

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

Часть III

**КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ
ВОЛНОВАЯ ОПТИКА**

Утверждено

Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия
для студентов I - II курсов АВТФ, ФЛА, ФАМ, ФБ,
ФАЭМС, ФПМ дневной и вечерней форм обучения

Под редакцией Э.Б. Селивановой

НОВОСИБИРСК
2000

Селиванова Э.Б., Усольцева Н.Я., Вашуков С.И., Клягина Н.В., Шорохова М.А. Сборник задач по общей физике: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – Ч. III. Колебания и волны. Волновая оптика. – 106 с.

Учебное пособие «Сборник задач по общей физике» ч. III, так же как и предыдущие две части предназначены для студентов технических университетов. Сборник содержит задачи по темам разделов курса общей физики «Колебания и волны», «Волновая оптика». По каждой теме составлено 18 вариантов специально подобранных задач.

Совместное использование задачника и специально разработанных методических указаний к решению задач позволяет организовать любые формы обучения и применять на практических занятиях, для индивидуальных расчетно-графических заданий, на коллоквиумах и для самостоятельного изучения курса физики.

Рецензенты: *А.Н. Тюшев*, канд. физ.-мат. наук, проф. каф. физики СГГА,
В.Я. Чечуев, канд. техн. наук, доц.

Работа подготовлена на кафедре общей физики

© Новосибирский государственный
технический университет, 2000 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	6
9. Тема: ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. СЛОЖЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ.....	8
9.1. Вариант 1.....	8
9.2. Вариант 2.....	9
9.3. Вариант 3.....	10
9.4. Вариант 4.....	11
9.5. Вариант 5.....	12
9.6. Вариант 6.....	13
9.7. Вариант 7.....	14
9.8. Вариант 8.....	15
9.9. Вариант 9.....	16
9.10. Вариант 10.....	17
9.11. Вариант 11.....	18
9.12. Вариант 12.....	19
9.13. Вариант 13.....	20
9.14. Вариант 14.....	21
9.15. Вариант 15.....	22
9.16. Вариант 16.....	23
9.17. Вариант 17.....	24
9.18. Вариант 18.....	25
10. Тема: ЗАТУХАЮЩИЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ.....	26
10.1. Вариант 1.....	26
10.2. Вариант 2.....	27
10.3. Вариант 3.....	28
10.4. Вариант 4.....	28
10.5. Вариант 5.....	29
10.6. Вариант 6.....	30
10.7. Вариант 7.....	31
10.8. Вариант 8.....	31
10.9. Вариант 9.....	32
10.10. Вариант 10.....	33
10.11. Вариант 11.....	34
10.12. Вариант 12.....	34
10.13. Вариант 13.....	35
10.14. Вариант 14.....	36
10.15. Вариант 15.....	36
10.16. Вариант 16.....	37
10.17. Вариант 17.....	38
10.18. Вариант 18.....	38

11. Тема: ВОЛНЫ.....	40
11.1. Вариант 1.....	40
11.2. Вариант 2.....	41
11.3. Вариант 3.....	42
11.4. Вариант 4.....	43
11.5. Вариант 5.....	43
11.6. Вариант 6.....	44
11.7. Вариант 7.....	45
11.8. Вариант 8.....	46
11.9. Вариант 9.....	47
11.10. Вариант 10.....	47
11.11. Вариант 11.....	48
11.12. Вариант 12.....	49
11.13. Вариант 13.....	50
11.14. Вариант 14.....	51
11.15. Вариант 15.....	52
11.16. Вариант 16.....	53
11.17. Вариант 17.....	54
11.18. Вариант 18.....	55
12. Тема: ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА.....	56
12.1. Вариант 1.....	56
12.2. Вариант 2.....	57
12.3. Вариант 3.....	58
12.4. Вариант 4.....	60
12.5. Вариант 5.....	61
12.6. Вариант 6.....	62
12.7. Вариант 7.....	63
12.8. Вариант 8.....	65
12.9. Вариант 9.....	66
12.10. Вариант 10.....	67
12.11. Вариант 11.....	68
12.12. Вариант 12.....	70
12.13. Вариант 13.....	71
12.14. Вариант 14.....	73
12.15. Вариант 15.....	74
12.16. Вариант 16.....	75
12.17. Вариант 17.....	77
12.18. Вариант 18.....	78
13. Тема: ДИФРАКЦИЯ СВЕТА.....	80
13.1. Вариант 1.....	80
13.2. Вариант 2.....	80
13.3. Вариант 3.....	81
13.4. Вариант 4.....	82
13.5. Вариант 5.....	82
13.6. Вариант 6.....	83

13.7. Вариант 7.....	83
13.8. Вариант 8.....	84
13.9. Вариант 9.....	84
13.10. Вариант 10.....	85
13.11. Вариант 11.....	86
13.12. Вариант 12.....	86
13.13. Вариант 13.....	87
13.14. Вариант 14.....	87
13.15. Вариант 15.....	88
13.16. Вариант 16.....	89
13.17. Вариант 17.....	89
13.18. Вариант 18.....	90
 14. Тема: ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.....	 91
14.1. Вариант 1.....	91
14.2. Вариант 2.....	92
14.3. Вариант 3.....	92
14.4. Вариант 4.....	93
14.5. Вариант 5.....	93
14.6. Вариант 6.....	94
14.7. Вариант 7.....	95
14.8. Вариант 8.....	95
14.9. Вариант 9.....	96
14.10. Вариант 10.....	97
14.11. Вариант 11.....	98
14.12. Вариант 12.....	99
14.13. Вариант 13.....	99
14.14. Вариант 14.....	100
14.15. Вариант 15.....	101
14.16. Вариант 16.....	102
14.17. Вариант 17.....	103
14.18. Вариант 18.....	103
 Приложение 1. Интерферометр Жамена.....	 105
Приложение 2А. Двухлучевой интерферометр Майкельсона.....	105
Приложение 2Б. Двухлучевой интерферометр Майкельсона.....	106
Приложение 3. Звездный интерферометр Майкельсона.....	106

ПРЕДИСЛОВИЕ

Авторы стремились создать сборник задач, с помощью которого можно реализовать индивидуальную работу студентов.

Настоящий сборник задач соответствует учебной программе по курсу общей физики в техническом университете.

Первая часть сборника «Механика» издана в 1996 г.

Вторая часть «Электростатика. Электромагнетизм» издана в 1998 г.

В третью часть входят 3 темы раздела курса общей физики «Колебания и волны» и 3 темы раздела «Волновая оптика» (нумерация тем сквозная в первой, второй и третьей частях сборника).

9. Гармонические колебания. Сложение гармонических колебаний.

10. Затухающие и вынужденные колебания.

11. Волны.

12. Интерференция света.

13. Дифракция света.

14. Поляризация света.

В каждой теме по 18, примерно, одинаковых по сложности вариантов специально подобранных задач. При их составлении учитывались результаты психолого-педагогического анализа процесса решения физических задач, выполненного как составителями, так и другими авторами.

Предварительно была проделана большая работа по выделению основных типов задач. Значительная часть их уже публиковалась в методических работах «Варианты задач для индивидуальных заданий», от которых содержание данного сборника отличается большим числом вариантов и тщательностью отработки каждого из них, т.е. в каждом варианте еще раз продумана последовательность задач и иерархия их сложности, откорректированы условия задач и рисунки, заменены неудачные задачи и т.д.

В результате в каждом варианте:

1) представлены задачи всех выделенных в данной теме типов;

2) обязательно присутствуют задачи на развитие образных компонентов мышления (графические задачи, при решении которых используется перевод с «языка» формул на «язык» образов, и наоборот);

3) задачи расположены с нарастанием сложности, а в конце - повышенной сложности.

Такое построение вариантов, как показывает наш опыт, позволяет продуктивно работать студентам различного уровня подготовленности.

В сборнике не приводятся примеры решения задач и не даются ответы, так как задачник предполагается использовать также на коллоквиумах и экзаменах.

На текущих же занятиях преподаватель выдает лист ответов по данной теме и каждый студент может проверить правильность своего ответа.

Наиболее эффективно следует использовать этот задачник совместно со специально разработанными для него методическими указаниями.

1. Колебания и волны: Метод. указания к решению задач в курсе общей физики. - Новосибирск, 1995.

2. Волновая оптика: Метод. указания к решению задач в курсе общей физики. - Новосибирск, 1997.

В них в краткой наглядной форме (в виде таблиц и блок-схем) изложена теория, дана классификация задач, их алгоритмы, а также примеры решения задач всех типов, выделенных в данной теме.

На основе этих примеров могут быть решены и задачи других вариантов.

Совместное использование названных выше работ позволяет организовать любые формы обучения и применять их как на практических занятиях, так и для самостоятельного изучения физики.

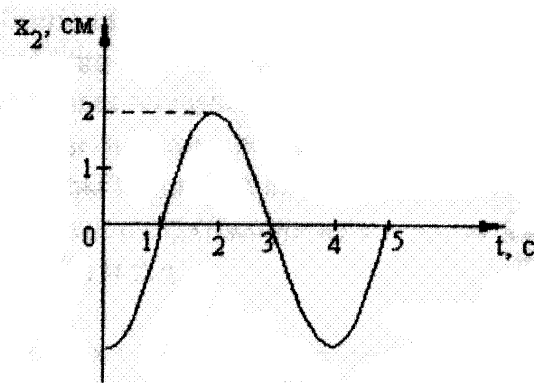
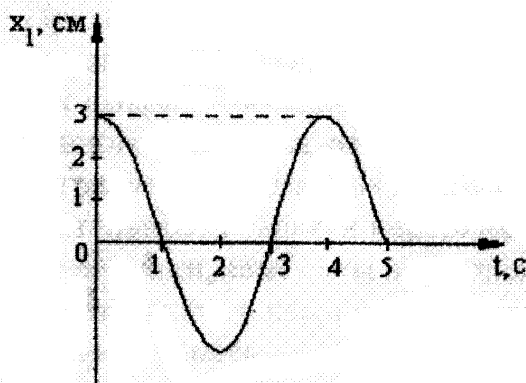
Канд. пед. наук, доцент,
чл.-корр. МААН

Селиванова Э.Б.

9. Тема: ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ. СЛОЖЕНИЕ
ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

9.1. Вариант 1

- 9.1.1. Напишите уравнение косинусоидального гармонического колебания с амплитудой 5 см, если за 1 минуту совершается 150 колебаний. В начальный момент времени смещение от положения равновесия равно 2,5 см.
- 9.1.2. Материальная точка совершает колебания по закону синуса. Максимальная сила, действующая на точку, $1,5 \cdot 10^{-3}$ Н, полная энергия колеблющейся точки $2,2 \cdot 10^{-5}$ Дж. Скорость в момент времени, когда смещение равно половине амплитуды и положительно, равна $8,2 \cdot 10^{-2}$ м/с. Определите массу колеблющейся точки, амплитуду и циклическую частоту колебаний.
- 9.1.3. Складываются два колебания: $x_1 = A_1(\cos \omega t + \varphi_1)$ и $x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2)$. Их графики имеют вид:

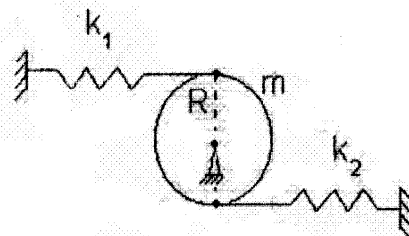


Изобразите векторную диаграмму сложения колебаний. Напишите уравнение результирующего колебания.

- 9.1.4. Биения возникают при сложении двух колебаний $x_1 = 0,01 \cos 4999 \pi t$ м и $x_2 = 0,01 \cos 5001 \pi t$ м. Найдите период биений и период результирующего колебания. Напишите уравнение результирующего колебания.

• 9.1.5. Колебательный контур состоит из конденсатора $C = 2 \cdot 10^{-8}$ Ф и катушки с общим числом витков $N = 300$ и индуктивностью $L = 5 \cdot 10^{-5}$ Гн. Активным сопротивлением контура можно пренебречь. Максимальный магнитный поток через один виток $\Phi_{\max} = 4 \cdot 10^{-7}$ Вб. Определите максимальный заряд на обкладках конденсатора и начальную фазу колебаний напряжения на нем, если в момент времени $t = 0$ энергия конденсатора равна магнитной энергии катушки.

• 9.1.6. К диску радиусом R и массой m прикреплены две пружины с коэффициентом жесткости k_1 и k_2 . Массы пружин малы. Напишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний системы. Определите период малых колебаний системы.



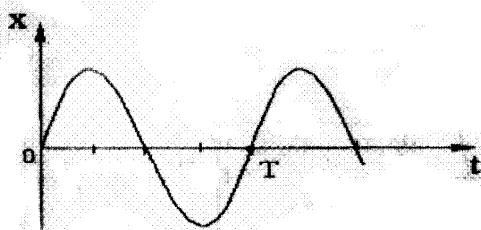
9.2. Вариант 2

• 9.2.1. Материальная точка совершает синусоидальные гармонические колебания с частотой 0,5 Гц. В начальный момент времени она находится в положении равновесия и движется со скоростью 20 см/с. Напишите уравнение колебаний.

• 9.2.2. Тело совершает гармонические колебания по закону $x = 50 \sin \left(\frac{\pi}{3} t + \alpha \right)$ см.

Определите амплитуду смещения, скорости, ускорения и силы, если масса тела 2 кг, начальная фаза равна 0. Найдите полную энергию тела.

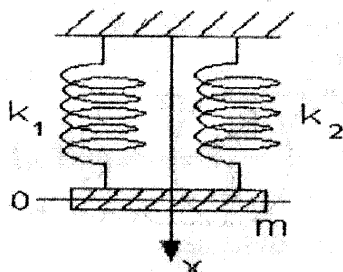
• 9.2.3. Дан график зависимости смещения колеблющейся точки от времени $x = A \sin (\omega t + \varphi_0)$. Изобразите графики зависимостей скорости и ускорения от времени.



• 9.2.4. Сложите аналитически и с помощью векторной диаграммы два гармонических колебания: $x_1 = 3 \sin \left(6t + \frac{\pi}{4} \right)$ см и $x_2 = 4 \sin \left(6t - \frac{\pi}{4} \right)$ см.

- 9.2.5. Уравнение изменения силы тока в колебательном контуре дано в виде $I = -0,02 \sin 400 \pi t$ А. Индуктивность катушки $L = 1$ Гн. Найдите: 1) период колебаний; 2) емкость конденсатора; 3) максимальную разность потенциалов на обкладках конденсатора; 4) максимальную энергию электрического поля; 5) максимальную энергию магнитного поля.

- 9.2.6. Тело массой m подвешено на двух пружинах одинаковой длины, но с разными упругими свойствами. Коэффициенты упругости k_1 и k_2 . Напишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний системы. Определите частоту малых колебаний тела.

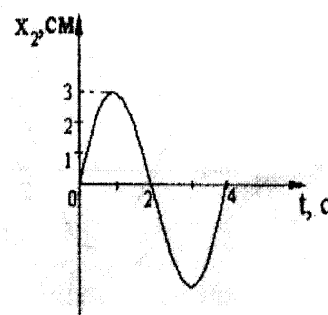
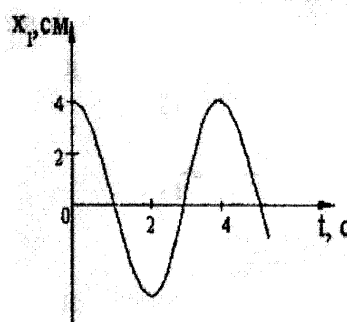


9.3. Вариант 3

- 9.3.1. Точка совершает косинусоидальные гармонические колебания с амплитудой $A = 5$ см, с частотой $\omega_0 = 2$ с⁻¹ и начальной фазой $\varphi_0 = 0$. Определите ускорение точки в тот момент, когда ее скорость $V = 8$ см/с.

- 9.3.2. Определите массу тела, совершающего гармонические колебания с амплитудой 0,1 м, частотой 2 Гц и начальной фазой $\frac{\pi}{6}$, если полная энергия равна $7,7 \cdot 10^{-2}$ Дж. Через сколько времени от начала движения кинетическая энергия равна потенциальной?

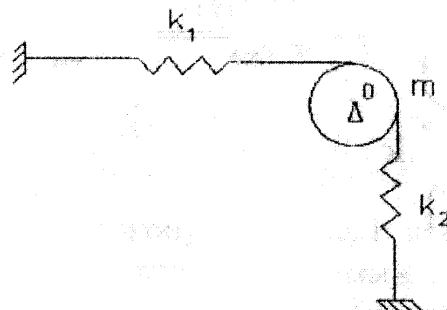
- 9.3.3. Даны графики гармонических колебаний $x_1(t)$ и $x_2(t)$. Изобразите векторную диаграмму сложения этих колебаний и напишите уравнение результирующего колебания.



- 9.3.4. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x = 3 \sin \pi t$ см и $y = -2 \cos \pi t$ см. Найдите уравнение траектории точки. Определите скорость и ускорение точки в момент времени $t = 0,5$ с.

- 9.3.5. Колебательный контур имеет индуктивность $L = 1,6 \text{ мГн}$, емкость $C = 0,04 \text{ мкФ}$ и максимальное напряжение на обкладках конденсатора $U_{c_m} = 200 \text{ В}$. Чему равна максимальная сила тока в контуре? Активное сопротивление контура мало.

- 9.3.6. Определите частоту малых колебаний сплошного диска массой m . Коэффициенты жесткости пружин k_1 и k_2 . Напишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний системы.

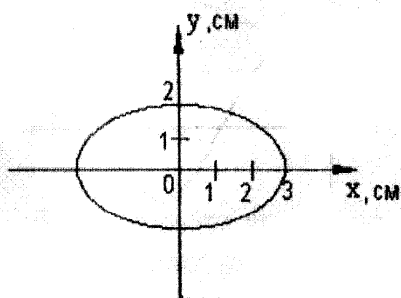


9.4. Вариант 4

- 9.4.1. Точка совершает гармонические колебания по закону синуса. Амплитуда колебания точки 10 см , максимальная скорость 20 см/с , начальная фаза равна $\frac{\pi}{6}$. Напишите уравнение колебаний и найдите максимальное ускорение точки.

- 9.4.2. Определите амплитуду гармонических колебаний материальной точки, если ее полная энергия $4 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$, а максимальное значение действующей на нее силы равно 2 Н .

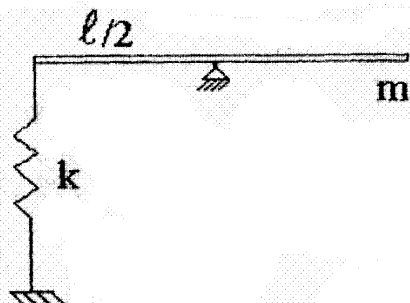
- 9.4.3. На рисунке изображена траектория движения точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях. Напишите уравнения складываемых колебаний и уравнение траектории точки, если частота колебаний одинакова и равна $\nu = 50 \text{ Гц}$.



- 9.4.4. При сложении двух гармонических колебаний одного направления результирующее колебание точки имеет вид $x = 1,5 \cos 2,1t \cos 50t \text{ см}$. Найдите циклические частоты складываемых колебаний и период биений результирующего колебания.

• 9.4.5. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 0,1$ Гн и конденсатора емкостью $C = 0,9$ мкФ. Сколько времени проходит от момента, когда конденсатор полностью разряжен, до момента, когда его энергия вдвое превышает энергию катушки? Активное сопротивление катушки равно 0.

• 9.4.6. Напишите дифференциальное уравнение, описывающее движение данной системы тел. Определите частоту малых колебаний. Длина стержня ℓ , масса m , жесткость пружины k .



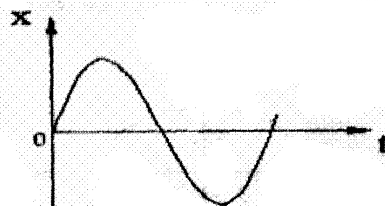
9.5. Вариант 5

• 9.5.1. Точка совершает гармонические колебания. Максимальная скорость точки 10 см/с, максимальное ускорение 100 см/с². Найдите период колебаний, амплитуду и напишите уравнение колебаний, если начальная фаза равна $\frac{\pi}{4}$.

• 9.5.2. Материальная точка массой 10 г колеблется по закону $x = 5 \sin \left(\frac{\pi}{5} t + \frac{\pi}{4} \right)$ см.

Найдите максимальную силу, действующую на точку, и полную энергию колеблющейся точки.

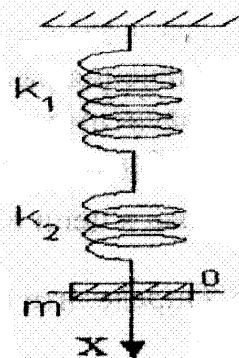
• 9.5.3. Дан график зависимости смещения математического маятника от времени. Изобразите график зависимости кинетической энергии маятника от времени.



• 9.5.4. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x = 2 \cos \omega t$ см и $y = 3 \sin 0,5 \omega t$ см. Найдите уравнение траектории движения точки.

• 9.5.5. Чему равно отношение энергии магнитного поля колебательного контура к энергии электрического поля для момента времени $t = \frac{T}{8}$?

- 9.5.6. Тело массой m подвешено на двух пружинах одинаковой длины, но с разными упругими свойствами. Коэффициенты упругости k_1 и k_2 . Определите частоту малых колебаний тела.

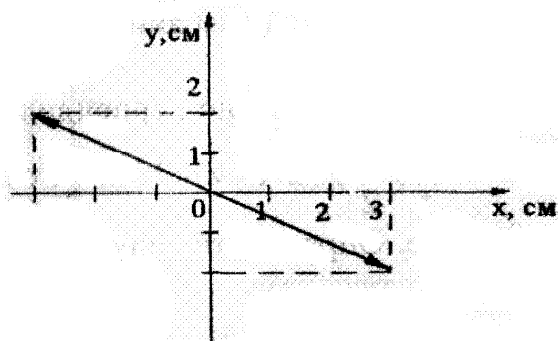


9.6. Вариант 6

- 9.6.1. Точка совершает гармонические колебания по закону косинуса. В некоторый момент времени смещение точки $x_1 = 5$ см. При увеличении фазы вдвое в тот же момент времени смещение стало $x_2 = 8$ см. Найдите амплитуду колебаний.

- 9.6.2. На доске лежит груз массой 10 кг. Доска совершает гармонические колебания по закону косинуса в вертикальном направлении с периодом $T = 0,5$ с и амплитудой $A = 2$ см. Определите величину силы давления груза на доску в момент времени $t = 2$ с и полную энергию колеблющегося груза. Начальная фаза колебаний равна нулю.

- 9.6.3. На рисунке изображена траектория движения точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях. Напишите уравнения складываемых колебаний и уравнение траектории, если частота колебаний одинакова и равна $\nu = 50$ Гц.



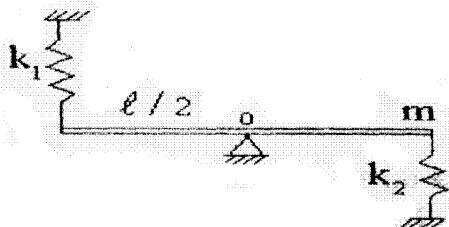
- 9.6.4. Напишите уравнение движения, получающегося в результате сложения двух одинаково направленных гармонических колебаний с одинаковыми периодами $T = 8$ с и одинаковой амплитудой 0,02 м. Разность фаз между этими колебаниями. Начальная фаза одного из этих колебаний равна 0.

- 9.6.5. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 0,025 мкФ и катушки с индуктивностью 1,015 Гн. Активным сопротивлением цепи пренебрегаем. Конденсатор заряжен количеством электричества $2,5 \cdot 10^{-6}$ Кл.

1) Напишите для данного контура уравнение (с числовыми коэффициентами) изменения разности потенциалов на обкладках конденсатора и силы тока в цепи в зависимости от времени.

2) Найдите значения разности потенциалов на обкладках конденсатора и силы тока в цепи в моменты времени $\frac{T}{8}$, $\frac{T}{4}$ и $\frac{T}{2}$ с.

- 9.6.6. Определите период малых колебаний стержня массой m , длиной ℓ относительно точки O . Коэффициенты жесткости пружин k_1 и k_2 .



9.7. Вариант 7

- 9.7.1. Точка совершает гармонические колебания. В некоторый момент времени смещение точки $x = 5$ см, скорость $V = 20$ см/с и ускорение $a = 80$ см/с². Определите амплитуду, циклическую частоту, период и фазу в данный момент времени.

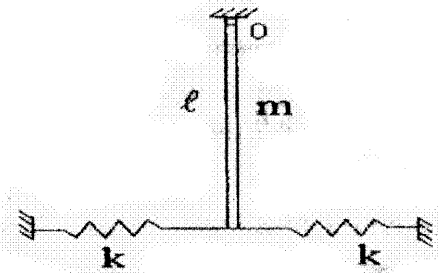
- 9.7.2. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид $x = 5 \sin 2t$ см. В момент, когда возвращающая сила впервые достигла значения $F = 5 \cdot 10^{-3}$ Н, точка обладает потенциальной энергией $E_p = 100$ мкДж. Найдите этот момент времени t и соответствующую ему фазу колебаний.

- 9.7.3. Тело массой 20 г участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями $x = 4 \cos \frac{\pi}{2} \cdot t$ см и $y = 2 \sin \frac{\pi}{2} \cdot t$ см. Напишите уравнение траектории тела и постройте ее. Определите силу, действующую на тело в момент времени $t = 1$ с.

- 9.7.4. В результате сложения двух колебаний, период одного из которых $T_1 = 0,02$ с, получают биения с периодом $T_6 = 0,2$ с. Определите период T_2 второго складываемого колебания.

- 9.7.5. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 0,025 мкФ и катушки индуктивностью $L = 1$ Гн. Активное сопротивление равно 0. Напишите уравнения изменения со временем энергии магнитного, электрического полей и полной энергии контура. Найдите значение энергии электрического поля, магнитного поля и полной энергии в моменты времени $\frac{T}{8}$, $\frac{T}{4}$, $\frac{T}{2}$. Начальная фаза колебаний $\phi_0 = 0$.

- 9.7.6. Найдите частоту малых колебаний тонкого однородного вертикального стержня массой m и длиной ℓ , который шарнирно укреплен в точке O . Суммарная жесткость пружин k . Массы пружин малы.

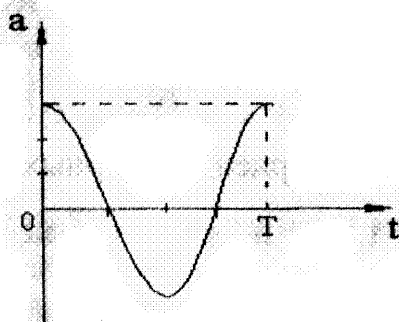


9.8. Вариант 8

- 9.8.1. Через сколько времени от начала движения точка, совершающая гармонические колебания по закону косинуса, сместится от положения равновесия на половину амплитуды? Период колебания $T = 24$ с, начальная фаза $\varphi_0 = \frac{\pi}{6}$.

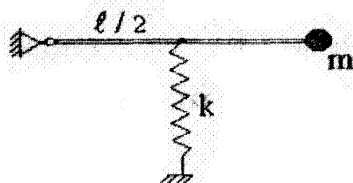
- 9.8.2. Материальная точка массой $0,01$ кг совершает гармонические колебания с периодом $T = 2$ с, начальная фаза колебаний $\varphi_0 = 0$. Полная энергия колеблющейся точки равна $W = 10^{-4}$ Дж. Напишите уравнение колебаний, найдите максимальную силу, действующую на точку.

- 9.8.3. Дан график зависимости ускорения колеблющейся точки от времени. Изобразите график зависимостей смещения и скорости точки от времени.



- 9.8.4. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, описываемых уравнениями $x = 4 \cos \pi t$ см и $y = 8 \cos (\pi t + \pi)$ см. Найдите уравнение траектории движения точки.
- 9.8.5. Заряд на обкладках конденсатора в колебательном контуре изменяется со временем по закону $q = 1,59 \cdot 10^{-4} \sin 200 \pi t$ Кл. Емкость конденсатора равна $C = 2,54 \cdot 10^{-5}$ Ф. Определите: 1) период колебаний; 2) индуктивность катушки; 3) максимальное напряжение на обкладках конденсатора; 4) максимальную энергию магнитного поля; 5) максимальную энергию электрического поля.

- 9.8.6. На конце тонкого стержня длиной ℓ закреплен груз массой m . К середине стержня прикреплена пружина жесткостью k . Массой пружины и стержня пренебречь, груз считать материальной точкой. Составьте дифференциальное уравнение, описывающее движение данной системы тел. Определите частоту малых колебаний.

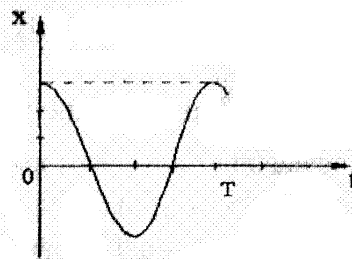


9.9. Вариант 9

- 9.9.1. Через сколько времени от начала движения точка, совершающая гармонические колебания согласно уравнению $x = 7 \sin 0,5 \pi t$ см, смещается от положения равновесия на амплитуду?

- 9.9.2. Амплитуда гармонического колебания материальной точки 5 см, масса 10 г, полная энергия колебаний $3 \cdot 10^{-5}$ Дж. Напишите уравнение гармонического колебания этой точки, если начальная фаза равна 60° .

- 9.9.3. Дан график зависимости смещения колеблющейся точки от времени. Изобразите график зависимостей упругой силы, действующей на точку, и кинетической энергии от времени.

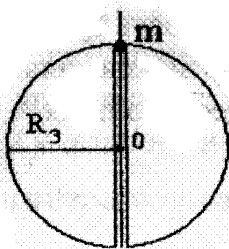


- 9.9.4. Точка одновременно участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, описываемых уравнениями $x = 2 \cos \frac{\pi}{2} \cdot t$ см и $y = -\cos \pi t$ см.

Напишите уравнение траектории точки.

- 9.9.5. Энергия свободных незатухающих колебаний, происходящих в колебательном контуре, равна 0,2 мДж. При медленном раздвигании пластин конденсатора частота колебаний увеличилась в $n = 2$ раза. Определите работу, совершенную против сил электрического поля.

- 9.9.6. Предположим, что Земля просверлена по диаметру. В образовавшуюся шахту без начальной скорости у поверхности Земли опустили небольшое тело массой m . Напишите уравнение гармонических колебаний тела. Определите его скорость в центре Земли. Сопротивлением воздуха пренебречь.

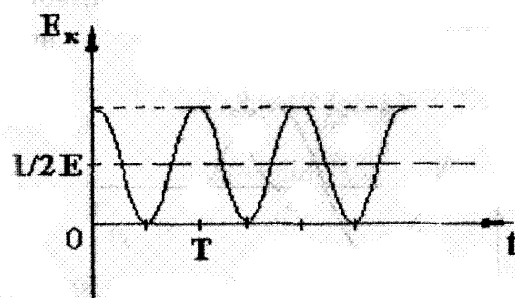


9.10. Вариант 10

• 9.10.1. Напишите уравнение синусоидального гармонического колебания, если максимальное ускорение $a_m = 49,3 \text{ см/с}^2$, период колебаний $T = 2 \text{ с}$, смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени равно 25 мм .

• 9.10.2. Материальная точка массой 5 г совершает гармонические колебания по закону синуса с частотой $0,5 \text{ Гц}$ и начальной фазой $\varphi_0 = 0$. Амплитуда колебаний 3 см . Определите: а) скорость точки в момент времени, когда ее смещение положительно и равно $1,5 \text{ см}$; б) максимальную силу, действующую на точку; в) полную энергию колеблющейся точки.

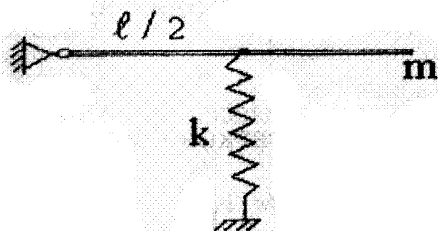
• 9.10.3. Дан график зависимости кинетической энергии точки, колеблющейся по гармоническому закону. Изобразите график зависимости смещения точки от времени.



• 9.10.4. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаниях, описываемых уравнениями $x = 0,02 \cos \pi t \text{ м}$ и $y = 0,05 \cos \frac{\pi}{2} \cdot t \text{ м}$. Напишите уравнение траектории точки.

• 9.10.5. Колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 8 \text{ пФ}$ и катушку с индуктивностью $L = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$. Каково максимальное напряжение на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока 40 мА ?

• 9.10.6. К середине стержня длиной ℓ и массой m прикреплена невесомая пружина жесткостью k . Составьте дифференциальное уравнение малых колебаний системы и определите частоту колебаний.



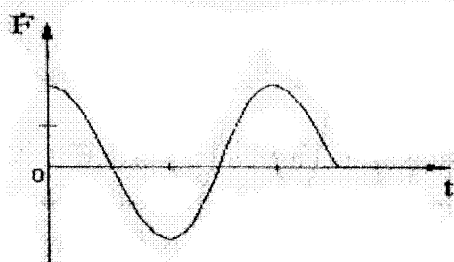
9.11. Вариант 11

- 9.11.1. Точка совершает гармонические колебания. При смещении от положения равновесия равном $x_1 = 2,4$ см, скорость точки $V_1 = 3$ см/с, а при смещении $x_2 = 2,9$ см, скорость $V_2 = 2$ см/с. Найдите амплитуду и период данного колебания, если начальная фаза колебаний равна нулю.

- 9.11.2. Тело совершает гармонические колебания по закону $x = 70 \cos \left(\frac{\pi}{3} t + \varphi_0 \right)$ см.

Определите амплитуду смещения, скорости, ускорения и силы, если масса тела 1 кг, начальная фаза $\frac{\pi}{6}$. Найдите полную энергию тела.

- 9.11.3. Дан график зависимости упругой силы, действующей на точку, от времени. Изобразите графики зависимостей скорости и ускорения точки от времени.

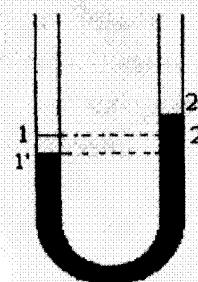


- 9.11.4. Складываются три гармонических колебания с равными периодами $T = 2$ с и амплитудами $A = 3$ см. Начальные фазы колебаний $\varphi_{01} = 0$, $\varphi_{02} = \frac{\pi}{3}$, $\varphi_{03} = \frac{2\pi}{3}$. Изобразите векторную диаграмму сложения колебаний. Напишите уравнение результирующего колебания.

- 9.11.5. Колебательный контур содержит катушку с общим числом витков $N = 100$ и индуктивностью $L = 10$ мГн и конденсатор емкостью $C = 1$ нФ. Максимальное напряжение U_{cm} на обкладках конденсатора составляет 100 В.

Определите максимальный магнитный поток, пронизывающий один виток катушки.

- 9.11.6. В U-образной трубке находится жидкость. При кратковременном изменении давления жидкости в одном из колен уровни жидкости сместились и столбик жидкости начал колебаться. Определите частоту колебаний жидкости. Трением жидкости о стенки пренебречь.



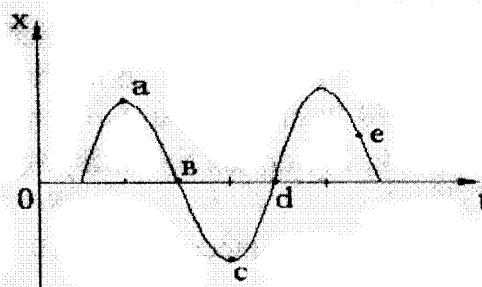
9.12. Вариант 12

• 9.12.1. Частица совершает синусоидальные гармонические колебания с начальной фазой $\varphi_0 = 0$. Циклическая частота колебаний $\omega_0 = 4 \text{ с}^{-1}$. В некоторый момент времени смещение частицы $x_1 = 25 \text{ см}$ и ее скорость $V_1 = 100 \text{ см/с}$. Найдите смещение и скорость частицы через $t = 2,4 \text{ с}$ после этого момента.

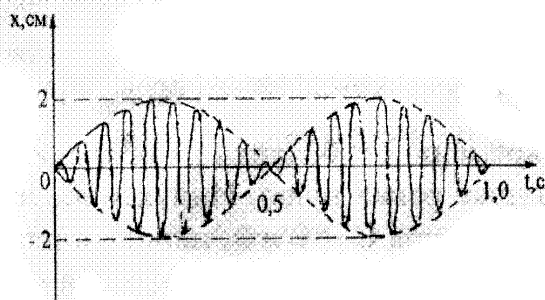
• 9.12.2. Найдите амплитуду гармонических колебаний точки, если ее полная энергия равна $8 \cdot 10^{-2} \text{ Дж}$, а действующая на нее сила при смещении, равном $1/4$ амплитуды, равна 2 Н .

• 9.12.3. Точка совершает гармонические колебания, описываемые уравнением $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$. На рисунке изображен график зависимости смещения точки от времени.

Начальная фаза колебания $\varphi_0 = \frac{3\pi}{2}$. Какая точка (a, b, c, d, e) соответствует началу отсчета времени $t = 0$?

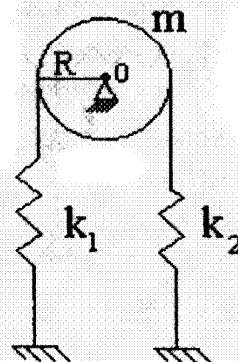


• 9.12.4. Дан график сложного колебания (биений), являющегося суммой двух косинусоидальных колебаний. Определите частоты и амплитуды складываемых колебаний.



• 9.12.5. Определите индукцию магнитного поля внутри катушки в колебательном контуре в момент времени $t = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ с}$, если при $t = 0$ заряд на обкладках конденсатора $q = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$, а сила тока в катушке $I = 0$. Индуктивность катушки $L = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$, число витков на 1 м длины катушки $n = 10^3 \text{ м}^{-1}$, емкость конденсатора $C = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$. Активное сопротивление контура мало.

• 9.12.6. Невесомая, нерастяжимая нить соединяет две пружины с коэффициентами жесткости k_1 и k_2 . Нить перекинута через блок массой m и радиусом R . Составьте дифференциальное уравнение, описывающее движение данной системы тел. Определите период гармонических колебаний данной системы.



9.13. Вариант 13

• 9.13.1. Точка совершает гармонические колебания по закону косинуса. Максимальное смещение точки равно 12 см, максимальная скорость равна 24 см/с. Напишите уравнение колебаний и найдите максимальное ускорение точки, если начальная фаза равна $3\pi/4$.

• 9.13.2. Материальная точка массой 20 г колеблется по закону $x = 10 \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{6}\right)$ см.

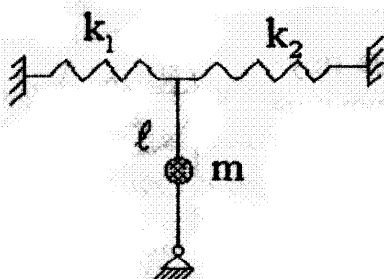
Найдите максимальную силу, действующую на точку и полную энергию колеблющейся точки.

• 9.13.3. Результирующее колебание, получающееся при сложении двух гармонических колебаний одного направления, описывается уравнением вида $x = A \cos 2t \cos 45t$ см. Определите: 1) циклические частоты складываемых колебаний; 2) период биений результирующего колебания.

• 9.13.4. Тело массой $m = 10$ г участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях: $x = 4 \sin \frac{\pi}{4}t$ см и $y = 3 \cos \frac{\pi}{4}t$ см. Определите скорость тела в момент времени $t = 1$ с и силу, действующую на тело в этот момент. Найдите уравнение траектории результирующего колебания.

• 9.13.5. В колебательном контуре в момент времени $t = 0$ заряд на обкладках конденсатора $q = 2,5$ нКл, а сила тока в катушке равна нулю. Индуктивность катушки $L = 0,5$ мГн, емкость плоского конденсатора $C = 8$ пФ, площадь пластин $S = 10$ см², среда - вакуум. Определите: 1) разность потенциалов на обкладках конденсатора и напряженность электрического поля в конденсаторе в момент времени $t = \frac{T}{8}$ с; 2) максимальную силу тока в контуре.

• 9.13.6. В середине невесомого нерастяжимого стержня длиной ℓ закреплен груз массой m . К концу стержня прикреплены пружины жесткостью k_1 и k_2 . Массой пружин пренебречь, груз считать материальной точкой. Составьте дифференциальное уравнение, описывающее движение данной системы тел. Определите частоту малых колебаний.



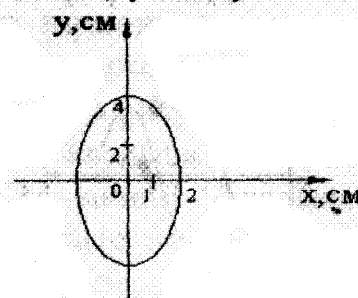
9.14. Вариант 14

- 9.14.1. Тело совершает гармонические колебания по закону $x = 0,03 \cos \left(4\pi t + \frac{\pi}{3} \right)$ м.

Определите амплитуду скорости, ускорения и силы, если масса тела 0,4 кг. Найдите полную энергию тела.

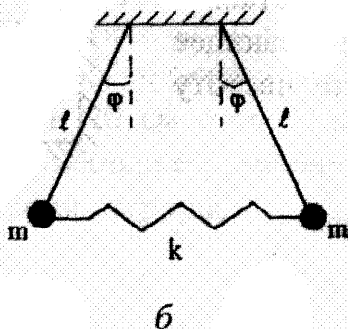
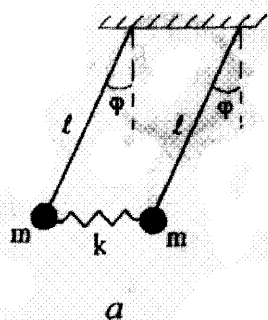
- 9.14.2. Груз массой 2 кг совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом $T = 0,8$ с, амплитудой $A = 0,5$ см и начальной фазой $\varphi_0 = 0$. Определите величину силы, действующей на груз в момент времени $t = 0,2$ с.

- 9.14.3. На рисунке изображена траектория движения точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях. Напишите уравнение складываемых колебаний и уравнение траектории, если частота колебаний одинакова и равна $\nu = 25$ Гц. Укажите положение точки на траектории в момент времени $t = 0$ и направление движения точки.



- 9.14.4. При сложении двух одинаково направленных гармонических колебаний одинаковой частоты с амплитудами 5 см и 7 см получают результирующее колебание с амплитудой 9 см. Определите: 1) разность фаз складываемых колебаний; 2) наибольшую скорость результирующего колебания, если наибольшая скорость первого колебания 0,5 м/с.

- 9.14.5. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 2 \cdot 10^{-8}$ Ф и катушки с общим числом витков $N = 300$ индуктивностью $L = 5 \cdot 10^{-5}$ Гн. Омическим сопротивлением контура можно пренебречь. Максимальное напряжение на обкладках конденсатора $U_{Cm} = 120$ В. Определите максимальный магнитный поток через один виток и начальную фазу колебаний напряжения, если в момент времени $t = 0$ энергия конденсатора равна магнитной энергии катушки.



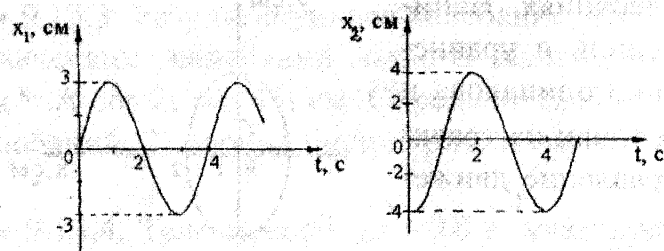
- 9.14.6. Два математических маятника длиной ℓ связаны невесомой пружиной жесткостью k . Определите частоты малых колебаний двух связанных маятников в случаях, когда маятники отклонены на равные углы в одну сторону (колебания в фазе) и в разные стороны (колебания в противофазе).

9.15. Вариант 15

• 9.15.1. Через сколько времени от начала движения, точка, совершающая гармонические колебания по закону синуса, сместится от положения равновесия на $1/3$ амплитуды? Период колебания 20 с, начальная фаза равна нулю.

• 9.15.2. Точка совершает гармонические колебания, уравнение которых имеет вид $x = 10 \cos 4t$ см. В момент времени, когда возвращающая сила впервые достигает значения $F = 10^{-3}$ Н, точка обладает потенциальной энергией $E_p = 2 \cdot 10^{-5}$ Дж. Найдите этот момент времени и соответствующую ему фазу колебаний.

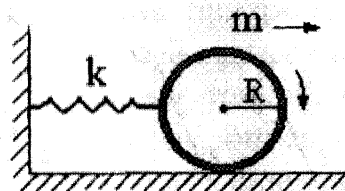
• 9.15.3. Даны графики зависимости смещения колеблющейся точки от времени $x_1(t)$ и $x_2(t)$. Изобразите векторную диаграмму сложения колебаний и напишите уравнение результирующего колебания.



• 9.15.4. Напишите уравнение результирующего колебания, получающегося в результате сложения двух взаимно перпендикулярных колебаний с одинаковой частотой $\nu_1 = \nu_2 = 5$ Гц и одинаковой начальной фазой $\phi_1 = \phi_2 = 60^\circ$. Амплитуда одного из колебаний $A_1 = 0,1$ м, амплитуда другого $A_2 = 0,05$ м. Изобразите траекторию движения точки.

• 9.15.5. Определите плотность энергии электрического поля внутри плоского конденсатора в колебательном контуре и напряжение на катушке в момент времени $t = 0,06$ мкс. В момент времени $t = 0$ заряд на обкладках конденсатора $q = 2$ нКл, а сила тока в катушке индуктивностью $L = 0,7$ мГн равна нулю. Емкость конденсатора $C = 1$ пФ, площадь пластин $S = 5$ см², среда - вакуум.

• 9.15.6. Пружина жесткостью k присоединена к оси колеса, которое катится без проскальзывания. Масса колеса m равномерно распределена по ободу радиусом R . Составьте дифференциальное уравнение, описывающее движение данной системы. Определите частоту малых колебаний.

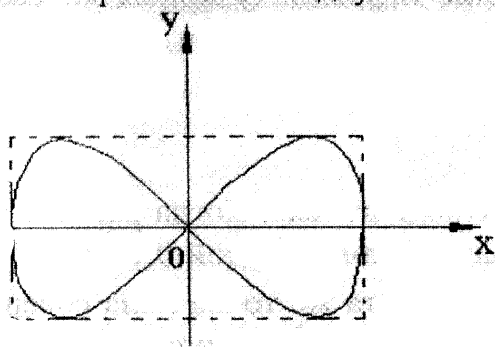


9.16. Вариант 16

• 9.16.1. За какой промежуток времени точка, совершающая гармоническое колебание согласно уравнению $x = 10 \cos \pi t$ см, смещается от положения равновесия на амплитуду?

• 9.16.2. Материальная точка массой $0,02$ кг совершает колебания по закону синуса с частотой $\nu = 0,5$ Гц и начальной фазой $\varphi_0 = 0$. Полная энергия колеблющейся точки равна $5 \cdot 10^{-4}$ Дж. Напишите уравнение колебаний, найдите максимальную силу, действующую на точку.

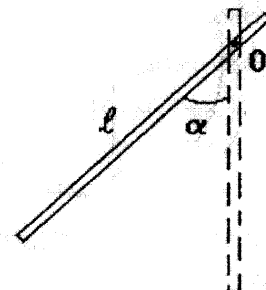
• 9.16.3. При сложении двух взаимно перпендикулярных гармонических колебаний траекторией движения является фигура, изображенная на рисунке. Каково соотношение частот складываемых колебаний? Напишите уравнение складываемых колебаний. Укажите на траектории начальное положение точки и направление ее движения.



• 9.16.4. Точка участвует одновременно в четырех гармонических колебаниях одного направления: $x_1 = A \cos \omega t$, $x_2 = \frac{A}{2} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$, $x_3 = \frac{A}{4} \cos(\omega t + \pi)$, $x_4 = \frac{A}{8} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$. С помощью векторной диаграммы сложения колебаний найдите амплитуду и фазу результирующего колебания.

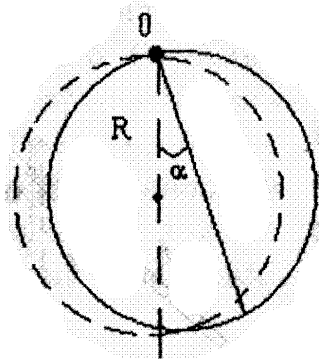
• 9.16.5. Ток в колебательном контуре изменяется по закону $I = 0,02 \sin 400 \pi t$ А. Индуктивность контура 1 Гн. Определите емкость контура и максимальную энергию электрического поля.

• 9.16.6. Однородный стержень длиной $\ell = 1$ м совершает малые колебания в вертикальной плоскости относительно горизонтальной оси. Ось проходит через точку O , находящуюся на расстоянии 20 см от верхнего конца стержня. Составьте дифференциальное уравнение колебаний и найдите период колебаний стержня.



9.17. Вариант 17

- 9.17.1. Напишите уравнение гармонического косинусоидального колебания, если максимальная скорость колеблющейся точки $12,56 \text{ см/с}$, период колебаний 3 с , смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени 30 мм .
- 9.17.2. Амплитуда гармонических колебаний материальной точки 10 см , масса 10 г , полная энергия $6 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$. Напишите уравнение гармонических колебаний, если начальная фаза равна 30° .
- 9.17.3. Изобразите траекторию двух взаимно перпендикулярных колебаний, если частота колебаний по оси «х» в 2 раза больше, чем по оси «у». Напишите уравнения складываемых колебаний. Укажите на траектории начальное положение точки и направление ее движения.
- 9.17.4. В помещении установлены два электродвигателя. Когда работает первый, некоторая точка пола совершает колебания с амплитудой $0,1 \text{ мм}$ и частотой 1410 мин^{-1} . Когда работает второй двигатель, та же точка пола совершает колебания с той же амплитудой и частотой 1440 мин^{-1} . Напишите уравнение результирующего колебания точки, если оба двигателя будут работать одновременно.
- 9.17.5. В колебательном контуре, состоящем из индуктивности и емкости, максимальный ток в катушке 1 А , а максимальное напряжение на конденсаторе 1000 В . В начальный момент времени ($t = 0$) заряд на конденсаторе равен 0, а в момент времени $t = 1,57 \cdot 10^{-6} \text{ с}$, энергия в катушке становится равной энергии в конденсаторе. Вычислите период колебаний контура и полную энергию контура.



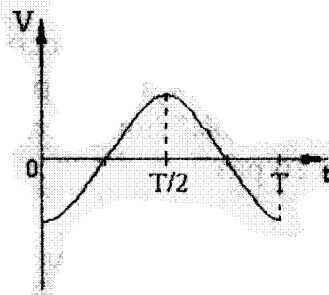
- 9.17.6. Однородный диск радиусом $R = 10 \text{ см}$ совершает колебания вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через точку O . Составьте дифференциальное уравнение малых колебаний диска и определите их частоту.

9.18. Вариант 18

• 9.18.1. Точка совершает гармонические колебания по закону синуса с амплитудой 10 см, с частотой $\nu_0 = 0,5$ Гц и начальной фазой 30° . Определите ускорение точки в тот момент времени, когда ее скорость равна 20 см/с.

• 9.18.2. Материальная точка массой 10 г совершает гармонические колебания по закону синуса с периодом $T = 2$ с. Амплитуда колебаний 5 см, начальная фаза $\varphi_0 = 0$. Определите: 1) скорость в тот момент времени, когда смещение равно 2,5 см и положительно; 2) максимальную силу, действующую на тело; 3) полную энергию колеблющейся точки.

• 9.18.3. Дан график зависимости скорости пружинного маятника от времени. Изобразите график зависимости потенциальной энергии от времени.



• 9.18.4. Точка участвует одновременно в трех гармонических колебаниях, описываемых уравнениями $x_1 = \cos \omega t$ см, $x_2 = 2\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$ см,

$x_3 = 3\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{3}\right)$ см. С помощью векторной диаграммы найдите амплитуду и фазу результирующего колебания и напишите его уравнение.

• 9.18.5. В колебательном контуре, состоящем из катушки индуктивности $L = 10$ мГн и конденсатора емкостью $C = 5$ мкФ, в начальный момент времени заряд на конденсаторе равен нулю, а сила тока в катушке равна 20 мА. Число витков на 1 м длины катушки $n = 2 \cdot 10^3$ м⁻¹. Определите в момент времени $t = 2 \cdot 10^{-4}$ с: 1) силу тока в контуре; 2) заряд на конденсаторе; 3) плотность энергии магнитного поля внутри катушки; 4) магнитный поток, пронизывающий соленоид. Активным сопротивлением контура пренебречь.

• 9.18.6. Тонкий обруч, подвешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, совершает малые колебания в плоскости, параллельной стене. Запишите дифференциальное уравнение этих колебаний и определите их период. Радиус обруча 30 см.

10. Тема: ЗАТУХАЮЩИЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ

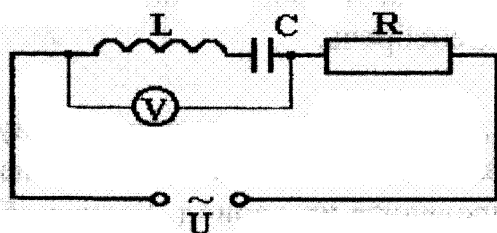
10.1. Вариант 1

• 10.1.1. Груз массой $m = 0,5$ кг подвешен к пружине, жесткость которой $k = 32$ Н/м, и совершает затухающие колебания. Определите период затухающих колебаний, если за время двух колебаний $N = 2$ амплитуда уменьшилась в 20 раз.

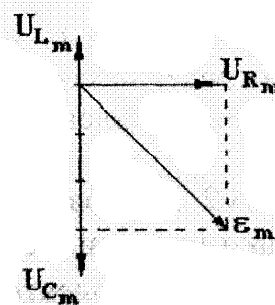
• 10.1.2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 7$ мкФ и катушки индуктивностью $L = 0,23$ Гн. Сопротивление контура $R = 40$ Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества $q_{m0} = 5,6 \cdot 10^{-4}$ Кл. Найдите: а) период колебаний контура; б) логарифмический декремент затухания колебаний. Напишите уравнение зависимости разности потенциалов на обкладках конденсатора от времени.

• 10.1.3. Гиля массой $m = 400$ г, подвешенная на спиральной пружине жесткостью $k = 40$ Н/м, опущена в масло. Коэффициент сопротивления r для этой системы составляет $0,5$ кг/с. На верхний конец пружины действует вынуждающая сила, изменяющаяся по закону $F = 0,5 \cos \omega t$ Н. Определите: а) амплитуду вынужденных колебаний, если частота вынуждающей силы вдвое меньше собственной частоты незатухающих колебаний; б) частоту вынуждающей силы, при которой амплитуда вынужденных колебаний максимальна; в) резонансную амплитуду.

• 10.1.4. В цепи переменного тока с частотой $\omega = 314$ с⁻¹ вольтметр показывает нуль при $L = 0,2$ Гн. Определите емкость конденсатора.



- 10.1.5. На рисунке приведена векторная диаграмма напряжений в цепи переменного тока. Нарисуйте диаграмму напряжений, если частота тока увеличится в 2 раза, а амплитудное значение ε_m такое же. Определите, как изменится амплитуда силы тока I_m .



10.2. Вариант 2

- 10.2.1. Чему равен логарифмический декремент затухания λ и добротность системы Q , если амплитуда затухающих колебаний уменьшилась в e^2 раз за 50 колебаний? Чему равен коэффициент затухания β , если амплитуда уменьшилась в e^2 раз за 50 секунд?
- 10.2.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 25$ мГн, конденсатора емкостью $C = 10$ мкФ и резистора. Определите сопротивление резистора, если известно, что амплитуда тока в контуре уменьшилась в e раз за 16 полных колебаний.
- 10.2.3. Тело массой 10 г совершает затухающие колебания, описываемые уравнением $x = 10e^{-6t} \cos 10,5 \pi t$ см. Под действием внешней периодической силы возникли вынужденные колебания $X = 5 \cos (10 \pi t + \phi)$ см. Определите циклическую частоту свободных незатухающих колебаний, разность фаз между действующей силой и смещением. Запишите уравнение внешней периодической силы.
- 10.2.4. В цепь переменного тока с действующим напряжением 220 В включены последовательно емкость C , активное сопротивление R и индуктивность L . Найдите падение напряжения U_{R_m} на омическом сопротивлении, если известно, что падение напряжения на конденсаторе $U_{C_m} = 2U_{R_m}$ и падение напряжения на индуктивности $U_{L_m} = 3U_{R_m}$.
- 10.2.5. При какой скорости поезда рессоры его вагонов будут особенно сильно колебаться под действием толчков колес о стыки рельс, если длина рельс 12,5 м, нагрузка на рессору равна 5,5 Т и если рессора прогибается на 16 мм при нагрузке в 1 тонну?

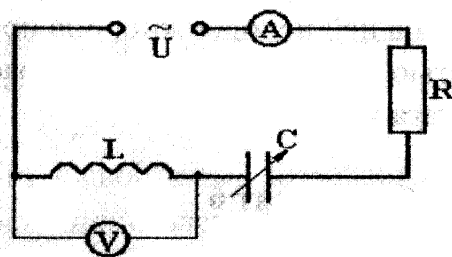
10.3. Вариант 3

- 10.3.1. Энергия затухающих колебаний маятника, происходящих в некоторой среде, за время $t = 2$ мин уменьшилась в 100 раз. Определите коэффициент сопротивления, если масса маятника $m = 0,1$ кг.
- 10.3.2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 5 мкФ, катушки индуктивностью $0,1$ Гн и сопротивлением 5 Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества $q_{m_0} = 5 \cdot 10^{-6}$ Кл. Напишите уравнение зависимости разности потенциалов на обкладках конденсатора от времени. Найдите значения разности потенциалов на обкладках конденсатора в моменты времени $t = \frac{T}{8}, \frac{T}{4}, \frac{T}{2}$. Постройте график $U_c = f(t)$ в пределах одного периода.
- 10.3.3. Человек массой 60 кг качается на качелях. Его движение описывается уравнением $x_1 = 2e^{-0,01t} \sin 2\pi t$ м. На качели начала действовать сила, изменяющаяся по закону $F = 500 \sin 1,2 \pi t$ Н. Напишите уравнение движения человека под действием указанной силы (с числовыми коэффициентами).
- 10.3.4. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 6$ мГн и конденсатор емкостью $C = 1,2$ нФ. Для поддержания в колебательном контуре незатухающих гармонических колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе $U_{C_m} = 2$ В необходимо подводить среднюю мощность $P = 0,2$ мВт. Считая затухание колебаний в контуре достаточно малым, определите добротность данного контура.
- 10.3.5. Амплитуды смещений вынужденных гармонических колебаний при частотах $\omega_1 = 400$ с⁻¹ и $\omega_2 = 600$ с⁻¹ равны между собой. Найдите частоту, при которой амплитуда смещения максимальна.

10.4. Вариант 4

- 10.4.1. Механическая система, имеющая период собственных колебаний T_0 , в условиях действия диссипативных сил изменяет период колебаний до значения $T_3 = \sqrt{1,01} T_0$. Найдите логарифмический декремент затухания системы.
- 10.4.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 5,0$ мГн и конденсатора емкостью $C = 0,2$ мкФ. При каком логарифмическом декременте и омическом сопротивлении цепи энергия уменьшится на порядок за три полных колебания?
- 10.4.3. При очень малой частоте вынужденных колебаний по сравнению с частотой собственных незатухающих колебаний ($\omega_{\text{вын.}} \ll \omega_0$) амплитуда колебаний $A = 0,001$ м. Логарифмический декремент затухания $\lambda = 0,01$. Определите амплитуду вынужденных колебаний при резонансе $A_{\text{рез.}}$.

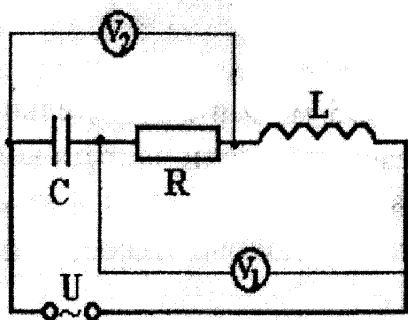
- 10.4.4. Цепь переменного тока с действующим значением напряжения $U_d = 220$ В и частотой $\nu = 50$ Гц состоит из активного сопротивления $R = 22$ Ом, индуктивности $L = 318$ мГн и переменной емкости. Емкость цепи подбирается так, чтобы показания вольтметра, включенного параллельно индуктивности, стало максимальным. Найдите показания вольтметра и амперметра для этого условия. Полным сопротивлением амперметра и ответвлением тока в цепь вольтметра можно пренебречь.



- 10.4.5. Амплитуды скорости вынужденных колебаний при частотах вынуждающей силы $\nu_1 = 200$ Гц и $\nu_2 = 300$ Гц равны между собой. Принимая, что амплитуда вынуждающей силы в обоих случаях одна и та же, найдите частоту, соответствующую резонансу скорости.

10.5. Вариант 5

- 10.5.1. При наблюдении затухающих колебаний выяснилось, что для двух последовательных колебаний амплитуда второго меньше амплитуды первого на 60 %. Период затухающих колебаний $T_3 = 0,5$ с. Определите: а) коэффициент затухания β ; б) для тех же условий частоту ν_0 незатухающих колебаний.
- 10.5.2. Определите логарифмический декремент, при котором энергия колебательного контура за пять полных колебаний уменьшается в 8 раз.
- 10.5.3. Груз массой 0,5 кг, подвешенный на пружине, коэффициент упругости которой $k = 50$ Н/м, помещен в масло. Коэффициент трения в масле $r = 0,5$ кг/с. На верхний конец пружины действует вынуждающая сила, меняющаяся по закону $F = 2 \sin \omega t$ Н. Определите: а) при какой частоте ω вынуждающей силы амплитуда вынужденных колебаний будет максимальна; б) чему равна максимальная амплитуда колебаний?
- 10.5.4. В цепь переменного тока с частотой $\nu = 50$ Гц и действующим значением напряжения $U_d = 300$ В последовательно включены конденсатор, резистор сопротивлением $R = 50$ Ом и катушка индуктивностью $L = 0,1$ Гн. Отношение показаний вольтметров V_1 и V_2 равно $\frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{2}$. Определите: а) емкость конденсатора; б) действующее значение силы тока.



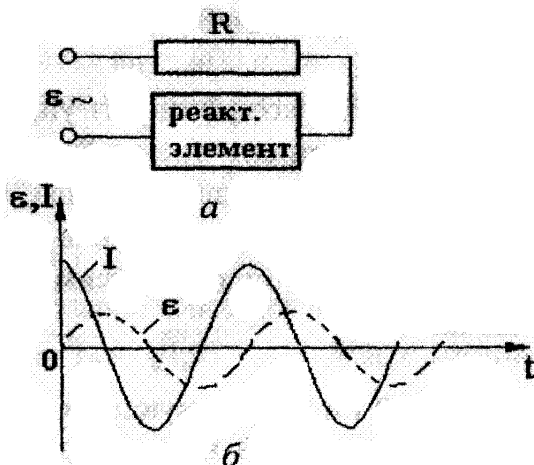
Определите: а) емкость конденсатора; б) действующее значение силы тока.

- 10.5.5. Через ручей переброшена длинная упругая доска. Когда мальчик стоял на ней неподвижно, она прогибалась на 0,1 м. Когда же он пошел со скоростью 3,6 км/ч, то доска так раскачалась, что он упал в воду. Каков был размер шага мальчика?

10.6. Вариант 6

- 10.6.1. За время, в течение которого система совершает $N = 100$ колебаний, амплитуда колебаний уменьшается в 5 раз. Найдите добротность системы Q .
- 10.6.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 10$ мГн, конденсатора емкостью $C = 0,1$ мкФ и резистора сопротивлением $R = 20$ Ом. Через сколько полных колебаний амплитуда тока в контуре уменьшится в e раз?
- 10.6.3. Груз массой 20 г, подвешенный на пружине жесткостью $k = 50$ Н/м, совершает вынужденные колебания в вязкой среде под действием периодической силы $F = F_m \cos \omega t$. При резонансной частоте $\nu_{\text{рез.}} = 7,88$ Гц амплитуда колебаний груза $A_{\text{рез.}} = 2$ см. Определите: а) коэффициент затухания колебаний β ; б) частоту ν собственных затухающих колебаний; в) амплитуду вынуждающей силы F_m .

- 10.6.4. В цепь с переменной ЭДС включены, как показано на рисунке (а), активное сопротивление и реактивный элемент (емкость или индуктивность). Графики зависимости ЭДС и силы тока от времени представлены на рисунке (б). Определите: индуктивность или емкость включены в цепь?



- 10.6.5. Найдите заряд конденсатора емкостью 0,585 мкФ в колебательном контуре, питаемом внешней ЭДС $\epsilon_m = 10$ В, при резонансе, если частота колебаний внешней ЭДС равна 0,9 собственной частоты контура.

10.7. Вариант 7

- 10.7.1. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 1 минуту уменьшилась в 3 раза. Определите, во сколько раз она уменьшится за 4 минуты.
- 10.7.2. На сколько процентов отличается частота ω свободных затухающих колебаний контура с добротностью $Q = 5$ от собственной частоты ω_0 незатухающих колебаний этого контура?
- 10.7.3. Шарик массой $m = 5 \cdot 10^{-2}$ кг подвешен на невесомой пружине с коэффициентом жесткости $k = 20$ Н/м. Под действием вынуждающей силы устанавливаются вынужденные колебания с частотой $\omega = 25$ с⁻¹. При этом смещение шарика отстает по фазе от вынуждающей силы на $\varphi = \frac{3\pi}{4}$. Найдите логарифмический декремент затухания λ .
- 10.7.4. В цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В и частотой 50 Гц включена катушка с активным сопротивлением. Сдвиг фаз между напряжением и током составляет $\varphi = \frac{\pi}{6}$. Определите индуктивность катушки, если известно, что она поглощает мощность $P = 445$ Вт.
- 10.7.5. Добротность колебательной системы равна 2. Найдите отношение амплитуды вынужденных колебаний A (если $\omega = \omega_0$) к амплитуде $A_{\text{рез}}$ (если $\omega = \omega_{\text{рез}}$). ω - частота вынуждающей силы, ω_0 - частота собственных незатухающих колебаний, $\omega_{\text{рез}}$ - резонансная частота колебаний системы.

10.8. Вариант 8

- 10.8.1. Тело массой $m = 0,6$ кг, подвешенное к спиральной пружине жесткостью $k = 30$ Н/м, совершает в некоторой среде колебания. Логарифмический декремент колебаний $\lambda = 0,01$. Определите время t и число полных колебаний N , за которые амплитуда убывает в 3 раза.
- 10.8.2. В контуре с добротностью $Q = 50$ возбуждаются затухающие колебания. Через сколько времени энергия, запасенная в контуре, уменьшится в 2 раза? Собственная частота незатухающих колебаний $\nu_0 = 5,5$ кГц.
- 10.8.3. На тело массой 50г, совершающее затухающие колебания, начинает действовать периодическая сила. В результате устанавливаются вынужденные

колебания $X = 8 \cos \left(20 \pi t + \frac{2\pi}{3} \right)$ см. Начальная амплитуда затухающих колебаний $A_0 = 10$ см, начальная фаза $\varphi = 0$, коэффициенты затухания $\beta = 2 \text{ с}^{-1}$. Запишите уравнение (с числовыми коэффициентами) затухающих колебаний и уравнение периодической силы.

• 10.8.4. В цепь переменного тока с действующим значением напряжения 220 В и частотой 50 Гц последовательно включены резистор сопротивлением $R = 100 \text{ Ом}$, катушка индуктивностью $L = 0,5 \text{ Гн}$ и конденсатор емкостью $C = 10 \text{ мкФ}$. Определите: а) силу тока в цепи; б) падение напряжения на активном сопротивлении; в) падение напряжения на конденсаторе; г) падение напряжения на катушке.

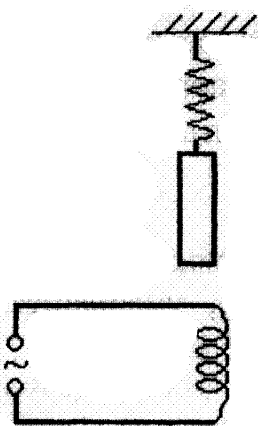
• 10.8.5. Определите жесткость пружин рессор вагона, вес которого с грузом 50 т, если при скорости 12 м/с вагон начинает сильно раскачиваться вследствие толчков на стыках. Длина рельса 12,8 м.

10.9. Вариант 9

• 10.9.1. Логарифмический декремент затухания камертона, колеблющегося с частотой $\nu = 100 \text{ Гц}$, равен 0,002. Через какой промежуток времени амплитуда колебаний камертона уменьшится в 100 раз? Во сколько раз при этом изменится энергия колебаний?

• 10.9.2. Определите добротность Q колебательного контура, состоящего из катушки индуктивностью $L = 2 \text{ мГн}$, конденсатора емкостью $C = 0,2 \text{ мкФ}$ и резистора сопротивлением $R = 1 \text{ Ом}$.

• 10.9.3. Железный стержень, подвешенный к пружине, будучи выведен из положения равновесия, совершает свободные затухающие колебания с частотой $\omega_0 = 20 \text{ с}^{-1}$, причем амплитуда колебаний уменьшается в 2 раза в течение времени $t = 1,11 \text{ с}$. Вблизи нижнего конца стержня помещена катушка, питаемая переменным током. При частоте тока $\omega = 11 \text{ с}^{-1}$ стержень колеблется с амплитудой $A = 1,5 \text{ мм}$. При какой частоте тока $\omega_{\text{рез}}$ колебания стержня достигнут наибольшей интенсивности? Какова будет амплитуда $A_{\text{рез}}$ колебаний при этой частоте? Предполагается, что амплитуда вынуждающей силы неизменна. Кроме того, необходимо учесть, что частота вынуждающей силы равна удвоенной частоте изменений тока в катушке.

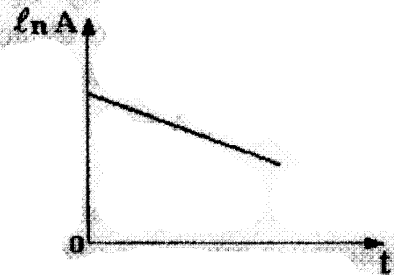


• 10.9.4. Цепь, состоящая из последовательно соединенных емкости, индуктивности и омического сопротивления, подключена к источнику с переменной ЭДС $\varepsilon = 220 \cos \omega t$ В. Найдите падение напряжения на омическом сопротивлении U_{R_m} , если напряжения $U_{L_m} = 5U_{R_m}$, $U_{C_m} = U_{R_m}$ (U_{R_m} , U_{C_m} , U_{L_m} - амплитуды напряжений на соответствующих элементах цепи).

• 10.9.5. Грузовики въезжают в зерновой склад, разгружаются и выезжают с той же скоростью. С одной стороны склада выбоины на дороге идут чаще, чем с другой. Как по профилю дороги определить, с какой стороны въезд, с какой выезд?

10.10. Вариант 10

• 10.10.1. На рисунке изображена зависимость логарифма амплитуды $\ln A$ затухающих колебаний от времени. Постройте график зависимости логарифма энергии колебаний от времени $\ln E = f(t)$. Начальные значения логарифмов амплитуды и энергии следует принять одинаковыми ($\ln A_0 = \ln E_0$).



• 10.10.2. В колебательном контуре, содержащем катушку индуктивностью $L = 10$ мГн, амплитуда колебаний за 0,01 с уменьшается в 2,7 раза. Найдите активное сопротивление катушки.

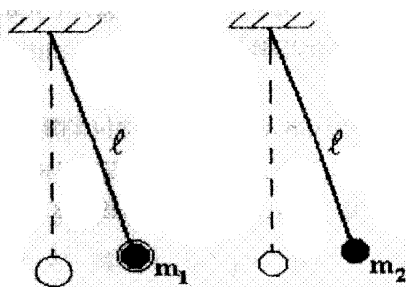
• 10.10.3. Тело массой 40 г совершает вынужденные колебания под действием периодической силы $F = 0,5 \sin 10 \pi t$ Н в среде с коэффициентом сопротивления $\gamma = 0,12$ кг/с. Запишите уравнение (с числовыми коэффициентами) установившихся вынужденных колебаний $X(t)$, при условии, что вынужденные колебания отстают по фазе от вынуждающей силы на $\varphi = 3\pi/4$.

• 10.10.4. В цепь переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц последовательно включены резистор сопротивлением $R = 100$ Ом и конденсатор емкостью $C = 22$ мкФ. Определите, какая доля напряжения, приложенного к этой цепи, приходится: а) на падение напряжения на конденсаторе U_{C_m} ? б) на падение напряжения на резисторе U_{R_m} ?

• 10.10.5. Добротность колебательного контура при настройке его в резонанс на двух частотах $\omega_{рез1}$ и $\omega_{рез2} = 2 \omega_{рез1}$ равна соответственно 20 и 30. Найдите отношение амплитудных значений заряда на конденсаторе для двух случаев при постоянных значениях индуктивности контура и амплитуды внешней ЭДС.

10.11. Вариант 11

- 10.11.1. Два шара одинакового диаметра, но обладающие разными массами, подвешены на нитях одинаковой длины. Если их отклонить от положения равновесия, то какой будет колебаться с большим периодом и у какого будет больше логарифмический декремент затухания, если их колебания происходят в вязкой среде?



- 10.11.2. Напряжение на обкладках конденсатора колебательного контура изменяется по закону $U_c = 80 e^{-200t} \cos 100 \pi t$ В. Индуктивность контура 0,2 Гн. Определите: а) логарифмический декремент затухания; б) активное сопротивление контура; в) время, за которое амплитудное значение U_{cm} уменьшится в 4 раза.
- 10.11.3. На груз, совершающий затухающие колебания с частотой $\omega_3 = 30 \text{ с}^{-1}$, действует внешняя периодическая сила с амплитудой $F_m = 2,5 \text{ Н}$, под действием которой устанавливаются вынужденные колебания. Амплитуда колебаний груза при резонансе $A_{\text{рез}} = 0,2 \text{ м}$, добротность колебательной системы $Q = 15$. Определите массу груза.
- 10.11.4. Сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$ и катушка индуктивностью $L = 0,1 \text{ Гн}$ соединены последовательно и включены в цепь переменного тока с частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$. Какую емкость необходимо включить последовательно в цепь, чтобы уменьшить сдвиг фаз между ЭДС и силой тока на $\Delta\varphi = 27^\circ$?
- 10.11.5. Под действием силы тяжести электродвигателя консольная балка, на которой он установлен, прогнулась на 1 мм. При какой частоте вращения ν якоря электродвигателя может возникнуть опасность резонанса?

10.12. Вариант 12

- 10.12.1. Математический маятник длиной $\ell = 50 \text{ см}$ совершает затухающие колебания с коэффициентом затухания $\beta = 0,9 \text{ с}^{-1}$. Определите время t и число полных колебаний N , за которые амплитуда маятника уменьшится в пять раз. Во сколько раз должен возрасти коэффициент трения, чтобы колебания маятника стали аperiодическими?

- 10.12.2. Определите, как нужно изменить емкость или индуктивность колебательного контура при увеличении активного сопротивления в два раза, чтобы логарифмический декремент затухания оставался без изменения?

- 10.12.3. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний будет меньше резонансной амплитуды, если частота изменения вынуждающей силы будет больше резонансной частоты в два раза? Коэффициент затухания $\beta = 0,2 \sqrt{\omega_0}$ (ω_0 - частота собственных незатухающих колебаний).

- 10.12.4. Последовательно соединенные резистор с сопротивлением $R = 110 \text{ Ом}$ и конденсатор подключены к источнику переменного напряжения, амплитудное значение которого $U_m = 110 \text{ В}$. Амплитудное значение тока в цепи $I_m = 0,5 \text{ А}$. Определите разность фаз между током и внешним напряжением.

- 10.12.5. Колебательный контур радиоприемника состоит из катушки индуктивностью $L = 1 \text{ мГн}$ и переменного конденсатора, емкость которого может меняться в пределах от 9,7 до 92 пФ. В каком диапазоне длин волн может работать этот приемник?

10.13. Вариант 13

- 10.13.1. Три последовательных крайних положения качающейся стрелки гальванометра соответствуют делениям $n_1 = 20,0$; $n_2 = 5,6$; $n_3 = 12,8$. Считая декремент затухания постоянным, определите деление, соответствующее положению равновесия стрелки.

- 10.13.2. Найдите время, за которое амплитуда колебаний тока в контуре с добротностью $Q = 5000$ уменьшится в 2 раза, если частота затухающих колебаний $\nu = 2,2 \text{ МГц}$.

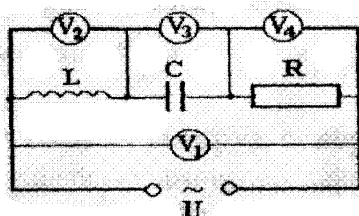
- 10.13.3. Период затухающих колебаний системы составляет 0,2 с, а отношение амплитуд первого и шестого колебаний равно 13. Определите резонансную частоту данной колебательной системы.

- 10.13.4. В сеть переменного тока с действующим значением напряжения 120 В последовательно включены проводник с активным сопротивлением 10 Ом и катушка индуктивностью 0,1 Гн. Определите частоту ν тока, если амплитудное значение силы тока в цепи равно $I_m = 5 \text{ А}$.

- 10.13.5. Амплитуды скорости вынужденных колебаний при частотах вынуждающей силы $\nu_1 = 300 \text{ Гц}$ и $\nu_2 = 400 \text{ Гц}$ равны между собой. Принимая, что амплитуда вынуждающей силы в обоих случаях одна и та же, найдите частоту, соответствующую резонансу скорости.

10.14. Вариант 14

- 10.14.1. Начальная амплитуда колебания маятника равна $A_0 = 3$ см. Через $t_1 = 10$ с она оказалась равной $A_1 = 1$ см. Через какое время амплитуда колебаний будет равна 0,3 см?
- 10.14.2. Частота затухающих колебаний ν в колебательном контуре с добротностью $Q = 2500$ равна 550 кГц. Определите время, за которое амплитуда тока в этом контуре уменьшится в 4 раза.
- 10.14.3. Тело совершает вынужденные колебания в среде с коэффициентом сопротивления $r = 1$ г/с. Считая затухание малым, определите амплитудное значение вынуждающей силы, если резонансная амплитуда колебаний $A_{\text{рез}} = 0,5$ см и частота ν_0 собственных незатухающих колебаний равна 10 Гц.
- 10.14.4. В схеме переменного тока вольтметры показывают значения амплитуд напряжений: $U_2 = 3$ В, $U_3 = 7$ В, $U_4 = 3$ В. Какое напряжение показывает вольтметр V_1 ?



- 10.14.5. Амплитуда смещения вынужденных колебаний тела при очень малой частоте вынуждающей силы $A = 2$ мм, а при резонансе $A_{\text{рез}} = 32$ мм. Коэффициент затухания много меньше единицы. Определите добротность системы и логарифмический декремент затухания.

10.15. Вариант 15

- 10.15.1. Добротность некоторой колебательной системы $Q = 2$, частота свободных затухающих колебаний $\omega = 100$ с⁻¹. Определите собственную частоту незатухающих колебаний системы ω_0 .
- 10.15.2. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивностью $L = 1$ Гн. Чему равно омическое сопротивление контура, если известно, что амплитуда затухающих колебаний в нем за 0,05 с уменьшается в e раз?
- 10.15.3. Колебательная система с добротностью $Q = 5$ совершает затухающие колебания с частотой $\omega = 49,8$ с⁻¹. В результате действия внешней периодической силы в системе установились вынужденные колебания, отстающие по фазе от внешней силы на $\varphi = 25^\circ$. Определите частоту изменения периодической силы, если резонансная частота $\omega_{\text{рез}} = 49,5$ с⁻¹.

- 10.15.4. В цепь переменного тока с амплитудным значением напряжения $U_m = 180 \text{ В}$ и частотой $\omega = 314 \text{ с}^{-1}$ последовательно включены конденсатор и катушка с активным сопротивлением $R = 40 \text{ Ом}$ и индуктивностью $L = 0,36 \text{ Гн}$. При каком значении емкости конденсатора амплитуда напряжения на катушке будет максимальной? Чему равна эта амплитуда и соответствующая амплитуда напряжения на конденсаторе?
- 10.15.5. Найдите резонансную частоту системы, если без воздействия внешних сил частота затухающих колебаний 1000 Гц и логарифмический декремент затухания $\lambda = 0,628$.

10.16. Вариант 16

- 10.16.1. Полная механическая энергия колебаний математического маятника длиной $\ell = 50 \text{ см}$ уменьшилась в $4 \cdot 10^4$ раз за время $t = 5,2 \text{ мин}$. Определите добротность колебательной системы.
- 10.16.2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью $C = 10 \text{ мкФ}$, катушки индуктивностью $L = 25 \text{ мГн}$ и резистора сопротивлением $R = 1 \text{ Ом}$. Через сколько колебаний амплитуда тока в этом контуре уменьшится в e раз?
- 10.16.3. Груз, подвешенный на пружине с жесткостью $k = 45 \text{ Н/м}$, совершает затухающие колебания, период которых равен 1 с . Логарифмический декремент затухания системы $\lambda = 0,2$. Под действием внешней периодической силы с амплитудой $F_m = 2 \text{ Н}$ установились вынужденные колебания груза. При какой частоте изменения внешней силы амплитуда колебаний будет максимальной и равной $A_{\max} = 0,29 \text{ см}$? На сколько отличается эта частота от частоты ω_0 собственных незатухающих колебаний груза?
- 10.16.4. В цепь переменного тока частотой $\nu = 50 \text{ Гц}$ включена катушка длиной $\ell = 30 \text{ см}$ и площадью поперечного сечения $S = 10 \text{ см}^2$, содержащая $N = 1000$ витков. Определите активное сопротивление катушки, если известно, что сдвиг фаз между напряжением и током составляет $\varphi = 30^\circ$.
- 10.16.5. К колебательному контуру, содержащему последовательно соединенные конденсатор и катушку с активным сопротивлением, подключено внешнее переменное напряжение, частоту которого можно менять, не меняя его амплитуды. При частотах внешнего напряжения $\omega_1 = 400 \text{ с}^{-1}$ и $\omega_2 = 600 \text{ с}^{-1}$ амплитуды силы тока в цепи оказались одинаковыми. Определите резонансную частоту тока.

10.17. Вариант 17

- 10.17.1. Чему равен логарифмический декремент затухания маятника длиной 0,8 м, если его начальная амплитуда 5° , а через 5 мин амплитуда равна $0,5^\circ$?
- 10.17.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью 0,1 Гн и конденсатора емкостью 5 мкФ. За время $t = 16 \cdot 10^{-3}$ с контур вследствие затухания теряет 80 % энергии. Найдите логарифмический декремент затухания колебаний.
- 10.17.3. Во сколько раз амплитуда вынужденных колебаний будет меньше резонансной амплитуды, если частота изменения вынуждающей силы будет больше резонансной частоты на 10 %? Коэффициент затухания β принять равным 0,1 $|\omega_0|$ (ω_0 - частота собственных незатухающих колебаний).
- 10.17.4. В цепь переменного тока с действующим напряжением $U_d = 100$ В включили катушку, индуктивное сопротивление которой $X_L = 30$ Ом и импеданс $Z = 50$ Ом. Найдите разность фаз ϕ между током и напряжением, а также среднюю тепловую мощность, выделяемую в катушке.
- 10.17.5. Груз массой 100 г, подвешенный на пружине с жесткостью $k = 10$ Н/м, совершает вынужденные колебания в вязкой среде с коэффициентом сопротивления $r = 2 \cdot 10^{-2}$ кг/с. Определите коэффициент затухания β и резонансную амплитуду $A_{рез}$, если амплитуда вынуждающей силы равна $F_m = 10$ мН.

10.18. Вариант 18

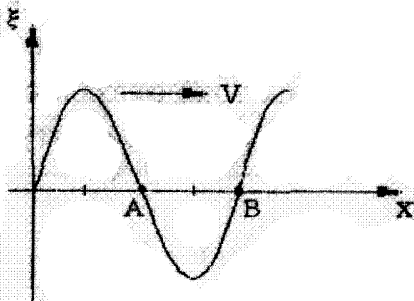
- 10.18.1. За 100 с тело успевает совершить $N = 100$ колебаний, при этом амплитуда уменьшается в e раз. Чему равны коэффициент затухания β , логарифмический декремент затухания λ , добротность системы Q ?
- 10.18.2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 25$ мГн, конденсатора емкостью $C = 10$ мкФ и резистора сопротивлением $R = 1$ Ом. Конденсатор заряжен количеством электричества $q_{m0} = 1$ мКл. Определите: а) период колебаний контура; б) логарифмический декремент затухания колебаний. Запишите уравнение изменения напряжения на обкладках конденсатора в зависимости от времени.

- 10.18.3. Шарик массой $m = 2,5 \cdot 10^{-2}$ кг подвешен на невесомой пружинке с коэффициентом жесткости $k = 15$ Н/м. Под действием вынуждающей силы устанавливаются вынужденные колебания с частотой $\omega = 20$ с⁻¹. При этом смещение шарика отстает по фазе от вынуждающей силы на $\frac{\pi}{6}$. Найдите логарифмический декремент затухания и резонансную частоту $\omega_{\text{рез}}$.
- 10.18.4. Колебательный контур содержит катушку индуктивностью $L = 0,1$ мГн, резистор сопротивлением $R = 3$ Ом и конденсатор емкостью $C = 10$ нФ. Определите среднюю мощность, потребляемую контуром, необходимую для поддержания в нем незатухающих колебаний с амплитудным значением напряжения на конденсаторе $U_{Cm} = 2$ В.
- 10.18.5. В цепь переменного напряжения последовательно включены конденсатор и катушка с активным сопротивлением. Не меняя амплитуду напряжения в цепи, изменяют его частоту. При частотах ω_1 и ω_2 амплитуды тока оказались в n раз меньше резонансной амплитуды. Найдите: а) резонансную частоту; б) добротность контура (выразите через ω_1 и ω_2).

11. Тема: ВОЛНЫ

11.1. Вариант 1

- 11.1.1. Поперечная плоская волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V (так, как это показано на рисунке). Изобразите стрелками как будут двигаться точки среды А и В.

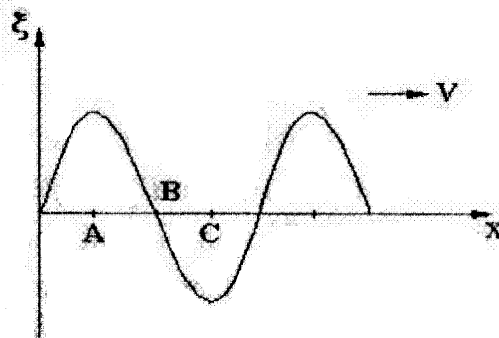


- 11.1.2. Найдите разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, отстоящих от источника колебаний вдоль оси x на расстояниях $x_1 = 10$ м и $x_2 = 16$ м. Период колебаний $T = 0,04$ с, а скорость распространения $V = 300$ м/с.
- 11.1.3. Точечный изотропный источник испускает звуковые колебания с частотой $\nu = 1,45$ кГц. На расстоянии $r_0 = 5$ м от источника амплитуда смещения частиц среды $A_0 = 50$ мкм. Найдите амплитуду колебаний скорости частиц среды в точке Р, находящейся на расстоянии $r = 10$ м от источника.
- 11.1.4. Две одинаковые струны с частотой колебаний $\nu = 398$ Гц имеют длину $\ell = 1$ м. На какую величину $\Delta\ell$ надо укоротить одну из струн, чтобы получить биения с частотой $\Delta\nu = 2$ Гц?
- 11.1.5. В однородной и изотропной среде распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 10$ В/м, а магнитного - $H_m = 46$ мА/м. Магнитная проницаемость среды $\mu = 1$. Найдите диэлектрическую проницаемость среды ϵ .

- 11.1.6. Определите энергию, которую переносит за время $t = 1$ мин плоская электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме через площадку $S = 10 \text{ см}^2$, расположенную перпендикулярно распространению волны. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 1 \text{ мВ/м}$, а период $T \ll t$.

11.2. Вариант 2

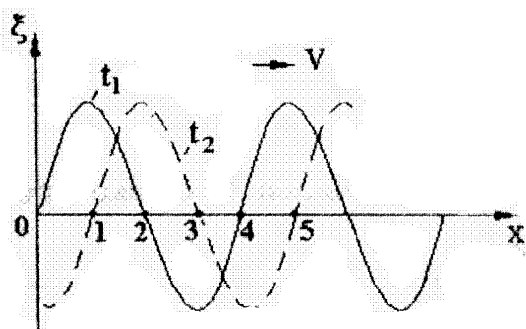
- 11.2.1. Поперечная плоская волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V . На рисунке изображены величины смещения частиц среды ξ данной волны для некоторого момента времени t . Изобразите стрелками направление скорости частиц среды в точках А, В, С.



- 11.2.2. Уравнение колебаний частиц среды в плоскости $x = 0$ имеет вид $\xi = 0,04 \cos 600 \pi t$ м. Найдите величину смещения из положения равновесия частиц среды ξ , находящихся на расстоянии $x = 7,5$ м от плоскости $x = 0$ для момента времени $t = 0,1$ с после начала колебаний. Скорость распространения колебаний $V = 300 \text{ м/с}$.
- 11.2.3. Точка М находится на расстоянии $r = 1,5$ м от точечного изотропного источника звука частотой $\nu = 600$ Гц, мощность которого $P = 0,8$ Вт. Найдите амплитуду колебаний частиц среды в точке М и сравните ее с длиной волны звука λ . Скорость звука в воздухе $V = 340 \text{ м/с}$.
- 11.2.4. На струне длиной 120 см образовалась стоячая волна, причем все точки струны с амплитудой смещения 3,5 мм отстоят друг от друга на 15 см. Найдите максимальную амплитуду смещения и обертона, которому соответствуют эти колебания.
- 11.2.5. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, магнитная составляющая которой меняется по закону $H = 0,3 \cos (\omega t - 0,51 x)$ А/м. Найдите значение напряженности электрического поля E в точке с координатой $x = 7,7$ м в моменты времени $t_1 = 0$ и $t_2 = 11$ нс.
- 11.2.6. Шар радиусом $R = 50$ см находится в немагнитной среде с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$. В среде распространяется плоская электромагнитная волна, длина которой $\lambda \ll R$ и амплитуда электрической составляющей $E_m = 200 \text{ В/м}$. Какая энергия падает на шар за время $t = 1$ мин?

11.3. Вариант 3

- 11.3.1. Плоская волна распространяется с некоторой скоростью V вдоль

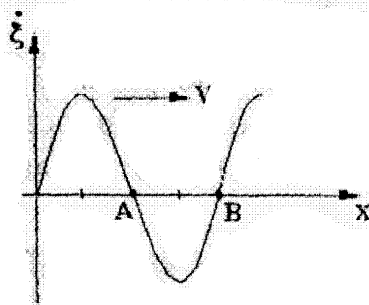


оси x . На рисунке изображены зависимости смещения частиц среды ξ из положения равновесия в этой волне для моментов времени $t_1 = 1$ с и $t_2 = 5$ с. Используя рисунок, найдите длину волны λ , период колебаний частиц среды T и скорость волны V .

- 11.3.2. Плоская волна распространяется в направлении оси x . Длина волны $\lambda = 6$ м, а частота колебаний частиц среды $\nu = 50$ Гц. Найдите наименьшее расстояние Δx между точками частиц среды, разность фаз колебаний между которыми $\Delta\varphi = \pi/3$, и время, за которое волна проходит это расстояние.
- 11.3.3. Изотропный источник возбуждает в воздухе сферическую звуковую волну частотой $\nu = 3$ кГц. На расстоянии $r_1 = 10$ м от источника интенсивность волны $I_1 = 0,5$ Вт/м². Пренебрегая поглощением, определите интенсивность волны I_2 и амплитуду колебаний частиц среды на расстоянии $r_2 = 20$ м от источника. Скорость звука в воздухе $V = 340$ м/с.
- 11.3.4. На струне длиной 80 см образовалась стоячая волна, причем все точки струны с амплитудой смещения 5 мм отстоят друг от друга на расстоянии $\Delta\ell = 10$ см. Найдите максимальную амплитуду смещения.
- 11.3.5. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 2$ МГц переходит из среды с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_1 = 2$ в среду с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_2 = 4$. Найдите приращение ее длины волны, если обе среды являются немагнитными.
- 11.3.6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна $E = 600 \cos(\omega t - 3x - 4y)$ В/м. Найдите частоту этой волны и средний за период поток энергии, проходящий через плоскую поверхность площадью $S = 10$ см², расположенную перпендикулярно оси x .

11.4. Вариант 4

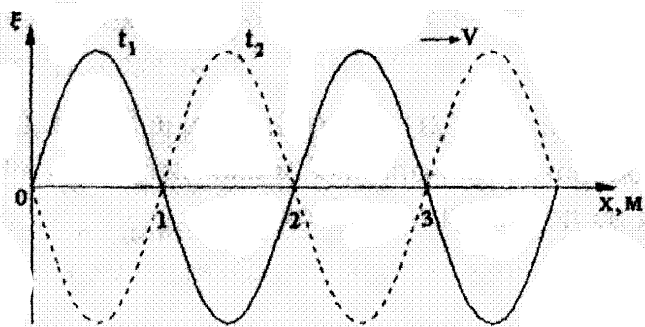
- 11.4.1. Продольная плоская волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V . На рисунке изображена зависимость скорости смещения частиц среды $\dot{\xi}$ от x для некоторого момента времени t . Качественно изобразите зависимость смещения ξ и ускорения $\ddot{\xi}$ от x для данного момента времени.



- 11.4.2. Уравнение плоской волны имеет вид $\xi = 0,05 \cos (600 t - 10x)$ м. Найдите длину волны, скорость распространения волны и амплитуду скорости колебаний частиц среды.
- 11.4.3. Напишите уравнение сферической волны, фазовая скорость которой $V = 400$ м/с, длина волны $\lambda = 6$ м, а амплитуда скорости колебаний частиц среды на расстоянии $r_0 = 10$ м от источника волн равна $1,0 \cdot 10^{-2}$ м/с.
- 11.4.4. Во сколько раз изменится частота основного тока натянутой струны, если ее длину уменьшить на 35 %?
- 11.4.5. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 3$ МГц переходит из вакуума в немагнитную среду. При этом длина волны уменьшается на 50 см. Найдите диэлектрическую проницаемость среды.
- 11.4.6. В вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности магнитного поля волны $H_m = 5 \cdot 10^{-2}$ А/м. Определите амплитуду напряженности электрического поля волны E_m и среднюю по времени объемную плотность энергии волны.

11.5. Вариант 5

- 11.5.1. Плоская волна распространяется с некоторой скоростью V вдоль оси x .

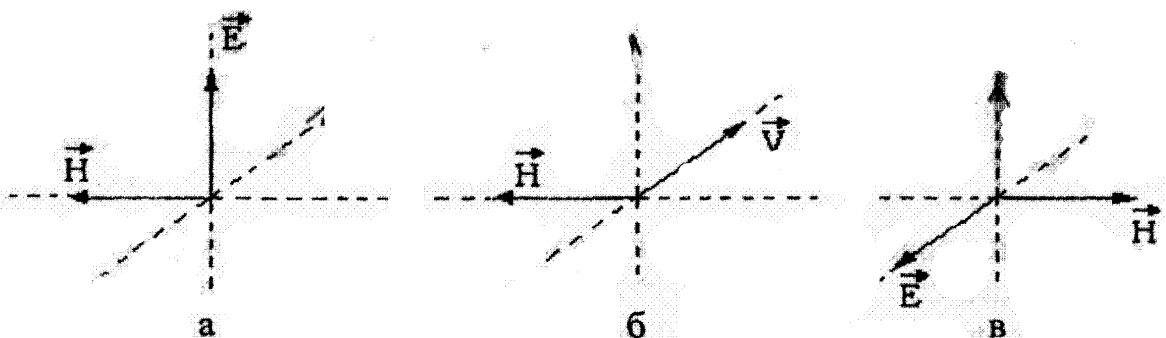


На рисунке изображены зависимости смещения частиц среды ξ из положения равновесия для моментов времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 6$ с. Найдите длину волны λ , период колебаний частиц T и скорость волны V .

- 11.5.2. Уравнение плоской волны имеет вид $\xi = 0,05 \cos (300t - 30x + 40y)$ м. Определите длину волны, скорость распространения и амплитудное значение скорости смещения частиц среды из положения равновесия.
- 11.5.3. Изотропный источник звуковых волн возбуждает в воздухе сферическую волну. Мощность источника $P = 0,1$ Вт. На каком расстоянии от источника интенсивность волны будет равна $0,01$ Вт/м²?
- 11.5.4. Медный стержень длиной $\ell = 50$ см закреплен в середине. Найдите значения собственных частот продольных колебаний стержня в диапазоне от 20 до 50 кГц. Скорость распространения волн $V = 3,8$ км/с.
- 11.5.5. Распространяющаяся в вакууме плоская электромагнитная волна, описываемая уравнениями $\vec{E} = \vec{E}_m \cos (\omega t - kx)$, $\vec{H} = \vec{H}_m \cos (\omega t - kx)$ отражается от металлической плоскости, расположенной перпендикулярно оси x . Напишите уравнения, описывающие отраженную волну.
- 11.5.6. Плоская электромагнитная волна $E = 500 \cos (\omega t - kx)$ В/м распространяется в вакууме. Найдите средний за период поток энергии, проходящий через плоскую поверхность площадью $S = 10$ см², нормаль к которой образует угол $\alpha = 30^\circ$ с осью x .

11.6. Вариант 6

- 11.6.1. На рисунке (а-в) изображены два из трех векторов $\vec{E}$, $\vec{H}$ и $\vec{V}$ плоской электромагнитной волны. Укажите направление недостающего вектора.



- 11.6.2. Уравнение плоской волны имеет вид $\xi = 0,01 \cos (60t + 7x + 8y)$ м. Определите длину волны, скорость распространения волны V и амплитудное значение скорости смещения частиц среды из положения равновесия.

• 11.6.3. Чему равна интенсивность I расходящейся сферической волны в непоглощающей среде на расстоянии $r = 5$ м от источника, если на расстоянии $r_0 = 10$ м значение интенсивности $I_0 = 10$ Вт/м²?

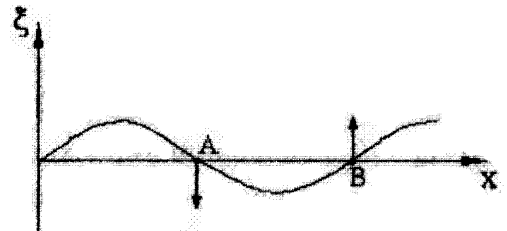
• 11.6.4. Стальная струна длиной $\ell = 110$ см и диаметром $d = 1$ мм натянута между полюсами электромагнита. При пропускании по струне переменного тока частотой $\nu = 50$ Гц на ней установилось 5 полуволи. Найдите силу натяжения струны. Плотность стали $\rho = 7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.

• 11.6.5. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна $E = 160 \cos(\omega t - 0,51 x)$ В/м. Найдите значение напряженности магнитного поля H в точке с координатой $x = 7,7$ м в моменты времени $t_1 = 0$ и $t_2 = 33$ нс.

• 11.6.6. Вычислите энергию электромагнитного излучения, падающего от космического источника на антенну радиотелескопа, настроенного на длину волны $\lambda = 3$ мм, за время, равное одному периоду колебаний. Амплитуда напряженности электрического поля в волне $E_m = 10^{-6}$ В/м, а площадь антенны $S = 10$ м².

11.7. Вариант 7

• 11.7.1. Плоская поперечная волна распространяется вдоль оси x . На рисунке изображена зависимость смещения частиц среды ξ из положения равновесия от x , а стрелками показаны направления движения этих частиц в точках А и В. Укажите направление распространения волны.



• 11.7.2. Напишите уравнение плоской волны, амплитуда которой $A = 4$ мм, фазовая скорость $V = 300$ м/с и волновой вектор $\vec{k} = (3\vec{i} + 2\vec{j})$ м⁻¹.

• 11.7.3. Уравнение сферической волны имеет вид $\xi = \frac{0,06}{r} \cos\left(100t - 50r + \frac{\pi}{6}\right)$ м.

Определите длину этой волны λ , скорость ее распространения V и найдите, на каком расстоянии r от источника волн максимальная скорость колебаний частиц среды $U_m = 0,3$ м/с?

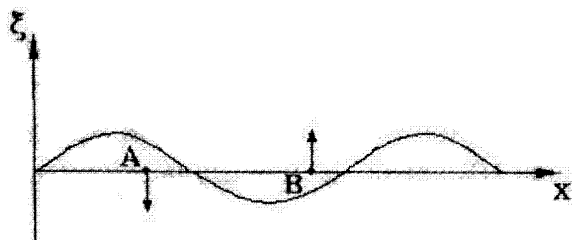
• 11.7.4. Найдите число возможных собственных колебаний столба воздуха в трубе, частоты которых меньше $\nu_0 = 1250$ Гц, если труба закрыта с одного конца. Длина трубы $\ell = 85$ см. Скорость звука $V = 340$ м/с. Считать, что открытые концы трубы являются пучностями смещения, а закрытые - узлами.

- 11.7.5. При переходе электромагнитной волны с частотой $\nu = 10$ МГц из вакуума в немагнитную среду скорость ее распространения уменьшается в два раза. Найдите приращение длины волны.

- 11.7.6. В вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 100$ В/м. Определите амплитуду напряженности магнитного поля H_m в волне и среднюю по времени объемную плотность энергии волны.

11.8. Вариант 8

- 11.8.1. Плоская поперечная волна распространяется вдоль оси x . На рисунке изображена зависимость смещения частиц среды ξ из положения равновесия от x , а стрелками показаны направления движения этих частиц в точках А и В. Укажите направление распространения волны.



- 11.8.2. Колебания с периодом $T = 10^{-2}$ с распространяются в направлении оси x со скоростью $V = 300$ м/с. Найдите разность фаз колебаний для точек с координатами $x_1 = 2$ м и $x_2 = 5$ м.

- 11.8.3. Точечный изотропный источник звуковых волн мощностью $P = 0,1$ Вт находится в центре полой сферы радиусом $R = 1$ м, имеющей отверстие радиусом $r_0 = 0,1$ м. Полагая, что стенки сферы полностью поглощают звук, найдите средний поток энергии, проходящей через отверстие в сфере.

- 11.8.4. Определите длину бегущей волны λ , если расстояние между первым и четвертым узлами стоячей волны $\ell = 15$ см.

- 11.8.5. В диэлектрической (немагнитной) среде вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна, электрическая составляющая которой $E = 50 \cos(3000t - 0,0001x)$ В/м. Найдите диэлектрическую проницаемость среды и напишите уравнение для магнитной составляющей данной волны.

- 11.8.6. Струна массой $m = 2$ г закреплена с обоих концов. В ней возбудили колебания основного тона с частотой $\nu = 20$ Гц и максимальной амплитудой $A_{\max} = 1$ см. Найдите максимальную кинетическую энергию струны.

11.9. Вариант 9

- 11.9.1. Изобразите на графике бегущую в направлении оси x упругую плоскую волну в моменты времени $t_1 = 0$ и $t_2 = \frac{T}{4}$, как функцию смещения частиц среды ξ от x , T - период колебаний.
- 11.9.2. Плоская поперечная волна распространяется вдоль оси x . Скорость смещения частиц среды из положения равновесия $\dot{\xi}$ определяется уравнением $\dot{\xi} = 0,6 \cos(500t - 10x)$ м/с. Найдите амплитуду волны, длину волны и скорость ее распространения.
- 11.9.3. На расстоянии $r_0 = 3$ м от точечного изотропного источника сферических звуковых волн частотой $\nu = 500$ Гц амплитуда колебаний частиц среды $A_0 = 2$ мм. Напишите уравнение данной волны, полагая, что скорость звука $V = 340$ м/с, а начальная фаза $\alpha = \pi/3$.
- 11.9.4. Стальная струна длиной $\ell = 100$ см и диаметром $d = 0,5$ мм дает основной тон частотой $\nu = 256$ Гц. Найдите силу натяжения струны. Плотность стали $\rho = 7,7 \cdot 10^3$ кг/м³.
- 11.9.5. В вакууме в направлении оси x установилась стоячая электромагнитная волна, электрическая составляющая которой $E = E_m \cos kx \cos \omega t$, где E_m , k и ω - постоянные. Напишите уравнение для магнитной составляющей данной волны.
- 11.9.6. В вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна, частота которой $\nu = 100$ МГц и среднее за период колебаний значение плотности потока энергии $I = 3,3 \cdot 10^{-6}$ Вт/м². Найдите амплитуду электрической составляющей волны E_m и амплитуду плотности тока смещения.

11.10. Вариант 10

- 11.10.1. В упругой среде в направлении оси x установилась стоячая волна. Изобразите на графике зависимость смещения частиц среды ξ из положения равновесия от координаты x в моменты времени $t_1 = 0$ и $t_2 = T/4$, где T - период колебаний.

• 11.10.2. Упругая плоская волна распространяется вдоль оси x со скоростью $V = 300$ м/с. Скорость смещения частиц среды $\dot{\xi}$ из положения равновесия в плоскости $x = 0$ определяется уравнением $\dot{\xi} = 6 \sin 60t$ м/с. Напишите уравнение колебаний частиц среды в плоскости $x = 2$ м.

• 11.10.3. Точечный изотропный источник испускает звуковые колебания с частотой $\nu = 15$ кГц. На расстоянии $r_0 = 10$ м от источника амплитуда скорости колебаний части среды $U_m = 0,3$ м/с. Найдите амплитуду колебаний частиц среды на расстоянии $r = 15$ м от источника.

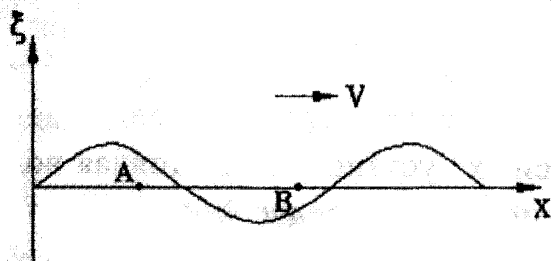
• 11.10.4. Для определения скорости звука в воздухе методом акустического резонанса используется трубка с поршнем и звуковой мембраной, закрывающей один из ее торцов. Найдите скорость звука, если расстояние между соседними положениями поршня, при которых наблюдается резонанс на частоте $\nu = 2$ кГц, составляет $\Delta x = 8,5$ см.

• 11.10.5. В однородной и изотропной среде распространяется плоская электромагнитная волна со скоростью $V = 10^8$ м/с. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 10$ В/м. Магнитная проницаемость среды $\mu = 1$. Найдите амплитуду напряженности магнитного поля волны.

• 11.10.6. В вакууме вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна, частота колебаний которой $\nu = 10^{10}$ Гц, а амплитуда напряженности магнитного поля $H_m = 10^{-2}$ А/м. Найдите поток энергии, переносимый волной за время $t = 1$ с через плоскую поверхность площадью $S = 100$ см², нормаль к которой образует угол $\alpha = 45^\circ$ с осью x .

11.11. Вариант 11

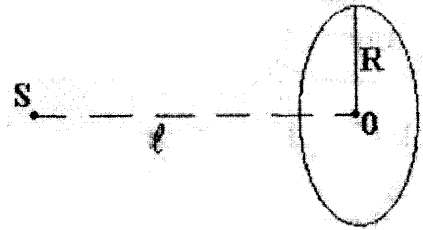
• 11.11.1. Плоская поперечная волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V . На рисунке изображена зависимость смещения частиц среды ξ из положения равновесия от x . Укажите стрелками, в каком направлении движутся частицы среды в точках А и В.



• 11.11.2. Вдоль оси x распространяется плоская волна с периодом $T = 0,25$ с, скоростью $V = 48$ м/с и начальной фазой, равной нулю. Определите в момент

времени $t = 10$ с в точке $x_2 = 45$ м смещение частиц из положения равновесия ξ_2 , если в этот же момент времени в точке $x_1 = 43$ м смещение частиц из положения равновесия $\xi_1 = 3$ см.

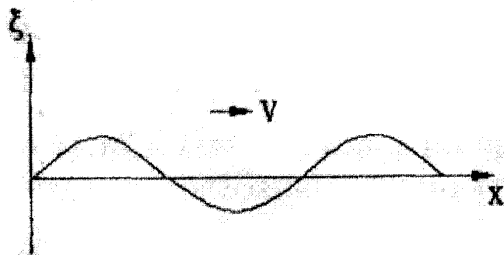
- 11.11.3. Точечный изотропный источник звука S находится на перпендикуляре к плоскости кольца, проходящем через его центр O . Расстояние между точками S и O равно $\ell = 1$ м, радиус кольца $R = 0,5$ м. Найдите средний поток энергии через площадь, ограниченную кольцом, если в точке O интенсивность звука $I = 30$ мкВт/м².



- 11.11.4. Найдите во сколько раз изменится частота основного тона натянутой струны, если ее длину ℓ уменьшить на 35 %, а силу натяжения F увеличить на 70 % ?
- 11.11.5. В однородной и изотропной среде распространяется плоская электромагнитная волна со скоростью $V = 2 \cdot 10^8$ м/с. Амплитуда напряженности магнитного поля волны $H_m = 10^{-8}$ А/м. Магнитная проницаемость среды $\mu = 1$. Найдите амплитуду напряженности E_m электрического поля волны.
- 11.11.6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна. Средняя за период объемная плотность энергии волны $w = 3 \cdot 10^{-11}$ Дж/м³. Найдите амплитуду напряженности электрического поля волны.

11.12. Вариант 12

- 11.12.1. Поперечная плоская волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V . На рисунке изображена эта волна для момента времени $t = 0$. Изобразите примерный вид данной волны для моментов времени $t = T/4$ и $t = T/2$, где T - период колебаний.



- 11.12.2. Плоская волна распространяется в плоскости x, y . Фазовая скорость волны $V = 300$ м/с, а волновой вектор $\vec{k} = -3\vec{i} - 4\vec{j}$. Найдите разность фаз колебаний между точками среды с координатами $x_1 = y_1 = 0$ м и $x_2 = y_2 = 3$ м, а также частоту их колебаний.

- 11.12.3. Точечный изотропный источник испускает звуковые волны. В точке Р, находящейся на расстоянии $r_0 = 6$ м от источника, амплитуда скорости колебаний частиц среды $U_m = 0,1$ м/с. Найдите амплитуду колебаний частиц среды в точке М, находящейся на расстоянии $r = 8$ м от источника, если разность фаз колебаний между точками М и Р равна $\Delta\varphi = \pi/2$. Скорость звука в воздухе $V = 340$ м/с.

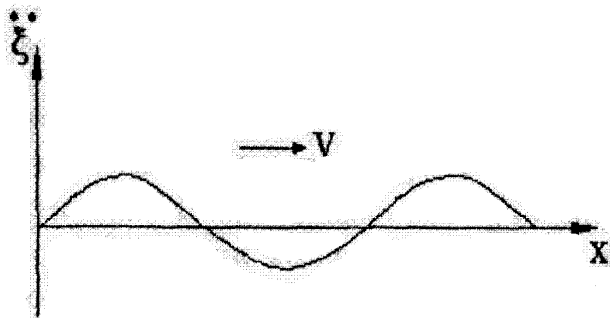
- 11.12.4. На струне длиной $\ell = 80$ см образовалась стоячая волна, имеющая три узла. Найдите координаты точек, которые совершают колебания с амплитудой в два раза меньше максимальной.

- 11.12.5. В немагнитной среде распространяется плоская электромагнитная волна $E = 0,01 \cos(10000t - 0,0001x)$ В/м. Найдите амплитуду напряженности магнитного поля волны и интенсивность волны.

- 11.12.6. Плоская электромагнитная волна распространяется в вакууме вдоль оси x . Амплитуда напряженности электрического поля в волне $E_m = 10^{-3}$ В/м. Длина волны $\lambda = 1$ мм. Найдите энергию, переносимую данной волной за время, равное одному периоду колебаний, через плоскую поверхность площадью $S = 50$ см², нормаль к которой образует угол $\alpha = 60^\circ$ с осью x .

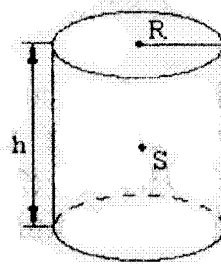
11.13. Вариант 13

- 11.13.1. Продольная плоская волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V . На рисунке изображена зависимость ускорения смещения частиц среды $\ddot{\xi}$ от x для некоторого момента времени t . Качественно изобразите зависимости смещения ξ и скорости смещения $\dot{\xi}$ от x для данного момента времени.



- 11.13.2. Колебания с периодом $T = 0,01$ с распространяются под углом $\alpha = 30^\circ$ к оси x со скоростью $V = 300$ м/с. Найдите разность фаз колебаний частиц среды между точками с координатами $x_1 = 1$ м, $y_1 = 0$ и $x_2 = 2$ м, $y_2 = 0$.

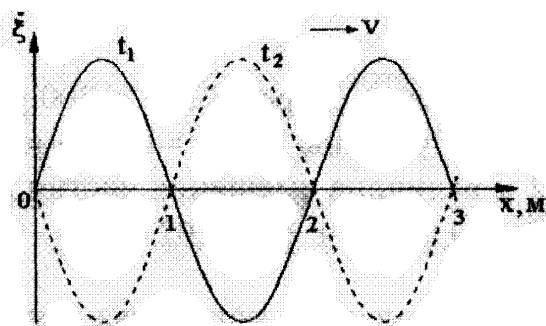
- 11.13.3. Точечный изотропный источник звука S мощностью $P = 0,1$ Вт находится в центре круглого полого цилиндра радиусом $R = 1$ м и высотой $h = 2$ м. Полагая, что стенки цилиндра полностью поглощают звук, найдите средний поток энергии, падающий на верхнее и нижнее основания цилиндра.



- 11.13.4. Найдите число возможных собственных колебаний струны, частоты которых лежат в пределах от $\nu_1 = 1$ кГц до $\nu_2 = 2,5$ кГц. Длина струны $\ell = 50$ см, а скорость распространения волн $V = 600$ м/с.
- 11.13.5. Электромагнитная волна с частотой $\nu = 5$ МГц переходит из вакуума в немагнитную среду с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 9$. Найдите изменение длины волны.
- 11.13.6. В однородной и изотропной среде распространяется плоская электромагнитная волна со скоростью $V = 10^8$ м/с. Амплитуда напряженности электрического поля волны $E_m = 0,2$ В/м. Магнитная проницаемость среды $\mu = 1$. Найдите интенсивность волны.

11.14. Вариант 14

- 11.14.1. Плоская волна распространяется с некоторой скоростью V вдоль



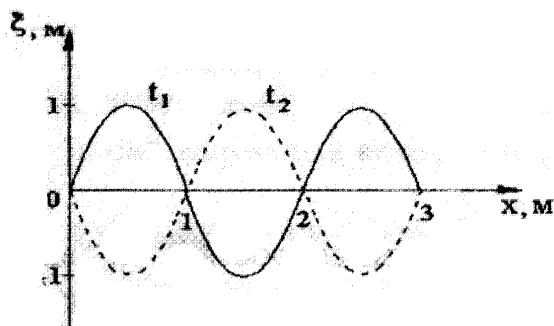
оси x . На рисунке изображены зависимости скорости смещения частиц среды $\dot{\xi}$ из положения равновесия для моментов времени $t_1 = 0$ с и $t_2 = 4$ с. Используя рисунок, найдите длину волны λ , период колебаний частиц среды T и скорость волны V .

- 11.14.2. Плоская волна распространяется вдоль оси x со скоростью $V = 300$ м/с. Частота колебаний частиц среды $\nu = 60$ Гц. Найдите наименьшее расстояние Δx между точками частиц среды, разность фаз между которыми $\Delta\phi = \pi$, и время, за которое волна проходит это расстояние.
- 11.14.3. Точечный изотропный источник звука находится в центре куба, стенки которого полностью поглощают звук. Сторона куба $a = 1$ м. Найдите средний за период поток энергии, падающий на одну грань куба, если интенсивность звука в центре грани $I = 0,6$ Вт/м².

- 11.14.4. Определите расстояние между третьим и восьмым узлами стоячей волны, если длина бегущей волны $\lambda = 20$ см.
- 11.14.5. В диэлектрической немагнитной среде вдоль оси x распространяется плоская электромагнитная волна, магнитная составляющая которой $H = 0,03 \cos(20000t - 0,001x)$ А/м. Найдите диэлектрическую проницаемость среды и напишите уравнение для электрической составляющей данной волны.
- 11.14.6. В однородной и изотропной среде со скоростью $V = 10^8$ м/с распространяется плоская электромагнитная волна. Среднее за период колебаний значение плотности потока энергии волны $I = 8 \cdot 10^{-6}$ Вт/м². Магнитная проницаемость среды $\mu = 1$. Найдите амплитуду напряженности электрического поля волны.

Вариант 11.15

- 11.15.1. На рисунке изображена плоская стоячая волна для моментов времени $t_1 = 0$ и $t_2 = T/2$, где T - период. Используя рисунок, найдите длину волны λ и амплитуду A плоской бегущей волны.

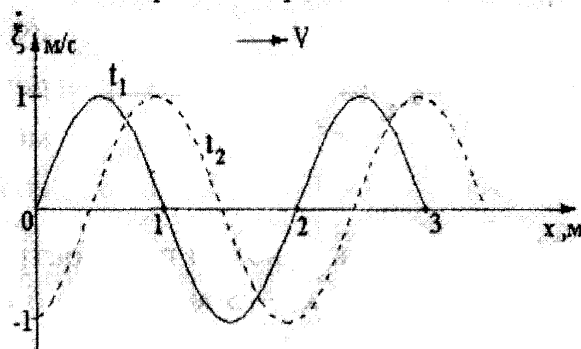


- 11.15.2. Вдоль оси x распространяется плоская волна со скоростью $V = 300$ м/с и равной нулю начальной фазой. Найдите амплитуду волны A , если в момент времени $t = 0,01$ с в точках $x_1 = 1$ м и $x_2 = 2$ м величина смещения частиц из положения равновесия соответственно равна $\xi_1 = 0,01$ м и $\xi_2 = 0,02$ м.
- 11.15.3. На расстоянии $r_0 = 3$ м от точечного изотропного источника звуковых волн амплитуда колебаний частиц среды $A_0 = 10^{-3}$ м. Найдите амплитуду скорости колебаний частиц среды на расстоянии $r = 6$ м от источника. Длина звуковых волн $\lambda = 0,7$ м, а скорость звука $V = 340$ м/с.
- 11.15.4. Найдите наименьшую частоту собственных колебаний столба воздуха в трубе длиной $\ell = 170$ см, если: а) труба закрыта с одного конца; б) труба закрыта с обоих концов. Скорость звука $V = 340$ м/с. Считать, что открытые концы трубы являются пучностями смещения, а закрытые - узлами.

- 11.15.5. При переходе электромагнитной волны из вакуума в диэлектрическую (немагнитную) среду с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 4$ длина волны меняется на величину $\Delta\lambda = 50$ м. Найдите частоту волны ν .
- 11.15.6. В однородной и изотропной среде распространяется плоская электромагнитная волна. Интенсивность волны $I = 10^{-6}$ Вт/м², а амплитуда напряженности электрического поля в волне $E_m = 3 \cdot 10^{-6}$ В/м. Найдите скорость распространения волны. Магнитная проницаемость среды $\mu = 1$.

11.16. Вариант 16

- 11.16.1. Плоская волна распространяется с некоторой скоростью V вдоль оси x . На рисунке изображены зависимости скорости смещения частиц среды $\dot{\xi}$ из положения равновесия в этой волне для моментов времени $t_1 = 1$ с и $t_2 = 3$ с. Используя рисунок, найдите длину волны λ , период колебаний частиц среды T , скорость волны V и амплитуду волны A .

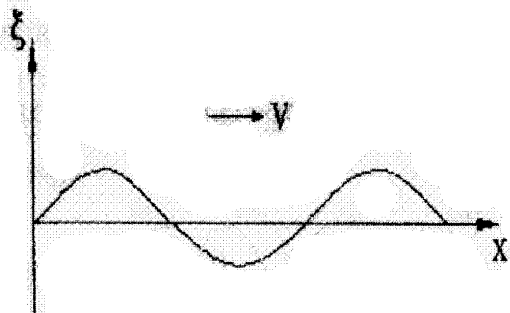


- 11.16.2. Плоская волна распространяется под углом $\alpha = 60^\circ$ к оси x со скоростью $V = 300$ м/с. Уравнение колебаний частиц среды в точке $x = y = 0$ имеет вид $\xi = 0,01 \cos 60 t$ м. Найдите в момент времени $t = 0,05$ с величину смещения частиц из положения равновесия в точке с координатами $x = 15$ м, $y = 0$.
- 11.16.3. Точечный изотропный источник испускает звуковые волны с частотой $\nu = 1,5$ кГц. Интенсивность звука в точке P в три раза больше интенсивности звука в точке M , а разность фаз колебаний частиц среды между этими точками $\Delta\phi = \pi/2$. Найдите, на каком расстоянии от источника находятся точки P и M . Скорость звука в воздухе $V = 340$ м/с.
- 11.16.4. Две одинаковые струны длиной $\ell = 0,8$ м колеблются с одной и той же частотой. При уменьшении длины одной из струн на $\Delta\ell = 0,1$ м, ее частота меняется на $\Delta\nu = 10$ Гц. Найдите частоту колебаний другой струны.
- 11.16.5. Напишите уравнение для электрической составляющей плоской электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме вдоль оси x , если амплитудное значение магнитной составляющей волны $H_m = 2 \cdot 10^{-2}$ А/м, а длина волны $\lambda = 10^{-6}$ м. Начальная фаза волны $\alpha = \pi/3$.

- 11.16.6. В вакууме вдоль оси x распространяются две плоские одинаково поляризованные электромагнитные волны, электрические составляющие которых меняются по закону $\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx)$; $\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx + \alpha)$. Найдите среднее за период значение плотности потока энергии.

11.17. Вариант 17

- 11.17.1. Поперечная плоская волна распространяется вдоль оси x с некоторой скоростью V . На рисунке изображено



смещение частиц среды ξ данной волны от x для некоторого момента времени t . Качественно изобразите зависимости скорости $\dot{\xi}$ и ускорения $\ddot{\xi}$ частиц среды от x для указанного момента времени.

- 11.17.2. Плоская волна распространяется вдоль оси x и проходит расстояние между точками $x_1 = 3$ м и $x_2 = 6$ м за время $\Delta t = 0,01$ с. Напишите уравнение данной волны, если разность фаз колебаний между указанными точками $\Delta \varphi = 6\pi$, а амплитуда колебаний $A = 0,01$ м.

- 11.17.3. Уравнение для скорости колебаний частиц среды $\dot{\xi}$ сферической волны имеет вид $\dot{\xi} = \frac{6}{r} \cos(300t - 6r + \pi/3)$ м/с. Определите длину этой волны λ , скорость ее распространения V и расстояние r_0 от источника, на котором амплитуда волны $A_0 = 10^{-2}$ м.

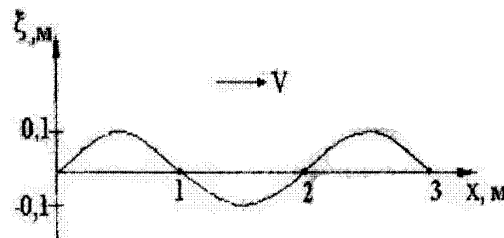
- 11.17.4. В закрытой с одного конца трубы возбуждается основной тон частоты $\nu_1 = 130,5$ Гц. Найдите частоту основного тона ν_2 после того, как трубу открыли, а также длину трубы ℓ . Скорость распространения звука в воздухе $V = 340$ м/с. Считать, что открытые концы трубы являются пучностями смещения, а закрытые - узлами.

- 11.17.5. Напишите уравнение для магнитной составляющей плоской электромагнитной волны, распространяющейся в вакууме вдоль оси x , если амплитудное значение электрической составляющей волны $E_m = 10^{-3}$ В/м, а частота волны $\nu = 10^{10}$ Гц. Начальная фаза волны $\alpha = 0$.

- 11.17.6. В вакууме распространяются две плоские электромагнитные волны, одна вдоль оси x , другая вдоль оси y : $\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx)$; $\vec{E}_2 = \vec{E}_0 \cos(\omega t - ky)$, где вектор $\vec{E}_0$ направлен вдоль оси z . Найдите среднее за период значение плотности потока энергии в точках плоскости $y = x$.

11.18. Вариант 18

- 11.18.1. Продольная плоская волна распространяется вдоль оси x со скоростью $V = 100$ м/с. На рисунке изображена зависимость смещения частиц среды ξ от x для момента времени $t = 0$. Напишите уравнение данной волны.



- 11.18.2. Плоская волна имеет вид $\xi = 0,01 \cos(100t - 3x + 4y)$ м. Найдите разность фаз колебаний частиц среды между точками $x_1 = y_1 = 0$ и $x_2 = y_2 = 1$ м, скорость распространения волны и амплитуду скорости колебаний.

- 11.18.3. Уравнение сферической волны имеет вид $\xi = \frac{0,01}{r} \cos\left(300t - 6r + \frac{\pi}{6}\right)$ м.

Определите, на каком расстоянии от источника волн располагаются точки Р и М, разность фаз между которыми $\Delta\varphi = \pi$, а амплитуды колебаний различаются в 2 раза. Найдите в этих точках амплитудные значения скорости колебаний частиц среды.

- 11.18.4. На струне образовалась стоячая волна, имеющая три узла. Найдите длину струны ℓ , если наименьшее расстояние между точками, в которых амплитуда колебаний в два раза меньше максимальной, равно 30 см.

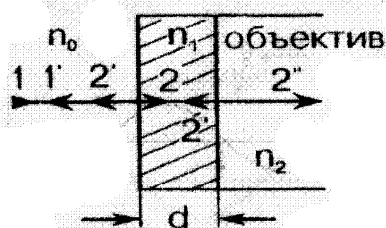
- 11.18.5. В однородной и изотропной среде распространяется плоская электромагнитная волна со скоростью $V = 1,5 \cdot 10^8$ м/с. Амплитуда напряженности магнитного поля волны $H_m = 2 \cdot 10^{-3}$ А/м. Магнитная проницаемость среды $\mu = 2$. Найдите амплитуду напряженности электрического поля волны.

- 11.18.6. В вакууме распространяется плоская электромагнитная волна, магнитная составляющая которой $H = 0,05 \cos(\omega t - 30x + 4y)$ А/м. Найдите частоту этой волны и средний за период поток энергии, проходящий через плоскую поверхность площадью $S = 100$ см², расположенную перпендикулярно оси x .

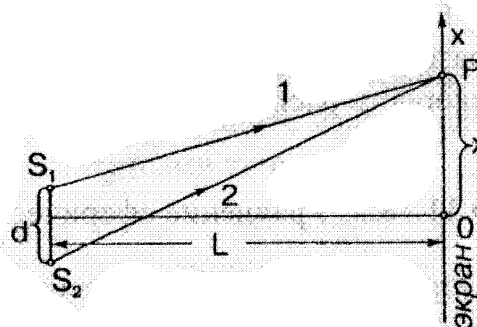
12. Тема: ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

12.1. Вариант 1

- 12.1.1. На объектив фотоаппарата нанесена пленка толщиной d с показателем преломления n_1 ($n_2 > n_1 > n_0$). Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз лучей 1 и 2, отраженных от поверхностей пленки.



- 12.1.2. Два когерентных источника, расстояние между которыми $d = 0,2$ мм, расположены от экрана на расстоянии $L = 1,5$ м. Найдите длину световой волны, если 3-й интерференционный минимум расположен на расстоянии $x = 12,6$ мм от центра картины.



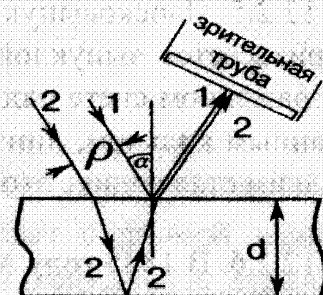
- 12.1.3. Какова наименьшая возможная толщина плоскопараллельной пластинки с показателем преломления $n = 1,5$, если при освещении ее белым светом под углами $i_1 = 45^\circ$ и $i = 60^\circ$ она кажется красной в отраженном свете. Длина волны красного света $\lambda_{кр} = 0,74$ мкм.

- 12.1.4. Сколько зеленых полос уложится на 2 см поверхности стеклянного клина (показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,6$), если свет длиной волны $\lambda = 5,7 \cdot 10^{-7}$ м, падает на клин нормально, а интерференционная картина рассматривается в проходящем свете? Угол клина $\alpha = 24''$

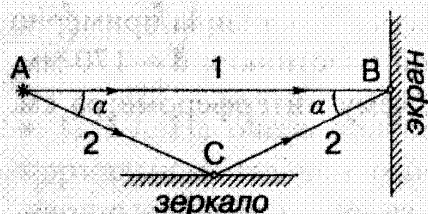
- 12.1.5. Для определения показателя преломления прозрачной жидкости методом измерения «колец Ньютона» применяют линзу радиусом $R = 0,7$ м и стеклянную пластинку. Зазор заполняют изучаемой жидкостью. Показатели преломления линзы n_l и пластинки n . Опыт проведен в проходящем свете длиной волны $\lambda = 5,7 \cdot 10^{-7}$ м (зеленый). Угол падения 0° . Радиус 5-го светлого кольца 1,2 мм. Определите показатель преломления жидкости $n_{ж}$.

• 12.1.6. На пути одного из лучей в интерферометре Жамена поместили откачанную трубку длиной $\ell = 10$ см. При заполнении трубки хлором интерференционная картина сместилась на 131 полосу. Длина волны монохроматического света в этом опыте была равна $5,9 \cdot 10^{-7}$ м. Определите показатель преломления хлора $n_{\text{хлора}}$. (Схему интерферометра см. в приложении 1.)

• 12.1.7. При каких толщинах d пленки исчезают интерференционные полосы при освещении ее светом с $\lambda_0 = 6 \cdot 10^{-5}$ см? Показатель преломления пленки $n = 1,5$. Угол падения лучей 45° .

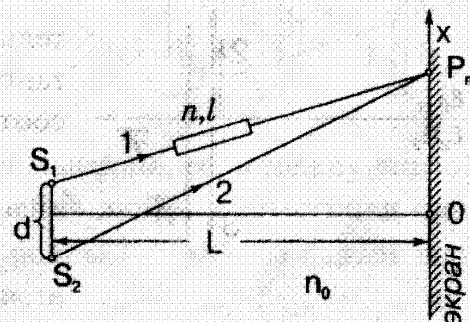


12.2. Вариант 2

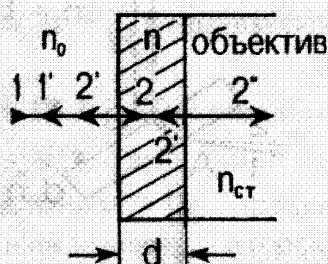


• 12.2.1. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2.

• 12.2.2. В установке Юнга на пути одного из лучей расположена трубка с плоскопараллельными стеклянными основаниями и длиной ℓ . На экране наблюдается интерференционная картина, когда эта трубка наполнена воздухом. Затем трубку наполняют гелием. При этом наблюдается смещение интерференционной картины на $N = 30$ полос. Вся установка помещена в термостат. В опыте используется свет с длиной волны $\lambda = 589$ нм (линия Д-натрия). Показатели преломления воздуха $n_{\text{в}} = 1,000276$ и гелия $n_{\text{ге}} = 1,000865$. Определите длину трубки.



• 12.2.3. Пластинку покрывают «просветляющей» пленкой и за счет лучей, отраженных от обеих поверхностей пленки, уменьшают отраженный от пластинки поток света. Длина волны света $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м, показатели преломления стекла $n_{\text{ст}} = 1,58$, а воздуха $n_0 = 1$. Рассчитайте показатель преломления пленки n , если ее толщина составляет $d = 0,1$ мкм.

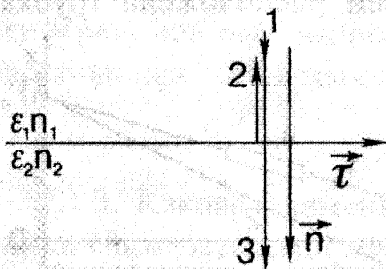


• 12.2.4. На изображении натриевого пламени (длина волны света $\lambda = 589$ нм) через вертикальную мыльную пленку видны темные горизонтальные полосы. Расстояние между серединами темных соседних полос $\ell = 5$ мм. Показатель преломления пленки $n = 1,33$. Каков угол между поверхностями пленки?

• 12.2.5. Плосковыпуклая стеклянная линза с радиусом кривизны $R = 40$ см соприкасается выпуклой поверхностью со стеклянной пластинкой. При этом в отраженном свете радиус m -порядка темного кольца $r = 2,5$ мм. Наблюдая за данным кольцом, линзу осторожно отодвинули от пластинки на $\Delta h = 10$ мкм. Каким стал радиус этого кольца?

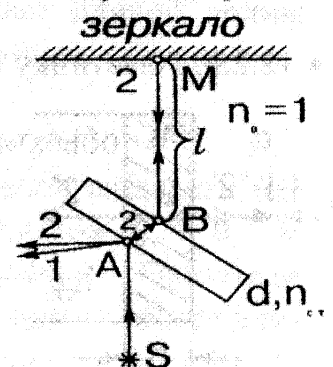
• 12.2.6. В 1885 году Майкельсон выполнил знаменитый опыт, вошедший в историю физики. Он произвел сравнение длины волны одной из линий кадмия с длиной нормального метра (эталоны). Пучок параллельных лучей монохроматического света создавал в интерферометре интерференционную картину. Угол α между зеркалами небольшой, разность хода лучей составила примерно 500 000 длин волн, а толщина «прозрачной воздушной пластинки» $d = 170$ мм. Определите длину волны, используемую в опыте. (Схему интерферометра см. в приложении 2а и 2б.)

• 12.2.7. Докажите, что при отражении световой волны от среды оптически менее плотной у вектора $\vec{E}$ не изменяется фаза относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ — тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно).

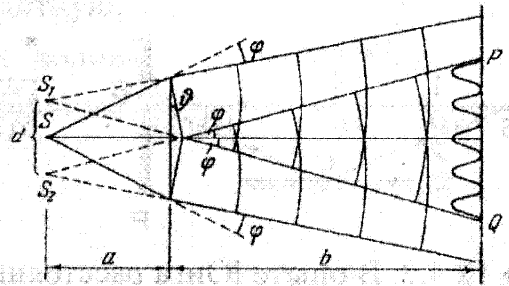


12.3. Вариант 3

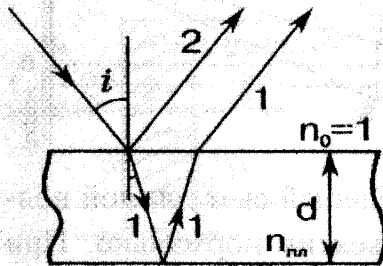
• 12.3.1. Луч света идет от источника S и в точке A делится на луч 1, отраженный от стеклянной пластинки, и луч 2, проходящий эту пластинку по пути AB , идущий дальше до зеркала M , отражающийся от него, снова проходящий стеклянную пластинку и выходящий из нее. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз лучей 1 и 2 (от момента разделения в точке A до момента сложения в точке A). Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст}$, зеркала n_z .



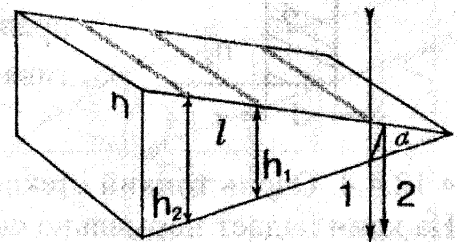
- 12.3.2. Расстояние от бипризмы Френеля до узкой щели (источника) равно 48 см, а до экрана 6 м. Бипризма стеклянная с преломляющим углом $10'$. Показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,5$. Длина волны света $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м. Определите ширину интерференционной полосы.



- 12.3.3. Найдите минимальную толщину пленки с показателем преломления $n_{пл} = 1,33$, при которой свет с длиной волны $\lambda = 0,64$ мкм испытывает максимальное отражение. Угол падения света $i = 30^\circ$.



- 12.3.4. На очень тонкой клиновидной пластинке в проходящем свете при нормальном падении наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между полосами $\ell = 3$ мм, длина волны света $\lambda = 580$ нм, показатель преломления пластинки $n = 1,5$. Найдите угол клина α .

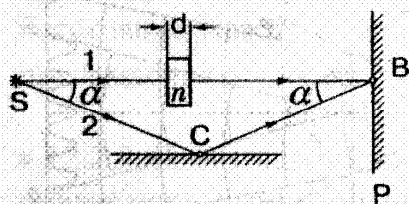


- 12.3.5. Найдите радиус первого темного кольца Ньютона, если между линзой и пластинкой налит бензол. Показатели преломления линзы и пластинки одинаковы $n_{ст} = 1,8$, бензола $n = 1,5$, свет длиной волны $\lambda = 589$ нм падает нормально. Наблюдение проводится в отраженном свете.

- 12.3.6. В одном из опытов Майкельсона по измерению скорости света оптическая разность хода лучей при многократном отражении от зеркал получилась $11 \cdot 10^{-8}$ м. При этом интерференционная картина сместилась на 0,4 полосы. (Прибор позволял обнаружить смещение на 0,01 полосы.) Определите длину волны λ , используемую в опыте. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

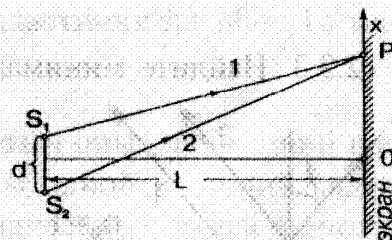
- 12.3.7. На стеклянный клин (показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,5$) падает пучок света длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм под углом $i = 15^\circ$. Угол при вершине клина $\alpha = 1'$. Определите расстояние между двумя соседними минимумами при наблюдении интерференции в отраженном свете. Рассчитайте расстояние от вершины клина, при котором интерференционные полосы начнут исчезать, если степень немонохроматичности $\Delta\lambda/\lambda = 0,01$.

12.4. Вариант 4

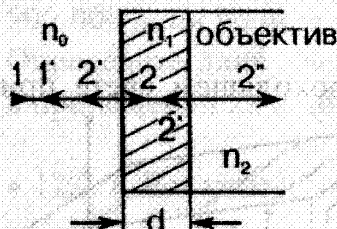


- 12.4.1. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз волн 1 и 2 в соответствии с рисунком.

- 12.4.2. В опыте Юнга расстояние между щелями $d = 1$ мм, а от щелей до экрана $L = 3$ м. Определите положение первой светлой полосы, если щели освещают монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м.



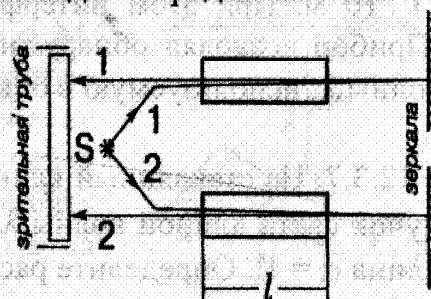
- 12.4.3. На объектив фотоаппарата нанесена пленка. Зеленый свет длиной волны $\lambda_0 = 570$ нм падает на объектив нормально. При какой минимальной толщине пленки d потери на отражение (лучи 1 и 2) будут максимальны? Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, пленки $n_1 = 1,3$, объектива $n_2 = 1,87$.



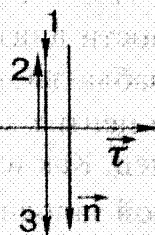
- 12.4.4. Очень тонкий стеклянный клин вырезан из флинта. Угол клина $\alpha = 9^\circ$. На клин падает нормально синий свет длиной волны $\lambda = 570$ нм, а интерференционная картина рассматривается в проходящем свете. Синие соседние полосы располагаются на расстоянии 5 мм. Определите показатель преломления флинта.

- 12.4.5. Линза с радиусом кривизны $R = 8,6$ м лежит на плоской стеклянной пластинке. Свет длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м падает на линзу нормально. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст} = 1,5$. Определите диаметр 4-го темного кольца (центральное - темное).

- 12.4.6. Интерферометр Майкельсона был применен для определения показателя преломления водорода. Для этого в оба пучка света поместили цилиндрические трубки длиной $\ell = 10$ см, закрытые с торцов прозрачными плоскопараллельными пластинками. Вначале из трубок был выкачан воздух, потом в одну из них впустили водород. Интерференционная картина сместилась на $N = 41$ полосы. Показатель преломления водорода получился равным 1,00012. На какой длине волны проводились измерения? (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

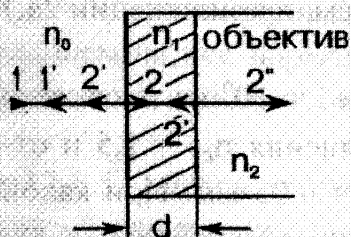


- 12.4.7. Определите изменение фазы светового вектора $\vec{E}$ у волны, прошедшей из оптически более плотной среды в менее плотную, относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно).

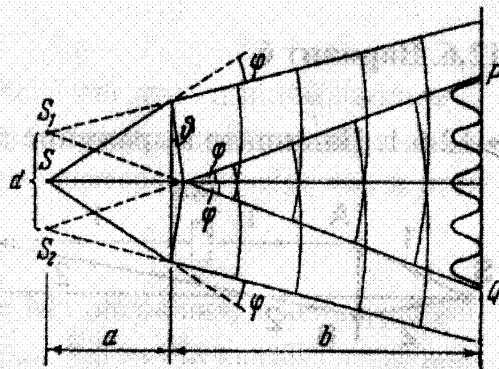


12.5. Вариант 5

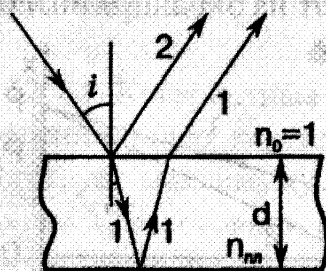
- 12.5.1. На объектив фотоаппарата нанесена пленка толщиной d с показателем преломления $n_1 > n_2$ стекла. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз волн 1 и 2 в соответствии с рисунком.



- 12.5.2. В опыте с бипризмой Френеля лучи от источника S проходят через бипризму и создают на экране интерференционную картину. Выразите расстояние OP от центра интерференционной картины до m -й светлой полосы через a (расстояние от источника до бипризмы) и b (расстояние от бипризмы до экрана). Показатель преломления бипризмы n , ее преломляющий угол α ; длина волны λ . Интерферирующие лучи падают на экран почти перпендикулярно ему.



- 12.5.3. Тонкая прозрачная пластинка освещается светом с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм и рассматривается в отраженном свете. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$ и пластинки $n_{пл} = 1,6$. В каких пределах может меняться толщина пластинки, чтобы можно было наблюдать максимум 12-го порядка?



- 12.5.4. Между двумя стеклянными пластинками (показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,8$) положили тонкую проволочку так, что получился воздушный клин. В отраженном свете (длина волны света $\lambda = 0,5$ мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. На расстоянии $\ell = 3$ см укладывается $N = 16$ полос. Если же пространство между пластинками заполнить сероуглеродом (показатель преломления сероуглерода $n_c = 1,6$), то сколько полос уложится на 3 см длины клина?

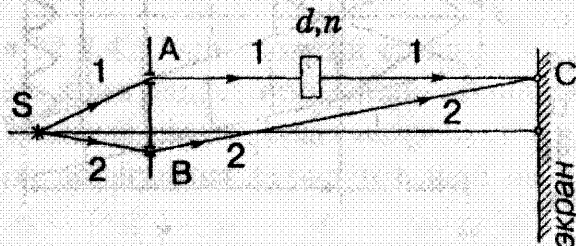
- 12.5.5. В результате интерференции лучей, отраженных от выпуклой поверхности линзы и от плоской стеклянной пластинки, на которой эта линза лежит, наблюдаются кольца Ньютона. При наблюдении колец в отраженном свете в центре картины получается темное пятно. Определите радиусы светлых колец. Как изменится картина колец, если пространство между пластиной и линзой заполнить жидкостью? Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст}$, жидкости $n_ж$ ($n_ж < n_{ст}$).

- 12.5.6. Изображена схема двухлучевого интерферометра Майкельсона. Почему при поступательном перемещении подвижного зеркала интерференционная картина периодически исчезала? (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

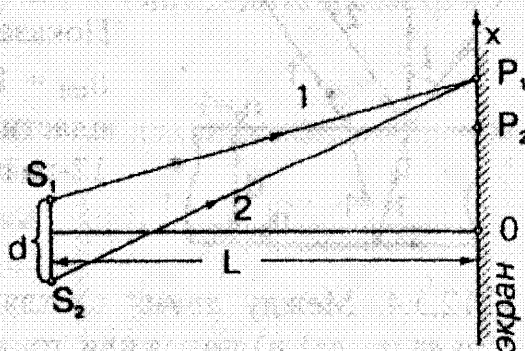
- 12.5.7. Зеленый свет с $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$ м падает под углом $i = 10^\circ$ на плоскопараллельную стеклянную пластинку с показателем преломления $n_{ст} = 1,5$ и отражается от ее поверхностей. Радиус когерентности $\rho_{кор} = 0,05$ мм. При какой толщине пластинки выполнится условие пространственной когерентности лучей? Начертите ход лучей.

12.6. Вариант 6

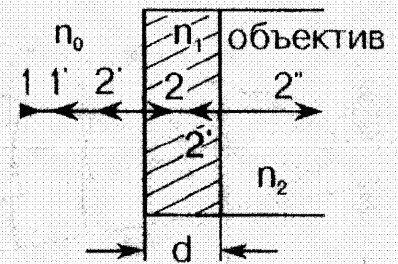
- 12.6.1. Напишите выражение для оптической разности хода и выражение для разности фаз когерентных волн 1 и 2 в соответствии с рисунком.



- 12.6.2. Когерентные волны от источников S_1 и S_2 создают на экране Э интерференционную картину. P_1 - точка соответствует максимуму m - порядка, P_2 - максимуму $(m - 1)$ порядка. Длина волны λ , расстояние от плоскости, в которой расположены источники, до экрана L , между источниками d ($d \ll L$). Запишите выражение для оптической разности хода волн и условие максимума интерференции соответственно для точек P_1 и P_2 .



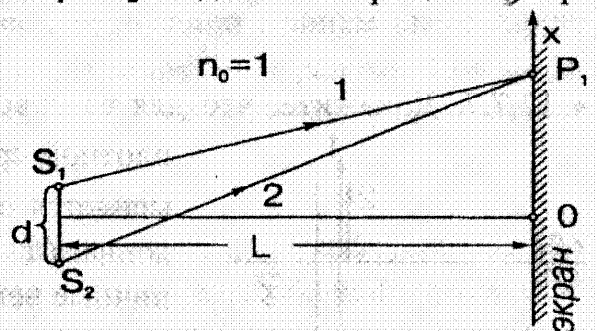
- 12.6.3. Для какого спектрального интервала (для каких длин волн λ) подойдет «просветляющая» пленка толщиной $d = 0,1$ мкм, нанесенная на фотообъектив? Пленка нужна для уменьшения потерь при отражении лучей от объектива. (Это возможно в результате интерференции лучей 1 и 2, отраженных от поверхности пленки.) Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, пленки $n_1 = 1,31$ и объектива $n_2 = 1,53$.



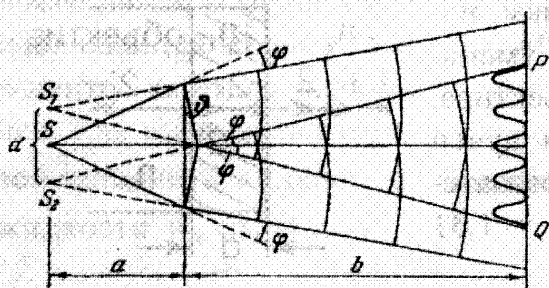
- 12.6.4. Тонкая клиновидная пластинка из стекла с показателем преломления $n_{ст} = 1,5$ рассматривается в проходящем свете длиной волны $\lambda = 570$ нм, падающем на нее нормально. Рассчитайте угол клина, если интерференционные полосы расположены на расстоянии 0,5 мм.
- 12.6.5. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой линзой налита жидкость. Найдите показатель преломления жидкости, если радиус 8-го темного кольца в отраженном свете длиной волны $\lambda = 0,7$ мкм равен 2 мм. Радиус линзы $R_{л} = 1$ м.
- 12.6.6. Интерферометр Майкельсона освещается светом длиной волны $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м. Определите перемещение одного из зеркал, если интерференционная картина сместилась на $N = 16$ полос. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)
- 12.6.7. Звезда, наблюдаемая в интерферометре Майкельсона, имела угловой диаметр $0,02''$ при радиусе когерентности лучей $\rho_{ког} = 6$ м. На какой длине волны проводились измерения? (Схему интерферометра см. в приложении 3.)

12.7. Вариант 7

- 12.7.1. Когерентные волны от источников S_1 и S_2 создают на экране Э интерференционную картину. Точка P_1 соответствует максимуму m -порядка. Длина волны λ , расстояние от плоскости, в которой расположены источники, до экрана L , между источниками d ($d \ll L$). Запишите выражение для оптической разности хода волн и разности фаз волн 1 и 2.



- 12.7.2. Расстояние от бипризмы Френеля до узкой щели (источника) равно 30 см, а до экрана 1,5 см. Бипризма стеклянная. Показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,5$. Преломляющий угол призмы 20° . Определите длину волны света, если ширина интерференционных полос 0,65 мм.

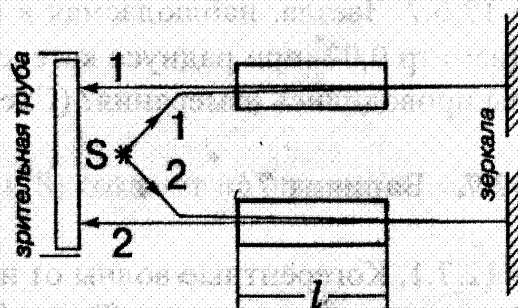


- 12.7.3. Мыльная пленка имеет толщину d , составляющую 0,1 от длины волны падающего света. Темной или светлой будет она в отраженном свете? Пленка находится в воздухе.

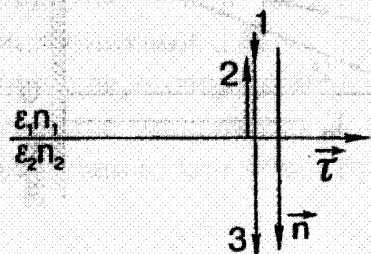
- 12.7.4. Свет длиной волны $\lambda = 5,82 \cdot 10^{-7}$ м падает нормально на стеклянный клин. Угол клина равен $20''$. Какое число темных интерференционных полос приходится на единицу длины клина? Показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,5$. Интерференция наблюдается в проходящем свете.

- 12.7.5. Найдите расстояние ℓ между 20-м и 21-м кольцами Ньютона, если расстояние между 2-м и 3-м равно 1 мм. Темные кольца наблюдаются в отраженном свете. Как изменится расстояние между кольцами, если между линзой и пластиной поместить жидкость с показателем преломления $n_{ж} = 1,3$?

- 12.7.6. На пути лучей в интерферометре Майкельсона поместили откачанные стеклянные трубки длиной $\ell = 14$ см. При заполнении одной трубки аммиаком интерференционная картина сместилась на $N = 180$ полос. Длина волны света $\lambda = 590$ нм. Найдите показатель преломления аммиака $n_{ам}$. (Схему интерферометра см. в приложении 2а).

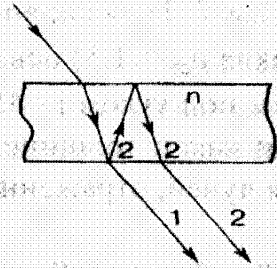


- 12.7.7. Докажите, что для световой волны, прошедшей из оптически более плотной среды в менее плотную, фаза вектора $\vec{E}$ не меняется относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне. ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно.)

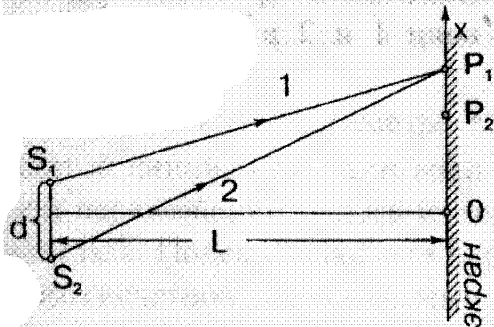


12.8. Вариант 8

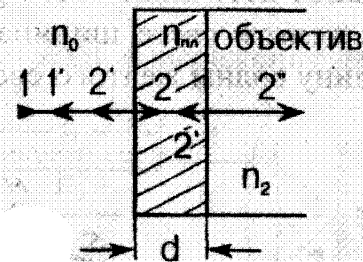
- 12.8.1. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2 в соответствии с рисунком.



- 12.8.2. Определите расстояние между когерентными источниками в опыте Юнга, если экран удален от источников на расстояние 1 м, ширина интерференционной полосы на экране равна $2,7 \cdot 10^{-5}$ м. В опыте использован свет длиной волны $\lambda = 5,8 \cdot 10^{-7}$ м, показатель преломления воздуха $n_0 = 1$.



- 12.8.3. На объектив фотоаппарата для «просветления» наносят пленку толщиной $d = 0,11$ мкм так, что свет длиной волны $\lambda = 6,3 \cdot 10^{-7}$ м, падающий под углом 0° и отраженный от поверхностей пленки, имеет минимальную интенсивность (нет отраженного луча). Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, пленки $n_{пл}$, объектива n_2 ($n_0 < n_{пл} < n_2$). Определите показатель преломления пленки $n_{пл}$.

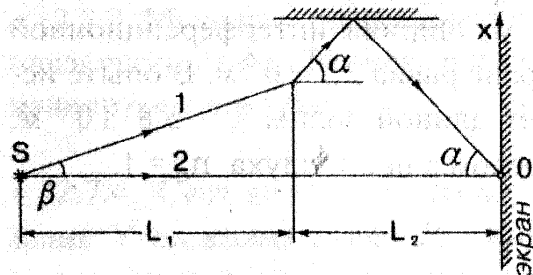


- 12.8.4. На очень тонкую клиновидную пластинку нормально падает свет длиной волны $\lambda = 580$ нм. В отраженном свете наблюдаются интерференционные полосы. Расстояние между соседними темными полосами $\ell = 5$ мм, а показатель преломления пластинки $n = 1,5$. Найдите угол между гранями пластинки.
- 12.8.5. При наблюдении колец Ньютона в отраженном синем свете длиной волны $\lambda = 450$ нм радиус третьего светлого кольца оказался равным 1,06 мм, а в красном свете радиус пятого светлого кольца 1,77 мм. Найдите радиус кривизны линзы R и длину волны красного света $\lambda_{кр}$.
- 12.8.6. Какая интерференционная картина возникает в интерферометре Майкельсона, если для освещения применяется строго параллельный пучок монохроматического света, а зеркала образуют очень малый угол. (Схему интерферометра см. в приложении 2а и 2б.)

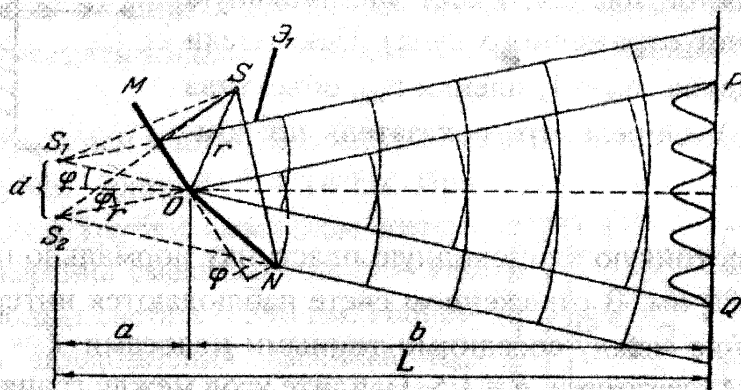
- 12.8.7. Плоскопараллельная стеклянная пластинка (показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,5$) освещается зеленым светом длиной волны $\lambda_0 = 570$ нм, падающим под углом $i = 45^\circ$. Радиус когерентности в падающей волне $\rho_{ког} = 0,05$ мм. При какой толщине пластинки выполнится условие временной когерентности для лучей, отраженных от поверхностей пластинки? Начертите ход лучей.

12.9. Вариант 9

- 12.9.1. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2 в соответствии с рисунком.



- 12.9.2. В опыте с зеркалами Френеля расстояние между мнимыми изображениями источника света равно $d = 0,5$ мм, а от источников до экрана $L = 5$ м. В желтом свете ширина интерференционных полос равна 6 мм. Определите длину волны желтого света.



- 12.9.3. На плоскопараллельную пленку с показателем преломления $n_{пл} = 1,33$ под углом $i = 45^\circ$ падает параллельный пучок белого света. Определите при какой наименьшей толщине зеркально отраженный свет наиболее сильно окрасится в желтый цвет? Длина волны желтого света $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м.
- 12.9.4. Воздушный клин образован двумя стеклянными пластинками, скрепленными под углом α . На клин нормально падает свет с длиной волны $\lambda = 0,53$ мкм. На поверхности клина видны в отраженном свете интерференционные полосы. Ширина полосы 2 мм. Как изменится интерференционная картина, если пространство между пластинками заполнить водой? Как изменится ширина полосы? Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, воды $n_в = 1,33$, стекла $n_{ст} = 1,87$.

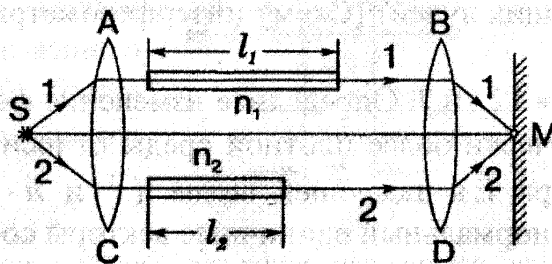
- 12.9.5. Для определения показателя преломления прозрачной жидкости ею заполняют зазор между пластинкой и линзой и наблюдают «кольца Ньютона» в проходящем свете длиной волны $\lambda = 570$ нм, падающим нормально. Радиус четвертого светлого кольца 1,3 мм, радиус линзы 1 м. Определите показатель преломления жидкости $n_{\text{ж}}$.

- 12.9.6. В одном из опытов подвижное зеркало в интерферометре Майкельсона переместили на $\ell = 2,4 \cdot 10^{-2}$ мм. При этом интерференционная картина сместилась на $N = 80$ полос. На какой длине волны проводилось измерение? (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

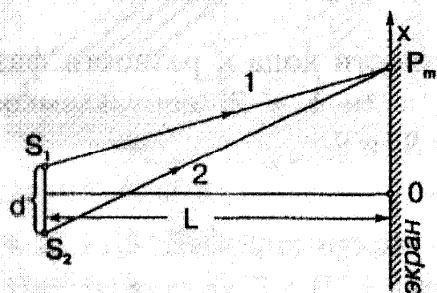
- 12.9.7. В интерферометре Майкельсона при использовании света двойной желтой линии с длинами волн $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм при поступательном перемещении одного из зеркал интерференционная картина периодически исчезала. Почему? Найдите перемещение зеркала между двумя последовательными исчезновениями. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

12.10. Вариант 10

- 12.10.1. Запишите выражение для оптической разности хода и выражение для разности фаз когерентных волн 1 и 2 в соответствии с рисунком.

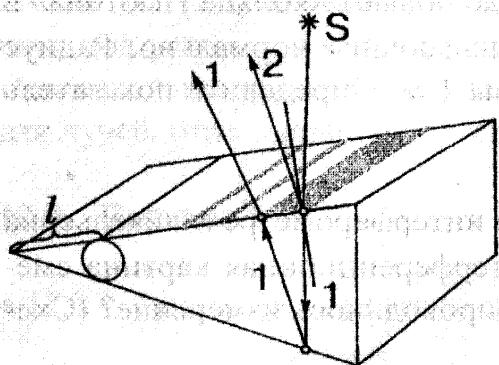


- 12.10.2. В опыте Юнга вначале берется свет длиной волны $\lambda = 0,66$ мкм, а затем свет с неизвестной длиной волны λ_x . Какова длина волны λ_x , если 7-я светлая полоса для первой длины волны совпадает с 10-й темной полосой для второй длины волны?



- 12.10.3. Плоскопараллельная пластинка освещается белым светом, а рассматривается в отраженном свете под углом 30° . При этом она кажется синей. Длина волны синего света равна $\lambda = 5,2 \cdot 10^{-7}$ м. Показатели преломления пластинки $n_{\text{пл}} = 1,4$, а воздуха $n_0 = 1$. Определите минимальную толщину пленки.

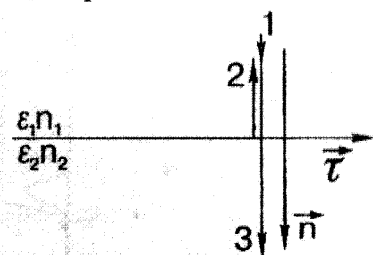
- 12.10.4. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволоку. Проволока находится на расстоянии 7,5 см от линии соприкосновения пластинок и параллельна ей. В отраженном свете на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определите толщину проволоочки, если на длине клина в 3 см насчитывается 16 полос. Длина волны света $\lambda = 0,5$ мкм.



- 12.10.5. Линза из кронгласа лежит на плоскопараллельной пластинке из флинтгласа. Пространство между ними заполнено бензолом. Свет длиной волны $\lambda = 590$ нм падает на линзу нормально. При наблюдении в отраженном свете радиус 6-го светлого кольца равен 5 мм. Определите радиус кривизны линзы. Показатели преломления бензола $n_b = 1,6$, кронгласа $n_k = 1,51$, флинтгласа $n_f = 1,8$.

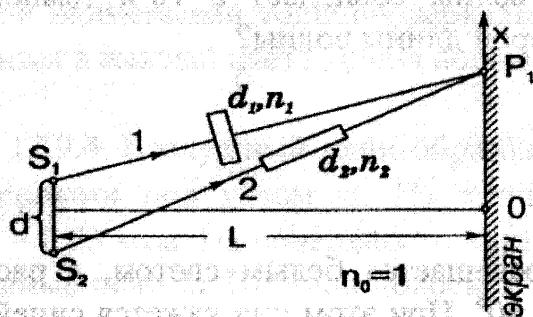
- 12.10.6. В интерферометре Жамена при измерениях интерференционная картина сместилась на $N = 1$ полосу. На сколько изменился путь интерферирующих лучей? (Схему интерферометра см. в приложении 1.)

- 12.10.7. Определите изменение фазы вектора $\vec{E}$ в волне, отраженной от оптически более плотной среды относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне. ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно.)

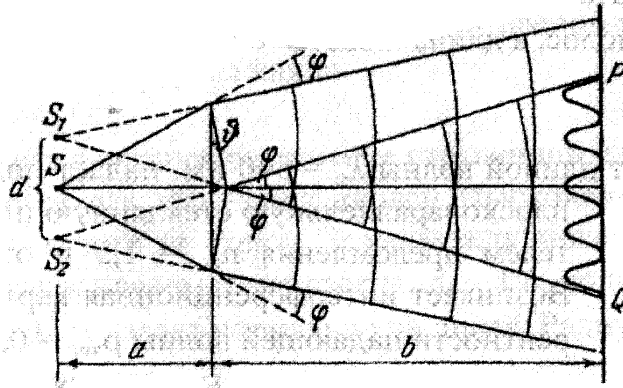


12.11. Вариант 11

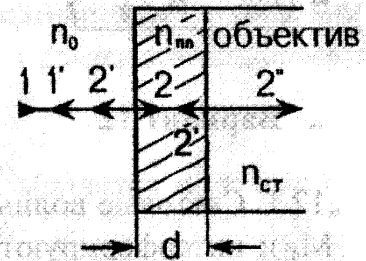
- 12.11.1. Запишите выражения для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2, испускаемых источниками S_1 и S_2 .



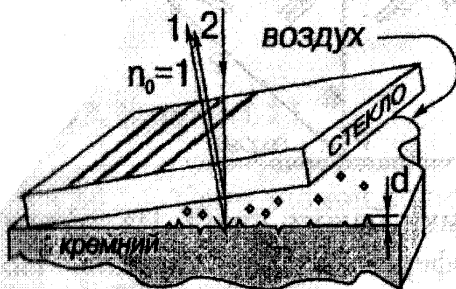
- 12.11.2. В опыте с бипризмой Френеля лучи от источника S проходят через призму B и дают на экране $\mathcal{E}$ интерференционную картину. Расстояние от источника S до бипризмы $b = 50$ см, от бипризмы до экрана $\mathcal{E}$ расстояние $L = 450$ см. Каков тупой угол θ бипризмы, если интерференционные полосы натриевого света длиной волны $\lambda = 590$ нм отстоят друг от друга на расстоянии $\Delta x = 1,1$ мм? Показатель преломления призмы $n = 1,578$.



- 12.11.3. На поверхность стеклянного объектива с показателем преломления ($n_{ст} = 1,5$) нанесена тонкая пленка, показатель преломления которой $n_{пл} = 1,2$ («просветляющая» пленка). При какой наименьшей толщине этой пленки произойдет максимальное ослабление отраженного света в средней части видимого спектра? Длина волны света $\lambda_0 = 5 \cdot 10^{-7}$ м, показатель преломления воздуха $n_0 = 1$.

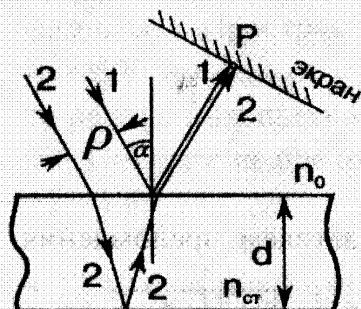


- 12.11.4. Для качественного контроля чистоты обработки поверхности на изучаемый образец (например, кристалл кремния) накладывают стеклянную эталонную пластинку и прижимают с одной стороны. Образуется клин. Какая интерференционная картина возникает, если освещать установку зеленым светом длиной волны $\lambda = 0,550$ мкм?



- 12.11.5. Двояковыпуклая линза сложена с двояковогнутой. Система имеет оптическую силу $D = 0,25$ диоптрий. Свет длиной волны $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м падает нормально. В проходящем свете наблюдается интерференционная картина. Определите радиус 5-го темного кольца, если зазор между линзами: а) воздушный; б) заполнен водой. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, воды $n_в$, стекла $n_{ст}$ ($n_в < n_{ст}$).

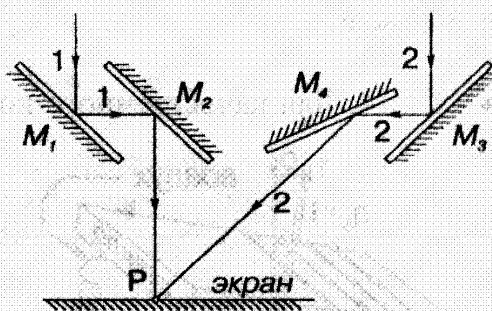
- 12.11.6. По схеме интерферометра Жамена построены шахтные интерферометры для определения концентрации метана через измерение его показателя преломления. Используется источник света длиной волны $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7}$ м. В одной кювете находится чистый воздух с показателем преломления $n_0 = 1,000276$, в другой - сначала тот же чистый воздух. Наблюдают интерференционную картину. Затем во второй кювете делают замену на воздух, содержащий метан. Определите его показатель преломления n_m , если интерференционная картина сместилась на $N = 12$ полос, а длина кюветы $\ell = 10$ см. (Схему интерферометра см. в приложении 1.)



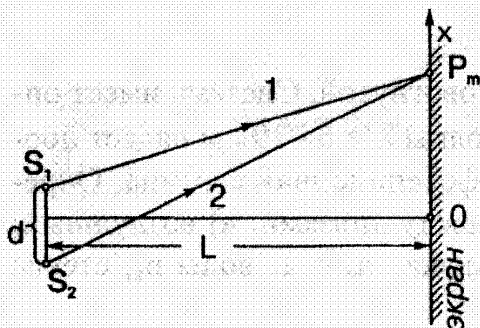
- 12.11.7. Зеленый свет длиной волны $\lambda_0 = 540$ нм падает под углом $i = 10^\circ$ на плоскопараллельную стеклянную пластинку с показателем преломления $n_{ст} = 1,5$ и отражается от нее. Возникает интерференционная картина. Радиус когерентности падающей волны $\rho_{ког} = 0,05$ мм. При какой толщине пластинки выполнится условие временной когерентности? Начертите ход лучей.

12.12. Вариант 12

- 12.12.1. Световые волны 1 и 2 когерентны. Они отражаются от зеркал M_1, M_2, M_3, M_4 и интерferируют в точке P на экране. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз лучей 1 и 2.



- 12.12.2. S_1 и S_2 - точечные когерентные источники белого света. На экране образуется интерференционная картина. Но при этом каждый интерференционный максимум является многоцветным с красным ($\lambda_{кр} = 0,7$ мкм) наружным и фиолетовым ($\lambda_{ф} = 0,4$ мкм) внутренним краями. Найдите ширину максимума, если расстояние между источниками $d = 4$ мм, а до экрана $L = 4$ м.



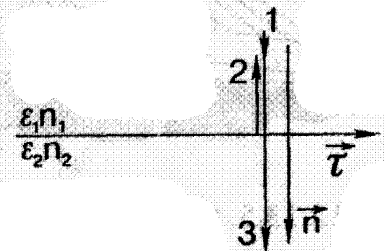
• 12.12.3. На тонкую прозрачную пластинку падают лучи белого света под углом $i = 45^\circ$. В отраженном свете пластинка окрашена в зеленый цвет. Что произойдет с окраской пластины при уменьшении и при увеличении угла падения лучей света?

• 12.12.4. Стекланный клин освещают падающим по нормали синим светом с длиной волны $\lambda = 0,57$ мкм. В проходящем свете на 1 см длины клина видны 7 синих интерференционных полос. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст} = 1,6$. Определите угол клина.

• 12.12.5. Определите фокусное расстояние стекланный плосковыпуклой линзы, которая используется для получения «колец Ньютона» в проходящем свете. Пластика сделана из того же стекла. Зазор между линзой и пластиной заполнен водой. Показатели преломления стекла $n_c = 1,6$, воды $n_v = 1,34$. Свет длиной волны $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м падает нормально на линзу. Радиус 3-го темного кольца равен 1,74 мм.

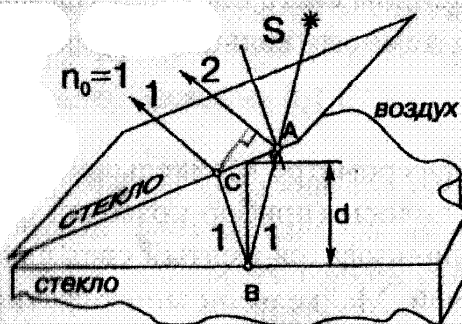
• 12.12.6. Какая интерференционная картина возникает в интерферометре Майкельсона, если для освещения применяется слегка расходящийся пучок монохроматического света, а зеркала строго параллельны. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

• 12.12.7. Докажите, что у светового вектора $\vec{E}$ фаза меняется на π при отражении волны от более плотной среды относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне. ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно).

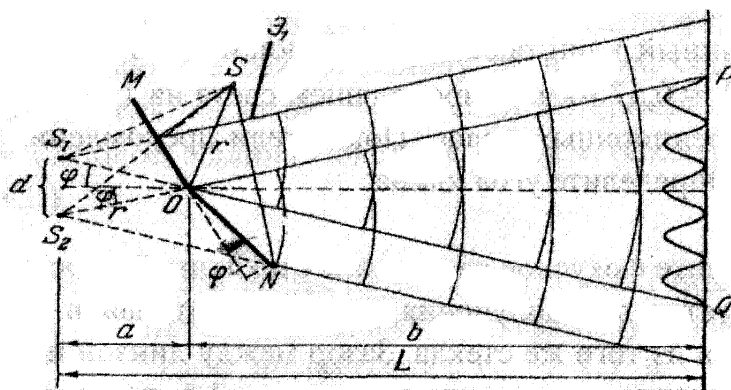


12.13. Вариант 13

• 12.13.1. Свет длиной волны λ падает от источника S под углом φ на воздушный клин, образованный двумя стекланными пластинками и делится на лучи 1 и 2. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$ и стекла $n_{ст}$. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2.

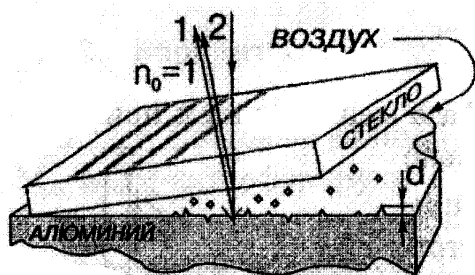


- 12.13.2. Определите угол φ между зеркалами Френеля, если расстояние между интерференционными полосами на экране Э равно 1 мм. Лучи длиной волны $\lambda = 486,1$ нм падают на экран почти перпендикулярно. Расстояние от линии пересечения зеркал до источника S равно $r = 0,1$ м, а до экрана $b = 1$ м.



- 12.13.3. Определите, при какой минимальной толщине пленки с показателем преломления $n_{пл} = 1,33$ свет длиной волны $\lambda = 0,40$ мкм не отражается совсем. Угол падения света $i = 30^\circ$.

- 12.13.4. Быстро и качественно чистоту обработки поверхности алюминиевой пластины проверяют так: на нее кладется стеклянная очень ровная пластина и с одной стороны прижимается. Возникает воздушный клин. На установку нормально падает свет длиной волны $\lambda_0 = 540$ нм. Наблюдение ведется в отраженном свете. Какой минимальный размер шероховатостей оценивается этим методом?



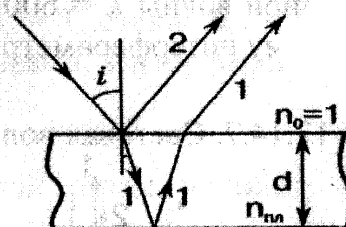
- 12.13.5. Фокусное расстояние плосковыпуклой стеклянной линзы $F = 4$ м. Она лежит на плоской пластинке из того же стекла. Зазор между линзой и пластинкой в первом случае - воздушный, во втором - заполнен водой. Показатели преломления стекла $n_{ст} = 1,6$, воздуха $n_0 = 1$, воды $n_в = 1,34$. Свет длиной волны $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$ м падает на линзу нормально. В отраженном свете наблюдается интерференционная картина. Определите радиус 5 темного кольца в первом и втором случаях.

- 12.13.6. При измерении скорости света на интерферометре Майкельсона интерференционная картина сместилась на $N = 0,8$ полосы (прибор позволял обнаружить смещение на 0,01 полосы). В опыте использовался желтый свет длиной волны $\lambda_0 = 590$ нм. Чтобы удлинить путь лучей, Майкельсон многократно отражал их от зеркал. Какая оптическая разность хода лучей соответствовала данному опыту? (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

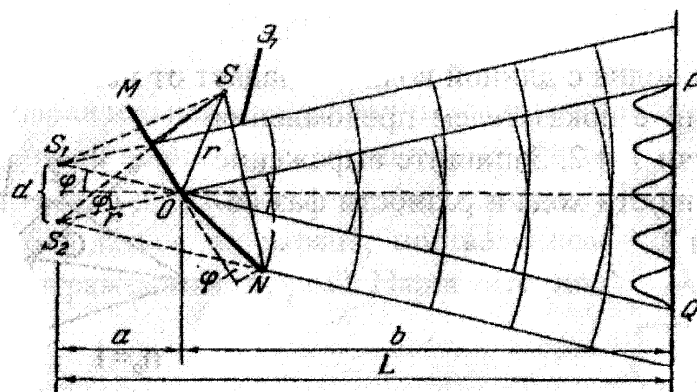
- 12.13.7. Угловой диаметр Солнца составляет 0,01 радиан. Длина световой волны $\lambda = 600$ нм. Определите радиус когерентности $\rho_{\text{ког}}$ солнечных лучей (из опытов с интерферометром Майкельсона). (Схему интерферометра см. в приложении 3.)

12.14. Вариант 14

- 12.14.1. Световая волна длиной волны λ падает от источника на тонкую стеклянную пластинку толщиной d и показателем преломления $n_{\text{пл}}$ и делится на лучи 1 и 2, которые приходят на экран. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз волн 1 и 2. Стеклянная пластинка окружена воздухом с показателем преломления n_0 .



- 12.14.2. Определите расстояние между мнимыми когерентными источниками в опыте с зеркалами Френеля, если на экране Э на длине 10,8 мм расположены 6 интерференционных полос. Расстояние от источников до экрана $L = 3$ м. Длина волны монохроматического света $\lambda = 600$ нм.

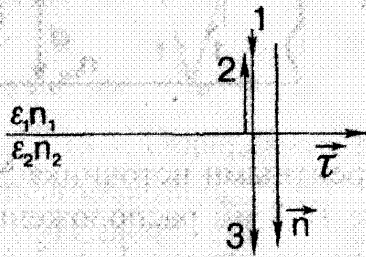


- 12.14.3. Тонкая прозрачная пластинка толщиной d освещена белым светом, падающим нормально. Показатель преломления пластинки $n_{\text{пл}} = 1,5$. При наблюдении пластинки в отраженном свете она кажется зеленой. Длина волны зеленого света $\lambda_z = 570$ нм. Какой цвет имела бы пластинка, если бы ее толщина увеличилась на $0,1 d$?
- 12.14.4. В отраженном свете рассматривают интерференционную картину, которая получается при нормальном падении синего света длиной волны $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$ м на тонкий стеклянный клин с углом $\alpha = 25''$. Определите расстояние между соседними светлыми полосами. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{\text{ст}} = 1,46$.

• 12.14.5. Плосковыпуклая линза с радиусом кривизны $R = 4$ м лежит на плоской пластинке. Показатель преломления стекла $n_{\text{ст}} = 1,5$, воздуха $n_0 = 1$. Определите длину волны падающего монохроматического света, если радиус пятого светлого кольца в отраженном свете равен 3 мм.

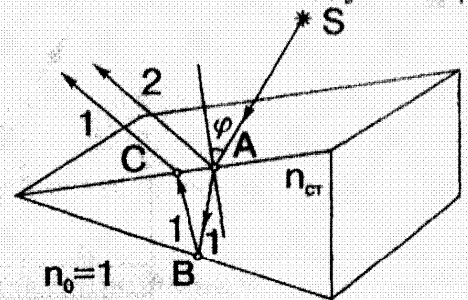
• 12.14.6. В 1920 году Майкельсон построил звездный интерферометр. Перемещая зеркала, Майкельсон определил, что если расстояние между ними $\ell = 4$ м, то интерференционная картина исчезает. Наблюдение проводилось на свете длиной волны $\lambda = 600$ нм. Определите угловой диаметр наблюдаемой звезды. (Схему интерферометра см. в приложении 3.)

• 12.14.7. Световая волна $\vec{E}$ прошла из среды оптически менее плотной в среду более плотную. Определите изменение фазы вектора $\vec{E}$ в прошедшей волне относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно).

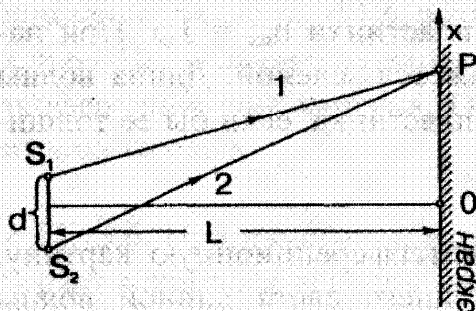


12.15. Вариант 15

• 12.15.1. Световая волна с длиной волны λ падает от источника S под углом φ на стеклянный клин с показателем преломления $n_{\text{ст}}$ и делится на лучи 1 и 2. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2.



• 12.15.2. В опыте Юнга расстояние между щелями $d = 1$ мм, а от щелей до экрана равно $L = 3$ м. Определите положение третьей темной полосы, если щели освещают монохроматическим светом длиной волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м.



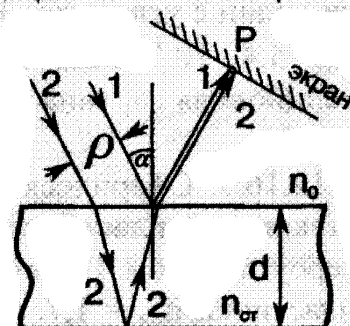
• 12.15.3. Найдите минимальную толщину плоской пленки с показателем преломления $n_{пл} = 1,33$, при отражении от поверхности которой свет длиной волны $\lambda_1 = 0,64$ мкм испытывает максимальное отражение, а свет $\lambda_2 = 0,40$ мкм не отражается совсем. Угол падения света $i = 30^\circ$. Показатель преломления воздуха $n_0 = 1$.

• 12.15.4. Интерференционная картина получается при нормальном падении синего света длиной волны $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$ м на стеклянный клин. Его преломляющий угол $\alpha = 9''$. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст} = 1,6$. Определите расстояние между соседними светлыми полосами. Интерференционная картина наблюдается в проходящем свете.

• 12.15.5. Найдите фокусное расстояние F плосковыпуклой линзы, используемой для получения «колец Ньютона», если радиус 3-го светлого кольца 1,1 мм. Свет длиной волны $\lambda = 589$ нм падает нормально. Кольца наблюдают в отраженном свете. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст} = 1,6$.

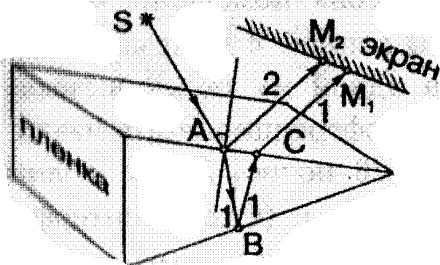
• 12.15.6. В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения интерференционной картины на $N = 500$ полос потребовалось переместить зеркало на расстояние 0,161 мм. Найдите длину волны падающего света. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

• 12.15.7. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной d освещается зеленым светом длиной волны λ_0 , падающим под углом α . Радиус когерентности $\rho_{ког}$. Какая интерференционная картина будет наблюдаться на экране, поставленном перпендикулярно отраженным лучам? Нарисуйте ход лучей.

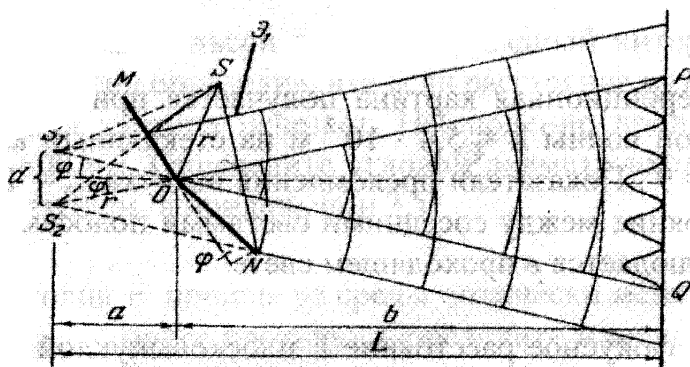


12.16. Вариант 16

• 12.16.1. Мыльная пленка, натянутая на проволочную рамку, образует вертикальный клин. Луч от источника S падает на клин и делится на когерентные лучи 1 и 2, которые затем приходят в точки M_1 и M_2 на экране. Длина волны света λ , показатель преломления мыльной пленки $n_{пл}$, воздуха $n_0 = 1$. Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз волн 1 и 2.



- 12.16.2. Определите, во сколько раз изменится ширина интерференционной полосы на экране в опыте с зеркалами Френеля, если фиолетовый фильтр (который пропускает длину волны $\lambda_{\text{ф}} = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$) заменить красным (который пропускает длину $\lambda_{\text{кр}} = 7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$)?

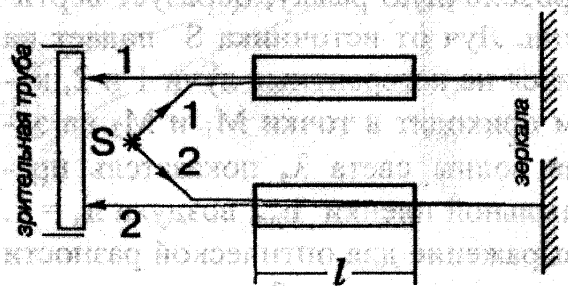


- 12.16.3. Плоская волна монохроматического света падает нормально на тонкую пленку масла постоянной толщины, покрывающую стеклянную пластинку. Длина волны источника может меняться непрерывно. Полное отсутствие отраженного света наблюдается только на волнах $\lambda_1 = 500 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 700 \text{ нм}$. Какова толщина масляной пленки, если показатель преломления масла $n_{\text{м}} = 1,30$, стекла $n_{\text{ст}} = 1,50$, воздуха $n_0 = 1$?

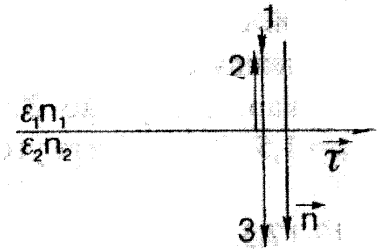
- 12.16.4. Определите показатель преломления стекла, из которого сделан тонкий клин с углом $\alpha = 36''$, если при освещении его синим светом длиной волны $\lambda_0 = 5,4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, падающим нормально, в отраженном свете возникает интерференционная картина и на 1 см длины клина укладывается 10 темных полос.

- 12.16.5. Сферическая поверхность плосковыпуклой линзы соприкасается со стеклянной пластинкой. Пространство между линзой и пластинкой заполнено сероуглеродом. Показатели преломления линзы $n_{\text{л}} = 1,5$, сероуглерода $n_{\text{с}} = 1,63$, пластинки $n_{\text{пл}} = 1,7$. Радиус кривизны линзы $R = 1 \text{ м}$. Определите радиус 5-го темного кольца Ньютона в отраженном свете. Длина волны света $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

- 12.16.6. Определите показатель преломления газа, если в плечи интерферометра Майкельсона помещены одинаковые кюветы длиной $\ell = 5 \text{ см}$. Замена вакуум-газ в одной из кювет вызвала смещение интерференционного максимума на $N = 28$ полос. Длина волны света $\lambda = 0,55 \text{ мкм}$. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

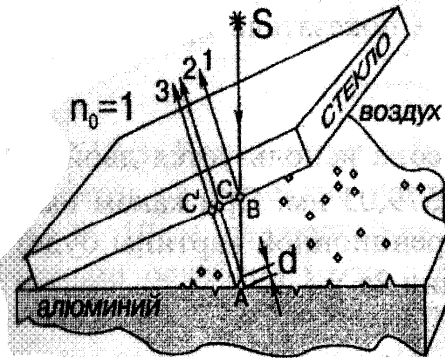


- 12.16.7. Световая волна $\vec{E}$ отразилась от среды оптически менее плотной. Определите изменение фазы вектора $\vec{E}$ в отраженной волне относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно).

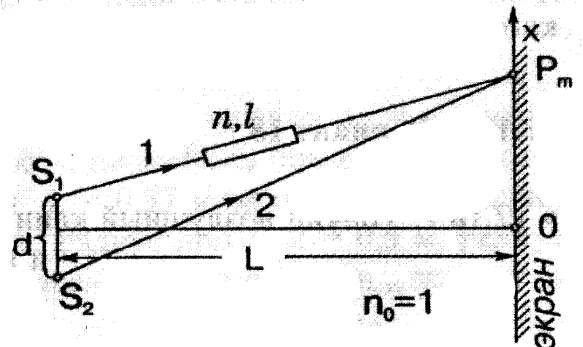


12.17. Вариант 17

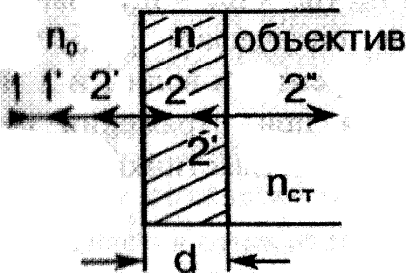
- 12.17.1. Очень тонкий воздушный клин образовался между стеклянной пластинкой и шероховатой алюминиевой. Размер шероховатостей (выступов) d порядка длины волны света λ , падающего на клин от источника S . Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст}$, алюминия $n_{ал}$ ($n_0 < n_{ст} < n_{ал}$). Запишите выражение для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2 и 1 и 3, образовавшихся при отражении от воздуха (1), от алюминиевой пластинки (3), от выступа (2).



- 12.17.2. На пути одного из лучей в опыте Юнга стоит трубка с плоскопараллельными стеклянными основаниями длиной $\ell = 2$ см. После того как воздух в трубке сменили на хлор, интерференционная картина сместилась на $N = 20$ полос. Длина волны света $\lambda = 589$ нм. Принимая, для воздуха показатель преломления $n_0 = 1,000276$, найдите показатель преломления хлора.



- 12.17.3. Интенсивность света, падающего на пленку фотоаппарата, уменьшается из-за потерь при отражении света от объектива. Эти потери уменьшают, если на объектив нанести «просветляющую пленку» (лучи, отраженные от обеих поверхностей пленки, интерферируют в противофазе). Рассчитайте показатель преломления пленки $n_{пл}$, если известно, что показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,48$, воздуха $n_0 = 1$, толщина пленки $d = 0,2$ мкм. Пленка предназначена для фотографирования в синем свете длиной волны $\lambda = 5,4 \cdot 10^{-7}$ м.



- 12.17.4. Стекланный клин освещается нормально падающим желтым светом длиной волны $\lambda = 5,9 \cdot 10^{-7}$ м. Опыт проводится в отраженном свете. Расстояние между серединами соседних светлой и темной полос на интерференционной картине равно 3 мм. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст} = 1,5$. Определите угол клина.

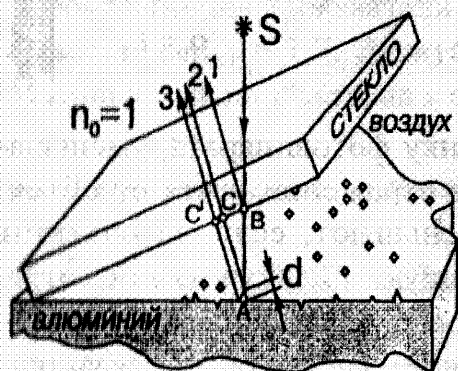
- 12.17.5. Показатель преломления прозрачной жидкости определяют методом измерения «колец Ньютона». Линза выполнена из тяжелого флинта радиусом $R = 0,45$ м. В зазор между линзой и пластинкой наливают жидкость. Свет длиной волны $\lambda = 5,7 \cdot 10^{-7}$ м падает на линзу нормально. В отраженном свете радиус третьего светлого кольца равен 0,7 мм. Показатели преломления флинта n_f , пластинки $n_{пл}$, причем $n_f > n_{ж} < n_{пл}$. Определите показатель преломления жидкости $n_{ж}$.

- 12.17.6. В двухлучевом интерферометре Майкельсона используется двойная линия ртути с длинами волн $\lambda_1 = 576,97$ нм и $\lambda_2 = 579,03$ нм. При каком наименьшем порядке интерференции резкость интерференционной картины будет наилучшей? (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

- 12.17.7. Первой звездой, у которой с помощью интерферометра Майкельсона был определен угловой диаметр, была Бетельгейзе (α Ориона). Он составил $0,047''$. Наблюдение проводилось на длине волны $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м. Найдите радиус когерентности $\rho_{ког}$ лучей. (Схему интерферометра см. в приложении 3.)

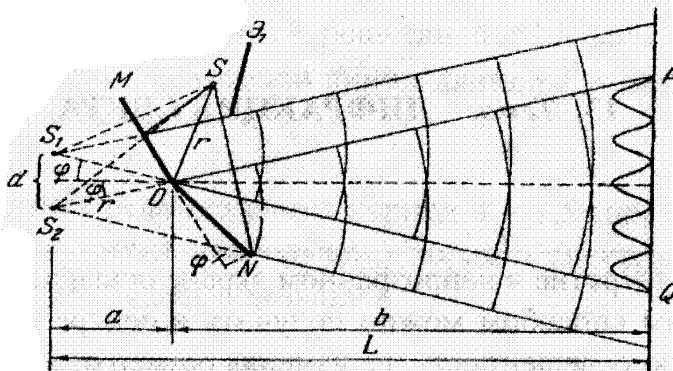
12.18. Вариант 18

- 12.18.1. Тонкий воздушный клин образовался между стеклянной пластинкой



и шероховатой алюминиевой. Размер шероховатостей (впадины) d порядка длины волны λ света, падающего на клин от источника S . Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, стекла $n_{ст}$, алюминия $n_{ал}$ ($n_0 < n_{ст} < n_{ал}$). Запишите выражения для оптической разности хода и разности фаз когерентных волн 1 и 2 и 1 и 3, образовавшихся при отражении от воздуха (1), от алюминиевой пластинки (3), от впадины (2).

- 12.18.2. Вычислите длину волны света λ_0 в опыте с зеркалами Френеля, если расстояние между мнимыми источниками равно $d = 1,37$ мм, расстояние от источников света до экрана 2 м. На экране наблюдается интерференционная картина. Расстояние между соседними темными полосами 0,8 мм.



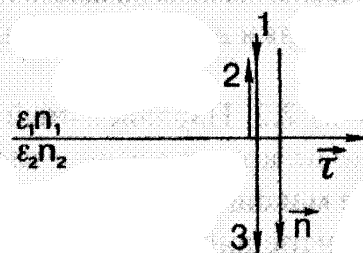
- 12.18.3. Какой минимальной толщины $d_{\min}$ «просветляющую» пленку нужно нанести на объектив фотоаппарата, чтобы поток света длиной волны $\lambda_0 = 5,9 \cdot 10^{-7}$ м, падающий на фотопластинку нормально, был максимален (минимально ослаблен из-за отражения). Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$, пленки $n_{\text{пл}} = 1,31$, объектива $n_{\text{об}} = 1,6$.

- 12.18.4. На стеклянный клин нормально падает желтый свет длиной волны $\lambda = 5,8 \cdot 10^{-7}$ м. Угол клина $\alpha = 25''$. Показатели преломления воздуха $n_0 = 1$ и стекла $n_{\text{ст}} = 1,5$. Интерференционная картина наблюдается в проходящем свете. Определите число желтых полос, которые уложатся на 1 см длины клина.

- 12.18.5. В установке для наблюдения «колец Ньютона» в зазор между линзой и пластинкой наливают исследуемую жидкость, показатель преломления которой нужно определить. Свет длиной волны $\lambda = 0,57$ мкм падает нормально. Наблюдение проводится в отраженном свете. Радиус линзы $R = 0,5$ м, радиус третьего темного кольца 0,8 мм. Показатели преломления стекла $n_{\text{ст}}$, жидкости $n_{\text{ж}}$ ($n_{\text{ж}} < n_{\text{ст}}$).

- 12.18.6. Определите перемещение одного из зеркал в интерферометре Майкельсона, если интерференционная картина сместилась на $N = 10$ полос при $\lambda = 0,55$ мкм. (Схему интерферометра см. в приложении 2а.)

- 12.18.7. Докажите, что у световой волны, прошедшей из менее плотной среды в среду оптически более плотную, фаза вектора $\vec{E}$ не изменяется относительно фазы вектора $\vec{E}$ в падающей волне ($\vec{\tau}$ и $\vec{n}$ - тангенциальный и нормальный единичные векторы соответственно).



13. Тема: ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

13.1. Вариант 1

- 13.1.1. Круглое отверстие в непрозрачном экране освещается монохроматическим светом. Каким способом можно получить в центре дифракционной картины максимальную освещенность, не изменяя размер отверстия?
- 13.1.2. На круглое отверстие радиусом r в непрозрачном экране падает нормально параллельный пучок лучей длиной волны λ . При каком соотношении радиуса отверстия r и расстояния от отверстия до экрана наблюдения L в центре дифракционной картины свет не будет сменяться темнотой?
- 13.1.3. На непрозрачную пластинку со щелью падает нормально плоская монохроматическая волна длиной $\lambda = 585$ нм. Найдите ширину щели, если угол отклонения лучей, соответствующих минимуму второго порядка, равен 10° .
- 13.1.4. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок света. Красная линия длиной волны $\lambda = 630$ нм видна в спектре третьего порядка под углом $\varphi = 60^\circ$. Определите, какая спектральная линия видна под этим же углом в спектре четвертого порядка? Какое число штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка?
- 13.1.5. Две дифракционные решетки имеют длину, равную 3,0 мм, но разные периоды $d_1 = 3,0 \cdot 10^{-3}$ мм и $d_2 = 6,0 \cdot 10^{-3}$ мм. Определите их наибольшую разрешающую способность для желтой линии натрия, длина волны которой $\lambda = 589,6$ нм.

13.2. Вариант 2

- 13.2.1. На дифракционную решетку нормально падает плоская монохроматическая волна. Опишите характер дифракционной картины, если постоянная решетки в два раза больше ширины щели.
- 13.2.2. Параллельный пучок лучей длиной волны $\lambda = 560$ нм падает нормально на круглое отверстие радиусом $r = 1,0$ мм в непрозрачном экране. Определите максимальное расстояние от отверстия до экрана наблюдения, при котором в центре дифракционной картины еще будет наблюдаться темное пятно.

- 13.2.3. Параллельный пучок монохроматического света длиной волны $\lambda = 600$ нм падает под углом $\theta = 30^\circ$ на щель шириной $b = 10 \lambda$. Определите ширину центрального максимума дифракционной картины на экране, отстоящем от щели на расстоянии $L = 0,95$ м.
- 13.2.4. Постоянная дифракционной решетки $d = 2,8$ мкм. Определите наибольший порядок спектра для красной линии длиной $\lambda = 680$ нм и максимальный угол отклонения этих лучей.
- 13.2.5. Дифракционная решетка имеет период $d = 1,5$ мкм. Найдите угловую дисперсию D для максимума наибольшего порядка спектральной линии длиной $\lambda = 530$ нм, если свет падает нормально.

13.3. Вариант 3

- 13.3.1. Как изменится дифракционная картина, полученная с помощью дифракционной решетки, если увеличить ширину щели, оставив неизменными постоянную решетки и число щелей? Решетка освещается монохроматическим светом, падающим нормально.
- 13.3.2. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии $L = 2,0$ м от экрана с круглым отверстием. При каком диаметре отверстия центр дифракционной картины будет наиболее темным? Волновой фронт плоский. Длина волны света $\lambda = 650$ нм.
- 13.3.3. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Длина волны укладывается в щели 6 раз. Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный минимум света?
- 13.3.4. На дифракционную решетку, содержащую $N = 100$ штрихов на каждый миллиметр, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее надо повернуть на угол $\Delta\varphi = 20^\circ$. Определите длину световой волны.
- 13.3.5. Постоянная дифракционной решетки длиной 2,5 см равна 2 мкм. Какую разность длин волн может разрешить эта решетка в области желтых лучей длиной волны $\lambda = 6,0 \cdot 10^{-5}$ см в спектре второго порядка?

13.4. Вариант 4

- 13.4.1. Какова интенсивность света I в центре дифракционной картины от круглого отверстия в непрозрачном экране, если открыта верхняя половина первой зоны Френеля? Интенсивность падающего света I_0 .
- 13.4.2. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии L от круглого диска, закрывающего четыре зоны Френеля. Если экран поместить на расстояние $L_1 = 1,0$ м, то число зон Френеля увеличится в два раза. Найдите расстояние L .
- 13.4.3. На щель шириной 6λ падает под углом $\theta = 30^\circ$ параллельный пучок монохроматического света. Под какими углами будут наблюдаться дифракционные минимумы второго порядка относительно центрального Фраунгоферова максимума?
- 13.4.4. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок света. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки, чтобы под углом $\varphi = 32^\circ$ совпадали максимумы двух волн длинами $\lambda_1 = 616$ нм и $\lambda_2 = 440$ нм.
- 13.4.5. Свет длиной волны λ падает нормально на дифракционную решетку длиной ℓ . Найдите ее угловую дисперсию в зависимости от угла дифракции φ .

13.5. Вариант 5

- 13.5.1. Какова интенсивность света I в центре дифракционной картины от круглого отверстия в непрозрачном экране, которое открывает только первую зону Френеля? Поясните с помощью векторной диаграммы. Интенсивность падающего света I_0 .
- 13.5.2. Экран, на котором наблюдается дифракционная картина от круглого отверстия, находится на расстоянии $L_1 = 1,0$ м. При этом в отверстии укладывается 5 зон Френеля. На сколько надо передвинуть экран наблюдения, чтобы в отверстии укладывалось три зоны Френеля?
- 13.5.3. Монохроматический свет длиной волны $\lambda = 0,50$ мкм падает на щель шириной $b = 10$ мкм под углом $\theta = 30^\circ$ к ее нормали. Найдите угловое положение минимумов первого порядка, расположенных по обе стороны от центрального Фраунгоферова максимума.
- 13.5.4. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок света длиной $\lambda = 520$ нм. Экран, на котором наблюдается дифракционная картина, удален от решетки на расстояние $L = 1,0$ м. Определите, сколько максимумов дает решетка, если расстояние между максимумами первого порядка равно $\ell = 20,2$ см. Под каким углом виден последний максимум?

- 13.5.5. Покажите, что при нормальном падении света на дифракционную решетку максимальная величина ее разрешающей способности не может превышать значения $\frac{\ell}{\lambda}$, где ℓ – длина решетки, λ – длина волны света.

13.6. Вариант 6

- 13.6.1. Наблюдается дифракция Френеля на круглом отверстии в непрозрачном экране. Как зависит число зон Френеля от длины падающей волны?
- 13.6.2. На круглое отверстие радиусом $r = 1,0$ мм падает плоская монохроматическая волна длиной $\lambda = 5100$ Å. Сколько раз будет наблюдаться ослабление света при перемещении экрана с расстояния $L_1 = 1,0$ м до $L_2 = 2,0$ м?
- 13.6.3. Монохроматический свет длиной волны λ падает на щель шириной $b = 12$ мкм под углом $\theta = 30^\circ$ к нормали. Один из минимумов первого порядка, расположенный относительно центрального Фраунгоферова максимума наблюдается под наименьшим углом 27° . Определите длину волны падающего света.
- 13.6.4. Определите, сколько штрихов на 1 мм имеет дифракционная решетка, дающая 11 максимумов при нормальном падении на нее монохроматического света длиной волны $\lambda = 600$ нм.
- 13.6.5. При нормальном падении света на дифракционную решетку длиной 10 мм обнаружено, что компоненты желтой линии натрия длинами волн $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм оказываются разрешенными, начиная с пятого порядка спектра. Определите период решетки. При какой длине решетки с таким же периодом можно разрешить в третьем порядке дублет спектральной линии $\lambda = 460$ нм, компоненты которого отличаются на 0,13 нм?

13.7. Вариант 7

- 13.7.1. Решетка освещается падающим нормально монохроматическим светом. Как изменится дифракционная картина, если увеличить постоянную решетки, увеличив ширину щели. Общее число штрихов остается неизменным.
- 13.7.2. Плоская монохроматическая волна падает нормально на круглое отверстие. Радиус третьей зоны Френеля $r = 2,0$ мм. Определите радиус двадцатой зоны Френеля.

• 13.7.3. На щель нормально падает параллельный пучок монохроматического света. Длина волны падающего света укладывается в щели 8 раз. Какова ширина центрального максимума в дифракционной картине на экране, находящемся от щели на расстоянии $L = 1,0$ м.

• 13.7.4. На дифракционную решетку с постоянной $d = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м падает нормально монохроматический свет длиной $\lambda = 589$ нм. Под каким углом наблюдается последний максимум?

• 13.7.5. На дифракционную решетку длиной $6,0 \cdot 10^{-3}$ м, имеющую 300 штрихов на 1 мм, падает нормально свет. Исследуемый спектр содержит спектральную линию длиной $\lambda = 670,8$ нм, которая состоит из двух компонент, отличающихся на $\delta\lambda = 0,015$ нм. Будет ли разрешен дуплет в области длины волны $\lambda = 670$ нм?

13.8. Вариант 8

• 13.8.1. Какова интенсивность света I в центре дифракционной картины от круглого непрозрачного экрана, если он закрывает первую зону Френеля? Интенсивность света в отсутствии экрана равна I_0 .

• 13.8.2. Плоская монохроматическая волна падает на круглое отверстие в непрозрачном экране. Определите отношение радиусов первых трех зон Френеля.

• 13.8.3. На узкую щель нормально падает монохроматический свет. Чему равна ширина щели, выраженная в длинах волн, если минимум второго порядка виден под углом 10° ?

• 13.8.4. На дифракционную решетку с постоянной $d = 2,0$ мкм нормально падает монохроматический свет длиной волны $\lambda = 589$ нм. Найдите наибольший порядок спектра для этой длины волны.

• 13.8.5. При нормальном падении света на решетку длиной $\ell = 2,0$ см на экране, отстоящем от решетки на расстоянии $L = 1,0$ м, получена дифракционная картина. Определите разрешающую способность и линейную дисперсию решетки для света длиной волны $\lambda = 630$ нм, если максимум третьего порядка виден под углом $\varphi = 20^\circ$.

13.9. Вариант 9

• 13.9.1. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Как изменится дифракционная картина, если уменьшить постоянную решетки за счет уменьшения ширины щели, не изменяя общего числа щелей?

- 13.9.2. Плоская монохроматическая волна падает нормально на круглое отверстие в непрозрачном экране. Радиус третьей зоны Френеля равен 2,0 мм. Какой должен быть наименьший радиус отверстия, чтобы в центре дифракционной картины наблюдалось темное пятно?

- 13.9.3. На узкую щель шириной 2 мкм нормально падает монохроматический свет длиной волны $\lambda = 589$ нм. Определите наибольший порядок минимума, даваемого этой щелью.

- 13.9.4. На дифракционную решетку, содержащую 500 штрихов на 1 см, падает нормально белый свет. Экран наблюдения находится на расстоянии $L = 2,0$ м. Найдите ширину спектра первого порядка, считая длины волн крайних видимых лучей $\lambda_1 = 770$ нм и $\lambda_2 = 380$ нм.

- 13.9.5. Для какой длины волны дифракционная решетка с постоянной $d = 5$ мкм имеет угловую дисперсию $D = 6,3 \cdot 10^5$ рад/м в спектре третьего порядка?

•13.10. Вариант 10

- 13.10.1. Монохроматическая волна интенсивностью I_0 падает на непрозрачный экран с круглым отверстием, которое открывает только внутреннюю половину первой зоны Френеля. Какова будет интенсивность света I в центре дифракционной картины? Поясните с помощью векторной диаграммы.

- 13.10.2. На круглое отверстие в непрозрачном экране нормально падает монохроматический свет длиной волны $\lambda_1 = 700$ нм. Радиус пятой зоны Френеля равен $r_1 = 1,0$ мм. Найдите радиус пятой зоны Френеля при освещении светом длиной волны $\lambda_2 = 500$ нм?

- 13.10.3. На щель шириной 0,10 мм нормально падает параллельный пучок света длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм. Определите ширину центрального максимума в дифракционной картине на экране, отстоящем от щели на расстоянии $L = 1,0$ м.

- 13.10.4. Свет длиной волны 535 нм падает нормально на дифракционную решетку. Найдите ее период, если один из дифракционных максимумов виден под углом 35° , а наибольший порядок максимумов равен 5.

- 13.10.5. Свет падает нормально на дифракционную решетку длиной 6,5 см, имеющую 200 штрихов на миллиметр. Исследуемый спектр содержит спектральную линию длиной волны $\lambda = 670,8$ нм, которая состоит из двух компонент, отличающихся на $\delta\lambda = 0,015$ нм. Найдите, в каком порядке эти компоненты будут разрешены.

13.11. Вариант 11

- 13.11.1. Изобразите векторные диаграммы при дифракции Френеля на круглом отверстии и дифракции Фраунгофера на щели, если в отверстиях укладываются две зоны Френеля.
- 13.11.2. На круглое отверстие в непрозрачном экране нормально падает монохроматический свет. Во сколько раз максимальное расстояние от отверстия до экрана наблюдения L_1 , при котором в центре дифракционной картины наблюдается темное пятно для длины волны $\lambda_1 = 600$ нм, отличается от расстояния L_2 для света длиной волны $\lambda_2 = 700$ нм?
- 13.11.3. На щель падает нормально параллельный пучок монохроматического света. Длина волны укладывается в ширине щели 6 раз. Под каким углом будет наблюдаться дифракционный минимум третьего порядка?
- 13.11.4. На дифракционную решетку нормально падает свет от разрядной трубки, наполненной гелием. Сначала зрительная труба устанавливается на фиолетовые линии длиной волны $\lambda = 3,89 \cdot 10^{-5}$ см по обе стороны от центральной полосы в спектре первого порядка. Отсчеты по лимбу вправо от нулевого деления дали $27^\circ 33'$ и $36^\circ 27'$ соответственно. После этого зрительная труба устанавливается на красные линии по обе стороны от центральной полосы в спектре 1-го порядка. Отсчеты по лимбу вправо от нулевого деления дали $23^\circ 54'$ и $40^\circ 6'$ соответственно. Найдите длину волны красной линии спектра *He*.
- 13.11.5. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если эта решетка может разрешить в первом порядке линии спектра калия длинами волн $\lambda_1 = 404,4$ нм и $\lambda_2 = 404,7$ нм. Длина дифракционной решетки 3 см.

13.12. Вариант 12

- 13.12.1. Наблюдается дифракция Фраунгофера на одной щели при освещении ее нормально падающим монохроматическим светом. Как изменится дифракционная картина, если: а) увеличить ширину щели; б) увеличить длину волны.
- 13.12.2. Плоская монохроматическая волна падает нормально на круглое отверстие в непрозрачном экране. Определите, во сколько раз радиус первой зоны Френеля меньше радиуса пятой зоны Френеля?
- 13.12.3. Монохроматический свет длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм падает на щель шириной b под углом $\theta = 30^\circ$ к ее нормали. Угловое положение первых минимумов, расположенных по обе стороны центрального Фраунгоферова максимума, равны соответственно 27° и 33° . Определите ширину щели.

- 13.12.4. На дифракционную решетку нормально падает свет от разрядной трубки, наполненной гелием. На какую линию в спектре третьего порядка накладывается красная линия гелия длиной волны $\lambda_{кр} = 6,7 \cdot 10^{-5}$ см спектра второго порядка?

- 13.12.5. Свет, содержащий две спектральные линии с длинами волн $\lambda_1 = 600,00$ нм и $\lambda_2 = 600,05$ нм, падает нормально на дифракционную решетку длиной 10 мм. Под некоторым углом дифракции θ эти линии оказались на пределе разрешения (*по критерию Рэлея). Найдите этот угол.

13.13. Вариант 13

- 13.13.1. Дифракционная решетка освещается нормально падающим монохроматическим светом. Как изменится дифракционная картина, если, не изменяя постоянную решетки, увеличить общее число щелей?

- 13.13.2. На круглое отверстие в непрозрачном экране падает плоская монохроматическая волна. Во сколько раз число зон Френеля при освещении отверстия светом длиной волны $\lambda_1 = 400$ нм будет больше, чем при освещении светом длиной волны $\lambda_2 = 700$ нм?

- 13.13.3. На узкую щель шириной $b = 0,04$ мм падает плоская монохроматическая волна длиной $\lambda = 0,60$ мкм. Определите положение первых двух минимумов, если экран наблюдения находится на расстоянии $L = 40$ см.

- 13.13.4. На дифракционную решетку нормально падает белый свет. Красная линия длиной волны $\lambda = 630$ нм видна в спектре третьего порядка под углом $\varphi = 60^\circ$. Определите постоянную решетки. Какая спектральная линия видна под тем же углом в спектре четвертого порядка?

- 13.13.5. Дифракционная решетка имеет 40 000 штрихов. Длина решетки 7,60 см. Какова будет угловая дисперсия в спектре первого порядка для света длиной волны $\lambda = 589,0$ нм?

13.14. Вариант 14

- 13.14.1. Чем отличается дифракционная картина, полученная от круглого непрозрачного экрана от дифракционной картины, полученной от круглого отверстия в непрозрачном экране?

- 13.14.2. Параллельный пучок монохроматического света падает на непрозрачный экран с круглым отверстием. Экран наблюдения находится на расстоянии $L = 1,50$ м. Радиус отверстия можно изменять. Определите длину вол-

ны света, если максимум освещенности в центре дифракционной картины наблюдается при $r_1 = 1,00$ мм, а следующий за ним минимум в том же месте при $r_2 = 1,28$ мм.

- 13.14.3. На узкую щель в непрозрачном экране падает нормально плоская монохроматическая волна длиной $\lambda = 600$ нм. Второй дифракционный минимум наблюдается под углом $\varphi = 20^\circ$. Определите ширину щели.

- 13.14.4. Свет длиной волны $\lambda = 530$ нм падает нормально на дифракционную решетку, период которой равен 1,5 мкм. Найдите угол, под которым виден последний дифракционный максимум.

- 13.14.5. При каком минимальном числе штрихов дифракционной решетки с периодом, равным $d = 2,5$ мкм, можно разрешить компоненты дублета желтой линии натрия длинами волн, равными $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм?

13.15. Вариант 15

- 13.15.1. Монохроматический свет падает нормально на дифракционную решетку. Как изменится дифракционная картина, если щели решетки перекрыть через одну?

- 13.15.2. Параллельный пучок монохроматического излучения длиной волны $\lambda = 600$ нм падает на непрозрачный экран с круглым отверстием радиусом $r = 1,1$ мм. Расстояние от отверстия до экрана наблюдения $L = 2,0$ м. Как изменится освещенность в центре дифракционной картины, если убрать непрозрачный экран?

- 13.15.3. На узкую щель в непрозрачном экране падает нормально монохроматический свет. Во сколько раз угловая ширина центрального максимума при освещении светом длиной волны $\lambda_1 = 700,0$ нм отличается от угловой ширины, полученной при освещении светом длиной волны $\lambda_2 = 500,0$ нм?

- 13.15.4. Период дифракционной решетки $d = 1,0 \cdot 10^{-5}$ м. Ширина прозрачной части $b = 2,5 \cdot 10^{-6}$ м. На решетку падает плоская монохроматическая волна длиной $\lambda = 5,00 \cdot 10^{-7}$ м. Сколько максимумов будет наблюдаться в дифракционной картине по одну сторону от центрального максимума, для которых угол отклонения меньше 30° ?

- 13.15.5. Известная линия излучения натрия длиной волны $\lambda = 589,3$ нм в действительности представляет собой две отдельные линии длиной волны $\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм. Можно ли с помощью решетки с периодом $d = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м разрешить эти линии?

13.16. Вариант 16

- 13.16.1. На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. Как изменится дифракционная картина, если половину дифракционной решетки закрыть с одного края непрозрачной преградой?
- 13.16.2. Плоская монохроматическая волна длиной $\lambda_1 = 400$ нм падает на круглый диск, закрывающий 5 зон Френеля. Сколько зон Френеля будет закрыто при освещении светом длиной волны $\lambda_2 = 600$ нм?
- 13.16.3. На непрозрачный экран с узкой щелью шириной $b = 5$ мкм падает нормально плоская монохроматическая волна. Чему равна длина волны, если минимум второго порядка наблюдается под углом 17° ? Сколько минимумов дает эта щель?
- 13.16.4. Пучок белого света с длинами волн в интервале от 0,400 мкм до 0,75 мкм падает нормально на дифракционную решетку. В спектре третьего порядка под углом φ наблюдается максимум света длиной волны $\lambda_1 = 0,480$ мкм. Будут ли видны под этим углом еще какие-нибудь спектральные линии?
- 13.16.5. Постоянная дифракционной решетки равна 3,0 мкм. Какую разность длин волн может разрешить эта решетка в области длин волн 650 нм в спектре третьего порядка? Длина решетки 1 см.

13.17. Вариант 17

- 13.17.1. Имеется круглое отверстие в непрозрачном экране, на которое падает нормально монохроматический свет. За отверстием находится экран. Как будет изменяться интенсивность в центре наблюдаемой дифракционной картины, если экран удалять от преграды?
- 13.17.2. На пути параллельного пучка монохроматического света длиной волны $\lambda_1 = 700$ нм помещается круглый диск, закрывающий 5 зон Френеля. Как нужно изменить радиус диска, чтобы при освещении светом длиной волны $\lambda_2 = 450$ нм диск закрывал то же количество зон Френеля?
- 13.17.3. На щель шириной $b = 0,10$ мм падает нормально монохроматический свет длиной волны, равной $\lambda = 0,500$ мкм. Что наблюдается на экране в направлениях, образующими с нормалью к плоскости щели углы $\varphi_1 = 17'$ и $\varphi_2 = 43'$?

• 13.17.4. На дифракционную решетку, содержащую 400 штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет длиной волны $\lambda = 600$ нм. Найдите общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определите угол отклонения, при котором образуется Фраунгоферов максимум наибольшего порядка.

• 13.17.5. Угловая дисперсия дифракционной решетки для длины волны $\lambda = 590$ нм в спектре первого порядка равна $D = 2,02 \cdot 10^5$ рад/м. Найдите линейную дисперсию D^* дифракционной решетки, если расстояние от решетки до дифракционной картины равно $L = 0,40$ м.

13.18. Вариант 18

• 13.18.1. На круглое отверстие в непрозрачном экране нормально падает свет интенсивностью I_0 . Чему равна интенсивность света в центре дифракционной картины на экране наблюдения, если в отверстии укладывается: а) половина первой зоны Френеля; б) полторы зоны Френеля?

• 13.18.2. На пути параллельного пучка монохроматического света длиной волны $\lambda = 650$ нм находится непрозрачный экран с круглым отверстием радиусом $r = 1,0$ мм. Как изменится интенсивность I в центре дифракционной картины на экране, находящемся на расстоянии $L = 3,0$ м от отверстия, если убрать преграду?

• 13.18.3. На щель шириной $b = 0,05$ мм падает нормально монохроматический свет длиной волны $\lambda = 0,60$ мкм. Определите угол, под которым видна четвертая темная дифракционная полоса.

• 13.18.4. Определите длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом $d = 2,2$ мкм, если угол между максимумами первого и второго порядков $\Delta\varphi = 15^\circ$.

• 13.18.5. На дифракционную решетку нормально падает пучок света. Красная линия длиной волны $\lambda = 680$ нм видна в спектре третьего порядка под углом $\varphi = 60^\circ$. Чему равна угловая дисперсия D для этой длины волны?

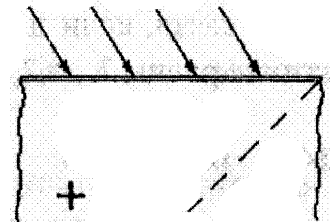
14. Тема: ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

14.1. Вариант 1

• 14.1.1. Можно ли с помощью одного анализатора отличить: а) плоско поляризованный свет от частично поляризованного; б) частично поляризованный свет от поляризованного по кругу.

• 14.1.2. Угол преломления луча в жидкости равен 36° . Определите показатель преломления этой жидкости, если преломленный луч максимально поляризован.

• 14.1.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющегося кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл положительный.



• 14.1.4. Чему равен угол между главными плоскостями николей, если световой поток, выходящий из анализатора, составляет 50 % светового потока, прошедшего через поляризатор?

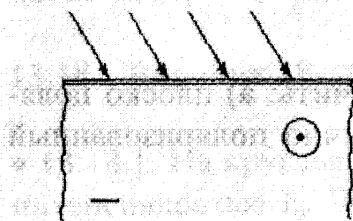
• 14.1.5. Плоско поляризованный свет с длиной волны $\lambda = 4,34 \cdot 10^{-7}$ м падает нормально на кристаллическую пластинку, у которой оптическая ось параллельна поверхности. Вычислите разность фаз между обыкновенными и необыкновенными лучами на выходе из пластинки, если показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $n_o = 1,554$ и $n_e = 1,563$. Толщина пластинки $d = 1,0 \cdot 10^{-6}$ м.

14.2. Вариант 2

• 14.2.1. Почему образовавшиеся при двойном лучепреломлении лучи получили название обыкновенного и необыкновенного?

• 14.2.2. Предельный угол полного внутреннего отражения для стекла равен 42° . При каком угле падения луч света, отраженный в вакууме от этого стекла, будет полностью поляризован?

• 14.2.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Оптическая ось перпендикулярна плоскости чертежа. Кристалл отрицательный.



• 14.2.4. Один поляроид пропускает 30 %, если на него падает естественный свет. После прохождения через два таких поляроида интенсивность падает до 9 %. Найдите угол между осями поляроида.

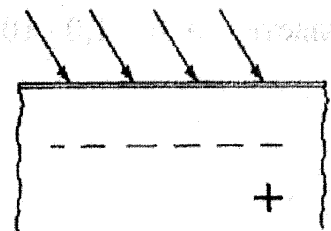
• 14.2.5. Вычислите толщину пластинки в четверть волны для монохроматического света, если длины волн обыкновенного и необыкновенного лучей в пластинке равны $\lambda_o = 2,62 \cdot 10^{-7}$ м и $\lambda_e = 2,90 \cdot 10^{-7}$ м.

14.3. Вариант 3

• 14.3.1. Каково соотношение показателей преломления исландского шпата и канадского бальзама для обыкновенного и необыкновенного лучей в призме Николя?

• 14.3.2. На стеклянную пластинку с показателем преломления $n_1 = 1,70$ падает луч под углом полной поляризации. На сколько надо изменить угол падения, чтобы получить полную поляризацию отраженного луча, если пластинку поместить в сосуд с водой, показатель преломления которой $n_2 = 1,33$?

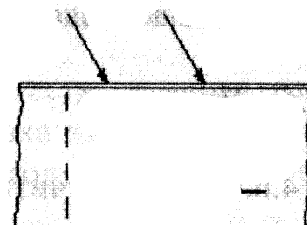
• 14.3.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл положительный.



- 14.3.4. Главные плоскости двух николей образуют угол 30° . Как изменится яркость света, прошедшего через оба николя, если угол увеличить в 2 раза?
- 14.3.5. Вычислите толщину пластины из кварца, которая могла бы применяться как пластинка в четверть волны и имела бы толщину около 1 мм для света с длиной волны $\lambda = 6,8 \cdot 10^{-7}$ м. Показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $n_o = 1,550$ и $n_e = 1,554$ соответственно.

14.4. Вариант 4

- 14.4.1. На пластинку в четверть волны, вырезанную из отрицательного кристалла, падает линейно поляризованный свет. Как будут поляризованы лучи при выходе из пластинки (правая или левая круговая поляризация)?
- 14.4.2. Определите коэффициент преломления вещества, для которого угол Брюстера равен углу полного внутреннего отражения.
- 14.4.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл отрицательный.

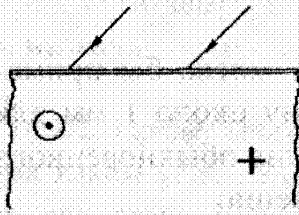


- 14.4.4. Яркость светового пучка уменьшилась в 9 раз в результате прохождения естественного света через две призмы Николя. Определите угол между главными плоскостями николей. Потери энергии, связанные с поглощением и отражением в каждом никеле, составляют 10 %.
- 14.4.5. Плоскопараллельная пластинка из кварца в четверть волны для света с длиной волны $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7}$ м имеет толщину $d = 1,6 \cdot 10^{-5}$ м. Определите показатель преломления необыкновенного луча, если показатель преломления обыкновенного луча $n_o = 1,544$. Кристалл положительный.

14.5. Вариант 5

- 14.5.1. На пластинку в четверть волны, вырезанную из положительного кристалла, падает линейно поляризованный свет. Как будут поляризованы лучи при выходе из пластинки (правая или левая круговая поляризация)?
- 14.5.2. Найдите угол полной поляризации от границы стекло-вода, если показатели преломления стекла $n_{ст} = 1,50$, воды $n_в = 1,33$.

- 14.5.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Оптическая ось перпендикулярна плоскости чертежа. Кристалл положительный.

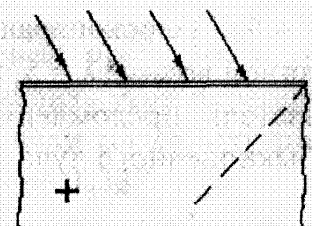


- 14.5.4. Естественный свет проходит две призмы Николя, угол между главными плоскостями призм равен 60° . Определите, как изменится яркость света после прохождения призм, если потери на поглощение и отражение составляют 10 % в каждом николе.

- 14.5.5. Пучок света падает нормально на пластинку кварца, вырезанную параллельно оптической оси. Определите разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей, прошедших через пластинку, если ее толщина 0,04 мм. Показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $n_o = 1,544$ и $n_e = 1,553$ соответственно. Для каких длин волн видимого света эта пластинка будет пластинкой в четверть волны?

14.6. Вариант 6

- 14.6.1. Как получить эллиптически поляризованный свет?
- 14.6.2. На стеклянную пластинку с показателем преломления $n_{ст} = 1,54$ падает естественный луч света. Определите угол между отраженным и падающим лучами, если отраженный луч полностью поляризован.
- 14.6.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл положительный.



- 14.6.4. В результате прохождения естественного света через два николя яркость света уменьшилась на 80 %. Определите угол между главными плоскостями николей, если каждый николь поглощает и отражает 8 % падающего на него света.

- 14.6.5. Определите постоянную вращения для кварца, если кварцевая пластинка, вырезанная перпендикулярно оптической оси и помещенная между николями с параллельными главными плоскостями, полностью затемняет поле зрения. Толщина пластинки $d = 4,02$ мм.

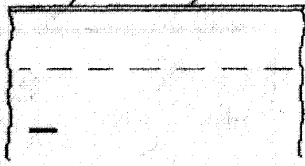
14.7. Вариант 7

- 14.7.1. Как получить свет с левой круговой поляризацией?
 - 14.7.2. Угол полной поляризации при отражении света от поверхности некоторого изотропного вещества равен $56^\circ 20'$. Определите скорость света в этом веществе.
 - 14.7.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл отрицательный.
- 
- 14.7.4. Яркость светового пучка после прохождения естественного света уменьшилась в 5,4 раза. Определите потери светового пучка в процентах в связи с поглощением и отражением в каждом никеле, если угол между их главными плоскостями составляет 45° .
 - 14.7.5. Между скрещенными николями поместили пластинку кварца, вырезанную перпендикулярно оптической оси. Чтобы погасить свет, потребовалось повернуть анализатор на угол $\Delta\varphi = 22^\circ$. Найдите толщину пластинки, если опыт проводился с монохроматическим светом, для которого постоянная вращения кварца для данной длины волны $29,7^\circ$ на 1 мм.

14.8. Вариант 8

- 14.8.1. Можно ли с помощью одного анализатора, например, призмы Николя, отличить: а) плоско поляризованный свет от частично поляризованного; б) свет с левой круговой поляризацией от света с правой круговой поляризацией?
- 14.8.2. Свет падает на поверхность воды с показателем преломления $n_v = 1,33$. Под каким углом к горизонту должно находиться Солнце, чтобы поляризация лучей, отраженных от поверхности воды, была максимальной?

- 14.8.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл отрицательный.



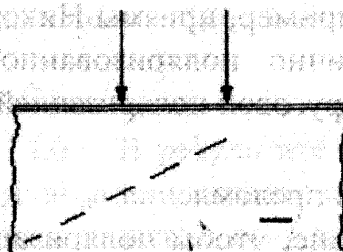
- 14.8.4. Частично поляризованный свет рассматривается через призму Николя. При повороте Николя на 45° по отношению к положению, соответствующему максимальной яркости выходящего пучка, яркость света уменьшилась в 1,5 раза. Определите отношение яркостей естественной и поляризованной частей в падающем луче.

- 14.8.5. Кварцевая пластинка, вырезанная параллельно оптической оси, имеет толщину $d = 0,25$ мм и служит пластинкой в четверть волны для света с длиной волны $\lambda = 530$ нм. Для каких еще длин волн в области видимого спектра она будет также пластинкой в четверть волны? Считать, что для всех длин волн видимого спектра разность показателей преломления необыкновенного и обыкновенного лучей равна $n_e - n_o = 0,0090$.

14.9. Вариант 9

- 14.9.1. На пути плоскополяризованного монохроматического света установлена кристаллическая пластинка в четверть волны. Какие видоизменения поляризации будет претерпевать вышедший из пластинки свет, при вращении ее вокруг направления луча?
- 14.9.2. Предельный угол полного внутреннего отражения на границе жидкости с воздухом равен 43° . Каков должен быть угол падения, чтобы отраженный луч был полностью поляризован?

- 14.9.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл отрицательный.



- 14.9.4. Частично поляризованный свет состоит из естественного и линейно-поляризованного света. Чтобы найти отношение яркостей этих частей $I_{\text{ест}}/I_{\text{полн}}$, пучок направляют на николь так, чтобы сначала получить наибольшую I_{max} , а затем наименьшую I_{min} яркости выходящего пучка. Оказалось, что $I_{\text{max}}/I_{\text{min}} = 2$. Определите отношение яркостей естественного и поляризованного света в падающем пучке.

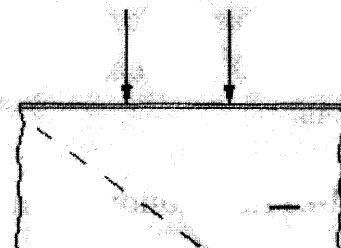
- 14.9.5. Монохроматический естественный свет падает на систему из двух скрещенных николей, между которыми находится кварцевая пластинка, вырезанная перпендикулярно оптической оси. Найдите минимальную толщину пластинки, при которой эта система будет пропускать 30 % света. Постоянная вращения кварца 17 град/мм.

14.10. Вариант 10

- 14.10.1. На поляризатор падает поляризованный по кругу свет, интенсивность которого I_0 . Будет ли изменяться интенсивность прошедшего света при вращении поляризатора?

- 14.10.2. Чему равен показатель преломления стекла, если при отражении света от него отраженный луч полностью поляризован при угле преломления 30° ?

- 14.10.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл отрицательный.



- 14.10.4. Чему равен угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, если интенсивность естественного света, прошедшего через них, уменьшилась в 4 раза? Поглощением света пренебречь.

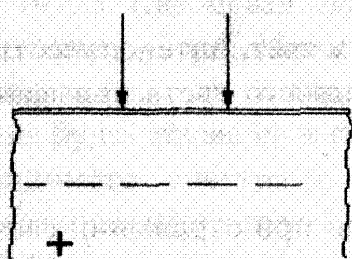
- 14.10.5. Плоскопараллельная пластинка в четверть волны, вырезанная из исландского шпата, имеет толщину $d = 0,85 \cdot 10^{-6}$ м. На нее падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 589$ нм. Определите показатель преломления необыкновенного луча, если показатель преломления обыкновенного луча $n_o = 1,486$. Кристалл отрицательный.

14.11. Вариант 11

• 14.11.1. Докажите, что линейная и круговая поляризация является частным случаем эллиптической поляризации.

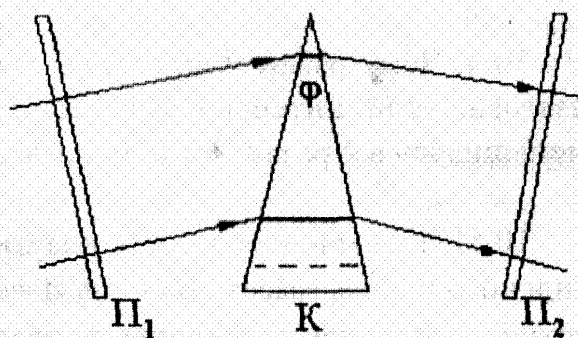
• 14.11.2. Луч света проходит через жидкость, налитую в стеклянный сосуд, и отражается от дна. Показатель преломления стекла $n_{ст} = 1,50$. Отраженный луч полностью поляризован при падении его на дно под углом $42^\circ 37'$. Найдите: а) показатель преломления жидкости; б) под каким углом должен падать на дно сосуда луч света, идущий в этой жидкости, чтобы наступило полное внутреннее отражение?

• 14.11.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл положительный.



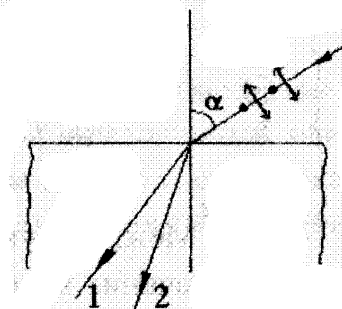
• 14.11.4. Во сколько раз уменьшится яркость естественного света, прошедшего через три николя, если угол между главными плоскостями первого и второго равен 30° , а между вторым и третьим - 60° ? Потерями света в николях пренебречь.

• 14.11.5. Монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 589$ нм проходит через два поляризатора Π_1 и Π_2 , между которыми расположен тонкий клин К с преломляющим углом $\varphi = 3^\circ 20'$. Направление оптической оси показано пунктиром. В прошедшем свете на экране наблюдается система темных и светлых полос; ширина полосы $\Delta x = 2,50$ мм. Определите постоянную вращения.



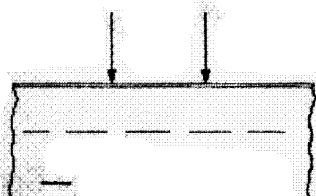
14.12. Вариант 12

- 14.12.1. Естественный монохроматический луч падает на двоякопреломляющий кристалл. Укажите какими будут лучи 1 и 2 и покажите направление колебаний вектора $\vec{E}$ в обыкновенном луче и вектора $\vec{H}$ в необыкновенном луче, если скорость обыкновенного луча больше скорости необыкновенного ($V_o > V_e$)?



- 14.12.2. Каков должен быть преломляющий угол у стеклянной призмы, чтобы углы входа и выхода луча из призмы были углами полной поляризации? Показатель преломления стекла 1,50.

- 14.12.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл отрицательный.



- 14.12.4. Естественный свет проходит через два николя. Каждый николь поглощает и отражает 8 % интенсивности падающего на него света. Оказалось, что луч, вышедший из второго николя, имеет 9 % интенсивности естественного света, падающего на первый николь. Найдите угол между главными плоскостями этих николей.

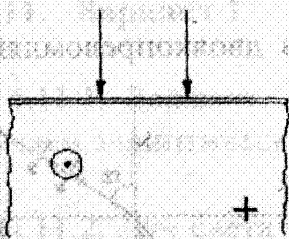
- 14.12.5. Чему равна разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей в кварце для света длиной волны $\lambda = 589,3$ нм, идущего вдоль оптической оси, если известно, что вращение плоскости поляризации для этой длины волны равно $21,7^\circ$ на 1 мм?

14.13. Вариант 13

- 14.13.1. Как с помощью поляроида и пластинки в четверть волны отличить естественный свет от поляризованного по кругу?

- 14.13.2. Угол падения на поверхность стекла равен 60° . При этом отраженный луч полностью поляризован. Определите угол преломления.

- 14.13.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси перпендикулярно плоскости чертежа. Кристалл положительный.

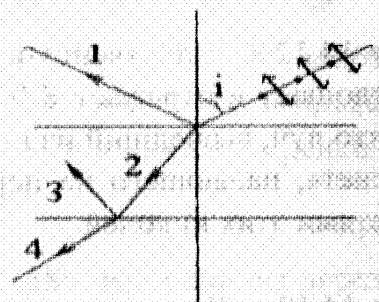


- 14.13.4. Между двумя скрещенными николями поместили третий, плоскость главного сечения которого составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с первым николем. Какова интенсивность света, прошедшего через такое устройство? Потерь в николях нет.

- 14.13.5. Какова должна быть наименьшая толщина пластинки слюды, чтобы она могла служить в качестве пластинки в четверть волны для света с длиной волны $\lambda = 5,893 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, если скорости необыкновенного и обыкновенного лучей соответственно равны $V_e = 1,888 \cdot 10^8 \text{ м/с}$, $V_o = 1,882 \cdot 10^8 \text{ м/с}$?

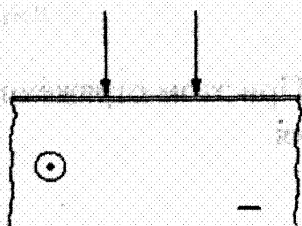
14.14. Вариант 14

- 14.14.1. На прозрачный диэлектрик падает естественный свет под углом Брюстера. Какая поляризация будет у лучей 1, 2, 3, 4? Определите интенсивность естественного и поляризованного света в этих лучах, если интенсивность отраженного луча I_1 равна 0,1 интенсивности падающего естественного света.



- 14.14.2. Пучок естественного света падает на полированную стеклянную пластинку, погруженную в жидкость. Отраженный от пластинки пучок света образует угол 97° с падающим. Определите показатель преломления жидкости, если отраженный луч полностью поляризован. Показатель преломления стекла $n_{\text{ст}} = 1,50$.

- 14.14.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси перпендикулярно плоскости чертежа. Кристалл отрицательный.

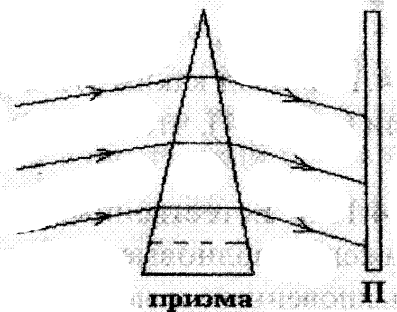


- 14.14.4. Естественный свет интенсивностью I_0 проходит через 2 николя и затем падает на зеркало. Отразившись от зеркала, свет проходит опять через оба николя. Угол между плоскостями главных сечений николей α . Какова интенсивность света после обратного прохождения через оба николя?

- 14.14.5. Определите наименьшую толщину пластинки кварца, вырезанной параллельно оптической оси, чтобы падающий плоскополяризованный свет с длиной волны $\lambda = 5,10 \cdot 10^{-7}$ м выходил поляризованным по кругу, если показатели преломления обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно равны $n_o = 1,5442$, $n_e = 1,5582$.

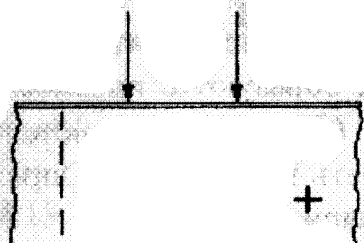
14.15. Вариант 15

- 14.15.1. Линейно поляризованный свет падает на кварцевую призму. В призме свет распространяется вдоль оптической оси, которая изображена на рисунке пунктиром. Что будет наблюдаться на экране после прохождения света через поляризатор П?



- 14.15.2. Луч света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. Во сколько раз скорость света в глицерине больше скорости света в стекле, если угол Брюстера $i = 46^\circ$?

- 14.15.3. Естественный свет падает на плоскую грань двоякопреломляющего кристалла. Постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей. Укажите характер их поляризации. Направление оптической оси указано пунктиром. Кристалл положительный.

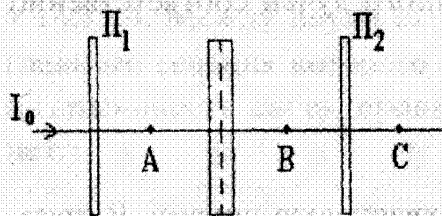


- 14.15.4. Определите, во сколько раз изменится интенсивность частично поляризованного света, рассматриваемого через николь, при повороте его на 60° по отношению к положению, соответствующему максимальной интенсивности? Степень поляризации падающего света $P = 0,5$.

- 14.15.5. Плоскопараллельная пластинка в четверть волны для света с длиной волны $\lambda = 5,89 \cdot 10^{-7}$ м вырезана из кварца и имеет толщину $d = 1,6 \cdot 10^{-5}$ м. Определите показатель преломления обыкновенного луча, если показатель преломления необыкновенного луча $n_e = 1,5533$. Кристалл положительный.

14.16. Вариант 16

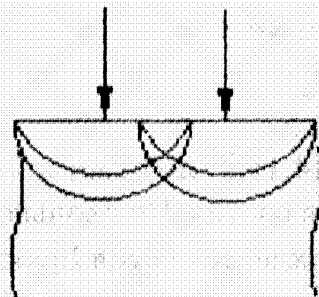
- 14.16.1. Естественный свет интенсивностью I_0 проходит последовательно через поляризатор Π_1 , кристаллическую пластинку



толщиной, равной половине длины волны, и поляризатор Π_2 . Оптическая ось пластинки указана пунктиром. Считая, что пластинка и поляризаторы не поглощают света, определите характер поляризации света в точках А, В, С и интенсивность света в точках А и В.

- 14.16.2. Под каким углом должен отразиться луч света от кристалла каменной соли ($n = 1,54$), чтобы преломленный луч был максимально поляризован?

- 14.16.3. Естественный свет падает на одноосный кристалл. На рисунке изображены волновые поверхности вторичных волн обыкновенных и необыкновенных лучей. Определите направление оптической оси и тип кристалла и постройте по принципу Гюйгенса направления распространения обыкновенного и необыкновенного лучей.



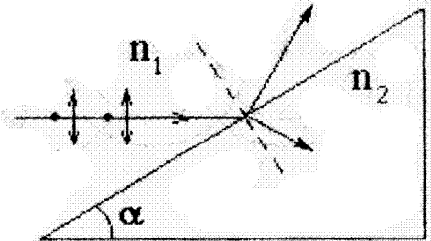
- 14.16.4. Плоскополяризованный свет интенсивностью I_0 проходит последовательно через два поляризатора, плоскости которых образуют с плоскостью колебаний в исходном луче углы $\alpha_1 = 20^\circ$ и $\alpha_2 = 50^\circ$ (углы отсчитываются от плоскости колебаний по часовой стрелке, если смотреть вдоль луча). Определите интенсивность света I при выходе из второго поляризатора.

- 14.16.5. Пластинка кварца, вырезанная перпендикулярно к оптической оси, помещена между параллельными николями. Для некоторой длины волны вращение плоскости поляризации света оказалось равным 20° на толщине в 1 мм. При какой толщине кварца свет данной длины волны будет полностью погашен?

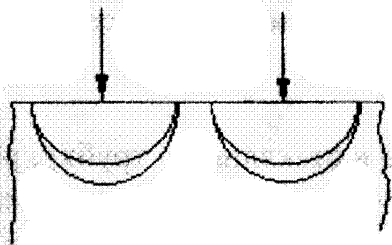
14.17. Вариант 17

• 14.17.1. Параллельный пучок монохроматического линейнополяризованного света, падает на пластинку толщиной, равной половине длины волны. Определите характер поляризации света, прошедшего через эту пластинку.

• 14.17.2. Алмазная призма находится в некоторой среде, с показателем преломления n_1 . Пучок естественного света падает на призму так, как показано на рисунке. Определите показатель преломления призмы, если отраженный луч полностью поляризован. Преломляющий угол призмы $\alpha = 40^\circ$. Покажите направление колебаний вектора $\vec{E}$ в отраженном и преломленном лучах.



• 14.17.3. Естественный свет падает на одноосный кристалл. На рисунке изображены волновые поверхности вторичных волн обыкновенных и необыкновенных лучей. Определите направление оптической оси и тип кристалла.

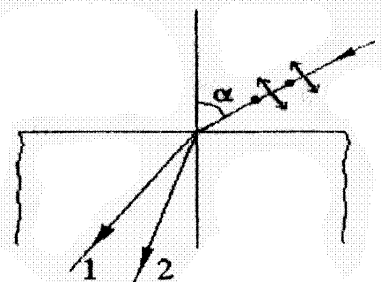


• 14.17.4. Пучок естественного света падает на систему из трех николей. Плоскость главного сечения каждого николя составляет угол $\alpha = 60^\circ$ относительно плоскости предыдущего. Какая часть света проходит через эту систему?

• 14.17.5. Определите наименьшую толщину пластинки в четверть волны из исландского шпата для света с длиной волны $\lambda_1 = 5,9 \cdot 10^{-7}$ м, если разность показателей преломления обыкновенного и необыкновенного лучей $\Delta n_1 = 0,172$. Будет ли эта пластинка являться пластинкой в четверть волны для света с длиной волны $\lambda_2 = 4,6 \cdot 10^{-7}$ м, если для данной длины волны $\Delta n_2 = 0,184$?

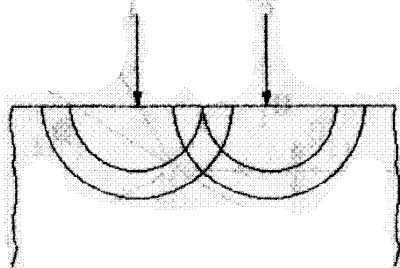
14.18. Вариант 18

• 14.18.1. Естественный монохроматический луч падает на двоякопреломляющий кристалл. Укажите, какими будут лучи 1 и 2 и покажите направление колебаний вектора $\vec{E}$ в обыкновенном луче и вектора $\vec{H}$ в необыкновенном луче, если длина волны обыкновенного луча больше длины волны необыкновенного луча ($\lambda_o > \lambda_e$).

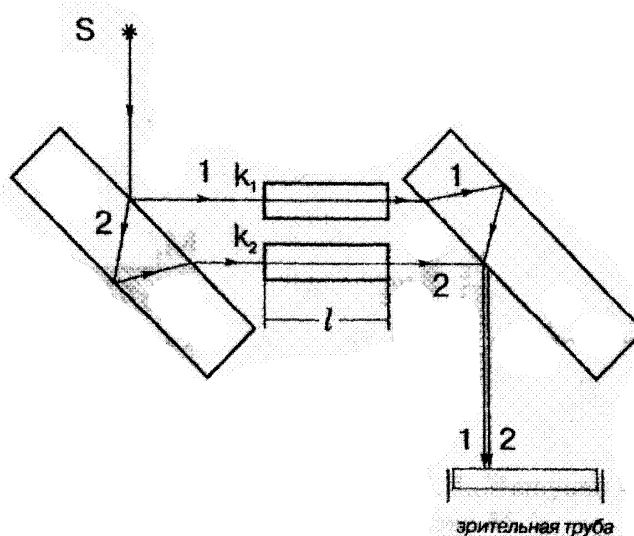


- 14.18.2. Угол максимальной поляризации при отражении света от кристалла каменной соли 57° . Определите длину волны света в каменной соли, если длина волны света в вакууме $\lambda = 6000 \text{ \AA}$. Изменится ли цвет луча?

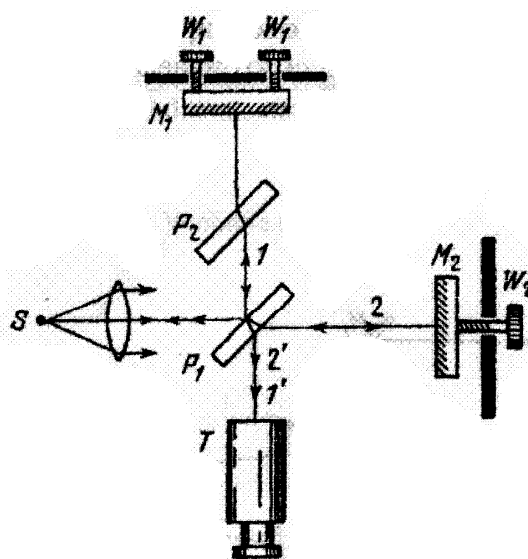
- 14.18.3. Естественный свет падает на одноосный кристалл. На рисунке изображены волновые поверхности вторичных волн обыкновенных и необыкновенных лучей. Определите направление оптической оси и тип кристалла, если показатель преломления обыкновенного луча больше показателя преломления необыкновенного луча ($n_o > n_e$).



- 14.18.4. Поглощение в николе таково, что наибольшая яркость поляризованного света, прошедшего через николь, составляет 90 % поляризованного света, падающего на него. Во сколько раз уменьшится яркость естественного света при прохождении через два таких николя, если плоскости главных сечений составляют угол 60° ?
- 14.18.5. Концентрация раствора сахара, налитого в стеклянную трубку, равна $0,3 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$. Этот раствор вращает плоскость поляризации монохроматического света на 25° . Определите концентрацию сахара в другой такой же трубке, если он вращает плоскость поляризации на 20° .

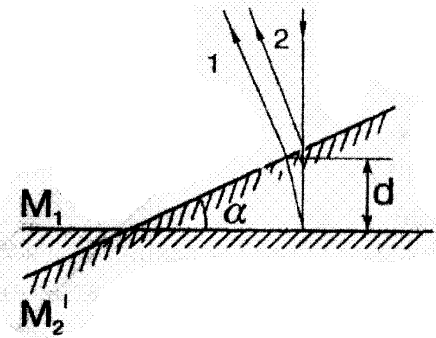
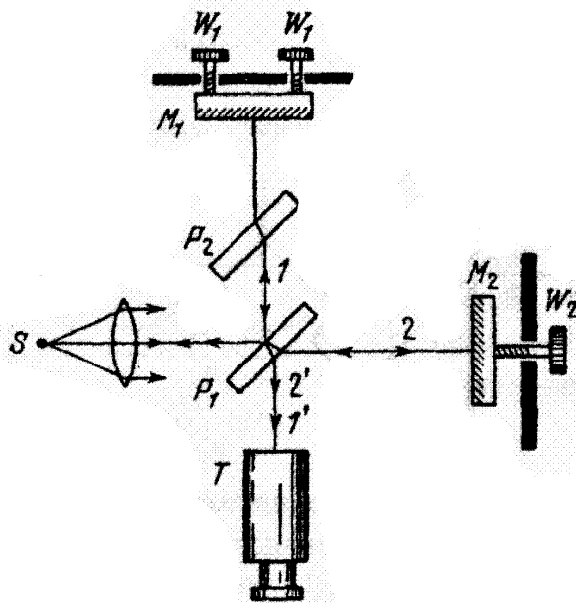


Интерферометр Жамена



Двухлучевой интерферометр Майкельсона

Плоскости зеркала M_1 и мнимого изображения зеркала M'_2 - параллельны (Описание работы интерферометра см. в кн. Савельев И.В. Курс общей физики. - Т.2)



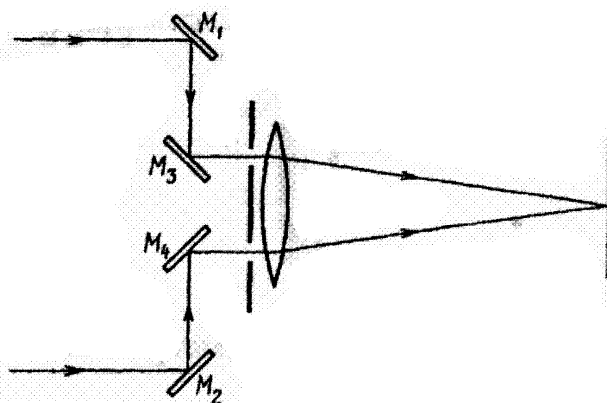
Двухлучевой интерферометр Майкельсона

Угол α образуется между зеркалом M_1 и мнимым изображением зеркала M_2' в пластине P_1 . Это делается с помощью юстировочных винтов W_1 .

D - толщина воздушного клина в рассматриваемой точке.

(Описание работы интерферометра см. в кн. Савельев И.В. Курс общей физики. - Т.2)

Приложение 3



Звездный интерферометр Майкельсона.

Зеркала M_3 и M_4 (внутренние) - неподвижны.

Селиванова Э.Б., Усольцева Н.Я., Вапуков С.И.,
Клягин Н.В., Шорохова М.А.

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ

Часть III

**КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ
ВОЛНОВАЯ ОПТИКА**

Учебное пособие

Редактор *Л. Н. Ветчакова*
Технический редактор *Г.Е. Телятникова*

Лицензия № 021040 от 22.02.96. Подписано в печать 24.03.2000.
Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Тираж 300 экз. Уч.- изд. л.6,3.
Печ. л. 6,75. Изд. № 1347. Заказ № *242*. Цена договорная.

Отпечатано в типографии
Новосибирского государственного технического университета
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20.