

**ФИЗИКА**  
**ВОЛНОВАЯ И КВАНТОВАЯ ОПТИКА**

*Методические указания и практические задания  
для студентов бакалавриата направления подготовки 022000*

## ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

### ВАРИАНТ 1

1. В опыте Юнга щели  $S_1$  и  $S_2$  освещались монохроматическим светом с длиной волны  $600 \text{ нм}$ , расстояние между щелями  $2 \text{ мм}$ , расстояние от них до экрана  $3 \text{ м}$ . Найти расстояние от 3-го и 4-го максимумов до центра экрана. Доказать, что расстояния между соседними максимумами постоянны. Экран параллелен линии  $S_1S_2$ .

2. Поверхность предмета покрывает тонкая прозрачная пленка ( $n = 1,2$ ) таким образом, что в отраженном свете, падающем нормально, предмет окрашен в фиолетовый цвет ( $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ). Определить минимальную толщину пленки, если показатель преломления вещества предмета больше показателя преломления пленки.

3. В интерферометре Жамена на пути интерферирующих лучей помещены две одинаковые трубки, закрытые прозрачными пластинками. Одна заполнена воздухом при нормальных условиях, а из другой он выкачан. Найти показатель преломления воздуха, если длина трубок  $5 \text{ см}$ , и при выкачивании воздуха интерференционная картина сместилась на  $20$  полос. Для наблюдения использован монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 0,73 \text{ мкм}$ .

4. На дифракционную решетку нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны  $\lambda$ . Под каким углом будет наблюдаться третий дифракционный максимум света в спектре решетки? Сколько максимумов наблюдается в спектре, если период дифракционной решетки  $6 \lambda$ ?

5. Пучок света переходит из жидкости в стекло. Угол падения  $\alpha = 60^\circ$ , угол преломления  $\beta = 50^\circ$ . При каком угле падения пучок света, отраженный от границы раздела этих сред, будет максимально поляризован? При каких углах падения будет наблюдаться полное внутреннее отражение на границе раздела сред.

Решение проиллюстрировать чертежами.

6. Угол между осями поляризатора и анализатора  $53^\circ$ . Во сколько раз уменьшилась интенсивность света, прошедшего через анализатор, по сравнению с интенсивностью естественного света, падающего на поляризатор? Какова должна быть толщина пластинки кварца, если ее поместить между поляризатором и анализатором, чтобы монохроматический свет, с которым проводился опыт, не прошел через анализатор? Удельное вращение кварца  $29,7$  град/мм.

7. Определить максимальное изменение длины волны при Комптоновском рассеянии света на свободных электронах и свободных протонах. Сделать чертеж и записать выполняемые законы сохранения при взаимодействии фотона с протоном.

8. На цезий падает монохроматический свет. Кинетическая энергия вырванных фотоэлектронов равна половине работы выхода электрона из металла ( $A_{\text{вых}} = 1,89$  эВ). Найти длину волны падающего излучения.

9. На дифракционную решетку длиной  $1,5$  см (на нее нанесено  $3000$  штрихов) нормально падает пучок монохроматического света от разрядной трубки, наполненной атомарным водородом. В спектре 4-го порядка этой решетки под углом  $22,8^\circ$  наблюдается некоторая спектральная линия. Какова длина волны монохроматического света? Какому переходу электрона в атоме водорода соответствует исследуемая спектральная линия, к какой серии она принадлежит? Какая энергия излучается при этом атомом?

при этом атомом?

## ВАРИАНТ 2

1. Два когерентных источника света, полученных с помощью бипризмы Френеля, находятся на расстоянии  $d = 0,1$  мм друг от друга. На экране, параллельном отрезку  $d$ , наблюдается интерференционная картина, причем 5-ый максимум отстоит от центра экрана на  $5$  мм. Найти расстояние между экраном и линией, соединяющей источники, если  $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м. Дать схему получения когерентных источников с помощью бипризмы Френеля и схему к

выводу формулы, связывающей расстояние от источников до экрана, расстояние от центра экрана до "k"-го максимума.

2. На мыльную пленку падает белый свет под углом  $60^\circ$ . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в красный цвет ( $\lambda = 0,65 \text{ мкм}$ )? Показатель преломления мыльной воды 1,33.

Определить минимальную толщину этой пленки, при которой отраженные лучи той же длины усиливаются, если пленка находится на стеклянной поверхности ( $n = 1,5$ ).

3. При заполнении кислородом пустой трубки длиной 5 см, находящейся на пути одного из интерферирующих лучей в интерферометре Жамена, происходит смещение интерференционных полос. Какую толщину должен иметь стеклянный клин на пути второго луча, чтобы восстановилась первоначальная картина? Показатель преломления для кислорода 1,000272; для стекла 1,5.

4. Сколько штрихов на 1 мм длины имеет дифракционная решетка, если зеленая линия ртути ( $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ ) в спектре первого порядка видна под углом  $20^\circ$ ? Сколько максимумов наблюдается в дифракционном спектре?

5. Луч света падает из воздуха на стеклянную пластинку, ( $n_{\text{ст}} = 1,5$ ) закрепленную на поверхности воды ( $n_{\text{в}} = 1,33$ ). Найти углы падения луча, при которых луч, отраженный от стекла, и луч, отраженный от поверхности воды, максимально поляризованы.

6. Во сколько раз будет ослаблен луч естественного света, если его пропустить через два поляроида, оптические оси которых составляют угол  $60^\circ$ ? Поглощением света пренебречь. Сделать чертеж и вывести закон Малюса.

7. Фотон с энергией 0,25 МэВ рассеялся под углом  $90^\circ$  на свободном электроны (Комптон-эффект). Сделать чертеж. Записать законы сохранения, выполняемые при Комптоновском рассеянии. Определить энергию, частоту рассеянного фотона и кинетическую энергию отдачи электрона.

8. Какова максимальная скорость фотоэлектронов, вылетающих из металла при освещении его лучами с длиной волны 2300 А, если работа выхода электронов 4эВ? Какой положительный

потенциал нужно подать на поверхность металла, чтобы задержать вылетающие фотоэлектроны?

9. Определить массу и энергию фотонов, испускаемых при переходе электронов в атомах водорода с 3-го энергетического уровня на основной. Показать на диаграмме энергетических состояний атома водорода рассматриваемые переходы. К каким сериям относится рассматриваемое излучение?

8. Когда фотоны с длиной волны  $0,024 \text{ \AA}$  рассеиваются на свободных электронах, рассеянные фотоны наблюдаются под углом  $60^\circ$ . Найти длину волны рассеянного фотона и угол рассеяния на отдачи.

9. Исследуемый с помощью спектроскопа свет от водородной разрядной трубки падает перпендикулярно на дифракционную решетку, содержащую 600 штрихов на  $1 \text{ мм}$ . При этом угол отклонения красной линии серии Бальмера равен  $23^\circ$  в спектре I-го порядка. Найти длину волны этой линии, постоянную Ридберга. Как меняется энергия атома водорода при излучении этой линии?

### ВАРИАНТ 10

1. В некоторую точку пространства приходят две когерентные волны с геометрической разностью хода  $12 \text{ мкм}$ . Найти разность фаз колебаний, пришедших в точку наблюдения, если распространение волн происходит в вакууме ( $n = 1$ ) и в стекле ( $n = 1,5$ ). Длина волны света в вакууме  $600 \text{ нм}$ . Вывести формулу, связывающую разность хода и разность фаз интерферирующих волн. Во сколько раз изменяется длина волны и скорость света при переходе из воздуха в стекло?

2. Найти расстояние между 3-им и 16-ым темными кольцами Ньютона, если расстояние между 2-м и 20-м кольцами равно  $4,8 \text{ мм}$ . Наблюдение проводится в отраженном свете.

3. В шахтном интерферометре длина камер  $103 \text{ мм}$ . При заполнении камеры шахтным воздухом интерференционная картина сместилась на 14 полос. Поворотное устройство заставляет интерферирующие лучи проходить камеры 10 раз. Определить длину волны монохроматического света, если показатель преломления чистого воздуха  $n_v = 1,000292$ . Сделать чертеж, объяснить возникновение дополнительной разности хода. Показатель преломления шахтного воздуха  $n_m = 1,000300$ .

4. Постоянная дифракционной решетки в 4 раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол  $\Delta\alpha$  между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами. Сколько

дифракционных максимумов наблюдается на экране? Сделать чертеж.

6. Пластинку кварца поместили между николями, в результате чего плоскость поляризации монохроматического света повернулась на угол  $45^\circ$ . При этом интенсивность света, вышедшего из анализатора уменьшилась в 6 раз в сравнении с интенсивностью естественного света, падающего на поляризатор. Найти угол между главными оптическими осями николей.

7. Электроны, падающие на алюминиевую фольгу, дают дифракционную картину, причем угловое отклонение спектра первого порядка равно  $10^\circ$ . Постоянная решетки алюминия  $4,05 \text{ \AA}$ . Какова скорость электронов?

8. Красная граница фотоэффекта для никеля  $0,257 \text{ мкм}$ . Найти длину волны света, падающего на никелевый электрод, если фототок прекращается при задерживающей разности потенциалов  $1,5 \text{ В}$ .

9. В спектре ионизированного гелия присутствует линия, соответствующая длине волны  $4,87 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ . Определить энергию излученного фотона. Какой переход электрона в атоме гелия осуществляется при этом? По данным задачи найти постоянную Ридберга.

### **Вариант 11**

1. Свет с длиной волны  $0,55 \text{ мкм}$  падает нормально на поверхность стеклянного клина. В отраженном свете наблюдают систему интерференционных полос. Расстояние между соседними темными полосами  $0,21 \text{ мм}$ . Найти угол между гранями клина. Показатель преломления стекла  $1,5$ .
2. В интерференционном опыте Ллойда на плоское зеркало падает свет от точечного монохроматического источника  $S$ . На экране, перпендикулярном зеркалу, интерферируют лучи, идущие от этого источника и его мнимого изображения  $S'$  в зеркале. Интерференционная картина состоит из системы полос, ширина каждой из них  $0,25 \text{ мм}$ . Расстояние от источника от зеркала  $1 \text{ мм}$ , расстояние от экрана до источника  $1 \text{ м}$ . Сделать чертеж и найти длину волны света.
3. Каков период решетки, если в ее дифракционном изображении максимум первого порядка получен на расстоянии  $3,2 \text{ см}$  от центрального, а расстояние от середины решетки до экрана  $1,1 \text{ м}$ . Решетка освещается параллельным монохроматическим пучком света ( $\lambda = 0,582 \text{ мкм}$ ), падающим на нее нормально. Сделать чертеж.

4. Какое напряжение нужно приложить к рентгеновской трубке, чтобы получить излучение с длиной волны  $10^{-3}$  мкм? Какова масса фотона данного излучения?
5. Какой длины волны следует направить лучи на поверхность цинка, чтобы максимальная скорость фотоэлектронов была равна  $2 \cdot 10^6$  м/с. Красная граница фотоэффекта для цинка 0,35 мкм.
6. Луч света проходит через три поляроидные пленки. Углы между оптическими осями второй и первой составляет 45град, между третьей и второй – 30. Во сколько раз уменьшается интенсивность света, прошедшего через систему. Поглощением пренебречь.
7. Гамма-фотон с длиной волны  $1,2 \cdot 10^{-12}$  м в результате Комптоновского рассеяния на свободном покоящемся электроне отклонился от первоначального направления на угол 60 градусов. Найти кинетическую энергию электрона отдачи. Сделать чертеж.
8. В интерферометре Жамена на пути одного из лучей поместили тонкую стеклянную пластинку, при этом интерференционная картина сместилась на 200 полос. Найти толщину пластины, если длины волны света  $6 \cdot 10^{-7}$  м, показатель преломления стекла 1,5.
9. Определите радиус двенадцатой Боровской орбиты в атоме водорода. Сделать чертеж и вывести расчетную формулу.

отклонился от первоначального направления на угол  $60^\circ$ .  
Определить импульс рассеянного фотона. Сделать чертеж.  
9. Определить полную и кинетическую энергию электрона, находящегося на 1-ой Боровской орбите в атоме водорода. Сделать чертеж и вывести расчетную формулу.

### ВАРИАНТ 13

1. В интерферометре Жамена (рис.6) на пути лучей находятся две трубки длиной 10 см, заполненные воздухом. Когда воздух в одной трубке заменили аммиаком, интерференционная картина сместилась на 17 полос. Показатель преломления воздуха 1,000292 меньше, чем аммиака. Определить показатель преломления аммиака. Сделать чертеж. Длина волны света  $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м.
2. На пути пучка света поставлена стеклянная пластинка ( $n = 1,5$ ) толщиной 1 мм так, что угол падения луча  $30^\circ$ . На сколько изменится оптическая длина пути светового пучка?
3. Для определения длины световой волны применена дифракционная решетка с периодом 0,01 мм. Первое дифракционное изображение на экране получено на расстоянии 11,8 см от центрального максимума и на расстоянии 2 м от решетки. Найти длину волны монохроматического света, падающего нормально на решетку. Сделать чертеж.
4. Пучок естественного света падает на систему из  $N = 6$  николей, оптическая ось каждого из которых повернута на угол  $30^\circ$  относительно оси предыдущего николя. Какая часть света проходит через систему?
5. Определить угол максимальной поляризации отраженного от алмаза ( $n = 2,42$ ) света, если полное внутреннее отражение на границе алмаз - воздух наблюдается при угле падения, равном  $24,4^\circ$ .
6. Металлическая поверхность облучается светом частотой  $\nu$ . Определить кинетическую энергию вырываемых фотоэлектронов, если увеличив частоту падающего излучения в 2 раза, кинетическая энергия вырываемых электронов возрастает в 3 раза. Работа выхода электрона из металла 5,6 эВ. Какова первоначальная частота?

7. В условии предыдущей задачи определить красную границу фотоэффекта и соответствующую массу фотона излучения.

8. В результате эффекта Комптона фотон при соударении с покоящимся свободным электроном рассеян на угол  $90^\circ$ . Энергия рассеянного фотона  $0,4 \text{ МэВ}$ . Определить частоту падающего фотона. Сделать чертеж.

9. Определить объем атома водорода в невозбужденном состоянии, считая его сферическим. Сделать чертеж и вывести расчетную формулу для радиуса 1-ой Боровской орбиты.