

Министерство образования и науки Российской Федерации

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт)

А.В. Благин

Т.А.Аскарян

А.И.Попов

ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ

Часть 3

Учебное пособие к практическим занятиям и
выполнению индивидуальных домашних
заданий по физике для студентов дневной
формы обучения

Новочеркасск 2006

ББК 22.3
УДК 530.1 (075.8)
Б

Рецензенты:

доктор физ.-мат. наук, проф. Л.С.Лунин
канд. физ.-мат. наук, доц. Е.И.Киреев

Благин А.В., Аскарян Т.А., Попов А.И.

Задачи по физике. Учебное пособие к практическим занятиям и выполнению индивидуальных домашних заданий по физике / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. – 48 с.

Пособие написано с учетом требований Государственных образовательных стандартов для студентов технических специальностей высших учебных заведений, изучающих физику в течение 3-х семестров. Главное внимание уделено методическим рекомендациям и пояснениям к решению заданий.

УДК 530.1 (075.8)

©Южно-Российский государственный
технический университет, 2006

© Благин А.В., Аскарян Т.А., Попов А.И., 2006

ОГЛАВЛЕНИЕ

Колебания

§17. Механические и электромагнитные колебания	4
--	---

Оптика

§18. Геометрическая оптика	13
§19. Интерференция света	17
§20. Дифракция света	22
§21. Поляризация света.	25

Квантово-оптические явления

§22. Законы теплового излучения	28
§23. Фотоэлектрический эффект. Давление света. Эффект Комптона ...	32

Физика атома и атомного ядра

§24. Атом водорода по теории Бора. Рентгеновское излучение	36
§24. Радиоактивность. Дефект массы и энергия связи атомных ядер.	
Ядерные реакции	39
ПРИЛОЖЕНИЯ	48

КОЛЕБАНИЯ

§17. Механические и электромагнитные колебания.

Основные формулы

Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки записывается в виде

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

где x – смещение; A – амплитуда колебаний; ω – круговая или циклическая частота; φ – начальная фаза.

Мгновенная скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, равна

$$V = -A\omega \sin(\omega t + \varphi).$$

Мгновенное ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания, определяется формулой

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi).$$

При сложении гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты амплитуда результирующего колебания равна

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

где A_1 и A_2 – амплитуды складываемых колебаний; φ_1 и φ_2 – начальные фазы складываемых колебаний.

Начальная фаза результирующего колебания равна

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}.$$

Траектория точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях ($x = A_1 \cos \omega t$; $y = A_2 \cos(\omega t + \varphi)$), определяется уравнениями:

а) $y = \frac{A_2}{A_1}x$, если разность фаз $\varphi = 0$;

б) $y = -\frac{A_2}{A_1}x$, если разность фаз $\varphi = \pm\pi$;

в) $\frac{x^2}{A_1^2} + \frac{y^2}{A_2^2} = 1$, если разность фаз $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$.

Дифференциальное уравнение гармонических колебаний материальной точки

$$x'' + \omega^2 x = 0$$

Полная энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания, определяется формулами

$$E = \frac{mA^2\omega^2}{2} = \frac{kA^2}{2}.$$

Период колебаний тела, подвешенного на пружине (пружинный маятник), равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где m — масса тела; k — жесткость пружины.

Период колебаний математического маятника определяется формулой

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

где l — длина маятника; g — ускорение свободного падения. Период колебаний физического маятника равен

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{ga}} = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mga}},$$

где J — момент инерции колеблющегося тела относительно оси колебаний; a — расстояние центра масс маятника от оси колебаний; $L=J/(mga)$ — приведенная длина физического маятника.

Энергия W магнитного поля, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью L , определяется формулой

$$W = \frac{LI^2}{2}$$

где I — сила тока в контуре.

Период собственных колебаний в контуре без активного сопротивления вычисляется по формуле Томсона

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

где L — индуктивность контура; C — его емкость.

Связь длины λ электромагнитной волны с периодом T и частотой ν колебаний

$$\lambda = cT = c/\nu,$$

где c — скорость электромагнитных волн в вакууме.

Задачи

17.1. Уравнение колебаний точки имеет вид $x = A \cos \omega(t + \tau)$, где $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$, $\tau = 0,2 \text{ с}$. Определить период T и начальную фазу φ колебаний.

17.2. Определить период T , частоту ν и начальную фазу φ колебаний, заданных уравнением $x = A \sin \omega(t + \tau)$, где $\omega = 2,5\pi \text{ с}^{-1}$, $\tau = 0,4 \text{ с}$.

17.3. Точка совершает колебания по закону $x = A \cos(\omega t + \varphi)$, где $A = 2 \text{ см}$; $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$; $\varphi = \pi/4 \text{ рад}$. Построить графики зависимости от времени: 1) смещения $x(t)$; 2) скорости $x'(t)$; 3) ускорения $x''(t)$.

17.4. Точка совершает колебания с амплитудой $A = 4 \text{ см}$ и периодом $T = 2 \text{ с}$. Написать уравнение этих колебаний, считая, что в момент $t = 0$ смещение $x(0) = 0$ и $x'(0) < 0$. Определить фазу $(\omega t + \varphi)$ для двух моментов времени: 1) когда смещение $x = 1 \text{ см}$ и $x > 0$; 2) когда скорость $x' = -6 \text{ см/с}$ и $x < 0$.

17.5. Точка равномерно движется по окружности против часовой стрелки с периодом $T = 6 \text{ с}$. Диаметр d окружности равен 20 см . Написать уравнение движения проекции точки на ось x , проходящую через центр окружности, если в момент времени, принятый за начальный, проекция на ось x равна нулю. Найти смещение x , скорость x' и ускорение x'' проекции точки в момент $t = 1 \text{ с}$.

17.6. Определить максимальные значения скорости $x'_{\max}$ и ускорения $x''_{\max}$ точки, совершающей гармонические колебания с амплитудой $A = 3 \text{ см}$ и угловой частотой $\omega = \pi/2 \text{ с}^{-1}$.

17.7. Точка совершает колебания по закону $x = A \cos \omega t$, где $A = 5 \text{ см}$; $\omega = 2 \text{ с}^{-1}$. Определить ускорение $|x''|$ точки в момент времени, когда ее скорость $x' = 8 \text{ см/с}$.

17.8. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение $x_{\max}$ точки равно 10 см , наибольшая скорость $x'_{\max} = 20 \text{ см/с}$. Найти угловую частоту ω колебаний и максимальное ускорение $x''_{\max}$ точки.

17.9. Максимальная скорость $x'_{\max}$ точки, совершающей гармонические колебания, равна 10 см/с , максимальное ускорение

$x''_{\max} = 100 \text{ см/с}^2$. Найти угловую частоту ω колебаний, приняв начальную фазу равной нулю.

17.10. Точка совершает колебания по закону $x = A \sin \omega t$. В некоторый момент времени смещение x_1 точки оказалось равным 5 см. Когда фаза колебаний увеличилось вдвое, смещение x_2 стало равным 8 см. Найти амплитуду A колебаний.

17.11. Колебания точки происходят по закону $x = A \cos(\omega t + \varphi)$. В некоторый момент времени смещение x точки равно 5 см, ее скорость $x' = 20 \text{ см/с}$ и ускорение $x'' = -80 \text{ см/с}^2$. Найти амплитуду A , угловую частоту ω , период T колебаний и фазу $(\omega t + \varphi)$ в рассматриваемый момент времени.

17.12. Точка совершает гармонические колебания вдоль некоторой прямой с периодом $T = 0,6 \text{ с}$ и амплитудой $A = 10 \text{ см}$. Найти среднюю скорость точки за время, в течение которого она проходит путь $A/2$: а) из крайнего положения; б) из положения равновесия.

17.13. Грузик массой $m = 250 \text{ г}$, подвешенный к пружине, колеблется по вертикали с периодам $T = 1 \text{ с}$. Определить жесткость k пружины.

17.14. К спиральной пружине подвесили грузик, в результате чего пружина растянулась на $x = 9 \text{ см}$. Каков будет период T колебаний грузика, если его немного оттянуть вниз и затем отпустить?

17.15. Гирия, подвешенная к пружине, колеблется по вертикали с амплитудой $A = 4 \text{ см}$. Определять полную энергию E колебаний гири, если жесткость k пружины равна 1 кН/м .

17.16. Найти отношение длин двух математических маятников, если отношение периодов их колебаний равно 1,5.

17.17. Математический маятник длиной $l = 1 \text{ м}$ установлен в лифте. Лифт поднимается с ускорением $a = 2,5 \text{ м/с}^2$. Определить период T колебаний маятника.

17.18. На концах тонкого стержня длиной $l = 30 \text{ см}$ укреплены одинаковые грузики по одному на каждом конце. Стержень с грузиками колеблется около горизонтальной оси, проходящей через точку, на $d = 10 \text{ см}$ от одного из концов стержня. Определить приведенную длину L и период T колебаний такого физического маятника. Массой стержня пренебречь.

17.19. На стержне длиной $l=30$ см укреплены два одинаковых грузика: один — в середине стержня, другой — на одном из его концов. Стержень с грузиком колеблется около горизонтальной оси, проходящей через свободный конец стержня. Определить приведенную длину L и период T колебаний такой системы. Массой стержня пренебречь.

17.20. Тонкий обруч, повешенный на гвоздь, вбитый горизонтально в стену, колеблется в плоскости, параллельной стене. Радиус R обруча равен 30 см. Вычислить период T колебаний обруча.

17.21. Однородный диск радиусом $R=30$ см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через одну из образующих цилиндрической поверхности диска. Каков период T его колебаний?

17.22. Диск радиусом $R=24$ см колеблется около горизонтальной оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Определить приведенную длину L и период T колебаний такого маятника.

17.23. Математический маятник длиной $l_1=40$ см и физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной $l_2=60$ см синхронно колеблются около одной и той же горизонтальной оси. Определить расстояние a центра масс стержня от оси колебаний.

17.24. Физический маятник в виде тонкого прямого стержня длиной $l=120$ см колеблется около горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно стержню через точку, удаленную на некоторое расстояние a от центра масс стержня. При каком значении a период T колебаний имеет наименьшее значение?

17.25. Ареометр массой $m=50$ г, имеющий трубку диаметром $d=1$ см, плавает в воде. Ареометр немного погрузили в воду и затем предоставили самому себе, в результате чего он стал совершать гармонические колебания. Найти период T этих колебаний.

17.26. В открытой с обоих концов U-образной трубке с площадью поперечного сечения $S=0,4$ см² имеется ртуть массой $m=200$ г. Определить период T колебаний ртути в трубке.

17.27. То же, что и в предыдущей задаче, но одно колено трубки составляет угол $\alpha = 30^\circ$ с вертикалью.

17.28. Набухшее бревно, сечение которого постоянно по всей длине, погрузилось вертикально в воду так, что над водой находится лишь малая (по сравнению с длиной) его часть. Период T колебаний бревна равен 5 с. Определить длину l бревна.

17.29. Найти период малых поперечных колебаний шарика массы $m = 40$ г, укрепленного на середине натянутой струны длины $l = 1,0$ м. Силу натяжения струны считать постоянной и равной $F = 10$ Н. Массой струны и силами тяжести пренебречь.

17.30. Определить период малых колебаний шарика, подвешенного на нерастяжимой нити длины $l = 20$ см, если он находится в идеальной жидкости, плотность которой в 3 раза меньше плотности шарика.

17.31. Как и во сколько раз изменится частота вертикальных колебаний шарика, висящего на двух одинаковых пружинках, если их последовательное соединение заменить параллельным?

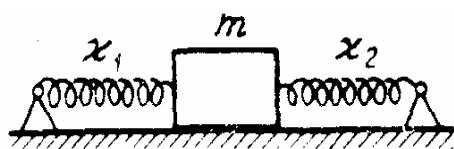


Рис. 17.1



Рис. 17.2

17.32. Определить период малых продольных колебаний тела массы m в системе (рис. 3.5), если жесткости пружин равны k_1 и k_2 , а трение пренебрежимо мало. В положении равновесия можно считать, что пружинки не деформированы.

17.33. Однородный стержень положили на два быстро вращающихся блока, как показано на рис. 3.7. Расстояние между осями блоков $l = 20$ см, коэффициент трения между стержнем и блоками $\mu = 0,18$. Показать, что стержень будет совершать гармонические колебания. Найти их период.

17.34. Небольшой брусок начинает скользить по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Коэффициент трения зависит от пройденного пути S по закону $\mu = aS$, где a - постоянная. Найти время движения бруска.

17.35 Представим себе шахту, пронизывающую Землю по ее оси вращения. Считая Землю за однородный шар и пренебрегая сопротивлением воздуха, найти: а) уравнение движения тела, упавшего в шахту; б) время, которое понадобится этому телу, чтобы достичь противоположного конца шахты; в) скорость тела в центре Земли.

17.36 Найти период малых колебаний математического маятника длины l , если его точка подвеса движется относительно поверхности Земли с постоянным ускорением a так, что угол между векторами a и g равен α .

17.37. Доска с лежащим на ней бруском совершает горизонтальные гармонические колебаний с амплитудой $A = 10$ см. Найти коэффициент трения между доской и бруском, если последний начинает скользить по доске, когда ее период колебаний меньше $T = 1$ с.

17.38. Тело массы $m = 0,5$ кг висит на резиновом шнуре с коэффициентом упругости $k = 50$ Н/м. Найти максимальное расстояние, на которое можно оттянуть вниз тело, чтобы его колебания еще были бы гармоническими.

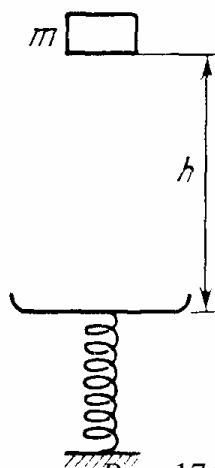


Рис. 17.3

17.39. Тело массы m упало с высоты h на чашку пружинных весов (рис. 17.3). Массы чашки и пружины пренебрежимо малы, жесткость последней k . Прилипнув к чашке, тело начинает совершать гармонические колебания в вертикальном направлении. Найти амплитуду колебаний.

17.40 В условиях предыдущей задачи масса чашки равна M . Найти амплитуду колебаний в этом случае.

17.40. На нити висят два одинаковых шарика (один под другим), соединенные между собой пружиной. Масса каждого шарика m , растяжение пружинки равно ее длине l в недеформированном состоянии. Нить пережгли. Найти скорость центра масс этой системы в момент, когда длина пружинки первый раз станет равной l .

17.41. Однородный стержень длины l совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной

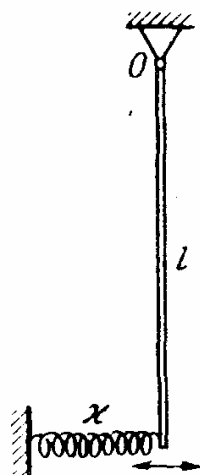


Рис. 17.4

стержню и проходящей через его верхний конец. Найти период колебаний. Трения нет.

17.42. Найти круговую частоту малых колебаний тонкого однородного стержня массы m и длины l вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O (рис. 17.4). Жесткость пружины k . В положении равновесия стержень вертикален.



Рис. 17.5

17.43. Однородный стержень массы m совершает малые колебания вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O (рис. 17.5). Правый конец стержня подвешен на пружине жесткости k . Найти период колебаний стержня, если в положении равновесия он горизонтален.

17.44. Катушка индуктивностью $L = 1 \text{ мГн}$ и воздушный конденсатор, состоящий из двух круглых пластин диаметром $D = 20 \text{ см}$ каждая, соединены параллельно. Расстояние d между пластинами равно 1 см . Определить период T колебаний.

17.45. Конденсатор электроемкостью $C = 500 \text{ пФ}$ соединен параллельно с катушкой длиной $l = 40 \text{ см}$ и площадью S сечения, равной 5 см^2 . Катушка содержит $N = 1000$ витков. Сердечник немагнитный. Найти период T колебаний.

17.46. Колебательный контур имеет индуктивность $L = 1,6 \text{ мГн}$, электроемкость $C = 0,04 \text{ мкФ}$ и максимальное напряжение U_{max} на зажимах, равное 200 В . Определить максимальную силу тока I_{max} в контуре. Сопротивление контура ничтожно мало.

17.47. Колебательный контур содержит конденсатор электроемкостью $C = 8 \text{ пФ}$ и катушку индуктивностью $L = 0,5 \text{ мГн}$. Каково максимальное напряжение U_{max} на обкладках конденсатора, если максимальная сила тока $I_{\text{max}} = 40 \text{ мА}$?

17.48. Индуктивность L колебательного контура равна $0,5 \text{ мГн}$. Какова должна быть электроемкость C контура, чтобы он резонировал на длину волны $\lambda = 300 \text{ м}$?

17.49. На какую длину волны λ будет резонировать контур, состоящий из катушки индуктивностью $L=4\text{мкГн}$ и конденсатора емкостью $C=1,1\text{нФ}$?

17.50. Небольшой шарик массы $m=21\text{г}$, подвешенный на нерастяжимой изолирующей нити на высоте $h = 12\text{ см}$ от горизонтальной проводящей плоскости, совершает малые колебания. После того как ему сообщили заряд q , период колебаний изменился в 2 раза. Найти q .

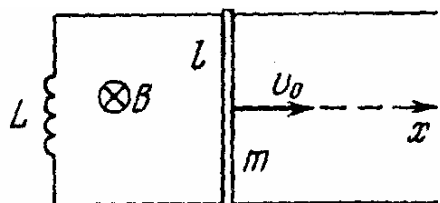


Рис. 17.6

17.51. Контур (рис. 17.6) образован двумя параллельными проводниками, замыкающим их соленоидом с индуктивностью L и проводящим стержнем массы m , который может без трения скользить по проводникам.

Проводники расположены в горизонтальной плоскости в однородном вертикальном магнитном поле с индукцией B . Расстояние между проводниками l . В момент $t=0$ стержню сообщили начальную скорость v_0 . Найти закон его движения $x(t)$. Сопротивление контура пренебрежимо мало.

17.52. В контуре, состоящем из конденсатора емкости C и катушки индуктивности L , совершаются свободные незатухающие колебания, при которых амплитуда напряжения на конденсаторе равна U_m . Найти связь между током I в контуре и напряжением U на конденсаторе.

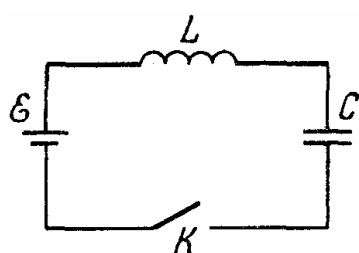


Рис. 17.7

17.53. Найти максимальный ток в цепи (рис. 17.7) и максимальное напряжение на конденсаторе после замыкания ключа K . Активное сопротивление цепи пренебрежимо мало.

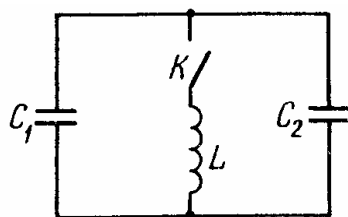


Рис. 17.8

17.54. В колебательном контуре (рис. 17.8) индуктивность катушки $L= 2,5\text{ мГн}$, а емкости конденсаторов $C_1 = 2,0\text{ мкФ}$ и $C_2 = 3,0\text{ мкФ}$. Конденсаторы зарядили до напряжения $U=180\text{В}$ и замкнули ключ K . Найти: а) период собственных колебаний; б) амплитудное значение тока через катушку.

ОПТИКА

§18. Геометрическая оптика.

Основные формулы

Законы геометрической оптики:

1) *закон отражения света*: угол падения α равен углу отражения β , причем падающий и отраженный лучи лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения;

2) *закон преломления света* имеет вид

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

где α – угол падения; γ – угол преломления; n_{21} – относительный показатель преломления;

Закон полного отражения выражается соотношением

$$\sin \alpha_{np} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad (n_2 < n_1),$$

где α_{np} – предельный угол полного отражения света от границы двух веществ с показателями преломления n_1 и n_2 .

Формула тонкой линзы имеет вид

$$\pm \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f} = \pm \frac{1}{F},$$

где d – расстояние от предмета до линзы; f – расстояние от линзы до изображения; F – фокусное расстояние линзы. Слагаемое $\frac{1}{d}$ берется с плюсом, если предмет действительный, и с минусом, если предмет мнимый. Слагаемое $\frac{1}{f}$ берется с плюсом, если изображение действительное, и с минусом, если изображение мнимое. Величина $\frac{1}{F}$ берется с плюсом, если линза собирающая, и с минусом, если линза рассеивающая.

Оптическая сила D тонкой линзы равна

$$D = \frac{1}{F} = \left(\frac{n_l}{n_{cp}} - 1 \right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right),$$

где n_l и n_{cp} – показатели преломления линзы и среды, в которой она находится; R_1 и R_2 – радиусы кривизны поверхностей, ограничивающих

линзу. Радиусы выпуклых поверхностей берутся со знаком плюс, вогнутых — со знаком минус.

Задачи

18.1. Два плоских прямоугольных зеркала образуют двугранный угол $\varphi = 179^\circ$. На расстоянии $l = 10$ см от линии соприкосновения зеркал и на одинаковом расстоянии от каждого зеркала находится точечный источник света. Определить расстояние d между мнимыми изображениями источника в зеркалах.

18.2. При каком значении угла падения α луч, отраженный от поверхности воды, будет перпендикулярен преломленному лучу?

18.3. На краю бассейна стоит человек и наблюдает камень, лежащий на дне. Глубина бассейна h . На каком расстоянии от поверхности воды видно изображение камня, если луч зрения составляет с нормалью к поверхности воды угол α ?

18.4. На столе лежит лист бумаги. Луч света, падающий на бумагу под углом $\alpha = 30^\circ$, дает на ней светлое пятно. Насколько сместится это пятно, если на бумагу положить плоскопараллельную стеклянную пластину толщиной $d = 5$ см?

18.5. Луч падает под углом $\alpha = 60^\circ$ на стеклянную пластинку толщиной $d = 30$ мм. Определить боковое смещение Δx луча после выхода из пластинки.

18.6. Пучок параллельных лучей падает на толстую стеклянную пластину под углом $\alpha = 60^\circ$, и, преломляясь, переходит в стекло. Ширина a пучка в воздухе равна 10 см. Определить ширину b пучка в стекле.

18.7. Луч света переходит из среды с показателем преломления n_1 в среду с показателем преломления n_2 . Показать, что если угол между отраженным и преломленным лучами равен $\pi/2$, то выполняется условие $\operatorname{tg} \varepsilon_1 = n_2 / n_1$ (ε_1 — угол падения).

18.8. Луч света падает на грань призмы с показателем преломления n под малым углом. Показать, что если

преломляющий угол θ призмы мал, то угол отклонения σ лучей призмой не зависит от угла падения и равен $\theta(n-1)$.

18.9. На стеклянную призму с преломляющим углом $\theta = 60^\circ$ падает луч света. Определить показатель преломления n стекла, если при симметричном ходе луча в призме угол отклонения $\sigma = 40^\circ$.

18.10. Преломляющий угол θ стеклянной призмы равен 30° . Луч света падает на грань призмы перпендикулярно ее поверхности и выходит в воздух из другой грани, отклоняясь на угол $\sigma = 20^\circ$ от первоначального направления. Определить показатель преломления n стекла.

18.11. На грань стеклянной призмы с преломляющим углом $\theta = 60^\circ$ падает луч света под углом $\varepsilon_1 = 45^\circ$. Найти угол преломления ε_2 луча при выходе из призмы и угол отклонения σ луча от первоначального направления.

18.12. Линза, расположенная на оптической скамье между лампочкой и экраном, дает на экране резкое увеличенное изображение лампочки. Когда лампочку передвинули на $\Delta l = 40$ см ближе к экрану, на нем появилось резкое уменьшенное изображение лампочки. Определить фокусное расстояние F линзы, если расстояние l от лампочки до экрана равно 80 см.

18.13. Тонкая собирающая линза с фокусным расстоянием $F=25$ см проецирует изображение предмета на экран, отстоящий от линзы на $l = 5$ м. Экран придвинули к линзе на $\Delta l = 18$ см. На сколько сантиметров следует переместить предмет, чтобы опять получить четкое изображение его на экране?

18.14. Источник света находится на $l = 90$ см от экрана. Тонкая собирающая линза, помещенная между источником света и экраном, дает четкое изображение источника при двух ее положениях. Найти фокусное расстояние линзы, если: а) расстояние между обоими положениями $\Delta l = 30$ см; б) поперечные размеры изображения при одном положении линзы в 4 раза больше, чем при другом.

18.15. Между предметом и экраном поместили тонкую собирающую линзу. Перемещением линзы нашли два положения, при которых на экране образуется четкое

изображение предмета. Найти поперечный размер предмета, если при одном положении линзы размер изображения $h_1 = 2$ мм, а при другом $h_2 = 4,5$ мм.

18.16. Каково наименьшее возможное расстояние l между предметом и его действительным изображением, создаваемым собирающей линзой с главным фокусным расстоянием $F = 12$ см?

18.17. Человек движется вдоль главной оптической оси линзы со скоростью $v = 5$ м/с. С какой скоростью u будет перемещаться его изображение, когда человек находился на расстоянии $a = 10$ м от линзы? Фокусное расстояние F линзы равно 20 см.

18.18. Из стекла требуется изготовить плосковыпуклую линзу, оптическая сила D которой равна 5 дптр. Определить радиус R кривизны выпуклой поверхности линзы.

18.19. Двояковыпуклая стеклянная линза имеет одинаковые радиусы кривизны поверхностей. При каком радиусе кривизны R поверхностей линзы главное фокусное расстояние F ее будет равно 20 см?

18.20. Отношение k радиусов кривизны поверхностей стеклянной линзы равно 2. При каком радиусе кривизны R выпуклой поверхности оптическая сила D линзы равна 10 дптр?

18.21. Двояковыпуклая линза изготовлена из стекла, показатель преломления которого для красных лучей $n_k = 1,50$, для фиолетовых $n_\phi = 1,52$. Радиусы кривизны R обеих поверхностей линзы одинаковы и равны 1 м. Определить расстояние Δl между фокусами линзы для красных и фиолетовых лучей.

18.22. Определить фокусное расстояние F плосковыпуклой стеклянной линзы, диаметр d которой равен 10 см. Толщина h в центре линзы равна 1 см, толщину у краев можно принять равной нулю.

18.23. Фокусное расстояние F собирающей линзы в воздухе равно 10 см. Определить, чему оно равно: 1) в воде; 2) в коричном масле.

18.24. У стеклянной линзы, находящейся в воздухе, фокусное расстояние $F_1 = 5$ см, а погруженной в раствор сахара $F_2 = 35$ см. Определить показатель преломления n раствора.

18.25. Тонкая линза, помещенная в воздухе, обладает

оптической силой $D_1 = 5$ дптр, а в некоторой жидкости $D_2 = -0,48$ дптр. Определить показатель преломления n_2 жидкости, если показатель преломления n_1 стекла, из которого изготовлена линза, равен 1,52.

§19. Интерференция света

Основные формулы

Скорость света в среде равна

$$V = c / n,$$

где c – скорость света в вакууме; n – показатель преломления среды.

Оптическая длина пути световой волны определяется по формуле

$$L = nl,$$

где l – геометрическая длина пути луча в среде с показателем преломления n .

Оптическая разность хода двух лучей равна

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Оптическая разность хода Δ световых волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей тонкой плоскопараллельной пластинки или пленки с показателем преломления n , находящейся в воздухе, равна

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon_1} + \lambda / 2,$$

где d – толщина пластинки (пленки); ε_1 – угол падения; λ – длина волны света.

Связь разности фаз $\Delta\varphi$ с оптической разностью хода Δ имеет вид

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta,$$

где λ – длина световой волны.

Условие максимумов интенсивности света при интерференции имеет вид

$$\Delta = \pm k\lambda,$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Условие минимумов интенсивности света при интерференции имеет вид

$$\Delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2},$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$

Радиусы светлых колец Ньютона в отраженном свете (или темных в проходящем) равны

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

где k – номер кольца ($k = 1, 2, 3, \dots$); R – радиус кривизны линзы.

Радиус темных колец Ньютона в отраженном свете (или светлых в проходящем) равны

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

Задачи

19.1. Сколько длин волн монохроматического света с частотой колебаний $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц уложится на пути длиной $l = 1,2$ мм: 1) в вакууме; 2) в стекле?

19.2. Определить длину l_1 отрезка, на котором укладывается столько же длин волн в вакууме, сколько их укладывается на отрезке $l_2 = 3$ мм в воде.

19.3. Какой длины l_1 путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной $l_2 = 1$ м в воде?

19.4. На пути световой волны, идущей в воздухе, поставили стеклянную пластинку толщиной $h = 1$ мм. На сколько изменится оптическая длина пути, если волна падает на пластинку: 1) нормально; 2) под углом $\varepsilon = 30^\circ$?

19.5. На пути монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм находится плоскопараллельная стеклянная пластина толщиной $d = 0,1$ мм. Свет падает на пластину нормально. На какой угол φ следует повернуть пластину, чтобы оптическая длина пути L изменилась на $\lambda/2$?

19.6. Оптическая разность хода Δ двух интерферирующих волн монохроматического света равна $0,3\lambda$. Определить разность фаз $\Delta\varphi$.

19.7. Найти все длины волн видимого света (от 0,76 до 0,38 мкм), которые будут: 1) максимально усилены; 2) максимально ослаблены при оптической разности хода Δ интерферирующих волн, равной 1,8 мкм.

19.8. Расстояние d между двумя когерентными источниками света ($\lambda = 0,5$ мкм) в опыте Юнга равно 0,1 мм. Расстояние b между интерференционными полосами на экране в средней части интерференционной картины равно 1 см. Определить расстояние l от источников до экрана.

19.9. Расстояние d между двумя щелями в опыте Юнга равно 1 мм, расстояние l от щелей до экрана равно 3 м. Определить длину волны λ , испускаемой источником монохроматического света, если ширина b полос интерференции на экране равна 1,5 мм.

19.10. Плоская световая волна падает на бисеркала Френеля, угол между которыми $\varphi = 2'$. Определить длину волны света, если ширина интерференционной полосы на экране $\Delta x = 0,55$ мм.

19.11. Плоская монохроматическая световая волна падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, отстоящими друг от друга на $d = 2,5$ мм. На экране, расположенном за диафрагмой на $l = 100$ см, образуется система интерференционных полос. На какое расстояние и в какую сторону сместятся эти полосы, если одну из щелей перекрыть стеклянной пластинкой толщины $h = 10$ мкм?

19.12. Плоскопараллельная стеклянная пластинка толщиной $d = 1,2$ мкм и показателем преломления $n = 1,5$ помещена между двумя средами с показателями преломления n_1 и n_2 . Свет с длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм падает нормально на пластинку. Определить оптическую разность хода Δ волн, отраженных от верхней и нижней поверхностей пластинки, и указать, усиление или ослабление интенсивности света происходит при интерференции в следующих случаях: 1) $n_1 < n < n_2$; 2) $n_1 > n > n_2$; 3) $n_1 < n > n_2$; 4) $n_1 > n < n_2$.

19.13. На мыльную пленку ($n = 1,3$), находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине d пленки отраженный свет с длиной волны

$\lambda = 0,55$ мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции?

19.14. Пучок монохроматических ($\lambda = 0,6$ мкм) световых волн падает под углом $\varepsilon_1 = 30^\circ$ на находящуюся в воздухе мыльную пленку ($n = 1,3$). При какой наименьшей толщине d пленки отраженные световые волны будут: 1) максимально ослаблены интерференцией; 2) максимально усилены интерференцией?

19.15. Найти минимальную толщину пленки с показателем преломления 1,33, при которой свет с длиной волны 0,64 мкм испытывает максимальное отражение, а свет с длиной волны 0,4 мкм не отражается совсем. Угол падения света равен 30° .

19.16. На тонкий стеклянный клин ($n = 1,55$), находящийся в воздухе, падает нормально монохроматический свет. Двугранный угол α между поверхностями клина равен $2'$. Определить длину световой волны λ , если расстояние b между соседними интерференционными максимумами в отраженном свете равно 0,3 мм.

19.17. Поверхности стеклянного клина образуют между собой угол $\theta = 0,2'$. На клин нормально к его поверхности падает пучок лучей монохроматического света с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм. Определить ширину b интерференционной полосы.

19.18. Между двумя плоскопараллельными стеклянными пластинками положили очень тонкую проволочку, расположенную параллельно линии соприкосновения пластинок и находящуюся на расстоянии $l = 75$ мм от нее. В отраженном свете ($\lambda = 0,5$ мкм) на верхней пластинке видны интерференционные полосы. Определить диаметр d поперечного сечения проволочки, если на протяжении $a = 30$ мм насчитывается $m = 16$ светлых полос.

19.19. Две плоскопараллельные стеклянные пластинки образуют клин с углом $\theta = 30''$. Пространство между пластинками заполнено глицерином. На клин нормально к его поверхности падает пучок монохроматического света с длиной волны $\lambda = 500$ нм. В отраженном свете наблюдается интерференционная картина. Какое число N темных интерференционных полос приходится на 1 см длины клина?

19.20. Расстояние между вторым и первым темным кольцами Ньютона в отраженном свете равно 1 мм. Определить расстояние между десятым и девятым кольцами.

19.21. Плосковыпуклая линза выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Определить толщину d слоя воздуха там, где в отраженном свете ($\lambda = 0,6$ мкм) видно первое светлое кольцо Ньютона.

19.22. Диаметр d_2 второго светлого кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете ($\lambda = 0,6$ мкм) равен 1,2 мм. Определить оптическую силу D плосковыпуклой стеклянной линзы, взятой для опыта.

19.23. Плосковыпуклая линза с оптической силой $D = 2$ дптр выпуклой стороной лежит на стеклянной пластинке. Радиус четвертого темного кольца Ньютона в проходящем свете равен 0,7 мм. Определить длину световой волны.

19.24. Диаметры d_i и d_k двух светлых колец Ньютона соответственно равны 4,0 мм и 4,8 мм. Порядковые номера колец не определялись, но известно, что между двумя измеренными кольцами расположено три светлых кольца. Кольца наблюдались в отраженном свете ($\lambda = 500$ нм). Найти радиус кривизны плосковыпуклой линзы, взятой для опыта.

19.25. Между стеклянной пластинкой и лежащей на ней плосковыпуклой стеклянной линзой налита жидкость, показатель преломления которой меньше показателя преломления стекла. Радиус восьмого темного кольца Ньютона при наблюдении в отраженном свете ($\lambda = 700$ нм) равен 2 мм. Радиус R кривизны выпуклой поверхности линзы равен 1 м. Найти показатель преломления n жидкости.

19.26. На установке для наблюдения колец Ньютона был измерен в отраженном свете радиус третьего темного кольца ($k = 3$). Когда пространство между плоскопараллельной пластиной и линзой заполнили жидкостью, то тот же радиус стало иметь кольцо с номером, на единицу большим. Определить показатель преломления n жидкости.

§20. Дифракция света

Основные формулы

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму (светлая полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия

$$a \sin \varphi = (2k + 1) \frac{\lambda}{2},$$

где a – ширина щели; k – порядковый номер максимума ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Угол φ отклонения лучей, соответствующий минимуму (темная полоса) при дифракции на одной щели, определяется из условия

$$a \sin \varphi = 2k \frac{\lambda}{2}.$$

Угол φ отклонения лучей, соответствующий максимуму при дифракции света на дифракционной решетке, определяется из условия

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

где $k = 0, 1, 2, 3, \dots$; d – период дифракционной решетки.

Разрешающая способность дифракционной решетки равна

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

где $\Delta \lambda$ – наименьшая разность длин волн двух соседних спектральных линий (λ и $\lambda + \Delta \lambda$), при которой эти линии могут быть видны раздельно в спектре, полученном посредством данной решетки; N – полное число щелей решетки; k – порядковый номер дифракционного максимума.

Формула Вульфа – Брэггов имеет вид

$$2d \sin \theta = k \lambda,$$

где θ – угол скольжения, то есть угол между направлением пучка параллельных рентгеновских лучей, падающих на кристалл, и гранью кристалла; d – расстояние между атомными плоскостями кристалла. Формула Вульфа – Брэггов определяет направление лучей, при которых возникает дифракционный максимум.

Задачи

20.1. На щель шириной $a = 0,05$ мм падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить угол φ между первоначальным направлением пучка света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

20.2 Точечный источник света с длиной волны $\lambda = 0,5$ мкм расположен на расстоянии $a = 100$ см перед диафрагмой с круглым отверстием радиуса $r = 1,0$ мм. Найти расстояние b от диафрагмы до точки наблюдения, для которой число зон Френеля в отверстии составляет $k = 3$.

20.3. Между точечным источником света и экраном поместили диафрагму с круглым отверстием, радиус которого r можно менять. Расстояние от диафрагмы до источника и экрана равны $a = 100$ см и $b = 125$ см. Определить длину волны света, если максимум освещенности в центре дифракционной картины на экране наблюдается при $r_1 = 1,00$ мм и следующий максимум — при $r_2 = 1,29$ мм.

20.4. На узкую щель падает нормально монохроматический свет. Угол φ отклонения пучков света, соответствующих второй светлой дифракционной полосе, равен 1° . Скольким длинам волн падающего света равна ширина щели?

20.5. На щель шириной $a = 0,1$ мм падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,5$ мкм). За щелью помещена собирающая линза, в фокальной плоскости которой находится экран. Что будет наблюдаться на экране, если угол φ дифракции равен: 1) 17° ; 2) 43° ?

20.6. Сколько штрихов на каждый миллиметр содержит дифракционная решетка, если при наблюдении в монохроматическом свете ($\lambda = 0,6$ мкм) максимум пятого порядка отклонен на угол $\varphi = 18^\circ$?

20.7. На дифракционную решетку, содержащую $n = 100$ штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет. Зрительная труба спектрометра наведена на максимум третьего порядка. Чтобы навести трубу на другой максимум того же порядка, ее нужно повернуть на угол $\Delta\varphi = 20^\circ$. Определить длину волны света.

20.8. Дифракционная решетка освещена нормально падающим монохроматическим светом. В дифракционной картине максимум второго порядка отклонен на угол $\varphi_1 = 14^\circ$. На какой угол φ_2 отклонен максимум третьего порядка?

20.9. Дифракционная решетка содержит $n = 200$ штрихов на 1 мм. На решетку падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Максимум какого наибольшего порядка дает эта решетка?

20.10. На дифракционную решетку, содержащую $n = 400$ штрихов на 1 мм, падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Найти общее число дифракционных максимумов, которые дает эта решетка. Определить угол φ дифракции, соответствующий последнему максимуму.

20.11. При освещении дифракционной решетки белым светом спектры второго и третьего порядков отчасти перекрывают друг друга. На какую длину волны в спектре второго порядка накладывается фиолетовая граница ($\lambda = 0,4$ мкм) спектра третьего порядка?

20.12. На дифракционную решетку, содержащую $n = 500$ штрихов на 1 мм, падает в направлении нормали к ее поверхности белый свет. Спектр проецируется помещенной вблизи решетки линзой на экран. Определить ширину b спектра первого порядка на экране, если расстояние L от линзы до экрана равно 3 м. Границы видимого спектра $\lambda_{кр} = 780$ нм, $\lambda_{ф} = 400$ нм.

20.13. Дифракционная картина получена с помощью дифракционной решетки длиной $l = 1,5$ см и периодом $d = 5$ мкм. Определить, в спектре какого наименьшего порядка этой картины получатся отдельные изображения двух спектральных линий с разностью длин волн $\Delta\lambda = 0,1$ нм, если линии лежат в крайней красной части спектра ($\lambda \approx 760$ нм).

20.14. Какой наименьшей разрешающей силой R должна обладать дифракционная решетка, чтобы с ее помощью можно было разрешить две спектральные линии калия ($\lambda_1 = 578$ нм и $\lambda_2 = 580$ нм)? Какое наименьшее число N штрихов должна иметь эта решетка, чтобы разрешение было возможно в спектре второго порядка?

20.15. С помощью дифракционной решетки с периодом

$d = 20$ мкм требуется разрешить дублет натрия ($\lambda_1 = 589,0$ нм и $\lambda_2 = 589,6$ нм) в спектре второго порядка. При какой наименьшей длине l решетки это возможно?

20.16. На грань кристалла каменной соли падает параллельный пучок рентгеновского излучения ($\lambda = 147$ пм). Определить расстояние d между атомными плоскостями кристалла, если дифракционный максимум второго порядка наблюдается, когда излучение падает под углом $\theta = 31^\circ 30'$ к поверхности кристалла.

20.17. Какова длина волны λ монохроматического рентгеновского излучения, падающего на кристалл кальцита, если дифракционный максимум первого порядка наблюдается, когда угол θ между направлением падающего излучения и гранью кристалла равен 3° ? Расстояние d между атомными плоскостями кристалла принять равным $0,3$ нм.

20.18. Параллельный пучок рентгеновского излучения падает на грань кристалла. Под углом $\theta = 65^\circ$ к плоскости грани наблюдается максимум первого порядка. Расстояние d между атомными плоскостями кристалла 280 пм. Определить длину волны λ рентгеновского излучения.

§21. Поляризация света

Основные формулы

Закон Брюстера имеет вид

$$\operatorname{tg} \varepsilon_B = n_{21},$$

где ε_B – угол падения, при котором отразившаяся от диэлектрика световая волна полностью поляризована; n_{21} – относительный показатель преломления второй среды относительно первой.

Закон Малюса имеет вид

$$I = I_0 \cos^2 \alpha,$$

где I_0 – интенсивность плоскополяризованного света, падающего на анализатор; I – интенсивность этого света после прохождения анализатора; α – угол между направлением колебаний светового вектора волны, падающей на анализатор, и плоскостью

пропускания анализатора.

Степень поляризации света равна

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где $I_{\max}$ и $I_{\min}$ – максимальная и минимальная интенсивности частично поляризованного света, пропускаемого анализатором.

Угол поворота плоскости поляризации φ света при прохождении через оптически активное вещество равен:

а) в твердых телах

$$\varphi = \alpha d,$$

где α – постоянная вращения; d – длина пути, пройденного светом в оптически активном веществе;

б) в растворах

$$\varphi = [\alpha] C d,$$

где $[\alpha]$ – удельное вращение; C – массовая концентрация оптически активного вещества в растворе;

в) в чистых жидкостях

$$\varphi = [\alpha] \rho d,$$

где ρ – плотность жидкости.

Задачи

21.1. Пучок света, идущий в воздухе, падает на поверхность жидкости под углом $\varepsilon_1 = 54^\circ$. Определить угол преломления ε_2 пучка, если отраженный пучок полностью поляризован.

21.2. На какой угловой высоте φ над горизонтом должно находиться Солнце, чтобы солнечный свет, отраженный от поверхности воды, был полностью поляризован?

21.3. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения ε_B отраженный свет полностью поляризован?

21.4. Угол Брюстера ε_B при падении света из воздуха на кристалл каменной соли равен 57° . Определить скорость света в этом кристалле.

21.5. Предельный угол ε'_1 полного отражения пучка света на

границе жидкости с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера ε_B для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

21.6. Анализатор в $k = 2$ раза уменьшает интенсивность света, приходящего к нему от поляризатора. Определить угол α между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора. Потерями интенсивности света в анализаторе пренебречь.

21.7. Угол α между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?

21.8. Во сколько раз ослабляется интенсивность света, проходящего через два николя, плоскости пропускания которых образуют угол $\alpha = 30^\circ$, если в каждом из николей в отдельности теряется 10 % интенсивности падающего на него света?

21.9. В частично-поляризованном свете амплитуда светового вектора, соответствующая максимальной интенсивности света, в $n = 2$ раза больше амплитуды, соответствующей минимальной интенсивности. Определить степень поляризации P света.

21.10. Степень поляризации P частично-поляризованного света равна 0,5. Во сколько раз отличается максимальная интенсивность света, пропускаемого через анализатор, от минимальной?

21.11. На пути частично-поляризованного света, степень поляризации P которого равна 0,6, поставили анализатор так, что интенсивность света, прошедшего через него, стала максимальной. Во сколько раз уменьшится интенсивность света, если плоскость пропускания анализатора повернуть на угол $\alpha = 30^\circ$?

21.12. На николь падает пучок частично-поляризованного света. При некотором положении николя интенсивность света, прошедшего через него, стала минимальной. Когда плоскость пропускания николя повернули на угол $\beta = 45^\circ$, интенсивность света возросла в $k = 1,5$ раза. Определить степень поляризации P света.

21.13. Пластинку кварца толщиной $d_l = 2$ мм, вырезанную перпендикулярно оптической оси, поместили между

параллельными николями, в результате чего плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi = 53^0$. Определить толщину d_2 пластинки, при которой данный монохроматический свет не проходит через анализатор.

21.14. Никотин (чистая жидкость), содержащийся в стеклянной трубке длиной $d = 8$ см, поворачивает плоскость поляризации желтого света натрия на угол $\varphi = 137^0$. Плотность никотина $\rho = 1,01 \cdot 10^3$ кг/м³. Определить удельное вращение $[\alpha]$ никотина.

21.15. Раствор глюкозы с массовой концентрацией $C_1 = 280$ кг/м³, содержащийся в стеклянной трубке, поворачивает плоскость поляризации монохроматического света, проходящего через этот раствор, на угол $\varphi_1 = 32^0$. Определить массовую концентрацию C_2 глюкозы в другом растворе, налитом в трубку такой же длины, если он поворачивает плоскость поляризации на угол $\varphi_2 = 24^0$.

21.16. Угол φ поворота плоскости поляризации желтого света натрия при прохождении через трубку с раствором сахара равен 40^0 . Длина трубки $d = 15$ см. Удельное вращение $[\alpha]$ сахара равно $1,17 \cdot 10^{-2}$ рад·м³/(м·кг). Определить плотность ρ раствора.

КВАНТОВО – ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

§22. Законы теплового излучения

Основные формулы

Закон Стефана – Больцмана записывается в виде

$$R_e = \sigma T^4,$$

где R_e – излучательность (энергетическая светимость) абсолютно черного тела; σ – постоянная Стефана – Больцмана ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)); T – термодинамическая температура.

Энергетическая светимость серого тела равна

$$R_e = \varepsilon \sigma T^4,$$

где ε – коэффициент теплового излучения (степень черноты) серого тела.

Закон смещения Вина имеет вид

$$\lambda_m = b/T,$$

где λ_m – длина волны, на которую приходится максимум энергии излучения; b – постоянная Вина ($b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ м·К).

Формула Планка имеет вид

$$r_{\lambda,T} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/(\lambda kT)} - 1};$$
$$r_{\omega,T} = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \frac{1}{e^{\hbar \omega/(kT)} - 1},$$

где $r_{\lambda,T}$ и $r_{\omega,T}$ – спектральные плотности энергетической светимости черного тела; λ – длина волны; ω – циклическая частота; c – скорость света в вакууме; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура; h – постоянная Планка; $\hbar = h/(2\pi)$.

Максимальная спектральная плотность энергетической светимости равна

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

где C – постоянная ($C = 1,30 \cdot 10^{-5}$ Вт/(м³·К⁵)).

Задачи

22.1. Определить температуру T , при которой энергетическая светимость R_e черного тела равна 10 кВт/м².

22.2. Поток энергии Φ_e , излучаемый из смотрового окошка плавильной печи, равен 34 Вт. Определить температуру T печи, если площадь отверстия $S = 6$ см².

22.3. Определить энергию W , излучаемую за время $t = 1$ мин из смотрового окошка площадью $S = 8$ см² плавильной печи, если ее температура $T = 1,2$ кК.

22.4. Температура T верхних слоев звезды Сириус равна 10 кК. Определить поток энергии Φ_e , излучаемый с поверхности площадью $S = 1$ км² этой звезды.

22.5. Определить относительное увеличение $\Delta R_e / R_e$ энергетической светимости черного тела при увеличении его температуры на 1 %.

22.6. Во сколько раз надо увеличить термодинамическую температуру черного тела, чтобы его энергетическая светимость R_e возросла в два раза?

22.7. Определить установившуюся температуру T зачерненной металлической пластинки, расположенной перпендикулярно солнечным лучам вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца. Солнечная постоянная, равная поверхностной плотности потока энергии излучения Солнца вне земной атмосферы на среднем расстоянии от Земли до Солнца, равна $C = 1,4 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

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

22.9. С поверхности сажи площадью $S = 2 \text{ см}^2$ при температуре $T = 400 \text{ К}$ за время $t = 5 \text{ мин}$ излучается энергия $W = 83 \text{ Дж}$. Определить коэффициент теплового излучения ε сажи.

22.10. Муфельная печь потребляет мощность $P = 1 \text{ кВт}$. Температура T ее внутренней поверхности при открытом отверстии площадью $S = 25 \text{ см}^2$ равна $1,2 \text{ кК}$. Считая, что отверстие печи излучает как черное тело, определить, какая часть мощности рассеивается стенками.

22.11. Можно условно принять, что Земля излучает как серое тело, находящееся при температуре $T = 280 \text{ К}$. Определить коэффициент теплового излучения ε Земли, если энергетическая светимость R_e ее поверхности равна $325 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

22.12. Мощность P излучения шара радиусом $R = 10 \text{ см}$ при некоторой постоянной температуре T равна 1 кВт . Найти эту температуру, считая шар серым телом с коэффициентом теплового излучения $\varepsilon = 0,25$.

22.13. На какую длину волны λ_m приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ черного тела при температуре $t = 0^\circ \text{С}$?

22.14. Температура верхних слоев Солнца равна $5,3 \text{ кК}$. Считая Солнце черным телом, определить длину волны λ_m , которой соответствует максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ Солнца.

22.15. Определить температуру T черного тела, при которой максимум спектральной плотности энергетической

светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ приходится на: 1) красную границу видимого спектра ($\lambda_1 = 750$ нм); 2) на фиолетовую границу видимого спектра ($\lambda_2 = 380$ нм).

22.16. Максимум спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ яркой звезды Арктур приходится на длину волны $\lambda_m = 580$ нм. Принимая, что звезда излучает как черное тело, определить температуру T поверхности звезды.

22.17. Вследствие изменения температуры черного тела максимум спектральной плотности энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ сместился с $\lambda_1 = 2,4$ мкм на $\lambda_2 = 0,8$ мкм. Как и во сколько раз изменились энергетическая светимость R_e тела и максимальная спектральная плотность энергетической светимости?

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

22.19. Эталон единицы силы света (кандела) представляет собой полный (излучающий волны всех длин) излучатель, поверхность которого площадью $S = 0,5305$ мм² имеет температуру t затвердевания платины, равную 1063 °С. Определить мощность P излучателя.

22.20. Максимальная спектральная плотность энергетической светимости $(r_{\lambda,T})_{\max}$ черного тела равна $4,16 \cdot 10^{11}$ (Вт/м²)/м. На какую длину волны λ_m она приходится?

22.21. Температура T черного тела равна 2 кК. Определить: 1) спектральную плотность энергетической светимости $r_{\lambda,T}$ для длины волны $\lambda = 600$ нм; 2) энергетическую светимость R_e в интервале длин волн от $\lambda_1 = 590$ нм до $\lambda_2 = 610$ нм. Принять, что средняя спектральная плотность энергетической светимости тела в этом интервале равна значению, найденному для длины волны $\lambda = 600$ нм.

§23. Фотозлектрический эффект. Давление света. Эффект Комптона

Основные формулы

Энергия фотона равна

$$\varepsilon = h\nu; \text{ или } \varepsilon = \hbar\omega,$$

где h – постоянная Планка; $\hbar$ – постоянная Планка, деленная на 2π ; ν – частота фотона; ω – циклическая частота.

Масса фотона определяется по формуле

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda},$$

где c – скорость света в вакууме; λ – длина волны фотона.

Импульс фотона равен

$$p = mc = h/\lambda.$$

Формула Эйнштейна для фотозффекта имеет вид

$$h\nu = A_{\text{вых}} + T_{\text{max}},$$

где $h\nu$ – энергия фотона, падающего на поверхность металла; $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона с поверхности металла; T_{max} – максимальная кинетическая энергия фотозлектронов.

Красная граница фотозффекта определяется по формуле

$$\nu_0 = A_{\text{вых}}/h; \text{ или } \lambda_0 = hc/A_{\text{вых}},$$

где ν_0 – минимальная частота света, при которой еще возможен фотозффект; λ_0 – максимальная длина волны света, при которой еще возможен фотозффект; h – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Формула Комптона имеет вид

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta); \text{ или } \Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\frac{h}{m_0c}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

где λ – длина волны фотона, встретившегося со свободным или слабо связанным электроном; λ' – длина волны фотона, рассеянного на угол θ после столкновения с электроном; m_0 – масса покоящегося электрона.

Комптовская длина волны определяется по формуле

$$\lambda_c = \frac{h}{m_0c}.$$

При рассеянии фотона на электроне $\lambda_c = 2,436$ пм.

Давление света при нормальном падении на поверхность определяется по формуле

$$p = \frac{E_e}{c}(1 + \rho) = \omega(1 + \rho),$$

где E_e – облученность поверхности; ω – объемная плотность энергии излучения; ρ – коэффициент отражения света поверхностью.

Задачи

23.1. Определить работу выхода $A_{\text{вых}}$ электронов из натрия, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 500$ нм.

23.2. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\lambda = 300$ нм?

23.3. Какая доля энергии фотона израсходована на работу вырывания фотоэлектрона, если красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 307$ нм и максимальная кинетическая энергия T_{max} фотоэлектрона равна 1 эВ?

23.4. На поверхность лития падает монохроматический свет ($\lambda = 310$ нм). Чтобы прекратить эмиссию электронов, нужно приложить задерживающую разность потенциалов U не менее 1,7 В. Определить работу выхода $A_{\text{вых}}$.

23.5. Для прекращения фотоэффекта, вызванного облучением ультрафиолетовым светом платиновой пластинки, нужно приложить задерживающую разность потенциалов $U_1 = 3,7$ В. Если платиновую пластинку заменить другой пластинкой, то задерживающую разность потенциалов придется увеличить до 6 В. Определить работу $A_{\text{вых}}$ выхода электронов с поверхности этой пластинки.

23.6. На цинковую пластинку падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 220$ нм. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов.

23.7. Определить длину волны λ ультрафиолетового излучения, падающего на поверхность некоторого металла, при максимальной скорости фотоэлектронов, равной 10 Мм/с. Работой

выхода электронов из металла пренебречь.

23.8. Определить максимальную скорость V_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла под действием γ – излучения с длиной волны $\lambda = 0,3$ нм.

23.9. Определить максимальную скорость V_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении γ – фотонами с энергией $\varepsilon = 1,53$ МэВ.

23.10. Максимальная скорость V_{max} фотоэлектронов, вылетающих из металла при облучении его γ – фотонами, равна 291 Мм/с. Определить энергию ε γ – фотонов.

23.11. До какого максимального потенциала зарядится удаленный от других тел медный шарик при облучении его электромагнитным излучением с $\lambda = 140$ нм?

23.12. Определить поверхностную плотность I потока энергии излучения, падающего на зеркальную поверхность, если световое давление p при перпендикулярном падении лучей равно 10 мкПа.

23.13. Поток энергии Φ_e , излучаемый электрической лампой, равен 600 Вт. На расстоянии $r = 1$ м от лампы перпендикулярно падающим лучам расположено круглое плоское зеркальце диаметром $d = 2$ см. Принимая, что излучение лампы одинаково во всех направлениях и что зеркальце полностью отражает падающий на него свет, определить силу F светового давления на зеркальце.

23.14. На зеркальце с идеально отражающей поверхностью площадью $S = 1,5$ см² падает нормально свет от электрической дуги. Определить импульс p , полученный зеркальцем, если поверхностная плотность потока излучения Φ , падающего на зеркальце, равна 0,1 МВт/м². Продолжительность облучения $t = 1$ с.

23.15. Определить энергию ε , массу m и импульс p фотона, которому соответствует длина волны $\lambda = 380$ нм (фиолетовая граница видимого спектра).

23.16. Определить длину волны λ , массу m и импульс p фотона с энергией $\varepsilon = 1$ МэВ. Сравнить массу этого фотона с массой покоящегося электрона.

23.17. Определить длину волны λ фотона, импульс которого

равен импульсу электрона, обладающего скоростью $V = 10 \text{ Мм/с}$.

23.18. Определить длину волны λ фотона, масса которого равна массе покоя: 1) электрона; 2) протона.

23.19. Давление p монохроматического света ($\lambda = 600 \text{ нм}$) на черную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно $0,1 \text{ мкПа}$. Определить число N фотонов, падающих за время $t = 1 \text{ с}$ на поверхность площадью $S = 1 \text{ см}^2$.

23.20. Монохроматическое излучение с длиной волны $\lambda = 500 \text{ нм}$ падает нормально на плоскую зеркальную поверхность и давит на нее с силой $F = 10 \text{ нН}$. Определить число N фотонов, ежесекундно падающих на эту поверхность.

23.21. Параллельный пучок монохроматического света ($\lambda = 662 \text{ нм}$) падает на зачерненную поверхность и производит на нее давление $p = 0,3 \text{ мкПа}$. Определить концентрацию n фотонов в световом пучке.

23.22. Лазер излучил в импульсе длительности $\tau = 0,13 \text{ мс}$ пучок света с энергией $E = 10 \text{ Дж}$. Найти среднее давление такого светового импульса, если его сфокусировать в пятнышко диаметра $d = 10 \text{ мкм}$ на поверхность с коэффициентом отражения $\rho = 0,50$.

23.23. Короткий импульс света с энергией $E = 7,5 \text{ Дж}$ в виде узкого почти параллельного пучка падает на зеркальную пластинку с коэффициентом отражения $\rho = 0,60$. Угол падения $\alpha = 30^\circ$. Определить с помощью корпускулярных представлений импульс, переданный пластинке.

23.24. Рентгеновское излучение длиной волны $\lambda = 55,8 \text{ пм}$ рассеивается плиткой графита (комpton – эффект). Определить длину волны λ' излучения, рассеянного под углом $\theta = 60^\circ$ к направлению падающего пучка.

23.25. Определить максимальное изменение длины волны при комptonовском рассеянии: 1) на свободных электронах; 2) на свободных протонах.

23.26. Определить угол θ рассеяния фотона, испытавшего соударение со свободным электроном, если изменение длины волны $\Delta\lambda$ при рассеянии равно $3,62 \text{ пм}$.

23.27. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,4 \text{ МэВ}$ рассеялся под углом $\theta = 90^\circ$ на свободном электроне. Определить энергию ε'

рассеянного фотона и кинетическую энергию T электрона отдачи.

23.28. Определить импульс p электрона отдачи при эффекте Комптона, если фотон с энергией, равной энергии покоя электрона, был рассеян на угол $\theta = 180^\circ$.

23.29. Какая доля энергии фотона при эффекте Комптона приходится на электрон отдачи, если фотон претерпел рассеяние на угол $\theta = 180^\circ$? Энергия фотона до рассеяния равна 0,255 МэВ.

23.30. Фотон с энергией $\varepsilon = 0,25$ МэВ рассеялся на свободном электроне. Энергия ε' рассеянного фотона равна 0,2 МэВ. Определить угол рассеяния θ .

23.31. Угол рассеяния θ фотона равен 90° . Угол отдачи ϕ электрона равен 30° . Определить энергию ε падающего фотона.

23.32. Фотон ($\lambda = 1$ пм) рассеялся на свободном электроне под углом $\theta = 90^\circ$. Какую долю своей энергии фотон передал электрону?

23.33. Длина волны λ фотона равна комптоновской длине λ_c электрона. Определить энергию ε и импульс p фотона.

23.34. Энергия ε падающего фотона равна энергии покоя электрона. Определить долю ω_1 энергии падающего фотона, которую сохранит рассеянный фотон, и долю ω_2 этой энергии, полученную электроном отдачи, если угол рассеяния θ равен: 1) 60° ; 2) 90° ; 3) 180° .

ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

§24. Атом водорода по теории Бора. Рентгеновское излучение

Основные формулы

Момент импульса электрона на стационарных орбитах L_n определяется условием (первый постулат Бора):

$$L_n = mV_n r_n = n\hbar,$$

где m — масса электрона; V_n — скорость электрона на n -й орбите; r_n — радиус n -й орбиты; $\hbar$ — постоянная Планка ($\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж·с); n — главное квантовое число ($n = 0, 1, 2, \dots$).

Радиус боровской орбиты равен

$$r_n = a_0 n^2,$$

где $a_0 = 52,9$ пм – радиус первой боровской орбиты.

Энергия электрона в атоме водорода определяется по формуле

$$E_n = -E_i / n^2,$$

где $E_i = 13,6$ эВ – энергия ионизации атома водорода.

Энергия, излучаемая или поглощаемая атомом водорода (второй постулат Бора), равна

$$\varepsilon = \hbar\omega = E_{n_2} - E_{n_1}; \text{ или } \varepsilon = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где n_1 и n_2 – квантовые числа, соответствующие энергетическим уровням, между которыми совершается переход электрона в атоме.

Серийная формула имеет вид

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

где ν и λ – частота и длина волны света, излучаемого или поглощаемого атомом водорода; $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ – постоянная Ридберга; n_1 и n_2 – целые числа; n_1 – номер серии спектральных линий ($n_1 = 1$ – серия Лаймана, $n_1 = 2$ – серия Бальмера, $n_1 = 3$ – серия Пашена и т. д.). Для данной серии $n_2 = n_1 + 1, n_1 + 2, n_1 + 3$ и т. д.

Коротковолновая граница $\lambda_{\min}$ сплошного рентгеновского спектра равна

$$\lambda_{\min} = \frac{2\pi\hbar c}{|e|U},$$

где e – заряд электрона; U – разность потенциалов, приложенная к рентгеновской трубке; $\hbar$ – постоянная Планка; c – скорость света в вакууме.

Задачи

24.1. Вычислить радиусы r_2 и r_3 второй и третьей орбит в атоме водорода.

24.2. Определить скорость V электрона на второй орбите атома водорода.

24.3. Определить частоту обращения электрона на второй орбите атома водорода.

24.4. Определить потенциальную Π , кинетическую T и полную E энергии электрона, находящегося на первой орбите атома водорода.

24.5. Определить длину волны λ , соответствующую третьей спектральной линии в серии Бальмера.

24.6. Найти наибольшую $\lambda_{\max}$ и наименьшую $\lambda_{\min}$ длины волн в первой инфракрасной серии спектра водорода (серии Пашена).

24.7. Вычислить энергию ε фотона, испускаемого при переходе электрона в атоме водорода с третьего энергетического уровня на первый.

24.8. Определить наименьшую $\varepsilon_{\min}$ и наибольшую $\varepsilon_{\max}$ энергии фотона в ультрафиолетовой серии спектра водорода (серии Лаймана).

24.9. Атомарный водород, возбужденный светом определенной длины волны, при переходе в основное состояние испускает только три спектральные линии. Определить длины волн этих линий и указать, каким сериям они принадлежат.

24.10. Сколько спектральных линий будет испускать атомарный водород, который возбуждают на n -й энергетический уровень?

24.11. Фотон с энергией $\varepsilon = 16,5$ эВ выбил электрон из невозбужденного атома водорода. Какую скорость V будет иметь электрон вдали от ядра атома?

24.12. Вычислить длину волны λ , которую испускает ион гелия He^+ при переходе со второго энергетического уровня на первый. Сделать такой же подсчет для иона лития Li^{++} .

24.13. Найти энергию E_i и потенциал U_i ионизации ионов He^+ и Li^{++} .

24.14. Какому элементу принадлежит водородоподобный спектр, длины волн линий которого в четыре раза короче, чем у атомарного водорода?

24.15. Вычислить частоты f_1 и f_2 вращения электрона в атоме водорода на второй и третьей орбитах. Сравнить эти частоты с частотой ν излучения при переходе электрона с третьей на вторую орбиту.

24.16. Атом водорода в основном состоянии поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 121,5$ нм. Определить радиус r электронной орбиты возбужденного атома водорода.

24.17. Покоящийся атом водорода испустил фотон, соответствующий головной линии серии Лаймана. Какую скорость приобрел атом?

24.18. Определить скорость v электронов, падающих на антикатод рентгеновской трубки, если минимальная длина волны $\lambda_{\min}$ в сплошном спектре рентгеновского излучения равна 1 нм.

24.19. Определить коротковолновую границу $\lambda_{\min}$ сплошного спектра рентгеновского излучения, если рентгеновская трубка работает под напряжением $U = 30$ кВ.

24.20. Рентгеновская трубка работает под напряжением $U = 1$ МВ. Определить наименьшую длину волны $\lambda_{\min}$ рентгеновского излучения.

24.21. При увеличении напряжения на рентгеновской трубке в 1,5 раза длина волны коротковолновой границы сплошного рентгеновского спектра изменилась на $\Delta\lambda = 26$ пм. Найти первоначальное напряжение на трубке.

§25. Радиоактивность. Дефект массы и энергия связи атомных ядер. Ядерные реакции

Основные формулы

Обозначение ядер атомов имеет вид

$A_ZX,$

где X – символ химического элемента; Z – зарядовое число (атомный номер, число протонов в ядре); A – массовое число (число нуклонов в ядре).

Массовое число атомного ядра равно

$$A = Z + N,$$

где N – число нейтронов.

Основной закон радиоактивного распада имеет вид

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

где N_0 – начальное число нераспавшихся ядер; N – число

нераспавшихся ядер в момент времени t ; λ – постоянная радиоактивного распада.

Период полураспада $T_{1/2}$ связан с постоянной распада соотношением

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Среднее время жизни τ радиоактивного ядра, то есть время, за которое число нераспавшихся ядер уменьшается в e раз, равно

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Активность радиоактивного изотопа определяется по формуле

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N.$$

Массовая (удельная) активность изотопа a равна

$$a = \frac{A}{m},$$

где m – масса радиоактивного источника.

Дефект массы атомного ядра равен

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}},$$

где Z – зарядовое число; A – массовое число; $(A - Z)$ – число нейтронов в ядре; m_p – масса протона; m_n – масса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – масса связанного ядра.

Энергия связи ядра $E_{\text{св}}$ определяется соотношением

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2,$$

где c – скорость света в вакууме; Δm – дефект массы ядра.

Удельная энергия связи $E_{\text{уд}}$ равна

$$E_{\text{уд}} = E_{\text{св}} / A.$$

В ядерных реакциях выполняются законы сохранения:

- а) числа нуклонов;
- б) заряда;
- в) релятивистской полной энергии;
- г) импульса.

Энергия ядерной реакции может быть определена из соотношения

$$Q = c^2[(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)],$$

где m_1 и m_2 – массы покоя ядра-мишени и бомбардирующей

частицы; $m_3 + m_4$ – сумма масс покоя ядер продуктов реакции.

Задачи

25.1. Постоянная распада λ рубидия ^{89}Rb равна $0,00077 \text{ с}^{-1}$. Определить его период полураспада $T_{1/2}$.

25.2. Какая часть начального количества атомов распадётся за один год в радиоактивном изотопе тория ^{229}Th ?

25.3. Какая часть начального количества атомов радиоактивного актиния ^{225}Ac останется через 5 суток? через 15 суток?

25.4. За один год начальное количество радиоактивного изотопа уменьшилось в три раза. Во сколько раз оно уменьшится за два года?

25.5. За какое время t распадается $1/4$ начального количества ядер радиоактивного изотопа, если период его полураспада $T_{1/2} = 24 \text{ ч}$?

25.6. За время $t = 8$ суток распалось $3/4$ начального количества ядер радиоактивного изотопа. Определить период полураспада $T_{1/2}$.

25.7. Период полураспада $T_{1/2}$ радиоактивного нуклида равен 1ч. Определить среднюю продолжительность τ жизни этого нуклида.

25.8. Какая часть начального количества радиоактивного нуклида распадается за время t , равное средней продолжительности τ жизни этого нуклида?

25.9. Определить число N атомов, распадающихся в радиоактивном изотопе за время $t = 10 \text{ с}$, если его активность $A = 0,1 \text{ МБк}$. Считать активность постоянной в течение указанного времени.

25.10. Активность A препарата уменьшилась в 250 раз. Скольким периодам полураспада $T_{1/2}$ равен протекший промежуток времени t ?

25.11. За время $t = 1$ сутки активность изотопа уменьшилась от $A_1 = 118 \text{ ГБк}$ до $A_2 = 7,4 \text{ ГБк}$. Определить период полураспада $T_{1/2}$ этого нуклида.

25.12. На сколько процентов снизится активность A

изотопа иридия ^{192}Ir за время $t = 30$ суток?

25.13. За какой промежуток времени τ активность A изотопа стронция ^{90}Sr уменьшится в: 1) 10 раз; 2) в 100 раз?

25.14. Определить активность A фосфора ^{32}P массой $m = 1$ мг.

25.15. Вычислить удельную активность a кобальта ^{60}Co .

25.16. Найти отношение массовой активности a_1 стронция ^{90}Sr к массовой активности a_2 радия ^{226}Ra .

25.17. Найти массу m_1 урана ^{238}U , имеющего такую же активность A , как стронций ^{90}Sr массой $m_2 = 1$ мг.

25.18. Определить дефект массы Δm и энергию связи $E_{\text{св}}$ ядра атома тяжелого водорода.

25.19. Определить энергию $E_{\text{св}}$, которая освободится при соединении одного протона и двух нейтронов в атомное ядро.

24.20. Определить удельную энергию связи $E_{\text{уд}}$ ядра $^{12}_6\text{C}$.

25.21. Энергия связи $E_{\text{св}}$ ядра, состоящего из двух протонов и одного нейтрона, равна 7,72 МэВ. Определить массу m_a нейтрального атома, имеющего это ядро.

25.22. Определить массу m_a нейтрального атома, если ядро этого атома состоит из трех протонов и двух нейтронов и энергия связи $E_{\text{св}}$ ядра равна 26,3 МэВ.

25.23. Атомное ядро, поглотившее γ -фотон ($\lambda = 0,47$ пм), пришло в возбужденное состояние и распалось на отдельные нуклоны, разлетевшиеся в разные стороны. Суммарная кинетическая энергия T нуклонов равна 0,4 МэВ. Определить энергию связи $E_{\text{св}}$ ядра.

25.24. Какую наименьшую энергию E нужно затратить, чтобы разделить на отдельные нуклоны ядра ^7_3Li и ^7_4Be ? Почему для ядра бериллия эта энергия меньше, чем для ядра лития?

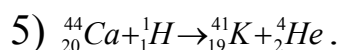
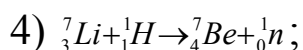
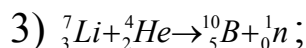
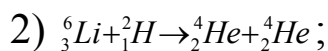
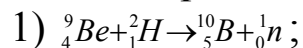
25.25. Определить энергию E , которая выделится при образовании из протонов и нейтронов ядер гелия ^4_2He массой $m = 1$ г.

25.26. Какую наименьшую энергию E нужно затратить, чтобы оторвать один нейтрон от ядра азота $^{14}_7\text{N}$?

25.27. Определить наименьшую энергию E , необходимую

для разделения ядра углерода $^{12}_6\text{C}$ на три одинаковые части.

25.28. Определить энергию Q ядерных реакций:



Освобождается или поглощается энергия в каждой из указанных реакций?

25.29. Определить энергию Q ядерной реакции $^9_4\text{Be} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{10}_4\text{Be} + ^0_0\gamma$, если известно, что энергия связи $E_{\text{св}}$ ядра ^9_4Be равна 58,16 МэВ, а ядра $^{10}_4\text{Be}$ – 64,98 МэВ.

25.30. Определить суммарную кинетическую энергию T ядер, образовавшихся в результате реакции $^{13}_6\text{C} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^4_2\alpha$, если кинетическая энергия T_1 дейтона равна 1,5 МэВ. Ядро–мишень $^{13}_6\text{C}$ считать неподвижным.

25.31. При ядерной реакции $^9_4\text{Be} + ^4_2\alpha \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n}$ освобождается энергия $Q = 5,70$ МэВ. Пренебрегая кинетическими энергиями ядер бериллия и гелия и принимая их суммарный импульс равным нулю, определить кинетические энергии T_1 и T_2 продуктов реакции.

25.32. Ядро урана $^{235}_{92}\text{U}$, захватив один нейтрон, разделилось на два осколка, причем освободилось два нейтрона. Одним из осколков оказалось ядро ксенона $^{140}_{54}\text{Xe}$. Определить порядковый номер Z и массовое число A второго осколка.

25.33. При делении одного ядра урана–235 выделяется энергия $Q = 200$ МэВ. Какую долю энергии покоя ядра урана–235 составляет выделившаяся энергия?

25.34. Определить энергию E , которая освободится при делении всех ядер, содержащихся в уране–235 массой $m = 1$ г.

25.35. Сколько ядер урана–235 должно делиться за время $t = 1$ с, чтобы тепловая мощность P ядерного реактора была равной 1 Вт?

25.36. Определить массовый расход m_t ядерного горючего ^{235}U в ядерном реакторе атомной электростанции. Тепловая мощность P электростанции равна 10 МВт. Принять энергию Q , выделяющуюся

при одном акте деления, равной 200 МэВ. КПД η электростанции составляет 20 %.

25.37. Найти электрическую мощность P атомной электростанции, расходующей 0,1 кг урана–235 в сутки, если КПД η станции равен 16 %.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Основные физические постоянные

Нормальное ускорение свободного падения.....	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная.....	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро.....	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная.....	$R = 8,31 \text{ Дж/(К} \cdot \text{моль)}$
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	$V_m = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Постоянная Больцмана.....	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Фарадея.....	$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Элементарный заряд	$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса электрона	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Удельный заряд электрона.....	$e/m = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Скорость света в вакууме.....	$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана–Больцмана.....	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная закона смещения Вина.....	$b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	$\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга.....	$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$
Радиус первой боровской орбиты.....	$a = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Комптоновская длина волны электрона.....	$\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнетон Бора.....	$\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ Дж/Тл}$
Энергия ионизации атома водорода.....	$E_i = 2,16 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$
Атомная единица массы.....	$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Ядерный магнетон.....	$\mu_N = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ Дж/Тл}$

2. Показатели преломления n

Алмаз.....	2,42
Вода.....	1,33
Масло коричное.....	1,60
Сероуглерод.....	1,63
Стекло.....	1,50

3. Работа выхода электронов из металла

Металл	$A, \text{ эВ}$	$A \cdot 10^{-19}, \text{ Дж}$
Калий	2,2	3,5
Литий	2,3	3,7
Натрий	2,5	4,0
Платина	6,3	10,1
Серебро	4,7	7,5
Цинк	4,0	6,4

4. Масса нейтральных атомов

Элемент	Порядковый номер	Изотоп	Масса, а.е.м.
(Нейтрон)	0	n	1,00867
Водород	1	^1H	1,00783
		^2H	2,01410
		^3H	3,01605
Гелий	2	^3He	3,01603
		^4He	4,00260
Литий	3	^6Li	6,01513
		^7Li	7,01601
Бериллий	4	^7Be	7,01693
		^9Be	9,01219
		^{10}Be	10,01354
Бор	5	^9B	9,01333
		^{10}B	10,01294
		^{11}B	11,00931
Углерод	6	^{10}C	10,00168
		^{12}C	12,00000
		^{13}C	13,00335
		^{14}C	14,00324
Азот	7	^{13}N	13,00574
		^{14}N	14,00307
		^{15}N	15,00011
Кислород	8	^{16}O	15,99491
		^{17}O	16,99913
		^{18}O	17,99916
Фтор	9	^{19}F	18,99840
Натрий	11	^{22}Na	21,99444
		^{23}Na	22,98977
Магний	12	^{23}Mg	22,99414
Алюминий	13	^{30}Al	29,99817
Кремний	14	^{31}Si	30,97535
Фосфор	15	^{31}P	30,97376
Калий	19	^{41}K	40,96184
Кальций	20	^{44}Ca	43,95549
Свинец	82	^{206}Pb	205,97446
Полоний	84	^{210}Po	209,98297

5. Масса и энергия покоя некоторых элементарных и легких ядер

Частица	Масса		Энергия	
	m_0 , кг	m_0 , а.е.м.	E_0 , Дж	E_0 , МэВ
Электрон	$9,1 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Нейтральный мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14526	—	135
Протон	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,68 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α –частица	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733

6. Период полураспада радиоактивных изотопов

Изотоп	Символ изотопа	Тип распада	Период полураспада
Актиний	${}_{89}\text{Ac}^{225}$	α	10 сут
Иод	${}_{53}\text{I}^{131}$	β^- , γ	8 сут
Иридий	${}_{77}\text{Ir}^{192}$	β^- , γ	75 сут
Кобальт	${}_{27}\text{Co}^{60}$	β^- , γ	5,3 года
Магний	${}_{12}\text{Mg}^{27}$	β^-	10 мин
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{219}$	α , γ	10^{-3} с
Радий	${}_{88}\text{Ra}^{226}$	α	$1,62 \cdot 10^3$ лет
Радон	${}_{86}\text{Rn}^{222}$	α	3,8 сут
Стронций	${}_{38}\text{Sr}^{90}$	β^-	28 лет
Торий	${}_{90}\text{Th}^{229}$	α , γ	$7 \cdot 10^3$ лет
Уран	${}_{92}\text{U}^{238}$	α , γ	$4,5 \cdot 10^3$ лет
Фосфор	${}_{15}\text{P}^{32}$	β^-	14,3 сут
Натрий	${}_{11}\text{Na}^{22}$	γ	2,6 года

Задачи по физике.

Учебное пособие к практическим занятиям и выполнению индивидуальных домашних заданий по физике

Составители: Анатолий Вячеславович Благин,
Тигран Амлетович Аскарян,
Александр Иванович Попов.

Формат 60×84 1/16. Печать оперативная. Бумага тип. №2. Усл. п. л. 3 .
Тираж 50 экз. С 48.

Южно-Российский государственный технический университет
(Новочеркасский политехнический институт).

Адрес ун - та : 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Типография АО “Информбюро”.

Адрес типографии :

347340, Ростовская обл., г. Волгодонск, Ленина, 73/94.