

ПРЕДИСЛОВИЕ

Общепринятые требования к оформлению задач:

- после записи номера задачи полностью переписывается ее условие;
- вводятся обозначения («Дано:», «Найти:»);
- выполняется пояснительный рисунок, на котором должны быть отмечены **все** объекты, упоминаемые в условии и в решении задачи (в редких случаях рисунок не требуется);
- все используемые в решении задачи законы и формулы приводятся полностью, расчетные формулы подробно выводятся, после каждой математической выкладки должно быть дано исчерпывающее пояснение;
- задача решается в общем виде, т.е. выводится конечная расчетная формула, в которую входят только известные величины (промежуточные вычисления допускаются только в том случае, когда решение задачи громоздко);
- по расчетным формулам проверяются размерности искомых величин;
- расчёты выполняются с той точностью, с которой заданы исходные данные (обычно две – три значащих цифры);
- записывается полный ответ на все вопросы задачи.

Предлагаемое пособие может также применяться в качестве заданий для индивидуальных домашних контрольных работ. В этом случае преподавателем задаётся правило выбора варианта, например: из каждого раздела студент выбирает две задачи, номер первой задачи равен порядковому номеру студента в журнале группы, номер второй задачи – на десять больше, т.е. студент под номером 5 выбирает задачи 5 и 15 из каждого раздела. Задачи решаются и сдаются на проверку по мере изучения материала, либо в сроки, указанные преподавателем. Выполнение домашних контрольных работ входит в обязательный учебный график по физике.

При составлении данного пособия авторы использовали сборники задач по физике [1–3].

Для изучения теоретического материала студентам предлагается пользоваться учебниками по физике [4–6].

Значения фундаментальных констант, необходимые для решения задач, представлены в Приложении 1.

Пример оформления решения задачи

При освещении плосковыпуклой линзы, лежащей на стеклянной пластинке, желтой линией натрия ($\lambda = 589$ нм) в проходящем свете наблюдаются кольца Ньютона. Найти радиус линзы, если расстояние между 5-м и 6-м светлым кольцом равно 2 мм.

Дано:

$$\lambda = 589 \text{ нм} = 5,89 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

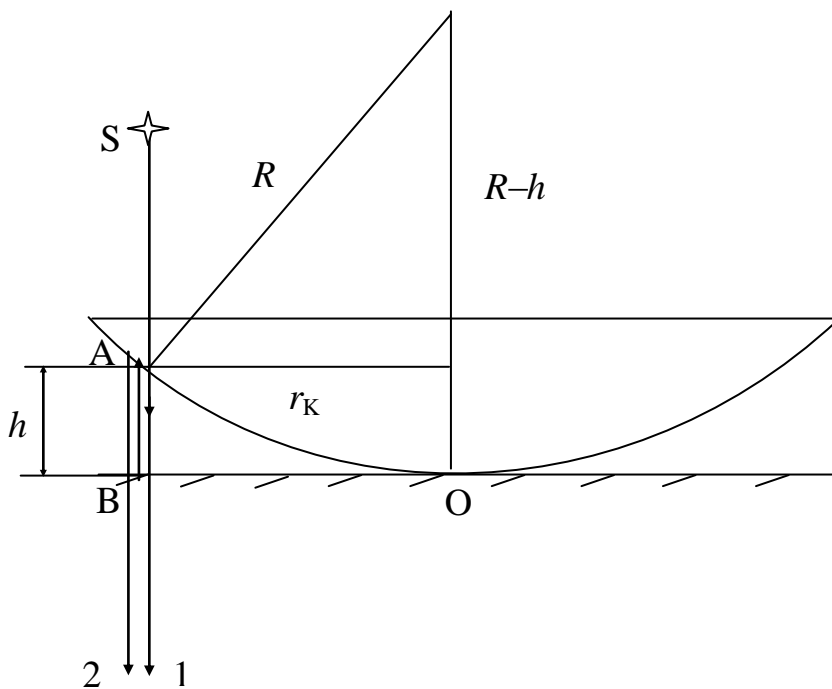
$$l = r_6 - r_5 = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$R = ?$

Решение:

Рассмотрим механизм образования k -го светлого кольца в проходящем свете (рис. 1). От элемента источника света S луч падает нормально на линзу и на границе раздела двух сред в точке B делится на два луча. Один луч проходит сквозь пластину в том же направлении. Второй луч в точке

B отражается от пластины, возвращается назад и, отражаясь от линзы в точке A , также проходит сквозь пластину. Лучи 1 и 2 – когерентны, поэтому при наложении могут интерферировать. Для светлых колец выполняется условие максимума, т.е. оптическая разность хода лучей 1 и 2 $\Delta = k \lambda$.



Если толщина воздушного зазора в данном месте равна h , то, как видно из рисунка, оптическая разность хода лучей 1 и 2 составляет $\Delta = 2hn$ (так как после деления луча отражение от оптически более плотной среды происходит дважды, то $\lambda/2$ добавлять не нужно). Показатель преломления среды между линзой и пластиной $n=1$ (воздух), поэтому, приравнявая, получим $2h = k \lambda$. Отсюда $h = k \lambda/2$ – толщина воздушного зазора в данном месте.

Рис. 1

Линза обладает круговой симметрией, поэтому для нормально падающего на нее светового пучка такая толщина зазора будет сохраняться по всей окружности с радиусом r_k , и в проходящем свете будут наблюдаться светлые кольца с таким же радиусом.

Из прямоугольного треугольника по теореме Пифагора найдем r_k :

$$r_k = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} = \sqrt{R^2 - R^2 + 2Rh - h^2} = \sqrt{2Rh}$$

(h^2 можно пренебречь, так как радиус линзы в подобных опытах велик, и величина зазора между линзой и пластиной очень мала).

Подставим в формулу для r_k выражение для h и получим:

$r_k = \sqrt{2Rk\lambda/2} = \sqrt{kR\lambda}$ – радиус k -го светлого кольца в проходящем свете.

Теперь можно найти расстояние между пятым и шестым светлым кольцом как разницу между радиусами этих колец:

$$l = r_6 - r_5 = \sqrt{6R\lambda} - \sqrt{5R\lambda} = \sqrt{R\lambda} (\sqrt{6} - \sqrt{5}).$$

Возведем в квадрат и упростим это выражение:

$$l^2 = R\lambda (\sqrt{6} - \sqrt{5})^2 = R\lambda (2,45 - 2,24)^2 = 0,0441 R\lambda,$$

выразим искомое: $R = \frac{l^2}{0,0441\lambda}$ – радиус линзы.

Наименование: $R = [\text{м}^2 / \text{м} = \text{м}]$.

$$\text{Вычисление: } R = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ м}}{0,0441 \cdot 5,89 \cdot 10^{-7}} = \frac{4 \cdot 10^{-6}}{0,26 \cdot 10^{-7}} = 15,4 \cdot 10 = 154 \text{ (м)}.$$

Ответ: радиус линзы $R = 154 \text{ м}$.

1. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Задание. Постройте изображение предмета в тонкой линзе (номер рисунка соответствует номеру варианта). Исходные данные приведены в табл. 1. Рассчитайте оптическую силу линзы.

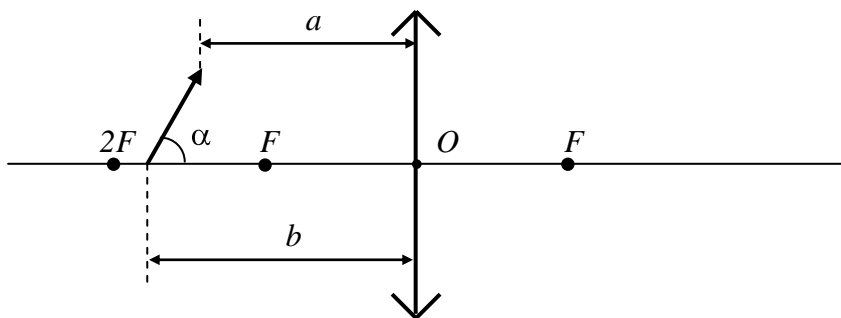


Рис. 1.1

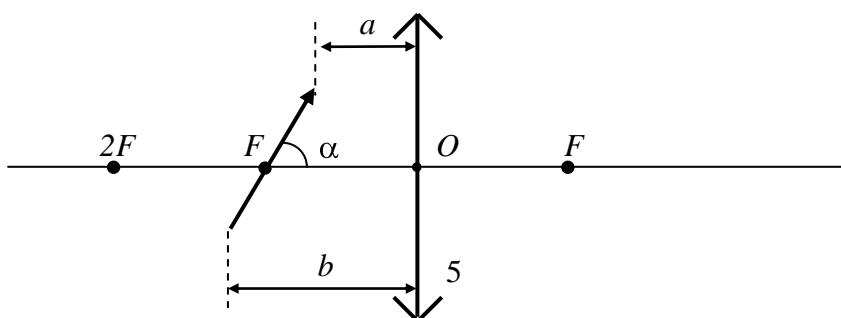


Рис. 1.2

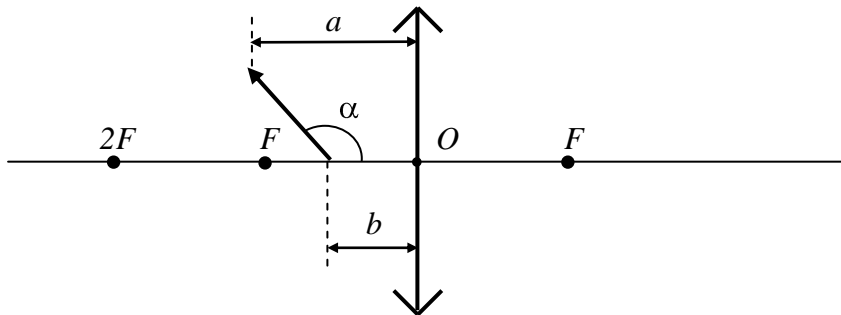


Рис. 1.3

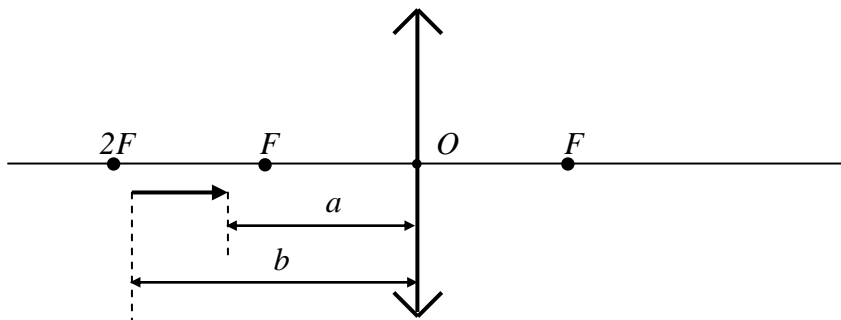


Рис. 1.4

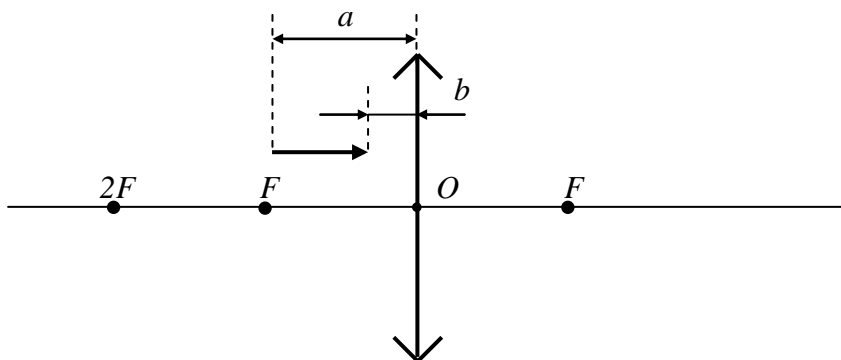


Рис. 1.5

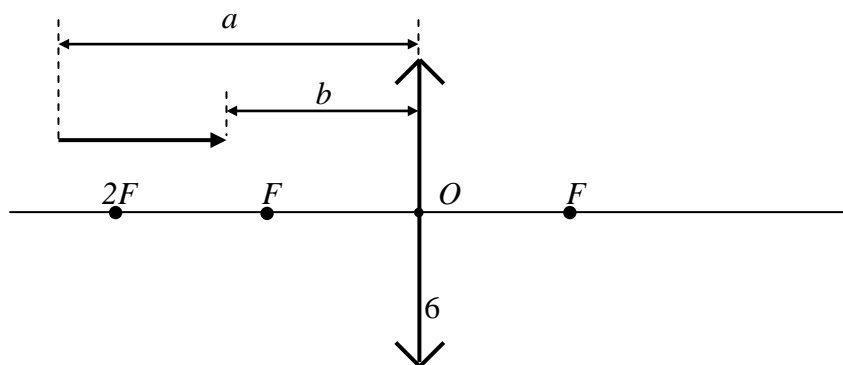


Рис. 1.6

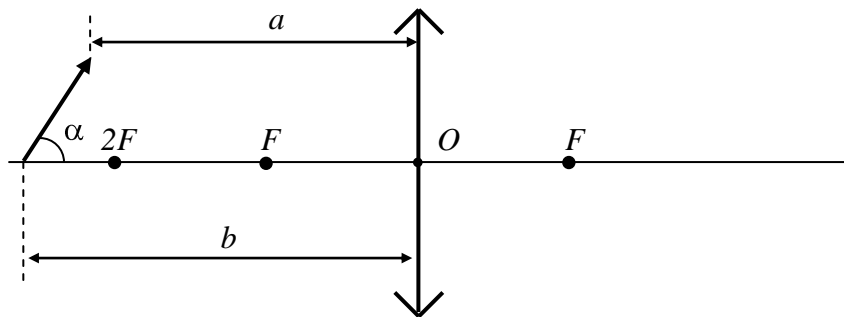


Рис. 1.7

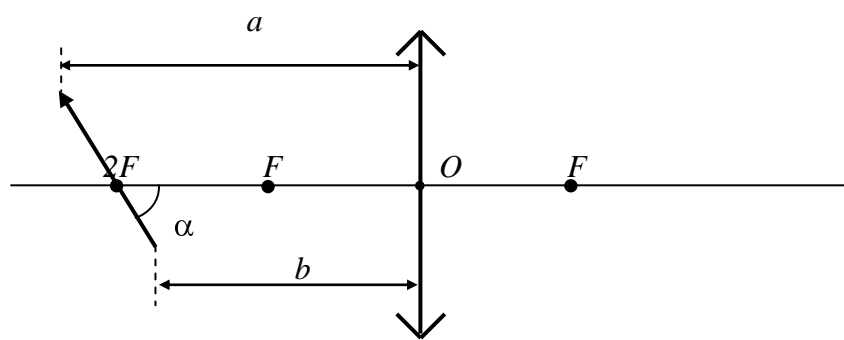


Рис. 1.8

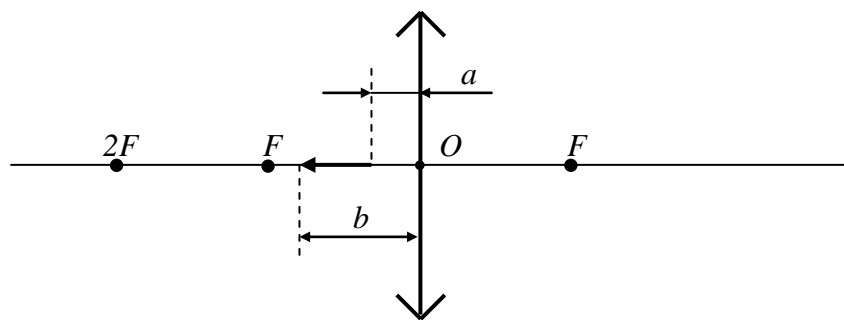


Рис. 1.9

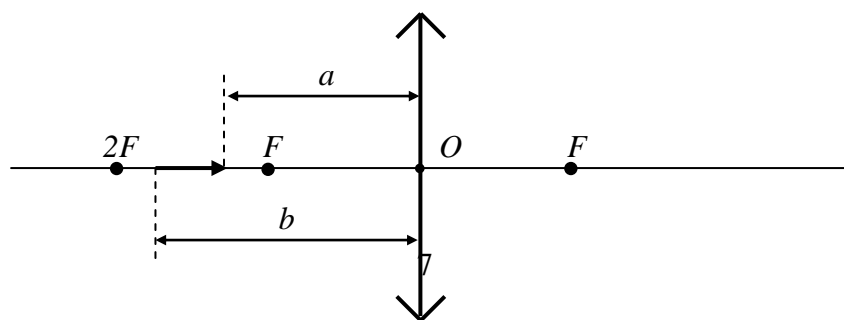


Рис. 1.10

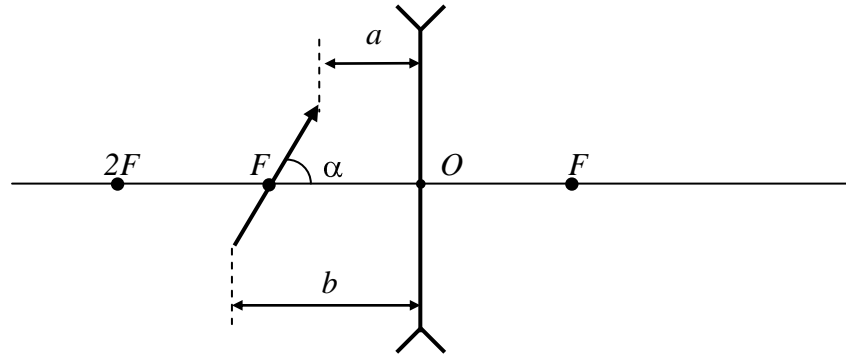


Рис. 1.11

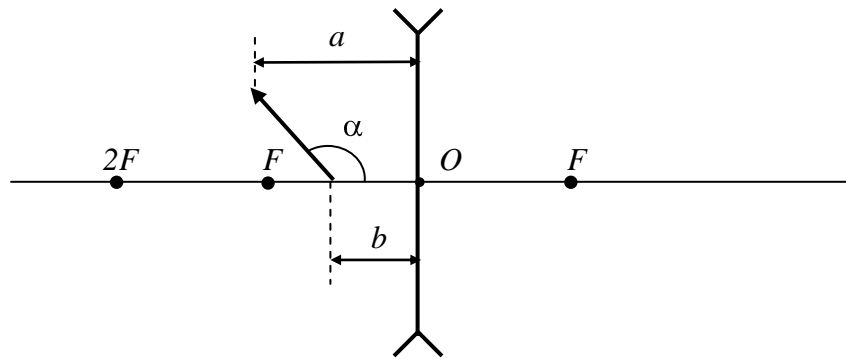


Рис. 1.12

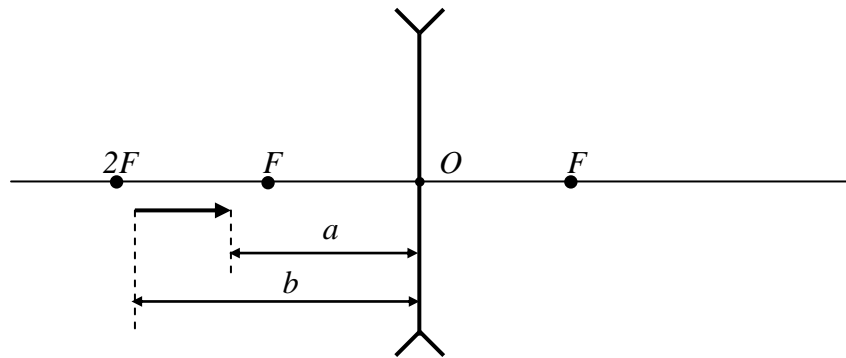


Рис. 1.13

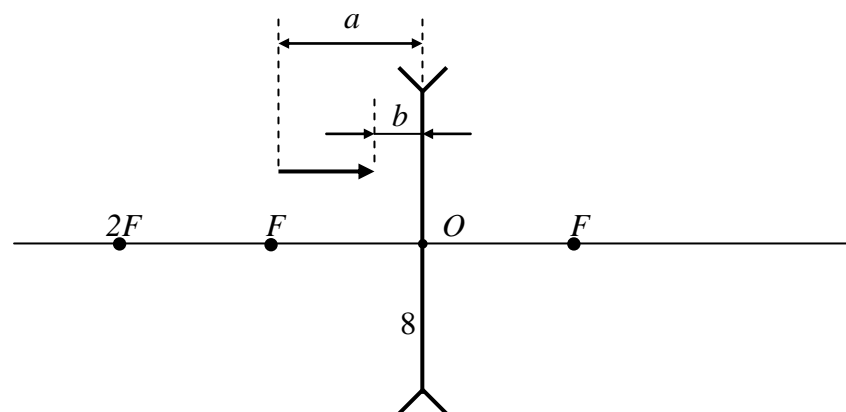


Рис. 1.14

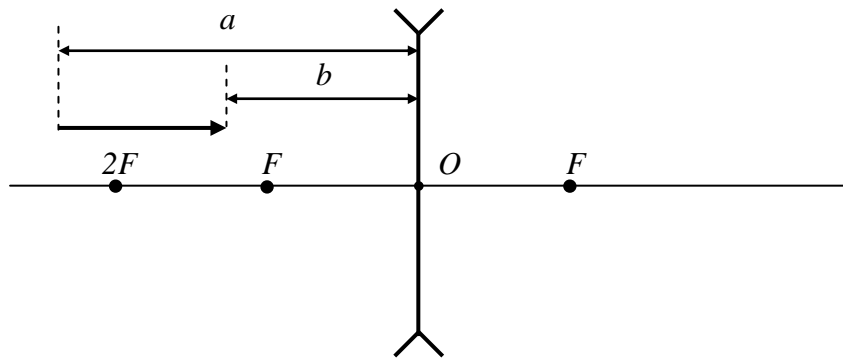


Рис. 1.15

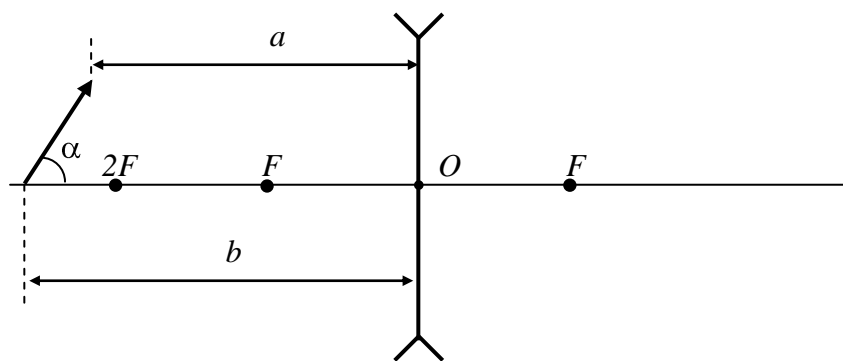


Рис. 1.16

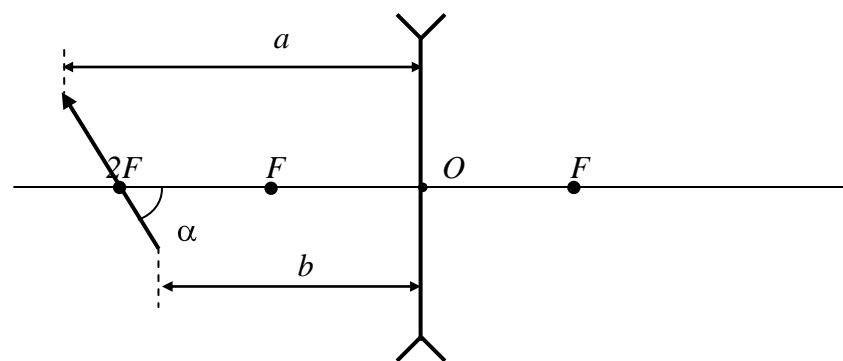


Рис. 1.17

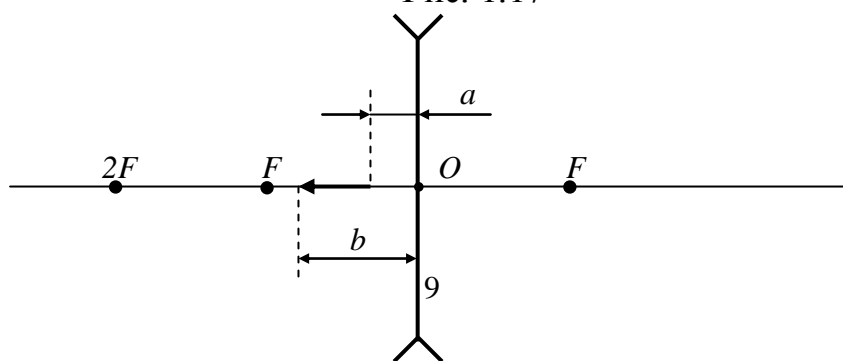


Рис. 1.18

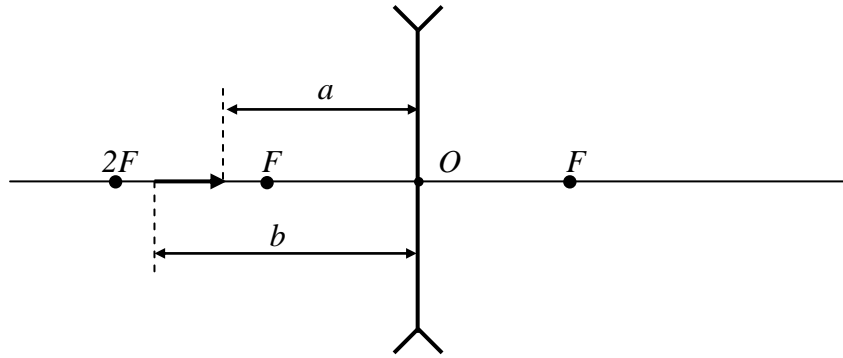


Рис. 1.19

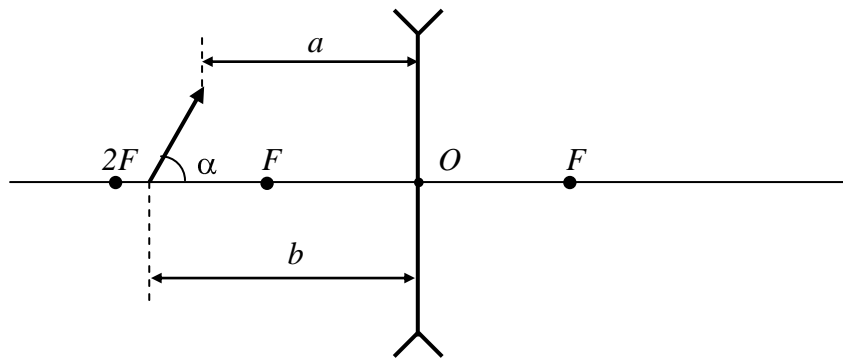


Рис. 1.20

Таблица 1

1	25	35	30	20	11	15	25	45	20
2	25	35	45	30	12	15	5	150	20
3	20	10	120	25	13	25	40	-	20
4	25	35	-	20	14	15	5	-	20
5	20	5	-	25	15	50	30	-	20
6	25	15	-	10	16	35	40	60	15
7	25	35	60	10	17	35	20	45	15

Окончание табл. 1

№ варианта	$a, \text{ см}$	$b, \text{ см}$	$\alpha, ^\circ$	$F, \text{ см}$	№ варианта	$a, \text{ см}$	$b, \text{ см}$	$\alpha, ^\circ$	$F, \text{ см}$
8	25	35	45	10	18	5	15	-	20
9	5	25	-	30	19	25	35	-	20

10	25	35	-	20	20	15	40	30	20
----	----	----	---	----	----	----	----	----	----

2. ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА

Связь длины световой волны с её частотой определяется формулой

$$\lambda = \frac{c}{\nu},$$

где c – скорость света в данной среде.

Закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1},$$

где α – угол падения; β – угол преломления; n_2 – показатель преломления среды, по которой проходит преломлённый луч; n_1 – показатель преломления среды, по которой проходит падающий луч.

Результат интерференции в тонких плёнках (в проходящем свете) определяется формулами:

усиление света

$$2h \cos \beta = k\lambda,$$

ослабление света

$$2h n \cos \beta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где h – толщина плёнки; n – показатель преломления материала плёнки; β – угол преломления; k – порядок спектра ($k = 0, 1, 2, \dots$); λ – длина волны света.

В отражённом свете условия усиления и ослабления света обратны условиям в проходящем свете.

Радиусы светлых колец Ньютона (в проходящем свете) определяются формулой

$$r_k = \sqrt{kR\lambda},$$

радиусы тёмных колец

$$r_k = \sqrt{(2k - 1)R \frac{\lambda}{2}}$$

где k – номер кольца ($k = 1, 2, \dots$); R – радиус кривизны линзы.

В отражённом свете расположение светлых и тёмных колец обратно их расположению в проходящем свете.

Оптическая разность хода лучей в интерферометре Майкельсона определяется уравнением

$$\Delta = 2l_2 n_2 - 2l_1 n_1,$$

где l_1, l_2 – длины плеч интерферометра; n_1, n_2 – показатели преломления сред, по которым проходят лучи.

Оптическая разность хода лучей в интерферометре Жамена определяется уравнением

$$\Delta = l_2 n_2 - l_1 n_1,$$

где l_1, l_2 – геометрические пути лучей; n_1, n_2 – показатели преломления сред, по которым проходят лучи.

Показатели преломления различных веществ представлены в Приложении 2.

Задачи

2.1. Спектр натрия состоит из двух линий с длинами волн 589,00 нм и 589,59 нм. Какое по счету темное кольцо Ньютона, соответствующее одной из этих линий, совпадает со следующим по счету темным кольцом, соответствующим другой линии? Наблюдение производится в отраженном свете.

2.2. Расстояние между двумя когерентными источниками света ($\lambda = 0,5$ мкм) равно 0,1 мм. Расстояние между светлыми полосами на экране в средней части интерференционной картины $\Delta y = 1$ см. Определить расстояние от источника до экрана.

2.3. Какова минимальная толщина мыльной пленки, если при наблюдении ее в отраженном свете она представляется зеленой ($\lambda = 500$ нм), когда угол между нормалью и лучом зрения равен 35° ?

2.4. На стеклянный клин нормально к его грани падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. В возникшей при этом интерференционной картине на отрезке длиной $l = 1$ см наблюдается 10 полос. Определить преломляющий угол γ клина, если наблюдение ведётся в отражённом свете.

2.5. Собирающаяся линза положена на плоскую стеклянную пластинку. Диаметры 5-го и 15-го темных колец Ньютона, наблюдаемых в отраженном свете, равны 0,7 см и 1,7 см. Определить радиус кривизны поверхности линзы, обращенной к пластинке.

2.6. Интерференция наблюдается в клине через красное стекло ($\lambda = 630$ нм). Расстояние между соседними красными полосами равно 3 мм. При наблюдении через синее стекло расстояние между полосами стало 1,9 мм. Найти длину волны синего света, если наблюдение ведется в отраженном свете.

2.7. Между плоскопараллельными пластинами попала проволочка так, что образовался тонкий клин. Расстояние от проволочки до вершины клина $a = 5$ см. При освещении пластинок в отраженном свете наблюдаются темные полосы через 2 мм. Определить длину волны падающего света, если диаметр проволочки $d = 6$ мкм.

2.8. Мыльная пленка расположена вертикально, ее поверхности составляют угол 9 секунд. Определить расстояние между соседними интерференционными полосами, если $n = 1,33$ и $\lambda = 500$ нм.

2.9 На мыльную пленку ($n = 1,33$) падает белый свет под углом 45° . При какой наименьшей толщине пленки отраженные лучи будут окрашены в желтый цвет ($\lambda = 6 \cdot 10^{-5}$ см) ?

2.10. Плоскопараллельные пластины образуют воздушный клин, его высота 10 см. При освещении в отраженном свете ($\lambda = 580$ нм) наблюдаются светлые полосы через 3 мм. Найти толщину клина.

2.11. Определить радиус кривизны линзы, если в отраженном свете расстояние между 1-м и 2-м светлыми кольцами Ньютона равно 0,5 мм ($\lambda = 589$ нм).

2.12. Найти расстояние между 3-м и 4-м темными кольцами Ньютона, если расстояние между 2-м и 3-м равно 1 мм, а кольца наблюдаются в отраженном свете ($\lambda = 610$ нм).

2.13. Радиус кривизны плосковыпуклой линзы $R = 4$ м. Чему равна длина волны падающего света, если радиус 5-го светлого кольца Ньютона в отраженном свете равен 3,6 мм?

2.14. Найти радиус кривизны плосковыпуклой линзы, которая вместе с пластинкой позволяет наблюдать кольца Ньютона при освещении желтой линией натрия ($\lambda = 589$ нм), если в проходящем свете расстояние между 5-м и 6-м светлым кольцом равно 0,6 мм.

2.15. Определить радиус 4-го темного кольца Ньютона, если между линзой радиуса 5 м и плоской поверхностью, к которой она прижата, находится вода. Наблюдение ведется в отраженном свете ($\lambda = 600$ нм). Скорость света в воде $2,25 \cdot 10^8$ м/с.

2.16. Расстояние между щелями в опыте Юнга равно 0,5 мм и длина волны падающего света равна 550 нм. Каково расстояние L от щели до экрана, если расстояние между соседними темными полосами на нем равно 1 мм?

2.17. В опыте Юнга на пути одного луча помещалась тонкая стеклянная пластинка с показателем преломления 1,5, имеющая толщину 12 мкм. На пути второго луча помещалась другая пластинка той же толщины. Определить ее показатель преломления, если при освещении светом с $\lambda = 0,6$ мкм смещение составило 4 полосы.

2.18. В опыте с интерферометром Майкельсона для смещения картины на 500 полос потребовалось переместить зеркало на расстояние 0,161 мм. Найти длину волны интерферирующего света.

2.19. Для измерения показателя преломления аммиака в одно из плеч интерферометра Майкельсона поместили цилиндрический сосуд с аммиаком длиной $l = 14$ см. При этом интерференционная картина сместилась на 180 полос. Найти показатель преломления аммиака, если длина волны $\lambda = 0,59$ мкм.

2.20. На пути одного из лучей интерферометра Жамена поместили трубку длиной 10 см, наполненную хлором. При этом интерференционная картина сместилась на 130 полос. Длина волны монохроматического света $\lambda = 5,9 \cdot 10^{-5}$ см. Найти показатель преломления хлора.

3. ДИФРАКЦИЯ СВЕТА

В дифракционной решётке максимумы света наблюдаются в направлениях, составляющих с нормалью к решётке угол φ , удовлетворяющий соотношению (при условии, что свет падает на решётку нормально)

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda,$$

где d – постоянная решётки; φ – угол дифракции; k – порядок спектра ($k = 0, 1, 2, \dots$); λ – длина волны падающего света.

Постоянная дифракционной решётки

$$d = \frac{l}{N},$$

где l – ширина решётки, N – число штрихов на дифракционной решётке.

Разрешающая способность дифракционной решётки при наблюдении двух близко расположенных спектральных линий с длинами волн λ и $\lambda + \Delta\lambda$ определяется формулой

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

Радиус k -й зоны Френеля при дифракции на круглом отверстии (для волны со сферическим фронтом)

$$r_k = \sqrt{\frac{abk\lambda}{a+b}}$$

где a – расстояние от источника до отверстия, b – расстояние от отверстия до экрана, k – номер зоны Френеля ($k = 1, 2, \dots$), λ – длина волны падающего света.

Радиус k -й зоны Френеля при дифракции на круглом отверстии (для волны с плоским фронтом)

$$r_k = \sqrt{bk\lambda}.$$

При дифракции на круглом диске формулы для определения радиусов зон Френеля аналогичны тем, что используются при дифракции на круглом отверстии.

Задачи

3.1. Чему равна постоянная дифракционной решетки, если она может разрешить в первом порядке линии спектра калия ($\lambda_1 = 404,4$ нм и $\lambda_2 = 404,9$ нм)? Ширина решетки равна 3 см.

3.2. На дифракционную решетку нормально падает свет от натриевого пламени ($\lambda = 589$ мкм). При этом для спектра третьего порядка получается угол откло-

нения $10^{\circ}11'$. Какова длина волны, для которой угол отклонения во втором порядке равен $6^{\circ}16'$?

3.3. Постоянная дифракционной решетки равна 4,2 мкм. Что будет наблюдаться под углом 30° (максимум или минимум), если решетку освещать монохроматическим светом с длиной волны 600 нм?

3.4. Точечный источник света, излучающий свет с длиной волны $\lambda = 5500 \text{ \AA}$, освещает экран, расположенный от него на расстоянии $l = 11 \text{ м}$. Между источником света и экраном на расстоянии $a = 5 \text{ м}$ от экрана помещена ширма с круглым отверстием, диаметр которого равен $d = 4,3 \text{ мм}$. Является ли освещенность в центре получающейся на экране дифракционной картины большей или меньшей, чем та, которая будет иметь место, если ширму убрать?

3.5. Спектр получается с помощью решетки, имеющей 500 штрихов на 1 мм. Какова длина спектра первого порядка, получаемого на экране, находящемся на расстоянии 2 м от решетки? Границами видимого спектра считать длины волн 750 нм и 400 нм.

3.6. Свет падает нормально на дифракционную решетку от разрядной трубки. Решетка имеет 250 штрихов на 1 мм. На каком расстоянии от решетки следует расположить экран, чтобы для спектра первого порядка расстояние от линии какого-нибудь цвета до центрального изображения щели было в 10 раз больше соответствующей длины волны?

3.7. Какова должна быть длина дифракционной решетки, имеющей 50 штрихов на 1 мм, чтобы в спектре второго порядка можно было раздельно различить две линии натрия 5800 \AA и 5896 \AA ?

3.8. Дифракционная решетка шириной 12 мм содержит 4800 штрихов. Определить: 1) число максимумов, наблюдаемых в спектре дифракционной решетки для длины волны 520 нм; 2) угол отклонения, соответствующий последнему максимуму.

3.9. Какое количество штрихов на единицу длины должна иметь дифракционная решетка для того, чтобы разрешить во втором порядке линии натрия $\lambda_1 = 501 \text{ нм}$ и $\lambda_2 = 501,2 \text{ нм}$?

3.10. Тонкая металлическая пластинка имеет отверстие диаметром 4 мм. На пластинку падает нормально параллельный пучок лучей ($\lambda = 0,5 \text{ мкм}$). Линза с фокусным расстоянием $b = 1 \text{ м}$, расположенная вблизи пластинки, дает на экране дифракционную картину. Темным или светлым будет центр картины?

3.11. Какое число зон Френеля закрывает диск диаметром 2,6 мм, помещенный посередине между точечным источником света и экраном, отстоящим от источника на расстоянии 15 м?

3.12. Между точечным источником света ($\lambda = 500 \text{ нм}$) и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием диаметром 2 мм. Расстояние от диафрагмы до источника и экрана соответственно $a = 1 \text{ м}$ и $b = 2 \text{ м}$. Как изменится освещенность в центре экрана, если диафрагму убрать?

3.13 Точечный источник света с $\lambda = 500$ нм расположен на расстоянии 1 м перед диафрагмой с круглым отверстием диаметром 2 мм. Найти расстояние от диафрагмы до точки наблюдения, для которой число зон Френеля равно 3.

3.14 Между точечным источником света ($\lambda = 0,5$ мкм) и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием радиусом $r = 1$ мм. Расстояние от диафрагмы до источника и экрана равны соответственно $a = 1$ м и $b = 2$ м. Как изменится освещенность экрана в точке P , лежащей против центра отверстия, если диафрагму убрать?

3.15. Определить длину волны монохроматического света, падающего нормально на дифракционную решетку с периодом $d = 2,20$ мкм, если угол между максимумами первого и второго порядков спектра $\Delta\varphi = 15^\circ$.

3.16. Посередине между точечным источником света ($\lambda = 0,5$ мкм) и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием радиусом $r_1 = 0,75$ мм. Расстояние от источника до экрана $l = 1,5$ м. Увеличится или уменьшится освещенность в центре дифракционной картины, если радиус отверстия диафрагмы увеличить до $r_2 = 0,87$ мм?

3.17. На расстоянии 2 м от точечного источника света с длиной волны $\lambda = 5,9 \cdot 10^7$ м расположен непрозрачная диафрагма с небольшим отверстием. Вычислить радиус центральной зоны Френеля, если наблюдатель расположен в 3 м от отверстия.

3.18. При каком минимальном числе штрихов дифракционной решетки с периодом $d = 2,9$ мкм можно разрешить компоненты дублета желтой линии натрия ($\lambda_1 = 5890 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 5896 \text{ \AA}$)?

3.19. Между точечным источником монохроматического света ($\lambda = 0,5$ мкм) и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием радиусом $r_1 = 0,71$ мм. Расстояние R от источника до диафрагмы равно расстоянию r_0 от диафрагмы до экрана: $R = r_0 = 2$ м. Увеличится или уменьшится освещенность экрана в точке P , лежащей против центра отверстия, если его радиус увеличить до $r_2 = 1$ мм?

3.20. На дифракционную решетку, содержащую $N = 400$ штрихов на $\Delta l = 1$ мм, падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Найти общее число k дифракционных максимумов, которые дает эта решетка, и угол отклонения φ последних максимумов.

4. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Энергетическая светимость (излучательность) R_s – это энергия W , излучаемая с единицы поверхности тела S за единицу времени t :

$$R_s = \frac{W}{St}.$$

Энергетическая светимость (излучательность) абсолютно черного тела определяется формулой Стефана – Больцмана

$$R_{\text{э}} = \sigma T^4,$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана, T – термодинамическая температура.

Если излучающее тело не является абсолютно чёрным, то

$$R_{\text{э}} = a\sigma T^4$$

где a – коэффициент черноты.

Энергетическая светимость связана со спектральной плотностью энергетической светимости (излучательности) r_{λ} соотношением

$$R_{\text{э}} = \int_0^{\infty} r_{\lambda} d\lambda.$$

Поток излучения Φ – это энергия, проходящая сквозь единичную площадку, перпендикулярную излучению за единицу времени:

$$\Phi = \frac{W}{t}.$$

Первый закон Вина (закон смещения Вина):

$$\lambda_m T = C_1,$$

где λ_m – длина волны при которой спектральная плотность энергетической светимости тела максимальна, $C_1 = 2,9 \cdot 10^{-3}$ м·К.

Второй закон Вина:

$$r_{\lambda_{\text{max}}} = C_2 T^5,$$

где $r_{\lambda_{\text{max}}}$ – максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости (излучательности), $C_2 = 1,29 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^3 \text{К}^5}$.

Задачи

4.1. Длины волн λ_{01} , λ_{02} , соответствующие максимумам спектральной плотности энергетической светимости в спектрах двух абсолютно черных тел, различаются на $\Delta\lambda = \lambda_{02} - \lambda_{01} = 0,5$ мкм. Определить температуру T_2 второго тела, если температура первого $T_1 = 2,50 \cdot 10^3$ К.

4.2. Солнечный свет падает перпендикулярно на черный склон угольного карьера. Солнечная постоянная равна $20\,000 \frac{\text{кал}}{\text{м}^2 \cdot \text{мин}}$. Какова максимальная температура этой поверхности, если степень черноты угля 0,9?

4.3. Черный шар радиусом 10 см поддерживается при температуре 60 °С, температура окружающей среды равна 20 °С. Какова подводимая к шару тепловая мощность?

4.4. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности излучательности $(r_{\lambda, T})_{max}$ сместился с $\lambda_1 = 2,4$ мкм на $\lambda_2 = 0,8$ мкм. Как и во сколько раз изменились излучательная способность и энергетическая светимость тела?

4.5. Определить, какое напряжение нужно приложить к концам вольфрамовой нити диаметром 0,5 мм и длиной 40 см, чтобы накаливать ее до 1500 К. Степень черноты нихрома при этих условиях принять равной 0,8. При решении учесть температурную зависимость сопротивления проводника. Удельные сопротивления различных проводников приведены в Приложении 3.

4.6. При какой температуре спектральные интенсивности излучения черного тела при длинах волн 6000 Å и 4000 Å совпадают?

4.7. Поток энергии, излучаемый из смотрового окна плавильной печи равен 34 Вт. Определить температуру печи, если площадь окна 6 см².

4.8. Вольфрамовая нить диаметром $d_1 = 0,10$ мм соединена последовательно с вольфрамовой нитью неизвестного диаметра. Нити накаливаются в вакууме током, при этом их установившиеся температуры $T_1 = 2 \cdot 10^3$ К, $T_2 = 3 \cdot 10^3$ К. Найти диаметр d_2 второй нити. Коэффициенты полного излучения вольфрама и его удельное сопротивление, соответствующие данным температурам, равны $a_1 = 0,260$, $a_2 = 0,334$, $\rho_1 = 5,9 \cdot 10^{-7}$ Ом·м, $\rho_2 = 9,62 \cdot 10^{-7}$ Ом·м.

4.9. Вследствие изменения температуры абсолютно черного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости сместился с 2,4 мкм до 800 нм. Как и во сколько раз изменилась энергетическая светимость тела и максимальное значение спектральной плотности энергетической светимости?

4.10. При увеличении термодинамической температуры T абсолютно черного тела в два раза длина волны λ_m , на которую приходится максимум спектральной плотности излучательности $(r_{\lambda, T})_{max}$, уменьшилась на $\Delta\lambda = 400$ нм. Определить начальную и конечную температуры T_1 и T_2 .

4.11. Длина волны λ_m , на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, равна 0,58 мкм. Определить максимальную спектральную плотность энергетической светимости $(r_{\lambda, T})_{max}$.

4.12. Вольфрамовая нить накаливается в вакууме током в 1 А до температуры 1000 К. Учитывая температурную зависимость сопротивления проводников, определить, при каком токе нить накаливается до 3000 К.

4.13. Муфельная печь потребляет мощность 0,5 кВт. Температура ее внутренней стенки при открытом отверстии диаметром 5 см равна 700 °С. Какая часть потребляемой мощности рассеивается стенками?

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

4.15. Определить температуру T , при которой энергетическая светимость абсолютно черного тела равна $10 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$.

4.16. Принимая коэффициент черноты a_T угля при температуре $T = 600 \text{ К}$ равным $0,8$, определить: 1) энергетическую светимость угля; 2) энергию W , излучаемую с поверхности угля площадью $S = 5 \text{ см}^2$ за время $t = 10 \text{ мин}$.

4.17. Найти температуру печи, если известно, что из отверстия в ней площадью $6,1 \text{ см}^2$ излучается $8,28 \text{ кал}$ за 1 с . Излучение считать близким к излучению абсолютно черного тела.

4.18. Определить энергию, излучаемую за время $t = 1 \text{ мин}$ из смотрового окошка площадью $S = 8 \text{ см}^2$ плавильной печи, если ее температура $T = 1,2 \text{ кК}$.

4.19. Найти какое количество энергии с 1 см^2 поверхности в одну секунду излучает абсолютно черное тело, если известно, что максимальное значение спектральной плотности его энергетической светимости приходится на длину волны в 4840 \AA .

4.20. Абсолютно черное тело находится при температуре $T_1 = 2900 \text{ К}$. В результате остывания этого тела длина волны, на которую приходится максимум излучательной способности, изменилась на $\Delta\lambda = 9 \text{ мкм}$. До какой температуры T_2 охладилось тело?

5. ФОТОНЫ

С позиции квантовой теории излучения электромагнитную волну можно рассматривать как поток квантов излучения, называемых фотонами.

Энергия кванта определяется формулой

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

Импульс и масса фотона определяются формулами

$$p = \frac{h\nu}{c},$$

$$m = \frac{h\nu}{c^2}.$$

Задачи

5.1. Найти массу и импульс фотона видимого света ($\lambda = 5000 \text{ \AA}$).

5.2. Энергия фотона равна кинетической энергии электрона, имевшего начальную скорость 10^6 м/с и ускоренного разностью потенциалов 4 В . Найти длину волны фотона.

5.3. Показать, что свободный электрон не может излучать световые кванты, так как если предположить, что электрон излучает световой квант, то не будут выполняться одновременно закон сохранения импульса и закон сохранения энергии.

5.4. Показать с помощью законов сохранения, что свободный электрон не может полностью поглотить фотон.

5.5. Какую длину волны должен иметь фотон, чтобы его масса была равна массе покоя электрона?

5.6. Найти импульс фотона видимого света ($\lambda = 5000 \text{ \AA}$). Сравнить его с импульсом молекулы водорода при комнатной температуре. Масса молекулы водорода $M = 2,35 \cdot 10^{-24} \text{ г}$.

5.7. При какой длине волны импульс фотона равен импульсу молекулы водорода при комнатной температуре? Масса молекулы водорода $M = 2,35 \cdot 10^{-24} \text{ г}$.

5.8. Составить выражение для величины, имеющей размерность длины, используя скорость света c , массу частицы m и постоянную Планка \hbar . Что это за величина?

5.9. Как изменится мощность светового потока, если количество фотонов изменится со 100 до 10^6 за 1 секунду без изменения частоты?

5.10. Длина волны, соответствующая рентгеновским лучам равна $1,5 \text{ \AA}$. Какую температуру должен иметь кислород, чтобы средняя кинетическая энергия движения его молекул была равна энергии фотона этого рентгеновского излучения?

5.11. Сколько фотонов излучается в единицу времени монохроматическим источником света с длиной волны 600 нм , мощностью 100 Вт и к.п.д. 20% ?

5.12. Определите и сравните массы фотонов гамма-лучей с длиной волны $0,01 \text{ \AA}$ и световых лучей с длиной волны 500 нм .

5.13. Энергия фотонов гамма-излучения равна 100 МэВ . Найти длину волны этих лучей.

5.14. Фотон имеет массу $0,001 \text{ а.е.м.}$ Найти длину волны фотона.

5.15. При какой длине волны масса фотона равна массе электрона?

5.16. При какой длине волны масса фотона равна массе протона?

5.17. Вычислить длину волны фотона, энергия которого равна энергии покоя нейтрона.

5.18. Какому числу фотонов с длиной волны $6,63 \text{ мкм}$ соответствует энергия 9 Дж ?

5.19. Найти массу и импульс фотона рентгеновского излучения ($\lambda = 25 \text{ пм}$).

5.20. Найти массу и импульс фотона гамма-излучения ($\lambda = 1,24 \text{ пм}$).

6. ЗАКОНОМЕРНОСТИ СПЕКТРОВ ВОДОРОДОПОДОБНЫХ ИОНОВ

Формула, позволяющая найти длины волн λ , соответствующие линиям водородного (или водородоподобного) спектра (серийная формула), имеет вид

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right),$$

где Z – порядковый номер элемента, n и m – номера орбит, с которой (m) и на которую (n) переходит электрон, $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ – постоянная Ридберга.

Задачи

6.1. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего третьей линии в серии Пашена

6.2. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего первой линии в серии Пашена

6.3. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, испущенного при переходе между пятым и вторым энергетическими уровнями в атоме водорода.

6.4. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наименьшей длиной волны в ультрафиолетовой серии.

6.5. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего второй линии в серии Бальмера.

6.6. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наибольшей длиной волны в серии Бальмера.

6.7. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего четвёртой линии в серии Лаймана.

6.8. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наименьшей частотой в ультрафиолетовой серии.

6.9. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, излучаемого при переходе между пятым и четвёртым энергетическими уровнями в атоме водорода.

6.10. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наименьшей длиной волны в серии Бальмера.

6.11. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наибольшей частотой в серии Бреккета ($n = 4$).

6.12. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего наибольшей частоте для всего спектра водорода.

6.13. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего наименьшей частоте видимой серии линий.

6.14. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего второй линии инфракрасной серии.

6.15. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наибольшей частотой в серии Бальмера.

6.16. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наибольшей частотой ультрафиолетовой серии.

6.17. Найти энергию, частоту и длину волны фотона, соответствующего линии с наибольшей частотой ультрафиолетовой серии.

6.18. С помощью серийной формулы определите граничные значения длин волн видимого спектра.

6.19. С помощью серийной формулы определите граничные значения частоты ультрафиолетовой серии.

6.20. С помощью серийной формулы определите граничные значения длины волны инфракрасного спектра.

7. ТЕОРИЯ БОРА ДЛЯ ОДНОЭЛЕКТРОННЫХ ИОНОВ

Согласно первому постулату Бора движение электрона вокруг ядра возможно только по определённым орбитам, радиусы которых удовлетворяют соотношению

$$m v_n r_n = n \hbar ,$$

где m – масса электрона, v_n – скорость электрона на n -ой орбите, r_n – радиус n -й орбиты, n – любое целое число (квантовое число), $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ – постоянная Планка.

Согласно второму постулату Бора частота излучения, соответствующая переходу электрона с одной орбиты на другую, определяется формулой

$$h \nu = W_n - W_m ,$$

где n и m – номера орбит ($n > m$), W_n и W_m – соответствующие им значения энергии электрона.

Радиус n -й орбиты электрона в атоме водорода (или водородоподобном ионе) определяется по формуле

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{m k Z e^2} ,$$

где Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева (зарядовое число), e – элементарный заряд, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{М}}{\text{Ф}}$.

Скорость электрона в атоме водорода (или водородоподобном ионе) на n -й орбите определяется по формуле

$$v_n = \frac{k Z e^2}{n \hbar} .$$

Потенциальная энергия электрона в атоме водорода (или водородоподобном ионе) на n -ой орбите определяется по формуле

$$E_n = -\frac{k^2 Z^2 e^4 m}{n^2 \hbar^2},$$

где Z – порядковый номер элемента в таблице Менделеева (зарядовое число), e – элементарный заряд, m – масса электрона.

Кинетическая энергия электрона в атоме водорода (или водородоподобном ионе) на n -й орбите определяется по формуле

$$E_k = \frac{k^2 Z^2 e^4 m}{2n^2 \hbar^2}.$$

Полная энергия электрона в атоме водорода (или водородоподобном ионе) на n -й орбите определяется по формуле

$$E = E_n + E_k = -\frac{k^2 Z^2 e^4 m}{2n^2 \hbar^2}.$$

Потенциал ионизации атома водорода (или водородоподобного иона) определяется по формуле

$$eU_i = E_1,$$

где E_1 – энергия электрона на первом уровне.

Потенциал возбуждения атома водорода (или водородоподобного иона) определяется по формуле

$$eU_n = E_n - E_1,$$

где E_n – энергия электрона на n -м уровне, n – целое число ($n > 1$).

Таблица Менделеева представлена в Приложении 5.

Задачи

7.1. Найти линейную и угловую скорости электрона, находящегося на третьем энергетическом уровне в атоме водорода.

7.2. Найти кинетическую и потенциальную энергию электрона, находящегося на пятом энергетическом уровне в атоме водорода.

7.3. Сравните угловые скорости электронов, находящихся на втором и пятом энергетических уровнях в атоме водорода.

7.4. Найти длину траектории движения и период обращения электрона на четвёртом энергетическом уровне в атоме водорода.

7.5. Найти радиус орбиты электрона в атоме водорода, соответствующий десятому энергетическому уровню.

7.6. Найти потенциал ионизации атома водорода, первоначальное энергетическое состояние которого соответствовало тому, что электрон в нём находился на третьем энергетическом уровне.

7.7. Найти максимальный потенциал ионизации атома водорода.

7.8. Найти нормальное и тангенциальное ускорения электрона, находящегося на втором энергетическом уровне в атоме водорода.

7.9. Как изменится кинетическая энергия электрона при переходе с четвертого на первый энергетический уровень в атоме водорода?

7.10. Сравнить потенциальные энергии электрона в атоме водорода на первом и третьем энергетических уровнях.

7.11. Сравнить потенциалы ионизации атомов водорода, в которых электрон находится на первом и третьем энергетических уровнях соответственно.

7.12. Вычислить частоту и энергию фотона, излучаемого при переходе электрона с четвертого на третий энергетический уровень. Какому диапазону электромагнитного излучения он соответствует?

7.13. Сравнить скорости электронов на первом энергетическом уровне в атоме водорода и дважды ионизированном атоме лития.

7.14. Найти и сравнить радиусы орбит, соответствующие второму энергетическому уровню в однократно ионизированном атоме гелия (He^+) и дважды ионизированном атоме лития (Li^{++}).

7.15. Найти потенциальную и кинетическую энергии электрона на первом энергетическом уровне в дважды ионизированном атоме лития (Li^{++}).

7.16. Фотон с энергией $2,64 \cdot 10^{-18}$ Дж выбил электрон из атома водорода, находящегося в основном состоянии. Найти скорость электрона вдали от атома водорода.

7.17. Пользуясь теорией Бора, найти частоту кванта света, который излучается атомом водорода при переходе с третьего энергетического уровня на первый.

7.18. Вычислить изменение периода обращения электрона в атоме водорода при переходе со второго энергетического уровня на первый.

7.19. Вычислить частоту и период обращения электрона на пятом энергетическом уровне дважды ионизированного атома лития.

7.20. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с частотой $2,47 \cdot 10^{15}$ Гц. Как изменилась энергия и радиус орбиты электрона при возбуждении атома?

8. МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА АТОМА

Орбитальный механический момент электрона в атоме рассчитывается по формуле

$$L_l = \hbar \sqrt{l(l+1)},$$

где l — орбитальное квантовое число.

Орбитальный магнитный момент электрона в атоме рассчитывается по формуле

$$M_l = M_B \sqrt{l(l+1)},$$

где $M_B = \frac{e\hbar}{2m_e}$ — магнетон Бора.

Спиновый магнитный момент электрона равен магнетону Бора

$$M_s = M_B.$$

Магнитный момент атома рассчитывается по формуле

$$\vec{M} = \sum \vec{M}_l + \sum \vec{M}_s.$$

Задачи

8.1. Атом имеет в незаполненной оболочке один s -электрон. Найти орбитальные механический и магнитный моменты электрона и полный магнитный момент этого атома.

8.2. Вычислить минимально возможный полный магнитный момент атома бора.

8.3. Найти спиновый магнитный момент атома лития.

8.4. Атом имеет в незаполненной оболочке один p -электрон. Найти орбитальные механический и магнитный моменты этого электрона.

8.5. Атом имеет в незаполненной оболочке два p -электрона. Найти минимально возможные орбитальные механический и магнитные моменты этого атома.

8.6. Атом имеет в незаполненной оболочке три p -электрона. Найти минимально возможный орбитальный механический момент этого атома.

8.7. Найти орбитальный механический момент атома лития.

8.8. Вычислить минимально возможный орбитальный магнитный момент атома бериллия.

8.9. Найти спиновый и орбитальный магнитные моменты атома азота.

8.10. Атом имеет в незаполненной оболочке три p -электрона. Найти минимально возможный орбитальный магнитный момент этого атома.

8.11. Атом имеет в незаполненной оболочке один d -электрон. Найти орбитальный механический момент и полный магнитный момент этого атома.

8.12. Вычислить минимально возможный орбитальный магнитный момент атома углерода.

8.13. Найти минимально возможный орбитальный магнитный момент атома фтора.

8.14. Атом имеет в незаполненной оболочке один d -электрон. Найти орбитальные магнитный и механические моменты этого атома.

8.15. Атом имеет в незаполненной оболочке два d -электрона. Найти максимально возможные орбитальные механический и магнитные моменты этого атома.

8.16. Атом имеет в незаполненной оболочке три p -электрона. Найти минимально возможный орбитальный механический момент этого атома.

8.17. Найти орбитальный механический момент атома неона.

8.18. Вычислить суммарный спиновый магнитный момент атома бериллия.

8.19. Найти максимально возможный орбитальный магнитный момент атома азота.

8.20. Атом имеет в незаполненной оболочке один f -электрон. Найти орбитальные механический и магнитный моменты этого атома.

9. ФОТОЭФФЕКТ

Уравнение внешнего фотоэффекта (уравнение Эйнштейна)

$$h\nu = A + \frac{m\nu^2}{2},$$

где A – работа выхода электрона из металла, m – масса электрона, ν – максимальная скорость выбитых электронов.

Красная граница фотоэффекта (максимально возможная длина волны, вызывающая фотоэффект для данного материала)

$$\lambda_{cp} = \frac{hc}{A}.$$

Задерживающее напряжение U_3 связано с кинетической энергией выбитых электронов $\frac{m\nu^2}{2}$ следующим соотношением:

$$eU_3 = \frac{m\nu^2}{2},$$

где e – заряд электрона.

Работа выхода для различных металлов представлена в Приложении 4.

Задачи

9.1. Определить красную границу фотоэффекта для цинка и максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с его поверхности электромагнитным излучением с длиной волны 250 нм.

9.2. Какая часть энергии фотона, вызывающего фотоэффект, расходуется на работу выхода, если наибольшая скорость электронов, вырываемых с поверхности цинка, составляет 10^6 м/с? Красная граница фотоэффекта для цинка соответствует длине волны $2,9 \cdot 10^{-7}$ м.

9.3. При поочередном освещении поверхности некоторого металла светом с длинами волн $\lambda_1 = 0,35$ мкм и $\lambda_2 = 0,54$ мкм обнаружили, что соответствующие максимальные скорости электронов отличаются друг от друга в 2 раза. Найти работу выхода с поверхности этого металла.

9.4. Кванты света с энергией $E = 4,9$ эВ вырывают фотоэлектрон из металла с работой выхода $A = 4,5$ эВ. Найти максимальный импульс, передаваемый поверхности металла при вылете электрона.

9.5. Найти частоту света, вырывающего с поверхности некоторого металла электроны, которые полностью задерживаются обратным потенциалом в 3 В. Фотоэффект у данного металла начинается при частоте падающего света равной $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Найти работу выхода электронов из этого металла.

9.6. Найти задерживающую разность потенциалов U для электронов, вырванных светом с длиной волны $\lambda = 330$ нм с поверхности 1) калия; 2) платины.

9.7. Какова длина волны света, вырывающего с поверхности металла электроны, полностью задерживающиеся разностью потенциалов в 3 В? Фотоэффект у этого металла начинается при частоте падающего света $6 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить работу выхода для этого металла, максимальную скорость фотоэлектронов, массу и импульс фотонов.

9.8. Найти работу выхода электронов из металла, если установлено, что красная граница фотоэффекта равна 295 нм. С какой максимальной скоростью будут покидать электроны этот металл, освещаемый светом с длиной волны 300 нм? 200 нм?

9.9. Электрод, покрытый литием, освещается монохроматическим излучением с длиной волны 600 нм. Будет ли при этом иметь место фотоэффект, если работа выхода электронов для лития равна 2,4 эВ?

9.10. Красные границы фотоэффекта для железа и натрия равны соответственно 262 нм и 540 нм. Найти и сравнить между собой работу выхода электронов из этих металлов. Выразить полученные значения в эВ.

9.11. Какую задерживающую разность потенциалов нужно приложить к фотоэлементу с катодом из рубидия, чтобы задержать электроны, испускаемые под действием ультрафиолетового излучения с длиной волны 100 нм? Красная граница фотоэффекта для рубидия равна 810 нм.

9.12. Изолированная металлическая пластина освещается светом с длиной волны 450 нм. До какого потенциала зарядится пластина под действием света, если работа выхода электронов для металла, из которого она изготовлена, равна 2 эВ?

9.13. На поверхность катода, покрытого платиной, падают рентгеновские лучи с длиной волны 1,2 нм. Найти энергию и скорость вылета электронов.

9.14. Под действием монохроматического излучения, освещающего поверхность платины, возникает фотоэффект. Скорость фотоэлектронов равна 800 км/с. Найти длину волны излучения.

9.15. Сравнить кинетические энергии и скорости вылета электронов из катода, покрытого цезием, под действием монохроматических излучений с длинами волн равных 400 нм и 600 нм.

9.16. Если прокалить пластину при высокой температуре, то красная граница фотоэффекта увеличивается от 198 нм до 220 нм. Как при этом изменяется работа выхода электронов?

9.17. При освещении поверхности неизвестного металла светом с частотой $2,2 \cdot 10^{15}$ Гц задерживающая разность потенциалов равна 6,6 В, а при освещении светом с частотой $4,6 \cdot 10^{15}$ Гц – 16,5 В. Считая, что значение постоянной Планка неизвестно, найдите его.

9.18. Какая доля энергии фотона уносится фотоэлектронами, выбитыми из металла светом с частотой $1,5 \cdot 10^{15}$ Гц, если красная граница фотоэффекта равна 300 нм и максимальная энергия вырванных электронов равна 1 эВ?

9.19. При освещении γ -излучением пластины из платины задерживающая разность потенциалов равна 3,7 В. Найти работу выхода электронов для металла, при освещении которого этим же γ -излучением задерживающая разность потенциалов равна 6 В.

9.20. Максимальная скорость электронов, вырываемых под действием γ -излучения из вольфрамовой пластины равна 300 Мм/с. Определить энергию, длину волны и частоту падающих квантов.

10. ЭФФЕКТ КОМПТОНА

Эффект Комптона заключается в упругом рассеянии квантов электромагнитного излучения (фотонов) на свободных (или слабо связанных) электронах, сопровождающимся увеличением длины волны.

Изменение длины волны $\Delta\lambda$ рентгеновских лучей при комптоновском рассеянии определяется формулой

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos\varphi),$$

где φ – угол рассеяния, m – масса электрона.

Комптоновская длина волны

$$\lambda_c = \frac{h}{mc}.$$

Закон сохранения энергии при комптоновском рассеянии:

$$h\nu = h\nu' + Ek,$$

где $h\nu$ и $h\nu'$ – энергии падающего и рассеянного фотонов соответственно, Ek – кинетическая энергия электрона отдачи.

Закон сохранения импульса при комптоновском рассеянии:

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e,$$

где $p = \frac{h}{\lambda}$, $p' = \frac{h}{\lambda'}$ — импульсы фотона до и после рассеяния, p_e — импульс электрона отдачи.

Задачи

10.1. Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda_0 = 70$ пм испытывают комптоновское рассеяние на парафине. Найти длину волны λ рентгеновских лучей, рассеянных в направлении $\varphi = \frac{\pi}{2}$ и кинетическую энергию отдачи электрона.

10.2. Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda_0 = 60$ пм испытывают комптоновское рассеяние на парафине. Найти длину волны λ рентгеновских лучей, рассеянных в направлении $\varphi = \pi$ и кинетическую энергию отдачи электрона.

10.3. Рентгеновские лучи с длиной волны $\lambda_0 = 20$ пм испытывают комптоновское рассеяние на парафине. Найти длину волны λ рентгеновских лучей, рассеянных в направлении $\varphi = \frac{\pi}{3}$ и кинетическую энергию отдачи электрона.

10.4. Какова была длина волны λ_0 рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии этого излучения графитом под углом $\varphi = 60^\circ$ длина волны рассеянного излучения оказалась $\lambda = 25,4$ пм? На сколько изменился импульс квантов этого излучения?

10.5. При комптоновском рассеянии энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Найти энергию и импульс рассеянного фотона. На сколько изменилась частота излучения после рассеяния?

10.6. Энергия рентгеновских лучей равна 0,6 МэВ. Найти энергию электрона отдачи, если длина волны рентгеновских лучей после комптоновского рассеяния изменилась на 20%.

10.7. Энергия электрона отдачи в результате комптоновского рассеяния равна 0,1 МэВ. Какова была энергия рентгеновских лучей, если длина волны излучения после рассеяния изменилась на 10%?

10.8. На сколько изменилась длина волны рентгеновского излучения после комптоновского рассеяния под углом $\varphi = 60^\circ$, если длина волны рассеянного излучения оказалась $\lambda = 25,4$ пм? Какова при этом энергия электрона отдачи?

10.9. При комптоновском рассеянии энергия падающего фотона распределяется между рассеянным фотоном и электроном отдачи в соотношении 1:3. Угол рассеяния $\varphi = \frac{\pi}{2}$. Найти энергию и импульс рассеянного фотона. Насколько изменилась длина волны излучения после рассеяния?

10.10. При комптоновском рассеянии энергия падающего фотона распределяется поровну между рассеянным фотоном и электроном отдачи. Угол рассеяния $\varphi = \frac{\pi}{3}$. Найти энергию и импульс падающего фотона, если энергия отдачи электрона равна 0,2 МэВ.

10.11. Энергия рентгеновских лучей равна 0,5 МэВ. Найти энергию электрона отдачи, если частота рентгеновских лучей после комптоновского рассеяния изменилась на 20%.

10.12. Энергия электрона отдачи в результате комптоновского рассеяния равна 0,1 МэВ. Каков был импульс квантов рентгеновских лучей, если длина волны излучения после рассеяния изменилась на 15%?

10.13. Энергия рентгеновских лучей равна 0,7 МэВ. Энергия электрона отдачи составляет 20% от энергии рентгеновских лучей. Под каким углом произошло комптоновское рассеяние?

10.14. Энергия электрона отдачи в результате комптоновского рассеяния равна 0,1 МэВ. На сколько изменился импульс квантов рентгеновских лучей, если длина волны излучения после рассеяния изменилась на 10%? Какова энергия рассеянных квантов?

10.15. В результате комптоновского рассеяния под углом $\varphi = \frac{\pi}{2}$ квант рентгеновского излучения приобрел импульс равный $0,95 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. Найти энергию отдачи электрона. Какова была частота излучения до рассеяния?

10.16. Под каким углом произошло комптоновское рассеяние, если энергия фотона распределилась поровну между электроном и фотоном отдачи. Какова энергия отдачи электрона, если импульс фотона до рассеяния составлял $10,5 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$?

10.17. Какова была длина волны λ_0 рентгеновского излучения, если при комптоновском рассеянии этого излучения графитом под углом $\varphi = 60^\circ$ энергия отдачи электрона равна 0,3 МэВ? На сколько изменился импульс квантов этого излучения?

10.18. Под каким углом произошло комптоновское рассеяние рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda_0 = 40$ пм, если энергия отдачи электрона равна 0,1 МэВ? На сколько изменилась частота излучения?

10.19. Энергия электрона отдачи в результате комптоновского рассеяния в направлении $\varphi = \frac{\pi}{4}$ составляет 0,2 МэВ, длина волны излучения после рассеяния изменилась на 20%. Какова энергия и импульс рассеянных квантов?

10.20. Фотоны рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 100$ пм испытывают комптоновского рассеяние на парафине под углом $\varphi = \frac{\pi}{4}$. Найти энергию отдачи электрона и импульс рассеянных фотонов.

11. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ

Длина волны де Бройля для частицы массой m , движущейся со скоростью v , определяется формулой

$$\lambda_B = \frac{h}{mv}.$$

Если скорость частицы v соизмерима со скоростью света c , то эта формула принимает вид

$$\lambda_B = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{h}{\sqrt{2Wm_0 + \frac{W^2}{c^2}}},$$

где m_0 – масса покоящейся частицы.

Задачи

11.1. Чему равна длина волны де Бройля для электрона с кинетической энергией в 24,6 эВ (энергия ионизации атома гелия)? Нужно ли учитывать волновые свойства вещества при изучении движения электронов в атоме гелия?

11.2. Чему равна длина волны де Бройля для α -частицы с кинетической энергией 7,7 МэВ? В опытах по резерфордскому рассеянию существенны расстояния порядка 10^{-13} м, однако при анализе опыта не учитывались волновые свойства α -частицы. Правильно ли это?

11.3. Чему равна при комнатной температуре (300 К) скорость нейтрона с кинетической энергией, равной $\frac{1}{2} kT$ (типичный «тепловой» нейтрон)? Чему равна для него длина волны де Бройля?

11.4. Сколько длин волн де Бройля укладывается на n -й боровской орбите атома водорода? Как зависит длина волны от номера орбиты и универсальных постоянных?

11.5. Как изменится длина волны де Бройля для электрона при переходе его с первой боровской орбиты на вторую орбиту в атоме водорода?

11.6. Найти длину волны де Бройля для электрона, движущегося прямолинейно в скрещенных электрическом и магнитном полях. Напряженности электрического и магнитного полей равны соответственно $E = 10$ кВ/м и $H = 80$ мкА/м.

11.7. В плоский воздушный конденсатор параллельно пластинам влетает электрон со скоростью $v_0 = 10^6$ м/с. Напряженность электрического поля конденсатора $E = 1,2$ кВ/м, длина пластин конденсатора $L = 20$ см. Как изменится длина волны де Бройля для электрона после его вылета из конденсатора?

11.8. Электрон, летящий со скоростью $v_0 = 10^6$ м/с, влетает в электрическое поле с напряженностью $E = 100$ в/м перпендикулярно силовым линиям. Какова будет длина волны де Бройля для электрона через время $t = 10^{-9}$ с?

11.9. Сравнить длины волн де Бройля, которые приобретут протон и альфа-частица, прошедшие однородном электрическом поле одинаковое расстояние вдоль силовых линий.

11.10. Протон и альфа-частица, имеющие одинаковую энергию $W_0 = 2,5$ кэВ, влетают в плоский конденсатор параллельно его пластинам. Сравните длины волн де Бройля для протона и альфа-частицы через время $t = 1$ мкс. Напряженность электрического поля конденсатора $E = 1$ кВ/м.

11.11. Протон влетел в однородное магнитное поле с напряженностью $H = 20$ мА/м и начал двигаться по окружности с радиусом $R = 3$ см. Найти длину волны де Бройля для протона.

11.12. Альфа-частица движется со скоростью $v_1 = 10^6$ м/с. Как изменится длина волны де Бройля для альфа-частицы при увеличении ее скорости до $v_2 = 2,7 \cdot 10^8$ м/с (0,9 скорости света)?

11.13. π^0 -мезон ($m_0 = 2,4 \cdot 10^{-28}$ кг) движется со скоростью $v = 0,8c = 2,4 \cdot 10^8$ м/с. Чему равна для него длина волны де Бройля? Полученный ответ сравните с вычислениями по классической механике.

11.14. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы его продольные размеры стали меньше в 2 раза? Какова будет при этом для протона длина волны де Бройля?

11.15. Фотоны с энергией $W = 4,9$ эВ вырывают электроны из металла с работой выхода $A = 4,5$ эВ. Каково минимальное значение длины волны де Бройля имеют эти электроны?

11.16. Найти минимальную длину волны де Бройля для электронов, вырываемых из калия светом с длиной волны $\lambda = 330$ нм. Работа выхода электронов из калия $A = 2$ эВ.

11.17. На сколько изменится длина волны де Бройля для электрона в атоме водорода при излучении фотона с длиной волны $\lambda = 486$ нм?

11.18. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля для протона после упругого центрального столкновения с неподвижным ядром изотопа ${}_{11}\text{Na}^{23}$?

11.19. При упругом центральном столкновении нейтрона с неподвижным ядром замедляющего вещества длина волны де Бройля для нейтрона увеличилась в 1,18 раза. Найти массу ядер замедляющего вещества.

11.20. Вычислить длину волны де Бройля для атомов гелия, энергия теплового движения которых достаточна для того, чтобы преодолеть земное притяжение и навсегда покинуть земную атмосферу.

12. СООТНОШЕНИЕ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ ГЕЙЗЕНБЕРГА

Соотношения неопределённостей Гейзенберга:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar,$$

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar,$$

где Δp_x – неопределённость проекции импульса на ось x , Δx – неопределённость значения координаты x , ΔE – неопределённость в значении энергии, Δt – длительность процесса измерения энергии.

Задачи

12.1. Оценить из соотношения неопределенностей линейные размеры атомов, полагая величину энергии, связанной с неопределенностью электронов в атоме, равной 10 эВ.

12.2. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области размером $l = 0,20$ нм.

12.3. Рассмотрим груз маятника массой в 10 г, движущийся со скоростью 3 м/с. Точность определения импульса p_x не превышает $10^{-4}\%$. Какое ограничение накладывает принцип неопределенности на одновременное определение координаты x ?

12.4. Рассмотреть возможность присутствия электронов в ядрах, используя соотношение неопределенностей (размеры ядра принять $\sim 10^{-13}$ см).

12.5. Электрон находится внутри сферической частицы объемом 10^{-6} см³ и имеет энергию 10 эВ. Найти минимальную относительную погрешность в определении скорости электрона.

12.6. Атом излучает фотон с длиной волны 800 нм. Известно, что время излучения Δt составляет 10^{-8} с. С какой точностью может быть локализован фотон в направлении своего движения? Оценить неточность $\Delta\lambda/\lambda$ в определении указанной длины волны, исходя из соотношения неопределенностей для энергии и времени.

12.7. Оценить из соотношения неопределенностей линейные размеры ядер, полагая величину энергии, связанной с неопределенностью нуклонов в ядрах 1 МэВ.

12.8. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию альфа-частицы, локализованной в области размером $l = 2$ нм.

12.9. Электроны в электронно-лучевой трубке ускоряются разностью потенциалов 1000 В. Скорость электрона может быть определена с точностью до десятых долей процента. Найти неточность в определении координаты в направлении скорости движения электрона.

12.10. Электроны в электронно-лучевой трубке ускоряются разностью потенциалов 1000 В. Неточность в определении координаты электрона в направлении скорости его движения составляет 3 микрона. С какой точностью можно определить скорость электрона?

12.11. Оценить из соотношения неопределенностей энергию электронов в атоме, считая размеры атома известными.

12.12. Оценить из соотношения неопределенностей энергию нуклонов в ядре, считая размеры ядра известными.

12.13. Найти неопределенность в определении координаты альфа-частицы, ускоренной разностью потенциалов 100 В, в направлении ее движения. Точность в определении разности потенциалов составляет 1 В.

12.14. Найти относительную погрешность в определении скорости электрона, прошедшего разность потенциалов 1000 В, если погрешность в определении координаты электрона в направлении скорости его движения составляет 4 микрона.

12.15. Электрон находится внутри сферической частицы объемом 10^{-6} см³. Найти относительную погрешность в определении энергии электрона.

12.16. Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимальную кинетическую энергию протона, локализованной в области размером $l = 2$ нм.

12.17. Нейтрон находится внутри сферической частицы объемом 10^{-6} см³. Найти относительную погрешность в определении энергии электрона.

12.18. Электрон находится внутри сферической частицы объемом 10^{-6} см³. Найти минимально возможную скорость электрона.

12.19. Нейтрон локализован внутри сферической частицы объемом 10^{-6} см³. Найти минимально возможное значение импульса нейтрона.

12.20. Найти неопределенность в определении координаты протона, прошедшего разность потенциалов 1000 В. Точность определения разности потенциалов составляет 10 В.

13. ЧАСТИЦА В ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЯМЕ.

Одномерное стационарное уравнение Шредингера для частицы в потенциальной яме с бесконечно высокими стенками имеет вид

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} E\psi(x) = 0,$$

где $\psi(x)$ – волновая функция частицы, m – масса частицы, E – полная энергия частицы.

Решением одномерного стационарного уравнения Шредингера для частицы в прямоугольной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками является волновая функция вида

$$\psi(x) = A \sin\left(\frac{n\pi}{l} x\right),$$

где A – постоянная, определяемая из условия нормировки ($\int_0^l |\psi(x)|^2 dx = 1$), n – целое число, l – ширина потенциальной ямы, x – координата частицы.

Вероятность W нахождения частицы в области $a_1 < x < a_2$ определяется уравнением

$$W = \int_{a_1}^{a_2} |\psi(x)|^2 dx.$$

Частица в одномерной потенциальной яме с шириной a с бесконечно высокими стенками находится в состоянии n .

Задание. Определить вероятность нахождения частицы в области $a_1 < x < a_2$, а также построить график зависимости плотности вероятности $|\psi^2(x)|$ от координаты x (табл. 2).

Таблица 2

№ варианта	n	a_1	a_2	№ варианта	n	a_1	a_2
1	1	$a/3$	$2a/3$	11	3	0	$a/3$
2	1	0	$a/3$	12	3	$a/3$	$2a/3$
3	1	$2a/3$	a	13	3	$a/3$	a
4	1	$a/4$	$3a/4$	14	3	$2a/3$	a
5	1	$a/2$	$3a/4$	15	3	$a/6$	$5a/6$
6	2	$a/8$	$5a/8$	16	4	0	$a/4$
7	2	$a/4$	$3a/4$	17	4	$a/4$	$a/2$
8	2	$3a/8$	$5a/8$	18	4	$a/4$	$3a/4$
9	2	$a/8$	$3a/8$	19	4	$3a/4$	a
10	2	$a/2$	$3a/4$	20	4	$3a/8$	$5a/8$

14. РАДИОАКТИВНОСТЬ

Закон радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 – начальное число атомов радиоактивного вещества, N – число атомов радиоактивного вещества по истечении времени t , $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$ – постоянная радиоактивного распада, $T_{1/2}$ – период полураспада.

Если период полураспада радиоактивного вещества много больше времени, в течение которого происходит распад ($T_{1/2} > t$), то количество распавшихся атомов ΔN можно определить по формуле

$$\Delta N = \lambda N_0 t.$$

Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов представлены в Приложении 6.

Число распадов, происходящих в препарате, содержащего N атомов, за единицу времени, называется активностью радиоактивного препарата

$$a = \lambda N.$$

Задачи

14.1. Известно, что 1 г урана ${}_{92}\text{U}^{238}$ в равновесии с продуктами его распада выделяет мощность $1,07 \cdot 10^{-7}$ Вт. Найти полное количество тепла, выделяемое одним молем урана за среднюю продолжительность жизни атомов урана.

14.2. В урановой руде обнаружен свинец ${}_{82}\text{Pb}^{206}$. Чему равен возраст урановой руды, если она теперь содержит 0,8 г свинца на каждый грамм ${}_{92}\text{U}^{238}$?

14.3. Известно, что 1 мг радона Rn_{86}^{222} выделяет около 70 кал/мин. Рассчитать полную энергию распада.

14.4. Показать, что 1 кюри = $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду есть активность 1 г ${}_{88}\text{Ra}^{226}$.

14.5. Радиоактивное вещество содержит 3 мг урана U_{92}^{235} . Какое количество урана останется через $1,5 \cdot 10^5$ лет?

14.6. Сколько процентов начального количества вещества актиния Ac^{225} распадается через 5 дней?

14.7. Сколько гелия выделяется в результате распада 1 г радия Ra_{88}^{226} в течение года?

14.8. Найти активность препарата P_{15}^{32} через 10, 30, 90 дней после его изготовления, если начальная активность 100 мКюри.

14.9. Определить возраст древних деревянных предметов, если известно, что удельная активность изотопа углерода C_6^{14} у них составляет $3/5$ удельной активности этого изотопа в только что срубленных деревьях.

14.10. В результате очистки получен концентрат, содержащий 10 массовых % U_{92}^{234} . Найти, как изменится массовая доля U_{92}^{234} в этом препарате через 10^5 лет.

14.11. Для исследований был изготовлен радиоактивный источник, содержащий, содержащий 1 г радиоактивного кальция Ca_{20}^{60} . Как изменится активность этого препарата через 10 месяцев?

14.12. Для исследования биологической ткани был использован препарат, содержащий 10^6 атомов радиоактивного натрия Na_{11}^{24} . Через какой интервал времени в исследуемой ткани останется не более 1% внесённых радиоактивных атомов натрия.

14.13. Первоначально имелось два радиоактивных препарата содержащих хром Cr_{24}^{91} и железо Fe_{26}^{59} с периодом полураспада 45 суток с одинаковой активностью. Сравнить их активность через 1 месяц.

14.14. Для медицинских исследований больному было введено 1 мг 10% раствора радиоактивного йода I_{53}^{132} . Найти и сравнить активность этого препарата в момент введения и через 20 минут.

14.15. Найти, какую массу радиоактивного кобальта Co_{27}^{60} необходимо взять, чтобы получить источник излучения по активности равный 10 г Ra_{92}^{226} .

14.16. Какая доля радиоактивных атомов кобальта Co_{27}^{60} распадётся за 1 месяц?

14.17. Активность некоторого радиоактивного изотопа уменьшается в 2,5 раза за 7 суток. Найти его период полураспада.

14.18. В начальный момент активность некоторого изотопа составляла 10,8 Бк. Какова будет его активность по истечении половины периода полураспада?

14.19. Определить период полураспада таллия, если известно, что через 100 дней его активность уменьшилась в 1,07 раза.

14.20. Радиоактивный препарат содержит 3 мг урана U_{92}^{235} . Через какое время активность данного препарата уменьшится вдвое?

15. СТРОЕНИЕ ЯДРА

Энергия связи ядра любого изотопа определяется соотношением

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

где Δm – разность между массой частиц, составляющих ядро, и массой самого ядра (дефект масс).

Дефект масс определяется по формуле

$$\Delta m = Z m_{\text{H}_1^1} + (A - Z) m_n - m_A,$$

где $m_{\text{H}_1^1}$ – масса изотопа водорода H_1^1 , m_A – масса данного изотопа, m_n – масса нейтрона, Z – порядковый номер изотопа в таблице Менделеева, A – массовое число.

Задание. Найти дефект массы (в кг и а.е.м.), а также полную и удельную энергии связи ядра (в Дж и МэВ).

Исходные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ варианта	Ядро	№ варианта	Ядро
1	Li_3^7	11	Co_{27}^{56}
2	Be_4^7	12	Cu_{29}^{63}
3	B_5^{10}	13	Cd_{48}^{112}
4	C_6^{12}	14	Hg_{80}^{200}
5	N_7^{13}	15	U_{92}^{235}
6	O_8^{17}	16	U_{92}^{238}
7	Mg_{12}^{24}	17	Be_4^8
8	Al_{13}^{27}	18	Li_3^6
9	Si_{14}^{30}	19	He_2^3
10	Ca_{20}^{40}	20	N_7^{14}

16. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Энергия, выделяющаяся (поглощающаяся) при ядерной реакции определяется по формуле

$$Q = c^2 \left(\sum m_1 - \sum m_2 \right),$$

где $\sum m_1$ – сумма масс частиц до реакции, $\sum m_2$ – сумма масс частиц после реакции. Если $\sum m_1 > \sum m_2$, то реакция идёт с выделением энергии ($Q > 0$), если же $\sum m_1 < \sum m_2$, то реакция идёт с поглощением энергии ($Q < 0$).

Массы некоторых изотопов представлены в Приложении 7.

Задание

1. Допишите уравнение реакции.
2. Определите количество теплоты, выделившееся в реакции (энергии реакции).
3. Какое количество воды можно нагреть от 0 °С до 100 °С, если в результате этой реакции взаимодействуют все ядра, содержащиеся в 10 г вещества, стоящего в уравнении первым.

Исходные данные представлены в табл. 4.

Таблица 4

№ варианта	Задание	№ варианта	Задание
1	$N_7^{14} + He_2^4 \rightarrow X + H_1^1$	11	$F_9^{19}(He_2^4, H_1^1)X$
2	$Al_7^{14} + He_2^4 \rightarrow X + n_0^1$	12	$Li_3^9(H_1^1, He_2^4)X$
3	$B_5^{10} + He_2^4 \rightarrow X + n_0^1$	13	$Al_{13}^{27}(H_1^1, He_2^4)X$
4	$Mg_{12}^{24} + He_2^4 \rightarrow X + n_0^1$	14	$D_1^2(D_1^2, H_1^1)X$
5	$Mo_{42}^{98} + H_1^2 \rightarrow X + n_0^1$	15	$D_1^2(D_1^2, n_0^1)X$
6	$Pu_{94}^{239} + He_2^4 \rightarrow X + H_0^1$	16	$H_1^1(n_0^1, \gamma)X$
7	$Es_{99}^{254} + He_2^4 \rightarrow X + n_0^1$	17	$Al_{13}^{27}(n_0^1, H_1^1)X$
8	$U_{92}^{238} + O_8^{16} \rightarrow X + 4n_0^1$	18	$Li_3^6(n_0^1, He_2^4)X$
9	$Pu_{94}^{238}(He_2^4, n_0^1)X$	19	$Pu_{94}^{238}(He_2^4, n_0^1)X$
10	$Be_4^9(He_2^4, n_0^1)X$	20	$Be_4^9(\gamma, n_0^1)X$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чертов, А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. – М.: Высшая школа, 1993.
2. Волькенштейн, В.С. Сборник задач по общему курсу физики / В.С. Волькенштейн. – М.: Физматгиз, 1996.
3. Фирганг, Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики: Учебное пособие для втузов / Е.В. Фирганг. – М.: Высшая школа, 1987.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Фундаментальные физические константы (с точностью, требуемой для решения задач)

Название	Обозначение	Величина
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$
Электрическая постоянная	ε_0	$8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Планка	\hbar	$1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	m_p	$1,6726485 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1,6749543 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Отношение массы протона к массе электрона	$\frac{m_p}{m_n}$	1836
Элементарный заряд	e	$1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Отношение заряда электрона к его массе	$\frac{e}{m_e}$	$1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
Атомная единица массы	1 а.е.м.	$1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Постоянная Стефана – Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$
Постоянная Ридберга	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$

Показатели преломления некоторых веществ

Вещество	Показатель преломления	Вещество	Показатель преломления
Алмаз	2,42	Мыльная плёнка	1,33
Вода	1,33	Скипидар	1,48
Лёд	1,31	Стекло (обычное)	1,5

Удельные сопротивления проводников

Вещество	Удельное сопротивление (при 0°С), мкОм·м	Вещество	Удельное сопротивление (при 0°С), мкОм·м
Алюминий	0,025	Нихром	100
Графит	0,039	Ртуть	0,94
Железо	0,087	Свинец	0,22
Медь	0,017	Сталь	0,10

Работа выхода электронов из металла

Металл	Работа выхода, эВ	Металл	Работа выхода, эВ
Вольфрам	4,5	Литий	2,4
Платина	5,3	Натрий	2,3
Серебро	4,74	Калий	2,0
Цезий	1,9	Цинк	4,0

Таблица Менделеева

№	Название	Обозначение	Атомная масса, а.е.м	№	Название	Обозначение	Атомная масса, а.е.м
1	Водород	H	1,0079	53	Йод	I	126,9045
2	Гелий	He	4,0026	54	Ксенон	Xe	131,30
3	Литий	Li	6,941	55	Цезий	Cs	132,9054
4	Бериллий	Be	9,01218	56	Барий	Ba	137,33

№	Название	Обозначение	Атомная масса, а.е.м	№	Название	Обозначение	Атомная масса, а.е.м
5	Бор	B	10,81	57	Лантан	La	138,9055
6	Углерод	C	12,011	58	Церий	Ce	140,12
7	Азот	N	14,0067	59	Празеодим	Pr	140,9077
8	Кислород	O	15,9994	60	Неодим	Nd	144,24
9	Фтор	F	18,998403	61	Прометий	Pm	144,9127
10	Неон	Ne	20,179	62	Самарий	Sm	150,4
11	Натрий	Na	22,98977	63	Европий	Eu	151,96
12	Магний	Mg	24,305	64	Гадолиний	Gd	157,25
13	Алюминий	Al	26,98154	65	Тербий	Tb	158,9254
14	Кремний	Si	28,0855	66	Диспрозий	Dy	162,50
15	Фосфор	P	30,97376	67	Гольмий	Ho	164,9304
16	Сера	S	32,06	68	Эрбий	Er	167,26
17	Хлор	Cl	35,453	69	Тулий	Tm	168,9342
18	Аргон	Ar	39,948	70	Иттербий	Yb	173,04
19	Калий	K	39,0983	71	Лютеций	Lu	174,967
20	Кальций	Ca	40,08	72	Гафний	Hf	178,49
21	Скандий	Sc	44,9559	73	Тантал	Ta	180,947
22	Титан	Ti	47,90	74	Вольфрам	W	183,85
23	Ванадий	V	50,9415	75	Рений	Re	186,207
24	Хром	Cr	51,996	76	Осмий	Os	190,2
25	Марганец	Mn	54,9380	77	Иридий	Ir	192,22
26	Железо	Fe	55,847	78	Платина	Pt	195,09
27	Кобальт	Co	58,9332	79	Золото	Au	196,9665
28	Никель	Ni	58,71	80	Ртуть	Hg	200,59
29	Медь	Cu	63,546	81	Таллий	Tl	204,37
30	Цинк	Zn	65,38	82	Свинец	Pb	207,2
31	Галлий	Ga	69,735	83	Висмут	Bi	208,9804
32	Германий	Ge	72,59	84	Полоний	Po	208,9824
33	Мышьяк	As	74,9216	85	Астат	At	209,9871
34	Селен	Se	78,96	86	Радон	Rn	222,0176
35	Бром	Br	79,904	87	Франций	Fr	223,0197
36	Криптон	Kr	83,80	88	Радий	Ra	220,254
37	Рубидий	Rb	85,467	89	Актиний	Ac	227,0278

№	Название	Обозначение	Атомная масса, а.е.м	№	Название	Обозначение	Атомная масса, а.е.м
38	Стронций	Sr	87,62	90	Торий	Th	231,0381
39	Иттрий	Y	88,9059	91	Протактиний	Pa	231,0359
40	Цирконий	Zr	91,22	92	Уран	U	238,029
41	Ниобий	Nb	92,9064	93	Нептуний	Np	237,0482
42	Молибден	Mo	95,94	94	Плутоний	Pu	244,0642
43	Технеций	Tc	98,9062	95	Америций	Am	243,0614
44	Рутений	Ru	101,07	96	Кюрий	Cm	247,0703
45	Родий	Rh	102,9055	97	Берклий	Bk	247,0703
46	Палладий	Pd	106,4	98	Калифорний	Cf	251,0796
47	Серебро	Ag	107,868	99	Эйнштейний	Es	252,083
48	Кадмий	Cd	112,41	100	Фермий	Fm	257,0951
49	Индий	In	114,82	101	Менделевий	Md	258,1
50	Олово	Sn	118,69	102	Нобелий	No	259,1009
51	Сурьма	Sb	121,75	103	Лоуренсий	Lr	262,11
52	Теллур	Te	127,60	104	Резерфордий	Rf	261,11

Приложение 6

Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов

Элемент	Период полураспада	Элемент	Период полураспада
Ca_{20}^{45}	164 сут.	Co_{27}^{60}	71,3 сут.
Sr_{38}^{90}	28 лет	P_{15}^{32}	15 сут.
Po_{84}^{210}	138 сут.	U_{92}^{235}	$7,1 \cdot 10^8$ лет
Rn_{86}^{222}	3,82 сут.	U_{92}^{238}	$4,5 \cdot 10^9$ лет
Ac_{89}^{225}	10 сут.	Ca_{20}^{60}	5,3 года
C_6^{14}	5570 лет	Cr_{24}^{91}	28 сут.
Na_{11}^{24}	15,4 сут.	I_{53}^{132}	8 сут.

Элемент	Период полураспада	Элемент	Период полураспада
Co_{27}^{56}	80 сут.	C_6^{11}	20 мин.
Fe_{26}^{59}	45 сут.	Be_4^7	$4,67 \cdot 10^6$ с.
P_{15}^{30}	130 с.	U_{92}^{234}	$2,5 \cdot 10^5$ лет

Массы некоторых изотопов

Изотоп	Масса, а.е.м.	Изотоп	Масса, а.е.м.	Изотоп	Масса, а.е.м.
H_1^1	1,00783	Be_4^9	9,01218	Al_{13}^{27}	26,98154
H_1^2	2,0141	F_9^{19}	18,998403	Si_{14}^{30}	29,97377
H_1^3	3,01605	B_5^{10}	10,01294	Ca_{20}^{40}	39,96257
He_2^3	3,01603	C_6^{12}	12,0	Co_{27}^{56}	55,93984
H_2^4	4,00260	N_7^{13}	13,00574	Cu_{29}^{63}	62,92960
Li_3^6	6,01512	N_7^{14}	14,00307	Cd_{48}^{112}	111,90276
Li_3^7	7,016	O_8^{17}	16,99913	Hg_{80}^{200}	199,96832
Be_4^7	7,01693	Mg_{12}^{23}	22,99413	U_{92}^{235}	235,04393
Be_4^8	8,00531	Mg_{12}^{24}	23,98504	U_{92}^{238}	238,05353

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Геометрическая оптика	5
2. Интерференция света	11
3. Дифракция света	14
4. Тепловое излучение	16
5. Фотоны	19
6. Закономерности спектров водородоподобных ионов	21
7. Теория Бора для одноэлектронных ионов	22
8. Магнитные свойства атома	24
9. Фотоэффект	26
10. Эффект Комптона	28
11. Волновые свойства частиц	31
12. Соотношение неопределённости Гейзенберга	33
13. Частица в потенциальной яме	34
14. Радиоактивность	35
15. Строение ядра	37
16. Ядерные реакции	38
Приложения	
Приложение 1. Фундаментальные физические константы	40
Приложение 2. Показатели преломления некоторых веществ	41
Приложение 3. Удельные сопротивления проводников	41
Приложение 4. Работа выхода электронов из металла	41
Приложение 5. Таблица Менделеева	41
Приложение 6. Периоды полураспада некоторых радиоактивных элементов	43
Приложение 7. Массы некоторых изотопов	44