

№ 248

С.М. Курашев

Физика

Волновые процессы, оптика и атомная физика

Сборник задач

№ 248

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра физики

С.М. Курашев

Физика

Волновые процессы, оптика и атомная физика

Сборник задач

(домашние задания, задачи для семинаров и практических занятий)

Рекомендовано редакционно-издательским
советом университета



Москва 2011

УДК 534
К11

Рецензент
д-р физ.-мат. наук, проф. *Ю.Х. Векилов*

Курашев, С.М.

К11 Физика : волновые процессы, оптика и атомная физика : сб. задач / С.М. Курашев. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 119 с.
ISBN 978-5-87623-494-0

Сборник заданий для количественных расчетов при выполнении домашних работ и семинарских контрольных по курсам «Физика волновых процессов» и «Оптика и атомная физика».

Сборник содержит задачи по электромагнитному полю, теории колебаний, теории волновых процессов, волновой оптике и атомной физике. Предусмотрена возможность проверки заданий с помощью системы программированного контроля. В сборнике имеются методические указания к решению задач, приведены примеры решения типовых задач. В приложении содержатся справочные данные.

Предназначен для самостоятельного решения задач при выполнении домашних заданий студентами, слушающими трехсеместровый курс «Общая физика».

УДК 534

ОГЛАВЛЕНИЕ

Методические указания к решению задач	5
Примеры решения и оформления задач	10
I. Задачи для домашнего задания	21
1. Электрическое и магнитное поле	21
1.1. Электростатика	21
1.2. Теорема Остроградского – Гаусса	22
1.3. Емкость. Конденсатор	24
1.4. Постоянный ток	26
1.5. Магнитостатика	28
1.6. Электромагнитная индукция. Индуктивность	30
1.7. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях	32
2. Волновые процессы	35
2.1. Колебания	35
2.2. Волны	42
2.3. Оптические приборы	50
2.4. Оптические свойства металлов и диэлектриков	57
2.5. Тепловое излучение	62
3. Оптика и атомная физика	65
3.1. Геометрическая оптика	65
3.2. Интерференция света	67
3.3. Дифракция. Спектральные приборы	69
3.4. Поляризация света	71
3.5. Тепловое излучение	73
3.6. Теория относительности	75
3.7. Квантовые свойства света	77
3.8. Атом Бора	79
3.9. Состояние электронов в атоме	81
3.10. Рентгеновское излучение	82
II. Задачи для семинаров и практических занятий	84
4. Классическая физика	84
4.1. Механика	84
4.2. Молекулярная физика	91
4.3. Электродинамика	93
5. Волновые процессы	100
5.1. Колебания	100
5.2. Волны	103

5.3. Оптические приборы.....	106
5.4. Оптические свойства металлов и диэлектриков	108
5.5. Тепловое излучение. Лазеры	111
Приложение. Основные физические величины и единицы их измерений.....	113

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Для удобства работы студентов, обучающихся по разным программам, некоторые задачи помещены одновременно в раздел 2 «Волновые процессы» (курс «Физика волновых процессов») и раздел 3 «Оптика и атомная физика» (курс «Общая физика» III часть). При формировании сборника автор использовал многие авторские задачи, опубликованные ранее в различных пособиях. В частности, значительное количество заданий заимствовано из пособия: Курашев С.М., Соколовский Р.И. Оптика и акустика. – М.: МИСиС, 1985 г.

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 ее 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 выражая 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 задачи для самостоятельного решения в процессе выполнения домашнего задания и задачи для решения на семинарских и практических занятиях. Структура этих задач 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 содержатся в приложении.

Задачи, помещенные в данном сборнике, сгруппированы по тематическим параграфам, охватывающим все основные разделы физики волновых процессов, оптики и атомной физики, которые входят в программу изучения курса «Общая физика» в университете. Параграф состоит из шести стилизованных задач, каждая из которых мультиплицирована пятью наборами условий, сгруппированных в виде таблицы.

Задачи предназначены для двух домашних заданий, которые выполняют в течение семестра студенты всех лекционных потоков, изучающих последний (третий) раздел стандартного курса «Общая физика» – 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 следующей 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 ее 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 массой m , лежащего на абсолютно гладком клине массой 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 закрепленным 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 также проследить, чтобы используемые формулы соответствовали применяемой системе единиц. Например, вычисляя силу электростатического взаимодействия зарядов, мы должны четко определить систему единиц

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

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 множители содержат по три значащие цифры, то и

произведение должно содержать только три значащие 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 5 %, 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 ее 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.

Вторая часть сборника содержит задачи для решения на практических занятиях и для домашних заданий к текущим практическим занятиям. Формулировка задач обычная, т.е. допускающая только один вариант решения. Проверка навыков решения подобных задач возлагается на контрольную работу.

Примеры решения и оформления задач

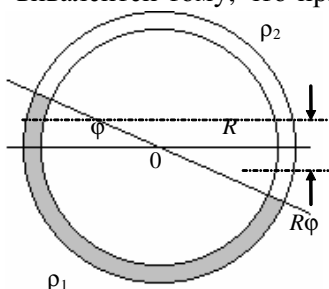
Задача № 01 (шифр 1)

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 (см. рис.) перемещается при этом по вертикали на величину $R\varphi$, так как угол φ мал. В результате потенциальная энергия маховика становится равной (S – поперечное сечение обода):

$$W_{\text{п}} = (\rho_1 - \rho_2) S g R^2 \varphi^2.$$

Кинетическая энергия обода равна

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

По закону сохранения энергии имеем

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

Дифференцируя это выражение, 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:

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

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 ненаблюдаемыми.

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

Задача № 02 (шифры 1, 2, 3)

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 фото-