

УДК 534

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

С. М. КУРАШЕВ

ФИЗИКА ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Домашние задания. Методические указания

Москва 2011

Сборник задач для домашних заданий по курсу «Волновые процессы»

Кафедра физики

АННОТАЦИЯ

Данный материал содержит задачи по электромагнитному полю, теории колебаний, теории волновых процессов и волновой оптике, 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

ЧАСТЬ 0. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ.	3
Примеры решения и оформления задач	
ЧАСТЬ 1. Задачи для домашнего задания	19
РАЗДЕЛ 1.0. Электрическое и магнитное поле	19
Глава 1.0.1. Электростатика.	19
Глава 1.0.2. Теорема Остроградского – Гаусса	22
Глава 1.0.3. Емкость. Конденсатор	25
Глава 1.0.4. Постоянный ток	28
Глава 1.0.5. Магнитостатика	31
Глава 1.0.6. Электромагнитная индукция. Индуктивность	34
Глава 1.0.7. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях	37
РАЗДЕЛ 1.1. Волновые процессы	42
Глава 1.1.1. Колебания.	42
Глава 1.1.2. Волны	57
Глава 1.1.3. Оптические приборы	73
Глава 1.1.4. Оптические свойства металлов и диэлектриков	88
Глава 1.1.5. Тепловое излучение	98
Приложение. Основные физические величины и единицы их измерения	102

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 выполняются в течение семестра студентами 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.

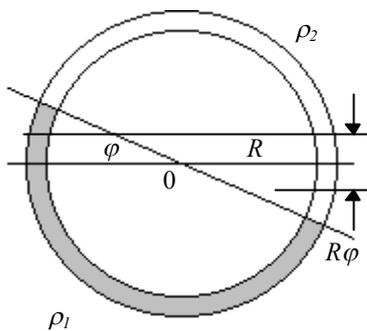
00. Примеры решения и оформления задач

Задача №00.01 (шифр 1)

00.01 Обод маховика составлен из двух одинаковых по длине дуг разных материалов с плотностями ρ_1 и ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). Радиус маховика R , период малых колебаний T . Массой спиц пренебречь, ось маховика горизонтальна. Определить неизвестную величину.

Шифр	$\rho_1, \text{г/см}^3$	$\rho_2, \text{г/см}^3$	$R, \text{м}$	$T, \text{с}$
1	8,9	2,7	0,5	?

Решение



Поворот маховика на малый угол φ из положения равновесия эквивалентен тому, что прилегающие к границе участки обода длиной $R\varphi$ с плотностями ρ_1 и ρ_2 меняются местами. Центр тяжести каждого такого участка (рис. 1) перемещается при этом по вертикали на величину $R\varphi$, т. к. угол φ мал. В результате потенциальная энергия маховика

становится равной (S - поперечное сечение обода):

$$W_n = (\rho_1 - \rho_2) S g R^2 \varphi^2.$$

Кинетическая энергия обода равна:

$$W_k = \frac{1}{2} I \varphi^2 = \frac{1}{2} (\rho_1 + \rho_2) S \pi R^3 \varphi^2.$$

По закону сохранения энергии имеем:

$$W_1 + W_2 = \frac{1}{2} (\rho_1 + \rho_2) S \pi R^3 \varphi^2 + \frac{1}{2} (\rho_1 - \rho_2) S g R^2 \varphi^2 = \text{const.}$$

Дифференцируя это выражение по времени, получаем уравнения малых колебаний:

$$\ddot{\varphi} + \frac{2g(\rho_1 - \rho_2)}{\pi R(\rho_1 + \rho_2)} \varphi = 0,$$

откуда находится циклическая частота малых колебаний:

$$\omega = \sqrt{\frac{2g(\rho_1 - \rho_2)}{\pi R(\rho_1 + \rho_2)}}.$$

Период малых колебаний:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{\pi R(\rho_1 + \rho_2)}{2g(\rho_1 - \rho_2)}}.$$

В искомую для вычислений формулу входит отношение плотностей материалов, т. е. безразмерная величина $(\rho_1 - \rho_2)/(\rho_1 + \rho_2)$, поэтому значения плотностей можно оставить в г/см^3 . В единицах СИ $R = 0,5 \text{ м}$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Проверка размерностей:

$$\left(\frac{\text{м}}{\text{м/с}^2} \right)^{1/2} = \text{с}.$$

В соответствии с правилами приближенных вычислений результат округляем до трех значащих цифр

$$T = 6,28 \sqrt{\frac{8,9 + 2,7 \left(\frac{2 \cdot 9,81}{3,14 \cdot 0,5} \right)^{-1}}{8,9 - 2,7 \left(\frac{2 \cdot 9,81}{3,14 \cdot 0,5} \right)^{-1}}} = 2,43 \text{ с}.$$

Анализ формулы для периода малых колебаний показывает, что когда ρ_2 стремится к ρ_1 , период неограниченно увеличивается. Механическая система при этом стремится к положению равновесия. Колебания становятся не наблюдаемыми.

На карту программированного контроля заносим значение периода в секундах - число + 2,430.

Задача №00.02 (шифры 1, 2, 3)

00.02. 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: $d = 2000$ 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

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

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

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 №00.03 (шифр 3, ...)

00.03. 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 **00.03.** 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.

Часть 1. Задачи для домашнего задания

РАЗДЕЛ 0. Электрическое и магнитное поле

Глава 0.1. Электростатика.

0.1.1. Две тонкие палочки длины ℓ_1 и ℓ_2 расположены вдоль некоторой прямой. Расстояние между центрами точек – a . На палочки нанесены заряды q_1 и q_2 соответственно, распределенные равномерно по длине, при этом сила электрического взаимодействия между ними равна F . Определить неизвестную величину.

Шифр	$\ell_1, \text{м}$	$\ell_2, \text{м}$	$q_1, \text{мкКл}$	$q_2, \text{мкКл}$	$a, \text{м}$	$F, \text{Н}$
1	5	8	300	45	10	?
2	3	3	28,78	10	?	1
3	4	10	85	?	30	0,527
4	1	6	?	96	4	6,460
5	$\ell_1 = \ell_2$?	33,33	3,33	1,41	0,693

0.1.2. Фигура, равномерно заряженная с объёмной плотностью заряда ρ , ограничена двумя concentрическими полусферами, имеющими радиусы r и R ($r < R$). Напряжённость электрического поля в геометрическом центре фигуры равна E , а потенциал – φ . Определить неизвестную величину.

Шифр	R , м	r , м	ρ , мкКл/м ³	E , В/м	φ , В
1	0,1	0,05	2	-	?
2	0,4	0,2	1,5	?	-
3	0,5	0,4	?	206	-
4	-	?	0,2	366	458
5	?	-	1	143	286

0.1.3. Цилиндр радиуса R и высоты h равномерно заряжен по объему с плотностью ρ . На расстоянии a от торца цилиндра в точке, лежащей на оси симметрии фигуры расположен точечный заряд q . Сила электростатического взаимодействия между цилиндром и точечным зарядом равна F . Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	h , мм	a , см	ρ , мкКл/м ³	q , мкКл	F , Н
1	1	50	2	100	31	?
2	3	150	1,2	400	?	95,3
3	0,5	20	2,4	?	58	3,5
4	9	1	?	1000	100	1,65
5	?	2	10	500	200	3,31

0.1.4. Тонкий стержень длины ℓ , по которому равномерно распределен заряд q , изогнут в форме дуги окружности, граничные точки которой видны из центра окружности под углом θ ($\theta < \pi$). Напряженность электрического поля в центре окружности равна E , а потенциал $-\varphi$. Определить неизвестную величину.

Шифр	ℓ , см	q , нКл	E , кВ/м	φ , кВ	θ , рад
------	-------------	-----------	------------	----------------	----------------

1	3	3	-	?	1,2
2	20	4	?	-	1,57
3	9	?	-	0,78	0,52
4	?	0,5	0,82	-	1,05
5	12	12	-	0,45	?

0.1.5. Тонкая равномерно заряженная палочка длины ℓ расположена вдоль оси симметрии тонкого равномерно заряженного кольца радиуса R . Ближний конец палочки находится на расстоянии a от плоскости кольца. Заряд палочки равен q , заряд кольца - Q . Сила взаимодействия палочки и кольца равна F . Определить неизвестную величину.

Шифр	Q , мкКл	q , мкКл	ℓ , см	a , см	R , см	F , Н
1	5	2	1	3	4	?
2	10	?	2	2	3	17,4
3	?	3	1	1	1	70,17
4	10	10	0,1	10	?	0,32
5	2	5	2	2	3	?

0.1.6. На сферической поверхности радиуса R , ограничивающей шаровой сегмент высоты h ($h < R$), равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью σ . В геометрическом центре сферической поверхности напряженность электрического поля, созданного поверхностными зарядами, равна E , а потенциал – φ . Определить неизвестную величину.

Шифр	R , м	h , м	σ , мкКл/м ²	E , кВ/м	φ , кВ
------	---------	---------	--------------------------------	------------	----------------

1	-	0,5	0,5	-	?
2	3	1	0,2	?	-
3	0,3	0,1	?	7,85	-
4	-	?	0,25	-	28,26
5	?	0,2	1,33	28,26	-

Глава 0.2. Теорема Остроградского – Гаусса.

0.2.1. Две параллельные бесконечные пластины одинаковой толщины расположены на расстоянии d друг от друга. Пластины заряжены равномерно распределенным по объему электрическим зарядом: первая пластина плотностью ρ_1 , вторая – ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). На расстоянии Z от плоскости зеркальной симметрии фигуры напряженность электрического поля равна E . Расстояние Z считать положительным в направлении от первой пластины ко второй. Определить неизвестную величину.

Шифр	h , см	d , см	Z , см	ρ_1 , нКл/м ³	ρ_2 , нКл/м ³	E
1	10	8	3	4	9	?
2	20	12	30	1	?	56,5
3	5	20	100	?	8	28,3
4	11,1	40	?	10	15	9,4
5	?	30	10	20	30	5,7

0.2.2. Два параллельные бесконечные пластины одинаковой толщины h расположены на расстоянии d друг от друга. Пластины равномерно заряжены по объему: первая пластина с плотностью заряда ρ_1 , вторая – ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). На расстоянии Z от плоскости зеркальной симметрии фигуры потенциал электрического поля равен ϕ . Расстояние Z считать

положительным в направлении от первой пластины ко второй. Плоскость $Z = 0$ считать имеющей нулевой потенциал. Определить неизвестную величину.

Шифр	h , см	d , см	Z , см	ρ_1 , нКл/м ³	ρ_2 , нКл/м ³	ϕ , В
1	11.1	120	50	20	10	?
2	33.3	300	100	15	?	62,8
3	100	60	50	?	11,1	33,9
4	10	40	?	33,3	11,1	15,7
5	?	50	20	60	10	6,3

0.2.3. Шар радиуса R_1 , равномерно заряженный с объёмной плотностью заряда ρ , помещён внутри шарового слоя, ограниченного сферическими поверхностями радиуса R_2 и R_3 и заряженного равномерно с той же плотностью заряда. Геометрические центры шара и слоя совпадают. На расстоянии R от геометрического центра напряжённость электрического поля равна E . Определить неизвестную величину.

Шифр	-	ρ , нКл/м ³	R_1 , см	R_2 , см	R_3 , см	R , см	E , В/м
1	$R < R_1$	10	25	40	45	?	37,7
2	$R_1 < R < R_2$	58	?	20	35	8	15,1
3	$R_2 < R < R_3$	5	10	?	40	30	71,2
4	$R_3 < R$	20	1	2	?	4	9,4
5	$R_2 < R < R_3$	66.66	1	3	20	4	?

0.2.4. Шар радиуса R_1 , равномерно заряженный с объёмной плотностью заряда ρ , помещён внутри шарового слоя, ограниченного сферическими поверхностями радиуса R_2 и R_3 и заряженного равномерно с той же плотностью заряда. Геометрические центры шара и слоя совпадают. На расстоянии r от геометрического центра потенциал электрического поля равен ϕ . Определить неизвестную величину.

Шифр	$\rho, \text{нКл/м}^3$	$R_1, \text{см}$	$R_2, \text{см}$	$R_3, \text{см}$	$R, \text{см}$	$\varphi, \text{В}$
1	10	10	20	?	60	12,6
2	0,25	100	200	300	250	?
3	5	10	30	40	?	9,4
4	0,2	100	200	300	50	?
5	?	100	200	300	150	47,1

0.2.5. "Бесконечная" цилиндрическая труба равномерно заряжена по объему с постоянной плотностью заряда ρ . Радиус внутренней цилиндрической поверхности равен R_1 , внешней – R_2 . На расстоянии r от оси симметрии напряженность электрического поля равна E . Определить неизвестную величину.

Шифр	-	$\rho, \text{нКл/м}^2$	$R_1, \text{см}$	$R_2, \text{см}$	$r, \text{см}$	$E, \text{В/м}$
1	$R_1 < r < R_2$?	10	40	20	2,8
2	$R_1 < r < \infty$	2	?	80	100	17
3	$R_1 < r < R_2$	0,33	60	100	90	?
4	$R_2 < r < \infty$	1	100	200	?	94,2
5	$R_2 < r < \infty$	0,1	100	?	300	2,4

0.2.6. "Бесконечная" цилиндрическая труба равномерно заряжена по объему с постоянной плотностью заряда ρ . Радиус внутренней цилиндрической поверхности равен R_1 , внешней – R_2 . На расстоянии r от оси симметрии потенциал электрического поля равен φ , при этом в точках, лежащих на оси ($r = 0$) потенциал равен нулю. Определить неизвестную величину.

Шифр	ρ , нКл/м ³	R_1 , м	R_2 , м	r , м	φ , В
1	0,1	1	3	2	?
2	?	0,5	2	1	56,5
3	0,33	1	2	4	?
4	?	2	4	8	325,8
5	0,11	1	2	?	18,1

Глава 0.3. Емкость. Конденсатор.

0.3.1. Плоский конденсатор заряжают от источника с э.д.с. E . A_1 - механическая работа, необходимая для удаления пластинки из диэлектрика проницаемости ϵ , целиком заполняющей пространство между обкладками конденсатора, при подключенном источнике. A_2 - работа, необходимая для удаления пластинки из диэлектрика при отключенном источнике. Площадь пластин равна S , расстояние между ними - d .

Определить неизвестную величину.

Шифр	S , м ²	d , см	E , В		A_1 , мкДж	A_2 , мкДж
1	0,8	2	30	4,14	?	-
2	0,9	2,14	20	3,14	-	?
3	1,57	1,11	40	?	1	-
4	1,57	1,25	?	-	0,5	1
5	?	5	200	10	-	100

0.3.2. Подвижные пластины конденсатора переменной емкости повернуты на некоторый угол по отношению к исходному положению, при этом на систему подвижных пластин

действует крутящий момент M , вызванный взаимодействием зарядов. Конденсатор последовательно подключен к источнику тока с э.д.с. ξ . Каждая пластина имеет форму полукруга радиуса r , расстояние между пластинами - d , число подвижных пластин - N , неподвижных – $(N+1)$. Определить неизвестную величину.

Шифр	$M \cdot 10^8$ Н·м	ξ , В	r , см	d , мм	N
1	?	50	4	4	9
2	15,3	?	3	3	8
3	1,53	20	?	5	12
4	49,8	75	20	?	4
5	?	200	15	15	2

0.3.3. Металлический шар радиуса R_1 окружен шаровым слоем диэлектрика проницаемости ϵ толщиной h и помещен concentрично в металлической сфере радиуса R_2 . Емкость полученного конденсатора равна C . Определить неизвестную величину.

Шифр	R^1 , см	R^2 , см	ϵ	h , см	C , пФ
1	?	3	3	1	3,33
2	3	?	3	1	10
3	2	4	?	1	6,66
4	1	6	3	?	3,33
5	10	30	5	5	?

0.3.4. Расстояние между обкладками плоского конденсатора равно d и заполнено диэлектриком, проницаемость которого линейно меняется от значения ϵ_1 у первой

пластины до значения ϵ_2 у второй ($\epsilon_2 > \epsilon_1$). Площадь каждой обкладки равна S .

Конденсатор имеет емкость равную C . Определять неизвестную величину.

Шифр	$d, \text{см}$	$S, \text{см}^2$	ϵ_1	ϵ_2	$C, \text{пФ}$
1	?	69,1	3,14	6,28	5,55
2	5	?	1,38	2,76	2,22
3	1,66	188,4	?	2,76	2
4	2,5	207,3	3,14	?	50
5	4	138,2	3,14	6,28	?

0.3.5. Расстояние между обкладками плоского конденсатора равно d и заполнено слоистым диэлектриком, состоящим на N слоев вещества с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 и из N слоев вещества с диэлектрической проницаемостью ϵ_2 . Слои чередуются и имеют одинаковую толщину. Площадь каждой обкладки равна S . Емкость конденсатора равна C . Определить неизвестную величину.

Шифр	$d, \text{см}$	$S, \text{см}^2$	ϵ_1	ϵ_2	N	$C, \text{пФ}$
1	?	31,4	1	3	5	4,15
2	2	?	1,5	2,5	10	5,2
3	5	157	?	9	5	5
4	5	314	3	?	20	20,8
5	2	62,8	3	7	30	?

0.3.6. Обкладки плоского конденсатора присоединены к полюсам источника тока с э.д.с. ξ .

Площадь обкладки равна S . Расстояние между обкладками увеличивают со скоростью V и

в данный момент оно равно d . Необходимая для этого внешняя мощность равна N .

Определить неизвестную величину.

Шифр	$\xi, \text{В}$	$S, \text{м}^2$	$V, \text{м/с}$	$d, \text{мм}$	$N, \text{Вт}$
1	?	1	3,14	0,5	0,05
2	100	?	9	0,5	5
3	300	6,28	?	2	0,25
4	200	0,9	3,14	?	0,5
5	400	1,57	9	0,5	?

Глава 0.4. Постоянный ток.

0.4.1. Два источника тока с электродвижущими силами ξ_1 и ξ_2 соединены одноименными полюсами и подключены к внешнему сопротивлению R . Внутренние сопротивления источников – r_1 и r_2 , токи в ветвях цепи равны I_1 , I_2 и I . Определить неизвестную величину.

Шифр	ξ_1	ξ_2	r_1	r_2	R	I_1	I_2	I
1	?	1,2	19	37	12	0,072	-	-
2	1,28	?	12	45	21	0,027	-	-
3	1,9	1,4	17	13	2,59	?	-	-
4	1,7	1,12	24	33	?	-	0,011	-
5	2,1	1,5	11	15	12	-	-	?

0.4.2. Батарея с электродвижущей силой ξ и внутренним сопротивлением r отдает во внешнюю цепь при токе I_1 мощность P_1 , при токе I_2 мощность P_2 . Определить неизвестную величину.

Шифр	ξ , В	r , Ом	I_1 , А	P_1 , Вт	I_2 , А	P_2 , Вт
1	?	-	5,2	15,1	4,1	13,3
2	-	?	6,3	10,8	3,9	6,8
3	9,9	-	6,1	?	4,2	16,5
4	-	0,16	8,3	7,9	3,3	?
5	1,9	-	5,1	9,2	8,2	?

0.4.3. Три источника тока с электродвижущими силами ξ_1 , ξ_2 и ξ_3 и внутренними сопротивлениями соответственно r_1 , r_2 и r_3 соединены одноименными полюсами. Токи, текущие через источники, равны соответственно I_1 , I_2 и I_3 . Определить неизвестную величину.

Шифр	ξ_1 , В	ξ_2 , В	ξ_3 , В	r_1	r_2	r_3	I_1	I_2	I_3
1	1,8	?	1,1	0,4	0,6	0,2	0,0191	-	-
2	1,6	2	?	0,3	0,125	0,5	-1,1	-	-
3	1,6	1,1	1,05	0,2	?	0,4	1,2	-	-
4	1,7	1,9	2,2	1,3	0,5	0,9	-	-	?
5	1,8	2,2	1,4	0,7	0,9	0,3	-	?	-

0.4.4. Две батареи с электродвижущими силами ξ_1 и ξ_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены одноименными полюсами. Вольтметр с очень большим внутренним

сопротивлением, подключенный к полюсам батарей, показывает разность потенциалов U .

Определить неизвестную величину.

Шифр	$\xi_1, \text{В}$	$\xi_2, \text{В}$	$r_1, \text{Ом}$	$r_2, \text{Ом}$	$U, \text{В}$
1	?	17	3,8	2,9	35
2	9,6	?	0,23	0,38	8,7
3	2,4	4,2	?	0,8	3,1
4	4,7	3,5	1,4	?	4,2
5	57	84	120	82	?

0.4.5. Две батареи с электродвижущими силами ξ_1 и ξ_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены разноименными полюсами. Вольтметр с очень большим внутренним сопротивлением, подключенный к полюсам батарей, показывает разность потенциалов U . При этом $U > 0$ если клемма "+" вольтметра подключена к положительному полюсу батареи ξ_1 . Определить неизвестную величину.

Шифр	$\xi_1, \text{В}$	$\xi_2, \text{В}$	$r_1, \text{Ом}$	$r_2, \text{Ом}$	$U, \text{В}$
1	?	17,6	0,25	0,48	-1,1
2	25	?	1,75	0,95	2,4
3	37	68	?	75	11
4	4,9	5,7	0,84	?	1,15
5	85	63	32	13	?

0.4.6. Две батареи с электродвижущими силами ξ_1 и ξ_2 и внутренними сопротивлениями r_1 и r_2 соединены разноименными полюсами и подключены к внешнему сопротивлению R .

Токи в ветвях цепи равны I_1 , I_2 и I ампер. Ток $I > 0$, если он течет по сопротивлению R от положительного полюса батареи ξ_1 к отрицательному. Определить неизвестную величину.

Шифр	ξ_1 , В	ξ_2 , В	r_1 , Ом	r_2 , Ом	R , Ом	I_1 , А	I_2 , А	I , А
1	?	7,4	1,2	0,7	-	4,6	-	-1,28
2	23	?	4,1	4,3	1,9	-	3,8	-
3	2,5	1,5	14	17	21	?	-	-
4	3,2	2,2	42	11	37	-	?	-
5	3,9	1,8	34	13	-	-	0,11	-

Глава 0.5. Магнитостатика

0.5.1. Два контура, представляющие из себя правильные шестиугольники со стороной a , крепятся друг к другу так, что имеют две общие вершины, общий центр и плоскости контуров взаимно перпендикулярны. По одному из контуров течет постоянный ток I_1 , по второму - ток I_2 . Напряженность магнитного поля в центре полученной фигуры равна H . Контур крепятся друг к другу с помощью изолянта, так что можно считать обе цепи независимыми. Определить неизвестную величину.

Шифр	a , см	I_1 , А	I_2 , А	H , А/м
1	5	2	5	?
2	15	0,6	?	25,8
3	8	?	1,5	42,6
4	?	3	4	91,9

5	28	1,8	2,1	?
---	----	-----	-----	---

0.5.2. По проволочной рамке, имеющей форму правильного шестиугольника со стороной a , течет постоянный ток I . На расстоянии h от плоскости рамки вдоль оси симметрии напряженность магнитного поля равна H . Определить неизвестную величину.

Шифр	a , см	I , А	h , см	H , А/м
1	25	2	10	?
2	47	4	?	2,7
3	74	?	15	1
4	?	10	35	1
5	34	0,8	67	?

0.5.3. Вдоль оси длинного соленоида проходит проводник с током I_1 . Число витков соленоида на единицу длины равно N . По виткам соленоида течет ток I_2 . На расстоянии r от оси соленоида внутри него напряженность магнитного поля равна H . Определить неизвестную величину.

Шифр	I_1 , А	I_2 , А	N , см ⁻¹	r , см	H , кА/м
1	0,65	0,1	100	15	?
2	0,88	0,05	190	?	0,05
3	11	0,6	?	5	0,17
4	32	?	26	2	0,76
5	?	0,2	80	4	0,39

0.5.4. По соленоиду длиной ℓ и радиусом основания R течет ток I_1 . Число витков соленоида на единицу длины равно N . Параллельно оси соленоида (снаружи) на расстоянии d от оси расположен бесконечный провод, по которому течет ток I_2 . Напряженность магнитного поля на оси соленоида на расстоянии b от его центра равна H . Определить неизвестную величину.

Шифр	ℓ , см	R , см	N , см ⁻¹	I_1 , А	I_2 , А	b , см	d , см	H , А/м
1	10	2	60	0,2	10	3	20	?
2	130	3	15	0,4	?	40	15	594
3	95	6	20	?	18	60	40	59
4	23	8	?	1	23	30	10	130
5	44	3	35	1,5	12	12	8	?

0.5.5. Вдоль бесконечной трубы с внутренним радиусом R_1 и внешним радиусом R_2 течет ток плотностью j , равномерно распределенный по сечению трубы. Вдоль оси симметрии расположен бесконечный провод, по которому течет ток I , направленный противоположно току трубы. На расстоянии r от оси трубы абсолютное значение вектора напряженности магнитного поля равно H . Определить неизвестную величину.

Шифр	R_1 , см	R_2 , см	j , А/см ²	I , А	R , см	H , кА/м
1	2	4	-	23	1,5	?
2	?	9,7	17	15	7,8	4,6
3	12	31	?	43	26	35,8
4	11	?	42	34	24	11,8
5	19	48	18	12	?	24,5

0.5.6. В магнитное поле длинного прямолинейного проводника с током I_1 поместили квадратную рамку со стороной a , по которой течет ток I_2 . Рамка крепится на оси, параллельной проводу и двум сторонам рамки. Плоскость рамки составляет угол φ с плоскостью, в которой лежит провод и ось рамки. На рамку действует крутящий момент N относительно оси, на которой она крепится. Ось вращения рамки находится на расстоянии b от провода. Рамка обладает зеркальной симметрией относительно оси вращения.

Определить неизвестную величину.

Шифр	I_1, A	I_2, A	$a, \text{м}$	$\varphi, \text{град}$	$N \cdot 10^7 \text{ Н} \cdot \text{м}$	$b, \text{м}$
1	1	2	0,3	10	?	1
2	?	1,5	0,1	30	2,5	0,2
3	2,5	2	0,5	50	?	2
4	4,1	?	0,2	20	0,4	1,5
5	?	6	0,15	40	1,9	3

Глава 0.6. Электромагнитная индукция. Индуктивность.

0.6.1. Две вертикальные металлические шины, расположенные на расстоянии a друг от друга, замкнуты сверху на сопротивление R и помещены в однородное поле индукцией B , перпендикулярное плоскости, образованной шинами. Вдоль шин скользит металлическая перемычка массы m , перпендикулярная шинам и плотно прилегающая к ним.

Установившаяся скорость скольжения перемычки V . Трение отсутствует. Сопротивлением шин и перемычки пренебречь. Определить неизвестную величину.

Шифр	$a, \text{м}$	$R, \text{Ом}$	$B, \text{Тл}$	$m, \text{кг}$	$V, \text{м/с}$
------	---------------	----------------	----------------	----------------	-----------------

1	?	2	5	2	1,6
2	2	?	3	1	7,8
3	1	0,5	?	0,5	2,5
4	0,5	1,5	2,5	?	1,9
5	0,75	0,2	2	1,5	?

0.6.2. Прямоугольная рамка изготовлена из провода радиуса r . Длина рамки a , ширина b .

Геометрические параметры рамки удовлетворяют условиям: $r \ll b \ll a$. Рамка погружена в среду с магнитной проницаемостью μ , при этом она имеет индуктивность L .

Определить неизвестную величину.

Шифр	r , мм	b , см	a , м	μ	L , мкГн
1	?	2	1	14	20,6
2	0,1	?	1,2	8	19,2
3	0,15	1,7	?	7	16,5
4	0,2	0,8	0,8	?	12,9
5	0,35	1,2	1,5	13	?

0.6.3. Металлический диск радиусом r вращается с угловой скоростью ω в однородном

магнитном поле индукции B , направленном перпендикулярно плоскости диска. Две

щетки, одна на оси диска другая на окружности, соединяют диск с внешней цепью, в

которую включен реостат сопротивлением R , при этом через реостат идет постоянный ток

I . Определить неизвестную величину.

Шифр	r , м	B , Тл	R , Ом	ω , рад/с	$I \cdot 10^2$, А
1	?	5	4	1	5,62

2	0,2	?	7	3	2,57
3	0,4	4	?	5	14,5
4	0,15	3,5	6,5	?	2,42
5	0,35	0,7	7,5	2,5	?

0.6.4. Соленоид индуктивности L присоединен к верхним концам двух проводящих параллельных шин, расположенных вертикально на расстоянии ℓ друг от друга.

Однородное магнитное поле индукцией B горизонтально и перпендикулярно плоскости, образованной шинами. Горизонтальный проводящий стержень массы m падает без начальной скорости вдоль шин в течение времени τ и при этом проходит расстояние S .

Сопротивлением шин, стержня и соленоида пренебречь. Проводящий стержень имеет непрерывный электрический контакт с шинами. Трение в системе отсутствует.

Определить неизвестную величину.

Шифр	L , Гн	B , Тл	ℓ , м	m , кг	τ , с	S , м
1	2	0,5	1	0,5	1,57	?
2	4	1	0,5	0,25	?	20
3	1	0,5	0,5	?	6,28	40
4	2	1	?	0,5	3,14	20
5	1	?	1	4	1,57	10

0. 6.5. Тор, имеющий прямоугольное сечение ширины b , внутренний радиус R_1 , внешний радиус R_2 , обладает взаимной индукцией L по отношению к длинному прямому проводу, расположенному вдоль оси симметрии тора. Число витков тора N . Тор и провод погружены в среду магнитной проницаемостью μ . Определить неизвестную величину.

Шифр	R_1 , м	R_2 , м	N	L , мкГн	μ	b , м
1	?	0,4	100	8	7	0,2
2	0,3	?	80	14,7	12	0,15
3	0,6	0,8	200	?	3	0,45
4	0,5	0,6	150	98,4	?	0,1
5	0,4	0,55	40	14	22	?

0.6.6. Проводящий контур имеет следующую конструкцию: тонкая

прямая проволока диаметра d расположена на оси достаточно тонкой металлической трубки диаметра D , ток идет по проволоке, переходит на дно трубки, к центру которого припаяна проволока, и возвращается обратно по поверхности трубки. Длина трубки и проволоки ℓ , индуктивность контура L . Определить неизвестную величину.

Шифр	d , мм	D , см	ℓ , м	L , мкГн
1	?	2	0,8	0,59
2	1,2	?	1,1	0,69
3	0,8	4,3	?	0,97
4	1,4	1,8	1,3	?
5	?	5	0,7	0,53

Глава 0.7. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях

2.7.1. Ион с зарядом $q = z \cdot e$ (e – элементарный заряд) и массой $m = Am_p$ (m_p – масса протона) вылетает в однородное магнитное поле индукции B под углом α к силовым линиям поля. Ион имеет скорость V и движется по винтовой линии, имеющей шаг h .

Время одного витка вдоль винтовой линии равно T . Определить неизвестную величину.

Шифр	z	A	B, T	$V, \text{км/с}$	$\alpha, \text{град}$	$h, \text{см}$	$T, \text{нс}$
1	1	1	1,57	1000	45	?	-
2	2	4	-	2000	?	4,16	41,6
3	2	3	1	?	30	2,8	-
4	1	2	?	500	60	2,08	-
5	1	3	-	167	45	?	124,8

0.7.2. Пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов U обладает цилиндрической симметрией, при этом сечение пучка - круг радиуса R . На пройденном расстоянии L вследствие взаимного отталкивания пучок испытывает уширение так, что радиус пучка получает приращение ΔR ($\Delta R \ll L$). Полный ток в пучке равен I . Определить неизвестную величину.

Шифр	$U, \text{кВ}$	$R, \text{см}$	$\Delta R, \text{мм}$	$I, \text{мА}$	$L, \text{см}$
1	?	0,25	0,11	1	10
2	10	?	0,02	0,1	20
3	20	0,14	?	0,14	30
4	15	0,17	0,075	?	25
5	20	0,5	0,215	1	?

0.7.3. Между двумя обкладками конденсатора, из которых одна является катодом, а другая анодом, создано однородное электрическое поле напряженности E , перпендикулярное обкладкам, и однородное магнитное поле индукции B , параллельное обкладкам.

Расстояние между обкладками равно a . Электрон покидает поверхность катода с нулевой начальной скоростью и через время τ возвращается на катод на расстояние ℓ от места вылета. Определить неизвестную величину.

Шифр	$E \cdot 10^{-3}$, В/м	B , мТ	d , см	$\ell \cdot 10$, см	$\tau \cdot 10^9$, с
1	5	1	5	-	7
2	2,25	1,5	10	?	-
3	4,5	?	20	-	71,5
4	?	-	10	107,3	35,8
5	2	-	15	?	17,9

0.7.4. Между обкладками плоского конденсатора создано однородное электрическое поле напряженности E , перпендикулярное обкладке, и однородное магнитное поле индукции B , параллельное обкладкам. Электрон, помещенный между обкладками, в начальный момент покоится, а затем начинает движение под действием полей. Относительно системы отсчета, двигающейся со скоростью V вдоль обкладок, траектория электрона - окружность радиуса R , а период обращения - T . Определить неизвестную величину.

Шифр	$E \cdot 10^{-3}$, В/м	B , мТ	V , Мм/с	$R \cdot 10$, см	$T \cdot 10^9$, с
1	1	1	-	?	-
2	2	2	?	-	-
3	-	?	2	11,4	-
4	?	-	-	8,5	35,8

5	-	-	1	5,7	?
---	---	---	---	-----	---

0.7.5. Заряженная частица, имеющая заряд q и массу m , проходит ускоряющую разность потенциалов U , после чего взлетает в конденсатор параллельно пластинам. Внутри конденсатора создано однородное электрическое поле напряженности E , перпендикулярное пластинам, и однородное магнитное поле индукции B , силовые линии которого параллельны пластинам. Частица движется внутри конденсатора равномерно и прямолинейно со скоростью V . Определить неизвестную величину.

Шифр	q , нКл	m , нг	$E \cdot 10^3$, В/м	B , Т	U , В	V , км/с
1	3	3	2	2	?	-
2	1	0,5	2	?	1000	-
3	2	1	1	-	1000	?
4	1,5	?	-	-	2000	2
5	4	2	?	0,5	250	-

0.7.6. Электрическое поле напряженности E и магнитное поле индукции B имеют одинаковое направление. Ион с зарядом $q = Ze$ (e – элементарный заряд) и массой $m = A \cdot m_p$ (m_p – масса протона) ускоренный разностью потенциалов U , влетает в поле перпендикулярно силовым линиям. Радиус кривизны траектории частицы в начальный момент равен R . Определить неизвестную величину.

Шифр	Z	A	U , кВ	E , кВ/м	B , Гс	R , с
1	1	1	20	20	100	?
2	1	2	10	20	?	0,5
3	1	3	15	?	500	0,3
4	2	4	10	10	?	1

5	2	3	30	15	150	?
---	---	---	----	----	-----	---

РАЗДЕЛ 1. Волновые процессы

Глава 1.1. Колебания.

Задача №11.01

Амплитуда колебаний гармонического осциллятора A , период колебаний T . Когда смещение точки равно X_1 , скорость ее равна V_1 , а при смещении X_2 скорость точки V_2 . Смещение и скорость определяются по абсолютной величине. Определить неизвестную величину.

Шифр	T , с	A , см	X_1 , см	V_1 , см/с	X_2 , см	V_2 , см/с
1	1,1	-	2,11	?	2,3	4,4
2	?	-	3,4	7,5	4,2	6,3
3	-	12,5	11,2	4,3	?	6,9
4	-	3,5	2,5	6,3	2,15	?
5	4,9	-	1,7	?	1,2	2,8

Задача №11.02

Осциллятор совершает затухающие колебания. Амплитуда колебаний в начальный момент времени равна A_0 , в момент времени t_1 она A_1 , в момент времени t_2 она A_2 . Определить неизвестную величину.

Шифр	A_0 , см	t_1 , с	A_1 , см	t_2 , с	A_2 , см
1	3	?	1	10	0,3
2	15	15	5	?	1,5
3	10	10	?	20,7	1
4	?	7	7	14,5	2,1
5	15	30	5	62	?

Задача №11.03

Затухающие колебания осциллятора с периодом колебаний T , коэффициентом затухания β начинаются из положения равновесия с начальной скоростью V . При фазовом угле φ смещение осциллятора от положения равновесия достигает максимального значения X_m . Определить неизвестную величину.

Шифр	T , с	β , с ⁻¹	V , см/с	φ , град	X_m , см
1	2	?	-	89,5	-
2	?	0,0273	-	89,7	-
3	?	0,01	-	89,9	-
4	2,73	0,02	3,14	-	?
5	-	0,02	20	89,5	?

Задача №11.04

К нижнему концу пружины с коэффициентом жесткости k_1 прикреплена другая пружина с коэффициентом жесткости k_2 . К нижней пружине подвешен груз массой m .

Частота колебаний осциллятора ν . Определить неизвестную величину.

Шифр	k_1 , Н/см	k_2 , Н/см	m , кг	ν , Гц
1	?	5,7	2,4	1,37
2	44	29	7,6	?
3	8,1	6,4	?	0,637
4	4,2	?	0,58	3,1
5	13,5	7,9	4,7	?

Задача №11.05

Гармонический осциллятор совершает затухающие колебания с коэффициентом затухания β и периодом T . Материальная точка, совершая колебания до полной остановки, проходит путь S . Начальное отклонение a . Определить неизвестную величину.

Шифр	S , см	a , см	β , с^{-1}	T , с
1	?	1	0,01	2
2	398	?	0,02	1
3	99	1	0,02	?
4	?	0,5	0,01	4
5	198	2	0,04	?

Задача №11.06

Амплитуда колебаний физического маятника с приведенной длиной l за время t_1 уменьшается в k_1 раз, а за время t_2 - в k_2 раз. Логарифмический декремент колебаний маятника равен δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	l , см	t_1 , с	k_1	t_2 , см	k_2	δ
1	-	370	?	610	1,95	-
2	45	?	2,5	-	-	0,01
3	142	-	-	250	?	0,012
4	-	254	3	?	2	-
5	70	?	171	-	-	0,005

Задача №11.07

Гармонический осциллятор совершает установившиеся вынужденные колебания под действием гармонической силы, меняющейся по закону косинуса с амплитудой F . Амплитуду вынужденных колебаний a , запаздывание по фазе φ . За период сила совершает работу A . Определить неизвестную величину.

Шифр	A , Дж	a , м	F , Н	φ , град
1	?	1	2	30
2	1	2	0,318	?
3	1	?	1,41	45
4	3,14	1,41	?	45
5	?	0,318	2	60

Задача №11.08

За время t полная механическая энергия физического маятника с приведенной длиной l уменьшилась в k раз. Период собственных колебаний маятника равен T , логарифмический декремент δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	t , с	l , м	k	T , с	δ
1	?	0,85	2,44	-	0,011
2	140	-	?	0,75	0,002
3	35	?	1,5	-	0,013
4	310	0,67	?	-	0,003
5	110	-	2,5	?	0,007

Задача №11.09

Два тела с массами m_1 и m_2 соединены легкой пружиной с коэффициентом жесткости k и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. Период малых колебаний системы T . Определить неизвестную величину.

Шифр	T , с	k , Н/м	m_1 , кг	m_2 , кг
1	1,41	9,87	?	1
2	1,71	9,87	1	?
3	?	0,5	1	1
4	2	?	2	2
5	31,4	0,2	2,5	?

Задача №11.10

Жидкость налита в изогнутую V -образную трубку сечением S , колена которой составляют с горизонтом углы α_1 и α_2 . Масса жидкости m , плотность ρ . Если жидкость выведена из равновесия, то начинаются колебания с периодом T . Определить неизвестную величину.

Шифр	$S, \text{см}^2$	$\alpha_1, \text{град}$	$\alpha_2, \text{град}$	$m, \text{г}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$T, \text{с}$
1	0,65	25	65	130	?	2,6
2	0,5	?	75	180	13,6	0,83
3	0,35	18	?	35	1	2,1
4	0,85	55	31	65	0,8	?
5	?	48	25	57	0,9	2,2

Задача №11.11

Гармонический осциллятор совершает колебания под действием периодических толчков при прохождении через положение равновесия. Время между толчками равно периоду T собственных колебаний осциллятора. Длительность толчка $\tau \ll T$. Установившаяся амплитуда колебаний A , логарифмический декремент δ . В момент времени толчка сила имеет постоянное значение F , масса осциллятора m . Определить неизвестную величину.

Шифр	$T, \text{с}$	$m, \text{кг}$	$F, \text{Н}$	$\tau, \text{с}$	$A, \text{м}$	δ
1	?	1	1	0,02	1	0,01
2	3,14	?	2	0,01	0,5	0,01

3	2	1	3,14	0,01	?	0,025
4	1	0,318	?	0,02	2,5	0,01
5	3	0,318	2	0,01	1	?

Задача №11.12

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C и катушки индуктивности L и сопротивлением R . Добротность контура равна Q . Контур настроен на длину волны λ . Определить неизвестную величину.

Шифр	C , пФ	L , мкГ	R , Ом	Q	λ , м
1	68	-	1,2	176	?
2	-	38	5,3	?	123
3	-	?	45	65	380
4	3600	-	?	40	2600
5	?	-	1,17	95	170

Задача №11.13

Катушка индуктивности с немагнитным сердечником и плоский воздушный конденсатор образуют колебательный контур. Длина катушки l , площадь сечения S , на единицу длины приходится n витков. Конденсатор образован двумя квадратными пластинами со стороной a , находящимися на расстоянии d друг от друга. Собственная частота контура f . Определить неизвестную величину.

Шифр	l , см	S , см ²	n , см ⁻¹	a , см	α , см	f , МГц
1	14	1,5	35	?	0,25	0,88
2	4,2	0,25	72	7,2	0,15	?
3	2,1	0,75	120	1,4	?	5,5
4	?	1,6	16	33	0,075	6,3
5	570	2,3	?	21	0,35	0,039

Задача №11.14

Колебательный контур образован последовательно соединенными конденсаторами C_1 и C_2 и катушками индуктивности L_1 и L_2 . Магнитные поля катушек не влияют друг на друга. Контур настроен на длину волны λ (длине волны λ соответствует частота ν). Определить неизвестную величину.

Шифр	C_1 , пФ	C_2 , пФ	L_1 , мкГ	L_2 , мкГ	ν , МГц	λ , м
1	5700	?	12,3	31,0	0,78	-
2	145	273	8,8	5,6	-	?
3	890	460	?	9,3	1,75	-
4	?	2450	69	81	-	490
5	320	510	38	27	?	-

Задача №11.15

Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью C и катушки индуктивностью L . Максимальное значение напряжения на конденсаторе равно U ,

максимальный ток в катушке I . Сопротивление контура считать пренебрежимо малым.

Определить неизвестную величину.

Шифр	C , мкФ	L , мГ	U , В	I , мА
1	0,37	45	22	?
2	0,025	3,4	?	460
3	?	27	23,6	180
4	0,020	1,5	13	?
5	0,05	?	210	980

Задача №11.16

Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью L и плоского конденсатора. Площадь пластин конденсатора равна S , расстояние между ними d , диэлектрическая проницаемость среды между пластинами ϵ . Контур настроен на частоту ν (длина волны λ). Определить неизвестную величину.

Шифр	L , мкГ	S , см ²	d , мм	ϵ	λ , м	ν , МГц
1	19	35	2,3	?	87	-
2	54	470	3,1	7,3	?	-
3	7,1	280	?	2,4	43	-
4	?	96	1,55	18,2	-	0,68
5	41	360	4,6	5,9	-	?

Задача №11.17

Физический маятник совершает колебания около горизонтальной оси с периодом T_1 .

Если к нему прикрепить небольшой груз массы m на расстоянии l ниже оси, то период колебаний будет равен T_2 . Момент инерции маятника относительно оси равен I .

Определить неизвестную величину.

Шифр	T_1 , с	m , кг	l , см	T_2 , с	I , кг*см ²
1	?	1,13	15	1,42	2300
2	1,98	?	40	1,85	1700
3	1,48	0,45	55	?	3100
4	1,75	0,85	?	2,05	20
5	0,68	0,25	25	0,83	?

Задача №11.18

К концам однородного стержня массой m и длиной l прикреплены небольшие шарики массами m_1 и m_2 ($m_1 > m_2$). Период малых колебаний системы относительно горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно к стержню через его середину, равен T . Определить неизвестную величину.

Шифр	m , г	l , см	m_1 , г	m_2 , г	T , с
1	600	65	92	21	?
2	270	85	380	?	1,9
3	140	73	?	35	2,4
4	72	?	130	115	4,0
5	?	37	28	12	1,5

Задача №11.19

Два идеальных колебательных контура связаны посредством взаимной индукции с коэффициентом M . Параметры контуров L_1, L_2, C . Собственные частоты f_1 и f_2 ($f_1 < f_2$).

Определить неизвестную величину.

Шифр	M , мкГ	L_1 , мкГ	d , пФ	f_1 , МГц	f_2 , МГц	L_2 , мкГ
1	10	10	20	?	-	30
2	20	15	40	-	?	40
3	?	40	30	16,3	-	50
4	40	?	50	-	20,9	60
5	50	40	?	-	17,8	70

Задача №11.20

Конденсатор заряжается от источника постоянного тока с Э.Д.С. ε через сопротивление R и индуктивность L , включенных последовательно с конденсатором. Параметры цепи удовлетворяют условию $R^2=4L/C$. Через промежуток времени τ от начала зарядки сила тока достигает максимального значения I_0 . Определить неизвестную величину.

Шифр	ε , В	L , Гн	R , кОм	I_0 , мА	τ , с
1	-	375	1,5	-	?
2	120	-	2,5	?	-
3	-	425	?	-	0,58
4	-	?	2,3	-	0,24
5	?	-	1,85	85	-

Задача №11.21

Конденсатор емкостью C заряжен до разности потенциалов U_0 и разряжается через сопротивление R и индуктивность L , включенных последовательно. Параметры цепи удовлетворяют условию $R^2=4L/C$. Через промежуток времени τ после начала разрядки энергия конденсатора равна W . Определить неизвестную величину.

Шифр	U_0 , В	R , кОм	L , Гн	W , Вт	τ , с
1	120	375	15	?	0,1
2	135	425	?	527	0,05
3	100	?	18	10,3	0,2
4	?	324	23	176	0,15
5	10	350	20	144	?

Задача №11.22

Конденсатор емкостью C заряжается от батареи с э. д. с. \mathcal{E} через сопротивление R , через промежуток времени τ после начала зарядки мгновенная мощность, подводимая к конденсатору, равна W . Определить неизвестную величину.

Шифр	C , мкФ	R , кОм	ε , В	τ , с	W , Вт
1	?	2,7	100	0,1	0,319
2	425	?	120	0,08	0,49
3	385	3,25	?	0,15	1,49
4	325	2,75	220	?	1,27
5	300	3,8	150	0,2	?

Задача №11.23

Физический маятник представляет из себя фигуру из двух однородных стержней: вертикального с массой m_1 , длиной l_1 и горизонтального с массой m_2 , длиной l_2 , выполненную в виде перевернутой буквы "Т". Верхний конец маятника закреплен в шарнире. Система совершает малые колебания, вычерчивая в горизонтальной плоскости фигуры Лиссажу, соответствующие отношению частот $1:n$. Определить неизвестную величину.

Шифр	m_1 , г	l_1 , см	m_2 , г	l_2 , см	n
1	?	85	385	567	2
2	150	?	700	500	3
3	100	60	?	822	4
4	125	45	825	?	2
5	?	55	700	554	3

Задача №11.24

В ламповом генераторе коэффициент взаимной индукции M , крутизна лампы S , емкость конденсатора C , сопротивление катушки R . Генератор работает вблизи порога возбуждения. Определить неизвестную величину.

Шифр	M , мкГ	S , мА/В	C , мкФ	R , Ом
1	100	2	0,01	?
2	100	?	0,01	10
3	?	2,5	0,02	15
4	150	1,5	?	5
5	50	5	0,01	?

Задача №11.25

Два математических маятника (длина нити каждого l) висят параллельно на некотором расстоянии друг от друга. Маятники связаны невесомой пружиной жесткости k , прикрепленной к массам, с длиной в недеформируемом состоянии, равной расстоянию между точками подвеса маятников. Массы грузов маятников, соответственно, равны m_1 и m_2 . Система имеет собственные циклические частоты ω_1 и ω_2 ($\omega_1 < \omega_2$). Определить неизвестную величину.

Шифр	l , м	k , Н/м	m_1 , г	m_2 , г	ω_1 , с ⁻¹	ω_2 , с ⁻¹
1	1	2	0,05	0,05	-	?
2	-	20	1	0,5	?	15
3	-	?	1	2	5	8
4	?	10	0,5	2	-	6
5	0,5	15	?	1	-	7

Задача №11.26

Однородный цилиндр массы m , радиуса r катится без скольжения по внутренней стороне цилиндрической поверхности радиуса R . Период малых колебаний T . Определить неизвестную величину.

Шифр	m , г	r , см	R , см	T , с
1	10	?	26	1,07
2	?	1,3	38	1,23
3	30	5	?	0,92
4	18	4	25	?
5	47	?	33	1,22

Глава 1.2. Волны.

Задача №12.01

В среде с плотностью ρ распространяется со скоростью v плоская волна $\xi = a \sin \varphi$.

Давление в среде в точках поверхности постоянной фазы $\varphi = \text{const}$ равно Δp . Определить неизвестную величину (ω - циклическая частота).

Шифр	ρ , г/см ³	v , м/с	a , мм	ω , с ⁻¹	φ , град	Δp , Н/м ²
1	1	1500	0,010	300	300	?
2	1,2	1600	0,002	500	500	1650
3	0,9	1400	0,005	?	?	700
4	0,9	?	0,005	200	200	1000
5	1,4	1730	?	100	100	2100

Задача №12.02

В стержне, закрепленном в середине, возбуждено n -ое собственное колебание.

Длина стержня l , плотность материала ρ , скорость распространения упругих волн v , амплитуда колебаний a . Максимальное значение плотности потенциальной энергии ε_p .

Определить неизвестную величину.

Шифр	l , м	a , мм	ρ , г/см ³	v , м/с	ε_p , Дж/м ³	n
1	1	0,010	2,7	5100	?	1
2	3	0,010	8,9	?	57	2
3	1	0,007	?	5000	47,6	1
4	3	?	8,8	4900	149	2
5	?	0,016	21,5	2700	49,5	1

Задача №12.03

В стержне, закрепленном в середине, возбуждено n -ое собственное колебание. Длина стержня l , плотность материала ρ , скорость распространения упругих волн v , амплитуда колебаний a . Максимальное значение плотности потенциальной энергии ε_k . Определить неизвестную величину.

Шифр	l , м	a , мм	ρ , г/см ³	v , м/с	ε_k , Дж/м ³	n
1	3	0,010	2,7	5100	5100	2
2	1	0,010	8,9	?	?	1
3	2	0,014	?	5000	5000	1
4	1	?	8,8	4900	4900	1
5	?	0,008	21,5	2700	2700	2

Задача №12.04

Стержень длиной l закреплен в середине. Модуль Юнга E , плотность материала ρ , частота n -го собственного колебания f_n . Определить неизвестную величину.

Шифр	l , м	E , ГН/м ²	ρ , г/см ³	f_n , кГц	n
1	0,5	110	?	3,5	1
2	0,25	?	8,9	7,0	1
3	0,5	210	7,7	?	1
4	0,5	?	7,7	15,6	2
5	?	210	7,7	15,6	1

Задача №12.05

Средняя плотность потока энергии плоской монохроматической волны q , скорость распространения волны v , циклическая частота ω , амплитуда a , плотность среды ρ .
Определить неизвестную величину.

Шифр	ρ , г/см ³	a , мм	v , м/с	ω , с ⁻¹	q , Вт/м ²
1	7,9	0,010	5000	1000	?
2	?	0,008	3600	1200	1475
3	2,7	0,006	?	1100	300
4	2,7	0,012	5100	?	1200
5	7,9	?	5000	2000	1985

Задача №12.06

Угол между зеркалами Френеля равен α , расстояние от источника света до линии соприкосновения зеркала равно a , от зеркала до экрана b , длина волны света λ . m -ая

светлая полоса отстоит от центра интерференционной картины на величину h . Свет падает на экран перпендикулярно к его поверхности. Определить неизвестную величину.

Шифр	α , мин	a , м	b , м	λ , мкм	m	h , мм
1	?	0,75	2,35	0,48	6	10,8
2	8,7	1,45	?	0,64	3	1,4
3	4,2	?	1,22	0,59	5	5,2
4	2,5	1,3	2,1	?	4	4,5
5	6,6	0,15	1,25	0,55	7	?

Задача №12.07

Амплитуда давления в акустической волне p , удельное акустическое сопротивление Z , амплитуда смещения a , частота ω . Определить неизвестную величину.

Шифр	Z , кг·см ⁻² ·с ⁻¹	ω , с ⁻¹	a , мм	p , кН/м ²
1	3980	314	0,005	?
2	?	200	0,010	2,65
3	149	?	0,007	5,34
4	1530	615	0,008	?
5	140	415	?	6,97

Задача №12.08

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 помещен 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. Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	n	a , мм	λ , нм	Δ , 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	?

Задача №12.09

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	λ , нм	n	a , м	b , м	k	l_k , мм	α , мин
1	590	1,3	1,5	2,4	5	2,9	?
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	?

Задача №12.10

Бипризма с малым преломляющим углом α имеет показатель преломления n . Длина волны источника света λ , расстояние от источника до бипризмы равно a , от бипризмы до экрана b . На экране получается N интерференционных полос. Определить неизвестную величину.

Шифр	α , мин	n	λ , мкм	a , м	b , м	N
1	28	?	0,55	1,2	2,6	150
2	47	1,51	0,63	?	0,85	59
3	?	1,61	0,69	0,75	1,25	45
4	41	1,43	0,59	0,95	2,3	?
5	27	?	0,64	1,3	2,1	90

Задача №12.11

Для получения интерференционной картины используется бипризма Френеля. Преломляющий угол бипризмы α расстояние между вершинами преломляющих углов бипризмы l . Показатель преломления стекла бипризмы n . Между точечным источником

монохроматического света с длиной волны λ и бипризмой помещают линзу таким образом, чтобы ширина интерференционных полос не зависела от расстояния до экрана. Экран располагают на таком расстоянии L от бипризмы, что число наблюдаемых интерференционных полос N являются максимальными при данных условиях. Определить неизвестную величину.

Шифр	α , мин	l , см	n	λ , нм	N	L , 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	290	-	44,9
5	8,4	7,5	?	480	125	23,3

Задача №12.12

Две плосковыпуклые линзы с радиусами кривизны R_1 и R_2 сложены выпуклыми поверхностями. Радиус m -ого светлого интерференционного кольца, наблюдаемого в отраженном свете, равен r_m для длины волны λ . Определить неизвестную величину.

Шифр	R_1 , м	R_2 , м	λ , мкм	m	r_m , мм
1	?	2,6	0,63	3	1,5
2	2,1	?	0,69	7	2,02
3	2,46	1,7	?	4	1,3
4	1,90	2,87	0,63	5	?
5	1,40	?	0,59	11	2,39

Задача №12.13

Кольца Ньютона получают с помощью плосковыпуклой линзы 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 отраженном свете, длина световой волны равна λ . Радиус m -го светлого кольца равен r_m . Определить неизвестную величину. Считать жидкость оптически менее плотной, чем вещество, из которого изготовлены линзы и вогнутая поверхность.

Шифр	R_1 , см	R_2 , см	m	r_m , мм	λ , 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	92	100	5	3,64	?	1,60

Задача №12.14

Кольца Ньютона в отраженном свете наблюдаются с помощью плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны R_1 , положенной на вогнутую сферическую поверхность с радиусом кривизны R_2 . Длина волны света равна λ , радиус m -го темного кольца r_m . Определить неизвестную величину.

Шифр	R_1 , м	R_2 , м	λ , мкм	m	r_m , мм
1	1,4	2,3	?	12	5,0
2	1,5	?	0,59	6	3,2
3	?	9,3	0,63	4	6,1
4	1,1	3,2	0,55	5	?
5	1,07	2,5	?	7	5,0

Задача №12.15

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 отраженном монохроматическом свете с длиной волны λ . k -ое тёмное кольцо имеет радиус r_k . Определить неизвестную величину. Считать жидкость оптически менее плотной, чем вещество, из которого изготовлены линза и пластинка.

Шифр	R , см	n	λ , нм	k	r_k , мм
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	?

Задача №12.16

Плосковыпуклая линза с фокусным расстоянием f из стекла с показателем преломления n лежит выпуклой стороной на стеклянной пластинке. Радиус m -ого светлого кольца Ньютона в отраженном свете равен r_m при длине волны света λ . Определить неизвестную величину.

Шифр	f , м	n	m	r_m , мм	λ , мкм
1	1,09	1,64	8	1,9	?
2	6,7	1,45	3	?	0,64
3	0,87	1,73	?	1,3	0,59
4	1,33	?	7	1,37	0,43
5	?	1,62	4	2,5	0,59

Задача №12.17

Плоскопараллельная пластина лежит на одной из поверхностей двояковыпуклой линзы. При наблюдении колец Ньютона в отраженном свете длины λ получено, что радиус темного кольца m -го порядка равен r_m . Когда пластинка была положена на другую поверхность линзы, радиус темного кольца того же порядка получился 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

Задача №12.18

У плосковыпуклой линзы с радиусом кривизны R имеется сошлифованный плоский участок радиусом r_0 , которым она соприкасается со стеклянной пластинкой. При наблюдении в отраженном свете с длиной волны λ радиус m -ого светлого кольца равен r_m . Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	r_0 , мм	λ , мкм	m	r_m , мм
1	?	1,8	0,63	12	6,3
2	75	?	0,69	4	2,7
3	96	2,5	?	7	3,1
4	760	1,7	0,43	5	?
5	150	3,0	0,66	?	3,8

Задача №12.19

Пластинка Луммера-Герке имеет длину L и изготовлена из прозрачного материала, имеющего показатель преломления n . Пластинку используют как спектральный прибор

для разрешения дублета (двух монохроматических волн, имеющих близко расположенные частоты). Средняя длина волны дублета равна λ , разность длин волн линий дублета $\delta\lambda$. Определить неизвестную величину. Дисперсией материала пренебречь. Считать, что 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	0,005	?
5	2,2	?	0,007	1,55

Задача №12.20

Расстояние между точечными источниками света с длиной волны λ и экраном l . Дифракция с отверстием радиуса r находится в k раз ближе к экрану, чем к источнику ($k >$ 1). В отверстие укладывается m зон Френеля. Определить неизвестную величину.

Шифр	λ , мкм	l , м	r , мм	k	m
1	0,63	3,5	0,86	3,7	?
2	?	8,1	1,9	4,8	4,5
3	0,55	2,4	1,3	?	6,5
4	0,59	8,5	?	2,3	6,9
5	0,48	?	0,25	1,2	3,0

Задача №12.21

Небольшой предмет облучают монохроматическим светом с длиной волны λ . Для получения изображения предмета используют зональную пластинку, которую располагают на расстоянии a от предмета. Изображение получается на расстоянии b от пластинки. Используется пластинка, у которой центр светлый. Внутренний радиус m -го по счету кольца равен R_m . Первым кольцом считается центральная зона, вторым - следующее за центральной зоной светлое кольцо и т.д. Определить неизвестную величину.

Шифр	a , см	b , м	m	λ , нм	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	?

Задача №12.22

Плоская волна падает на круглый диск радиуса r . Точка наблюдения находится на расстоянии b от диска. Ширина зоны Френеля, непосредственно примыкающей к диску, равна x при длине волны света λ . Определить неизвестную величину.

Шифр	r , мм	b , м	x , мм	λ , мкм
1	?	1,6	0,35	0,69
2	2,9	?	0,37	0,49
3	?	2,4	0,95	0,63
4	3,5	1,7	0,13	?
5	2,2	12,6	?	0,59

Задача №12.23

Зональная пластинка, освещаемая светом с длиной волны λ , имеет фокусное расстояние f . Радиус m -ого 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.

Шифр	λ , 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	?

Задача №12.24

Монохроматический свет с длиной волны λ падает нормально на дифракционную решетку с периодом d , содержащую N щелей. Угловая ширина главного дифракционного максимума m -го порядка равна $\Delta\varphi$. Определить неизвестную величину.

Шифр	λ , мкм	d , мкм	N	m	$\Delta\varphi$, мин
1	?	8,1	1900	7	0,37
2	0,69	?	7200	3	0,22
3	0,43	4,5	?	5	0,14
4	0,59	4,8	9500	2	?
5	?	2,5	4400	3	0,60

Задача №12.25

Свет с длиной волны λ падает на дифракционную решетку с периодом d под углом θ к нормали. Под углом φ к нормали наблюдается максимум m -го порядка. Угол $\varphi > 0$, если углы φ и θ лежат по разные стороны от нормали. Положительные m соответствуют случаю $\varphi > \theta$. Определить неизвестную величину.

Шифр	λ , мкм	d , мкм	θ , град	φ , град	m
1	0,69	3,4	19	?	+3
2	0,61	5,3	?	+17	-1
3	?	2,7	13,2	-12	-2
4	0,64	?	12	-34	-3
5	0,43	6,7	57	?	+2

Задача №12.26

На отражательную дифракционную решетку с периодом d под углом θ к нормали падает свет с длиной волны λ . Максимум порядка m наблюдается под углом φ к нормали. Угол $\varphi > 0$, когда углы φ и θ лежат по разные стороны от нормали. Положительные m соответствуют случаю $\varphi > \theta$. Определить неизвестную величину.

Шифр	d , мкм	θ , град	λ , мкм	m	φ , град
1	?	22	0,63	+2	+41
2	3,2	?	0,69	+1	+47
3	2,1	38	?	-3	-16,5
4	2,3	27	0,43	-4	?
5	?	48	0,59	-2	+22

Глава 1.3. Оптические приборы.

Задача №13.01

Стеклянная 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 ее на расстоянии b от поверхности. Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	n	d , см	b , 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

Задача №13.02

Луч света падает на плоскопараллельную пластину толщиной d с показателем преломления n под углом α к нормали. После выхода из пластины смещение луча составляет величину x . Определить неизвестную величину.

Шифр	d , см	n	α , град	x , см
1	?	1,71	21	0,43
2	3,8	?	48	1,27
3	0,57	1,53	75	?
4	?	1,52	62	1,06
5	0,45	?	35	0,12

Задача №13.03

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 , см	l , см	n	d , 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	?	1,28	75,2

Задача №13.04

Призма из материала с показателем преломления n имеет преломляющий угол A . Луч, падающий на одну из граней призмы под углом α к нормали, выходит через вторую грань под таким же углом, отклонившись от первоначального направления на угол φ . Определить неизвестную величину.

Шифр	n	A , град	α , град	φ , град
1	?	54	-	31
2	1,76	41	?	-
3	?	-	23	17
4	1,43	?	34	-
5	1,57	69	-	?

Задача №13.05

Плоскопараллельная пластинка толщиной d с показателем преломления n посеребрена снизу. Луч света падает на верхнюю поверхность пластинки под углом α к нормали. Расстояние в воздухе между параллельными лучами, отраженными от верхней и нижней поверхностей пластины, равно l . Определить неизвестную величину.

Шифр	d , см	n	α , град	l , см
1	2,60	1,44	73	?
2	0,85	?	57	0,72
3	?	1,73	32	2,40
4	1,71	?	28	1,13
5	4,6	1,55	64	?

Задача №13.06

Две одинаковые призмы с малым преломляющим углом p из материала с показателем преломления n имеют общее основание (бипризма Френеля). Источник света в виде тонкой нити, параллельной ребрам призм, находится в одной плоскости с основаниями призм на расстоянии a от них. На экране, находящемся на расстоянии b от призм, ширина области, где перекрываются световые пучки от обеих призм, равно h . Расстояние между мнимыми источниками равно d . Определить неизвестную величину.

Шифр	p , град	n	a , см	b , см	h , см	d , см
1	2,4	?	-	190	8,7	-
2	0,84	1,56	34	-	-	?
3	?	1,73	-	85	3,9	-
4	0,43	1,47	?	-	-	0,135
5	0,68	1,62	-	74	?	-

Задача №13.07

Горизонтально расположенное цилиндрическое вогнутое зеркало радиуса кривизны R наполнено прозрачной жидкостью, имеющей показатель преломления n_1 . Сверху зеркало накрыли прозрачной плоскопараллельной пластинкой толщиной 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 , см	f , см	n_1	n_2	h , 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	?

Задача №13.08

Вогнутое зеркало с радиусом кривизны R дает изображение предмета с коэффициентом увеличения k_1 . Если изменить расстояние до зеркала от предмета на величину d , то коэффициент увеличения станет равным k_2 . Отрицательные значения k_1 и k_2 соответствуют перевернутому изображению. Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	k_1	d , см	k_2
1	75	-2,4	?	+1,9
2	6,9	?	+8,2	-0,53
3	52	-3,7	-23	?
4	?	-0,78	-49	+4,1
5	27	+2,9	+31	?

Задача №13.09

Радиус кривизны вогнутого сферического зеркала равен R . Изображение предмета высотой h_1 , находящегося на расстоянии a от зеркала, получается на расстоянии b от

зеркала и имеет высоту h_2 . Коэффициент увеличения равен k . Расстояние до мнимого изображения считается отрицательным. Высота изображения и коэффициент увеличения отрицательны, если изображение перевернуто. Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	h_1 , см	a , см	b , см	h_2 , см	k
1	78	+2,4	?	-	-4,3	-
2	9,5	-	+7,7	-	-	?
3	?	+0,45	-	-37	+0,87	-
4	38	+1,60	-	+26	?	-
5	5,1	-	-	?	-	+2,4

Задача №13.10

Радиус кривизны выпуклого зеркала равен R . Изображение предмета высотой h_1 , находящегося на расстоянии a от зеркала, получается на расстоянии b от зеркала и имеет высоту h_2 . Коэффициент увеличения равен k . Расстояние до мнимого изображения считается отрицательным. Высота изображения и коэффициент увеличения положительны, если изображение прямое. Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	h_1 , см	a , см	b , см	h_2 , см	k
1	8,4	-	-	?	-	+0,82
2	56	+0,54	-	-17	?	-
3	23,3	+1,53	?	-	+0,63	-
4	185	-	+74	-	-	?
5	?	-	-	-28	-	+0,31

Задача №13.11

Выпуклое зеркало с радиусом кривизны R дает изображение предмета с коэффициентом увеличения k_1 . Если же изменить расстояние от зеркала до предмета на величину d , то коэффициент увеличения станет равным k_2 . Положительные значения k_1 и k_2 соответствуют прямому изображению. Определить неизвестную величину.

Шифр	R , см	k_1	d , см	k_2
1	?	+0,45	-49	+0,63
2	82	+0,53	?	+0,29
3	7,4	+0,26	-2,8	?
4	48	?	+21	+0,135
5	23	+0,47	?	+0,71

Задача №13.12

Тонкая двояковыпуклая линза из стекла с показателем преломления n имеет радиусы кривизны R_1 и R_2 . Поверхность с радиусом R_2 посеребрена. Действительное изображение точки, находящейся на расстоянии a_1 от полученной оптической системы, удалено от нее на a_2 . Определить неизвестную величину.

Шифр	n	R_1 , см	R_2 , см	a_1 , см	a_2 , см
1	?	25	14	13	4,6
2	1,42	?	118	45	68
3	1,50	28	?	36	21
4	1,63	1,3	32	?	19
5	1,55	96	62	21	?

Задача №13.13

Две тонкие плосковыпуклые линзы, имеющие фокусное 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 между линзами, системы 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 , см	f_2 , см	F_1 , см	F_2 , 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

Задача №13.14

Двояковыпуклая линза с радиусами кривизны поверхностей R_1 и R_2 имеет в воздухе фокусное расстояние f_0 , а в жидкости f . Показатель преломления материала линзы n_0 , показатель преломления жидкости n . Определить неизвестную величину.

Шифр	R_1 , см	R_2 , см	f_0 , см	f , см	n_0	n
1	?	32	-	-170	1,53	1,72
2	37	?	-	+92	1,61	1,28
3	24	39	?	-180	-	1,61
4	27	64	-	?	1,56	1,33
5	32	42	+45	-130	-	?

Задача №13.15

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 , см	f_2 , см	L , см	d , см	a , 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

Задача №13.16

При съемке с расстояния a_1 изображение предмета на фотопластинке имеет высоту h_1 , а при съемке с расстояния a_2 - высоту h_2 . Фокусное расстояние объектива фотоаппарата равно f . Определить неизвестную величину.

Шифр	a_1 , м	h_1 , мм	a_2 , м	h_2 , мм	f , мм
1	6,9	8,3	4,5	12,7	?
2	2,7	26,2	9,2	?	135
3	8,5	7,4	?	23	96
4	9,8	?	5,5	20,1	85
5	?	6,3	2,5	11,5	52

Задача №13.17

Микроскоп состоит из объектива с фокусным расстоянием f_1 и окуляра с фокусным расстоянием f_2 . Расстояние между фокальными плоскостями объектива и окуляра равно Δ . Увеличение микроскопа равно k . Определить неизвестную величину.

Шифр	f_1 , мм	f_2 , мм	Δ , см	k
1	?	40	18	563
2	3	?	16	381
3	2,5	40	?	425
4	2,8	35	16	?
5	2,2	?	15	387

Задача №13.18

Линза с фокусным расстоянием f_0 из материала с показателем преломления n_0 дает в воздухе действительное изображение предмета на расстоянии a_0 . Если погрузить предмет и линзу в жидкость с показателем преломления n , не меняя расстояния между ними, то изображение будет находится на расстоянии a от линзы. Положительные a соответствуют действительному изображению. Определить неизвестную величину.

Шифр	f_0 , см	n_0	a_0 , см	n	a , см
1	?	1,57	27	1,49	-210
2	11,5	?	13	1,33	+86
3	42,0	1,72	?	1,58	-177
4	22,5	1,62	17	?	+45
5	13,3	1,55	16,6	1,33	?

Задача №13.19

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 ее внутреннюю часть. Объектив трубы заменяют линзой из того же стекла с фокусным расстоянием f_3 , после чего в нее можно рассматривать удаленные предметы в жидкости. Определить неизвестную величину.

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

Задача №13.20

Оптическая система образована двумя тонкими линзами, сложенными друг с другом: двояковыпуклой с радиусами кривизны поверхностей R_1 и R_2 из материала с показателем преломления n_1 и двояковогнутой с радиусами кривизны $-R_2$ и $-R_3$ из материала с показателем преломления n_2 . Фокусное расстояние такой системы равно f (оптическая сила D). Определить неизвестную величину.

Шифр	R_1 , см	R_2 , см	n_1	R_3 , см	n_2	f , см	D , дптр
1	44	32	1,41	74	1,72	?	-
2	8,7	?	1,63	5,2	1,45	-	+2,9
3	12,4	11,7	1,76	19,1	?	-	+5,8
4	?	57	1,52	38	1,79	-71	-
5	39	23	1,59	61	1,70	-	?

Задача №13.21

На плоскую отражательную дифракционную решетку, имеющую период d и содержащую N штрихов, нормально падает свет, представляющий из себя смесь двух монохроматических излучений с длинами волн λ_1 и λ_2 : $\delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$, $\delta\lambda \ll \lambda$. Спектр k -ого порядка фотографируется на фотопластинке с помощью фотообъектива с фокусным расстоянием f . На фотопластинке получают спектральные линии λ_1 и λ_2 на расстоянии Δ . Определить неизвестную величину. Фотообъектив и фотопластинка располагаются параллельно дифракционной решетке.

Шифр	N	d , мкм	$\delta\lambda$, нм	λ , нм	f , см	Δ , мм	k
1	60000	2	?	560	60	0,37	2
2	30000	?	0,09	410	110	1,06	3
3	5000	5	0,13	?	85	0,35	8
4	400	8	0,48	610	?	2,99	10
5	8000	10	0,89	512	150	?	14

Задача №13.22

На узкую длинную щель шириной b падает под углом θ к нормали параллельный пучок света с длиной волны λ . В дифракционной картине, проектируемой на экран линзой с фокусным расстоянием f , ширина центрального максимума равна Δx . Ширина щели $b \gg \lambda$. Экран перпендикулярен к главной оптической оси линзы. Определить неизвестную величину.

Шифр	b , мкм	θ , град	λ , мкм	f , см	Δx , мм
1	?	11	0,58	35	16
2	55	?	0,63	62	25
3	19	38	?	14	13
4	53	25	0,55	75	?
5	35	17	0,69	?	19

Задача №13.23

На плоскую отражательную решетку нормально падает свет, состоящий из двух монохроматических излучений с длинами волн λ_1 и λ_2 : $\delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$, $\lambda = (\lambda_1 + \lambda_2)/2$, $\delta\lambda \ll \lambda$. Решетка содержит N штрихов и имеет период d . Известно, что указанные длины волн решетка разрешает, но меньшую разность длин волн данной решеткой разрешить невозможно. В области спектра (порядок k) решетка имеет дисперсию D . Определить неизвестную величину.

Шифр	N	d , мкм	λ , нм	$\delta\lambda$, нм	D , угл. с/А	k
1	60000	2,0	560	0,0031	?	3
2	30000	1,5	410	?	32,8	2
3	5000	5,0	?	0,0058	27,8	6
4	400	8,0	610	0,1173	76,7	?
5	8000	?	512	0,0336	48,3	15

Задача №13.24

Коллиматорная щель ширины Δ , освещаемая источником монохроматического света длины λ , помещается в фокус линзы с фокусным расстоянием f . Пройдя через линзу, свет падает на дифракционную решетку, плоскость которой перпендикулярна к главной оптической оси линзы. Число штрихов решетки N , ее период d . Конечная ширина коллиматорной щели не позволяет полностью использовать разрешающую способность решетки: разрешающая способность установки в окрестности длины волн 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

Глава 1.4. Оптические свойства металлов и диэлектриков.

Задача №14.01

Частично поляризованный свет рассматривается через николю. При повороте николя на угол α от положения, соответствующего максимальной яркости, яркость пучка уменьшается в n раз. Степень поляризации пучка $P = (I_s - I_p)/(I_s + I_p)$, 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	P
1	?	1,1	3,5	-
2	60	?	-	0,80
3	75	2,5	?	-
4	22,5	1,1	1,2	?
5	?	1,5	-	0,63

Задача №14.02

Пучок естественного света проходит последовательно через три поляроида. В каждом поляроиде теряется некоторая доля p светового потока. Угол между плоскостями первого и второго поляроида равен α_1 , угол между плоскостями второго и третьего равен α_2 . Углы α_1 и α_2 - острые. Интенсивность света после прохождения системы уменьшается в k раз. Определить неизвестную величину.

Шифр	p	α_1 , град	α_2 , град	k
1	?	11	68	22
2	0,09	?	13	7,4
3	0,05	35	?	4,5
4	0,15	28	62	?
5	0,105	72	17	?

Задача №14.03

Узкий монохроматический пучок эллиптически поляризованного света проходит через пластинку в четверть волны. При определенной ориентации пластинки прошедший свет оказывается линейно поляризованным под углом α к вертикали. После того, как пластинку дополнительно повернули 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 γ , α и β принадлежащими интервалу $(0,90^\circ)$, $\alpha < \beta$.

Шифр	α , град	β , град	γ , град	k
1	?	-	45	2,0
2	-	?	60	3,0
3	74,6	-	?	2,5
4	-	54,6	54	?
5	-	32,3	?	4,0

Задача №14.04

При прохождении частично поляризованного света через поляририд отношение максимальной интенсивности пропущенного поляриридом света к минимальной равно k . Отношение интенсивности света, пропущенного поляриридом при повороте его на углы α_1 и α_2 из положения максимального пропускания, равно $I_1/I_2=m$. Углы α_1 и α_2 - острые. Определить неизвестную величину.

Шифр	k	α_1 , град	α_2 , град	$m=I_1/I_2$
1	4,8	?	56	1,9
2	3,7	62	?	0,49
3	2,2	11	62	?
4	?	42	17	0,74
5	2,5	58	28	?

Задача №14.05

Два идеальных поляризатора P_1 и P_2 установлены один за другим, при этом плоскости пропускания поляризаторов составляют угол β . На систему падает пучок поляризованного света интенсивности I_0 , плоскость поляризации которого составляет угол α с плоскостью пропускания первого поляририда. Углы α и β отсчитываются в одном направлении. Интенсивность прошедшего света после прохождения системы для случая, когда свет сначала падает на поляририд P_1 , равна I_1 ; интенсивность прошедшего света для случая обратного направления, т.е. когда свет сначала падает на поляририд P_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	-	?

Задача №14.06

Пучок частично поляризованного света, степень поляризации которого равна P , падает на поляроид. При повороте поляроида из положения максимального пропускания на угол α_1 интенсивность прошедшего света уменьшилась в k_1 раз по сравнению с максимальной, а при повороте на угол α_2 - в k_2 раз. Углы α_1 и α_2 меньше $\pi/2$. Определить неизвестную величину.

Шифр	P	α_1 , град	k_1	α_2 , град	k_2
1	?	-	-	68	3,8
2	-	?	4,5	43	1,6
3	-	70	?	52	1,7
4	0,70	-	-	?	2,9
5	?	54	1,35	-	-

Задача №14.07

Оптическая система состоит из трех последовательно расположенных поляроидов P_1, P_2, P_3 и находящегося за ними зеркала. Поляроиды P_1 и P_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 P_2 составляет угол α с плоскостью поляроида P_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

Задача №14.08

Между двумя поляроидами находится пластинка толщиной d , вырезанная параллельно оптической оси из кристалла с показателем преломления n_o и n_e . Угол между осью первого поляроида и осью пластинки равен α ($\alpha \leq \pi/4$). Если вращать второй поляроид, то отношение интенсивностей прошедшего света с длиной волны λ при параллельных и скрещенных поляроидах равно k . Пластинка вносит разность фаз δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	d , мкм	n_0-n_e	α , град	λ , мкм	k	δ
1	13	0,17	?	0,69	3,1	-
2	29	0,012	23,3	0,63	?	-
3	31	0,065	?	0,55	0,64	-
4	20	?	42	0,59	1,4	$\pi \leq \delta \leq 2\pi$
5	?	0,058	35	0,48	2,3	$3\pi \leq \delta \leq 4\pi$

Задача №14.09

Линейно поляризованный свет с длиной волны λ 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 φ с главной оптической осью пластинки ($0 \leq \varphi \leq 90^\circ$). За кристаллической пластинкой, параллельно ее плоскости среза располагают поляроид, вращением которого добиваются максимальной интенсивности I прошедшего света. Интенсивность падающего света I_0 . Вносимый пластинкой сдвиг фазы равен δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	λ , мкм	n_0-n_e	φ , град	d , 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	$5\pi < \delta < 5,5\pi$

Задача №14.10

Между двумя скрещенными поляроидами находится кристаллическая пластинка толщиной d , вырезанная параллельно оптической оси, причем угол между осью первого поляроида и осью пластинки равен α ($\alpha \leq \pi/4$). Показатели преломления пластинки n_0 и n_e , интенсивность падающего на систему естественного света с длиной волны λ равна I_0 , прошедшего - I . Разность фаз, вносимая пластинкой, равна δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	d , мкм	α , град	n_0-n_e	I/I_0	λ , мкм	δ
1	35	18	?	0,17	0,46	$0 \leq \delta \leq \pi$
2	2,5	?	0,17	0,26	0,59	-
3	17	?	0,014	0,37	0,69	-
4	12	42	0,126	0,24	?	$5\pi \leq \delta \leq 6\pi$
5	43	28,4	0,022	?	0,63	-

Задача №14.11

Линейно поляризованный свет с длиной волны λ проходит через кристаллическую пластинку с показателями преломления n_0 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 ее 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	$6\pi < \delta < 5,5\pi$

Задача №14.12

Кристаллическая пластинка толщиной d , вырезанная параллельно оптической оси из кристалла с показателями преломления n_o и n_e , помещена между двумя поляроидами, оси которых параллельны друг другу и составляют угол α с осью пластинки ($\alpha \leq \pi/4$). После прохождения системы интенсивность света с длиной волны λ уменьшается в k раз. Вносимая пластинкой разность фаз равна δ . Определить неизвестную величину.

Шифр	d , мкм	n_o-n_e	α , град	λ , мкм	k	δ
1	?	0,014	42	0,59	3,4	$3\pi \leq \delta \leq 4\pi$
2	7,9	?	28	0,63	2,4	$0 \leq \delta \leq \pi$
3	62	0,025	?	0,69	2,4	-
4	130	0,011	35	?	2,3	$5\pi \leq \delta \leq 6\pi$
5	12	0,170	23	0,48	?	-

Задача 14.13

Монохроматический пучок проходит через стопу из N одинаковых плоскопараллельных стеклянных пластинок. Коэффициент отражения от каждой поверхности ρ , толщина каждой пластины l . Отношение интенсивности света, прошедшего через стопу, к интенсивности падающего света η . Коэффициент поглощения стекла χ . Определить неизвестную величину. Вторичными отражениями света пренебречь.

Шифр	N	ρ	l , см.	η	χ , см ⁻¹
1	?	0,04	1,0	0,61	0,04
2	2	?	0,5	0,85	0,04
3	4	0,03	0,5	?	0,04
4	5	0,05	?	0,55	0,034
5	8	0,03	0,5	0,52	?

Задача 14.14

Монохроматический пучок света падает нормально на поверхность плоскопараллельной пластины толщиной l . Коэффициент поглощения вещества пластины изменяется линейно вдоль нормали к ее поверхности от значения χ_1 до χ_2 . Коэффициент отражения от каждой поверхности ρ , коэффициент пропускания пластины η . Определить неизвестную величину. Вторичными отражениями пренебречь.

Шифр	l , см	χ_1 , см ⁻¹	χ_2 , см ⁻¹	ρ	η
1	0,5	0,015	0,025	0,05	?
2	0,5	0,012	0,028	?	0,83
3	1,0	0,008	0,012	0,12	?
4	1,0	?	0,015	0,15	0,71
5	?	0,018	0,022	0,13	0,73

Глава 1.5. Тепловое излучение.

Задача 15.01

В плоскости большого объема, имеющей температуру T , находится равновесное излучение. Легкая тонкая пластинка, представляющая собой прямоугольник со сторонами a и b , с одной стороны имеет абсолютную зеркальную поверхность, с другой стороны - абсолютно черную поверхность. Результирующая сила, действующая на пластинку, равна F . Пластинка имеет температуру T . Определить неизвестную величину.

Шифр	T , К	T , 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

Задача 15.02

В полости большого объема, имеющей температуру T , находится равновесное излучение. Тонкая легкая пластинка площади S имеет с одной стороны абсолютно черную поверхность, а с другой - серую, с постоянной поглощательной способностью a . Пластинка имеет температуру T . Результирующая сила, действующая на пластинку, равна F . Определить неизвестную величину.

Шифр	$T, \text{ К}$	$T, \text{ К}$	a	$S, \text{ м}^2$	$F \cdot 10^4, \text{ Н}$
1	?	200	0,9	1,0	0,29
2	1500	?	0,8	5,0	2,74
3	900	100	?	0,5	0,28
4	1500	50	0,6	?	5,11
5	1200	10	0,5	20,0	?

Задача 15.03

В полости большого объема, имеющей температуру T , находится равновесное излучение. Тонкая легкая пластинка, имеющая форму прямоугольника со сторонами a и b , крепится одной из сторон на горизонтальной оси так, что ось лежит в плоскости пластинки параллельно сторонам a . Одна из плоскостей пластинки абсолютно черная, вторая абсолютно серая с постоянной поглощательной способностью C . Пластинка имеет температуру T . Результирующий крутящий момент относительно оси равен M . Определить неизвестную величину.

Шифр	$T, \text{ К}$	$T, \text{ К}$	$a, \text{ м}$	$b, \text{ м}$	C	$M \cdot 10^4, \text{ Н} \cdot \text{ м}$
1	1600	100	1,0	1,0	0,5	?
2	1500	50	5,0	2,0	?	5,10
3	1200	10	5,0	?	0,5	10,42
4	500	?	1,0	2,0	0,4	4,50
5	?	60	1,5	2,4	0,8	1,56

Задача 15.04

Энергия, излучаемая через смотровой окошко печи за время T , равна W . Площадь окошка равна S . Окошко имеет постоянный коэффициенты отражения и пропускания r и t соответственно. Максимум в спектре излучения приходится на длину волны λ . 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	T , с	S , см ²	λ , мкм	r	t	W , Дж	$F \cdot 10^8$, Нм
1	10	10,0	2,9	0,3	0,6	?	-
2	-	5,0	1,5	0,4	0,5	-	?
3	-	4,5	2,9	?	0,4	-	1,7
4	35	3,3	?	0,2	0,6	600	-
5	-	?	2,0	0,4	0,4	-	3,5

Задача 15.05

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

Шифр	T , К	S , мм ²	l , м	r , см	θ , град	Φ , 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	0,050
5	?	10	2,0	120	60	0,80

Задача 15.06

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

Шифр	Планета	R/R_0	t^0 , С
1	Меркурий	0,38	?
2	Венера	0,72	?
3	Марс	1,52	?
4	Юпитер	5,20	?
5	Сатурн	9,50	?

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 $\text{aP}\cdot\text{m}^2/\text{с}\cdot\text{Бк}$.

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	$-273,15^0 \text{ C}$
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