосы равной толщины наблюдаются в том случае, если свет падает на почти плоскопараллельную пластинку (клин), где толщина пленки неодинакова в разных точках.

Частным случаем, где наблюдаются полосы равной толщины, является опыт по наблюдению колец Ньютона. При интерференции отраженных волн в тонком воздушном зазоре между плоской стеклянной пластинкой и плотно прижатой к ней плосковыпуклой линзой наблюдаются кольца Ньютона.

Центры колец обычно совпадают с точкой O . Разность хода волн, отраженных от верхней и нижней поверхности зазора $\Delta = \frac{r_m^2}{R} + \frac{\lambda_0}{2}$, где R - радиус линзы. Таким образом, радиусы темных и светлых колец в отраженном свете соответственно определяются как $r_m = \sqrt{mR\lambda_0}$ и $r_m = \sqrt{(m - \frac{1}{2})R\lambda_0}$, m - номер кольца.

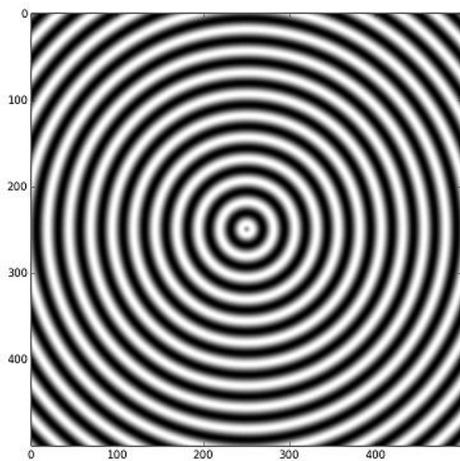
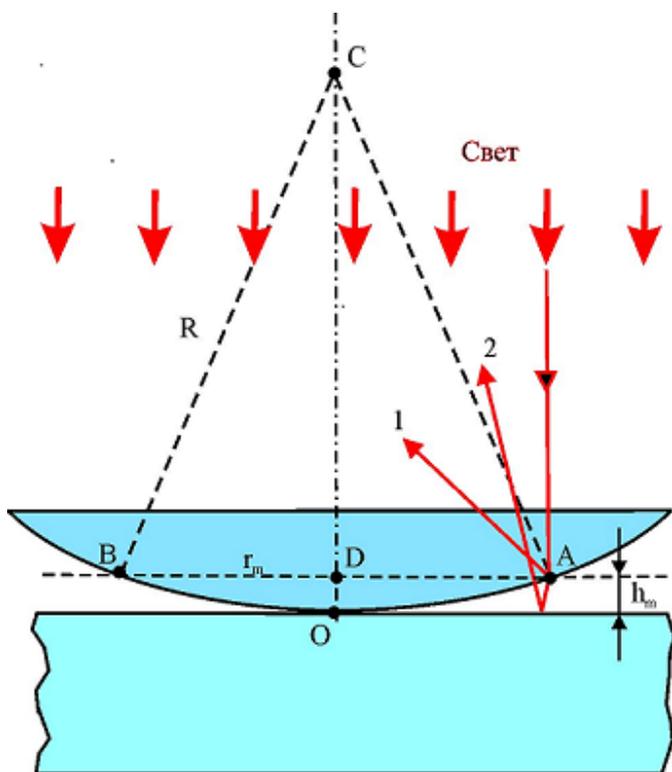


Рис. 5. Кольца Ньютона.

В процессе решения задач студенту необходимо знать:

1. Интерференция возможна лишь в случае когерентных волн. Так как два любых независимых источника света не являются когерентными, то интерференция света возникает лишь в тех случаях, когда световая волна, испускаемая одним источником, разделяется некоторой оптической системой на две части. Соответствующие две волны, пройдя различные пути, встречаются на экране (или на сетчатке глаза), создавая интерференционную картину. Последнюю нередко удается объяснить, заменив данную оптическую систему другой, эквивалентной, считая при этом, что имеется не один, а два когерентных источника.

2. Задачи на интерференцию света делятся в основном на две группы: задачи, связанные с интерференцией волн от двух когерентных источников, и задачи на интерференцию в тонких пластинках (пленках).

К задачам первой группы относятся случаи интерференции, полученной с помощью зеркал Френеля, зеркала Ллойда, бипризмы Френеля, а также в опыте Юнга.

Вторую группу составляют задачи на интерференцию как в плоскопараллельных, так и в клинообразных тонких слоях, а также задачи на кольца Ньютона. В этих случаях можно вычислить оптическую разность хода двух интерферирующих лучей, отраженных от обеих поверхностей слоя. При этом один из двух лучей отражается от границы с оптически менее плотной средой, другой – от границы с оптически более плотной средой. В последнем случае фаза светового колебания при отражении скачкообразно изменяется на противоположную. Очевидно, такое явление можно трактовать и как уменьшение, и как увеличение фазы на π . Это изменение фазы соответствует изменению оптической разности хода лучей на $\lambda_0/2$. Поэтому, слагаемое, выражающее «потерю» полуволны при отражении, можно записывать с любым знаком.

3. Если тонкая пластинка окружена различными средами, то в зависимости от соотношения между показателями преломления сред n_1 , n_2 и пластинки n возможны следующие случаи:

- а) $n > n_1$, $n > n_2$, при этом только луч 1 (падающий), отраженный от границы с оптически более плотной средой, «теряет» полуволну;
- б) $n < n_1$, $n < n_2$ – «теряет» полуволну только луч 2 (проходящий);
- в) $n_1 < n < n_2$ – оба луча «теряют» полуволну;
- г) $n_1 > n > n_2$ – ни один луч не «теряет» полуволны.

4. При интерференции света, известной под названием колец Ньютона, роль тонкой пленки играет прослойка (обычно воздушная) между пластинкой и выпуклой поверхностью прижатой к ней линзы. Формулы для радиусов колец получены в предположении, что эта прослойка окружена одинаковыми средами, т. е. пластинка и линза должны иметь одинаковые показатели преломления.

5. Если прослойка окружена различными средами, то формулы для радиусов колец остаются верными в случаях *а* и *б*. Если же выполняется условие *в* или *г*, то величина Δ будет отличаться от той, что была в случаях *а* и *б*. Это вызовет обращение интерференционной картины: светлые и темные кольца поменяются местами. В условиях задач обычно приводятся значения длин световых волн, настолько округленные, что ими с равным успехом можно пользоваться как в случае распространения света в воздухе, так и в вакууме.

Тестовые задания.



1.1. При распространении света в вакууме в виде электромагнитной волны считается, что в пространстве распространяются:

1. только колебания напряженности электрического поля
2. только колебания индукции магнитного поля
3. колебания напряженности электрического поля и индукции магнитного поля
4. колебания невидимой среды – эфира.

1.2. Световые волны когерентны, если у них:

- 1. совпадают амплитуды*
- 2. совпадают частоты*
- 3. постояннен сдвиг фаз*
- 4. совпадают частоты и постояннен сдвиг фаз.*

1.3. При выдувании мыльного пузыря при некоторой толщине пленки он приобретает радужную окраску. Какое физическое явление лежит в основе этого наблюдения:

- 1. интерференция*
- 2. дисперсия*
- 3. дифракция*
- 4. поляризация.*

1.4. Волны когерентны, если:

- 1. имеют одинаковую частоту*
- 2. разность фаз их колебаний изменяется во времени*
- 3. имеют постоянную во времени разность фаз колебаний*
- 4. имеют кратную частоту.*

1.5. Временная когерентность:

- 1. определяется радиусом когерентности*
- 2. связана со степенью монохроматичности волны*
- 3. связана с длиной волны света*
- 4. зависит от углового размера источника света.*

1.6. Пространственная когерентность:

- 1. определяется радиусом когерентности*
- 2. связана со степенью монохроматичности волны*
- 3. связана с длиной волны света*
- 4. зависит от углового размера источника света.*

1.7. Волны, испускаемые естественными источниками, не когерентны, потому что:

1. различаются частоты колебаний, испускаемых источником
2. разность фаз непрерывно меняется во времени
3. направления колебаний векторов напряженности электрического и магнитного полей непрерывно меняются
4. разность фаз колебаний остается постоянной во времени.

1.8. Когерентные волны можно получить с помощью:

1. отражения волны
2. преломления волны
3. разделения волны с помощью двух щелей
4. поглощения волны.

1.9. Как соотносятся между собой расстояния между максимумами (Δx) и минимумами ($\Delta x'$) при интерференции:

1. $\Delta x = 2\Delta x'$
2. $\Delta x = \Delta x'$
3. $\Delta x \gg \Delta x'$
4. $\Delta x \ll \Delta x'$.

1.10. Какое соотношение должно быть между расстоянием до экрана от источников когерентных волн L и расстоянием между источниками d , чтобы наблюдать визуально интерференционную картину:

1. $L = d$
2. $L \gg d$
3. $L \ll d$
4. $d = 10L$.

1.11. Ширина интерференционной полосы какого цвета будет наибольшей:

1. фиолетового
2. синего
3. зеленого
4. красного.

1.12. Если расстояние между источниками уменьшить в 2 раза, то как изменится ширина полосы при интерференции от этих источников при прочих равных условиях:

1. увеличится в 2 раза
2. уменьшится в 2 раза
3. не изменится
4. увеличится в 4 раза.

1.13. Расстояние от источников до экрана уменьшили в 4 раза. Как изменится ширина интерференционной полосы при прочих равных условиях:

1. уменьшится в 2 раза
2. увеличится в 4 раза
3. уменьшится в 4 раза
4. не изменится.

1.14. Интерференционная картина наблюдается в белом свете. Как окрашен центральный максимум:

1. в белый цвет
2. красный цвет
3. синий цвет
4. фиолетовый цвет.

1.15. Тонкая плоскопараллельная пластина освещается параллельным пучком белого света. Ни для одной длины волны не выполняется условие максимума. Как окрашена пленка:

1. темная
2. в синий цвет
3. в белый цвет
4. в красный цвет.

1.16. Полосы равной толщины наблюдаются при интерференции на:

1. плоскопараллельной пластинке
2. пленке постоянной толщины
3. клине
4. пленке переменной толщины.

1.17. Локализованы в бесконечности полосы:

1. равного наклона
2. равной толщины
3. равного наклона и равной толщины
4. увеличивающегося наклона.

1.18. Вблизи поверхности клина локализованы полосы:

1. равной толщины
2. равного наклона
3. равной толщины и равного наклона
4. увеличивающегося наклона.

1.19. Что будет наблюдаться в данной точке пространства, если оптическая разность хода интерферирующих в этой точке лучей равна $5\lambda/2$:

1. минимум интенсивности света
2. максимум интенсивности света
3. интенсивности лучей складываются
4. интенсивности лучей вычитаются.

1.20. В каком случае длина пути луча при отражении изменяется на $\lambda/2$ при отражении:

1. от более плотной среды
2. жидкой среды
3. любой среды
4. металлической среды.

1.21. Можно наблюдать визуально, не аккомодируя глаз на бесконечность, полосы:

1. в виде клина
2. равного наклона
3. равной толщины
4. равной толщины и равного наклона.

1.22. Если разность фаз колебаний в данной точке 8π , то в данной точке будет наблюдаться:

1. светлая точка
2. максимум интенсивности света
3. минимум интенсивности света
4. темная точка.

1.23. Если разность фаз колебаний в данной точке 5π , то в данной точке будет наблюдаться:

1. светлая точка
2. максимум интенсивности света
3. минимум интенсивности света
4. темная точка.

1.24. Какое значение не может принимать показатель преломления обычных сред:

1. $n = 1$
2. $n = 2$
3. $n = 0$
4. $n = 4$.

1.25. Получить когерентные волны можно с помощью:

1. тонкой пленки
2. опыта Юнга
3. лазера
4. зеркал Френеля
5. стеклянного клина.

1.26. Мыльный пузырь имеет зеленую окраску (540 нм) в области точки, ближайшей к наблюдателю. Если показатель преломления мыльной воды 1,35 то минимальная толщина пузыря в указанной области равна:

1. 0,1 мкм
2. 0,5 мкм
3. 1 мкм
4. 0,25 мкм.

1.27. На пути плоской световой волны, распространяющейся в воздухе, поместили стеклянную пластинку толщиной 1 см. Показатель преломления стекла 1,5. Если пластинка расположена перпендикулярно направлению распространения света, то увеличение оптической длины пути составит:

1. 10 мм
2. 1 мм
3. 5 мм
4. 0,5 мм.

1.28. Тонкая стеклянная пластинка с показателем преломления 1,5 и толщиной 2 мкм помещена между двумя средами с показателями преломления 1,2 и 1,3. На пластинку по нормали падает свет с длиной волны 600 нм. Разность хода интерферирующих отраженных лучей (нм) равна:

1. 3300
2. 6300
3. 5500
2. 6000.

Расчетные задания.



1.1. В опыте Юнга свет из точечного источника проходит через два равноудаленных малых отверстия, расположенных на расстоянии d друг от друга. Эти отверстия являются мнимыми когерентными источниками, создающими интерференционную картину на экране, расположенном на расстоянии $L \gg d$ от мнимых источников. Если расстояние L увеличить в два раза, то может измениться расстояние x первого максимума интерференционной картины до центральной линии экрана, а также амплитуда A светового сигнала в этом максимуме:

- а) расстояние x уменьшится в 2 раза, амплитуда A не изменится;
- б) расстояние x увеличится в 2 раза, амплитуда A не изменится;
- в) расстояние x увеличится в 2 раза, амплитуда A уменьшится в 2 раза;
- г) расстояние x увеличится в 2 раза, амплитуда уменьшится в 4 раза;
- д) расстояние x уменьшится в 2 раза, амплитуда уменьшится в 4 раза.

Найти и объяснить правильный вариант ответа.

1.2. Свет от проекционного фонаря, пройдя через синее стекло, падал на картон с двумя маленькими отверстиями и далее направлялся на экран. Расстояние между интерференционными полосами на экране 0,8 мм; расстоя-

ние между отверстиями 1 мм; расстояние от отверстий до экрана 1,7 м. Найти длину световой волны. (470 нм).

1.3. В установке Юнга расстояние между щелями 1,5 мм, а экран расположен на расстоянии 2 м от щелей. Определить расстояние между интерференционными полосами на экране, если длина волны монохроматического света 670 нм. (0,9 мм).

1.4. В некоторую точку пространства приходит излучение с геометрической разностью хода волн 1,8 мкм. Определить, усилится или ослабнет свет в этой точке, если длина волны 600 нм. (усилится).

1.5. Два когерентных источника испускают монохроматический свет с длиной волны 0,6 мкм. Определить, на каком расстоянии от точки, расположенной на экране на равном расстоянии от источников, будет первый максимум освещенности. Экран удален от источников на 3 м, расстояние между источниками 0,5 мм. (3,6 мм).

1.6. Расстояние между щелями в опыте Юнга равно 1 мм. Экран располагается на расстоянии 4 м от щелей. Найдите длину волны электромагнитного излучения, если первый максимум располагается на расстоянии 2,4 мм от центра интерференционной картины. (600 нм).

1.7. Два когерентных луча с длинами волн 404 нм пересекаются в одной точке на экране. Что будет наблюдаться в этой точке – усиление или ослабление света, если геометрическая разность хода лучей равна 17,17 мкм? (минимум).

1.8. Мыльный пузырь имеет зеленую окраску (540 нм) в области точки, ближайшей к наблюдателю. Если показатель преломления мыльной воды

1,35, то какова минимальная толщина пузыря в указанной области? (100 нм).

1.9. Темной или светлой будет в отраженном свете мыльная пленка толщиной 1 Å? Пленка находится в воздухе. (принять 540 нм; темной).

1.10. При каких толщинах пленки исчезают интерференционные полосы при освещении ее светом с длиной волны $6 \cdot 10^{-5}$ см? Показатель преломления пленки 1,5. ($d \leq 10^{-4}$ мм).

1.11. Зимой на стеклах трамваев и автобусов образуются пленки наледи, окрашивающие все видимое сквозь них в зеленоватый цвет. Оценить, какова наименьшая толщина этих пленок (показатель преломления наледи принять равным 1,33). (0,2 мкм, принять 550 нм).

1.12. Интерференционные полосы равной толщины наблюдаются на воздушном клине между двумя стеклянными пластинками с углом при вершине 2'. Полосы получаются в свете зеленой линии ртути с длиной волны 5461 Å и шириной 0,1 Å. Определить: 1) расстояние между двумя соседними полосами; 2) максимальное количество полос, которые можно было бы видеть на клине, если бы его размеры не были ограничены; 3) расстояние последней наблюдаемой полосы от вершины клина и толщину последнего в этом месте. (0,47 мм; 2127; 0,58 мм).

1.13. Свет с длиной волны 6000 Å падает на тонкую мыльную пленку под углом 30°. В отраженном свете на пленке наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними полосами равно 4 мм. Показатель преломления мыльной пленки 1,33. Вычислить угол α между поверхностями пленки. (21,6").

1.14. В очень тонкой клиновидной пластинке в отраженном свете при нормальном падении наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними темными полосами 5 мм. Зная, что длина световой волны равна 5800 \AA , а показатель преломления пластинки 1,5, найти угол α между гранями пластинки. (1,25').

1.15. Пучок параллельных лучей длиной волны 0,66 мкм падает в воздухе под углом 60° на тонкую пленку, находящуюся на материале, показатель преломления которого 1,10. Наименьшая толщина пленки, при которой отраженные лучи будут максимально усилены интерференцией, 0,1347 мкм. Найти показатель преломления пленки и наименьшую толщину пленки, при которой отраженные лучи будут максимально ослаблены интерференцией. (2, $0,09 \cdot 10^{-6} \text{ м}$).

1.16. В установке для получения колец Ньютона пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнено водой с показателем преломления 1,33. Монохроматический свет с длиной волны 500 нм распространяется по нормали к поверхности пластинки. Найдите толщину слоя воды в тех точках, где наблюдается третье светлое кольцо в отраженном свете. (470 нм).

1.17. На пути луча, идущего в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной 1 мм. На сколько изменится оптическая длина пути луча, если луч будет падать под углом 30 градусов (Вывести формулу). (увеличится на 0,45 мм).

1.18. Почему центр колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете, обычно темный?

1.19. Если между линзами из крона и флинта поместить масло, показатель преломления которого имеет промежуточное значение между значениями

показателей преломления крона и флинта, то точка соприкосновения линз будет окружена светлым пятном в отраженном свете и темным – в проходящем. Объяснить это явление.

1.20. Линза из крона ($n = 1,50$) лежит на пластинке, одна половина которой сделана из того же крона, а другая из флинта ($n = 1,70$). Прослойка между линзой и пластинкой заполнена сероуглеродом ($n = 1,63$). Описать расположение и расстояние между ньютоновыми кольцами в отраженном и проходящем свете.

1.21. Найти расстояние между двадцатым и двадцать первым светлыми кольцами Ньютона, если расстояние между вторым и третьим равно 1 мм, а кольца наблюдаются в отраженном свете. (1,5 мм).

1.22. Найти фокусное расстояние плосковыпуклой линзы, примененной для получения колец Ньютона, если радиус третьего светлого кольца равен 1,1 мм, показатель преломления 1,6, длин волны 5890 Å. Кольца наблюдаются в отраженном свете. (1,6 м; принять $f = 2R$).

1.23. При наблюдении колец Ньютона в отраженном синем свете (4500 Å) с помощью плосковыпуклой линзы, положенной на плоскую пластинку, радиус третьего светлого кольца оказался равным 1,06 мм. После замены синего светофильтра на красный был измерен радиус пятого светлого кольца, оказавшийся равным 1,77 мм. Найти радиус кривизны R линзы и длину волны красного света. (1 м; 697 нм).

1.24. Найти радиус r центрального темного пятна колец Ньютона, если между линзой и пластинкой налит бензол ($n = 1,5$). Радиус кривизны линзы 1 м. Показатели преломления линзы и пластинки одинаковы. Наблюдение ведется в отраженном натриевом свете (5890 Å). (0,44 мм).

2. Дифракция света

Дифракцией называется огибание волнами препятствий, сравнимых с длиной волны, и попадание волн в область геометрической тени. Явление дифракции характерно для любых волновых процессов и объясняется с помощью принципа Гюйгенса–Френеля.



Принцип Гюйгенса–Френеля – каждую точку фронта волны можно рассматривать как самостоятельный источник вторичных когерентных волн. Поэтому картина, наблюдаемая на экране, является результатом интерференции всех вторичных волн (иногда говорят, волн от фиктивных вторичных источников).

Френель исключил возможность возникновения обратных вторичных волн. Он предположил, что если между источником и точкой наблюдения находится непрозрачный экран с отверстием, то на поверхности экрана амплитуда вторичных волн равна нулю, а в отверстии – такая же, как и при отсутствии экрана. Поскольку известно, что свет распространяется прямолинейно, то это противоречит принципу Гюйгенса – Френеля. Но Френель предвидел такое возражение противников волновой теории света и предложил метод зон Френеля, который позволяет не только показать прямолинейность распространения света, но и решать многие задачи, связанные с дифракцией света.

В методе зон Френеля для объяснения прямолинейности распространения света Френель предложил заменить действие первичного источника S действием вторичных источников в виде кольцевых зон на волновом фронте.

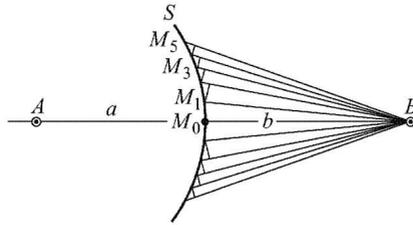


Рис. 6. Зоны Френеля.

При этом расстояние от краев соседних зон до точки В отличается на $\lambda/2$. Это оказалось очень удобно при расчетах, так как колебания от соседних зон проходят до точки В расстояния, отличающиеся на $\lambda/2$. Следовательно, в точку В колебания от соседних зон приходят в противофазе и ослабляют друг друга.

Метод Френеля позволяет просто объяснить дифракция на небольшом круглом отверстии и диске. При освещении отверстия монохроматическим светом с длиной волны λ на экране наблюдается система чередующихся темных и светлых интерференционных колец.

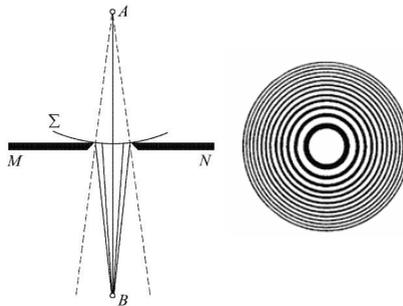


Рис. 7. Дифракция на отверстии.

При этом если для точки В в отверстии укладывается четное число зон Френеля, то в этой точке находится темное пятно. Если же число зон нечетное, то в точке В наблюдается светлое пятно.

Если отверстие освещается белым светом, то на экране наблюдается система концентрических цветных колец. Число зон Френеля, укладывающихся в отверстии, зависит от его диаметра и расстояния до экрана.

Если рассмотреть явление дифракции на небольшом диске, то на экране также наблюдается система концентрических колец, причем в центре всегда – светлое пятно (пятно Пуассона).

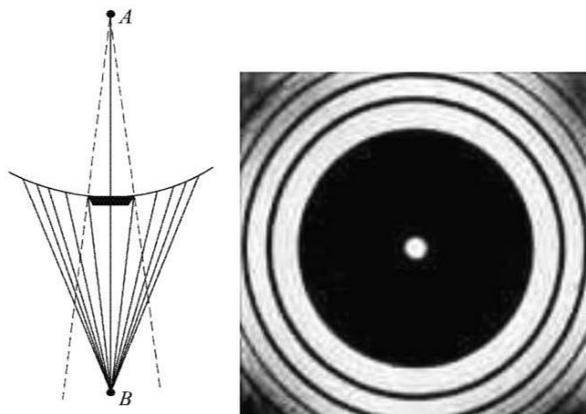


Рис. 8. Дифракция Френеля на диске, пятно Пуассона.

Амплитуда света в точке B равна половине амплитуды первой открытой зоны: $A = A_1/2$. По мере увеличения отношения диаметра диска к расстоянию от диска до экрана, яркость пятна Пуассона постепенно уменьшается, а следующее за ним темное кольцо расширяется.

Если рассмотреть пример дифракции света на узкой длинной щели, то на экране также можно увидеть интерференционную картину. Чтобы решить задачу дифракции, можно воспользоваться методом Френеля. Щель KN условно разбивают на зоны Френеля с разностью хода $\lambda/2$, имеющие вид полосок, параллельных ребру K . Разность хода лучей KC и ND равна $\Delta = d \sin \varphi$. Если число зон, укладывающихся на разности хода, равно четному числу, то при наложении волн получается темное пятно, дифракционный минимум $d \sin \varphi = \pm m\lambda$, если же число зон не четное, то наблюдается

дифракционный максимум $d \sin \varphi = \pm(2m + 1)\lambda/2$, где $m = 1, 2, 3, \dots$ - номер дифракционного максимума. При $m = 0$ центральный максимум, при освещении белым светом имеет вид белой полосы.

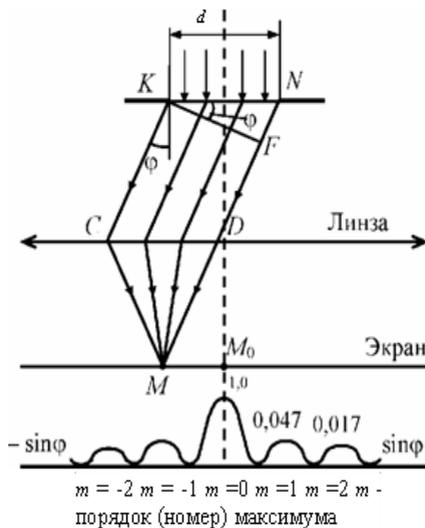


Рис. 9. Дифракция на щели.

Дифракционная решетка – это система параллельных щелей равной ширины, лежащих в одной плоскости и разделенных равными по ширине непрозрачными промежутками. Дифракционная картина на решетке определяется как результат взаимной интерференции волн, идущих от всех щелей. То есть в дифракционной решетке осуществляется многолучевая интерференция когерентных дифрагированных пучков света, идущих от всех щелей.

Пусть плоская монохроматическая волна падает нормально к плоскости решетки. Очевидно, что в тех направлениях, в которых ни одна из щелей не распространяет свет, он не будет распространяться и от всех других щелей, т. е. главные минимумы интенсивности будут наблюдаться в направлениях, для которых выполняется условие: $b \sin \varphi = \pm m\lambda$.

Действие одной щели будет усиливаться действием другой (главные максимумы) при условии: $d \sin \varphi = \pm m\lambda$, где $d = a + b$ (b – ширина прозрач-

ного промежутка). Величину d называют постоянной, или периодом дифракционной решетки: $d = 1/n$, где n – число штрихов на единицу длины. Чем больше число щелей N , тем больше побочных минимумов образуется между соседними максимумами и тем более интенсивны максимумы.

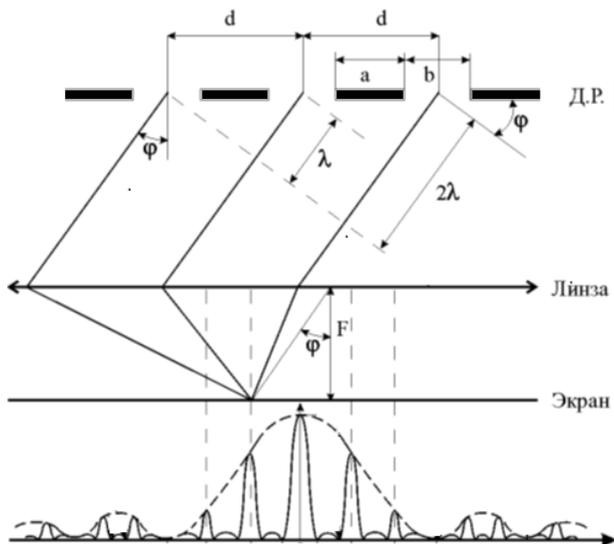


Рис. 10. Дифракция на решетке.

При прохождении через решетку белого света все максимумы, кроме центрального ($m = 0$), разлагаются в спектр. При этом фиолетовая полоска расположена ближе к центру, красная – дальше от центра. Это свойство дифракционной решетки используется для исследования спектрального состава излучения (света), т. е. для определения длины волны и интенсивности всех монохроматических компонентов излучения. Таким образом, дифракционная решетка используется как спектральный прибор. Дифракционная решетка характеризуется дисперсией D и разрешающей способностью R . Угловая дисперсия: $D_\varphi = \frac{\partial \varphi}{\partial \lambda} = \frac{m}{a \cos \varphi}$. Линейная дисперсия: $D_l = \frac{\partial l}{\partial \lambda}$.

Связь между линейной дисперсией и фокусным расстоянием f собирающей линзы $D_l = D_\varphi f$. Таким образом, угловая дисперсия тем выше, чем больше порядок спектра m и чем меньше постоянная решетки d .

Разрешающая способность дифракционной решетки характеризует минимальную разность двух монохроматических волн равной интенсивности, которые можно раздельно видеть в спектре. Разрешающая способность дифракционной решетки может быть определена по формуле $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$.

Согласно критерию Рэля две спектральные линии считаются разрешенными, т. е. видны раздельно, если главный максимум одной длины волны совпадает с ближайшим минимумом второй волны.

В процессе решения задач студенту необходимо знать:

1) В явлении дифракции световые волны огибают оптические неоднородности, встречающиеся на пути их распространения.

2) Падая на экран, волны дают распределение освещенности на нем, отличное от того, которое должно быть согласно законам геометрической оптики.

3) Решить дифракционную задачу – значит найти относительное распределение освещенности на экране в зависимости от размеров и формы неоднородностей, вызывающих дифракцию. В курсе общей физики рассматриваются лишь случаи, в которых соображения симметрии упрощают расчет, например дифракция от круглого отверстия, от узкой щели, а также дифракционная решетка.

4) При использовании в задачах формулы $R = \frac{1}{\psi} = \frac{D}{1,22\lambda}$, определяющей разрешающую силу объектива телескопа, следует иметь в виду, что D диаметр телескопа, а ψ – угловое расстояние между двумя точками, при котором их дифракционные изображения в фокальной плоскости объектива располагаются так, что еще могут быть восприняты раздельно. Однако для того, чтобы они фактически воспринимались раздельно, необходимы дополнительные условия. Так, при визуальном наблюдении в телескоп требу-

ется достаточное увеличение прибора, чтобы полученные два дифракционных изображения были разрешены также глазом. При фотографировании объектов необходимо, чтобы размер зерен эмульсии фотопленки был существенно меньше расстояния между центрами дифракционных изображений. Последнее условие должно выполняться и при фотографировании удаленных объектов фотоаппаратом, разрешающая сила объектива которого в этом случае определяется той же формулой.

Тестовые задания.



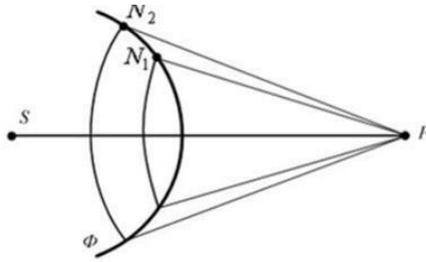
2.1. Условие максимума в дифракционной картине, полученной с помощью решетки, $d \sin \varphi = k$. В этой формуле k должно быть:

1. *целым числом*
2. *четным числом*
3. *нечетным числом*
4. *дробным числом.*

2.2. На свету СД-диск имеет радужную окраску. Какое физическое явление и почему лежит в основе этого:

1. *интерференция света*
2. *отражение света*
3. *дифракция света*
4. *дисперсия света.*

2.3. Определите разность хода между волнами, распространяющимися по пути N_1P и N_2P :



1. λ
2. $1/2 \lambda$
3. 0
4. $3/4 \lambda$.

2.4. Разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний в центре экрана от двух соседних зон Френеля:

1. $\Delta\varphi = \pi$
2. $\Delta\varphi = 2\pi$
3. $\Delta\varphi = \pi/2$
4. $\Delta\varphi = \pi/4$.

2.5. Отверстие оставляет открытой одну зону Френеля, амплитуда колебаний которой в центре экрана равна A_1 . Амплитуда колебаний в центре экрана:

1. $A = A_1/2$
2. $A = A_1$
3. $A = A_1/4$
4. $A = 2A_1$.

2.6. Отверстие оставляет открытыми две зоны Френеля, амплитуды колебаний которых в центре экрана равны A_1 и A_2 . Амплитуда результирующего колебания в центре экрана:

1. $A = 0$
2. $A = A_1 + A_2$
3. $A = 2A_1$
4. $A = 2A_2$.

2.7. Отношение разрешающих способностей дифракционной решетки для спектров четвертого и первого порядков спектра:

1. $R_4 / R_1 = 4$
2. $R_4 / R_1 = 1$
3. $R_4 / R_1 = 2$
4. $R_4 / R_1 = 8$.

2.8. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Какое соотношение соответствует максимуму на экране (d – порядок решетки, a – ширина щели, b – ширина непрозрачного промежутка):

1. $d \sin \varphi = \pm (2m + 1)\lambda/2$
2. $a \sin \varphi = \pm m\lambda$
3. $b \sin \varphi = \pm m\lambda$
4. $d \sin \varphi = \pm m\lambda$.

2.9. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Какое соотношение соответствует минимуму на экране (d – порядок решетки, a – ширина щели, b – ширина непрозрачного промежутка):

1. $d \sin \varphi = \pm (2m + 1)\lambda/2$
2. $a \sin \varphi = \pm m\lambda$
3. $b \sin \varphi = \pm m\lambda$
4. $d \sin \varphi = \pm m\lambda$.

2.10. На щель нормально падает пучок света. Какое соотношение соответствует минимуму на экране (a – ширина щели, b – ширина непрозрачного промежутка):

1. $a \sin \varphi = \pm (2m + 1)\lambda/2$

2. $b \sin \varphi = \pm (2m + 1)\lambda/2$

3. $a \sin \varphi = \pm m\lambda$

4. $b \sin \varphi = \pm m\lambda$.

2.11. На кристаллах не наблюдается дифракция видимого света, потому что:

1. *длины волн видимого света много больше межплоскостного расстояния кристалла*

2. *длины волн видимого света много меньше межплоскостного расстояния кристалла*

3. *кристаллы не могут использоваться в качестве дифракционной решетки*

4. *это следует из формулы Вульфа–Брэгга.*

2.12. С помощью рентгеноструктурного анализа можно определить:

1. *межплоскостное расстояние*

2. *угол скольжения*

3. *длину волны излучения*

4. *порядок спектра.*

2.13. С помощью рентгеновской спектроскопии можно определить:

1. *межплоскостное расстояние*

2. *угол скольжения*

3. *длину волны излучения*

4. *порядок спектра.*

2.14. Щель освещается белым светом. Цвет центрального максимума при этом:

1. *белый*

2. *красный*

3. фиолетовый

4. желтый.

2.15. Дифракционная решетка освещается белым светом. Цвет центрального максимума при этом:

1. белый

2. красный

3. фиолетовый

4. желтый.

2.16. Дифракционная решетка освещается белым светом. Ближе к центру дифракционной картины расположена область максимумов:

1. красная

2. фиолетовая

3. желтая

4. зеленая.

2.17. Дифракционная решетка освещается белым светом. Дальше от центра дифракционной картины расположена область максимумов:

1. красная

2. фиолетовая

3. желтая

4. зеленая.

2.18. Разрешающая способность дифракционной решетки меньше для максимума первого порядка по сравнению со вторым:

1. в два раза

2. не зависит от порядка максимума

3. в четыре раза

4. в десять раз.

2.19. Дифракционная картина наблюдается на непрозрачном диске, закрывающем 5 зон Френеля. В центре дифракционной картины наблюдается:

1. максимум интенсивности
2. минимум интенсивности
3. тень от диска
4. светлое пятно.

2.20. Непрозрачный диск закрывает 9 зон Френеля. Максимум в центре экрана определяется половиной ... зоны.

1. восьмой
2. девятой
3. десятой
4. одиннадцатой.

2.21. Непрозрачный диск закрывает 4 зоны Френеля. Максимум в центре экрана определяется половиной ... зоны.

1. третьей
2. четвертой
3. пятой
4. шестой.

2.22. Непрозрачный диск закрывает 3 зоны Френеля. Максимум в центре экрана определяется половиной ... зоны.

1. второй
2. третьей
3. четвертой
4. пятой.

2.23. Метод зон Френеля:

1. подтверждает закон прямолинейного распространения света в однородной среде

2. *противоречит закону прямолинейного распространения света в однородной среде*

3. *позволяет оценить амплитуду колебаний в любой точке дифракционной картины*

4. *позволяет оценить амплитуду колебаний в центре дифракционной картины.*

2.24. Отверстие оставляет открытыми 3 зоны Френеля, амплитуды колебаний которых в центре дифракционной картины соответственно A_1 , A_2 , A_3 . Амплитуда результирующего колебания в центре экрана A составляет:

1. $A = A_1 - A_2 + A_3$

2. $A = A_1 + A_2 + A_3$

3. $A = A_1/2 + A_3/2$

4. $A = A_1/2 - A_2/2 + A_3/2$.

2.25. Зонная пластинка:

1. *увеличивает интенсивность колебаний в центре экрана*

2. *уменьшает интенсивность колебаний в центре экрана*

3. *действует подобно собирающей линзе*

4. *действует подобно рассеивающей линзе.*

2.26. В центре дифракционной картины будет наблюдаться светлое пятно при дифракции Френеля на круглом отверстии, если оно оставляет открытыми:

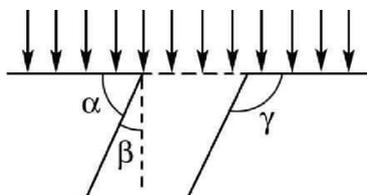
1. *две зоны Френеля*

2. *четыре зоны Френеля*

3. *шесть зон Френеля*

4. *три зоны Френеля.*

2.27. Укажите угол дифракции (см. рисунок):



1. α
2. β
3. γ
4. 2β .

2.28. Расстояния от краев соседних зон Френеля до точки наблюдения отличаются на

1. $\lambda/2$
2. λ
3. 2λ
4. 3λ .

2.29. Верные заключения (указать все возможные варианты):

1. дифракция – огибание волной препятствий и попадание света в область геометрической тени
2. дифракционная картина – результат интерференции продифрагированных волн
3. метод зон Френеля противоречит принципу прямолинейности распространения света
4. метод зон Френеля не противоречит принципу прямолинейности распространения света.

2.30. В каком из методов наблюдения интерференции присутствует также явление дифракции:

1. в опыте Юнга
2. при наблюдении с помощью зеркал Френеля
3. при наблюдении с помощью бипризмы Френеля
4. на кристаллах.

2.31. Как изменится дифракционная картина на экране, если щель заменить решеткой:

1. увеличится число максимумов
2. появятся побочные максимумы и минимумы
3. изменится условие главного минимума
4. изменится условие главного максимума.

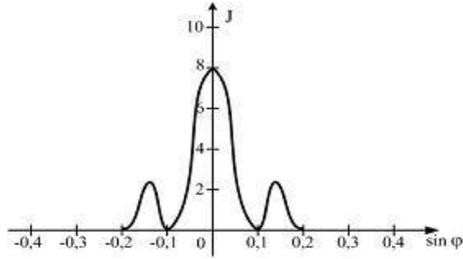
2.32. Зонная пластинка оставляет открытыми 2 зоны Френеля, амплитуды колебаний которых в центре экрана равны A_1 и A_2 . Амплитуда A результирующего колебания в центре экрана составляет

1. $A = A_1 + A_2$
2. $A = A_1 - A_2$
3. $A = 0$
4. $A = A_1/A_2$.

2.33. Зонная пластинка оставляет открытыми 3 зоны Френеля, амплитуды колебаний которых в центре экрана равны A_1 , A_2 , и A_3 . Амплитуда A результирующего колебания в центре экрана составит

1. $A = A_1 + A_2 + A_3$
2. $A = A_1 - A_2 + A_3$
3. $A = A_1 + A_2 - A_3$
4. $A = 0$.

2.34. Зависимость интенсивности монохроматического излучения длиной волны 500 нм от синуса угла дифракции представлена на рисунке. Дифракция наблюдается на щели шириной, мкм, равной

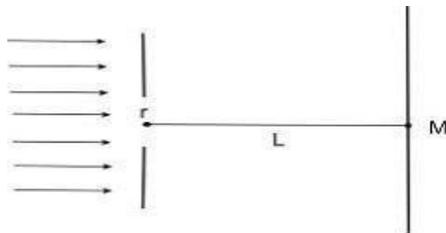


- 1. 5
- 2. 0,2
- 3. 0,1
- 4. 10.

2.35. На дифракционную решетку по нормали к ее поверхности падает плоская световая волна с длиной волны λ . Если постоянная решетки $4,5\lambda$ мкм, то общее число главных максимумов, наблюдаемых в фокальной плоскости собирающей линзы, равно

- 1. 4
- 2. 9
- 3. 8
- 4. 10.

2.36. На диафрагму с круглым отверстием радиусом 2 мм падает нормально параллельный пучок света длиной волны 0,5 мкм. На пути лучей, прошедших через отверстие, на расстоянии 1 м помещают экран (рисунок). В отверстии диафрагмы для точки М укладываются ... зона(-ы) Френеля.

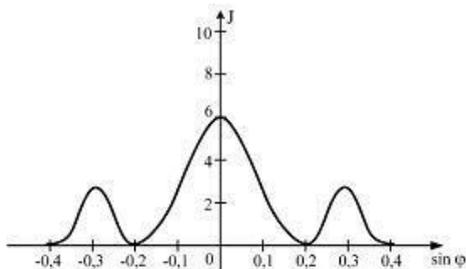


1. 4 зоны
2. 2 зоны
3. 8 зон
4. 10 зон.

Расчетные задания



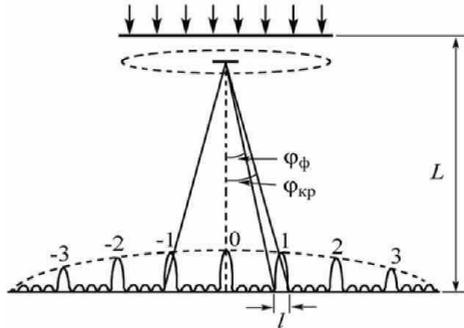
2.1. На узкую щель шириной b падает нормально плоская световая волна с длиной волны λ . На рисунке схематически представлена зависимость интенсивности света от синуса угла дифракции. Если расстояние от щели до экрана составляет 0,5 м, то какова ширина центрального максимума? ($\approx 0,1$ м).



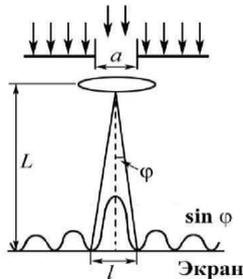
2.2. Посредине между точечным источником и экраном наблюдения находится диафрагма с круглым отверстием). При каком радиусе отверстия центр дифракционных колец, наблюдаемых на экране, будет наиболее темным? Расстояние между источником и экраном 4 м, длина волны источника 500 нм. (1,4 мм).

2.3. Студенты выполняли лабораторную работу по дифракции на дифракционной решетке, содержащей 500 штрихов на 1 мм. Решетка освещалась белым светом, падающим нормально к ее поверхности. Спектр проецировал-

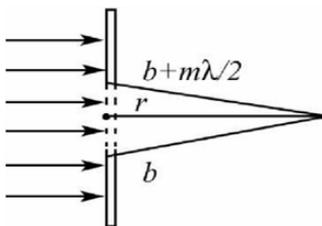
ся помещенной вблизи решетки линзой на экран. Какова ширина спектра первого порядка, полученного на экране, если расстояние от линзы до экрана равно 1 м. Границы видимого спектра 780 нм, 400 нм. Каково общее число максимумов, даваемых решеткой для 500 нм. (0,19 м; 0,9).



2.4. На щель шириной 0,1 мм нормально падает параллельный пучок света от монохроматического источника (600 нм). Определить ширину центрального максимума в дифракционной картине, проецируемой с помощью линзы, находящейся непосредственно за щелью, на экран, отстоящий от линзы на расстоянии 1 м. Результат представить в сантиметрах. (0,6 см).



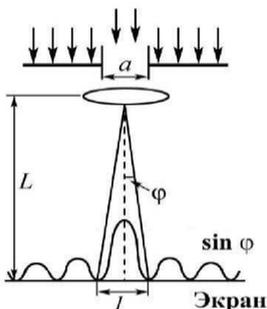
2.5. Исходя из определения зон Френеля, найти число зон Френеля, которые открывает отверстие радиусом 1 мм для точки, находящейся на расстоянии 1 м от центра отверстия, в случае если волна, падающая на отверстие, плоская. Длина волны 500 нм. Результат округлить до целого числа. (2).



2.6. Определить радиус четвертой зоны Френеля, если радиус второй зоны Френеля для плоского волнового фронта равен 2 мм. (4 мм).

2.7. Студенты выполняли лабораторную работу с дифракционной решеткой. В наблюдаемой ими дифракционной картине на экране первый главный максимум наблюдался на расстоянии 15 см от центрального. При этом свет длиной волны 0,5 мкм падал на решетку нормально, а экран располагался от решетки и линзы на расстоянии 1 м. Определите число штрихов на 1 см дифракционной решетки в эксперименте. (3000).

2.8. На узкую щель шириной 0,05 мм падает нормально монохроматический свет с длиной волны 694 нм. Определить направление света на вторую светлую дифракционную полосу (по отношению к первоначальному направлению света). Ответ дать в градусах, округлить до целого числа. (4°).



2.9. Дифракционная решетка освещена нормально падающим монохроматическим светом. В дифракционной картине максимум второго порядка

отклонен на угол 14° . На какой угол отклонен максимум третьего порядка? Ответ дать в градусах, округлить до целого числа. (23°).

2.10. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков отчасти перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ($0,4$ мкм) спектра третьего порядка? ($0,6$ мкм).

2.11. На дифракционную решетку, содержащую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет ($0,6$ мкм). Найти общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. (9).

2.12. Дифракционная решетка содержит 200 штрихов на 1 мм. На решетку падает нормально монохроматический свет ($0,6$ мкм). Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка? (8).

2.13. Свет от монохроматического источника (600 нм) падает нормально на диафрагму с диаметром отверстия 6 мм. За диафрагмой на расстоянии 3 м от нее находится экран. Какое число m зон Френеля укладывается в отверстии диафрагмы? Каким будет центр дифракционной картины на экране: темным или светлым? (5 зон; светлый).

2.14. На щель шириной 20 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света (500 нм). Найти ширину изображения щели на экране, удаленном от щели на расстояние 1 м. Шириной изображения считать расстояние между первыми дифракционными минимумами, расположенными по обе стороны от главного максимума освещенности. (5 см).

2.15. Найти наибольший порядок m спектра для желтой линии натрия (589 нм), если постоянная дифракционной решетки 2 мкм. Ответ округлить до целого числа. (3).

2.16. На щель шириной 2 мкм падает нормально параллельный пучок монохроматического света (589 нм). Под какими углами будут наблюдаться дифракционные минимумы света? (18° ; 36° ; 62°).

2.17. На щель шириной 6 мм падает нормально параллельный пучок монохроматического света . Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум света? (30°).

2.18. Какое число штрихов на единицу длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути (561,1 нм) в спектре первого порядка наблюдается под углом $19^\circ 8'$? (588 1/мм).

2.19. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. При повороте трубы гониометра на угол φ в поле зрения видна линия 440 нм в спектре третьего порядка. Будут ли видны под этим же углом другие спектральные линии, соответствующие длинам волн в пределах видимого спектра (от 400 до 700 нм)? (будет 660 нм в спектре $k = 2$).

2.20. Какова должна быть постоянная дифракционной решетки, чтобы в первом порядке был разрешен дублет натрия 589 нм и 589,6 нм? Ширина решетки 2,5 см. (25 мкм).

2.21. Постоянная дифракционной решетки 2,5 мкм. Найти угловую дисперсию решетки для 589 нм в спектре первого порядка. ($2 \cdot 10^5$ рад/м).

2.22. Для какой длины волны дифракционная решетка имеет угловую дисперсию $6,3 \cdot 10^5$ рад/м в спектре третьего порядка? Постоянная решетки $d = 5$ мкм. Угловая дисперсия для 668 нм в спектре первого порядка $2,02 \cdot 10^5$ рад/м. Найти период d дифракционной решетки. (5 мкм).

2.23. Дифракционная картина получена с помощью дифракционной решетки длиной 1,5 см и периодом 5 мкм. Определить, в спектре какого наименьшего порядка этой картины получатся отдельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн 0,1 нм, если линии лежат в красной части спектра (760 нм). ($k = 3$).

2.24. Какой наименьшей разрешающей силой должна обладать дифракционная решетка, чтобы с ее помощью можно было разрешить две спектральные линии калия (578 нм; 580 нм)? Какое наименьшее число N штрихов должна иметь эта решетка, чтобы разрешение было возможно в спектре второго порядка? (290; R/k).

2.25. Каково должно быть минимальное расстояние между двумя точками на поверхности Марса, чтобы их изображение в телескопе с диаметром объектива 60 см можно было отличить от изображения одной точки? Считать, что Марс наблюдается в момент великого противостояния, когда расстояние до него от Земли минимально и составляет $56 \cdot 10^6$ км. (28 000 м).

2.26. Угловая дисперсия дифракционной решетки для некоторой длины волны (при малых углах дифракции) составляет 5 угловых минут на 10^{-9} м. Определить разрешающую силу этой решетки для той же длины волны, если длина решетки равна 2 см. ($2,91 \cdot 10^4$).

2.27. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет с длиной волны 700 нм. За решеткой помещена собирающая линза с главным фокусным расстоянием 50 см. В фокальной плоскости линзы расположен экран. Определить линейную дисперсию D такой системы для максимума третьего порядка. (1 мм/нм).

2.28. При нормальном падении света на дифракционную решетку шириной 10 мм обнаружено, что компоненты желтой линии натрия (589,0 и 589,6 нм) оказываются разрешенными, начиная с пятого порядка спектра. Оценить период этой решетки. ($5 \cdot 10^{-5}$ м).

2.29. Свет с длиной волны 589 нм падает нормально на дифракционную решетку с периодом 2,5 мкм, содержащую 10000 штрихов. Найти угловую ширину дифракционного максимума второго порядка. (11°).

2.30. На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны 650 нм. За решеткой находится линза, в фокальной плоскости которой расположен экран. На экране наблюдается дифракционная картина под углом дифракции 30° . При каком главном фокусном расстоянии линзы линейная дисперсия 0,5 мм/нм? (18,8 см).

2.31. На дифракционную решетку с постоянной 0,006 мм нормально падает монохроматический свет. Угол между спектрами первого и второго порядков равен $4'36''$. Определить длину световой волны. (478 нм).

2.32. Наименьший угол зрения, при котором средний глаз видит отдельно два штриха, равен $1'$. Каково наименьшее расстояние, которое может различать средний глаз на расстоянии наилучшего зрения? (25 см).

2.33. Две дифракционные решетки имеют одинаковую ширину 3 мм, но разные периоды: $3 \cdot 10^{-3}$ мм и $6 \cdot 10^{-3}$ мм. Определить их наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия ($\lambda = 5896 \text{ \AA}$). (5000).

3. Дисперсия света

Дисперсией света называется зависимость показателя преломления n вещества от частоты ω (длины волн λ) света или зависимость фазовой скорости световых волн от их частоты. Дисперсия света называется нормальной, если показатель преломления монотонно возрастает с увеличением частоты (убывает с увеличением длины волны). В противном случае дисперсия света называется аномальной.

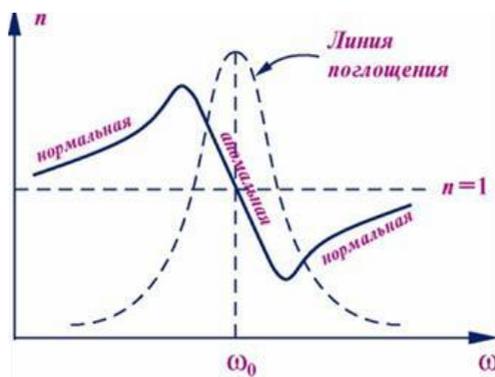


Рис. 11. Зависимость показателя преломления от частоты света.

Дисперсия света обусловлена взаимодействием света с заряженными частицами, входящими в состав вещества и совершающими вынужденные колебания в гармоническом электромагнитном поле волны. В оптической области частот существенны вынужденные колебания лишь внешних электронов атомов и молекул. Эти электроны имеют малую энергию связи с атомами и поэтому способны совершать столь быстрые осцилляции (их называют оптическими электронами). Благодаря вынужденным колебаниям оптических электронов в поле гармонической волны частотой ω периодически изменяются дипольные электрические моменты атомов, которые вследствие этого являются источниками вторичных электромагнитных волн той же частоты ω .

Средние расстояния между молекулами ($r \sim 10^{-8}$ см – в сплошной среде) во много раз меньше протяженности одного цуга волн ($\sim 10^{-5}$ см), поэтому вторичные волны, излучаемые большим числом соседних молекул оптически однородной и изотропной среды, когерентны как между собой, так и с первичной волной. При наложении вторичных волн во всех направлениях, исключая направление распространения первичной волны, происходит взаимное гашение (интерференция). В направлении, совпадающем с направлением распространения первичной волны, образуется результирующая проходящая волна (интерференция вторичных и первичных волн), фазовая скорость которой зависит от частоты.

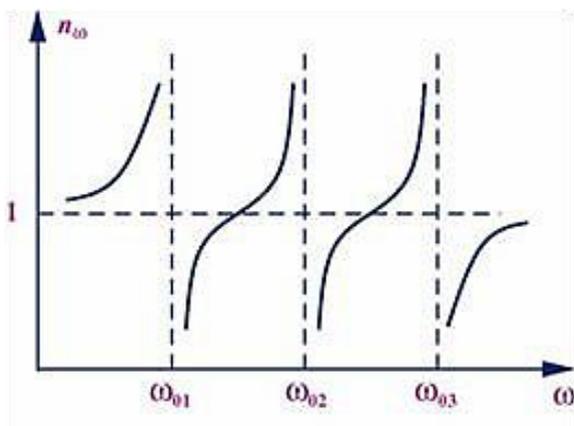


Рис. 12. Области нормальной дисперсии.

Монохроматическая волна – это идеализация. В природе такие волны не существуют. Любую реальную волну, согласно теореме Фурье, можно представить как суперпозицию монохроматических волн с различными амплитудами и частотами в некотором интервале $\Delta\omega$. Суперпозицию волн, мало отличающихся друг от друга по частотам ($\Delta\omega \ll \omega$), называют волновым пакетом или группой волн.

В пределах волнового пакета монохроматические составляющие усиливают друг друга, а вне пакета – практически гасят друг друга. В вакууме

все монохроматические волны, образующие пакет, распространяются с одинаковой фазовой скоростью $v_{\text{фаз}} = \omega/k$, где k – волновое число; ω – циклическая частота распространения волны. С такой же скоростью распространяется в вакууме и сам волновой пакет, не изменяя своей формы.

В диспергирующей же среде волновой пакет расплывается, так как скорости его монохроматических составляющих отличаются друг от друга. Поэтому понятие скорости такой волны необходимо уточнить. Если дисперсия достаточно мала, расплывание волнового пакета происходит не слишком быстро. В этом случае волновому пакету можно приписать скорость u_{Γ} , с которой перемещается его «центр». Эту скорость называют групповой скоростью. Групповая скорость определяется по формуле $u_{\Gamma} = \frac{d\omega}{dk}$. Выражение для групповой скорости можно представить в другом виде через фазовую скорость и длину волны: $u_{\Gamma} = v_{\text{фаз}} - \frac{dv_{\text{фаз}}}{d\lambda}$. Это так называемая формула Рэлея.

В области нормальной дисперсии групповая скорость оказывается меньше фазовой скорости. При отсутствии дисперсии групповая скорость совпадает с фазовой. В некоторых случаях групповая скорость, вычисленная по приведенным выше формулам, оказывается больше скорости света в вакууме. Так будет, например, в области аномальной дисперсии. Это не противоречит теории относительности, так как групповая скорость выражает скорость сигнала лишь тогда, когда волновой импульс в процессе распространения практически не изменяет своей формы. В области же аномальной дисперсии импульс сильно деформируется, и групповая скорость в таких условиях утрачивает определенное физическое содержание в рамках классической физики и может быть объяснена с точки зрения квантовой теории.

Рассмотрим вопрос о скорости распространения энергии, переносимой электромагнитной волной. Фазовая скорость монохроматической волны не имеет ничего общего со скоростью переноса энергии. Фазовая скорость устанавливает только связь между фазами колебаний в различных точках

пространства. Строго монохроматическая волна не может служить для передачи сигнала, поскольку она не имеет ни начала, ни конца во времени и пространстве. Поэтому распространение сигнала связано с перемещением изменений амплитуды. И в тех случаях, когда групповая скорость имеет смысл (т. е. электромагнитный импульс распространяется, не расплываясь), она совпадает со скоростью переноса энергии.

Итак, в области, далекой от области сильного поглощения, скорость переноса энергии в группе волн совпадает с групповой скоростью.

Прямые измерения скорости света сводятся к измерению расстояния, проходимого световым сигналом (импульсом) за определенный промежуток времени. Этот метод практически дает групповую скорость. То же самое, как показывает анализ, относится ко всем известным косвенным методам измерения скорости света. Фазовую же скорость (точнее, отношение фазовых скоростей в двух различных средах) можно определить по отношению показателей преломления, или воспользовавшись законом преломления.

Тестовые задания



3.1. При попадании солнечного света на капли дождя образуется радуга. Каким явлением это объясняется:

1. дисперсией
2. дифракцией
3. поляризацией
4. интерференцией.

3.2. Разложение белого света в спектр при прохождении через призму обусловлено:

1. интерференцией света
2. отражением света

3. дисперсией света

4. дифракцией света.

3.3. На переднюю грань прозрачной стеклянной призмы падают параллельные друг другу зеленый и красный лучи. После прохождения призмы:

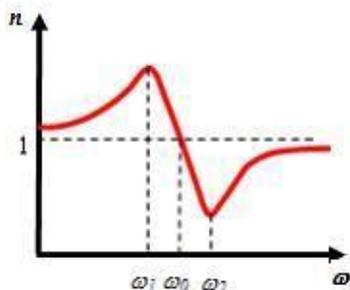
1. они останутся параллельными
2. они разойдутся так, что не будут пересекаться
3. они пересекутся
4. ответ зависит от сорта стекла.

3.4. Для того чтобы уменьшить блеск водной поверхности озера (моря и т. п.), обусловленный отражением от нее солнечных лучей (показатель преломления воды равен 1,33), применяют солнцезащитные очки с поляроидами. С использованием поляроида отраженные солнечные лучи от поверхности озера полностью гасятся, если Солнце находится под углом ... к горизонту. При этом плоскость пропускания поляроида ориентирована

1. 37° ; вертикально
2. 37° ; горизонтально
3. 53° ; вертикально
4. 53° ; горизонтально.

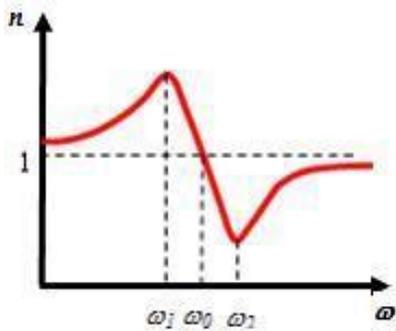
3.5. На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества.

Интенсивное поглощение света наблюдается для диапазона частот:



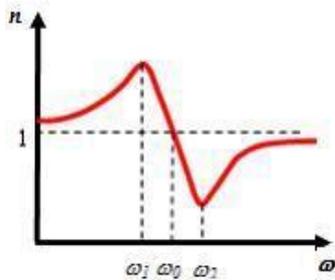
1. ω_1 до ω_2
2. от 0 до ω_1
3. от ω_1 до ω_0
4. от ω_1 до ∞ .

3.6. На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества. Явление аномальной дисперсии света наблюдается для диапазона частот:



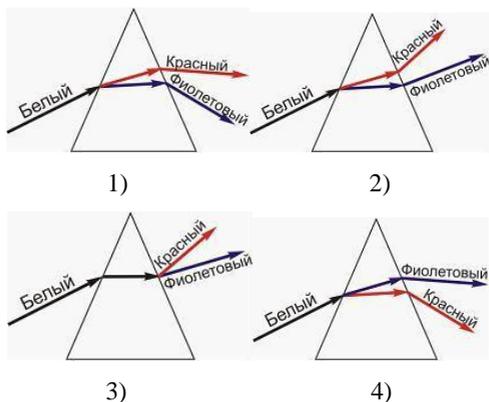
1. ω_1 до ω_2
2. от 0 до ω_1
3. от ω_1 до ω_0
4. от ω_1 до ∞ .

3.7. На рисунке изображена дисперсионная кривая для некоторого вещества. Явление нормальной дисперсии света наблюдается для диапазона частот:

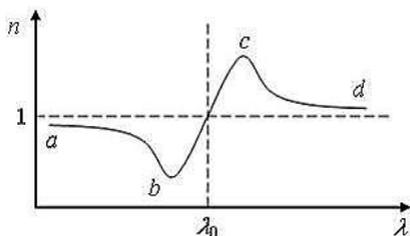


1. ω_1 до ω_2
2. от 0 до ω_1
3. от ω_1 до ω_0
4. от ω_1 до ∞ .

3.8. В стеклянной призме происходит разложение белого света в спектр, обусловленное дисперсией света. На рисунках представлен ход лучей в призме. Правильно отражает ход лучей рисунок:



3.9. Кривая дисперсии в области одной из полос поглощения имеет вид, показанный на рисунке. Соотношение между фазовой $v_{\text{фаз}}$ и групповой u скоростями для участка bc имеет вид:



1. $u > v_{\text{фаз}}$
2. $u = v_{\text{фаз}}$
3. $u < v_{\text{фаз}}$.

Расчетные задания



3.1. Измерение дисперсии показателя преломления оптического стекла дало:

n	1,528	1,523
λ , мкм	0,434	0,486

Вычислит отношение групповой скорости к фазовой скорости для света с длиной волны 0,434 мкм.

3.2. Соответствие показателей преломления сероуглерода с длинами волн света представлено в таблице:

n	1,647	1,640	1,630
λ , нм	509	534	589

Вычислить фазовую и групповую скорости света вблизи длины волны 534 нм.

3.3. Найдите зависимость между групповой скоростью и фазовой скоростью для следующих законов дисперсии: а) $v = a\lambda^{0.5}$; б) $v = bk$; в) $v = c\omega^2$, где a, b, c некоторые постоянные.

3.4. Показатель преломления вещества для длины волны 600 нм равен 1,8. Дисперсия вещества в этой области равна $3 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$. Групповая скорость распространения света равна $2,9 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, определить фазовую скорость волны и тип дисперсии.

3.5. Найти зависимость фазовой и групповой скоростей от длины волны для следующих законов дисперсии: а) $\omega^2 = gk$ (для гравитационных поверхностных волн на глубокой воде); б) $\omega^2 = \sigma k^3 / \rho$ (для капиллярных волн); в) $\omega = \hbar k^2 / 2m$ (для волн де Бройля).

3.6. Найти групповую скорость рентгеновского излучения в среде, если предельный угол полного внутреннего отражения для границы среда – воздух равен $\theta_{\text{кр}}$.

3.7. Дисперсия показателя преломления кварца представлена таблицей:

n	1,5442	1,5497	1,5565
λ , нм	589,3	486,1	410,0

Найти отношение фазовой и групповой скоростей света вблизи длины волны 486,1 нм.

3.8. Вычислить групповую скорость волн, фазовая скорость которых зависит от длины волны следующим образом: 1) акустические волны в воздухе $v=A$; 2) поперечные упругие волны в стержне $v=A/\lambda$; 3) глубоководные волны $v=A\lambda^{1/2}$; 4) капиллярные волны $v=A/\lambda^{1/2}$; 5) ионосферные электромагнитные волны $v=(c^2+A^2\lambda^2)^{1/2}$, где A – константа.

3.9. Показатель преломления сероуглерода при 656 нм равен 1,620, а при 580 нм равен 1,629. Найдите, во сколько раз отличается фазовая скорость и групповая скорости света в сероуглероде для желтой области спектра 620 нм.

3.10. Световой луч распространяется параллельно поверхности Земли. Считая воздух неподвижным, найти отклонение луча на пути 1 км. Если давление воздуха 1 атм., температура 300 К, а коэффициент преломления воздуха в этих условиях $n = 1+3 \cdot 10^{-4}$.

3.11. Показатель преломления некоторой прозрачной среды вблизи частоты ω^* изменяется по закону $n(\omega) = 1,5 - A/(\omega - 4 \cdot 10^{14})$. Через слой такого вещества толщиной 3 см проходит короткий световой импульс, спектральный состав которого достаточно узок. Оценить время прохождения импульса через слой, если $|\omega^* - 4 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}| \approx 10^{12} \text{ с}^{-1}$ и $|n(\omega^*) - 1,5| = 0,01$.

3.12. Определить концентрацию свободных электронов ионосферы, если для радиоволн с частотой 97 МГц её показатель преломления равен 0,91.

3.13. Показатель преломления воздуха при нормальных условиях для желтой линии натрия вдали от линий поглощения равен 1,0002918. Определить показатель преломления воздуха при температуре 300 К и давлении 1,5 МПа.

3.14. Показатель преломления прозрачного вещества для небольшого интервала длин волн, вдали от линий поглощения, связан с длиной волны соотношением $n=A+B\lambda^{-2}$. Определить дисперсию вещества и фазовую скорость.

3.15. Показатель преломления германия для длины волны 0,5 мкм в вакууме равен $\tilde{n} = 3,47 + i \cdot 1,40$. Рассчитайте глубину проникновения плоской волны в германий, на которой её интенсивность уменьшится в 1000 раз.

3.16. Определить показатель преломления углекислоты при нормальных условиях. Поляризуемость молекул CO_2 равна $3,3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$.

3.17. При нормальных условиях плотность газообразного водорода 0,0000896 г/см³, а его показатель преломления 1,000138. Определить плотность жидкого водорода, если его показатель преломления 1,107.

3.18. Показатель преломления стекла для длины волны 0,5 мкм равен 1,5. Дисперсия стекла в этой области равна $-3 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$. Определить, на сколько процентов групповая скорость распространения света с этой длиной волны в стекле меньше фазовой скорости.

3.19. Водород при 0 °С и давлении 760 мм.рт. ст. имеет плотность 0,0000896 г/см³, а его показатель преломления равен 1,000138. Плотность жидкого водорода равна 0,068 г/см³. Определить показатель преломления жидкого водорода.

3.20. Дисперсия показателя преломления водорода при нормальных условиях может быть представлена в интервале от 0,4 до 9 мкм в виде следующей зависимости $n^2=1+2,72\cdot 10^{-4}+(2,11\cdot 10^{-6})/\lambda^2$. Найдите значения коэффициентов рефракции и дисперсии, и указать в какой области спектра лежит собственная частота. Найдите отношение q/m , и укажите, к какой частице применимо полученное значение. Плотность водорода $9\cdot 10^{-2}$ кг/м³.

3.21. Электромагнитная волна с частотой ω распространяется в разряженной плазме. Концентрация свободных электронов в плазме равна n_0 . Определить зависимость диэлектрической проницаемости плазмы от частоты. Взаимодействием волны с ионами пренебречь.

3.22. Концентрация электронов на Солнце на расстоянии $0,06R$ от границы фотосферы, где R – радиус Солнца, примерно равна $2\cdot 10^{14}$ м⁻³. Найти максимальную длину волн, которые могут достигать Земли из этой области Солнца.

3.25. Исследование прохождения плоской электромагнитной волны частотой 8 МГц через плоский однородный слой плазмы с концентрацией свободных электронов 10^{12} м⁻³ показали, что при увеличении толщины слоя в 2 раза энергетический коэффициент пропускания изменяется в 10 раз. Пренебрегая отражением волны на границах, найти толщину слоя плазмы.

4. Поляризация света

Поляризация света – это одно из самых сложных для представления явлений волновой оптики, но вместе с тем и очень интересное.

Электромагнитная волна характеризуется вектором напряженности электрического поля и вектором магнитной индукции (или векто-



ром напряженности магнитного поля). Векторы E и H расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях и колеблются в одинаковых фазах.

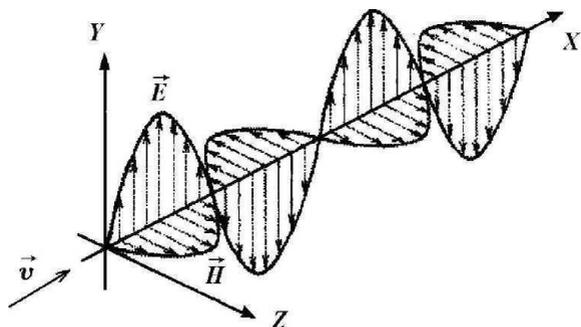


Рис. 13. Электромагнитная волна.

Направление распространения колебаний называется лучом. Колебания векторов E и H в изотропной среде происходят перпендикулярно лучу, а значит, электромагнитные волны поперечны. В большинстве случаев воздействие световых волн определяется вектором напряженности E электрического поля, поэтому вектор E называется световым вектором. Свет – это суммарное излучение множества атомов. Атомы излучают световые волны независимо друг от друга. Поэтому световая волна, излучаемая телом, характеризуется всевозможными равновероятными колебаниями светового вектора E . Такой свет называется естественным (неполяризованным).

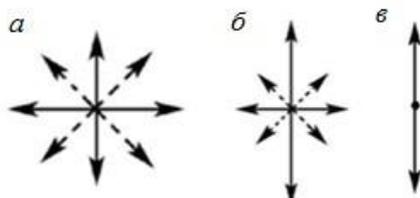


Рис. 14. Колебания светового вектора.

а) естественный; б) частично поляризованный; в) линейно поляризованный.

Свет, в котором направления колебаний светового вектора каким-либо образом выделены или упорядочены, называется поляризованным. Если в результате внешних воздействий появляется преимущественное направление колебаний вектора E , то такой свет называется частично поляризованным.

Свет, в котором вектор E колеблется только в одном направлении, называется плоскополяризованным, или линейно-поляризованным. На рисунке луч перпендикулярен плоскости чертежа.

Плоскость, проходящая через направление колебаний вектора E и направление распространения волны (луч), называется плоскостью поляризации. Для того чтобы получить поляризованный свет, нужно создать разные условия для прохождения колебаний различных направлений, такие чтобы некоторые из них погасились.

Одним из первых способов получения поляризованного света является отражение и преломление света на границе двух сред, даже если обе среды оптически изотропны, условия отражения и преломления лучей, поляризованных во взаимно перпендикулярных плоскостях, различны. Вследствие этого отраженный и преломленный лучи в какой-то степени поляризованы. Следует отметить, во-первых, что электромагнитные волны поперечны, во-вторых, что поляризация происходит вследствие анизотропии свойств среды. Степенью поляризации называется величина $P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$, где I_{max} и I_{min} – максимальная и минимальная интенсивности света, соответствующие двум взаимно перпендикулярным компонентам вектора E .

Шотландский физик Д. Брюстер (1781–1868) установил закон, согласно которому отраженный луч полностью поляризован (плоскополяризован), если угол падения луча равен некоторому определенному для данной среды углу (углу Брюстера). Угол Брюстера определяется из соотношения: $tg i_B = n_2$.

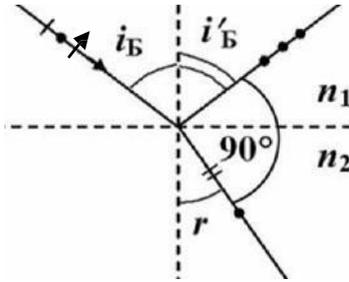


Рис. 15. Отражение света от диэлектрика.

Полностью поляризованный отраженный луч содержит только колебания, перпендикулярные плоскости падения. Преломленный луч при угле падения равном углу Брюстера поляризуется не полностью, преломленный луч поляризован максимально. Если свет падает на границу раздела под углом Брюстера, то отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.

Для полной поляризации преломленного луча используют стопу Столетова. Она состоит из ряда параллельных пластинок, ориентированных под углом Брюстера к падающему лучу. На каждой границе частично отражаются только лучи, поляризованные перпендикулярно плоскости падения, и в результате многократных преломлений выходящий из стопы луч практически полностью поляризован в плоскости падения.

Вторым способом получения, поляризованного света является использование поляризаторов (призмы) работающих, но свойстве дихроизма. При прохождении света через поляризаторы происходит его поляризация. Проведем следующий опыт. Полученный с помощью призмы николя (поляризатора) плоскополяризованный свет направим еще на один николю. Второй николю (анализатор) позволит выяснить в какой плоскости поляризован свет, проходящий через первый николю.

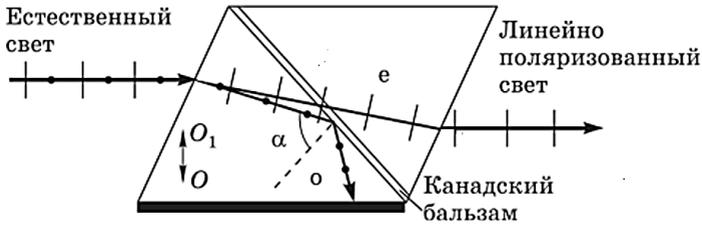


Рис. 16. Призма Николя.

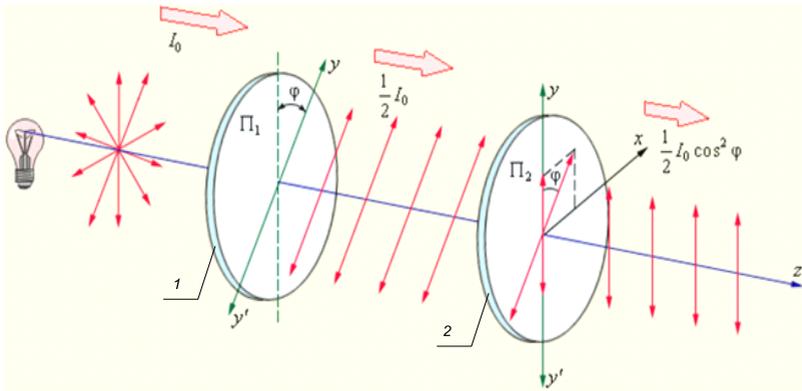


Рис. 17. Изменение интенсивности света при прохождении через систему поляризаторов: 1 – поляризатор; 2 – анализатор.

Интенсивность I вышедшего из анализатора света будет определяться по закону Малюса $I_n = I \cos^2 \varphi$, где I_n – интенсивность поляризованного света, падающего на анализатор, φ – угол между оптическими осями поляризатора и анализатора (или угол между их главными плоскостями). Поглощением и отражением света пренебрегаем, и учитывая, что $I_n = 0,5 I_0$, получим $I = 0,5 I_0 \cos^2 \varphi$, где I_0 – интенсивность естественного света, падающего на поляризатор. Если $\varphi = 0$ оптические оси призм параллельны, то интенсивность вышедшего света максимальна; если $\varphi = \pi/2$ призмы скрещены, то интенсивность света минимальна $I = 0$. Если указано, что в каждом никеле поте-

ри на отражение и поглощение света составляют k долей единицы, то интенсивность света, прошедшего через два николя, составляет $I = (1 - \kappa)^2 0,5 I_0 \cos^2 \varphi$.

Поляризованный свет можно получить при его прохождении через анизотропные среды. Искусственная анизотропия возникает при действии электрического поля (эффект Керра). Ячейка Керра представляет собой кювету с жидкостью (нитробензол), в которую помещены пластины плоского конденсатора.

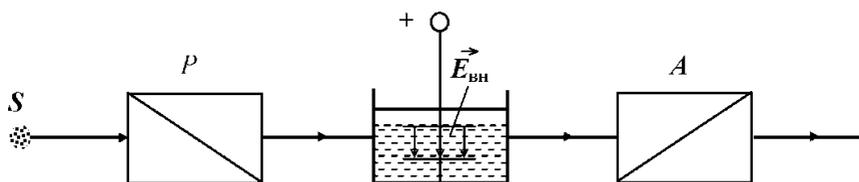


Рис. 18. Эффект Керра.

Ячейка Керра помещается между скрещенными поляризатором P и анализатором A . При отсутствии электрического поля свет через систему не проходит. При наличии электрического поля жидкость становится двоякопреломляющей. Это связано с тем, что поляризуемость диэлектрика в направлении внешнего поля отличается от его поляризуемости в перпендикулярном направлении. При этом ячейка Керра действует на свет так же, как плоскопараллельная пластинка. Она создает между обыкновенным и необыкновенным лучами сдвиг фаз: $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} (n_e - n_o)l = \frac{2\pi}{\lambda} b l E^2$, где $\frac{2\pi}{\lambda} b$ – постоянная Керра; E – напряженность поля внутри жидкости; l – длина кюветы с жидкостью; n_o и n_e показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно.

Искусственная анизотропия возникает также и при действии магнитного поля (эффект Коттона–Мутона). При помещении некоторых изотропных веществ (жидкостей, стекол, коллоидов) во внешнее магнитное поле они приобретают оптические свойства одноосных кристаллов. Разность пока-

зателей преломления для обыкновенного и необыкновенного лучей составляет $(n_e - n_o)l = CH^2$, где C – постоянная Коттона–Мутона; H – напряженность внешнего магнитного поля.

Некоторые вещества (кварц, сахар, киноварь, винная кислота, скипидар) обладают способностью поворачивать плоскость поляризации вокруг направления луча. Опыт показывает, что угол поворота φ плоскости поляризации для оптически активных кристаллов и чистых жидкостей $\varphi = \alpha d$, где d – расстояние, пройденное светом в оптически активном веществе; α – удельное вращение, равное углу поворота плоскости поляризации света слоем оптически активного вещества единичной толщины. Для оптически активных растворов $\varphi = [\alpha] c l$, где l – длина трубки; $[\alpha]$ – удельное вращение; c – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе. Вращение плоскости поляризации обусловлено наличием асимметрии молекул среды или самого раствора. Явление вращения плоскости поляризации лежит в основе метода определения концентрации растворов оптически активных веществ с помощью приборов – поляриметров или сахариметров.

В процессе решения задач студенту необходимо знать:

1). Задачи, в которых рассматривается поляризация света при отражении и преломлении на границе двух диэлектриков, решаются с помощью закона Брюстера. Обратите внимание, что в формуле, выражающей закон Брюстера, n – относительный показатель преломления двух диэлектриков, на границе которых происходит отражение света.

2) Главной плоскостью (главным направлением) поляризатора называют плоскость, в которой происходят колебания световых векторов в плоскополяризованном луче, выходящем из прибора. Этими же терминами характеризуют анализатор, который представляет собой тот же прибор, что и поляризатор, но служит для анализа поляризованного света. Следовательно, величина φ в законе Малюса является одновременно углом между плоскостями, в которых колеблются световые векторы двух плоскополяризованных лучей: падающего на анализатор и выходящего из него.

Тестовые задания.

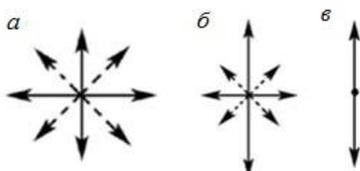


4.1. Поляризация света доказывает, что свет –

1. поток заряженных частиц
2. поток нейтральных частиц
3. поперечная волна
4. продольная волн.

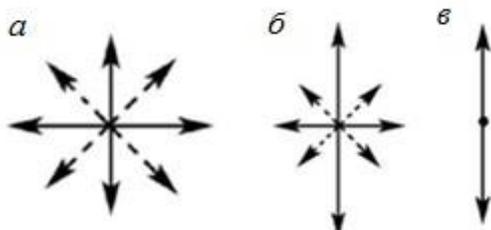
4.2. Направление колебаний вектора напряженности электрического поля в естественном свете показано на

рисунке:



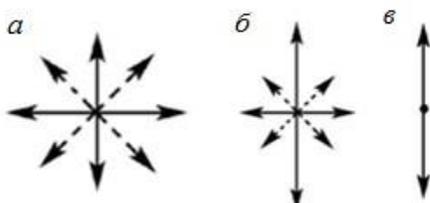
1. а
2. б
3. в
4. а и б.

4.3. Направление колебаний вектора напряженности электрического поля в частично поляризованном свете показано на рисунке:



1. а
2. б
3. в
4. а и б.

4.4. Направление колебаний вектора напряженности электрического поля в частично в плоскополяризованном свете показано на рисунке:



1. а
2. б
3. в
4. а и б.

4.5. Явление поляризации света может возникнуть в кристалле:

1. изотропном
2. однородном
3. прозрачном
4. анизотропном.

4.6. Как соотносятся показатели преломления обыкновенного и не обыкновенного лучей в отрицательном кристалле:

1. $n_o = n_e$
2. $n_o > n_e$
3. $n_o < n_e$
4. $n_o = n_e = 1$.

4.7. Как соотносятся показатели преломления обыкновенного и не обыкновенного лучей в положительном кристалле:

1. $n_o = n_e$

2. $n_o > n_e$

3. $n_o < n_e$

4. $n_o = n_e = 1$.

4.8. Как соотносятся скорости распространения обыкновенного и необыкновенного лучей в отрицательном кристалле:

1. $v_o = v_e$

2. $v_o > v_e$

3. $v_o < v_e$

4. $v_o = v_e = c$.

4.9. Как соотносятся скорости распространения обыкновенного и необыкновенного лучей в положительном кристалле:

1. $v_o = v_e$

2. $v_o > v_e$

3. $v_o < v_e$

4. $v_o = v_e = c$.

4.10. Степень поляризации P плоскополяризованного света:

1. $P = 0$

2. $P = \infty$

3. $P = 1$

4. $P = 0,5$.

4.11. Максимально поляризован при падении света на границу раздела двух диэлектриков под углом Брюстера луч(и):

1. падающий

2. отраженный

3. преломленный

4. отраженный и преломленный.

4.12. Полностью поляризован при падении света на границу раздела двух диэлектриков под углом Брюстера луч(и):

1. падающий

2. отраженный

3. преломленный

4. отраженный и преломленный.

4.13. Луч падает на границу раздела под углом Брюстера, какой угол между преломленным и отраженным лучами:

1. 90°

2. 180°

3. 60°

4. 45° .

4.14. Какое устройство позволяет на выходе из него получить эллиптически поляризованный свет при падении на него плоскополяризованного света:

1. анализатор

2. пластинка в полволны

3. пластинка в четверть волны

4. ячейка Керра

5. поляризатор.

4.15. Какое устройство не изменяет поляризацию линейно поляризованного света:

- 1. пластинка в полволны*
- 2. пластинка в четверть волны*
- 3. ячейка Керра*
- 4. поляризатор*
- 5. анализатор.*

4.16. Какой свет падает на поляризатор, если при его повороте интенсивность вышедшего из него света не изменяется:

- 1. естественный*
- 2. плоскополяризованный*
- 3. линейно поляризованный*
- 4. эллиптически поляризованный*
- 5. циркулярно поляризованный.*

4.17. Для получения анизотропии используют поляризацию диэлектрика в:

- 1. устройстве на основе эффекта Керра*
- 2. устройстве на основе эффекта Коттона–Мутона*
- 3. поляризаторе и анализаторе*
- 4. поляризаторе.*

4.18. При прохождении поляризованного света в оптически активных веществах происходит:

- 1. вращение плоскости поляризации*
- 2. изменение состояния поляризации*
- 3. двойное лучепреломление*
- 4. преломление.*

4.19. В основе устройства сахариметра лежит явление:

- 1. отражения*
- 2. преломления*

3. *двойного лучепреломления*
4. *вращения плоскости поляризации.*

4.20. Основным свойством в оптически активных веществах является:

1. *отражение*
2. *преломление*
3. *вращение плоскости поляризации*
4. *двойное лучепреломление.*

4.21. Оптически изотропные вещества становятся анизотропными под действием:

1. *сжатия или растяжения*
2. *гравитационного поля*
3. *электрического поля*
4. *магнитного поля.*

4.22. Луч естественного света интенсивностью I_0 проходит скрещенные поляризатор и анализатор. Интенсивность I света, вышедшего из анализатора (потери на отражение и поглощение пренебречь):

1. $I = I_0$
2. $I = 0,5 I_0$
3. $I = 0$
4. $I = 2 I_0$.

4.23. Луч естественного света интенсивностью I_0 проходит поляризатор и анализатор, оптические оси которых параллельны. Интенсивность I света, вышедшего из анализатора (потери на отражение и поглощение пренебречь),

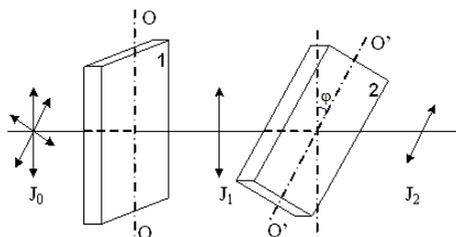
1. $I = I_0$;
2. $I = 0,5 I_0$

3. $I = 0$;
4. $I = 2 I_0$.

4.24. Луч естественного света интенсивностью I_0 проходит поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями, которых равен α . Интенсивность I света, вышедшего из анализатора (потерями на отражение и поглощение пренебречь):

1. $I = I_0$
2. $I = 0,5 I_0$
3. $I = 0$
4. $I = 0,5 I_0 \cos^2 \alpha$.

4.25. На пути естественного света помещены две пластинки турмалина. После прохождения пластинки I свет полностью поляризован. Если I_0 – интенсивность естественного света, а I_1 и I_2 – интенсивности света, прошедшего пластинки соответственно 1 и 2, то при угле φ между направлениями OO и $O'O'$, равном 30° , I_2 и I_0 связаны соотношением



1. $I_2 = 0,5 I_0$
2. $I_2 = I_0 \cos^2 \varphi$
3. $I_2 = 0,5 I_0 \cos^2 \varphi$
4. $I_2 = 0,5 I_0 \sin^2 \varphi$.

4.26. Интенсивность естественного света, прошедшего два поляризатора, уменьшилась вдвое. Как ориентированы поляризаторы:

- 1. поляризаторы скрещены*
- 2. главные плоскости поляризаторов параллельны*
- 3. угол между главными плоскостями поляризаторов равен 45°*
- 4. угол между главными плоскостями поляризаторов равен 60° .*

4.27. Полученные в результате прохождения естественного света через двоякопреломляющий кристалл, необыкновенный и обыкновенный лучи некогерентны, так как они имеют:

- 1. разные частоты*
- 2. разные амплитуды*
- 3. разность фаз колебаний, изменяющуюся во времени*
- 4. разные длины волн.*

4.28. Поляризация возможна для волн:

- 1. поперечных*
- 2. продольных*
- 3. упругих*
- 4. на поверхности жидкости.*

4.29. При каком направлении распространения луча в кристалле он не испытывает двойного лучепреломления:

- 1. вдоль оптической оси*
- 2. перпендикулярно оптической оси*
- 3. под произвольным углом к оптической оси*
- 4. параллельно оптической оси.*

4.30. В чем отличие действий на луч оптически активных веществ и призмы Николя:

- 1. в оптически активных веществах происходит поворот плоскости поляризации, а в призме Николя – двойное лучепреломление*

2. в оптически активных веществах происходит двойное лучепреломление, а в призме Николя – поворот плоскости поляризации
3. в оптически активных веществах происходит поглощение света, а в призме Николя – поляризация света
4. в оптически активных веществах происходит отражение света, а в призме Николя – поляризация света.

4.31. Как должна быть вырезана кристаллическая пластинка и как на нее должен падать свет, чтобы обыкновенный и необыкновенный лучи в пластинке пространственно не разделились, но двигались с разными скоростями:

1. пластинка вырезана параллельно оптической оси, свет падает нормально
2. пластинка вырезана перпендикулярно оптической оси, свет падает нормально
3. пластинка вырезана параллельно оптической оси, свет падает под произвольным углом
4. пластинка вырезана под произвольным углом к оптической оси, свет падает нормально?

4.32. Угол поворота плоскости поляризации при прохождении света в оптически активных растворах можно найти из соотношения:

1. $\varphi = \alpha d$
2. $\varphi = [\alpha]cl$
3. $\varphi = cd$
4. $\varphi = cl$.

4.33. Как определяется интенсивность линейно поляризованного света I , прошедшего поляризатор, главное сечение (главная плоскость) которого составляет 0° с плоскостью поляризации падающего света (I_0 – интенсивность линейно поляризованного света, падающего на поляризатор):

$$1. I = 0,5 I_0$$

$$2. I = I_0 \cos^2 \varphi$$

$$3. I = I_0 \cos \varphi$$

$$4. I = I_0 \sin^2 \varphi.$$

4.34. Естественный свет падает на систему из 5 последовательно расположенных поляроидов, причем плоскость пропускания каждого последующего поляроида образует угол 30° с плоскостью пропускания предыдущего. Если поглощением света в поляроидах можно пренебречь, то интенсивность I света на выходе из системы связана с интенсивностью I_0 света на входе соотношением:

$$1. I = 0,5 I_0 \cos^2 \varphi$$

$$2. I = 0,5 I_0 \cos^4 \varphi$$

$$3. I = 0,5 I_0 \cos^5 \varphi$$

$$4. I = 0,5 I_0 \cos^6 \varphi.$$

Расчетные задания



4.1. Два николя N_1 и N_2 расположены так, что угол между их главными плоскостями равен 60° . Определить: 1) во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через один николю; 2) во сколько раз уменьшится интенсивность света при прохождении через оба николя. Потери на отражение и поглощение в каждом николе составляют 5 %. Ответ округлить до десятых. (1) в 2,1 раза; 2) в 8,8 раз).

4.2. Пучок частично поляризованного света рассматривается через николю. Первоначально николю установлен так, что его плоскость пропускания параллельна плоскости колебаний линейно поляризованного света. При повороте николя на угол 60° интенсивность пропускаемого им света уменьши-

лась в $\kappa = 2$ раза. Определить отношение I_e/I_n интенсивностей естественного и линейно поляризованного света, составляющих данный частично поляризованный свет, а также степень поляризации P пучка света. ($I_e/I_n = 1$; $P = 0,5$).

4.3. Студенты, выполняя лабораторную работу, определили предельный угол полного внутреннего отражения света на границе раздела некоторого вещества с воздухом, который оказался равен 43° . Определите угол Брюстера для падения лучей из воздуха на поверхность этого вещества. Ответ дать в градусах и округлить до целого числа. ($24,9^\circ$).

4.4. Пластинка кварца толщиной 1 мм, вырезанная перпендикулярно оптической оси кристалла, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света определенной длины волны на угол 20° . Определить: какова должна быть толщина кварцевой пластинки, помещенной между двумя «параллельными» николями, чтобы свет был полностью поглощен? Результат указать в мм. (Удельное вращение $[a]$ раствора сахара равно $0,665$ град/ (м кг м). ($4,5$ мм).

4.5. Определить степень поляризации P света, который представляет собой смесь естественного света с плоскополяризованным, если интенсивность I_{II} поляризованного света в 5 раз больше интенсивности естественного I_e . Ответ округлить до сотых. ($0,83$).

4.6. Интенсивность естественного света, прошедшего через два николя, уменьшилась в 8 раз. Пренебрегая поглощением света, определить угол между главными плоскостями николей. (45°).

4.7. Определить, во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два николя, расположенные так, что угол между их главными

плоскостями 60° , а в каждом из николей теряется 8 % интенсивности падающего на него света. Ответ округлить до сотых. (в 9,45 раза).

4.8. Степень поляризации частично поляризованного света составляет 0,75. Определить отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальной. ($I_{\max}/I_{\min} = 7$).

4.9. Определить показатель преломления стекла, если при отражении от него света отраженный луч полностью поляризован при угле преломления 35° . Ответ округлить до сотых. ($n = 1,43$).

4.10. Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме 589 нм, падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно $n_o = 1,66$ и $n_e = 1,49$, определить длины волн этих лучей в кристалле. Ответ дать в нанометрах (нм), округлить до целого числа. ($\lambda_o = 361$ нм; $\lambda_e = 395$ нм).

4.11. Определить наименьшую толщину кристаллической пластинки в четверть волны для 530 нм, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей для данной длины волны 0,01. (Пластинкой в четверть волны называется кристаллическая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, при прохождении через которую в направлении, перпендикулярном оптической оси, обыкновенный и необыкновенный лучи, не изменяя своего направления, приобретают разность хода, равную $\lambda/4$). Ответ дать в микрометрах (мкм) и округлить до сотых. ($d = 13,25$ мкм).

4.12. Кристаллическая пластинка из исландского шпата с наименьшей толщиной $d = 0,86$ мкм служит пластинкой в четверть волны для 0,59 мкм.

Определить разность Δn показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей. (Пластинкой в четверть волны называется кристаллическая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, при прохождении через которую в направлении, перпендикулярном оптической оси, обыкновенный и необыкновенный лучи, не изменяя своего направления, приобретают разность хода, равную $\lambda/4$). Ответ округлить до сотых. ($\Delta n = 0,17$).

4.13. Раствор глюкозы с массовой концентрацией $0,21 \text{ г/см}^3$, находящийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через раствор, на угол 24° . Определить массовую концентрацию глюкозы в другом растворе в трубке такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на угол 18° . Ответ дать в единицах СИ и округлить до десятых. ($161,54 \text{ кг/м}^3$).

4.14. Студенты наблюдают на берегу Амура закат солнца. Под каким углом к горизонту находится солнце, если лучи, отраженные от поверхности Амура, полностью поляризованы. Показатель преломления воды $n = 1,33$. Ответ округлить до целого числа. (37°).

4.15. Найти угол полной поляризации при отражении света от стекла, показатель преломления которого $n = 1,57$. ($57,5^\circ$).

4.16. Предельный угол полного внутреннего отражения для некоторого вещества 45° . Найти для этого вещества угол полной поляризации. (55°).

4.17. Под каким углом к горизонту должно находиться солнце, чтобы его лучи, отраженные от поверхности озера, были наиболее полно поляризованы? (37°).

4.18. Найти показатель преломления n стекла, если при отражении от него света отраженный луч будет полностью поляризован при угле преломления 30° . ($n = 1,73$).

4.19. Определить разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей при наблюдении эффекта Керра в нитробензоле в поле, напряженностью 3000 В/см . Постоянная Керра $220 \cdot 10^{-7} \text{ с}^2/\text{кг}$ (при 20° C и 5890 \AA). ($n_o - n_e = 1,16$).

4.20. Свет, проходя через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n = 1,5$), отражается от дна, причем отраженный свет плоско поляризован при падении его на дно сосуда под углом 40° . Определить показатель преломления жидкости и угол падения света на дно сосуда, чтобы наблюдалось полное отражение. ($1,8; 57^\circ$).

4.21. Угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора составляет 30° . Определите изменение интенсивности прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями станет равным 45° . (уменьшится в $1,5$ раза).

4.22. Предельный угол полного внутреннего отражения для пучка света на границе кристалла каменной соли с воздухом равен $40,5^\circ$. Найдите угол Брюстера при падении света из воздуха на поверхность этого кристалла. Как меняется скорость света в веществе? (57° ; уменьшится в $1,5$ раза).

4.23. Определите толщину кварцевой пластинки, для которой угол поворота плоскости поляризации монохроматического света определенной длины волны равен 180° . Удельное вращение в кварце равно $0,52 \text{ рад/мм}$. ($d = 6 \text{ мм}$).

Список литературы.

1. Ландсберг, Г.С. Оптика: учеб. пособие для вузов / Г.С. Ландсберг. – 6-е изд., стер. – М.: Физматлит, 2003. – 848 с.
2. Трофимова, Т.И. Сборник задач по курсу физики: учеб. пособие для студ. вузов / Т.И. Трофимова. – 2-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 1996. – 303 с.
3. Чертов, А.Г. Задачник по физике: учеб. пособие для студ. вузов / А.Г. Чертов, В.И. Воробьев. – 4-е изд. – М.: Высш. шк., 2009.
4. Оптика. Сборник задач по физике: учеб. пособие для студ. вузов / Г.П. Стариченко [и др.]; отв. ред. Г.П. Стариченко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008.
5. Детлаф, А.А. Курс физики: учебник / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М., 2001.

*«Хорошо когда путешествие подходит к концу,
но сам пройденный путь значит ещё больше»*

У. К. Гуин



Учебное издание

Составитель
Сергей Николаевич Костенков

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

СБОРНИК

тестов и задач по общей физике

Авторская редакция

Отпечатано с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать 23.09.2024. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,23.

Тираж 10 экз. Заказ № 1698.

Типография
Издательского центра «Удмуртский университет»
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2.
Тел. 68-57-18