

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**



***Сборник задач
ПО КУРСУ «ФИЗИКА»***

ОПТИКА

ТАШКЕНТ – 2010

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНО
Методической комиссией ЕОИП
Пр. № от «___» _____ 2010г.

***Сборник задач
ПО КУРСУ «ФИЗИКА»***

ОПТИКА

ТАШКЕНТ – 2010

Задачник предназначен для студентов бакалавров очной и заочной формы обучения. Прежде чем решать задачи, необходимо ознакомиться с «Введением». Перед каждым разделом имеется сводка основных формул и примеры решения типичных задач. Раздел «Введение» и часть задач составлены с использованием материалов из «Сборника задач по общему курсу физики В.С. Волькенштейн, 1995 изд. «Наука», Москва.

Составители: доц. Мирсоатов Р.М
доц. Закиров К.К
доц. Бурханов Ш.Д

Выходные данные:

Формат А5
Объем

№ заказа
печ.лист. 0,5

тираж 100
2006 М.У. ТАДИ.

ВВЕДЕНИЕ

Решение задач рекомендуется проводить по следующей схеме:

1. Внимательно прочитать условие задачи.
2. Выписать все уравнения относящиеся к условию задачи из справки, помещенной перед каждым параграфом.
3. Посмотреть и проанализировать решение типичных задач, данных перед каждым параграфом.
4. В формулах округлить все известные и данные в задаче параметры физических величин.
5. Произвести алгебраические преобразования с целью нахождения неизвестных параметров.
6. Подставить цифровые значения в системе СИ.
7. Проанализировать ответ на размерность и разумность полученного результата.

Оптика

Световые единицы

В данной таблице приведены основные и некоторые производные единицы предназначенные для световых измерений в Международной системе единиц.

Величина и ее обозначение	Уравнение для определения единицы	Единица измерения	Сокращение обозначение единица	Размерность
Основные единицы				
Длина l	-	Метр	М	L
Время t	-	Секунда	Сек	T
Сила света i	-	Свеча	Св	I
Производные единицы				
Световой поток	$d\phi = Id\omega$	Люмен	Лм	I
Световая энергия	$dW = \Phi dt$	Люмен-секунда	Лм-сек	TI
Светность (светимость)	$R = d\Phi/dS$	Люмен-на кв.метр	Лм/м ²	L ⁻² I
Яркость	$B = dI/\cos Y \cdot dS$	Нит/свечана	н m	L ⁻² I
Освещенность	$E = d\Phi/dS$	Нит/свечана	лк	L ⁻² I
Количество освещения	$dH_0 = Edt$	кв.метр Люкс	лк-сек	L ⁻² TI
		Люкс-секунда		

Геометрическая оптика и фотометрия

Для сферического зеркала оптическая сила D определяется формулой:

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{2}{R} = \frac{1}{F} = D$$

где a_1 и a_2 – расстояния предмета и изображения от зеркала, R – радиус кривизны зеркала и F – его фокусное расстояние. Расстояния, отсчитываемые от зеркала по лучу, считаются положительными, а против луча – отрицательными. Если F выражено в метрах, то D выразится в диоптриях.

При переходе луча из одной среды в другую имеет место закон преломления света

$$\frac{\sin i}{\sin r} = n = \frac{v_1}{v_2},$$

где i – угол падения, r – угол преломления, n – показатель преломления второй среды относительно первой, v_1 и v_2 – скорости распространения света в первой и во второй средах. Для тонкой линзы, помещенной в однородную среду, оптическая сила D определяется формулой

$$-\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) = \frac{1}{F} = D,$$

где a_1 и a_2 – расстояния предмета и изображения от линзы, n – относительный показатель преломления материала линзы, R_1 и R_2 – радиусы кривизны линзы. Правило знаков для линз такое же, как и для зеркал. Оптическая сила двух тонких линз, сложенных вместе равна

$$D = D_1 + D_2$$

Где D_1 и D_2 оптические силы линз.

Поперечное увеличение в зеркалах и линзах определяется формулой

$$K = \frac{y^1}{y} = \frac{a_2}{a_1},$$

где y – высота предмета и y^1 – высота изображения.

Увеличение, даваемое лупой,

$$K = \frac{L}{F}$$

где L – расстояние наилучшего зрения (25 см) и F – главное фокусное расстояние лупы.

Увеличение, даваемое микроскопом,

$$K = LdD_1D_2$$

Где L – расстояние наилучшего зрения, d – расстояние между фокусами объектива и окуляра, D_1 и D_2 – оптические силы объектива и окуляра.

Световой поток Φ определяется энергией, переносимой световыми волнами через данную площадку в единицу времени,

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad [\text{люмен}]$$

Сила света I численно равна величине светового потока, приходящегося на единицу телесного угла:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad [\text{свеча}]$$

Освещенность E характеризуется величиной светового потока, приходящегося на единицу площади:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \text{ [люкс]}$$

точечный источник силой света I создаёт на площадке, отстоящего от него на расстоянии r^2 , освещенность

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2} \text{ [люкс]}$$

где α – Угол падения лучей.

Светимость R численно равна световому потоку, испускаемому единицей площади светящегося тела:

$$R = \frac{d\Phi}{dS} \text{ [люмен/м}^2\text{]}$$

Если светимость тела обусловлена его освещенностью то $R = \rho E$, где ρ – коэффициент рассеяния (отражения).

Яркостью B светящейся поверхности называется величина, численно равная отношению силы света с элемента изучающей поверхности к площади проекции этого элемента на плоскость, перпендикулярную направлению наблюдения (т.е. к видимой поверхности элемента):

$$B = \frac{dI}{dS \cos \theta}, \text{ [Нит]}$$

где θ - угол между нормалью к элементу поверхности и направлением наблюдения.

Если тело излучает по закону Ламберта, т.е. если яркость не зависит от направления, то светимость R и яркость B связаны соотношением:

$$R = \pi B$$

Примеры решения задач.

Задача №1

Спираль электрической лампочки силой света в 1000 св заключена в матовую сферическую колбу диаметром 20 см.

Найти: 1) световой поток, излучаемый этим источником света, 2) светимость и яркость этого источника света, 3) освещенность, светимость и яркость экрана, на который падает 10% светового потока, излучаемого этим источником света. Коэффициент отражения света поверхностью экрана $\rho=0,8$. Площадь экрана равна $0,25 \text{ м}^2$. Считать, что поверхность экрана рассеивает свет по закону Ламберта.

Решение.

- 1) Световой поток Φ , излучаемый во все стороны источником света, связан с силой света I этого источника соотношением

$$\Phi = 4\pi I$$

У нас $I=10^3$ св, следовательно, $\Phi=1,26 \cdot 10^4$ лм.

- 2) Светимость источника света

$$R = \frac{\Phi}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2},$$

где r – радиус сферической колбы. Подставляя числовые данные, найдем

$$R = \frac{1000}{(0,1)^2} = 10^5 \text{ лм} / \text{м}^2$$

Яркость источника света

$$B = \frac{I}{\Delta S},$$

где ΔS^1 – видимая площадка святающейся поверхности. У нас $\Delta S^1 = \pi r^2$, где r – радиус колбы, тогда

$$B = \frac{I}{\pi r^2} = \frac{1000}{\pi(0.1)^2} = 3.18 \cdot 10^4 \text{ нт}$$

3) По условию на экран падает световой поток $\Phi_1=0,1$ $\Phi=1,26 \cdot 10^3$ Лм. Тогда освещенность экрана

$$E = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{1.26 \cdot 10^3}{0.25} \text{ лм/м}^2 = 5 \cdot 10^3 \text{ лк}$$

Светимость экрана

$$R = \rho \frac{\Phi_1}{S_1} = \rho E = 0,8 \cdot 5 \cdot 10^3 \text{ лм} / \text{м}^2 = 4 \cdot 10^3 \text{ лм} / \text{м}^2$$

Яркость экрана

$$B = \frac{R}{\pi} = 1.3 \cdot 10^3 \text{ нт}$$

Задача № 2

Абсолютно черное тело поддерживается при постоянной температуре в 1000°K . Поверхность тела равна 250 см^2 . Найти мощность излучения этого тела.

Решение

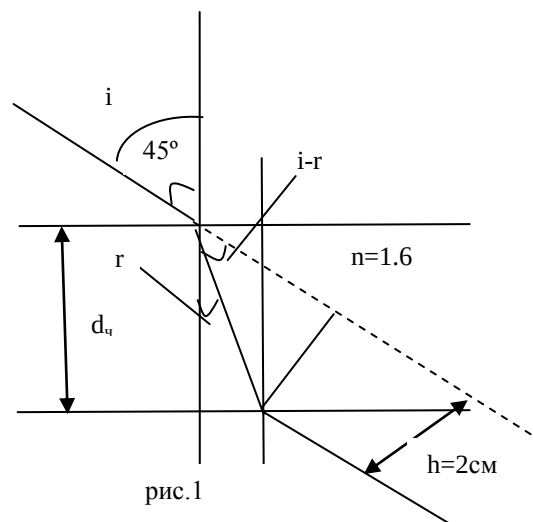
По закону Стефана-Больцмана энергетическая светимость, т.е. энергия, излучаемая в /с единицей поверхности абсолютно твердого тела, равна

$$R_3 = \sigma T^4$$

А вся излучаемая энергия

$$W = S R_3 = S \sigma T^4$$

Где S - поверхность абсолютно твердого



тела

t- время излучения

σ -постоянная Стефана-Больцмана

T- температура

Мощность излучения:

$$P = W/t = S\sigma T^4$$

У нас $S = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}^4$ и $T = 1000 \text{ К}$

Подставляя эти данные, получим

$$P = 1,42 \cdot 10^{-3} \text{ Вт} = 1,42 \text{ кВт.}$$

Задача №3

Луч света падает на плоскопараллельную стеклянную пластину ($n=1.6$) под углом $i=45^\circ$. Определить толщину пластинки, если вышедший из пластинки луч смещён относительно продолжения падающего луча на расстоянии $h=2 \text{ см}$.

Решение

Вышедший из пластинки луч будет параллелен падающему (рис.1). Из рисунка следует, что $d/\cos r = h/\sin(i-r)$

Откуда:

$$d = \frac{h \cos r}{\sin(i-r)} = \frac{h \cos r}{\sin i \cos r - \cos i \sin r} \quad (1)$$

Согласно закону преломления, $\sin i/\sin r = n$, откуда $\sin r = \sin i/n$. Подставив это значение в формулу выразив косинус угла через синус, найдем искомую толщину пластинки:

$$d = \frac{h \sqrt{n^2 - \sin^2 i}}{\sin i (\sqrt{n^2 - \sin^2 i} - \sqrt{1 - \sin^2 i})}$$

Вычислим, получим $d=5,58 \text{ см}$

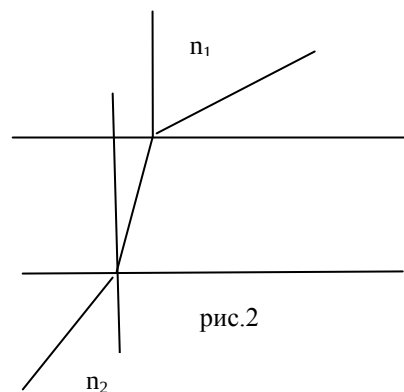
Задачи

Задача №1

На горизонтальном дне бассейна глубиной $h=1.5 \text{ м}$ лежит плоское зеркало. Луч света входит в воду под углом $i_1=45^\circ$. Определить расстояние s от места вхождения луча в воду до места выхода его на поверхность воды после отражения от зеркала. Показатель преломления воды $n=1,33$

Задача №2

Между двумя стеклянными пластинками с показателями преломления n_1 и n_2 находится тонкий слой жидкости (рис.2). Луч света, распространяющийся в первой пластинке под углом i_1 (меньше предельного), выходя из слоя жидкости, входит во вторую пластинку под углом i_2 . Доказать, что в данном



случае выполняется закон преломления $\sin i_1 / \sin i_2 = n_2 / n_1$ независимо от присутствия слоя жидкости между пластинками.

Задача №3

На плоскопараллельную стеклянную ($n=1,5$) пластинку толщиной $d=5\text{ см}$ падает под углом $i=30^\circ$ луч света. Определить величину бокового смещения луча, прошедшего сквозь эту пластинку.

Задача №4

Предельный угол полного отражения на границе стекло – жидкость $i_{\text{пр}}=65^\circ$. Определить показатель преломления жидкости, если показатель преломления стекла $n=1,5$.

Задача №5

Луч падает под углом 40° на стеклянную пластинку с параллельными гранями в точку А (рис.3). После преломления он достигает точки В. Здесь он частично преломляется и частично отражается в направлении ВС. В точке С он вновь от части отражается, от части преломляется. Найти длину пути луча ABC в стекле.

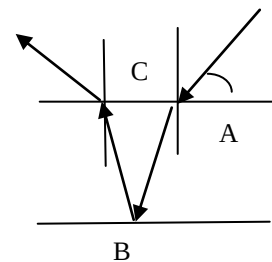


рис.3

Толщина пластинки $0,5\text{ см}$. $n=1,6$

Задача №6

Предельный угол полного отражения для некоторого вещества оказался равным 30° . Найти показатель преломления этого вещества.

Задача №7

Луч падает под углом 50° на боковую грань треугольной призмы, в основании которой лежит правильный треугольник. Показать ход лучей в призме и вычислить угол преломления луча при выходе его из призмы. Показатель преломления вещества призмы $n=1,5$.

Задача №8

Луч света выходит из скипидара в воздух. Предельный угол полного внутреннего отражения для этого луча $42^\circ 23'$. Чему равна скорость распространения света в скипидаре?

Задача №9

На дно сосуда, наполненного водой до высоты 10 см помещен точечный источник света. На поверхности воды плавает круглая непрозрачная пластина таким образом, что её центр находится над источником света. Какой наименьший радиус должен иметь эта пластинка, чтобы ни один луч не мог выйти через поверхность воды?

Задача №10

Монохроматический луч падает нормально на боковую поверхность призмы, преломляющий угол которой равен 40° . Показатель преломления материала призмы для этого луча $1,5$. Найти отклонение луча по выходе из призмы от первоначального направления.

Задача №11

Пучок света скользит вдоль боковой грани равнобедренной призмы. При каком предельном преломляющем угле призмы преломленные лучи претерпят полное внутренне отражение на второй боковой грани. Показатель преломления материала призмы для этих лучей равен $1,6$.

Задача №12

Луч белого света падает на боковую поверхность равнобедренной призмы над таким углом, что красный луч выходит из нее перпендикулярно ко второй грани. Найти отклонения красного и фиолетового лучей от первоначального направления, если преломляющий угол призмы равен 45° . Показатели преломления материала призмы для красного и фиолетового лучей соответственно $1,37$ и $1,42$.

Задача №13

Выпуклое сферическое зеркало имеет радиус кривизны 60 см. На расстоянии 10 см от зеркала поставлен предмет высотой 2 см. Определить: 1) положение изображения; 2) высоту изображения. Построить чертеж.

Задача №14

Выгнутое сферическое зеркало дает действительное изображение, которое в 3 раза больше предмета. Определить фокусное расстояние зеркала, если расстояние между предметом и изображением равно 20 см.

Задача №15

На всю поверхность собирающей линзы, имеющий диаметр D и фокусное расстояние F , направлен пучок лучей, направленных параллельно главной оптической оси. На каком расстоянии L от линзы надо поставить экран, чтобы на нем получился светлый круг диаметром d ?

Задача №16

Экран находится на расстоянии l от горящей свечи. Помещая между свечой экраном линзы, можно получить резкое изображение свечи на экране при двух положениях линз, удаленных друг от друга на расстоянии a . Показать, что для нахождения главного фокусного расстояния линзы, в этом случае можно пользоваться формулой

$$F = \frac{l^2 - a^2}{4l}$$

Задача №17

Человек, идущий по шоссе увидел в защитном стекле встречного автомобиля солнце. Под каким углом горизонта наклонено стекло если высота солнца над горизонтом 18° , а падающий глаз человека отраженный луч направленный горизонтально ? Солнце, автомобиль и человек расположены в вертикальной плоскости.

Задача №18

Двояковыпуклая тонкая линза (показатель преломления n) с радиусами кривизны R_1 R_2 находится в однородной среде с показателем преломления n_1 . Вывести формулу этой линзы используя принцип Ферма.

Задача №19

Определить расстояние a от двояковыпуклой линзы до предмета, при котором расстояние от предмета до действительного изображения будет минимальным.

Задача №20

Выпуклая сферическая зеркало имеет радиус кривизны 60 см. На расстоянии 20 см от зеркала поставлен предмет высотой 2 см Найти положение и высоту изображения. Дать чертеж.

Задача №21

Величина изображения предмета в вогнутом сферическом зеркале вдвое больше, чем величина самого предмета. Расстояние между предметом и изображением 15 см. Определить: 1) Фокусное расстояние 2) оптическую силу зеркала.

Задача №22

Где будет находится и какой величины будет изображение солнца, получаемой в сферическом рефлекторе, радиус кривизны который равен 16 м ?

Задача №23

Если на сферическое зеркало подает широкий пучок света (ширина пучка определяется углом α рис. 4), то луч, идущий параллельно оптической оси и падающий на край зеркала по-

сле отражения от него пересечет оптическую ось уже не в фокусе, а на некотором расстоянии AF от фокуса.

Расстояние AF называется продольной сферической aberrацией, расстояние FH – поперечной сферической aberrацией вывести формулу, связывающую величину этих aberrаций с величиной α и радиусом сферического зеркала.

Задача №24

Найти продольную хроматическую aberrацию двояковыпуклой линзы из флинтгласа с одинаковыми радиусами кривизны $|R_1|=|R_2|=8$ см. Показатели преломления флинтгласа для красного ($\lambda_1=7,6 \times 10^{-5}$ см) и фиолетового ($\lambda_2=4,3 \times 10^{-5}$ см) лучей равны соответственно 1,5 и 1,8.

Задача №25

На расстоянии 40 см перед линзой предыдущей задачи на оптической оси находится светящаяся точка. Найти положение изображения этой точки, если она испускает монохроматический свет с длиной волны: 1) $\lambda_1=7,6 \cdot 10^{-5}$ см и 2) $\lambda_2=4,3 \cdot 10^{-5}$ см

Задача №26

Радиусы кривизны поверхностей двояковыпуклой линзы равны $R_1=R_2=50$ см. показатель преломления материала линзы равен $n=1,5$. Найти оптическую силу линзы.

Задача №27

Двояковыпуклая линза, ограниченная сферическими поверхностями одинакового радиуса кривизны в 12 см, поставлена на такое расстояние от предмета, что изображение на экране получилось в k раз больше предмета. Определить расстояние от предмета до экрана, если: 1) $k=1$; 2) $k=20$; 3) $k=0,2$. Показатель преломления материала линзы 1,5.

Задача №28

Линза предыдущей задачи погружена в воду. Найти фокусное расстояние.

Задача №29

Решить предыдущую задачу при условии, что линза погружена в сероуглерод.

Задача №30

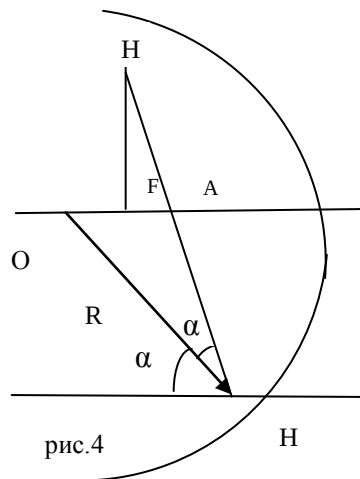
На какую высоту над чертежной доской необходимо повесить лампочку мощностью $P=300$ Вт, чтобы освещенность под лампочкой была равна $E=60$ лк. Наклон доски составляет 30° , а световая отдача лампочки равна 15 лм/Вт. Принять, что полный световой поток, испускаемый изотропным точечным источником света, $\Phi_0=4\pi I$

Задача №31

Отверстие в корпусе фонаря закрыто идеальным матовым стеклом (т.е. яркость источника не зависит от направления) размером $7,5 \times 10$ см. Сила света I фонаря в направлении, составляющим угол $\varphi=30^\circ$, равна 12 кд. Определить яркость B стекла.

Задача №32

На лист белой бумаги размером 10×25 см нормально к поверхности падает световой поток $\Phi=50$ лм. Принимая коэффициент рассеяния бумажного листа $R=0,7$, определить для него: 1) освещенность; 2) светимость; 3) яркость.



Задача №33

Над полом расположены две лампы по 100 кд (рис 5) найти освещенность в точке С, если $|S_1 A| = 2\text{м}$, $|S_2 B| = 1\text{м}$, $|AB| = 3\text{м}$, $|CB| = 1\text{м}$.

Задача №34

Лампа 50 кд висит над серединой стола на высоте 1,2 м. Размеры стола 1х2. В каких точках стола освещенность наибольшая, в каких – наименьшая ? Определить освещенность в этих точках.

Задача №35

Найти освещенность на поверхности Земли, выдаваемую нормально падающим солнечными лучами. Яркость Солнца равна $1,2 \cdot 10^9$ нт.

Задача №36

Спираль электрической лампочки с силой света 100 св заключена в матовую сферическую колбу диаметром: 1) 5 см 2) 10 см. Найти светимость и яркость лампы в обоих случаях. Потерей света в оболочки колбы пренебречь

Задача №37

Лампа, в которой светящимся телом служит накаливаемый шарик диаметром 3 мм, дает силу света в 85 св. Найти яркость этой лампы; если сферическая колба этой лампочки сделана: 1) из прозрачного стекла, 2) из матового стекла. Диаметр колбы равен 6 см.

Задача №38

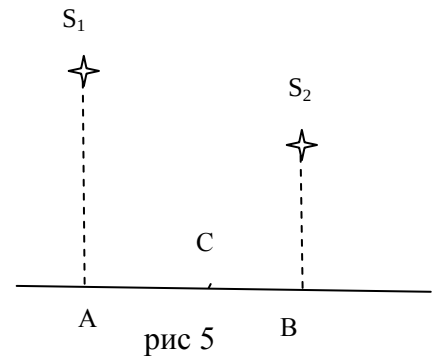
Электрическая лампочка в 100 св посылает во все стороны ежеминутно 122 дж световой энергии. Найти: 1) механический эквивалент света, 2) КПД световой отдачи, если лампа потребляет мощность 100 вт

Задача №39

Светильник в виде равномерно светящегося шара радиусом $R=10$ см имеет силу света $I=100$ кд. Определить для этого светильника: 1) полный световой поток Φ_0 ; 2) светимость R .

Задача №40

Доказать, что в том случае, когда яркость источника не зависит от направления, светимость R и яркость B . Связаны соотношением $R=\pi B$.

**Волновая оптика**

По принципу Доплера, частота ν света, воспринимаемая регистрирующим прибором, связана с частотой ν , посылаемой источником света, соотношением

$$\nu^1 = \nu \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

Где v' – скорость регистрирующего прибора относительно источника, c – скорость распространения света. Положительное значение v соответствует удалению источника света. При $v \ll c$ предыдущую формулу можно представить в следующем виде:

$$v' \cong v \frac{1}{1 + \frac{v}{c}}$$

Расстояние между интерференционными полосами на экране, расположенном параллельно двум когерентным источникам света, равно

$$\Delta y = \frac{L}{d} \lambda$$

Где λ – длина волны света, L – расстояние от экрана до источников света, отстоящих друг от друга на расстоянии d ; при этом $L \ll d$.

Результат интерференции света в плоскопараллельных пластинках (в проходящем свете) определяется формулами:

Усиление света

$$2hn \cos r = 2k \frac{\lambda}{2} \quad (k=0.1.2....),$$

Ослабление света

$$2hn \cos r = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \quad (k=0.1.2....),$$

Где h – толщина пластинки, n – показатель преломления, r – угол преломления, λ – длина волны света.

В отраженном свете условия усиления и ослабления света обратным условиям в проходящем свете.

Радиусы светлых колец Ньютона (в проходящем свете) определяются формулой

$$r = \sqrt{kR\lambda} \quad (k=1,2,...),$$

Радиусы темных колец

$$r = \sqrt{(2k-1)R \frac{\lambda}{2}} \quad (k=1,2,...),$$

Где R – радиус кривизны линзы.

В отраженном свете расположение цветных и темных колец обратное их расположению в проходящем свете.

Положение минимумов освещенности при дифракции от щели, на которую нормально падает пучок параллельных лучей, определяется условием:

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

Где a – ширина щели, φ – угол дифракции и λ – длина волны падающего света.

В дифракционной решетке максимумы света наблюдаются в направлениях, составляющих с нормалью к решетке угол λ , удовлетворяющий следующему соотношению (при условии, что свет падает на решетку нормально):

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

Где d – постоянная решетки, φ – угол дифракции, λ – длина волны и k – порядок спектра.

Постоянная, или период, решетки $d=1/N_0$, где N_0 – число щелей решетки, приходящегося на единицу длины решетки.

Разрешающая способность дифракционной решетки определяется формулой:

$$\frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$$

Где N – общее число щелей решетки, k – порядок спектра, λ и $\lambda + \Delta\lambda$ – длина волны двух близких спектральных линий, еще разрешаемых решеткой.

Угловой дисперсией дифракционной решетки называется величина

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

Линейной дисперсией дифракционной решетки называется величина, численно равная

$$D_1 = FD,$$

Где F – фокусное расстояние линзы, проектирующей спектр на экран.

При отражении естественного света от диэлектрического зеркала имеют место формулы Френеля:

$$I = 0.5I_0 \left[\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)} \right]^2$$

$$I_{11} = 0.5I_0 \left[\frac{\operatorname{tg}(i-r)}{\operatorname{tg}(i+r)} \right]^2$$

Где I_1 – интенсивность световых колебаний в отраженном луче совершающихся в направлении, перпендикулярном к плоскости падения света; I_{11} – интенсивность световых колебаний в отраженном луче, совершающихся в направлении параллельном плоскости падения света; I_0 – интенсивность падающего естественного света, i – угол падения, r – угол преломления.

Если $i+r=90^\circ$, $I_{11}=0$. В этом случае угол падения i и показатель преломления n диэлектрического зеркала связаны соотношением $\operatorname{tg} i = n$ (закон Брюстера).

Интенсивность света, прошедшего через поляризатор и анализатор, равна (закон Малюса)

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

Где φ – угол между главными плоскостями поляризатора и анализатора, I_0 – интенсивность света, прошедшего через поляризатор.

Примеры решения задач.

Задача №1

Пучок естественного света падает на стекло с показателем преломления $n=1.73$. Определить, при каком угле преломления отраженный от стекла пучок света будет полностью поляризован.

Решение

Свет, отраженный от диэлектрика; полностью поляризован, если он падает на диэлектрик под углом Брюстера (рис. 6).

Согласно закону Брюстера, $\operatorname{tg} i = n_{21}$,

Где n_{21} – относительный показатель преломления второй среды (стекла) относительно первой (воздуха): $n_{21} = n_2 / n_1 = n$ (т.к. $n_1 = 1$). Тогда

$$I_B = \arctg n = 60^\circ$$

если свет падает на границу раздела под углом Брюстера, лучи взаимно перпендикулярны ($\operatorname{tg} I_B = \sin I_B / \cos I_B$; $n_{21} = \sin I_B / \sin r$, откуда $\cos I_B = \sin r$). Следовательно, $I_B + r = \pi/2$; на $I_B = I_B$ (закон отражения), поэтому $I_B + r = \pi/2$. Тогда искомый луч преломления, при котором отраженный луч полностью поляризован, $r = 90^\circ - I_B = 30^\circ$

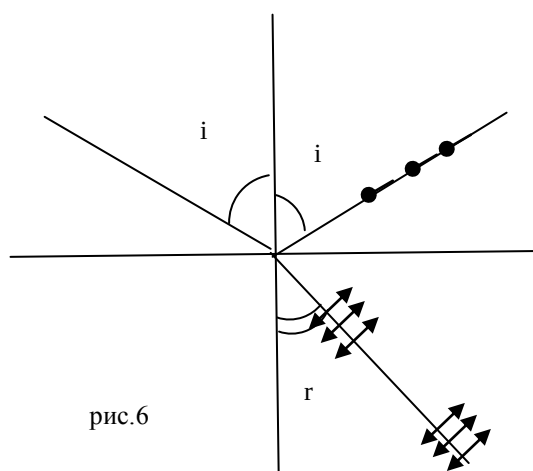


рис.6

Задача №2.

На дифракционную решетку нормально к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 550$ нм. На экран, находящийся от решетки на расстоянии $L = 1$ м, с помощью линзы, расположенной вблизи решетки, проецируется дифракционная картина, причем первый главный максимум наблюдается на расстоянии $l = 12$ см от центрального. Определить: 1) период дифракционной решетки; 2) число штрихов на 1 см. ее длины; 3) общее число максимумов, даваемых решеткой; 4) угол дифракции, соответствующий последнему максимуму.

Решение:

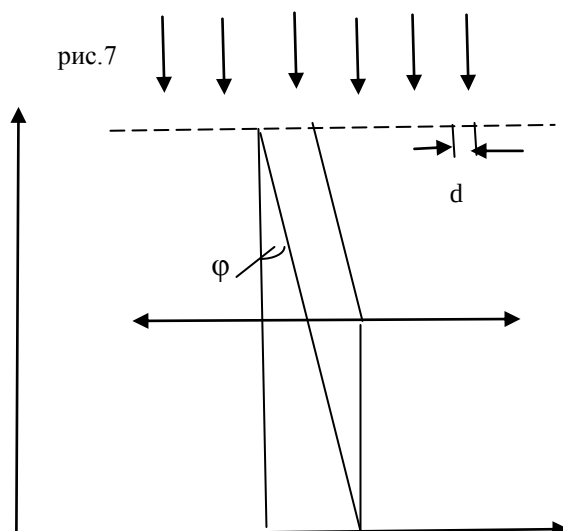


рис.7

Период дифракционной решетки найдем из условия главного максимума

$$D \sin \varphi = m \lambda$$

Где m – порядок спектра (по условию задачи $m=1$). Из рис. 7 следует, что $\operatorname{tg} \varphi = l/L$. Так как $l \ll L$, то $\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi$. Тогда выражение (1) можно записать в виде $dl/L = m\lambda$, откуда $d = m\lambda L/l$. Число штрихов на $l^1 = 1$ см.

$$n = \frac{l'}{d}$$

Поскольку наибольший угол отклонения лучей решетки не может быть более $\pi/2$, из условия (1) можно найти максимальное значение

$$m_{\max} \leq d/\lambda$$

(приняли $\sin \varphi_{\max} = 1$). Естественно, что число m должно быть целым. Общее число максимумов, даваемых дифракционной решеткой:

$$N = 2m_{\max} + 1$$

так как максимумы наблюдаются и справа и слева от центрального максимума (единица учитывает центральный максимум).

Угол дифракции, соответствующий последнему максимуму, найдем, записав условие (1) в виде $d \sin \varphi_{\max} = m_{\max} \lambda$

Откуда $\varphi_{\max} = \arcsin \frac{m_{\max} \lambda}{d}$

Вычисляя, получим: 1) $d = 4,58 \text{ мкм}$; 2) $n = 2,18 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$; 3) $N = 17$; 4) $\gamma_{\max} = 73,9^\circ$.

Задача №3.

При фотографировании спектра Солнца было найдено, что желтая спектральная линия ($\lambda = 5890 \text{ Å}$) в спектрах, полученных от левого и правого краев Солнца, была смещена на $0,08 \text{ Å}$. Определить линейную скорость вращения солнечного диска.

Решение.

При фотографировании одного края солнечного диска (источник света движется к нам)

$$\nu^1 = \frac{\nu c}{c - \nu} \quad (1)$$

При фотографировании другого края солнечного диска (источник света движется от нас).

$$\nu^{11} = \frac{\nu c}{c + \nu} \quad (2)$$

Учитывая, что $\nu = \frac{c}{\lambda}$, из (1) и (2) находим $\Delta \lambda = \frac{2\nu \lambda}{c}$. Отсюда $\nu = \frac{c \Delta \lambda}{2\lambda} = 2 \cdot 10^3 \text{ м/с}$.

Задачи.

Задача №1.

Степень поляризации частично поляризованного света составляет $0,75$. Определить отношение максимальной интенсивности света, пропускаемого анализатором, к минимальной.

Задача №2.

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

Задача №3.

Угол между главными плоскостями поляризатора и аккумулятора составляет 30° . Определить изменение интенсивности прошедшего через них света, если угол между главными плоскостями увеличить до 45° .

Задача №4.

Определить во сколько раз ослабится интенсивность света, прошедшего через два николя, расположенные так, что угол между их главными плоскостями $= 60^\circ$, а в каждом из николей теряется 8% интенсивности падающего на него света.

Задача №5.

Естественный свет проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых равен α . Поляризатор и анализатор как поглощают, так и отражают 10% падающего на них света. Определить угол α , если интенсивность света, вышедшего из анализатора равна 12%, интенсивности света, падающего на поляризатор.

Задача №6.

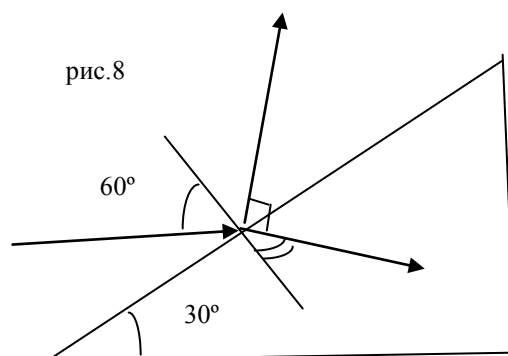
Естественный свет интенсивностью I_0 проходит через поляризатор и анализатор, угол между главными плоскостями которых составляет α . После прохождения света через эту систему он падает на зеркало и, отразившись, проходит вновь через нее. Пренебрегая поглощением света, определить интенсивность I света после его обратного прохождения.

Задача №7.

Пучок естественного света падает рис.8 на стеклянную призму с углом $\alpha = 30^\circ$. Определить показатель преломления стекла, если отраженный луч является плоско поляризованным.

Задача №8.

Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме $\lambda = 530 \text{ нм}$, падает на пластинку из кварца перпендикулярно его оптической оси. Определить показатели преломления кварца для обыкновенного (n_0) и необыкновенного (n_e) лучей, если длины волн этих лучей в кристалле соответственно равны $\lambda_o = 344 \text{ нм}$ и $\lambda_e = 341 \text{ нм}$.



Задача №9.

Плоскополяризованный свет, длина волны которого в вакууме $\lambda = 589 \text{ нм}$, падает на пластинку исландского шпата перпендикулярно его оптической оси. Принимая показатели преломления исландского шпата для обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно $n_0 = 1,66$ и $n_e = 1,49$, определить длины волн этих лучей в кристалле.

Задача №10.

Свет, проходя через жидкость, налитую в стеклянный сосуд ($n = 1,5$), отражается от дна, причем отраженный свет плоскополяризован при падении его на дно сосуда под углом 41° . Определить 1) показатель преломления жидкости; 2) угол падения света на дно сосуда, чтобы наблюдалось полное отражение.

Задача №11.

Дифракция наблюдается на расстоянии 1 м от точечного источника монохроматического света ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$). Посередине между источниками света и экраном находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр дифракционных колец на экране является наиболее темным.

Задача №12.

На экран с круглым отверстием радиусом $r = 1,5 \text{ мм}$ нормально падает параллельный пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,5 \text{ мкм}$. Точка наблюдения находится на оси отверстия на расстоянии $v = 1,5 \text{ м}$ от него. Определить: 1) число зон Френеля, укладыва-

ющихся в отверстии; 2) темное или светлое кольцо наблюдается в центре дифракционной картины, если в месте наблюдения помещен экран.

Задача №13.

На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Его направление на четвертую темную дифракционную полосу составляет $20^{\circ}12'$. Определить, сколько длин волн укладывается на ширине щели.

Задача №14.

На дифракционную решетку длиной $l=1,5$ мм, содержащей $N=3000$ штрихов, падает нормально монохроматический свет с длиной волны $\lambda=550$ нм. Определить: 1) число максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решетки; 2) угол, соответствующий последнему максимуму.

Задача №15.

Определить число штрихов на 1 мм дифракционной решетки, если углу $\varphi=30^{\circ}$ соответствует максимум четвертого порядка для монохроматического света с длиной волны $\lambda=0,5$ мкм.

Задача №16.

На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет с длиной волны $0,5$ мкм. На экран, находящийся от решетки на расстоянии $L=1$ м. С помощью линзы расположенной вблизи решетки, проецируется дифракционная картина, причем первый главный максимум наблюдается на расстоянии $l=15$ см от центрального. Определить число штрихов на 1 см, дифракционной решетки.

Задача №17.

Монохроматический свет нормально падает на дифракционную решетку. Определить угол дифракции, соответствующий максимуму четвертого порядка, если максимум третьего порядка отклонен на $\varphi_1=18^{\circ}$.

Задача №18.

На дифракционную решетку нормально падает монохроматический свет. В спектре, полученном с помощью этой дифракционной решетки, некоторая спектральная линия наблюдается в первом порядке под углом $\varphi=11^{\circ}$. Определить наивысший порядок спектра, в котором может наблюдаться эта линия.

Задача №19.

Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку, имеющую 300 штрихов на 1 мм, если угол между направлениями на максимумы первого и второго порядков составляет 12° .

Задача №20.

На дифракционную решетку с постоянной $d=5$ мкм под углом $\varphi=30^{\circ}$ падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda=0,5$ мкм. Определить угол φ дифракции для главного максимума третьего порядка.

Задача №21.

Определить постоянную дифракционной решетки, если она в первом порядке разрешает две спектральные линии калия ($\lambda_1=578$ нм и $\lambda_2=580$ нм). Длина решетки $l=1$ см.

Задача №22.

Постоянная d дифракционной решетки длиной $l=2,5$ см равна 5 мкм. Определить разность длин волн, разрешаемую этой решеткой, для света с длиной волны $\lambda=0,5$ мкм в спектре второго порядка.

Задача №23.

В опыте Юнга на пути одного из интерферирующих лучей помещалась тонкая стеклянная пластинка, вследствие чего центральная светлая полоса смещалась в положение, пер-

воначально занятой пятой светлой полосой (не считая центральной). Луч падает на пластинку перпендикулярно. Показатель преломления пластинки 1,5. Длина волны $6 \cdot 10^{-7}$ м. Какова толщина пластинки?

Задача №24.

В опыте Юнга стеклянная пластинка толщиной в 2 см размещается на пути одного из интерферирующих лучей перпендикулярно лучу. Насколько могут отличаться друг от друга значения показателя преломления в различных местах пластинки, чтобы изменение разности хода от этой неоднородности не превышало 1 мкм?

Элементы теории относительности

Длина L' тела, движущегося со скоростью v относительно некоторой системы отсчета, связано с длиной L_0 тела, неподвижного в этой системе, соотношением.

$$L' = L_0 \sqrt{1 - \beta^2},$$

Где $\beta = \frac{v}{c}$; c – скорость распространения света.

Промежуток времени $\Delta t'$ в системе, движущийся со скоростью V по отношению к наблюдателю, связан с промежутком времени Δt_0 в неподвижной для наблюдателя системе соотношением

$$\Delta t' = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Зависимость массы m от скорости его движения дается уравнением

$$M = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \text{ где } m_0 - \text{масса (покоя) этого тела.}$$

Зависимость кинетической энергии тела от скорости дается уравнением

$$W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right)$$

Изменение массы системы на величину Δm соответствует изменению энергии системы на величину

$$\Delta W = c^2 \Delta m$$

Примеры решения задач.

Задача №1.

При какой относительной скорости движения сокращение длины движущегося тела составляет 25%.

Решение:

Имеем $l' = l_0 \sqrt{1 - \beta^2}$ (1)

По условию задачи $\frac{l_0 - l'}{l_0} = 1 - \frac{l'}{l_0} = 0.25$

Отсюда $\frac{l'}{l_0} = 0.75$ или $l' = 0.75 l_0$

Подставляя (2) в (1), получим $\sqrt{1 - \beta^2} = 0.75$ или $1 - \beta^2 = (0.75)^2 = 0.5625$, $\beta^2 = 0.4375$

Таким образом, $\beta = \frac{V}{C} = \sqrt{0.4375} = 0.6615$

Окончательно $V = \beta C = 0.662 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/сек} = 198000 \text{ км/сек}$,

Задача №2

Найти скорость мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.

Решение

Полная энергия мезона складывается из кинетической энергии мезона W_1 и из собственной энергии мезона W_2 (энергии покоя)

При этом

$$W_1 = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$W_2 = m_0 c^2 \quad (2)$$

Тогда полная энергия

$$W = W_1 + W_2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

По условию $\frac{W}{W_2} = 10$

то есть $\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} = 10$

Отсюда $\beta = \frac{V}{C} = 0.995$ и $V = 2.985 \cdot 10^8 \text{ м/сек}$

Задачи.

Задача №1

Во сколько раз увеличивается продолжительность существования в не подвижной системе отсчета нестабильной частицы, если она движется со скоростью 0,99с

Задача №2

Космическая частица движется со скоростью 0,95с. Какой промежуток времени соответствует одной микросекунде «собственного времени» частицы?

Задача №3

Сколько времени для жителя Земли и для космонавтов займет космического путешествия до звезды и обратно на ракете, летящей со скоростью 0,99с? Расстояние до звезды равно 40 световым годам.

Задача №4

В верхних слоях атмосферы рождается нестабильная частица, движущаяся со скоростью $0,98c$. До распада оно успевает пролететь 400 м . Каково время жизни частицы в системах отсчета неподвижной и связанной с движущимся телом?

Задача №5

Какова длина метрового стержня, движущегося со скоростью $0.6c$?

Задача №6

При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25% ?

Задача №7

Отношение сторон прямоугольника равно $2:1$. С какой скоростью (в долях скорости света) и в каком направлении должен двигаться прямоугольник, чтобы «неподвижному» наблюдателю он казался квадратом?

Задача №8

По одной прямой движутся две частицы с одинаковыми скоростями, равными $0.75c$. Промежуток времени между ударами частиц в мишень равен 1 нс . Каково расстояние между частицами в полете в неподвижной и движущейся системах отсчета?

Задача №9

Плоский конденсатор, между обкладками которого напряженность электрического поля в системе отсчета, связанной с движущимся телом, равна E собственное, движется со скоростью V . Найти напряженность поля E лаб. в неподвижной системе отсчета для случаев: а) напряженность поля параллельна направлению движения. б) напряженность поля перпендикулярна направлению движения.

Задача №10

Две ракеты движутся с одинаковыми (по модулю) скоростями по очень близко расположенным параллельным курсам. Первая ракета приближается к наблюдателю, а вторая удаляется. В момент встречи (считать в одной точке) на них вспыхнули лампочки. Какую вспышку наблюдатель увидит раньше?

Задача №11

Элементарная частица нейтрино движется со скоростью света c . Наблюдатель движется навстречу нейтрино со скоростью V . Какова скорость нейтрино в системе отсчета, связанной с наблюдателем?

Задача №12

Две нейтральные частицы, расстояние между которыми $L=10\text{ м}$, летят на встречу друг другу со скоростями $V=0,6c$. Через сколько времени произойдет соударение?

Задача №13.

На ракете, летящей со скоростью $0,9c$, установлен ускоритель, сообщаящий частицам скорость $0,8c$ относительно ракеты (по направлению её движения). Найти скорость частицы в системе отсчета, связанной с неподвижными звездами. Решить задачу для случая, когда частицы движутся в противоположную сторону.

Задача №14.

С космического корабля, движущегося к Земле со скоростью $0,4c$, посылают два сигнала: световой сигнал и пучок быстрых частиц, имеющих скорость относительно корабля $0,8c$. В момент пуска сигналов корабль находился на расстоянии 12 Гм от Земли. Какой из сигналов по земным часам будет принят на земле раньше? Насколько раньше?

Задача №15.

Из середины вагона длиной $2L$, движущегося со скорости V по отношению к неподвижной системе отсчета, пущены одновременно два световых сигнала: один по направлению движения самолета, а другой в противоположную сторону. Найти время t_1 прохождения сигнала до передней стенки вагона и время t_2 прохождения сигнала до задней стенки вагона

в системе отсчета “вагон” а также соответствующие промежутки времени T_1 и T_2 в каждой системе отсчета.

Задача №16

Какую скорость должно иметь движущее тело, чтобы его продольные размеры уменьшились в два раза?

Задача №17

Мезоны космических лучей достигающих поверхности Земли с самыми разнообразными скоростями. Найти релятивистское сокращение размеров мезона, имеющего скорость, равную 95% скорости света.

Задача №18

Во сколько раз увеличивается продолжительность существования нестабильной частицы (по часам неподвижного наблюдателя), если она начинает двигаться со скоростью, составляющей 99% скорости света?

Задача №19

Мезон, входящий в состав космических лучей, движется со скоростью, составляющей 95% скорости света. Какой промежуток времени по часам земного наблюдателя соответствует одной секунде “ собственного времени” мезона?

Задача №20

На сколько увеличится масса α .-частицы при ускорении её начальной скорости, равной нулю, до скорости, равной 0,9 скорости света?

Задача №21

Найти отношение заряда электрона к его массе для следующих скоростей: 1) $V \ll C$; 2) $2 \cdot 10^{10}$ см/с; 3) $2,2 \cdot 10^{10}$ см/с; 4) $2,4 \cdot 10^{10}$ см/с; 5) $2,6 \cdot 10^{10}$ см/с; 6) $2,8 \cdot 10^{10}$ см/с. Составить таблицу и начертить графики зависимости m и c/m от отношения V/C для указанных скоростей

Задача №22

При какой скорости масса движущегося электрона в двое больше его массы покоя?

Задача №23

До какой энергии можно ускорить частицы в циклотроне, если относительное увеличение массы частицы не должно превышать 5% 1) электронов, 2) протонов, 3) дейтронов

Задача №24

Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его скорость составила 95% скорости света

Задача №25

Какую ускоряющую разность потенциалов должен пройти протон, чтобы его продольные размеры стали меньше в два раза?

Задача №26

Какую долю скорости света должна составлять скорость частицы, чтобы её кинетическая энергия была равна её энергии покоя?

Задача №27

Синхрофазатрон даёт пучок протонов с кинетической энергии 10 ГэВ. Какую долю скорости света составляет скорость протонов в этом пучке?

Задача №28

Чему равно релятивистское сокращение размеров протона в условиях предыдущей задачи?

Задача №29

Электроны, вылетающие из циклотрона, обладают кинетической энергией 0,67 МэВ.

Какую долю скорости света составляет скорость этих электронов?

Задача №30

Составить для электронов и протонов таблицу зависимости их кинетической энергии W_k от скорости (в долях скорости света). Таблицу составить для следующих значений β : 1) 0,1, 2) 0,5, 3) 0,6, 4) 0,7, 5) 0,8, 6) 0,9, 7) 0,95, 8) 0,999

Задача №31

Масса движущегося электрона в двое больше его массы покоя. Найти кинетическую энергию электрона.

Задача №32

Какому изменению массы соответствует изменение энергии на 1 Дж?

Задача №33

Найти изменение энергии, соответствующие изменению массы на 1 а.е.м.

Задача №34

Найти изменения энергии, соответствующие изменению массы на величину массы покоя электрона.

Задача №35

Найти потерю массы, происходящую преобразованием 1 кмоль воды, если реакция образования воды такова: $2H_2 + O_2 = 2H_2O + 5,75 \cdot 10^5 \text{ кДж}$

Задача №36

При делении ядра урана ${}_{92}U^{235}$ освобождается энергия 200 МэВ. Найти изменение массы при делении одного киломоля урана.

Задача №37

Солнце излучает ежеминутно энергию $6,5 \cdot 10^{21} \text{ кВт} \cdot \text{час}$. Считая излучение солнца постоянным, подсчитать за какое время масса солнца уменьшится в два раза.

Тепловое излучение

Энергетическая светимость (излучательность) абсолютно чёрного тела, т.е. энергия, излучаемая в 1 сек. Единицей поверхности абсолютно черного тела, определяется формулой Стефана – Больцмана.

$$R_{\Sigma} = \sigma T^4$$

Где Т-температура в Кельвинах и σ – постоянная Стефана –Больцмана, равная $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ (Вт/ м}^2 \cdot \text{К}^4 \text{)}$. Если излучаемое тело не является абсолютно черным, то $R'_{\Sigma} = K \sigma T^4$

Где коэффициент К всегда меньше единицы. Энергетическая светимость R_{Σ} связана со спектральной плотностью энергетической светимости абсолютно черного тела r_{λ} соотношением

$$R_{\Sigma} = \int_0^{\infty} r_{\lambda} d\lambda$$

По закону смещения Вина произведение абсолютной температуры абсолютно черного тела на длину волны, при которой спектральная плотность энергетической светимости этого тела максимальна, равна постоянной величине т.е. $\lambda_m T = C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ мК}$

Максимальная спектральная плотность энергетической светимости абсолютно черного тела возрастает пропорционально пятой степени абсолютной температуры (второй закон Вина).

$$(r_{\lambda})_{\max} = C_2 T^5$$

$$C_2 = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/ м}^3 \cdot \text{К}^5$$

Примеры решений задач.

Задача №1

Определите количество теплоты, теряемой 50 см^2 . поверхностью расплавленной платины за 1 мин, если поглщаательная способность платины $A_r = 0,8$. Температура плавления равна 1770 C

Решение

Количество теплоты, теряемое платиной, равна энергии, излучаемой её раскаленной поверхностью.

$$Q = W = A_r R_{\Sigma} S t \quad (1)$$

Где R_{Σ} – энергетическая светимость черного тела; S- поверхность излучения; t- время. Согласно закону Стефана - Больцмана

$$R_{\Sigma} = \sigma T^4 \quad (2)$$

Где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт(м}^2 \cdot \text{К}^4 \text{)}$ –постоянная Стефана – Больцмана. Подставив (2) в (1) найдем искомое количество теплоты, теряемое раскаленной платиной:

$$Q = A_r \sigma T^4 S t$$

$$\text{Вычисляя, получим } Q = 237 \text{ кДж.}$$

Задача №2

Натрий освещается монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 40 \text{ нм}$. Определить наименьшее задерживающие напряжения, при котором фототок прекратится. Красная граница фотоэффекта для натрия $\lambda_0 = 584 \text{ нм}$.

Решение

Задерживающее напряжение можно определить из выражения

$$eU_0 = mv^2_{\max}/2 \quad (1)$$

($e=1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряда электрона), кинетическую энергию электрона из уравнения Эйнштейна

$$h\nu = hc/\lambda = A + mv^2_{\max}/2 \quad (2)$$

(учли, что энергия фотона, вызывающего фотоэффект,

$E = hc/\lambda < 5 \text{ кэВ}$), где работа выхода

$$A = h\nu_0 = hc/\lambda_0 \quad (3)$$

Подставив (3) в (2) получим

$$\frac{mv^2_{\max}}{2} = hc \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0} \right) = \dots \quad (4)$$

Подставим (4) в (1), найдем искомое задерживающее напряжение:

$$U_0 = \frac{hc(\lambda - \lambda_0)}{e\lambda\lambda_0}$$

Вычисляя получим $U_0 = 28,9 \text{ В}$

Задачи

Задача №1

Определить, во сколько раз необходимо уменьшить термодинамическую температуру черного тела, чтобы его энергетическая светимость R_e ослабилась в 16 раз.

Задача №2

Температура внутренней поверхности муфельной печи при открытом отверстии площадью 30 см² равна 1,3 кК. Принимая, что отверстия печи излучает как черное тело, определить какая часть рассеивается стенками, если потребляемая печью мощность составляет 1,5 кВт

Задача №3

Найти температуру печи, если известно, что из отверстия в ней размером 6,1 см² излучается в 1 сек 8,28 кал. Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

Задача №4

Энергетическая светимость черного тела $R_c = 10 \text{ кВт/м}^2$. Определить длину волны, соответствующую максимуму спектральной плотности энергетической светимости этого тела.

Задача №5

Определить, как и во сколько раз изменится мощность излучения черного тела, если длина волны, соответствующая максимуму его спектральной плотности энергетической светимости, сместилась с $\lambda_1 = 720 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 400 \text{ нм}$

Задача №6

Черное тело нагрели от температуры $T_1 = 600 \text{ К}$ до $T_2 = 2400 \text{ К}$. Определить:

1. Во сколько раз увеличилась его энергетическая светимость
2. Как изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности энергетической светимости.

Задача №7

Площадь ограничена графиком спектральной плотности энергетической светимости R_λ черного тела, при переходе от термодинамической температуры T_1 к T_2 увеличилась в

5 раз. Определить, как изменится при этом длина волны $\lambda_{\max}$, соответствующая максимуму энергетической светимости черного тела.

Задача №8

Определить, какая длина волны соответствует максимальной спектральной плотности энергетической светимости ($r_{\lambda} T$) $\lambda_{\max}$, равной $1,3 \cdot 10^{11} \text{ (Вт/м}^2 \text{)}/\text{К}$.

Задача №9

Считая никель черным телом, определить мощность, необходимую для поддержания температуры расплавленного никеля 1453°C неизменной, если площадь его поверхности равна $0,5 \text{ см}^2$. Потерями энергии пренебречь.

Задача №10

Принимая солнце за черное тело, и учитывая, что его максимальной спектральной плотности энергетической светимости соответствует длина волны $\lambda=500 \text{ нм}$, определить:

1. Температуру поверхности солнца;
2. Энергию, излучаемую солнцем в виде электромагнитных волн за 10 мин;
3. Массу, теряемую солнцем за это время, за счет излучения.

Задача №11

Считая, что тепловые потери обусловлены только излучением, определить, какую мощность необходимо подводить к свинцовому шарiku диаметром $d=2 \text{ см}$. Чтобы при температуре окружающей среды $t_0 = -13^\circ\text{C}$ поддерживать его температуру равной $t=17^\circ\text{C}$. Принять поглощательную способность меди $A_t=0,6$

Задача №12

Пользуясь формулой Планка $r_{\nu T} = \frac{2\pi\nu^2 h \nu}{c^2 l^{h\nu/RT_\nu}}$ вывести из нее закон Стефана –Больцмана.

Задача №13

Используя формулу Планка, определить спектральную плотность потока излучения единицы поверхности черного тела, приходящегося на узкий интервал длинны волн $\Delta \lambda=5 \text{ нм}$ около максимума спектральной плотности энергетической светимости, если температура черного тела $T=2500 \text{ К}$.

Задача №14

Для вольфрамовой нити при температуре $T=3500 \text{ К}$ поглощательная способность $A_t=0,35$. Определить радиационную температуру нити.

Задача №15

Какое количество энергии излучает один квадратный сантиметр затвердевающего свинца в 1 сек? Отношение энергетических светимостей поверхности свинца и абсолютно черного тела для этой температуры считать равной 0,6.

Задача №16

Мощность излучения абсолютно черного тела равна 34 кВт . Найти температуру этого тела, если известно, что поверхность его равна $0,6 \text{ м}^2$.

Задача №17

Зная величину солнечной постоянной для Земли (см задачу 18), найти величину солнечной постоянной для Марса.

Задача №18

Найти величину солнечной постоянной, т.е. количество лучистой энергии, посылаемой солнцем, ежеминутно через площадку в 1 см^2 , перпендикулярную к солнечным лучам и находящуюся на таком же расстоянии от него, что и Земля. Температуру поверхности Солнца принять равной 5800°K . Излучение солнца считать близким к излучению абсолютно черного тела.

Задача №19

Найти какое количество энергии с 1 см^2 поверхности в 1 сек излучает абсолютно черное тело, если известно, что максимальная спектральная плотность его энергетической светимости приходится на длину волны в $4840 \text{ \AA}$.

Задача №20

Мощность излучения абсолютно черного тела равна 10 кВт . Найти величину излучающей поверхность тела, если известно, что длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности его энергетической светимости, равна $7 \cdot 10^{-5} \text{ см}$.

Задача №21

На какую длину волны приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела, имеющего температуру равную температуре человеческого тела, т.е. $t = 37^\circ \text{ C}$.

Задача №22

При нагревании абсолютно черного тела длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости, изменилась от $0,69$ до $0,5 \text{ мкм}$. Во сколько раз увеличилась при этом энергетическая светимость тела?

Задача №23

Дана кривая распределения спектральной плотности энергетической светимости абсолютно черного тела при некоторой температуре. К какой температуре относится эта кривая? Найти какой процент изучаемой энергии приходится на долю видимого спектра при этой температуре.

Задача №24

Поверхность тела нагрета до температуры 1000° K . Затем одна половина этой поверхности нагревается на 100° , другая охлаждается на 100° . Во сколько раз изменится энергетическая светимость поверхности этого тела?

Задача №25

Какую мощность надо подводить к зачерненному металлическому шарiku радиусом 2 см , чтобы поддерживать его температуру на 27° выше температуры окружающей среды? Температура окружающей среды равна 20° C . Считать, что тепло теряется только в следствии излучения.

Задача №26

Зачерненный шарик остывает от температуры 27° C до 20° C . На сколько изменилась длина волны, соответствующая максимуму спектральной плотности его энергетической светимости?

Задача №27

1. Найти, на сколько уменьшилась масса солнца за год следствии излучения.
2. Считая излучения солнца постоянным, найти за какое время масса солнца уменьшится в двое.

Температура поверхности солнца принять равной 5800° K .

Задача №28

Определить силу тока, протекающего по Вольфрамовой проволоки диаметром $d = 0,8 \text{ мм}$, температура которой в вакууме поддерживается постоянной и равной $t = 2800^\circ \text{ C}$. Поверхность проволоки принять в качестве серой с поглощательной способностью $A_t = 0,343$. Удельное сопротивление проволоки при данной температуре $\rho = 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Температура окружающей проволоку среды $t_0 = 17^\circ \text{ C}$.

Задача №29

Преобразовать формулу Пионка для спектральной плотности энергетической светимости черного тела от переменной ν к переменной λ .

Задача №30 Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, если фототок прекращается при приложении задерживающего напряжения $U_0 = 3,7\text{В}$.

Задача №31

«Красная граница» фотоэффекта для некоторого металла равна 500нм . Определить минимальное значение энергии фотона, вызывающего фотоэффект.

Задача №32

Определить работу выхода электронов из Вольфрама, если «красная граница» фотоэффекта для него $\lambda_0 = 275\text{нм}$.

Задача №33

Калий освещается монохроматическим светом с длиной волны 400нм . Определить наименьшее задерживающее напряжение, при котором фототок прекратится. Работа выхода электронов из калия равна $2,2\text{эВ}$.

Задача №34

«Красная граница» фотоэффекта для некоторого металла равна 500нм . Определить:

1. Работу выхода электронов из этого металла;
2. Максимальную скорость электронов, вырываемых из этого металла светом с длиной волны 400нм .

Задача №35

Задерживающее напряжение для платиновой пластинки (работа выхода $6,3\text{эВ}$) составляет $3,7\text{В}$. При тех же условиях для другой пластинки задерживающее напряжение равно $5,3\text{В}$. Определить работу выхода электронов из этой пластинки.

Задача №36

При освещении вакуумного фотоэлемента монохроматическим светом с длиной волны $\lambda_1 = 0,4\text{мкм}$ он заряжается до разности потенциалов $\phi_1 = 2\text{В}$. Определить, до какой разности потенциалов зарядится фотоэлемент при освещении его монохроматическим светом с длиной волны $\lambda_2 = 0,3\text{мкм}$.

Задача №37

Выбиваемые светом при фотоэффекте электроны при облучении фото катода видимым светом полностью задерживаются обратным напряжением $U_0 = 1,2\text{В}$. Специальные измерения показали, что длина волны падающего света $\lambda = 400\text{нм}$. Определить «красную границу» фотоэффекта.

Задача №38

Фотоэлектроны, вырывающиеся с поверхности металла, полностью задерживаются при приложении обратного напряжения $U_0 = 3\text{В}$. Фотоэффект для этого металла начинается при частоте падающего монохроматического света $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14}\text{с}^{-1}$. Определить:

1. Работу выхода электронов из этого металла;
2. Частоту применяемого облучения.

Задача №39

Отклонение энергетической светимости R^e т серого тела к энергетической светимости R_e черного тела равно A_t . Вывести связь m/ν истиной и радиационной температурами.

Задача №40

Определить температуру тела, при которой оно при температуре окружающей среды $t_0 = 23^\circ\text{C}$ излучало энергии в 10 раз больше, чем поглощало.

§ Геометрическая оптика и фотометрия

19. $a=2f$
20. 1) минимал на расст 7,5 см от полюса зеркала 2) 1,5 см
21. $F=-0,6$ м a_2
22. $a_2=R/r$; $y=7,5$ см
23. $y = (\frac{1}{\cos \alpha} - 1)tg 2\alpha$
24. $F_{кр} - F_{\phi}=3$ см
25. 1) 10 см 2) 5,7 см
26. $D=2$ диоптрии
27. 1) 0,48 см 2) 0,65 см
28. $F=0,47$ м
29. $F= -0.75$ м линза рассеивающая
30. 2,27 м
31. 1,85 к кд/м²
32. 1) 2 клк; 2) 1,4 клм/м² 3) 446 кд/м²
33. 600 нм
34. –
35. $E=8 \cdot 10^4$ лк
36. 1) $R_1=1,6 \cdot 10^5$ мм/м² $B_1=5,1 \cdot 10^4$ нт 2) $R_2=4 \cdot 10^4$ мм/м² $B_2=1,27 \cdot 10^4$ нт
37. 1) $1,2 \cdot 10^7$ нт 2) $3 \cdot 10^4$ нт
38. 1) $1,61 \cdot 10^{-3}$ т/мм 2) $=2\%$
39. 1) 1,26 клм 2) 10 клм/м²
40. –

§2 Волновая оптика

1. $I_{\max} / I_{\min}=7$
2. 60°
3. уменьш в 1,5 раза
4. 19,45 раза
5. $56^\circ 47'$
6. $I=1/2 I_0 \cos^4 \alpha$
7. 1.73
8. $n_0=1.54$ $n_t=1.55$
9. $\lambda_0=355$ нм $\lambda_e 395$ нм

10. 1) 1,73 2) $60^{07'}$
11. $\lambda=0,5$ км
12. 1)3 2) светлое
13. [104]
14. 1)18 2) $81^{0094'}$
15. 250 мм^{-1}
16. $3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$
17. $24^{021'}$
18. [5]
19. [644 нм]
20. $53^{08'}$
21. [34,6 мкм]
22. 50 пм
23. $h=6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
24. $\Delta n \leq 5 \cdot 10^{-5}$
25. $y_1=1.88 \text{ мм}$ $y_2=3,6 \text{ мм}$ $y_3=5,4 \text{ мм}$
26. в 1,3 раза
27. $U=25008$
28. –
29. $h=0,13 \text{ мкм}$
30. $\lambda=5890 \text{ А}$
31. $\Gamma_{II}=2,8 \text{ мл}$ $z_3=3,1 \text{ нмм}$
32. 3,6 мм
33. $n=1.33$
34. $k=5$ $k+1=5$ $\lambda=5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
35. $\lambda=6,44 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
36. $h=1.00038$
37. $\lambda=4.8 \cdot 10^{-7}$
38. 1) 5 зон 2) светлым
39. $\Gamma_1=0,5 \text{ мм}$ $\Gamma_2=0,7 \text{ мм}$ $\Gamma_3=0,86 \text{ мм}$ $\Gamma_4=1,0 \text{ мм}$ $\Gamma_5=1,12 \text{ мм}$
40. $\Gamma_1=0,7 \text{ мм}$ $\Gamma_2=1,0 \text{ мм}$ $\Gamma_3=1,23 \text{ мм}$ $\Gamma_4=1,42 \text{ мм}$ $\Gamma_5=1,59 \text{ мм}$

§3. Элементы теории относительности

1. в 7,1 раза
2. 3,2 мкс
3. 80,8 года 11,4 года
4. 1,4 мкс; 0,28 мкс
5. 0,8 м
6. 200Мм/с
7. 0,86 с вдоль длинной стороны
8. 22,5 см; 34см
9. а) $E=E_{\text{собств}}$ $E = \frac{E_{\text{соб}}}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$
10. Одновременно
11. С

12. $T=t/1.2 \text{ с}=28\text{нс}$
13. 0,99с; 0,36 с
14. световой на 4 с раньше
15. л/с
16. $v=2,6\cdot 10^3 \text{ м/сек}$
17. 68,8%
18. 87,1 раза
19. $\Delta\tau=3,2 \text{ сек}$
20. На $8,6\cdot 10^{-27} \text{ кс}$
21. –
22. $v=2,6\cdot 10^8 \text{ м/сек}$
23. 1) $W=2,56\cdot 10^{-2} \text{ МэВ}$ 2) $W_{\text{к}}=47 \text{ МэВ}$ 3) $W_{\text{к}}=24 \text{ МэВ}$
24. $U=1,1\cdot 10^6 \text{ В}$
25. $U=510 \text{ кВ}$
26. $P=86,6\%$
27. $P=99,6\%$
28. 91,5%
29. $\beta=0,9$
30. –
31. $W_{\text{к}}=8,2\cdot 10^{-14} \text{ Дж}$
32. $m=4,6\cdot 10^{-17} \text{ кл}$
33. $\Delta W=931 \text{ МэВ}$
34. $\Delta W=8,2\cdot 10^{-14} \text{ Дж}=0,51 \text{ МэВ}$
35. $\Delta m=3,2\cdot 10^{-9} \text{ кг/моль}$
36. $\Delta m=0,217 \text{ кг/кмоль}$
37. $B=0,7\cdot 10^{12} \text{ лет}$

§4. Тепловое излучение.

1. В 2 раза
2. 0,676
3. –
4. 4,47 мкм
5. увеличится в 10,5 раза
6. в 256 раз уменьшится на 3,62 мкм
7. уменьшится в 1,49 раза
8. 1,83 мкм
9. 25,2 Вт
10. 5,8 кК $2,34\cdot 10^{29} \text{ Дж}$ $2,6\cdot 10^{12} \text{ кг}$
11. 0,107 Вт
12. –
13. $\epsilon_{\lambda,T} \Delta\lambda=6,26 \text{ кВт/м}^2$
14. 2,69 кК
15. $W=0,46 \text{ Дж}$

16. $T=1000^0 \text{ К}$
17. $W_0=0.85 \text{ кал/мин}\cdot\text{см}^2$
18. $W_0=1,37\cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2=8,21 \text{ Дж/мин}\cdot\text{см}^2=1,96\text{кал/мин}\cdot\text{см}^2$
19. $W=7,35\cdot 10^3 \text{ Дж}$
20. $S=6 \text{ см}^2$
21. $\lambda=9,3 \text{ мкм}$
22. в 3,6 раза
23. $T=2400^0\text{К}$
24. Увеличится в 1,06 раза
25. 0,84 Вт
26. на 0,2 мкм
27. 1) $\Delta m= \Delta W/c^2=1.4\cdot 10^{17} \text{ кг}$ 2) $\tau=7\cdot 10^{12} \text{ лет}$
28. 48,8 А
29. –
30. 1,14 Мм/с
31. 2,48 эВ
32. 4,52эВ
33. 0,91 В
34. 1) 2,48 эВ 2) 468 км/с
35. 4,7 эВ
36. 3,04 В
37. 652 нм
38. 1) 2,48 эВ 2) $1,32\cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$
39. $T=T_0/\sqrt{A_T}$
40. 533 К

СОДЕРЖАНИЕ

Оптика

Световые единицы	стр 5
§1 Геометрическая оптика и фотометрия	стр 6
§2 Волновая оптика	стр 14
§3 Элементы теории относительности	стр 21
§4 Тепловое излучение	стр 26