

УДК 534

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»

С. М. КУРАШЕВ

ОПТИКА И АТОМНАЯ ФИЗИКА

Домашние задания. Методические указания

Москва 2011

Сборник задач для домашних заданий по курсу

«Оптика и атомная физика»

Кафедра физики

АННОТАЦИЯ

Данный материал содержит задачи по волновой оптике и атомной физике, предназначенные для самостоятельного решения при выполнении домашних заданий студентами, слушающими трёх семестровый курс Общей физики. Предусмотрена возможность проверки заданий при помощи системы программированного контроля. В сборнике имеются методические указания к решению задач, приведены примеры решения типичных задач. В приложении содержатся некоторые справочные данные.

Оглавление

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ	3
Примеры решения и оформления задач	9
Задачи для домашнего задания.	20
Оптика и атомная физика	20
Глава 1. Геометрическая оптика	20
Глава 2. Интерференция света	23
Глава 3. Дифракция. Спектральные приборы	26
Глава. 4. Поляризация света	30
Глава 5. Тепловое излучение	33
Глава 6. Теория относительности	37
Глава 7. Квантовые свойства света	40
Глава 8. Атом Бора	43
Глава 9. Состояние электронов в атоме	45
Глава.10. Рентгеновское излучение	48
Приложение. Основные физические величины и единицы их измерения	51

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Изучение физики предполагает приобретение навыков решения задач, на которых вырабатывается умение применять основные физические законы к анализу реально протекающих процессов.

Решение задач всегда было необходимым элементом любого курса физики, начиная с элементарного школьного курса и кончая университетским курсом теоретической физики.

Задачи дают студенту первое представление о физическом мире, о его закономерностях, методах его описания и путях познания. Это, так сказать, «пробный камень», на котором изучающий физику должен продемонстрировать уровень познания её основных законов, умения и навыки, приобретенные в процессе обучения, в применении теоретического материала к конкретным, пусть даже и сильно идеализированным ситуациям.

Решение задач есть, в некотором смысле, вид творчества и подчиняется во многом тем же закономерностям, что и работа ученого над научной проблемой или работа инженера в практической деятельности.

Содержание типичной задачи предполагает нахождение одних физических величин через другие, которые известны. Такой подход отражает ситуацию, складывающуюся при проведении исследовательской работы, когда удается измерить одни параметры, характеризующие явление, непосредственно, а другие вычисляются на основании известных закономерностей. При этом в одном случае оказываются известными одни величины, а в другом случае - другие. Поэтому надо уметь подходить к анализу одной и той же задачи с разных сторон, используя известные величины и выражать через них

неизвестные. Указанная тенденция отражена в составлении пяти вариантов к каждой задаче.

Нахождение общей формулы, определяющей неизвестную величину через исходные данные, является только первым шагом к решению задачи. Необходимо получить численное значение искомой физической величины, что требует умения использовать единицы измерения, развития навыков приближенных вычислений, когда требуется оценить порядок получаемого результата и точность найденного числового ответа.

Данный сборник заданий и методических указаний содержит два раздела. В первом разделе приведены задачи для самостоятельного решения в процессе выполнения домашнего задания. Второй раздел содержит задачи для решения на семинарских и практических занятиях. Структура задач этих разделов несколько отличается.

Задача для домашнего задания формулируется в общем виде. К ней дается в виде таблицы по пять наборов числовых данных, размещенных в отдельных строках, которые обозначены соответствующими номерами (шифрами). Как правило, величина, числовое значение которой требуется определить в данном шифре, фиксирована знаком "?". В некоторых из задач неизвестная величина указывается в тексте задачи. Величины, обозначенные прочерком "-", для решения данного шифра не требуются, определять их не нужно.

Единицы измерения, в которых необходимо выразить определяемую величину, указаны в заголовке соответствующей графы таблицы числовых данных (столбца). Во многих случаях используются дольные или кратные от единиц системы СИ, а также другие единицы, применяемые в науке и технике. Таблицы единиц измерения физических величин, соотношения между различными единицами, приставки для образования кратных и дольных единиц, а также значения основных физических и астрономических постоянных содержится в Приложении (табл. 1-3).

Задачи, помещенные в данных методических указаниях, сгруппированы по тематическим параграфам, охватывающим все основные разделы физики волновых процессов, оптики и атомной физики, которые входят в программу изучения курса Общей физики в институте. Параграф состоит из шести стилизованных задач, каждая из которых мультиплицирована пятью наборами условий, сгруппированных в виде таблицы.

Задачи предназначены для двух домашних заданий, которые выполняют в течение семестра студенты всех лекционных потоков, изучающих последний (третий) раздел стандартного курса Общей физики – оптику и физику атомных явлений, а также курс «Физика волновых процессов».

Сроки сдачи домашних заданий устанавливаются семестровым графиком учебных занятий, помещенным в учебную книжку студента. Вариант и номера задач, входящих в данный вариант, определяется маршрутом выполнения домашних заданий (составляется лектором потока), так же помещенным в учебную книжку, в соответствии с порядковыми номерами студентов по списку группы. Выбор конкретных условий к данной текстовой задаче (номер шифра) определяется аналогично в соответствии с номером студента по списку согласно таблице:

Шифр	1	2	3	4	5
№ студентов по групповому журналу	01, 06, 11, 16, 21, 26	02, 07, 12, 17, 22, 27	03, 08, 13, 18, 23, 28	04, 09, 14, 19, 24, 29	05, 10, 15, 20, 25, 30

Домашнее задание должно быть оформлено в отдельной тетради, на обложке которой указывается: группа, фамилия, порядковый номер студента по списку группы, номер задания (ДЗ 1, ДЗ 2), номер варианта, номера задач по сборнику, шифр.

Работы, не содержащие указанных данных, приниматься не будут!

При решении каждой задачи помимо ее номера необходимо записать условия и сделать чертеж, поясняющий задачу. На чертеже указать все рассматриваемые объекты, обозначения, векторы, систему координат. В комментариях к рисунку разъяснить роль идеализаций и допущений, сделанных в задаче.

Рекомендуется руководствоваться следующими правилами в процессе решения:

1. Прежде всего, необходимо уяснить условие задачи, если это необходимо, обязательно сделать рисунок, определяющий её суть.

2. Следует обосновать использование применяемых при решении физических законов, дать их математическую запись в одной системе единиц (желательно СИ). Решить полученную систему уравнений и записать ответ (если возможно) в аналитическом виде.

3. При решении задач студент должен проявить знание общей физики, уметь идеализировать явления, применять законы сохранения, выявлять условия симметрии, проводить выделение безразмерных комбинаций параметров и т.д.

4. За редкими исключениями, каждая задача должна быть решена в общем виде, при этом искомая величина должна быть выражена через заданные в условии величины.

5. Полученное в общем виде решение необходимо проверить с точки зрения размерности в обобщенном (буквенном) смысле. Если размерность не соответствует искомой физической величине, нужно искать ошибки в решении.

6. Во многих случаях полезно исследовать поведение решения при предельных значениях параметров. Например, решая задачу на нахождение горизонтального ускорения бруска массы m , лежащего на абсолютно гладком клине массы M , получаем

ответ
$$a_2 = \frac{Mg \sin 2\alpha}{2(M + m \sin^2 \alpha)}$$

Устремим массу M к бесконечности, что физически соответствует гораздо более простой задаче с закреплённым клином

$$\lim_{M \rightarrow \infty} a_2 = \lim \frac{Mg \sin 2\alpha}{2(M + m \sin^2 \alpha)} = \frac{g \sin 2\alpha}{2} = g \sin \alpha \cos \alpha$$

В предельном случае мы получили ответ, совпадающий со стандартным результатом физически тривиальной задачи. Отсюда делаем вывод о разумности полученного ответа.

7. Убедившись в правильности решения в общем виде, подставляют в него численные данные, при этом их предварительно выражают в единицах одной системы (например, СИ или СГС). Необходимо так же проследить, чтобы используемые формулы соответствовали применяемой системе единиц. Например, вычисляя силу электростатического взаимодействия зарядов, мы должны четко определить систему единиц

$$F = \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ в СГС} \quad \text{и} \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ в СИ}$$

8. Получив результат, необходимо указать размерность единицы измерения искомой величины в той системе единиц, в которой производилось вычисление. Провести проверку размерности результата, а также дать анализ полученного ответа. Затем, если нужно, выразить ответ в тех единицах, которые указаны в заголовке соответствующей графы таблицы числовых данных.

9. Необходимо помнить, что числовые значения физических величин всегда приближенные. Поэтому при выполнении расчетов надо руководствоваться правилами действий с приближенными числами. Например, если сомножители содержат по 3 значащих цифры, то и произведение должно содержать только 3 значащих цифры, остальные цифры должны быть отброшены. Напомним, что значащими цифрами называются все цифры в десятичном изображении числа, кроме нулей, стоящих в начале числа. Например, в числе 0,0350 первые два нуля не являются значащими. Их назначение

– установление десятичных разрядов остальных цифр. В то же время, нуль после цифры 5 является значащей цифрой.

10. Вычисление следует проводить так, чтобы окончательный результат имел погрешность, не превышающую пять процентов, при этом ответ следует выразить в тех единицах, которые указаны в заголовке соответствующей графы (столбца) таблицы числовых данных.

11. Если при решении задачи возникают осложнения с пониманием условия задачи и, как следствие, с конкретным способом её решения, необходимо внимательно ознакомиться с рекомендованной литературой, а именно: с теми разделами курса, которые нашли отражение в условиях. В случае неудачи рекомендуется обратиться за помощью к преподавателю.

Примеры решения и оформления задач

Задача № 1 (шифры 1, 2, 3)

На плоскую дифференциальную решетку, содержащую $|N|$ штрихов, нормально падает свет от двойной линии натрия ($\lambda_1 = 589.0 \text{ нм}, \lambda_2 = 589.6 \text{ нм}$). Число штрихов, приходящееся на 1 мм длины, равно $|n|$. Максимальный порядок спектра, который можно получить в данной области спектра - $|m|$, минимальное расстояние между спектральными линиями, которые способна разрешить решетка в этой области спектра - $|\delta\lambda|$. Спектр порядка $|m|$ фотографируется на фотопластинке с помощью объектива с фокусным расстоянием $|f|$, при этом на фотопластинке между спектральными линиями $|\lambda|$ и $|\lambda_0|$ получается расстояние $|\Delta|$. Определить неизвестную величину.

Шифр	$N \cdot 10^{-3}$	n	m	$\delta\lambda \cdot 10^3$, нм	f , см	Δ , мм
1	40	500	?	-	-	-
2	50	500	-	?	-	-
3	-	500	-	-	50	?

Решение

1) Шифр 1. Необходимо определить максимальный порядок спектра, найдем период решетки.

$$d = \frac{1}{n} = \frac{1}{500} = 0.002 / \text{мм} /$$

Выразим его в нанометрах: $d = 2000 \text{ нм}$.

При нормальном падении монохроматического света на дифракционную решетку положение главного максимума m – ого порядка определяется уравнением:

$$d \sin \theta = m\lambda, \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

Не все натуральные значения m , входящие в это выражение, допустимы. Так как $\sin \theta < 1$, то на m должно быть наложено ограничение

$$\left| \frac{m\lambda}{d} \right| < 1 \quad \text{или} \quad m \leq \frac{d}{\lambda}$$

Учитывая это обстоятельство, получим

$$m \leq 2000/589,6 = 3,39$$

И, так как m должно быть целым, находим, что максимальным порядком спектра будет 3. Этот ответ заносится на карту. Отметим, что общее число штрихов N при решении задачи нам не понадобилось. Это условие оказалось лишним.

2) Шифр 2. Спектральные линии с близкими длинами волн λ и $\lambda + \delta\lambda$ считаются разрешенными, если главный максимум дифракционной картины для одной длины волны совпадает по своему положению с первым дифракционным минимумом в том же порядке для другой длины волны. Первый дифракционный минимум определяется уравнением:

$$d \sin \theta = \left(m + \frac{1}{N} \right) \cdot \lambda,$$

Главный дифракционный максимум – уравнением:

$$d \sin \theta = m \cdot (\lambda + \delta\lambda)$$

Отсюда - $\left(m + \frac{1}{N} \right) = m \cdot (\lambda + \delta\lambda)$, и следовательно,

$$\delta\lambda = \frac{\lambda}{Nm}$$

Сначала определим m максимальный порядок спектра.

Действуя аналогично предыдущему варианту (шифр 1), определим

$$m = \left[\frac{d}{\lambda} \right] = \left[\frac{1}{n\lambda} \right], \quad \text{где квадратные скобки } [\dots], \text{ означают целую часть числа } \frac{1}{n\lambda}.$$

$$\text{Итак, } m = 3, \text{ а } \delta\lambda = \frac{589}{50 \cdot 10^3 \cdot 3} = 3,93 \cdot 10^{-3} \text{ (нм)}.$$

В ответ заносим 3,93 в соответствии с обозначением графы ($\delta\lambda \cdot 10^3$, нм).

3) Шифр 3. Найдем угловое расстояние между спектральными линиями λ_1 и λ_2 в третьем порядке, который, как это следует из предыдущих вариантов /шифр 1/, является максимальным. Имеем:

$$d \sin \theta_1 = m\lambda_1 ,$$

$$d \sin \theta_2 = m\lambda_2 .$$

Запишем разность этих соотношений:

$$d(\sin \theta_1 - \sin \theta_2) \cong d \cos \theta \cdot \delta\theta = m(\lambda_1 - \lambda_2)$$

В последнем равенстве мы воспользовались тем, что углы дифракции θ_1 и θ_2 для близких линий λ_1 и λ_2 близки.

Выразим $\cos \theta$ через исходные данные:

$$\cos \theta = \sqrt{1 - \sin^2 \theta} = \sqrt{1 - \left(\frac{m\lambda}{d}\right)^2} ,$$

где

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} = \lambda_{cp} .$$

Таким образом, угловое расстояние между линиями λ_1 и λ_2 в m -ом порядке определяется выражением:

$$\delta\theta = \frac{m(\lambda_2 - \lambda_1)}{d \sqrt{1 - \left(\frac{m\lambda}{d}\right)^2}} = \frac{m(\lambda_2 - \lambda_1)}{\sqrt{d^2 - m^2\lambda^2}} .$$

Чтобы найти расстояние Δ между линиями λ_1 и λ_2 на фотопластинке, необходимо умножить угловое расстояние на фокусное расстояние линзы:

$$\Delta = \frac{fm(\lambda_2 - \lambda_1)}{\sqrt{d^2 - m^2\lambda^2}} .$$

В соответствии с предыдущими вариантами

$$d = \frac{1}{n} = 0.002(\text{мм}), \quad m = \left[\frac{d}{\lambda} \right] = \left[\frac{1}{n\lambda} \right] = 3.$$

Подставляя эти значения в общую формулу, получим:

$$\Delta = 500 \frac{3 \cdot 0.6 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{4 \cdot 10^{-6} - 9 \cdot 589^2 \cdot 10^{-12}}} = 0.96(\text{мм})$$

В ответ заносим результат 0,96.

Задача №3 (шифр ..., 3, ...)

На покоящийся свободный электрон падает фотон с энергией $E_\phi = \hbar\omega$. Рассеянный фотон имеет энергию $E'_\phi = \hbar\omega'$ и распространяется под углом θ по отношению к первоначальному направлению. После столкновения электрон обладает энергией E'_e .

Определить неизвестную величину.

Шифр	E_ϕ , МэВ	E'_ϕ , МэВ	E'_e , МэВ	θ , град.
3	1,5	-	?	60

К тексту задачи **3** приложена матрица числовых данных. Выберем числовые данные, соответствующие шифру 3. Тогда, знак «-» в графе E'_ϕ означает, что энергию рассеянного фотона определять не нужно. Необходимо определить энергию электрона отдачи E'_e и выразить её в МэВ, при этом исходные данные:

Энергия падающего фотона $E_\phi = 1,5\text{МэВ}$

Угол рассеяния $\theta = 60^\circ$.

Решение. Это типичная задача на эффект Комптона.

Комптон, исследуя рассеяние рентгеновских лучей различными веществами, обнаружил, что в рассеянных лучах длина волны излучения является определённой функцией угла рассеяния θ : $\lambda' = \lambda(\theta) > \lambda$, при этом длина волны рассеянных лучей больше длины λ падающего излучения.

Все особенности эффекта Комптона удалось объяснить, пользуясь корпускулярными представлениями о падающем излучении как о потоке релятивистских частиц фотонов, упруго рассеивающихся на электронах. При этом в каждом акте взаимодействия падающий фотон упруго взаимодействует с одним электроном в соответствии с законами сохранения энергии и импульса. Вероятность много частичных взаимодействий, например, взаимодействия двух фотонов с электроном, пренебрежимо мала (около четырех порядков) по сравнению со стандартным однофотонным взаимодействием.

Фотон является сугубо релятивистской частицей, движущейся с постоянной скоростью $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$. Энергия фотона $E_\phi = \hbar\omega$, где ω - циклическая частота излучения, импульс

фотона $P_\phi = \frac{\hbar\omega \vec{n}}{c} = \frac{\vec{n} E_\phi}{c}$, где \vec{n} - единичный вектор, указывающий направление

распространения излучения. Запишем кинематическое соотношение для фотона, т.е. соотношение, связывающее импульс и энергию частицы:

$$E_\phi^2 - P_\phi^2 c^2 = 0. \quad (1)$$

Это соотношение справедливо для любой частицы, имеющей нулевую массу покоя.

При расчетах мы считаем электрон свободной, покоящейся частицей. Конечно, это идеализация. В действительности электрон связан внутри атома. Но, поскольку энергия связи порядка нескольких электронвольт (по крайней мере, для внешних оболочек), а энергия падающего фотона имеет порядок нескольких миллионов электронвольт, с

хорошим приближением можно считать электрон свободным и покоящимся ($U_e = 0$, $P_e = 0$).

Энергия покоя электрона $E_0 = m_e c^2 = 0.511 \text{ МэВ}$. Энергия падающего кванта излучения имеет такой же порядок, поэтому в результате взаимодействия электрон приобретает энергию, сравнимую с энергией покоя. Следовательно, мы должны рассматривать электрон в рамках релятивистской кинематики, т.е. пользоваться следующим кинематическим соотношением между энергией и импульсом электрона.

$$E_e^2 - P_e^2 c^2 = m_e^2 c^4. \quad (2)$$

Нетрудно убедиться, что из (2) следует (1), если устремить массу покоя m_e к нулю.

Из законов сохранения энергии и импульса вытекают два уравнения (одно – скалярное, второе – векторное):

$$E_\phi + E_e = E'_\phi + E'_e, \quad (3)$$

$$\vec{P}_\phi + \vec{P}_e = \vec{P}'_\phi + \vec{P}'_e. \quad (4)$$

Штрихованные обозначения относятся к рассеянным электрону и фотону. В равенствах (3) и (4) сделаем тождественные преобразования:

$$E_\phi + E_e - E'_\phi = E'_e, \quad (5)$$

$$\vec{P}_\phi + \vec{P}_e - \vec{P}'_\phi = \vec{P}'_e. \quad (6)$$

После этого возведем оба уравнения в квадрат, для (6) это означает скалярное умножение на себя. Кроме того, правую и левую части в (6) умножим на c^2 .

Получим:

$$(E_\phi + E_e - E'_\phi)^2 = E_e'^2, \quad (7)$$

$$(\vec{P}_\phi + \vec{P}_e - \vec{P}'_\phi)^2 c^2 = P_e'^2 c^2. \quad (8)$$

Вычтем из равенства (7) равенство (8):

$$(E_{\phi} + E_e - E'_{\phi})^2 - (\vec{P}_{\phi} + \vec{P}_e - \vec{P}'_{\phi})^2 c^2 = E_e'^2 - P_e'^2 c^2. \quad (9)$$

Но согласно (2) правая часть равенства (9) тождественно равна $m_e^2 c^4$, поэтому

$$(E_{\phi} + E_e - E'_{\phi})^2 - (\vec{P}_{\phi} + \vec{P}_e - \vec{P}'_{\phi})^2 c^2 = m_e^2 c^4. \quad (10)$$

Раскроем скобки в (9) и перегруппируем члены:

$$\begin{aligned} & (E_{\phi}^2 - P_{\phi}^2 c^2) + (E_e^2 - P_e^2 c^2) + (E_{\phi}'^2 - P_{\phi}'^2 c^2) + 2E_{\phi}E_e - 2E_{\phi}E_{\phi}' - \\ & 2E_eE_{\phi}' - 2(\vec{P}_{\phi} \vec{P}_e)c^2 + 2(\vec{P}_{\phi} \vec{P}_{\phi}')c^2 + 2(\vec{P}_e \vec{P}_{\phi}')c^2 = m_e^2 c^4 \end{aligned} \quad (11)$$

В соответствии с отмеченным выше $E_e \cong m_e c^2$, $\vec{P}_e \cong 0$.

Первые три скобки упрощаются с помощью равенств (1) и (2), остальные члены запишем в следующем виде:

$$\begin{aligned} E_{\phi}E_e &= \hbar\omega m_e c^2, \\ E_eE_{\phi}' &= mc^2 \hbar\omega', \\ (\vec{P}_{\phi} \vec{P}_e)c^2 &= 0, \end{aligned} \quad (12)$$

$$(\vec{P}_{\phi} \vec{P}_{\phi}')c^2 = E_{\phi}E_{\phi}' \cos\theta = \hbar^2\omega\omega' \cos\theta.$$

В результате придем к формуле:

$$m_e c^2 (\hbar\omega - \hbar\omega') = \hbar^2\omega\omega'(1 - \cos\theta). \quad (13)$$

И, окончательно, получим удобное для вычислений выражение:

$$E_{\phi} - E_{\phi}' = \frac{E_{\phi}E_{\phi}'}{m_e c^2} (1 - \cos\theta) \quad (14)$$

Энергию рассеянного электрона, электрона отдачи, найдем из закона сохранения энергии:

$$E_e' = E_{\phi} - E_{\phi}' + m_e c^2 \quad (15)$$

Итак, (13) и (14) дают нам решение задачи в общем виде.

Осталась последняя стадия – численный расчет. Удобно решать задачу во внесистемных единицах энергии, более точно – кратных внесистемных единицах – МэВ.

Найдем предварительно энергию рассеянного фотона:

$$E_{\phi}' = \frac{E_{\phi}}{1 + \frac{E_{\phi}}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} = \frac{1.5}{1 + \frac{1.5}{0.511} (1 - 0.5)} = \frac{1.5}{2.5} \approx 0.6$$

$$E_{\phi}' = 0,6 \text{ МэВ.}$$

В соответствии с правилами приближенного вычисления результат округлен до одной значащей цифры.

После этого не составляет труда найти энергию электрона отдачи:

$$E_{\phi} = 1.5 - 0.6 + 0.511 \approx 1.4 \text{ (МэВ)}$$

В ответ заносим значение 1,4.

Задача №4 (шифр ..., 3, ...)

Определить возможные для данной электронной конфигурации атомные термы при условии, что электроны эквивалентны.

Шифр	1	2	3	4	5
Электронная конфигурация	p^3	...	...

Ответ привести в виде арифметического числа, полученного по следующему правилу:

1) правильные термы записывают в порядке возрастания их номера из приведенной ниже таблицы;

2) число, составленное из номеров правильных термов, записанное в порядке возрастания, заносят на карточку в графу ответов.

Номер	1	2	3	4	5	6
Терм	2P	4F	2D	4S	2S	4D

Решение. Выберем данные, соответствующие шифру 3. Покажем, каким образом можно найти возможные для данной электронной конфигурации из трех электронов атомные термы. Если электроны не эквивалентны, т.е. имеем неравные главные квантовые числа, то определение возможных значений L и S производится непосредственно по правилу сложения моментов. Так при конфигурации $1p, 2p, 3p$ суммарный момент L может иметь значения 3, 2, 1, а суммарный спин $S=3/2, 1/2$. Комбинируя варианты, получим термы

$${}^4F, {}^2F, {}^4D, {}^2D, {}^4P, {}^2P.$$

В нашем случае электроны эквивалентны, поэтому появляются ограничения, налагаемые принципом Паули.

При $l=1$ (P – состояние) проекция m орбитального момента может принимать значение $m = 1, 0, -1$, поэтому возможны шесть состояний со следующими квантовыми числами m, S :

$$1)1, 1/2; \quad 2)0, 1/2; \quad 3)-1, 1/2; \tag{1}$$

$$1')1, -1/2; \quad 2')0, -1/2; \quad 3')-1, -1/2.$$

Три электрона можно расположить по одному в трёх из этих состояний (принцип Паули). Число возможных комбинаций при этом определяется числом сочетаний из шести состояний (1) по три для трех не эквивалентных электронов

$$C_6^3 = \frac{6!}{3!(6-3)!} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1}{(3 \cdot 2 \cdot 1)^2} = 20.$$

В результате получим состояние атома со следующими значениями проекции

$$M_L = \sum_{i=1}^3 m_i, \quad M_S = \sum_{i=1}^3 S_i \quad \text{полного орбитального момента и полного спина}$$

$$\begin{aligned} & [1, 1', 2] | (2, 1/2), \\ & [1, 1', 3] | (1, 1/2), \\ & [1, 2, 2'] | (1, 1/2), \\ & [1, 2, 3] | (0, 3/2), \\ & [1, 2, 3'] | (0, 1/2), \\ & [1, 2', 3] | (0, 1/2), \\ & [1', 2, 3] | (0, 1/2). \end{aligned} \tag{2}$$

Поясним смысл обозначений в (2). Первые три цифры до вертикальной черты, заключенные в квадратные скобки, определяют состояния соответственно первого, второго и третьего электрона из всех возможных состояний, представленных в (1). Первая цифра после вертикальной черты указывает значение проекции суммарного орбитального момента на заданную ось, вторая – значение проекции суммарного спинового момента.

Отметим также, что в (2) представлены только состояния с положительными M_L и M_S суммарных орбитальных и суммарных спиновых проекций моментов на выделенную ось. Состояния с отрицательными M_L и M_S строятся аналогично, так что к семи состояниям в (2) добавляется ещё тринадцать состояний, в которых либо M_L , либо M_S , либо M_L и M_S вместе, принимают отрицательные значения. Например, помимо состояния с (2, 1/2) из (2), в котором один из электронов находится в состоянии 1, второй в состоянии 1' и третий в состоянии 2 из (1), возможны ещё состояния с (-2, 1/2), (-2, -1/2), (2, -1/2). В этих состояниях имеем те же по абсолютной величине значения M_L и M_S , но с отрицательными знаками.

Наличие состояния с $M_L=2$, $M_S=1/2$ показывает, что должен иметься терм 2D , этому терму должны соответствовать ещё одно из состояний $(1, 1/2)$ и $(0, 1/2)$. Знаки опять опускаем.

Далее, остается еще одно состояние с $(1, 1/2)$, так что должен иметься терм 2P , ему отвечает так же и одно из состояний с $(0, 1/2)$.

Наконец, остаются еще состояния $(0, 3/2)$ и $(0, 1/2)$, которые соответствуют терму 4S .

Итак, для конфигурации из трех эквивалентных p -электронов возможны три вида термов: 2D , 2P , 4S .

При более подробном анализе с учетом знаков проекций суммарного орбитального и суммарного спинового моментов получим:

1) десять состояний, образующих терм 2D –

$(2, 1/2), (-2, 1/2), (2, -1/2), (-2, -1/2), (1, 1/2), (-1, 1/2), (1, -1/2), (-1, -1/2),$
 $(0, 1/2), (0, -1/2);$

2) шесть состояний, образующих терм 2P –

$(1, 1/2), (-1, 1/2), (1, -1/2), (-1, -1/2), (0, 1/2), (0, -1/2);$

3) четыре состояния, образующие терм 4S –

$(0, 3/2), (0, -3/2), (0, 1/2), (0, -1/2).$

Подводя итог, констатируем несложную арифметику проведенного анализа:

всего 20 возможных состояний трех эквивалентных p -электронов = 10 состояний (терм 2D) + 6 состояний (терм 2P) + 4 состояния (терм 4S).

Приступим к последней стадии – оформлению ответа.

Сопоставим каждому из трех полученных термов его номер из таблицы ответов, при этом запишем номера в порядке возрастания

$${}^2P \rightarrow 1, \quad {}^2D \rightarrow 3, \quad {}^4S \rightarrow 4.$$

В графу ответов заносим число, составленное из номеров правильных термов – 134.

Задачи для домашнего задания

Оптика и атомная физика

Глава 1. Геометрическая оптика.

01.1 Стекло́нная тонкостенная колба, имеющая форму шара радиуса $/R/$, наполнена прозрачной жидкостью с показателем преломления $/n/$. Внутри колбы плавает крупинка на расстоянии $/d/$ от поверхности колбы. Наблюдатель смотрит вдоль диаметра шара на крупинку и видит её на расстоянии $/b/$ от поверхности. Найти неизвестную величину.

Шифр	$R, \text{см}$	n	$d, \text{см}$	$b, \text{см}$
1	?	1,33	1,0	0,79
2	8,0	?	3,0	2,66
3	4,0	1,40	?	1,66
4	6,0	1,15	0,5	?
5	7,0	1,50	?	1,89

01.2 Две тонкие плоско-выпуклые линзы, имеющие фокусные расстояния $/f_1/$ и $/f_2/$ соответственно, помещены в оправу так, что выпуклые поверхности соприкасаются. Систему помещают в жидкость с показателем преломления $/n/$. В случае, если внутри оправы жидкость не попадает, система имеет фокусное расстояние $/F_1/$, если же жидкость попадает между линзами, система имеет фокусное расстояние $/F_2/$. Показатель преломления вещества, из которого изготовлены линзы, $-/n_0/$. Определить неизвестную величину.

Шифр	$f_1, \text{см}$	$f_2, \text{см}$	$F_1, \text{см}$	$F_2, \text{см}$	n	n_0
1	6	8	?	8,9	1,30	1,60
2	5	9	4,5	?	1,40	1,50
3	10	5	5,0	20,6	?	1,66
4	4	3	2,4	5,6	1,40	?
5	8	?	4,1	12,0	1,33	1,50

01.3 Фокусное расстояние объектива зрительной трубы $/f_1/$, а окуляра - $/f_2/$. Показатель преломления стекла объектива и окуляра - $/n_0/$. Труба погружается в прозрачную жидкость с показателем преломления $/n/$, которая заполняет её внутреннюю часть. Объектив трубы заменяют линзой из того же стекла с фокусным расстоянием $/f_3/$, после чего в неё можно рассматривать удалённые предметы в жидкости. Определить неизвестную величину.

Шифр	$f_1, \text{см}$	$f_2, \text{см}$	$f_3, \text{см}$	n_0	n
1	15,0	3,0	?	1,66	1,20
2	25,0	?	3,4	1,50	1,33
3	?	5,0	8,8	1,70	1,40
4	35,0	3,5	11,3	?	1,30
5	25,0	4,5	3,6	1,75	?

01.4 Горизонтально расположенное цилиндрическое вогнутое зеркало радиуса кривизны $/R/$ наполнено прозрачной жидкостью, имеющей показатель преломления $/n_1/$. Сверху зеркало накрыли прозрачной плоскопараллельной пластинкой толщины $/h/$, имеющей показатель преломления $/n_2/$. Описанная оптическая система имеет фокусное расстояние $/F/$, которое отсчитывается от нижней точки цилиндрического зеркала. Считать глубину

жидкости малой по сравнению с радиусом кривизны зеркала. Определить неизвестную величину.

Шифр	$R, \text{см}$	$F, \text{см}$	n_1	n_2	$h, \text{см}$
1	?	20,2	1,5	1,2	1,0
2	40	?	1,2	1,5	1,5
3	50	19,3	?	1,3	0,5
4	30	11,4	1,4	?	2,0
5	100	33,4	1,5	1,3	?

01.5 Микроскоп имеет объектив с фокусным расстоянием $/f_1/$ и окуляр с фокусным расстоянием $/f_2/$, расстояние между объективом и окуляром равно $/L/$. Объект, рассматриваемый в микроскоп, находится на расстоянии $/d/$ от объектива. Изображение при этом получается на расстоянии $/a/$ от глаза. Определить неизвестную величину.

Шифр	$f_1, \text{см}$	$f_2, \text{см}$	$L, \text{см}$	$d, \text{см}$	$a, \text{см}$
1	?	6,0	10,0	0,32	38,9
2	0,25	?	15,0	0,26	153,8
3	0,36	4,5	16,0	?	6,6
4	0,12	5,8	7,0	0,13	?
5	0,24	3,9	?	0,25	13,0

01.6 Точечный предмет находится на высоте $/h/$ над уровнем жидкости. На дно сосуда, который заполняет жидкость, положили плоское зеркало. Глубина жидкости в сосуде равна $/l/$. Изображение предмета находится на расстоянии $/d/$ от поверхности жидкости, при этом за положительное направление, в котором отсчитывают $/d/$, считают

направление вверх. Показатель преломления жидкости n . Определить неизвестную величину.

Шифр	$h, \text{см}$	$l, \text{см}$	n	$d, \text{см}$
1	?	105	1,33	162,9
2	10	?	1,40	142,9
3	20	54	?	89,7
4	65	15	1,23	?
5	33	?	1,26	75,2

Глава 2. Интерференция света.

02.1 Из плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны R , изготовленной из стекла с показателем преломления n , вырезана центральная часть ширины a . Обе половины линзы сдвинуты до соприкосновения. С одной стороны линзы помещён точечный источник монохроматического света с длиной волны λ . С противоположной – экран, на котором наблюдается интерференционная картина. Расстояние между соседними светлыми полосами - Δ не изменяется при перемещении экрана вдоль оптической оси.

Найти неизвестную величину.

Шифр	$R, \text{см}$	n	$a, \text{мм}$	$\lambda, \text{нм}$	$\Delta, \text{мм}$
1	?	1,33	0,3	510	0,6
2	50	?	0,5	640	1,3
3	16	1,40	?	420	1,7
4	35	1,60	0,4	?	0,6
5	100	1,45	1,0	480	?

02.2 Для получения интерференционной картины от источника света с длиной волны λ используется бипризма с малым преломляющим углом α и показателем преломления n . Расстояние источника света от бипризмы равно a , а расстояние бипризмы от экрана равно b . K -ая светлая полоса расположена на расстоянии l_K от центра интерференционной картины. Определить неизвестную величину. Считать, что экран располагается почти перпендикулярно интерферирующим лучам.

Шифр	$\lambda, \text{нм}$	n	$a, \text{м}$	$b, \text{м}$	K	$l_K, \text{мм}$	$\alpha, \text{мин}$
1	?	1,3	1,5	2,4	5	2,9	15
2	410	1,5	?	1,3	8	0,5	36
3	390	1,6	1,3	?	3	0,2	42
4	560	1,45	1,1	1,6	9	?	28
5	650	1,33	1,8	1,4	4	0,5	?

02.3 Для получения интерференционной картины используют бипризму Френеля. Преломляющий угол бипризмы α , расстояние между вершинами преломляющих углов бипризмы составляет l . Показатель преломления стекла бипризмы n . Между точечным источником монохроматического света с длиной волны λ и бипризмой помещают линзу таким образом, что ширина интерференционных полос не зависит от расстояния до экрана. Экран располагается на таком расстоянии L от бипризмы, что число наблюдаемых интерференционных полос N является максимальным при данных условиях. Определить неизвестную величину.

Шифр	$\alpha, \text{мин}$	$l, \text{см}$	n	$\lambda, \text{нм}$	N	$L, \text{м}$
1	4,0	4,0	1,60	560	?	-
2	6,0	5,0	1,30	630	-	?
3	10,5	3,5	1,45	?	117	-
4	2,3	?	1,50	390	-	44,86

5	8,4	7,5	?	480	125	23,26
---	-----	-----	---	-----	-----	-------

02.4 Кольца Ньютона получают с помощью плоско-выпуклой линзы с радиусом кривизны $/R_1/$, которую положили на вогнутую сферическую поверхность с радиусом кривизны $/R_2/$ $/R_2 > R_1/$. Пространство между линзой и вогнутой поверхностью заполнено прозрачной жидкостью с показателем преломления $/n/$. Кольца наблюдаются в отражённом свете. Длина световой волны равна $/\lambda /$. Радиус m -го светлого кольца равен r_m . Определить неизвестную величину. Считать жидкость оптически менее плотной, чем вещество, из которого изготовлена линза и поверхность.

Шифр	$R_1, \text{см}$	$R_2, \text{см}$	m	$r_m, \text{мм}$	$\lambda, \text{нм}$	n
1	?	50	2	1,25	690	1,33
2	60	?	3	1,31	530	1,40
3	33	55	1	?	420	1,50
4	84	110	4	1,83	390	?
5	90	100	5	3,64	?	1,60

02.5 Между плосковыпуклой линзой радиуса кривизны $/R/$ и пластинкой налита прозрачная жидкость с показателем преломления $/n/$. Линза плотно прилегает выпуклой поверхностью к пластинке. Установка используется для наблюдения колец Ньютона в отражённом монохроматическом свете длины волны $/\lambda/$. $/K/$ -ое тёмное кольцо Ньютона имеет радиус $/r_k/$. Определить неизвестную величину. Считать жидкость оптически менее плотной, чем вещество, из которого изготовлена линза и пластинка.

Шифр	$R, \text{см}$	n	$\lambda, \text{нм}$	K	r_k
1	?	1,33	610	2	0,30
2	30	?	560	3	0,60

3	50	1,60	?	1	0,36
4	60	1,70	480	?	0,82
5	90	1,45	390	6	?

02.6 Плоскопараллельная пластинка лежит на одной из поверхностей двояковыпуклой линзы. При наблюдении колец Ньютона в отражённом свете длины волны λ , получено, что радиус тёмного кольца порядка m равен r_m . Когда пластинка была положена на другую поверхность линзы, радиус тёмного кольца того же порядка получается равным r_m' . Фокусное расстояние используемой линзы равно f , показатель преломления стекла, из которого она изготовлена, n . Определить неизвестную величину.

Шифр	λ , нм	m	r_m , мм	r_m' , мм	f , см	n
1	?	1	0,25	1,4	60,18	1,33
2	560	3	?	1,2	1,44	-1,40
3	390	2	0,86	?	43,04	1,50
4	410	4	0,13	3,1	?	1,60
5	480	?	0,22	4,8	4,97	1,45

Глава 3. Дифракция. Спектральные приборы

03.1 Коллиматорная щель ширины Δ , освещаемая источником монохроматического света длины λ , помещается в фокусе линзы с фокусным расстоянием f . Пройдя через линзу, свет падает на дифракционную решётку, плоскость которой перпендикулярна к главной оптической оси линзы. Число штрихов решётки N , её период d . Конечная ширина коллиматорной щели не позволяет полностью использовать разрешающую способность

решётки: разрешающая способность решётки в окрестности длины волны λ в K - раз меньше теоретической разрешающей способности. Определить неизвестную величину.

Шифр	Δ ,мм	f ,см	N	d ,мм	λ ,нм	K
1	?	30	1000	0,010	500	2
2	0,10	?	2000	0,009	450	21
3	0,20	20	?	0,004	600	6
4	0,30	25	1000	?	420	11
5	0,25	50	750	0,002	?	2

03.2 Пластика Луммера-Герке имеет длину L и изготовлена из прозрачного материала, имеющего показатель преломления n . Пластику используют как спектральный прибор для разрешения дублета (двух монохроматических волн, имеющих близко лежащие длины волн). Средняя длина волны дублета равна λ , разность длин волн линий дублета равна $\delta\lambda$. Определить неизвестную величину. Величиной $dn/d\lambda$ пренебречь. Считать, что дублеты, имеющие меньшую разность длин волн, чем $\delta\lambda$, пластинка не разрешает.

Шифр	L ,см	λ ,нм	$\delta\lambda$,нм	n
1	?	654,2	0,011	1,40
2	1,7	?	0,008	1,50
3	6,2	393,8	?	1,60
4	9,3	567,7	0,006	?
5	2,2	?	0,007	1,55

03.3 На плоскую отражательную дифракционную решётку, имеющую период d и содержащую N штрихов, нормально падает свет, представляющий из себя дублет (смесь двух монохроматических излучений с длинами волн λ_1 и λ_2), $\delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$, $\delta\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$, $\delta\lambda \ll \lambda$. Спектр K -го порядка фотографируется на фотопластинке с помощью

фотообъектива с фокусным расстоянием f . При этом на фотопластинке получаются спектральные линии λ_1 и λ_2 на расстоянии Δ . Определить неизвестную величину. Фотообъектив и фотопластинка располагаются параллельно дифракционной решётке.

Шифр	N	$d, \text{мкм}$	$\delta\lambda, \text{нм}$	$\lambda, \text{нм}$	$f, \text{см}$	$\Delta, \text{мм}$	K
1	$6 \cdot 10^4$	2	?	560	60	0,37	2
2	$3 \cdot 10^4$	?	0,09	410	110	1,06	3
3	$5 \cdot 10^3$	5	0,13	?	85	0,35	8
4	$4 \cdot 10^2$	8	0,48	610	?	2,99	10
5	$8 \cdot 10^3$	10	0,89	512	150	?	14

03.4 На плоскую отражательную решётку нормально падает свет, представляющий из себя дублет (смесь двух монохроматических излучений с длинами волн λ_1 и λ_2 , $\delta\lambda = \lambda_1 - \lambda_2$, $\delta\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$, $\delta\lambda \ll \lambda$). Решётка содержит N штрихов и имеет период d . Известно, что указанный дублет решётка разрешает, но дублеты, лежащие ближе, разрешить данной решёткой невозможно. В рассматриваемой области спектра в K -ом порядке решётка имеет дисперсию D . Определить неизвестную величину.

Шифр	N	$d, \text{мкм}$	$\lambda, \text{нм}$	$\delta\lambda, \text{нм}$	$D/\text{угл.с./\AA}$	K
1	$6 \cdot 10^4$	2,0	560	0,0031	?	3
2	$3 \cdot 10^4$	1,5	410	?	32,8	2
3	$5 \cdot 10^3$	5,0	?	0,0058	27,8	6
4	$4 \cdot 10^2$	8,0	610	0,1173	76,7	?
5	$8 \cdot 10^3$	?	512	0,0336	48,3	15

03.5 Небольшой предмет облучают монохроматическим светом длины λ . Для получения изображения предмета используют зональную пластинку, которую располагают на

расстоянии a от предмета, при этом изображение получается на расстоянии b от пластинки. Используется пластинка, у которой центр светлый, при этом внутренний радиус m -го по счёту кольца равен R_m . Первым кольцом считается центральная зона, вторым – следующее за центральной зоной светлое кольцо и т.д. Определить неизвестную величину.

Шифр	$a, м$	$b, м$	m	$\lambda, м$	$R_m, мм$
1	0,89	2	?	650	2,0
2	0,35	?	8	560	1,5
3	?	3	7	480	0,5
4	2,28	0,5	3	?	0,8
5	0,095	1,2	5	510	?

03.6 Зональная пластинка, освещаемая светом с длиной волны λ , имеет фокусное расстояние f . Радиус m -го светлого кольца этой пластинки равен R_m . Если пространство между зональной пластинкой и экраном заполнить средой с показателем преломления n , то пластинка будет иметь фокусное расстояние f' . Определить неизвестную величину. Известно, что центр зональной пластинки светлый. Указание. Не путать номер m -го светлого кольца и номер m -ой зоны Френеля.

Шифр	$\lambda, нм$	m	$R_m, мм$	$f, см$	$f', см$	n
1	?	2	0,50	12,17	-	1,40
2	710	1	?	-	115,7	1,50
3	480	3	1,10	?	-	1,30
4	390	4	0,43	-	?	1,45

5	560	1	0,66	-	124,4	?
---	-----	---	------	---	-------	---

Глава 4. Поляризация света

04.1 Частично поляризованный свет рассматривают через николю. При повороте николя на угол α от положения, соответствующего максимальной яркости, яркость пучка уменьшается в n раз. Степень поляризации пучка

$\Delta = (I_s - I_p) / (I_s + I_p)$, где I_s и I_p - максимальная и минимальная интенсивность света, проходящего через николю. Отношение интенсивностей естественного и линейно поляризованного света γ . Определить неизвестную величину.

Шифр	α , град.	n	γ	Δ
1	?	1,1	3,5	-
2	60,0	?	-	0,80
3	75,0	2,5	?	-
4	22,5	1,1	1,2	?
5	?	1,5	-	0,53

04.2 Узкий монохроматический пучок эллиптически поляризованного света проходит через пластинку в четверть волны. При определённой ориентации пластинки прошедший свет оказывается линейно поляризованным под углом α к вертикали. После того, как пластинку дополнительно перевернули на прямой угол, опять наблюдается плоская поляризация, но с углом β к вертикали. Поляризация падающего света определяется следующими параметрами: отношение осей эллипса равно K и наклон главной оси по отношению к вертикали равен γ . Определить неизвестную величину. Считать $K > 1$, углы α, β и γ принадлежащими интервалу $0-90^\circ$ и $\alpha < \beta$

Шифр	α ,град.	β ,град.	γ ,град.	K
1	?	-	45,0	2,0
2	-	?	60,0	3,0
3	74,62	-	?	2,5
4	-	54,59	54,0	?
5	-	32,24	?	4,0

04.3 Два идеальных поляризатора $/\Pi_1/$ и $/\Pi_2/$ установлены один за другим, при этом плоскости пропускания поляризаторов составляют угол $/\beta/$. На систему падает пучок поляризованного света интенсивности $/I_0/$, плоскость поляризации которого составляет угол $/\alpha/$ с плоскостью пропускания первого поляроида. $/\alpha/$ и $/\beta/$ отсчитываются в одном направлении. Интенсивность прошедшего света после прохождения системы для случая, когда свет сначала падает на поляроид $/\Pi_1/$ равна $/I_1/$, интенсивность света в случае обратного направления, т.е., когда свет сначала падает на поляроид $/\Pi_2/$, равна $/I_2/$. Определить неизвестную величину.

Шифр	α ,град.	β ,град.	I_0 ,Вт/см ²	I_1 ,Вт/см ²	I_2 ,Вт/см ²
1	60	?	0,12	0,022	-
2	?	15	-	0,364	0,453
3	45	80	?	0,165	-
4	73	21	0,75	?	-
5	85	33	0,21	-	?

04.4 Оптическая система состоит из трёх последовательно расположенных поляроидов $/\Pi_1/$, $/\Pi_2/$, $/\Pi_3/$ и находящегося за ними зеркала. Поляроиды $/\Pi_1/$ и $/\Pi_3/$ установлены так, что их плоскости поляризации взаимно перпендикулярны. На систему направляют пучок неполяризованного света интенсивностью $/I_0/$. Вышедший пучок имеет интенсивность $/I/$.

Плоскость пропускания поляроида $/\Pi_2/$ составляет угол $/\alpha/$ с плоскостью поляроида $/\Pi_1/$.

Углы отсчитываются в одном направлении. Определить неизвестную величину.

Шифр	$I, \text{мВт/см}^2$	$I_0, \text{Вт/см}^2$	$\alpha, \text{град.}$
1	?	0,35	30
2	2,37	?	25
3	12,62	0,41	?
4	1,62	?	75
5	?	0,14	60

04.5 Линейно поляризованный свет с длиной волны $/\lambda/$ проходит через кристаллическую пластинку с показателем преломления $/n_0/$ и $/n_e/$, вырезанную параллельно главной оптической оси. Толщина пластинки $/d/$. Плоскость поляризации падающего света составляет угол $/\varphi/$ с главной оптической осью пластинки $/0 \leq \varphi \leq 90^\circ/$. За кристаллической пластинкой, параллельно её плоскости среза располагают поляризатор, вращением которого добиваются максимальной интенсивности $/I/$ прошедшего света. Интенсивность падающего света $/I_0/$. Вносимый пластинкой сдвиг фазы равен $/\delta/$. Определить неизвестную величину.

Шифр	$\lambda, \text{мкм}$	$n_0 - n_e$	$\varphi, \text{град.}$	$d, \text{мкм}$	I/I_0	δ
1	0.69	0,046	30	200	?	-
2	0.48	0,170	60	?	0,80	$20\pi < \delta < 20.5\pi$
3	0.59	0,014	?	130	0,95	-
4	0.63	?	45	75	0,80	$6\pi < \delta < 6.5\pi$
5	?	0,013	30	200	0,90	$5\pi < \delta < 5.5\pi$

04.6 Линейно поляризованный свет с длиной волны λ проходит через кристаллическую пластинку с показателем преломления n_o и n_e , вырезанную параллельно главной оптической оси. Толщина пластинки d . Плоскость поляризации падающего света составляет угол φ с главной оптической осью пластинки $0 \leq \varphi \leq 90^\circ$. За кристаллической пластинкой, параллельно её плоскости среза располагают поляроид, вращением которого добиваются минимальной интенсивности I прошедшего света. Интенсивность падающего света I_0 . Вносимый пластинкой сдвиг фазы равен δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	λ , мкм	$n_o - n_e$	φ , град.	d , мкм	I/I_0	δ
1	0.69	0,046	30	200	?	-
2	0.48	0,170	60	?	0,20	$20\pi < \delta < 20.5\pi$
3	0.59	0,014	?	130	0,05	-
4	0.63	?	45	75	0,20	$6\pi < \delta < 6.5\pi$
5	?	0,013	30	200	0,10	$5\pi < \delta < 5.5\pi$

Глава 5. ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

05.1 В плоскости большого объёма, имеющей температуру T , находится равновесное излучение. Лёгкая тонкая пластинка, представляющая собой прямоугольник со сторонами a и b , с одной стороны имеет абсолютно зеркальную поверхность, с другой – абсолютно чёрную поверхность. Результирующая сила, действующая на пластинку, равна F . Пластинка имеет температуру τ . Определить неизвестную величину.

Шифр	T , К	τ , К	a , м	b , м	$F \cdot 10^4$, Н
1	2000	10	1	1	?

2	1500	1000	2	?	15,0
3	1800	273	?	3	22,5
4	?	1200	1	4	16,0
5	1100	?	2	2	26,0

05.2 В плоскости большого объёма, имеющей температуру T , находится равновесное излучение. Тонкая лёгкая пластинка площади S имеет с одной стороны абсолютно чёрную поверхность, с другой – абсолютно серую с постоянной поглощательной способностью a . Пластинка имеет температуру τ . Результирующая сила, действующая на пластинку, равна F . Определить неизвестную величину.

Шифр	T, K	τ, K	a, m	b, m	$F \cdot 10^4, H$
1	?	200	0,9	1	0,29
2	1500	?	0,8	5	2,74
3	900	100	?	0,5	0,28
4	1500	50	0,6	?	5,11
5	1200	10	0,5	20	?

05.3 В плоскости большого объёма, имеющей температуру T , находится равновесное излучение. Лёгкая тонкая пластинка, представляющая собой прямоугольник со сторонами a и b , крепится одной из сторон a на горизонтальной оси так, что ось лежит в плоскости пластинки параллельно сторонам a . Одна из плоскостей пластинки абсолютно чёрная, вторая – абсолютно серая с постоянной поглощательной способностью c . Пластинка имеет температуру τ . Результирующий крутящий момент относительно оси равен M . Определить неизвестную величину.

Шифр	T, K	τ, K	a, m	b, m	c	$M \cdot 10^4, H^* \cdot m$
1	1600	100	1	1	0,5	?
2	1500	50	5	2	?	5,10
3	1200	10	5	?	0,5	10,42
4	500	?	1	2	0,4	4,50
5	?	60	1,5	2,4	0,8	1,56

05.4 Энергия, излучаемая через смотровое окошко печи за время t , равна W . Площадь окошка равна S . Окошко имеет постоянные коэффициенты отражения и пропускания τ и ρ соответственно. Максимум в спектре излучения приходится на длину волны λ_m . Со стороны теплового излучения на окошко действует результирующая сила F . Определить неизвестную величину. Считать температуру материала, из которого изготовлено окошко, равной температуре, установившейся в печи.

Шифр	τ, c	S, cm^2	$\lambda_m, \mu m$	r	t	$W, Дж$	$F \cdot 10^8, H$
1	10	10	2	0,3	?	?	-
2	-	5	1,5	0,4	-	-	?
3	-	4,5	2,9	?	-	-	1,7
4	35	3,3	?	0,2	600	600	-
5	-	?	2	0,4	-	-	3,5

05.5 В замкнутой плоскости, стенки которой поддерживаются при температуре T , имеется малое отверстие площади S . На расстоянии ℓ от отверстия $\ell \gg \sqrt{S}$ расположена круглая площадка радиуса r . Линия, проведенная из отверстия в центр площадки, образует с нормалью к отверстию угол α , при этом площадка перпендикулярна к этой линии. На площадку падает поток теплового излучения Φ , выходящий из отверстия в полости. Определить неизвестную величину.

Шифр	T, K	$S, \text{мм}^2$	$\ell, \text{м}$	$r, \text{см}$	$\alpha, \text{град}$	$\Phi, \text{Вт}$
1	2000	10	1,0	50	60	?
2	1000	5	1,0	100	?	0,05
3	1500	8	?	60	30	0,98
4	1200	?	1,2	70	45	0,50
5	?	10	2,0	120	60	0,80

05.6 Считая каждую из указанных планет абсолютно серым телом, вращающимся по круговой орбите радиуса $/R/$ вокруг Солнца, вычислять среднюю температуру $/t/$ на поверхности планеты. Поверхность Солнца полагать близкой по своим свойствам к абсолютно черному телу, имеющему температуру $/T=5723 \text{ К} /$. $/R_0/$ - радиус земной орбиты. Полученный результат сравните со справочными данными. Какие отсюда следуют выводы?

Шифр	Планета	R/R_0	$t, ^\circ\text{C}$
1	Меркурий	0,38	?
2	Венера	0,72	?
3	Марс	1,52	?
4	Юпитер	5,20	?
5	Сатурн	9,50	?

Глава 6. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

06.1 Пуля, летящая со скоростью v относительно фотокамеры и имеющая в своей системе покоя длину ℓ_0 , сфотографирована с большого расстояния. За пулей, параллельно ее траектории, расположен метровый стержень, покоящийся относительно фотокамеры. Направление на камеру составляет угол α с направлением скорости пули. Кажущаяся длина пули, измеренная по снимку (та часть метрового стержня на снимке, которая закрыта пулей), равна ℓ . Определить неизвестную величину.

Шифр	ℓ , см	ℓ_0 , см	v/c	α , град
1	1,98	?	0,90	30
2	2,79	2,0	?	45
3	0,53	0,5	0,75	?
4	?	1,5	0,60	120
5	1,52	?	0,50	150

06.2 Система отсчёта S' движется со скоростью v относительно системы отсчёта S . Стержень в системе отсчёта S' составляет угол θ' с направлением движения. Этот же стержень составляет угол θ с направлением движения в системе отсчёта S . Определить неизвестную величину.

Шифр	v/c	θ' , град	θ , град
1	0,9	30	?
2	0,8	?	71

3	?	45	54
4	0,6	?	27
5	0,5	50	?

06.3 Система отсчета $/S'/$ движется со скоростью $/v/$ относительно системы отсчета $/S/$. Луч света составляет угол $/\theta'/$ с направлением движения в системе отсчета $/S'/$ и угол $/\theta/$ направлением движения в системе отсчета $/S/$. Определить неизвестную величину.

Шифр	v/c	θ , град	θ' , град
1	0,9	12,26	?
2	0,8	7,56	?
3	0,7	?	60
4	?	23,41	45
5	0,5	?	30

06.4 Ускоритель даёт на выходе пучок релятивистских частиц с кинетической энергией $/T/$, сила тока в пучке равна $/I/$. Пучок давит на поглощающую его мишень с силой $/F/$, при этом мишень выделяет мощность $/W/$. Масса ускоряемой частицы $/N \cdot m_p/$, заряд $/Z \cdot e/$, где m_p – масса протона, $/e/$ - заряд электрона. Определить неизвестную величину.

Шифр	I , мА	T , МэВ	W , кВт	F , мН	N	Z
1	1.5	500	-	?	1	1
2	?	350	-	8,29	4	2

3	2.0	-	?	2,07	2	1
4	0,1	640	-	?	3	1
5	6,3	?	819	-	3	2

06.5 Некоторое тело движется с релятивистской скоростью v через газ, в единице объема которого содержится n медленно движущихся частиц с массой m каждая. Давление, производимое газом на элемент поверхности тела, нормальный к его скорости, равно P . Считать, что частицы упруго отражаются от поверхности тела. Определить неизвестную величину. Масса частиц m измеряется в единицах масс протонов m_p .

Шифр	$n \cdot 10^{-26}, \text{ м}^{-3}$	v/c	m/m_p	$P \cdot 10^{-16}, \text{ Н/м}^2$
1	10	0,8	1	?
2	1	0,9	?	2,9
3	85	?	32	302,8
4	?	0,6	28	189,4
5	25	0,7	4	?

06.6 Система S' движется относительно системы S со скоростью вектор V . Частица с массой m , обладающая в системе S' энергией E' и скоростью v' , движется под углом θ' к направлению вектора V в системе S' . Относительно системы отсчёта S частица имеет энергию E и скорость v . Определить неизвестную величину. Масса частиц m измеряется в единицах масс протонов m_p .

Шифр	$E', \text{ ГэВ}$	$E, \text{ ГэВ}$	m/m_p	v'/c	v/c	V/c	$\theta', \text{ град}$
1	2.4	-	2	-	?	0,5	30
2	5.8	?	4	-	-	0,4	60

3	-	?	3	0,8	-	0,6	45
4	2.1	3,2	1	-	-	?	75
5	3.5	-	2	-	0,8	0,9	?

Глава 7. КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

07.1 Зеркало движется нормально к собственной плоскости со скоростью v . На поверхности зеркала под углом θ и нормали падает пучок монохроматического света частоты ν . Отраженный луч имеет частоту ν' и составляет с нормалью угол θ' . Определить неизвестную величину. Скорость v считается положительной, если зеркало движется навстречу падающему пучку.

Шифр	$\nu \cdot 10^{-15}$, Гц	$\nu' \cdot 10^{-15}$, Гц	θ , град	θ' , град	v/c
1	10,0	?	30	-	0,6
2	?	8,2	75	-	0,8
3	9,0	-	45	?	0,9
4	15,5	25,0	90	-	?
5	-	10,0	?	30	0,1

07.2 Прозрачная пластинка с постоянным коэффициентом отражения r движется нормально к собственной плоскости со скоростью v . На пластинку нормально к поверхности падает световой поток Φ монохроматического света. Отраженный поток имеет интенсивность Φ' , при этом на пластинку оказывается давление P . Найти неизвестную величину. Скорость v считается положительной, если пластинка движется на встречу световому потоку.

Шифр	Φ , мВт/м ²	Φ' , мВт/м ²	v/c	r	$P \cdot 10^{14}$, Па
1	2,4	?	0,5	0,8	-
2	3,2	-	0,6	0,5	?
3	5,4	4,9	0,8	?	-
4	-	6,5	0,5	0,6	?
5	?	-	0,6	0,7	6,0

07.3 Квант света с частотой ω_0 рассеивается на движущемся свободно электроном. Начальный импульс P_0 электрона составляет угол θ_0 с направлением распространения кванта. Рассеянный фотон имеет частоту ω и распространяется под углом θ по отношению к первоначальному направлению и под углом θ_1 по отношению к начальному импульсу электрона. Определить неизвестную величину.

Шифр	$\omega_0 \cdot 10^{-21}$, рад/с	$\omega \cdot 10^{-21}$, рад/с	$P_0 \cdot c$, МэВ	θ_0 , град	θ , град	θ_1 , град
1	1,6	?	0,25	30	30	60
2	?	0,8	0,50	60	60	90
3	3,2	1,6	?	90	60	90
4	4,0	2,0	1,00	90	?	180
5	0,8	0,8	1,00	?	90	90

07.4 Фотон с энергией $\hbar\omega_0$ рассеивается на электроном, имеющем энергию ϵ_0 . Угол между импульсами фотона и электрона до рассеяния равен θ_0 . Рассеянный фотон распространяется под углом θ по отношению к первоначальному направлению и под углом θ_1 по отношению к начальному импульсу электрона. В результате рассеяния

электрон увеличит свою энергию на величину $|\Delta\varepsilon = \varepsilon - \varepsilon_0|$. Определить неизвестную величину.

Шифр	$\hbar\omega_0$, МэВ	ε_0 , МэВ	$\Delta\varepsilon$, МэВ	θ_0 , град	θ , град	θ_1 , град
1	1,0	1,0	?	90	90	60
2	1,5	?	0,5	60	0	90
3	0,9	2,0	0,3	?	0	90
4	?	1,5	0,2	90	0	120
5	2,4	2,4	0,6	90	?	90

07.5 Покоящееся свободное возбужденное ядро, с энергией возбуждения $|\Delta\varepsilon|$ излучает фотон частоты ν . Масса возбужденного ядра m . Такое ядро, жестко закрепленное в кристаллической решетке, излучает фотон частоты $\nu' = \nu + \Delta\nu$. Определить неизвестную величину.

Шифр	$\Delta\varepsilon$, МэВ	$\nu \cdot 10^{-21}$, Гц	$\Delta\nu \cdot 10^{-18}$, Гц	m , а.е.м.
1	13,2	-	?	56
2	-	?	0,21	64
3	9,5	-	0,20	?
4	?	-	0,11	70
5	-	4,6	?	106

07.6 Ядро некоторого элемента испускает мёссбауэровское γ – излучение с частотой ν_0 , измеренной в системе покоя ядра. Само ядро движется (вместе с кристаллической

решеткой, в которой оно закреплено) со скоростью v относительно некоторого инерционного наблюдателя. В момент излучения единичный вектор n , направленный от наблюдателя к ядру, составляет угол θ с вектором скорости v . Частота, измеренная наблюдателем, когда испущенное ядром γ – излучение достигает его, равна ν . Найти неизвестную величину.

Шифр	$\nu_0 \cdot 10^{-18}$, Гц	$\nu \cdot 10^{-18}$, Гц	v/c	θ , град
1	52,0	?	0,9	30
2	?	1,2	0,8	45
3	148,0	103,0	0,5	?
4	166,0	110,0	?	90
5	?	160,0	0,6	75

Глава 8. АТОМ БОРА

08.1 Определить длину волны λ_m / головных линий серий:

Шифр	Серия	λ_m , МКМ
1	Лаймана	?
2	Бальмера	?
3	Пашена	?
4	Брэкета	?
5	Пфунда	?

08.2 Определить длину волны λ_∞ соответствующую границе серий:

Шифр	Серия	λ_∞ , МКМ

1	Лаймана	?
2	Бальмера	?
3	Пашена	?
4	Брэкета	?
5	Пфунда	?

08.3 Определить наибольшую длину волны λ линейчатого спектра, который возникает при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией E .

Шифр	E , эВ	λ_{\max} , МКМ
1	12,1	?
2	12,7	?
3	13,0	?
4	13,2	?
5	11,0	?

08.4 Определить наименьшую длину волны λ линейчатого спектра, который возникает при возбуждении атомарного водорода электронами с энергией E .

Шифр	E , эВ	λ_{\max} , МКМ
1	12,5	?
2	12,8	?
3	13,1	?
4	13,2	?
5	11,5	?

08.5 Определить разность длин волн $\delta\lambda$ линий, соответствующих переходу атома водорода, в первом случае, и атома дейтерия (тяжёлый водород), во втором, с m -ого возбужденного состояния в n -ое.

Шифр	m	n	$\delta\lambda, \text{Å}$
1	2	1	?
2	3	2	?
3	4	1	?
4	4	2	?
5	4	3	?

08.6 Определить логарифм отношения числа атомов водорода, находящихся в n -ом невозбужденном состоянии, к числу атомов, находящихся в m -ом возбужденном состоянии, при температуре T .

Шифр	T, K	n	m$	\ln|N_n/N_m|$
1	2100	1	2	?
2	3000	1	3	?
3	1800	2	4	?
4	2000	2	3	?
5	2500	1	4	?

Глава 9. СОСТОЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ В АТОМЕ

09.1 Определить полный механический момент в состоянии с данным термом, если известно, что в этом состоянии магнитный момент атома равен нулю. Ответ выразить в единицах постоянной Планка.

Шифр	1	2	3	4	5
Терм	4D	6C	5F	7H	8P

09.2 Атом с данной электронной конфигурацией обладает максимально возможным при такой конфигурации механическим моментом. Определить максимально возможный момент атома. Ответ выразить в магнетонах Бора.

Шифр	1	2	3	4	5
Электронная конфигурация	$1s^2 2s 3p^5$	$1s^2 2s^2 4p^2$	$1s^2 2s^2 2p^5$	$1s 2s 3p^2$	$1s^2 2s^2 2p^4$

09.3 Определить возможные для данной электронной конфигурации атомные термы при условии, что электроны эквивалентны.

Шифр	1	2	3	4	5
Электронная конфигурация	p^2	p^4	p^3	p^5	p^6

Ответ привести в виде арифметического числа, полученного по следующему правилу: 1 / правильные термы записывают в порядке возрастания их номера из приведенной ниже таблицы; 2 / число, составленное из номеров правильных термов, записанное в порядке возрастания цифр, заносить на карточку в графу ответов.

Номер	1	2	3	4	5	6
Терм	1S	4S	2P	3P	1D	2D

09.4 Используя правило Хунда, определить терм, соответствующий основному состоянию атома со следующей электронной конфигурацией внешней оболочки.

Шифр	1	2	3	4	5
Электронная конфигурация	s^2p	s^2p^2	s^2p^3	s^2p^4	s^2p^5

В ответе привести номер правильного термина из следующей таблицы:

Номер	1	2	3	4	5
Терм	S	1S	2P	4S	3P

09.5 Атом находится в слабом магнитном поле. Определить число компонент, которые содержит спектральная линия, соответствующая переходу между двумя данными терминами.

Номер	1	2	3	4	5
Спектральная линия	$^3D_3 \rightarrow ^3P_2$	$^3D_2 \rightarrow ^3P_2$	$^2D_{3/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$	$^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$	$^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$

09.6 Атом находится в слабом магнитном поле с индукцией $B = 10^4$ Гс/. Определить интервал $\Delta\lambda^{-1}$ между крайними компонентами, на которые расщепляется спектральная линия, соответствующая переходу между двумя данными терминами. Ответ выразить в см^{-1} .

Номер	1	2	3	4	5
Спектральная линия	$^3D_3 \rightarrow ^3P_2$	$^3D_2 \rightarrow ^3P_2$	$^2D_{3/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$	$^2D_{5/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$	$^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$

Глава 10. Рентгеновское излучение

10.1 В рентгеновской трубке с антикатодом из материала с атомным номером Z , L -серия возбуждается при некотором минимальном напряжении U . Определить, на какую величину ΔU необходимо повысить напряжение, чтобы возбудилась K -серия. Для K -слоя постоянная экранирования равна единице, для L -слоя $-7,5$. Считать, что характеристические спектры строго подчиняются закону Мозли. Ответ выразить в киловольтах.

Шифр	1	2	3	4	5
Z	11	12	13	19	23

10.2 Длина волны линии K_α равна у ванадия $2,51 \text{ \AA}$, а у меди $1,54 \text{ \AA}$. Пользуясь законом Мозли определить длину волны линии K_α данного элемента. Ответ выразить в ангстремах.

Шифр	1	2	3	4	5
Элемент	<i>Fe</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Zn</i>	<i>Cr</i>

10.3 Длина волны линии L_α равна у вольфрама $1,48 \text{ \AA}$, а у свинца $1,17 \text{ \AA}$. Пользуясь законом Мозли, определить длину волны линии L_α данного элемента. Ответ выразить в ангстремах.

Шифр	1	2	3	4	5
Элемент	<i>Ir</i>	<i>Pt</i>	<i>Au</i>	<i>Hg</i>	<i>Tl</i>

10.4 Узкий параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны λ падает на плоскую прямоугольную решётку с периодами a и b . Направление падающего пучка составляет один и тот же угол α_0 с направлениями решётки вдоль периода a и вдоль периода b , при этом, α и β – соответственно углы между дифракционным пучком порядка m_1, m_2 и теми же направлениями решётки. Определить неизвестную величину.

Считать - $a = b$,

$0 \leq \alpha, \beta \leq 180^\circ, m_1, m_2 = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$.

Шифр	$a, \text{Å}$	$\alpha_0, \text{град}$	$\alpha, \text{град}$	$\beta, \text{град}$	$\lambda, \text{Å}$	m_1	m_2
1	3,0	90	?	-	0,6	3	-2
2	4,0	60	-	?	0,8	2	-4
3	3,6	?	60	-	0,6	3	5
4	?	120	-	60	2,5	0	2
5	6,0	90	120	-	?	-5	3

10.5 Узкий параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны λ падает на трёхмерную прямоугольную простую решётку с периодами a, b, c , при этом направление падающего пучка параллельно направлению решётки вдоль периода a . α, β и γ - углы между дифракционным пучком порядка m_1, m_2, m_3 и направлениями решётки вдоль периодов a, b и c соответственно. Определить неизвестную величину.

Считать - $a = b = c, 0 \leq \alpha, \beta, \gamma \leq 180^\circ$,

$(m_1, m_2, m_3 = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$.

Шифр	$a, \text{Å}$	$\lambda, \text{Å}$	$\alpha, \text{град}$	$\beta, \text{град}$	$\gamma, \text{град}$	m_1	m_2	m_3
1	?	1,5	-	-	-	-3	2	-1

2	5,0	?	-	-	-	-2	-4	0
3	-	-	?	-	-	-2	0	4
4	-	-	-	?	-	-4	2	0
5	5,0	1,0	-	-	-	-1	?	0

10.6 Узкий параллельный пучок рентгеновских лучей с длиной волны λ падает на трёхмерную прямоугольную простую решётку с периодами a , b , c , при этом направление падающего пучка составляет углы α_0 , β_0 , γ_0 с направлениями решётки вдоль периодов a , b и c соответственно. Дифрагированный пучок имеет порядок m_1, m_2, m_3 соответственно. Определить неизвестную величину. Считать $a = b = c$, $0 \leq \alpha_0, \beta_0, \gamma_0 \leq 180^\circ$, $(m_1, m_2, m_3 = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$.

Шифр	$a, \text{Å}$	$\lambda, \text{Å}$	$\alpha_0, \text{град}$	$\beta_0, \text{град}$	$\gamma_0, \text{град}$	m_1	m_2	m_3
1	?	0,8	-	60	90	-2	2	1
2	5,0	?	30	60	-	-2	-2	-1
3	5,0	1,0	0	90	-	?	4	3
4	3,5	0,7	-	180	90	4	?	-3
5	?	1,2	-	90	90	5	-4	3

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические величины и единицы их измерений

В науке и технике используются единицы измерения физических величин, образующие определенные системы. В основу совокупности единиц, устанавливаемой стандартом для обязательного применения, положены единицы международной системы СИ. В теоретических разделах физики широко используются единицы систем СГС, СГСЭ, СГСМ и система единиц Гаусса. Часто применяются единицы технической системы МКГСС и некоторые внесистемные единицы.

Международная система единиц СИ построена на шести основных единицах (метр, килограмм, секунда, кельвин, ампер, кандела) и двух дополнительных (радиан, стерадиан). Однако, наряду с единицами системы СИ, в учебной и научной литературе принято использовать единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ (например, тонна, минута, час, градус Цельсия, градус, минута, секунда, литр, киловатт-час, оборот в секунду, оборот в минуту); единицы системы СГС и другие единицы, применяемые в теоретических разделах физики и астрономии (световой год, парсек, барн, электрон-вольт), а также единицы, временно допускаемые к применению (такие как ангстрем, миллиметр ртутного столба, лошадиная сила, калория, килокалория, рентген, кюри).

Сокращенные обозначения единиц применяются только после числового значения величины или в заголовках граф таблиц. Нельзя применять сокращенные обозначения вместо полных наименований в тексте без числового значения величин. При использовании как русских, так и международных обозначений единиц используется прямой шрифт; обозначения (сокращения) единиц, названия которых даны по именам ученых (ньютон, паскаль, ватт и т.д.) следует писать с заглавной буквы (Н, Па, Вт); в

обозначениях единиц точку, как знак сокращения не применяют. Обозначения единиц, входящих в произведение, разделяются точками, как знаками умножения; в качестве знака деления применяют обычно косую черту; если в знаменатель входит произведение единиц, то оно заключается в скобки. Примеры обозначения произвольных единиц: Н·м; кг/м³ или кг·м⁻³; Дж/(кг·К).

Для образования кратных и дольных единиц используются десятичные приставки (табл. П.6). Особенно рекомендуется применение приставок, представляющих собой степень числа 10 с показателем, кратным трем. Целесообразно использовать дольные и кратные единицы, образованные от единиц СИ и приводящие к числовым значениям, лежащим между 0.1 и 1000 (например, 17000 Па следует записать как 17 кПа).

Не допускается присоединение двух и более приставок к одной единице (например, 10⁻⁹м следует записать как 1 нм). Для образования единиц массы приставку присоединяют к основному наименованию грамм (например, 10⁻⁶кг = 10⁻³г = 1мг). Если сложное наименование исходной единицы представляет собой произведение или дробь, то приставку присоединяют к наименованию первой единицы (например, кН·м, МВт/м²). В необходимых случаях допускается в знаменателе применять дольные единицы длины, площади и объема (например, В/см, А/мм²).

В табл. П.1 – П.5 приведены основные физические и астрономические постоянные, некоторые внесистемные единицы, оптические интервалы длин волн для разных цветов, а также атомные и ядерные характеристики некоторых изотопов и фундаментальных элементарных частиц.

Табл.П.6 знакомит с приставками и множителями для образования кратных и дольных единиц физических величин, употребляемых в учебной и научной литературе.

Наконец, табл.П.7 адресована читателю для помощи при решении заданий семинарских и практических занятий. Представляет собой специально подобранные данные, используемые в нетрадиционных задачах повышенной сложности.

Таблица П.1

Основные физические постоянные

Величина	Обозначение	Численное значение в системах единиц
Газовая постоянная	R	8,314 Дж/(моль·К)
Боровский радиус	r_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Атомная единица массы	1 а.е.м.	$1,6604 \cdot 10^{-27}$ кг 931,42 МэВ
Магнетон Бора	τ_B	$0,92741 \cdot 10^{-23}$ Дж/Тл $0,92741 \cdot 10^{-20}$ эрг/Тл
Масса нейтрона	m_n	$1,67495 \cdot 10^{-27}$ кг 939,57 МэВ
Масса протона	m_p	$1,67265 \cdot 10^{-27}$ кг 938,28 МэВ
Масса электрона	m_e	$0,91096 \cdot 10^{-30}$ кг 0,51100 МэВ
Постоянная Больцмана	k	$1,380622 \cdot 10^{-23}$ Дж/К $0,8617082 \cdot 10^{-4}$ эВ/К
Постоянная Планка	\hbar	$1,0545915 \cdot 10^{-34}$ Дж·с $0,6582176 \cdot 10^{-15}$ эВ·с
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,898 \cdot 10^{-3}$ м·К
Гравитационная постоянная	γ	$6,6720 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с ²)
Постоянная Ридберга	R	$2,0670687 \cdot 10^{16}$ с ⁻¹
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,670 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м ² ·К ⁴)
Скорость света в вакууме	c	$2,997925 \cdot 10^8$ м/с
Стандартное атмосферное давление	p_0	1013,25 гПа

Стандартное ускорение свободного падения	g	$9,80665 \text{ м}\cdot\text{с}^{-2}$
Число Авогадро	N_A	$6,022\cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Элементарный заряд	e	$1,602\cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $4,803\cdot 10^{-10} \text{ СГСЭ}$
Электрическая постоянная	$1/4\pi\epsilon_0$	$8,9875\cdot 10^9 \text{ Н}\cdot\text{м}^2/\text{Кл}^2$
Магнитная постоянная	$\mu_0/4\pi$	10^{-7} Н/А^2

Таблица П.2

Некоторые астрофизические постоянные

Величина	Обозначение	Численное значение
Масса Солнца	M_C	$1,99\cdot 10^{33} \text{ г}$
Энергия, испускаемая Солнцем в 1 с /светимость/	L_C	$3,86\cdot 10^{33} \text{ эрг/с}$ $3,86\cdot 10^{26} \text{ Вт}$
Радиус Солнца	R_C	$6,96\cdot 10^{10} \text{ см}$
Угловой радиус Солнца на среднем расстоянии от Земли	α_R	$4,65\cdot 10^{-3} \text{ рад}$
Температура Солнца вблизи поверхности	T_C	$5,5\cdot 10^3 \text{ К}$
Масса Земли	M_3	$5,98\cdot 10^{24} \text{ моль}$
Радиус Земли /на экваторе/	R_3	$6,38\cdot 10^8 \text{ см}$
Температура земли /средняя/	T_3	300 К
Средняя скорость движения Земли по орбите	V_3	$3\cdot 10^6 \text{ см/с}$

Таблица П.3

Некоторые внесистемные единицы

Единицы длины	Обозначения	Значение в единицах СИ	Значение в единицах СГС
парсек	пк	$3,1 \cdot 10^{16}$ м	$3,1 \cdot 10^{18}$ см
ангстрем	Å	10^{-10} м	10^{-8} см
Ферми	Фм	10^{-15} м	10^{-13} см
Единица площади барн	бн	10^{-28} м ²	10^{-24} см ²
Единица времени год	г	$3,16 \cdot 10^7$ с	$3,16 \cdot 10^7$ с
Единица энергии электронвольт	эВ	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж	$1,6 \cdot 10^{-12}$ эрг

Таблица П.4

Интервал длин волн, соответствующий различным цветам спектра

Цвет спектра	Интервал длин волн, нм
Фиолетовый	400...450
Синий	450...480
Голубой	480...500
Зелёный	500...560
Жёлтый	560...590
Оранжевый	590...620
Красный	620...760

Таблица П.5

Атомный номер Z и масса m /в а.е.м./ некоторых элементарных частиц и изотопов

Z	Название	Символ	m
-	Электрон	e	0,0005
-	Нейтрон	n	1,0087
1	Протон	p	1,0073
1	Водород	I_H	1,0078
11	Натрий	^{23}Na	22,9897
12	Магний	^{24}Ma	24,3050
13	Алюминий	^{27}Al	26,9815
19	Калий	^{39}K	39,0980
23	Ванадий	^{51}V	50,9415
26	Железо	^{56}Fe	55,8470
27	Кобальт	^{59}Co	58,9332
28	Никель	^{59}Ni	58,7000
30	Цинк	^{65}Zn	65,3800
77	Иридий	^{192}Ir	192,2000
78	Платина	^{195}Pt	195,0900
79	Золото	^{197}Au	196,9665
80	Ртуть	^{201}Hg	200,5900
81	Таллий	^{204}Tl	204,3700

Таблица П.6

Приставки и множители для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Кратные			Дольные		
Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}	санти	с	10^{-2}
гига	Г	10^9	милли	м	10^{-3}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	нано	н	10^{-9}
гекто	г	10^2	пико	п	10^{-12}
дека	да	10^1	фемто	ф	10^{-15}
деци	д	10^{-1}	атто	а	10^{-18}

Десятичные кратные и дольные единицы

Десятичные кратные и дольные единицы, а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок, приведённых в таблице П.6.

1. Присоединение к наименованию единицы двух или более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования нанонанограмм следует писать аттограмм.

Для образования кратных и дольных единиц массы следует использовать дольную единицу грамм (0,001 кг), так как наименование основной единицы – килограмм содержит приставку «кило». Поэтому приставку надо присоединять к слову «грамм», например, миллиграмм, а не микрокилограмм.

Дольную единицу массы (грамм) допускается применять и без приставки.

2. Приставку или её обозначение следует писать слитно с наименованием единицы, к которой она присоединяется, или соответственно с её обозначением.

3. Если единица образована как произведение или отношение единиц, приставку следует присоединять к наименованию первой единицы, входящей в произведение или отношение. Например, единица измерения для гамма-постоянной в радиометрии $\text{aP}\cdot\text{м}^2/\text{с}\cdot\text{Бк}$.

Допускается применять приставку во втором множителе произведения или в знаменателе лишь в обоснованных случаях, когда такие единицы широко распространены и переход к единицам, образованным в соответствии с приведёнными выше в этом пункте рекомендациями, связан с большими трудностями, например, $\text{Вт}/\text{см}^2$, $\text{В}/\text{см}$, $\text{А}/\text{мм}^2$. Особо заметим, что не допускается одновременное применение приставок и в числителе, и в знаменателе отношения единиц.

4. Наименование кратных и дольных единиц от единицы физической величины, возведённой в степень, следует образовывать путём присоединения приставки к

наименованию исходной единицы, например, для образования наименования кратной и дольной единицы от единицы площади (квадратного метра), представляющей собой вторую степень единицы длины – метра. Приставку следует присоединять к наименованию этой последней единицы: квадратный километр, квадратный сантиметр и т.д.

5. Выбор десятичной кратной или дольной единицы от единицы СИ диктуется прежде всего удобством её применения.

Кратные и дольные единицы рекомендуется выбирать так, чтобы размеры единицы и выражаемой в ней величины не отличались друг от друга на много порядков, т.е. чтобы числовые значения величин находились в диапазоне от 0,1 до 1000.

В некоторых случаях целесообразно применять одну и ту же кратную и дольную, единицу, даже если числовые значения выходят за пределы диапазона от 0,1 до 1000, например, в таблицах числовых значений для одной величины или при сопоставлении этих значений в одном тексте.

6. Для снижения вероятности ошибок при расчётах десятичные кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат, а в процессе вычислений все величины выражать в единицах СИ, заменяя приставки степенями числа 10.

Основные физические и астрономические постоянные

Величина	Обозначение	Численное значение
Гравитационная постоянная	γ	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ кг}^{-1} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-2}$
Нормальное ускорение свободного падения	g	$9,8 \text{ м с}^{-2}$
Радиус Земли	R_3	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Радиус Солнца	R_c	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Радиус земной орбиты	R_0	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$
Число Авогадро	N_0	$6,02 \cdot 10^{26} \text{ к} \cdot \text{моль}^{-1}$
Универсальная газовая постоянная	R	$8,31 \cdot 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кмоль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Абсолютный нуль температуры	0 К	$-273,15^0 \text{ С}$
Мольный объем идеального газа при нормальных условиях	V_0	$22,4 \text{ м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{12} \text{ Ф} \cdot \text{м}^{-1}$
Магнитная постоянная	μ_0	$12,6 \cdot 10^{-7} \text{ Г} \cdot \text{м}^{-1}$
Элементарный электрический заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Число Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^7 \text{ Кл} \cdot \text{кмоль}^{-1}$
Масса покоя электрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Атомная единица массы	а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Постоянная Планка	h	$6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Постоянная Стефана- Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт·м ⁻² ·К ⁻⁴
Постоянная Вина	b	$0,209 \cdot 10^{-2}$ м·К