

## Оглавление

Задание 1. Волновая оптика.....	2
Задача 1.1. Интерференция света.....	2
Задача 1.2. Дифракция света .....	5
Задача 1.3. Поляризация света. Взаимодействие света с веществом .....	7
Задание 2. Квантовые свойства света. Волны де Бройля. Соотношения неопределённостей .....	10
Задание 3. Некоторые квантовомеханические системы. Тепловое излучение .....	12

# ТИПОВОЙ РАСЧЁТ ПО ОПТИКЕ И АТОМНОЙ ФИЗИКЕ

---

**Номер задачи** – порядковый номер студента по журналу группы.

## Задание 1. Волновая оптика

### Задача 1.1. Интерференция света

1. Диффрагма с двумя отверстиями освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,4$  мкм. Расстояние между отверстиями  $d = 1 \cdot 10^{-3}$  м, расстояние от отверстий до экрана  $L = 3$  м. Найти положение трёх первых светлых полос (относительно центральной полосы) на экране.
2. Во сколько раз увеличится расстояние между соседними интерференционными полосами на экране в опыте Юнга, если зелёный светофильтр (длина волны пропускания  $\lambda_1 = 0,50$  мкм) заменить красным (длина волны пропускания  $\lambda_2 = 0,65$  мкм)?
3. В опыте Юнга на пути одной из интерферирующих волн помещена тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная (нулевая) светлая полоса сместилась в положение, первоначально занятое пятой светлой полосой. Волна падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки  $n = 1,5$ , длина волны  $\lambda = 0,6$  мкм. Найти толщину пластинки.
4. Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на диффрагму с двумя узкими щелями, отстоящими друг от друга на расстоянии  $d = 2,5$  мм. На экране, расположенном за диффрагмой на  $l = 100$  см, образуется система интерференционных полос. На какое расстояние и в какую сторону сместятся эти полосы, если одну из щелей перекрыть стеклянной пластинкой с показателем преломления  $n = 1,5$  и толщиной  $h = 10$  мкм? Считать, что в пластине свет распространяется перпендикулярно граням.
5. В интерференционной схеме с бипризмой Френеля расстояние между мнимыми источниками  $d = 0,4$  мм, а их расстояние до экрана  $L = 2$  м. Ширина интерференционных полос на экране  $Y = 3$  мм. Найти длину световой волны.
6. В опыте с бипризмой Френеля ширина интерференционных полос на экране  $Y = 0,15$  мм. Расстояние от щели, служащей источником света, до экрана  $L = 60$  см. Найти расстояние между мнимыми источниками. Длина световой волны  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ .
7. Найти ширину интерференционных полос на экране в интерференционной схеме с бипризмой Френеля, если расстояние между мнимыми источниками  $d = 0,5$  мм, а их расстояние до экрана  $L = 3$  м. Источник испускает монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 700$  нм.
8. В опыте Ллойда интерференционная картина наблюдается на экране, удалённом от монохроматического источника (длина волны излучения  $\lambda = 600$  нм)

на расстояние  $L = 2$  м. Расстояние от источника до зеркала  $h = 3$  мм. Найти ширину интерференционных полос на экране.

9. Кольца Ньютона наблюдаются в отражённом свете с помощью стеклянной (показатель преломления  $n = 1,51$ ) плосковыпуклой линзы с фокусным расстоянием  $F = 76$  см, лежащей на плоской стеклянной пластине. Радиус пятого тёмного кольца  $r_5 = 0,9$  мм. Найти длину световой волны.
10. Установка для получения колец Ньютона освещается белым светом, падающим нормально. Радиус кривизны линзы  $R = 5$  м. Найти: радиус четвёртого тёмного фиолетового кольца (длина волны  $\lambda_1 = 400$  нм); радиус третьего светлого красного кольца ( $\lambda_2 = 630$  нм). Радиус какого кольца больше? Наблюдение ведётся в отражённом свете.
11. Установка для получения колец Ньютона освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 550$  нм, падающим нормально. Пространство между линзой и плоскопараллельной пластинкой залито жидкостью с показателем преломления  $n = 1,2$ ; показатель преломления стекла  $n' = 1,5$ . Радиус кривизны линзы  $R = 5$  м. Найти радиус четвёртого тёмного кольца.
12. Плосковыпуклая линза сферической поверхностью лежит на стеклянной пластинке. Найти толщину слоя воздуха там, где в отражённом свете с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм видно первое светлое кольцо Ньютона.
13. Расстояние между первым и вторым тёмными кольцами Ньютона в отражённом свете  $\Delta r_1 = 1,0$  мм. Найти расстояние между девятым и десятым светлыми кольцами Ньютона.
14. Установка для наблюдения колец Ньютона освещается монохроматическим светом. После того как пространство между линзой и стеклянной пластинкой заполнили жидкостью, радиусы тёмных колец в отражённом свете уменьшились в  $k = 1,25$  раза. Найти показатель преломления жидкости.
15. Расстояние между 10-м и 15-м тёмными кольцами Ньютона при наблюдении в отражённом монохроматическом свете (длина волны  $\lambda = 546$  нм)  $\Delta r = 0,74$  мм. Найти радиус кривизны линзы, лежащей на плоской пластине.
16. На сколько изменится радиус первого тёмного кольца Ньютона, наблюдаемого в отражённом свете с длиной волны  $\lambda = 0,64$  мкм, если пространство между плоской пластиной и линзой заполнить водой? Показатель преломления воды  $n' = 1,33$ , показатель преломления стекла  $n = 1,50$ . Радиус сферической поверхности линзы  $R = 1,0$  м.
17. Кольца Ньютона наблюдаются в отражённом свете (при нормальном падении на линзу), содержащем две яркие линии: красную (длина волны  $\lambda_1 = 610$  нм) и фиолетово-синюю ( $\lambda_2 = 436$  нм). Радиус пятого красного кольца  $r_5 = 5,0$  мм. Найти радиус кривизны линзы, её оптическую силу и радиусы 3-го и 5-го фиолетово-синих колец.
18. Кольца Ньютона наблюдаются между двумя плосковыпуклыми линзами, касающимися друг друга своими выпуклыми поверхностями. Радиусы кривизны поверхностей равны  $R_1$  и  $R_2$ . Найти радиус  $m$ -го тёмного кольца в отражённом монохроматическом свете (длина волны равна  $\lambda$ ).

19. На мыльную плёнку толщиной  $h = 0,10$  мкм падает белый свет под углом  $i = 60^\circ$ . В какой цвет будет окрашена плёнка? Показатель преломления плёнки  $n = 1,3$ .
20. Плоская монохроматическая волна (длина волны  $\lambda = 0,60$  мкм) падает на мыльную плёнку, показатель преломления которой  $n = 1,3$ , угол падения  $i = 30^\circ$ . При какой наименьшей толщине плёнки отражённая волна будет максимально ослаблена интерференцией; максимально усилена?
21. Тёмной или светлой будет в отражённом свете (при нормальном падении) мыльная плёнка толщиной, в  $k = 10$  раз меньшей длины волны? Плёнка находится в воздухе, показатель преломления плёнки  $n = 1,3$ .
22. Тонкая плёнка освещается монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм. При какой минимальной толщине плёнки она будет окрашенной? Показатель преломления плёнки  $n = 1,2$ . Наблюдение ведётся под углами  $i = 0^\circ; 30^\circ$ .
23. На поверхности лужи расплылось масляное пятно, представляющее собой тончайшую плёнку. Толщина плёнки в том месте, где она кажется зелёной (длина волны  $\lambda = 550$  нм),  $h = 0,11$  мкм. Наблюдение ведётся под углом  $i = 60^\circ$ . Найти показатель преломления масла. Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .
24. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол между поверхностями клина  $\beta = 2'$ . Показатель преломления стекла  $n = 1,55$ . Расстояние между соседними интерференционными максимумами в отражённом свете  $\Delta x = 0,3$  мм. Найти длину световой волны.
25. Свет с длиной волны  $\lambda = 0,55$  мкм падает нормально на поверхность стеклянного клина. В отражённом свете расстояние между соседними тёмными полосами  $\Delta x = 0,21$  мм. Найти угол между гранями клина. Показатель преломления стекла  $n = 1,5$ .
26. На тонкий стеклянный клин падает нормально монохроматический свет длиной волны  $\lambda = 630$  нм. Показатель преломления стекла  $n = 1,50$ . Расстояние между соседними интерференционными максимумами в отражённом свете  $\Delta x = 0,4$  мм. Найти двугранный угол между поверхностями клина.
27. Между двумя стеклянными шлифованными пластинками протянут волос так, что образовался воздушный клин. Диаметр волоса  $d = 0,05$  мм. При нормальном падении на пластинку лучи с длиной волны  $\lambda = 500$  нм дают в отражённом свете  $N = 8$  интерференционных полос на  $\Delta l = 1,0$  см длины пластинки. Найти расстояние от волоса до вершины клина.
28. На поверхность стеклянного объектива (показатель преломления  $n_1 = 1,5$ ) нанесена тонкая просветляющая плёнка. При какой наименьшей толщине плёнки наблюдается максимальное ослабление отражённого света для длины волны наилучшего видения  $\lambda = 555$  нм?
29. Найти минимальную толщину плёнки с показателем преломления  $n = 1,33$ , при которой свет с длиной волны  $\lambda_1 = 0,64$  мкм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны  $\lambda_2 = 0,40$  мкм не отражается совсем. Угол падения света  $i = 30^\circ$ .
30. На плоской стеклянной поверхности образована тонкая прозрачная плёнка толщиной  $d = 0,396$  мкм. Какую окраску примет плёнка при освещении её бе-

лым светом, падающим под углом  $i = 30^\circ$ ? Показатель преломления стекла  $n_{ст} = 1,753$ ; показатель преломления плёнки  $n_{пл} = 1,324$ .

### Задача 1.2. Дифракция света

1. Под каким углом возникает максимум третьего порядка для света с длиной волны  $\lambda = 840$  нм, падающего на дифракционную решётку с расстоянием между щелями  $d = 2,35 \cdot 10^{-3}$  см?
2. В спектрографе установлена дифракционная решётка, период которой  $d = 1000$  нм, а длина рабочей части  $l = 100,0$  мм. Фокусное расстояние объектива спектрографа  $F = 1,000$  м. Найти длину видимого спектра, получающегося на фотопластинке, установленной в фокальной плоскости объектива. Оценить разрешающую силу прибора.
3. Дифракционная решётка имеет  $n = 7500$  штрих/см. Какова должна быть минимальная ширина решётки для разрешения жёлтого дублета натрия (длины волн  $\lambda_1 = 589,00$  нм и  $\lambda_2 = 589,59$  нм)? Найти разрешающую способность решётки в этом случае.
4. Дифракционная решётка имеет  $n = 5000$  штрих/см. Спектры какого порядка можно наблюдать при освещении её белым светом?
5. Точечный монохроматический источник света с длиной волны  $\lambda = 550$  нм помещён на расстоянии  $a = 1,00$  м перед непрозрачной преградой с отверстием радиуса  $r = 2,00$  мм. За преградой установлен экран. При каком расстоянии от отверстия до экрана может оказаться в условиях данной задачи открытой только одна центральная зона Френеля?
6. Свет от источника падает нормально на дифракционную решётку, имеющую  $n = 1,0 \cdot 10^4$  штрих/см. Линии первого порядка наблюдаются под углами  $\varphi = 29,8'$ ;  $37,7'$ ;  $39,6'$ ;  $48,9'$ . Найти соответствующие длины волн.
7. Точечный монохроматический источник света с длиной волны  $\lambda = 500$  нм помещён на расстоянии  $a = 0,500$  м перед непрозрачной преградой с отверстием радиуса  $r = 0,500$  мм. Найти расстояние от преграды до точки, для которой число открываемых отверстием зон Френеля  $m = 1$ ;  $5$ ;  $10$ .
8. При освещении дифракционной решётки светом с длиной волны  $\lambda = 650$  нм максимум третьего порядка наблюдается под углом  $\varphi = 12^\circ$ . Найти постоянную решётки и число штрихов на миллиметр.
9. Монохроматический свет с длиной волны  $\lambda = 589$  нм падает на щель. Угол между первыми светлыми полосами по обе стороны от центрального максимума  $\varphi_0 = 33,0^\circ$ . Найти ширину щели.
10. Сколько штрихов на 1 мм должна иметь дифракционная решётка, если спектр второго порядка отсутствует в видимой области?
11. На щель ширины  $b = 2,00$  мм, установленную на расстоянии  $L = 2,00$  м от экрана, падает по нормали плоская световая волна с длиной  $\lambda = 500$  нм. Найти ширину центральной полосы на экране.
12. Падающий на дифракционную решётку свет состоит из двух резких спектральных линий с длинами волн  $\lambda_1 = 490$  нм и  $\lambda_2 = 600$  нм. Первый дифракционный максимум для линии с длиной волны  $\lambda_1$  располагается под углом

$\varphi_1 = 10,0^\circ$ . Найти угловое расстояние между линиями с длиной волны  $\lambda_1$  и с длиной волны  $\lambda_2$  в спектре второго порядка (с одной стороны от центрального максимума).

13. Какое число штрихов должна иметь дифракционная решетка для того, чтобы разрешить в спектре первого порядка линии жёлтого дублета натрия (длины волн  $\lambda_1 = 589,00$  нм и  $\lambda_2 = 589,59$  нм)?
14. Две звезды, находящиеся на расстоянии  $L = 10$  световых лет от Земли, едва разрешимы с помощью телескопа, диаметр зеркала которого  $D = 2,5$  м. Оценить расстояние между этими двумя звездами. Длина волны света  $\lambda = 550$  нм.
15. Оценить максимальное возможное значение угловой дисперсии (первого порядка) дифракционной решётки, о которой известно, что один из максимумов для света с длиной волны  $\lambda_1 = 550$  нм накладывается на один из максимумов для света с длиной волны  $\lambda_2 = 660$  нм.
16. На непрозрачную преграду с отверстием радиуса  $r = 1,000$  мм падает монохроматическая плоская световая волна. Когда расстояние от преграды до установленного за ней экрана равно  $b_1 = 0,575$  м, в центре дифракционной картины наблюдается максимум интенсивности. При увеличении расстояния до  $b_2 = 0,862$  м максимум интенсивности сменяется минимумом. Найти длину волны света.
17. Найти максимальный порядок спектра, полученного от дифракционной решётки с периодом  $d = 5 \cdot 10^{-3}$  мм при нормальном падении на неё плоской монохроматической волны с длиной волны  $\lambda = 6 \cdot 10^{-7}$  м.
18. Монохроматический свет (длина волны  $\lambda = 500$  нм) падает по нормали на непрозрачную преграду, в которой имеется щель ширины  $b = 0,200$  мм. За преградой расположен экран. (Волновые поверхности, преграда и экран параллельны друг другу.) Расстояние между преградой и экраном  $l = 1,00$  м. Найти угловую и линейную ширину центрального дифракционного максимума и расстояние между серединами 1-го и 2-го дифракционных максимумов.
19. В зрительную трубу рассматривается лунная поверхность. Диаметр объектива трубы  $D = 4,00$  см. При каком минимальном расстоянии между двумя кратерами их можно увидеть раздельно? Длину световой волны наблюдения принять равной  $\lambda = 600$  нм.
20. Белый свет с длинами волн от  $\lambda_1 = 400$  нм до  $\lambda_2 = 700$  нм падает нормально на дифракционную решётку, имеющую  $n = 8000$  штрих/см. На расстоянии  $L = 2,20$  м от решётки находится экран. Найти ширину спектра первого порядка на экране.
21. На щель шириной  $b = 1,0 \cdot 10^{-2}$  мм падает нормально плоская монохроматическая волна с длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Найти угловое положение первого максимума дифракционной картины.
22. Свет с длиной волны  $\lambda = 750$  нм проходит через щель шириной  $b = 1,0 \cdot 10^{-3}$  мм. Найти угловую ширину центрального максимума и ширину центрального максимума на экране, находящемся на расстоянии  $L = 20$  см от щели.
23. Чему равна ширина центрального дифракционного максимума на экране, расположенном на расстоянии  $L = 5,50$  м за щелью шириной  $b = 0,101$  мм, освещаемой монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 400$  нм?

24. Дифракционная решётка содержит  $n = 10000$  штрихов на 1 см. Вычислить углы, соответствующие дифракционным максимумам первого и второго порядков для света с длинами волн  $\lambda_1 = 400$  нм и  $\lambda_2 = 700$  нм.
25. Свет с длиной волны  $\lambda = 680$  нм падает на щель шириной  $b = 0,0245$  мм. Найти угловую ширину центрального дифракционного максимума.
26. Найти угловую разрешающую способность бинокля (диаметр объектива  $D = 21$  мм) в зелёном свете (длина волны  $\lambda = 550$  нм).
27. При каком условии  $m$ -й главный максимум для дифракционной решётки с периодом  $d$  и шириной щели  $b$  обращается в нуль?
28. Имеется зрительная труба с диаметром объектива  $D = 5,0$  см. Найти разрешающую способность объектива и минимальное расстояние между двумя точками, находящимися на расстоянии  $L = 3$  км от трубы, которая она может разрешить. Считать длину волны наблюдения равной  $\lambda = 0,55$  мкм.
29. На щель шириной  $b = 0,06$  мм нормально падает параллельный пучок света (длина волны  $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ ). Дифракционная картина проецируется на экран, расположенный на расстоянии  $L = 0,6$  м от щели. Найти угловую и линейную ширину центрального дифракционного максимума.
30. На круглое отверстие радиуса  $r = 0,7$  мм падает нормально параллельный пучок света с длиной волны  $\lambda = 550$  нм. На пути пучка, прошедшего через отверстие, помещают экран на расстоянии  $b = 90$  см от отверстия. Тёмное или светлое пятно будет наблюдаться в центре дифракционной картины? Найти число зон Френеля, которое открывает отверстие.

### Задача 1.3. Поляризация света. Взаимодействие света с веществом

1. Имеется прозрачная пластина толщиной  $a = 10,0$  см. Для некоторой длины волны коэффициент поглощения вещества пластины изменяется линейно от значения  $\kappa_1 = 0,800 \text{ м}^{-1}$  у одной поверхности пластины до  $\kappa_2 = 1,200 \text{ м}^{-1}$  у другой поверхности. Найти ослабление (в процентах) интенсивности монохроматического света данной длины волны при прохождении им пластины.
2. На пути частично поляризованного света поместили поляризатор. При повороте поляризатора на угол  $\theta = 60^\circ$  из положения, соответствующего максимуму пропускания, интенсивность прошедшего света уменьшилась в  $k = 3,0$  раза. Найти степень поляризации падающего света.
3. Под каким углом следует расположить главные плоскости двух идеальных поляризаторов, чтобы интенсивность падающего неполяризованного света уменьшилась до  $1/3$ ;  $1/10$  начальной интенсивности?
4. Найти угол Брюстера для стекла (показатель преломления  $n_1 = 1,56$ ), погружённого в воду ( $n_2 = 1,33$ ).
5. Неидеальный поляризатор пропускает в своей главной плоскости  $\alpha_1 = 0,90$  интенсивности соответствующего колебания, а в перпендикулярной плоскости –  $\alpha_2 = 0,10$  интенсивности соответствующего колебания. Найти степень поляризации света, прошедшего через поляризатор, если первоначально свет был естественным.

6. Степень поляризации частично поляризованного света  $P = 0,25$ . Найти отношение интенсивности поляризованной составляющей этого света к интенсивности естественной составляющей.
7. На оптической скамье стоят два поляризатора, главные плоскости которых ориентированы под углом  $\theta = 34,0^\circ$  друг относительно друга. Свет, поляризованный под углом  $\theta_0 = 17,0^\circ$  относительно главной плоскости каждого поляризатора, проходит через оба поляризатора. Найти, во сколько раз ослабляется интенсивность света.
8. Для радиоволн с частотой  $\nu = 100$  МГц показатель преломления ионосферы  $n = 0,90$ . Найти концентрацию свободных электронов в ионосфере.
9. Фазовая скорость света  $v$  зависит от длины волны по закону  $v = a\lambda^m$ , где  $\lambda$  – длина волны света,  $a$  – размерная константа, а показатель степени  $m < 1$ . Найти групповую скорость света.
10. Пучок света с длинами волн  $\lambda_1 = 500,0$  нм и  $\lambda_2 = 712,0$  нм падает на кусок стекла под углом  $i = 35,00^\circ$ . Показатель преломления стекла для этих длин волн равен соответственно  $n_1 = 1,4810$  и  $n_2 = 1,4742$ . Найти угол между двумя вышедшими из стекла лучами.
11. Неполяризованный свет проходит через два поляризатора. Главная плоскость одного из них вертикальна, а главная плоскость другого образует с вертикалью угол  $\theta = 60^\circ$ . Найти степень поляризации прошедшего света и отношение интенсивности прошедшего света к интенсивности падающего света.
12. Неполяризованный свет проходит через  $N = 5$  последовательно расположенных поляроидов. Главная плоскость каждого поляроида (начиная со второго) образует угол  $\theta = 45^\circ$  с главной плоскостью предыдущего. Найти отношение интенсивности прошедшего света к интенсивности падающего света.
13. При каком угле падения солнечный свет отражается от поверхности стекла (показатель преломления  $n = 1,5$ ) плоскополяризованным? Чему равен при этом угол преломления?
14. Естественный свет падает на систему из трёх последовательно расположенных одинаковых поляризаторов, причём главная плоскость среднего поляризатора составляет угол  $\theta = 60^\circ$  с плоскостями пропускания двух других поляризаторов. Каждый поляризатор обладает таким поглощением, что при падении на него линейно поляризованного света максимальный коэффициент пропускания  $\tau = 0,81$ . Найти, во сколько раз уменьшится интенсивность света после прохождения этой системы.
15. При падении естественного света на некоторый поляризатор через него проходит  $\tau_1 = 30\%$  светового потока, а через два таких поляризатора –  $\eta_2 = 13,5\%$ . Найти угол между главными плоскостями этих поляризаторов.
16. На пути естественного пучка поместили два неидеальных поляризатора. Оказалось, что при параллельных главных плоскостях поляризаторов эта система пропускает в  $k = 10,0$  раз больше света, чем при скрещенных главных плоскостях. Найти степень поляризации света, прошедшего через: а) первый поляризатор; б) всю систему при параллельных главных плоскостях поляризаторов.

17. Естественный свет падает на поверхность стеклянной пластины (показатель преломления  $n = 1,7$ ) под углом Брюстера. Найти степень поляризации света, прошедшего обе поверхности пластины.
18. При зондировании разреженной плазмы радиоволнами различных частот обнаружили, что радиоволны с длиной волны, большей  $\lambda_0 = 0,75$  м, испытывают полное внутреннее отражение. Найти концентрацию свободных электронов в этой плазме.
19. Из некоторого вещества изготовили две пластинки: одну толщиной  $d_1 = 3,8$  мм, другую –  $d_2 = 9,0$  мм. Вводя поочередно эти пластинки в пучок монохроматического света, обнаружили, что первая пластинка пропускает  $\tau_1 = 0,84$  светового потока, вторая –  $\tau_2 = 0,70$ . Найти линейный показатель поглощения этого вещества. Свет падает нормально. Вторичными отражениями пренебречь.
20. Главные плоскости двух поляризаторов ориентированы под углом  $\theta = 45^\circ$  друг относительно друга. На них падает естественный свет. Найти отношение интенсивности прошедшего систему света к интенсивности падающего света.
21. Под каким углом стоит Солнце, когда свет, отражающийся от гладкой поверхности озера, поляризован особенно сильно? Показатель преломления воды  $n = 1,33$ .
22. Найти угол Брюстера для границы воздух-стекло (показатель преломления  $n = 1,56$ ).
23. Естественный свет падает на систему из двух одинаковых поляризаторов. Угол между их главными плоскостями  $\theta = 60^\circ$ . При этом интенсивность света уменьшается в  $k = 4$  раза. Найти коэффициент поглощения каждого из поляризаторов.
24. Под каким углом на границу раздела стекла (показатель преломления  $n_1 = 1,41$ ) и воды ( $n_2 = 1,33$ ) падает свет, если отражённый свет полностью поляризован?
25. Свет падает на границу раздела жидкости и стекла под углом  $i = 50^\circ$ , отражённый свет полностью поляризован. Найти показатель преломления жидкости. Показатель преломления стекла  $n = 1,51$ .
26. Во сколько раз ослабляется естественный свет, проходящий через два поляризатора, если в каждом из поляризаторов теряется  $\eta = 10\%$  падающего на него светового потока? Угол между главными плоскостями поляризаторов  $\theta = 30^\circ$ .
27. Интенсивность естественного света, прошедшего через поляризатор и анализатор, меньше первоначальной в  $k = 7$  раз. Потери энергии в каждом из поляризаторов  $\eta = 5\%$ . Найти угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора.
28. Естественный свет падает на систему из четырёх идеальных поляризаторов, главная плоскость каждого из которых повернута на угол  $\theta = 15^\circ$  относительно главной плоскости предыдущего. Найти отношение интенсивностей прошедшего и падающего на эту систему света.

29. На пути частично поляризованного светового пучка помещён идеальный поляризатор, который вращают и измеряют интенсивность прошедшего пучка. Максимальная интенсивность больше минимальной в  $k = 5$  раз. Найти степень поляризации падающего света.
30. Естественный свет падает на систему из двух идеальных поляризаторов. Вначале угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора был равен  $\theta$ . Затем анализатор повернули на  $90^\circ$ , при этом интенсивность прошедшего света уменьшилась в  $k = 3$  раза. Найти угол  $\theta$ .

## Задание 2. Квантовые свойства света. Волны де Бройля. Соотношения неопределённостей

1. Энергия фотона рентгеновского излучения  $W = 0,10$  МэВ. Угол рассеяния фотона на свободном электроне  $\theta = 90^\circ$ . Найти изменение энергии фотона.
2. Чёрная поверхность освещается лучами монохроматического источника (длина волны  $\lambda = 407$  нм). Свет падает по нормали к поверхности. Световое давление  $p = 3 \cdot 10^{-8}$  Па. Найти число фотонов, падающих в единицу времени на единицу площади поверхности.
3. Найти максимальную скорость фотоэлектронов при облучении поверхности меди монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda = 100$  нм. Красная граница фотоэффекта  $\lambda_0 = 280$  нм.
4. Доказать, что свободный электрон не может поглотить фотон. (Учесть, что конечная скорость электрона может быть сравнима со скоростью света.)
5. Катод освещается монохроматическим излучением с длиной волны  $\lambda = 300$  нм. Фототок прекращается при задерживающем потенциале  $U = 2$  В. Найти красную границу фотоэффекта для металла, из которого изготовлен катод.
6. Лампа накаливания потребляет мощность  $P = 60$  Вт. Найти число фотонов, испускаемых спиралью лампы в единичный промежуток времени. Принять, что вся энергия идет на излучение и мощность лампы рассеивается одинаково во всех направлениях в виде излучения со средней длиной волны  $\lambda = 1,7$  мкм.
7. Железный катод облучается монохроматическим светом. При этом максимальная скорость фотоэлектронов  $v_{\max} = 5,0 \cdot 10^3$  м/с. Найти длину волны излучения. Работа выхода  $A = 4,31$  эВ.
8. Найти частоту, циклическую частоту, массу, энергию и импульс фотона, длина волны которого  $\lambda = 100 \text{ \AA}$ .
9. Энергия фотона  $W = 1,0$  эВ. Найти частоту, циклическую частоту, длину волны, импульс и массу этого фотона.
10. На идеальное зеркало нормально падает пучок лазерного излучения, диаметр которого  $d = 0,5$  см. За время  $\tau = 0,13$  мс лазер излучает энергию  $W = 10$  Дж. Найти давление излучения на зеркало.
11. Интенсивность импульса излучения лазера  $I = 1,0 \cdot 10^{15}$  Вт/м<sup>2</sup>. Длина волны лазерного излучения  $\lambda = 694$  нм. Найти плотность потока фотонов (число фотонов, проходящих через единичную площадку в единичный промежуток вре-

мени) в импульсе. Какой амплитуде напряжённости электрического поля соответствует эта величина?

12. Найти максимальную скорость электрона, вылетающего из цезиевой пластинки при освещении её поверхности светом с длиной волны  $\lambda = 400$  нм, а также красную границу фотоэффекта. Работа выхода  $A = 1,89$  эВ.
13. Рентгеновский фотон с длиной волны  $\lambda = 0,10$  нм рассеивается на слабо связанном электроны под прямым углом. Найти изменение длины волны фотона и энергию электрона отдачи.
14. Найти работу выхода с поверхности некоторого металла, если при поочерёдном освещении его электромагнитным излучением с длинами волн  $\lambda_1 = 0,33$  мкм и  $\lambda_2 = 0,54$  мкм максимальные начальные скорости фотоэлектронов отличаются в  $k = 2$  раза.
15. Фотон рентгеновского излучения (длина волны  $\lambda = 0,020$  нм) в результате комптоновского рассеяния на электроны изменил направление своего распространения на угол  $\theta = 180^\circ$ . Найти энергию и импульс электрона отдачи.
16. Фотон с длиной волны  $\lambda = 0,020$  нм в эффекте Комптона рассеялся на угол  $\theta = 90^\circ$ . Найти угол между направлением первичного фотона и импульсом электрона отдачи.
17. Найти энергию и импульс фотона с длиной волны  $\lambda$ , равной: а) 555 нм (видимый свет); б) 0,1 нм (рентген); в) 0,001 нм (гамма-излучение). Сравнить эти величины с энергией и импульсом электрона, движущегося со скоростью  $v_e = 1 \cdot 10^3$  м/с.
18. Параллельный пучок света (длина волны  $\lambda = 662$  нм) падает под углом  $i = 60^\circ$  на плоское зеркало с коэффициентом отражения  $\rho = 0,90$ . Количество фотонов, ежесекундно поглощаемых  $1 \text{ см}^2$  поверхности зеркала,  $N = 1 \cdot 10^{22} \text{ с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ . Найти давление света на зеркало.
19. Плоская электромагнитная волна падает на преграду, расположенную под углом  $\alpha = 30^\circ$  к направлению распространения волны. Коэффициент отражения  $\rho = 0,9$ ; амплитуда напряжённости магнитного поля волны  $H_m = 3,0 \cdot 10^{-4}$  А/м. Найти давление волны на преграду.
20. При какой скорости электрона его импульс совпадает с импульсом фотона, длина волны которого  $\lambda = 0,001$  нм (гамма-излучение)?
21. Пучок электронов падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, за которой на расстоянии  $L = 75$  см расположен экран. Расстояние между щелями  $d = 25$  мкм. Расстояние между соседними максимумами на экране  $Y = 7,5$  мкм. Найти кинетическую энергию электронов.
22. При какой кинетической энергии электрона его дебройлевская длина волны равна комптоновской длине волны?
23. Электрон разогнан в электрическом поле с разностью потенциалов  $U = 100$  В. Найти длину волны де Бройля электрона.
24. Оценить неопределённость скорости электрона в атоме водорода, полагая размер атома  $r \sim 0,1$  нм. Сравнить полученную неопределённость со скоростью электрона на первой боровской орбите.

25. Возбуждённый атом испускает фотон в течение времени  $\tau = 0,01$  мкс. Длина волны излучения  $\lambda = 600$  нм. Найти, с какой точностью могут быть измерены энергия, длина волны и координата фотона.
26. С помощью соотношения неопределённостей оценить минимальную энергию электрона в одномерной потенциальной яме шириной  $l = 1 \text{ \AA}$ .
27. Найти длину волны де Бройля электрона, протона и шарика массы  $m = 1$  мг, движущихся с одинаковой скоростью  $v = 10^5$  м/с.
28. Вычислить длину волны де Бройля для  $\alpha$ -частицы, нейтрона и молекулы азота, движущихся с тепловой скоростью при температуре  $t = 25^\circ\text{C}$ .
29. Найти релятивистское выражение для длины волны де Бройля электрона, ускоренного в электрическом поле, если ускоряющее напряжение равно  $U$ .
30. Фотозффект происходит под действием света с длиной волны  $\lambda = 500$  нм. Анодное напряжение  $U = 5$  В. Работа выхода фотокатода  $A = 2$  эВ. Найти минимальную дебройлевскую длину волны электронов вблизи анода.

### Задание 3. Некоторые квантовомеханические системы. Тепловое излучение

1. Найти номер и радиус боровской орбиты атома водорода, на которой скорость электрона  $v = 734$  км/с.
2. Вычислить длину волны, частоту и циклическую частоту, соответствующую первой линии серии Бальмера иона гелия  $\text{He}^+$ .
3. Найти энергию ионизации иона лития  $\text{Li}^{++}$ .
4. Вычислить длину волны, частоту и циклическую частоту, соответствующую третьей линии серии Пашена атома водорода.
5. В спектре атома водорода имеется линия, длина волны которой  $\lambda = 441$  нм. К какой спектральной серии относится эта линия и каким главным квантовым числом характеризуются исходное и конечное состояния атома?
6. Вычислить модуль орбитального момента электрона в состоянии  $2d$ . Вычислить модуль собственного и полного моментов.
7. Перечислить значения квантовых чисел каждого электрона в основном состоянии атома натрия ( $Z = 11$ ).
8. Электрон, находящийся в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной  $l = 1 \text{ \AA}$ , перешёл из возбуждённого состояния с  $n = 3$  в основное. Найти длину волны и циклическую частоту излучённого при этом фотона.
9. Электрон с энергией  $W = 1$  эВ налетает на прямоугольный потенциальный барьер высотой  $U = 5$  эВ и шириной  $l = 2 \text{ \AA}$ . Найти вероятность отражения электрона от барьера и его прохождения сквозь барьер.
10. Некоторая частица находится в области пространства, где имеется прямоугольный потенциальный барьер. Ширина барьера  $l_1 = 5 \text{ \AA}$ , его прозрачность  $D_1 = 3 \cdot 10^{-5}$ . Найти прозрачность барьера той же высоты для той же частицы при ширине  $l_2 = 3 \text{ \AA}$ .

11. Имеется квантовый гармонический осциллятор в состоянии с  $n = 2$  и соответствующей циклической частотой  $\omega = 1 \cdot 10^{16} \text{ с}^{-1}$ . Найти нулевую энергию осциллятора и максимальную длину волны фотона, который может перевести этот осциллятор в другое состояние.
12. Расстояние между двумя соседними энергетическими уровнями гармонического осциллятора  $\Delta W = 2 \text{ эВ}$ . Найти нулевую энергию осциллятора и соответствующую циклическую частоту.
13. Длина волны лазерного излучения  $\lambda = 830 \text{ нм}$ . Спектральная плотность излучения на этой длине волны  $u = 4,0 \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot \text{м}^{-3}$ . Какой температуре чёрного тела соответствует излучение этого лазера?
14. Найти энергию, которую излучает за 1 с красная звезда Антарес ( $\alpha$  Скорпиона). Максимум спектральной испускательной способности звезды соответствует длине волны  $\lambda = 880 \text{ нм}$ . Радиус Антареса равен 530 радиусам Солнца. Считать звезду абсолютно чёрным телом.
15. Доказать с помощью формулы Планка, что максимальная спектральная плотность энергии равновесного теплового излучения пропорциональна кубу абсолютной температуры.
16. Звезда  $\eta$  Ориона имеет температуру  $T = 2,3 \cdot 10^4 \text{ К}$ . Найти цвет звезды. Считать звезду чёрным телом.
17. Звезда Арктур ( $\alpha$  Волопаса) имеет температуру  $T = 4000 \text{ К}$ . Радиус звезды равен 26 радиусам Солнца. Найти энергию, излучаемую звездой в единичный промежуток времени.
18. Звезда Сириус А ( $\alpha$  Большого Пса А) по светимости (энергии, излучаемой в единицу времени) в 61 раз превосходит Солнце, а по радиусу – в 2,4 раза. Найти, во сколько раз Сириус горячее Солнца. Считать звёзды чёрными телами.
19. Вычислить солнечную постоянную – полную мощность излучения, которая падает на площадку единичной площади, помещённую вне атмосферы Земли на среднем расстоянии Земли от Солнца ( $r = 149 \text{ млн. км}$ ). Считать Солнце чёрным телом.
20. Вселенная заполнена равновесным тепловым излучением, называемым реликтовым излучением. Температура этого излучения  $T = 3 \text{ К}$ . Оценить давление реликтового излучения.
21. Найти температуру Сириуса В ( $\alpha$  Большого Пса В). Радиус Сириуса В составляет  $2,6 \cdot 10^{-2}$  радиуса Солнца, а энергия, которую он излучает в единицу времени, –  $2,6 \cdot 10^{-3}$  энергии, излучаемой Солнцем. Считать звезды чёрными телами.
22. Чему равна интегральная излучательная способность чёрного тела, максимум спектральной излучательной способности которого приходится на длину волны  $\lambda_m = 1000 \text{ нм}$ ?
23. Используя формулу Планка, показать, что максимум спектральной излучательной способности чёрного тела  $r_{\lambda, T}$  изменяется пропорционально пятой степени абсолютной температуры.
24. Охлаждение чёрного тела происходит только за счет излучения. Максимум спектральной излучательной способности тела сместился с фиолетовой гра-

ницы спектра ( $\lambda_1 = 400$  нм) до её красной границы ( $\lambda_2 = 780$  нм). Найти, на сколько градусов тело остыло.

25. Муфельная печь потребляет мощность  $P = 0,5$  кВт. Температура её внутренней поверхности (при открытом отверстии диаметром  $d = 5$  см)  $t = 700^\circ\text{C}$ . Какая часть потребляемой мощности рассеивается стенками? Принять, что отверстие излучает как чёрное тело.
26. Максимум спектральной излучательной способности Солнца соответствует длине волны  $\lambda_m = 500$  нм. Принимая Солнце за чёрное тело, найти: 1) температуру поверхности Солнца, 2) интегральную излучательную способность Солнца, 3) поток энергии, излучаемый Солнцем в единичный промежуток времени. Радиус Солнца  $R_\odot = 6,95 \cdot 10^8$  м.
27. Найти, на сколько уменьшится масса Солнца за год вследствие излучения. Температуру поверхности Солнца принять равной  $T = 5800$  К. Радиус Солнца  $R_\odot = 6,95 \cdot 10^8$  м.
28. Вследствие охлаждения чёрного тела максимум его спектральной излучательной способности сместился с  $\lambda_1 = 0,8$  мкм на  $\lambda_2 = 1,2$  мкм. Во сколько раз изменилась при этом интегральная излучательная способность и максимальная спектральная излучательная способность?
29. В замкнутом изолированном объёме находится идеальный газ при температуре  $T = 300$  К. При какой концентрации молекул газа объёмная плотность кинетической энергии поступательного движения молекул равна объёмной плотности энергии излучения чёрного тела? Чему равно при этом давление газа?
30. Во сколько раз изменилось бы общее количество энергии, излучаемой Солнцем, если бы температура половины поверхности Солнца увеличилась на  $\Delta T = 100$  К, а температура второй половины на столько же уменьшилась? Температуру поверхности Солнца принять равной  $T = 6 \cdot 10^3$  К.