Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГАОУ ВПО «Российский государственный
профессионально-педагогический университет»

Л. В. Гулин, С. В. Анахов

ЗАДАЧИ ПО КУРСУ ФИЗИКИ

Учебно-методическое пособие

*Допущено Научно-методическим Советом по физике
Министерства образования и науки Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по техническим направлениям подготовки и специальностям*

Екатеринбург
РГППУ
2015

УДК 53(076.1)(075.8)
ББК В3я73-4
Г94

Гулин, Лев Васильевич.

Г94 Задачи по курсу физики: учебно-методическое пособие / Л. В. Гулин, С. В. Анахов. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2015. 104 с.

ISBN 978-5-8050-0573-3

Приведены варианты контрольных работ по курсу физики, даны методические указания к их выполнению, примеры решения типовых задач.

Предназначено студентам, изучающим дисциплины «Физика», «Специальные разделы физики» в соответствии с образовательными программами по направлениям подготовки 44.03.04 Профессиональное обучение (по отраслям), 09.03.03 Прикладная информатика (по отраслям), 09.03.02 Информационные системы и технологии.

УДК 53(076.1)(075.8)
ББК В3я73-4

Рецензенты: доктор физико-математических наук, профессор И. Г. Коршунов (ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»); кандидат технических наук, доцент В. И. Житенёв (ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения); кандидат технических наук, доцент А. А. Карпов (ФГАОУ ВПО «Российский государственный профессионально-педагогический университет»)

ISBN 978-5-8050-0573-3

Введение

Повышение уровня естественнонаучного образования – логичное требование интенсивного научно-технического прогресса. Максимальное внимание должно быть уделено изучению в высших учебных заведениях любого профиля дисциплин, составляющих фундамент современного учения об окружающем мире.

В этом смысле физика занимает особое положение. Именно на ее основе развиваются все направления техники. В недрах физики зародилось большинство основополагающих идей современной химии и биологии. На стыке физики и математики появилась кибернетика. Достижения физики последних десятилетий стимулировали появление новой междисциплинарной науки – синергетики. Изучение физики расширяет общий кругозор, развивает критический подход к анализу не только явлений живой и неживой природы, но и закономерностей развития общества.

Современная физика как наука является важнейшим достижением общечеловеческой культуры в целом. Постоянное оперирование моделями при изучении физики вырабатывает способность к абстрактному мышлению, выделению в том или ином явлении главного, а широкое применение математического аппарата приучает к использованию научных методов. Современный специалист любого профиля встречается в своей практике с большим числом разнообразных механизмов, приборов и методов исследования. Понять принципы действия большинства из них без знания общей физики невозможно.

Настоящий сборник задач поможет студентам овладеть приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики.

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1.1. Самостоятельная работа студента

Учебная работа студента по курсу физики складывается из работы на установочных лекциях и практических занятиях во время лабораторно-экзаменационной сессии и решения задач контрольной работы в ходе самостоятельного изучения курса в межсессионный период.

Самостоятельное изучение курса физики следует проводить по учебным пособиям и учебникам, обозначенным в библиографическом списке [1–13]. Справочные материалы, необходимые при решении задач, приведены в приложении.

1.2. Выполнение контрольной работы

При изучении курса физики студенты в зависимости от специализации выполняют от одной до четырех контрольных работ. В каждой из них необходимо решить восемь задач того варианта, номер которого совпадает с последней цифрой шифра зачетной книжки студента. Номера задач для каждого варианта приведены в табл. 1.1–1.10.

Таблица 1.1

Номера задач контрольной работы для студентов, выполняющих одну контрольную работу

Вариант	Номер задачи							
0	110	130	230	260	310	370	410	450
1	101	121	221	251	301	361	401	441
2	102	122	222	252	302	362	402	442
3	103	123	223	253	303	363	403	443
4	104	124	224	254	304	364	404	444
5	105	125	225	255	305	365	405	445
6	106	126	226	256	306	366	406	446
7	107	127	227	257	307	367	407	447
8	108	128	228	258	308	368	408	448
9	109	129	229	259	309	369	409	449

Таблица 1.2

Номера задач контрольной работы № 1 для студентов,
выполняющих две контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	110	130	150	170	220	240	250	280
1	101	121	141	161	211	231	241	271
2	102	122	142	162	212	232	242	272
3	103	123	143	163	213	233	243	273
4	104	124	144	164	214	234	244	274
5	105	125	145	165	215	235	245	275
6	106	126	146	166	216	236	246	276
7	107	127	147	167	217	237	247	277
8	108	128	148	168	218	238	248	278
9	109	129	149	169	219	239	249	279

Таблица 1.3

Номера задач контрольной работы № 2 для студентов,
выполняющих две контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	310	330	350	380	410	440	450	470
1	301	321	341	371	401	431	441	461
2	302	322	342	372	402	432	442	462
3	303	323	343	373	403	433	443	463
4	304	324	344	374	404	434	444	464
5	305	325	345	375	405	435	445	465
6	306	326	346	376	406	436	446	466
7	307	327	347	377	407	437	447	467
8	308	328	348	378	408	438	448	468
9	309	329	349	379	409	439	449	469

Таблица 1.4

Номера задач контрольной работы № 1 для студентов, выполняющих три контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	110	130	140	160	210	230	240	250
1	101	121	131	151	201	221	231	241
2	102	122	132	152	202	222	232	242
3	103	123	133	153	203	223	233	243
4	104	124	134	154	204	224	234	244
5	105	125	135	155	205	225	235	245
6	106	126	136	156	206	226	236	246
7	107	127	137	157	207	227	237	247
8	108	128	138	158	208	228	238	248
9	109	129	139	159	209	229	239	249

Таблица 1.5

Номера задач контрольной работы № 2 для студентов, выполняющих три контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	260	270	280	310	320	340	360	380
1	251	261	271	301	311	331	351	371
2	252	262	272	302	312	332	352	372
3	253	263	273	303	313	333	353	373
4	254	264	274	304	314	334	354	374
5	255	265	275	305	315	335	355	375
6	256	266	276	306	316	336	356	376
7	257	267	277	307	317	337	357	377
8	258	268	278	308	318	338	358	378
9	259	269	279	309	319	339	359	379

Таблица 1.6

Номера задач контрольной работы № 3 для студентов, выполняющих три контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	410	420	430	440	450	460	470	490
1	401	411	421	431	441	451	461	481
2	402	412	422	432	442	452	462	482
3	403	413	423	433	443	453	463	483
4	404	414	424	434	444	454	464	484
5	405	415	425	435	445	455	465	485
6	406	416	426	436	446	456	466	486
7	407	417	427	437	447	457	467	487
8	408	418	428	438	448	458	468	488
9	409	419	429	439	449	459	469	489

Таблица 1.7

Номера задач контрольной работы № 1 для студентов, выполняющих четыре контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	110	120	130	140	150	160	170	180
1	101	111	121	131	141	151	161	171
2	102	112	122	132	142	152	162	172
3	103	113	123	133	143	153	163	173
4	104	114	124	134	144	154	164	174
5	105	115	125	135	145	155	165	175
6	106	116	126	136	146	156	166	176
7	107	117	127	137	147	157	167	177
8	108	118	128	138	148	158	168	178
9	109	119	129	139	149	159	169	179

Таблица 1.8

Номера задач контрольной работы № 2 для студентов,
выполняющих четыре контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	210	220	230	240	250	260	270	280
1	201	211	221	231	241	251	261	271
2	202	212	222	232	242	252	262	272
3	203	213	223	233	243	253	263	273
4	204	214	224	234	244	254	264	274
5	205	215	225	235	245	255	265	275
6	206	216	226	236	246	256	266	276
7	207	217	227	237	247	257	267	277
8	208	218	228	238	248	258	268	278
9	209	219	229	239	249	259	269	279

Таблица 1.9

Номера задач контрольной работы № 3 для студентов,
выполняющих четыре контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	310	320	330	340	350	360	370	380
1	301	311	321	331	341	351	361	371
2	302	312	322	332	342	352	362	372
3	303	313	323	333	343	353	363	373
4	304	314	324	334	344	354	364	374
5	305	315	325	335	345	355	365	375
6	306	316	326	336	346	356	366	376
7	307	317	327	337	347	357	367	377
8	308	318	328	338	348	358	368	378
9	309	319	329	339	349	359	369	379

Таблица 1.10

Номера задач контрольной работы № 4 для студентов,
выполняющих четыре контрольные работы

Вариант	Номер задачи							
0	410	420	430	440	450	460	470	480
1	401	411	421	431	441	451	461	471
2	402	412	422	432	442	452	462	472
3	403	413	423	433	443	453	463	473
4	404	414	424	434	444	454	464	474
5	405	415	425	435	445	455	465	475
6	406	416	426	436	446	456	466	476
7	407	417	427	437	447	457	467	477
8	408	418	428	438	448	458	468	478
9	409	419	429	439	449	459	469	479

Перед выполнением контрольной работы следует изучить примеры решения задач, представленные в разделе 2. Решение задач проводится в той же последовательности, что и в примерах, т. е. записываются основные законы и формулы, использующиеся в задаче, с разъяснением буквенных обозначений. В тех задачах, в которых используются векторные величины или приведены схемы механических устройств, электрических цепей, необходимо сделать поясняющий рисунок. Задача решается в общем виде. Для этого выводится рабочая формула, в которой через буквенные обозначения величин, заданных в условии задачи, определяется искомая физическая величина. После получения рабочей формулы в нее подставляются числовые значения величин в системе единиц СИ. Для упрощения расчетов числовые значения величин следует представлять в виде десятичной дроби с одной значащей цифрой перед запятой и соответствующей степенью десяти. Например, вместо 432000 и 0,00523 надо записать, соответственно, $4{,}32 \cdot 10^5$ и $5{,}23 \cdot 10^{-3}$.

Решения задач контрольной работы записываются в тетрадь. Обязательно полное изложение условия каждой задачи. Контрольная работа высылается студентами-заочниками в деканат не позже чем за 20 дней до начала экзаменационной сессии. Если студент не успел выслать контрольную работу в срок, он привозит ее с собой на сессию, регистрирует в деканате и сдает на кафедру физики. В этом случае время проверки контрольной работы может превышать 7 дней.

Проверенную контрольную работу студент получает в деканате во время сессии, исправляет ошибки, если они есть, и защищает перед преподавателем результаты решения задач. Успешно защищенная контрольная работа засчитывается с отметкой в экзаменационной ведомости.

1.3. Выполнение лабораторных работ

Целями лабораторных работ являются закрепление знания основных законов физики, получение навыков работы с измерительными приборами, изучение методов обработки результатов измерений, формирование умений правильно представлять результаты эксперимента и делать из него выводы.

На лабораторную работу выделяется четыре часа. В течение первых двух часов изучаются теоретические вопросы, методика выполнения работы и проводятся измерения. В остальное время осуществляется обработка результатов измерений, оформляется отчет, который защищается перед преподавателем, ведущим лабораторную работу. Лабораторная работа считается выполненной, если студент провел измерения, составил отчет и успешно защитил его.

Методика выполнения лабораторной работы, теоретическая информация по изучаемому физическому явлению, порядок оформления отчета и контрольные вопросы изложены в методических указаниях к лабораторной работе, которые выдаются студенту в лаборатории или в читальном зале библиотеки университета.

Перед выполнением лабораторной работы студенту нужно пройти инструктаж по технике безопасности. Разрешение на выполнение измерений дает преподаватель или лаборант.

1.4. Сдача экзамена и зачета

Изучение физики в каждом семестре заканчивается сдачей экзамена или зачета. Вид отчетности определяется учебным планом и зависит от специализации, формы и сроков обучения.

Необходимое условие допуска студента к сдаче экзамена или зачета – выполнение всех контрольных мероприятий и лабораторных работ. Для студентов-заочников обязательным является собеседование с преподавателем, проверяющим контрольную работу. Только при положительном результате собеседования студент получает зачет по контрольной работе и допускается к сдаче семестрового экзамена или зачета.

Экзамены и зачеты проводятся по расписанию во время лабораторно-экзаменационной сессии. По нормам высшей школы на экзамен выделяется целый день, на зачет – половина рабочего дня.

Экзамены принимаются по билетам или тестам, утвержденным заведующим кафедрой. В билете, как правило, имеется два теоретических вопроса и задача. Перечень теоретических вопросов комплекта билетов сообщается или выдается студентам на установочной сессии. Студенты, показавшие отличные и хорошие знания при защите контрольных работ, освобождаются от решения задачи на экзамене. Студенты, отлично выполнившие контрольные работы, по представлению преподавателя могут быть освобождены заведующим кафедрой от экзамена с проставлением в экзаменационную ведомость оценки «отлично». Список таких студентов сообщается учебной группе перед началом экзамена или зачета.

Зачет может приниматься по усмотрению преподавателя по билетам, тестам или по результатам выполнения контрольной работы.

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

2.1. Механика

Пример 1. Эскалатор поднимает идущего по нему вверх человека за t_1 = 1 мин. Если человек будет идти вдвое быстрее, то он поднимется за t_2 = 45 с. Сколько времени будет подниматься человек, стоящий на эскалаторе?

Решение. Пусть искомое время равно t; расстояние, которое человек проезжает на эскалаторе, равно s, а скорость движения эскалатора равна v. При равномерном движении эти величины связаны соотношением

$$t = \frac{s}{\mathrm{v}}. \tag{1}$$

Аналогичные соотношения могут быть записаны для t_1 и t_2:

$$t_1 = \frac{s}{\mathrm{v}_1}, \tag{2}$$

$$t_2 = \frac{s}{\mathrm{v}_2}. \tag{3}$$

Скорости v_1 и v_2 можно найти следующим образом:

$$\mathrm{v}_1 = \mathrm{v} + \mathrm{v}_0, \tag{4}$$

$$\mathrm{v}_2 = \mathrm{v} + 2\mathrm{v}_0, \tag{5}$$

где v_0 – скорость движения человека относительно эскалатора в случае, когда время подъема равно t_1.

Подставляя соотношения (4) и (5) в формулы (2) и (3), получим

$$t_1 = \frac{s}{\mathrm{v} + \mathrm{v}_0}, \tag{6}$$

$$t_2 = \frac{s}{\mathrm{v} + 2\mathrm{v}_0}. \tag{7}$$

Перепишем соотношения (6) и (7) в виде

$$\frac{1}{t_1}=\frac{\mathrm{v}}{s}+\frac{\mathrm{v}_0}{s},$$

$$\frac{1}{t_2}=\frac{\mathrm{v}}{s}+\frac{2\mathrm{v}_0}{s}.$$

Введем обозначение $x = \mathrm{v}_0 / s$. Тогда с учетом соотношения (1) получим систему уравнений

$$\left.\begin{aligned} \frac{1}{t_1}&=\frac{1}{t}+x, \qquad (8)\\ \frac{1}{t_2}&=\frac{1}{t}+2x. \qquad (9)\end{aligned}\right\}$$

Почленное вычитание уравнения (8) из уравнения (9) дает

$$\frac{1}{t_2}-\frac{1}{t_1}=x.$$

Подставляя x в уравнение (8), получим

$$\frac{1}{t_1}=\frac{1}{t}+\frac{1}{t_2}-\frac{1}{t_1}.$$

После преобразований получим выражение

$$t=\frac{t_1t_2}{2t_2-t_1}.$$

Выразив t_1 в секундах, находим

$$t=\frac{60\cdot 45}{2\cdot 45-60}=90\text{ с.}$$

Пример 2. Скорость тела, движущегося прямолинейно, меняется по закону v = $At + Bt^3$, где A = 1 м/с^2; B = 3 м/с^4. Чему будет равно ускорение тела к моменту времени, когда оно пройдет расстояние s = 14 м?

Решение. Ускорение есть производная от скорости по времени:

$$a = \frac{d\mathrm{v}}{dt} = A + 3Bt^2. \qquad (1)$$

Время t находим, используя соотношение

$$s = \int_0^t \mathrm{v}dt = \int_0^t (At + Bt^3)dt = \frac{At^2}{2} + \frac{Bt^4}{4}. \qquad (2)$$

Введем обозначение $z = t^2$ и, используя исходные данные, запишем соотношение (2) в виде

$$14 = \frac{z}{2} + \frac{3z^2}{4}.$$

После преобразований получим уравнение

$$3z^2 + 2z - 56 = 0. \qquad (3)$$

Решение уравнения (3) дает

$$z_1 = \frac{-2 + \sqrt{4 + 4 \cdot 3 \cdot 56}}{6} = 4 \text{ с}^2,$$

$$z_2 = \frac{-2 - \sqrt{4 + 4 \cdot 3 \cdot 56}}{6} = 4{,}7 \text{ с}^2.$$

Значение z_2 должно быть отброшено, так как в соответствии с введенным обозначением $z > 0$. Подставляя z = 4 с^2 в уравнение (1), находим

$$a = 1 + 3 \cdot 3 \cdot 4 = 37 \text{ м/с}^2.$$

Пример 3. Траектория движения материальной точки задается уравнениями $x = At^2$; $y = Bt$, где A = 4 м/с^2; B = 2 м/с. Радиус кривизны траектории через промежуток времени t = 1 с после начала движения равен R = 17 м. Определить полное ускорение точки в этот момент времени. Построить траекторию движения за первые две секунды.

Решение. Уравнение траектории задано в параметрическом виде:

$$x = At^2, \tag{1}$$

$$y = Bt. \tag{2}$$

Чтобы получить уравнение траектории в явном виде, исключим время из уравнений (1) и (2):

$$y = \frac{B}{\sqrt{A}}\sqrt{x}.$$

Полученное выражение представляет собой уравнение верхней ветви параболы, ось которой направлена вдоль оси x. Для построения траектории найдем по уравнениям (1) и (2) значения x и y в моменты времени, взятые с интервалом 0,5 с (таблица).

t, с	x, м	y, м
0,0	0	0
0,5	1	1
1,0	4	2
1,5	9	3
2,0	16	4

Траектория движения точки представлена на рис. 2.1.

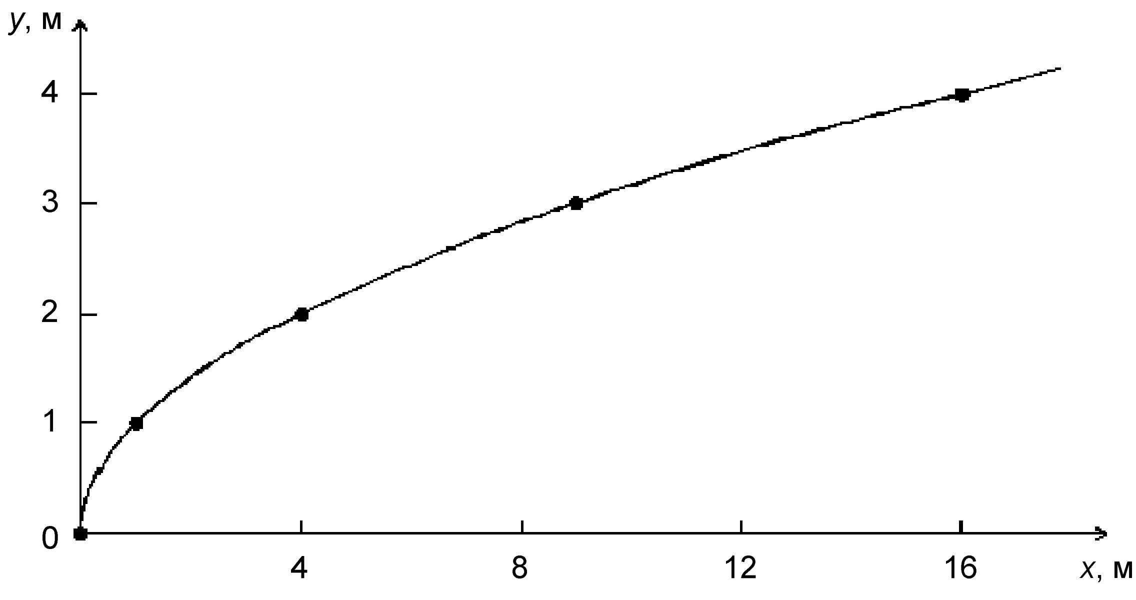


Рис. 2.1

Полное ускорение определяется по формуле

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}, \qquad (3)$$

где a_τ и a_n – тангенциальное и нормальное ускорения соответственно.

Эти ускорения находим по формулам

$$a_\tau = \frac{d\text{v}}{dt}, \qquad (4)$$

$$a_n = \frac{\text{v}^2}{R}, \qquad (5)$$

где v – модуль вектора скорости точки, определяемый по формуле

$$\text{v} = \sqrt{\text{v}_x^2 + \text{v}_y^2}. \qquad (6)$$

В свою очередь, v_x и v_y – проекции вектора скорости на оси x и y – вычисляются по формулам

$$\text{v}_x = \frac{dx}{dt} = 2At, \qquad (7)$$

$$\text{v}_y = \frac{dy}{dt} = B. \qquad (8)$$

Подставляя уравнения (7) и (8) в (6), получим

$$\text{v} = \sqrt{4A^2t^2 + B^2}, \qquad (9)$$

а затем в соответствии с формулой (4) находим

$$a_\tau = \frac{4A^2t}{\sqrt{4A^2t + B^2}} = \frac{4 \cdot 4^2 \cdot 1}{\sqrt{4 \cdot 4^2 \cdot 1^2 + 2^2}} = 7{,}76 \text{ м/с}^2. \qquad (10)$$

Вычисления по формуле (9) дают значение модуля скорости, равное v = 8,25 м/с, что после подстановки в уравнение (5) позволяет определить нормальное ускорение:

$$a_n = \frac{68}{17} = 4\ \text{м/с}^2. \qquad (11)$$

Подставляя результаты вычислений по формулам (10) и (11) в выражение (4), находим полное ускорение:

$$a = \sqrt{7,76^2 + 4^2} = 8,73\ \text{м/с}^2.$$

Пример 4. Шайба лежит на платформе, вращающейся вокруг вертикальной оси. Расстояние от шайбы до оси вращения равно R = 2 м. При частоте вращения n = 9 об/мин шайба начинает скользить по платформе. Определить коэффициент трения шайбы о платформу.

Решение. На шайбу действуют три силы (рис. 2.2): сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$.

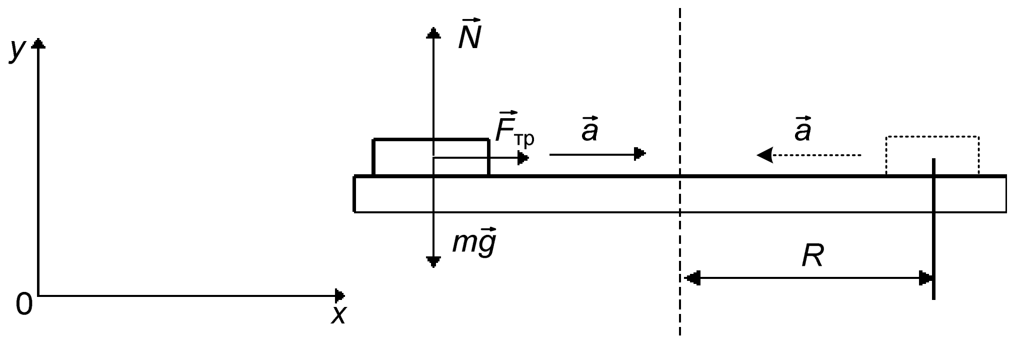


Рис. 2.2

Запишем уравнение движения шайбы (второй закон Ньютона) сначала в векторной форме:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a},$$

затем в проекциях на оси Оx:

$$F_{\text{тр}} = ma \qquad (1)$$

и Оy:

$$N = mg. \qquad (2)$$

Оставаясь неподвижной относительно платформы, шайба вместе с тем движется с ускорением, которое является центростремительным и определяется по формуле

$$a = \frac{v^2}{R}, \tag{3}$$

где v – линейная скорость шайбы.

Модуль силы трения вычисляется по формуле

$$F_{тр} = \mu N, \tag{4}$$

где μ – коэффициент трения.

Перепишем формулу (4) с учетом уравнения (2):

$$F_{тр} = \mu m g, \tag{5}$$

а уравнение (1) – с учетом формул (3) и (5):

$$\mu g = \frac{v^2}{R}. \tag{6}$$

Линейная скорость связана с частотой вращения соотношением

$$v = 2\pi R n. \tag{7}$$

Подставляя уравнение (7) в формулу (6), имеем

$$\mu g = 4\pi^2 R n^2.$$

После преобразований и подстановки исходных данных в системе СИ получим

$$\mu = \frac{4\pi^2 R n^2}{g} = \frac{4\pi^2 \cdot 2 \cdot 9^2}{9{,}8 \cdot 60^2} = 0{,}18.$$

Пример 5. Конькобежец массой m_1, стоя на льду, толкает в горизонтальном направлении камень массой m_2 = 5 кг и откатывается назад со скоростью u_1 = 0,3 м/с относительно земли. Коэффициент трения камня о лед равен $\mu = 0{,}06$; расстояние, на которое переместился камень, равно $s = 15$ м. Определить массу конькобежца.

Решение. Конькобежец и камень составляют замкнутую систему (рис. 2.3), для которой выполняется закон сохранения импульса

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2. \qquad (1)$$

Левая часть уравнения (1) представляет собой импульс системы «конькобежец – камень» до толчка, когда камень и конькобежец покоились; правая – после толчка.

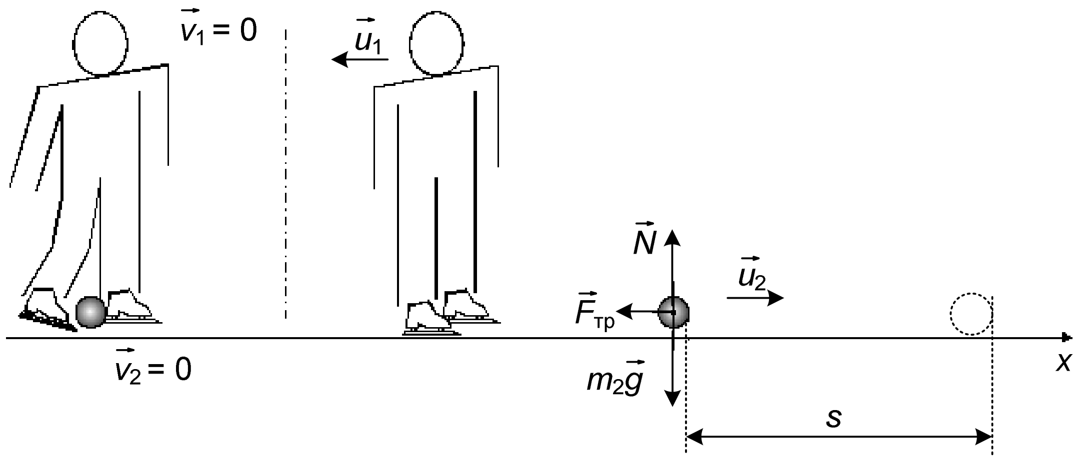


Рис. 2.3

Запишем уравнение (1) в проекциях на горизонтальную ось:

$$0 = -m_1u_1 + m_2u_2$$

и получим выражение для модуля скорости камня после броска:

$$u_2 = \frac{m_1}{m_2}u_1. \qquad (2)$$

При движении камня по льду на него действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила нормальной реакции опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{тр}$. Первые две силы перпендикулярны к направлению движения и работы не совершают, поэтому работа всех сил будет равна работе силы трения:

$$A = -\mu m_2 g s.$$

Изменение кинетической энергии камня в процессе торможения после броска составит

$$\Delta E_к = -\frac{m_2 u_2^2}{2}.$$

Используя теорему о кинетической энергии, получим

$$\frac{m_2 u_2^2}{2} = \mu m_2 g s. \qquad (3)$$

Переписав формулу (3) с учетом выражения (2) как

$$\frac{m_1^2 u_1^2}{2 m_2^2} = \mu g s,$$

получим выражение для расчета искомой величины:

$$m_1 = \frac{m_2 \sqrt{2 \mu g s}}{u_1}.$$

После подстановки исходных данных имеем

$$m_1 = \frac{5\sqrt{2 \cdot 0,06 \cdot 9,8 \cdot 15}}{0,3} = 70 \text{ кг}.$$

Пример 6. Нерастяжимая тонкая гибкая нить одним концом закреплена так, как показано на рис. 2.4, затем перекинута через невесомый подвижный блок и через неподвижный блок в виде сплошного диска массой m = 6 кг. К подвижному блоку подвешен груз массой m_1 = 5 кг, ко второму концу нити подвешен груз массой m_2 = 10 кг.

Определить: 1) скорости поступательного движения грузов v_1 и v_2, когда они, будучи предоставленными самим себе, придут в движение и правый груз опустится на высоту h = 3,5 м; 2) ускорения a_1 и a_2, с которыми будут двигаться грузы; 3) силы натяжения нити. Трением, массой нити и массой подвижного блока можно пренебречь.

Решение. На тела системы действуют консервативные силы тяжести и упругости, поэтому выполняется закон сохранения механической энергии:

$$\frac{J\omega^2}{2}+\frac{m_1 v_1^2}{2}+\frac{m_2 v_2^2}{2}=m_2 gh-m_1 g\frac{h}{2}, \tag{1}$$

где ω – угловая скорость неподвижного блока;
J – момент инерции неподвижного блока.

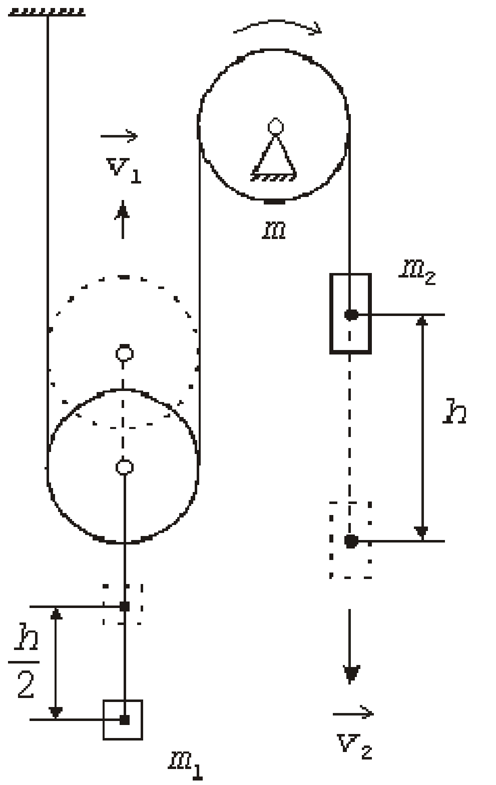


Рис. 2.4

Очевидно, что

$$v_1=\frac{v_2}{2}. \tag{2}$$

Скорость поступательного движения правого груза совпадает с линейной скоростью точек, лежащих на ободе неподвижного блока, поэтому

$$v_2=\omega R, \tag{3}$$

где R – радиус неподвижного блока.

Момент инерции блока в виде сплошного диска определяется по формуле

$$J = \frac{mR^2}{2}. \tag{4}$$

Перепишем уравнение (1) с учетом формул (2) – (4):

$$\frac{mR^2 \mathrm{v}_2^2}{4R^2} + \frac{m_1 \mathrm{v}_1^2}{8} + \frac{m_2 \mathrm{v}_2^2}{2} = \left(m_2 - \frac{m_1}{2} \right) gh.$$

После преобразований получим

$$\mathrm{v}_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2m_2 - m_1)gh}{2m + m_1 + 4m_2}}. \tag{5}$$

Подставляя исходные данные в формулу (5), найдем скорость v_2:

$$v_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2 \cdot 10 - 5) \cdot 9{,}8 \cdot 3{,}5}{2 \cdot 6 + 5 + 4 \cdot 10}} = 6 \text{ м/с},$$

а затем по формуле (2) вычислим v_1:

$$\mathrm{v}_1 = \frac{6}{2} = 3 \text{ м/с}.$$

Ускорение второго груза найдем по формуле

$$a_2 = \frac{\mathrm{v}_2^2}{2h} = \frac{6^2}{2 \cdot 3{,}5} = 5{,}14 \text{ м/с}^2. \tag{6}$$

Очевидно, что ускорение первого груза будет вдвое меньше:

$$a_1 = \frac{5{,}14}{2} = 2{,}57 \text{ м/с}^2. \tag{7}$$

Рассмотрим силы, действующие на тела системы (рис. 2.5). На первый груз действуют силы натяжения нити $\vec{T}_1$ и $\vec{T}'_1$, а также сила тяжести $m_1\vec{g}$. На второй груз действуют сила тяжести $m_2\vec{g}$ и сила натяжения нити $\vec{T}_2$.

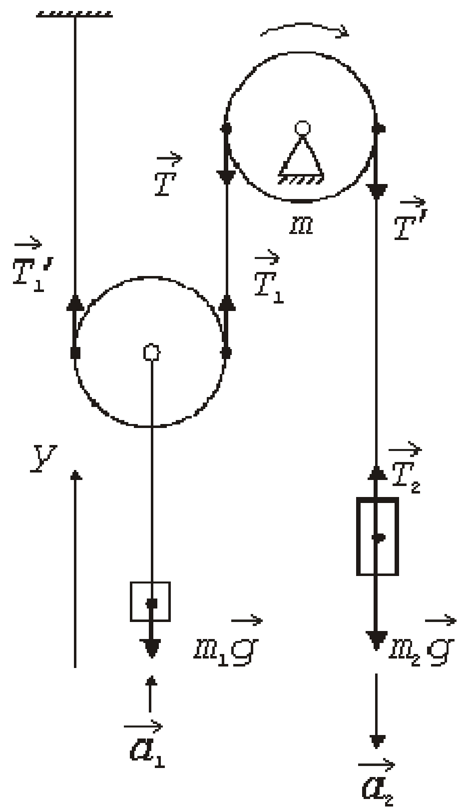


Рис. 2.5

Направим ось y вертикально вверх и напишем для каждого груза уравнение движения (второй закон Ньютона) в проекциях на эту ось.

Для первого груза:

$$T_1 + T_1^{'} - m_1 g = m_1 a_1, \tag{8}$$

для второго груза:

$$-T_2 + m_2 g = m_2 a_2. \tag{9}$$

Момент сил $\vec{T}_1$ и $\vec{T}'_1$ относительно оси подвижного блока равен нулю, так как блок невесомый. Из этого следует, что $T_1 = T'_1$ и уравнение (8) может быть переписано в виде

$$T_1 = \frac{m_1}{2}(g + a_1).$$

Найдем T_1 с учетом равенства (7):

$$T_1 = \frac{5}{2}(9{,}8 + 2{,}57) = 30{,}9\ \text{Н}. \qquad (10)$$

Выразим T_2 из уравнения (9) и найдем с учетом равенства (6):

$$T_2 = (g - a_2) = 10 \cdot (9{,}8 - 5{,}14) = 46{,}6\ \text{Н}. \qquad (11)$$

Под действием сил $\vec{T}$ и $\vec{T}'$ неподвижный блок будет вращаться по часовой стрелке с угловым ускорением ε. Согласно основному закону динамики вращательного движения

$$T'R - TR = J\varepsilon. \qquad (12)$$

Угловое ускорение ε связано с ускорением второго груза a_2 и радиусом неподвижного блока R соотношением

$$\varepsilon = \frac{a_2}{R}. \qquad (13)$$

Подстановка формул (4) и (13) в выражение (12) приводит после сокращения на R к уравнению

$$T' - T = \frac{ma_2}{2}.$$

Это уравнение нужно лишь для проверки правильности ранее найденных значений T_1 и T_2, так как согласно третьему закону Ньютона с учетом невесомости нити имеем

$$T' = T_2 = 46{,}6\ \text{Н},$$

$$T = T_1 = 30{,}9\ \text{Н}.$$

Пример 7. Горизонтальная платформа в виде сплошного диска массой m_1 = 200 кг вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр, с частотой n = 8,5 об/мин. Человек массой m_2 стоит при этом в центре платформы. Когда человек перешел на край платформы, она стала вращаться с частотой n' = 5 об/мин. Найти массу человека, считая его материальной точкой.

Решение. Человек и платформа представляют собой замкнутую систему тел, вращающихся вокруг одной и той же неподвижной оси. Для такой системы справедлив закон сохранения момента импульса

$$(J_1 + J_2)\omega = (J_1' + J_2')\omega', \tag{1}$$

где J_1 и J_1' – моменты инерции платформы до и после перехода человека соответственно;

J_2 и J_2' – моменты инерции человека до и после перехода соответственно;

ω – угловая скорость платформы и человека до перехода;

ω' – угловая скорость платформы и человека после перехода.

Угловые скорости связаны с частотой вращения соотношениями

$$\omega = 2\pi n, \tag{2}$$

$$\omega' = 2\pi n'. \tag{3}$$

Момент инерции платформы (сплошного диска) определяется по формуле

$$J_1 = \frac{m_1 R^2}{2}, \tag{4}$$

где R – радиус платформы.

Очевидно, что $J_1 = J_1'$. Момент инерции человека (материальной точки), находящегося на краю платформы, определяется по формуле

$$J_2' = m_2 R^2. \tag{5}$$

Момент инерции человека, стоящего в центре платформы, равен $J_2 = 0$. С учетом этого, а также принимая во внимание формулы (2) – (5), перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{m_1 R^2}{2} \cdot 2\pi n = \left(\frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2 \right) \cdot 2\pi n'.$$

После сокращений на общие множители и перегруппировки членов получим

$$m_2 = \frac{m_1 (n - n')}{2n'}. \tag{6}$$

Подстановка исходных данных в формулу (6) дает

$$m_2 = \frac{200 \cdot (8{,}5 - 5)}{2 \cdot 5} = 70 \text{ кг}.$$

Пример 8. Однородный стержень длиной L = 1 м совершает колебания в вертикальной плоскости относительно оси, проходящей через точку, расположенную на расстоянии d = 0,25 м от его верхнего конца. Определить период колебаний стержня.

Решение. Колеблющийся однородный стержень является физическим маятником (рис. 2.6), период колебания T которого рассчитывается по формуле

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

где J – момент инерции маятника относительно оси вращения;
M – масса маятника;
g – ускорение свободного падения;
a – расстояние от оси вращения до центра масс колеблющегося тела (маятника).

Момент инерции маятника определяется по теореме Штейнера:

$$J = J_c + mb^2,$$

где J_c – момент инерции стержня относительно оси, параллельной оси вращения и проходящей через центр масс стержня;
b – расстояние между данными осями.

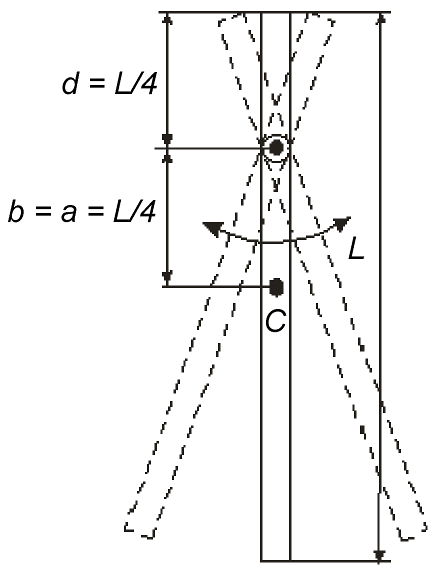


Рис. 2.6

Так как расстояние b от оси вращения до центра стержня, являющегося его центром масс, равно 0,25L, то момент инерции маятника относительно оси вращения

$$J = \frac{mL^2}{12} + m\left(\frac{L}{4}\right)^2 = \frac{7mL^2}{48},$$

а период колебания

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{7mL^2}{48}\right) / \left(mg\frac{L}{4}\right)} = 2\pi\sqrt{\frac{7L}{12g}}.$$

С учетом длины стержня период его колебания

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{7\cdot 1}{12\cdot 9{,}81}} = 1{,}53\ \text{с}.$$

2.2. Молекулярная физика

Пример 1. Определить число молекул в 1 мм^3 воды и массу одной молекулы воды.

Решение. Число N молекул, содержащихся в массе m вещества, имеющего молярную массу μ, равно числу Авогадро N_A, умноженному на число молей $\nu = m/\mu$:

$$N = \frac{m}{\mu} N_A\,.$$

Масса вещества определяется как $m = \rho V$, следовательно,

$$N = \frac{\rho V}{\mu} N_A,$$

где ρ – плотность воды.

После подстановки числовых значений в последнюю формулу имеем

$$N = \frac{10^3 \cdot 10^{-9}}{18\cdot 10^{-3}} \cdot 6{,}02\cdot 10^{23} = 3{,}34\cdot 10^{19}\ \text{молекул}.$$

Массу m_0 одной молекулы воды можно определить, разделив массу одного моля на число Авогадро:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6{,}02 \cdot 10^{23}} = 2{,}99 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Пример 2. Найти среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle$ вращательного движения молекулы водорода при температуре $t° = 27$ °С и кинетическую энергию $E_{\text{вр}}$ вращательного движения всех молекул водорода массой $m = 2$ г.

Решение. В соответствии с теоремой о равномерном распределении энергии по степеням свободы на каждую степень свободы молекулы приходится энергия $\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{kT}{2}$. Вращательному движению двухатомной молекулы соответствуют две степени свободы. Следовательно, средняя энергия вращательного движения молекулы водорода равна

$$\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle = 2\frac{kT}{2} = kT. \tag{1}$$

Произведем вычисления:

$$\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 4{,}14 \cdot 10^{-23} \text{ Дж.}$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа определяется по формуле

$$E_{\text{вр}} = \langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle N, \tag{2}$$

где N – число всех молекул газа, равное $N = N_A \nu$ (N_A – число Авогадро, ν – количество вещества).

Учтем, что количество вещества $\nu = m/\mu$, где m – масса газа; μ – молярная масса газа. Тогда выражение $N = N_A \nu$ примет вид

$$N = N_A \frac{m}{\mu}.$$

Подставим это выражение в формулу (2):

$$E_{вр} = \langle \varepsilon_{вр} \rangle N_А \frac{m}{\mu}.$$

Произведем вычисления, учитывая, что молярная масса водорода $\mu = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль:

$$E_{вр} = 4{,}14 \cdot 10^{-21} \cdot 6{,}02 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} = 24{,}9 \cdot 10^{2}\ \text{Дж}.$$

Пример 3. Газообразный кислород массой m = 10 г находится под давлением $P_1 = 3 \cdot 10^5$ Па при температуре t_1 = 10 °С. После расширения вследствие нагревания при постоянном давлении газ занял объем V = 10 л. Найти объем и плотность газа до расширения, температуру и плотность газа после расширения.

Решение. Для нахождения объема кислорода до расширения воспользуемся уравнением состояния газа (уравнением Менделеева – Клапейрона) и учтем, что молярная масса кислорода $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль:

$$P_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1.$$

Тогда

$$V_1 = \frac{mRT_1}{\mu P_1} = \frac{0{,}01 \cdot 8{,}31 \cdot 283}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^5} = 2{,}4 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3.$$

Плотность кислорода до расширения равна

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} = \frac{0{,}01}{2{,}4 \cdot 10^{-3}} = 4{,}4\ \text{кг/м}^3.$$

Температуру кислорода после расширения можно найти, применив закон Гей-Люссака:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Из этого выражения следует:

$$T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1} = \frac{10^{-2} \cdot 283}{2,4 \cdot 10^{-3}} = 1180\ \text{К}.$$

Плотность кислорода после расширения

$$\rho = \frac{m}{V_2} = \frac{0,01}{10^{-2}} = 1\ \text{кг/м}^3.$$

2.3. Термодинамика

Пример 1. Кислород массой m = 2 кг занимает объем V_1 = 1 м^3 и находится под давлением P_1 = 0,2 МПа. После нагревания при постоянном давлении он занял объем V_2 = 3 м^3, а затем его давление в ходе изохорического процесса стало равным P_3 = 0,5 МПа. Найти изменение внутренней энергии газа ΔU, совершенную им работу A и количество теплоты Q, переданной газу. Построить график процесса.

Решение. График процесса приведен на рис. 2.7.

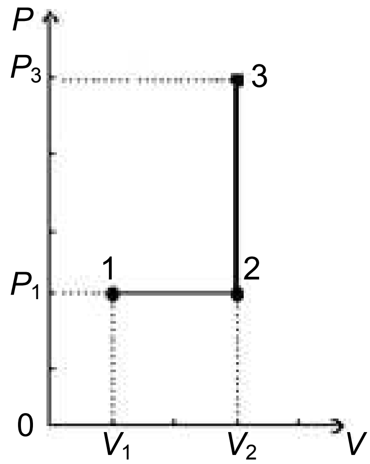


Рис. 2.7

Работа расширения газа A_{12} при изобарическом переходе из состояния 1 в состояние 2 вычисляется по формуле

$$A_{12} = P_1 \Delta V = P_1(V_2 - V_1).$$

Работа газа A_{23} при изохорическом переходе из состояния 2 в состояние 3 равна нулю.

Таким образом, полная работа A, совершаемая газом при переходе из состояния 1 в состояние 3,

$$A = A_{12} = P_1(V_2 - V_1).$$

Изменение внутренней энергии газа при переходе $1 \to 2 \to 3$ определяется соотношением

$$\Delta U = \frac{im}{2\mu} R\Delta T = \frac{im}{2\mu} R(T_3 - T_1), \tag{1}$$

где i – число степеней свободы газа;

T_1 и T_3 – температура газа соответственно в начальном и конечном состояниях.

Уравнение Менделеева – Клапейрона для состояний 1 и 3 записывается в виде

$$P_1V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1, \tag{2}$$

$$P_3V_2 = \frac{m}{\mu} RT_3. \tag{3}$$

После совместного решения уравнений (1) – (3) получим выражение изменения внутренней энергии газа:

$$\Delta U = \frac{i}{2}(P_3V_2 - P_1V_1).$$

Согласно первому началу термодинамики, теплота Q, переданная газу, расходуется на совершение газом работы и на изменение его внутренней энергии:

$$Q = A + \Delta U.$$

Произведем вычисления, учитывая, что для двухатомных молекул кислорода $\mu = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, а число степеней свободы $i = 5$:

$$A = A_{12} = 0{,}2 \cdot 10^6 \cdot (3 - 1) = 0{,}4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 0{,}4 \text{ МДж};$$

$$\Delta U = \frac{5}{2} \cdot (0{,}5 \cdot 10^6 \cdot 3 - 0{,}2 \cdot 10^6 \cdot 1) = 3{,}25 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3{,}25 \text{ МДж};$$

$$Q = (3{,}25 + 0{,}4) = 3{,}65 \text{ МДж}.$$

Пример 2. Тепловой двигатель, работающий по циклу Карно, получает тепло от нагревателя при температуре 227 °С в количестве Q_1 = 5 кДж за цикл и передает часть его окружающему воздуху. При этом двигатель совершает за цикл работу, равную 2 кДж. С каким КПД работает двигатель? Какова температура окружающего воздуха и как изменяется его энтропия за счет работы двигателя в течение одного цикла?

Решение. Коэффициент полезного действия двигателя, работающего по циклу Карно,

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_2 – тепло, передаваемое двигателем холодильнику (окружающей среде);
A – работа;
T_2 – температура холодильника (окружающей среды – воздуха);
T_1 – температура нагревателя.

Отсюда КПД

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{2}{5} = 0,4 = 40\ \%.$$

Температура окружающей среды (T_1 = 227 + 273 = 500 К)

$$T_2 = T_1(1 - \eta) = 500 \cdot (1 - 0,4) = 300\ \text{К} = 27\ °\text{С}.$$

Изменение энтропии окружающей среды определим по формуле Клаузиуса:

$$\Delta S = \frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1 - A}{T_2} = \frac{5 - 2}{300} = 0,01\ \text{кДж/К=10Дж/К}.$$

Заметим, что энтропия окружающей среды возрастает, так как она получает тепло от теплового двигателя.

2.4. Электростатика

Пример 1. Два точечных электрических заряда q_1 = 1 нКл и q_2 = – 2 нКл находятся в воздухе на расстоянии d = 10 см друг от друга. Определить напряженность $\vec{E}$ и потенциал φ поля, создаваемого этими зарядами в точке A, удаленной от заряда q_1 на расстояние r_1 = 9 см и от заряда q_2 – на расстояние r_2 = 7 см.

Решение. Согласно принципу суперпозиции электрических полей каждый заряд создает поле независимо от присутствия в пространстве других зарядов. Поэтому напряженность электрического поля в искомой точке может быть найдена как геометрическая сумма напряженностей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$. Напряженности электрического поля, создаваемого в воздухе (ε = 1) зарядами q_1 и q_2, равны

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2},\ E_2 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}. \qquad (1)$$

Вектор $\vec{E}_1$ направлен по силовой линии от заряда q_1, так как этот заряд положителен; вектор $\vec{E}_2$ также направлен по силовой линии, но к заряду q_2, поскольку этот заряд отрицателен (рис. 2.8).

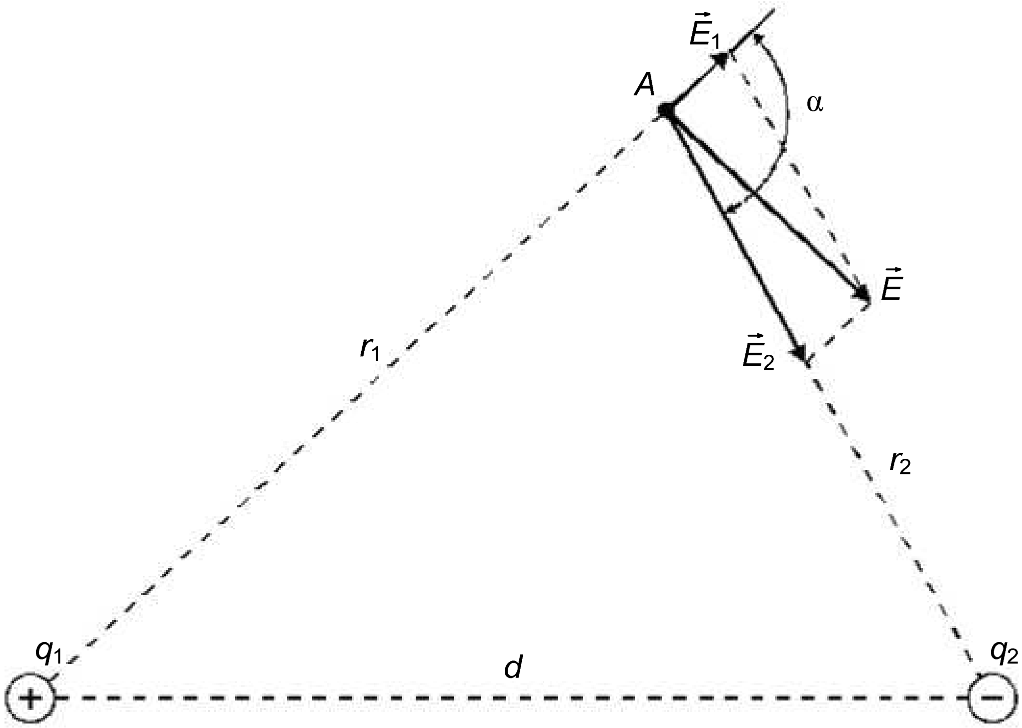


Рис. 2.8

Модуль вектора $\vec{E}$ найдем по теореме косинусов:

$$E = \sqrt{E_1^2 + 2E_1E_2\cos\alpha + E_2^2}, \tag{2}$$

где α – угол между векторами $\vec{E}_1$ и $\vec{E}_2$, который может быть найден из треугольника со сторонами r_1, r_2 и d:

$$\cos\alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1r_2}.$$

Во избежание громоздких записей значение cosα удобнее вычислить отдельно:

$$\cos\alpha = \frac{0{,}1^2 - 0{,}09^2 - 0{,}07^2}{2\cdot 0{,}09\cdot 0{,}07} = -0{,}238.$$

Подставляя выражения E_1 и E_2 из уравнений (1) в формулу (2) и вынося общий множитель за знак корня, получаем

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sqrt{\frac{q_1^2}{r_1^4} - 2\cdot 0{,}238\cdot\frac{q_1q_2}{r_1^2r_2^2} + \frac{q_2^2}{r_2^4}}.$$

В соответствии с принципом суперпозиции потенциал поля, создаваемого двумя зарядами q_1 и q_2, равен алгебраической сумме потенциалов, т. е.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2. \tag{3}$$

Потенциал электрического поля, создаваемого в воздухе ($\varepsilon = 1$) точечным зарядом q на расстоянии r от него, вычисляется по формуле

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}. \tag{4}$$

Согласно формулам (3) и (4),

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2}\right).$$

Учтем, что

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \, \frac{\text{М}}{\text{Ф}},$$

и произведем вычисления:

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{(10^{-9})^2}{0,09^4} - 2 \cdot 0,238 \cdot \frac{10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{0,09^2 \cdot 0,07^2} + \frac{(2 \cdot 10^{-9})^2}{0,07^4}} = 3,58 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 3,58 \text{ кВ/м}.$$

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \cdot \left(\frac{10^{-9}}{0,09} - \frac{2 \cdot 10^{-9}}{0,07} \right) = -157 \text{ В}.$$

При вычислении E знак заряда q_2 опущен, так как он определяет направление вектора напряженности, которое было учтено при графическом изображении вектора $\vec{E}$ (см. рис. 2.8).

Пример 2. Конденсатор емкостью C_1 = 3 мкФ был заряжен до разности потенциалов U_1 = 40 В. После отключения от источника тока его соединили параллельно с другим незаряженным конденсатором емкостью C_2 = 5 мкФ. Какая энергия W израсходуется на образование искры в момент присоединения второго конденсатора?

Решение. Энергия W, израсходованная на образование искры, равна

$$W = W_1 - W_2, \tag{1}$$

где W_1 – энергия, которой обладал первый конденсатор до присоединения к нему второго конденсатора;

W_2 – энергия, которую имеет батарея, составленная из двух конденсаторов.

Энергия заряженного конденсатора определяется по формуле

$$W = \frac{CU^2}{2}, \tag{2}$$

где C – емкость конденсатора;

U – разность потенциалов между обкладками конденсатора.

Выразив в уравнении (1) энергии W_1 и W_2 по формуле (2) и приняв во внимание, что общая емкость параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов, получим

$$W = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2) U_2^2}{2}, \tag{3}$$

где U_2 – разность потенциалов на зажимах батареи конденсаторов.

Учитывая, что общий заряд q после подключения второго конденсатора остался прежним, выразим разность потенциалов U_2 следующим образом:

$$U_2 = \frac{q}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 U_1}{C_1 + C_2}. \tag{4}$$

Подставив выражение (4) в формулу (3), найдем

$$W = \frac{C_1 U_1^2}{2} - \frac{(C_1 + C_2) C_1^2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)^2} = \frac{C_1 C_2 U_1^2}{2(C_1 + C_2)}.$$

Произведем вычисления:

$$W = \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 40^2}{2 \cdot (3 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-6})} = 1{,}5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

2.5. Постоянный ток

Пример 1. Потенциометр с сопротивлением $R_п$ = 100 Ом подключен к батарее, ЭДС которой ε = 150 В, а внутреннее сопротивление r = 50 Ом, как показано на рис. 2.9. Определить: 1) показание вольтметра, соединенного с одной из клемм потенциометра B и подвижным контактом A, установленным посередине потенциометра, если сопротивление вольтметра равно R_V = 500 Ом; 2) разность потенциалов между теми же точками потенциометра при отключении вольтметра.

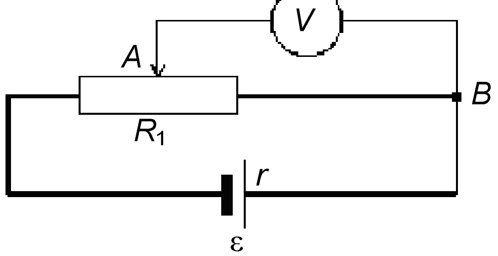


Рис. 2.9

Решение. Показание вольтметра, подключенного к точкам A и B (см. рис. 2.9), или разность потенциалов U_1 между точками A и B, определяем по формуле

$$U_1 = I_1 R_1, \tag{1}$$

где R_1 – сопротивление параллельно соединенных вольтметра и половины потенциометра;
I_1 – суммарная сила тока в ветвях этого соединения (она равна силе тока в неразветвленной части цепи).

Силу тока I_1 найдем по закону Ома для полной цепи:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R + r}, \tag{2}$$

где R – сопротивление внешней цепи. Оно является суммой двух сопротивлений:

$$R = \frac{R_\text{п}}{2} + R_1. \tag{3}$$

Перепишем формулу (2) с учетом выражения (3):

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{\frac{R_\text{п}}{2} + R_1 + r}. \tag{4}$$

Сопротивление R_1 найдем по формуле параллельного соединения проводников

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_v} + \frac{2}{R_\text{п}},$$

откуда

$$R_1 = \frac{R_\text{п} R_v}{R_\text{п} + 2R_v}. \tag{5}$$

Произведем промежуточные вычисления по формулам (5), (4) и (1):

$$R_1 = \frac{100 \cdot 500}{100 + 2 \cdot 500} = 45{,}5 \text{ Ом},$$

$$I_1 = \frac{150}{\frac{100}{2} + 45{,}5 + 50} = 1{,}03 \text{ А},$$

$$U_1 = 1{,}03 \cdot 45{,}5 = 46{,}9 \text{ В}.$$

Разность потенциалов между точками A и B при отключенном вольтметре равна произведению силы тока I_2 на половину сопротивления потенциометра:

$$U_2 = I_2 \frac{R_п}{2}. \qquad (6)$$

Силу тока в цепи при отключенном вольтметре определяем по формуле

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_п + r}. \qquad (7)$$

Подставив выражение (7) в формулу (6), найдем разность потенциалов U_2:

$$U_2 = \frac{\varepsilon R_п}{2(R_п + r)}.$$

После вычислений получим

$$U_2 = \frac{150 \cdot 100}{2 \cdot (100 + 50)} = 50 \text{ В}.$$

Пример 2. Найти мощность, выделяемую электрическим током в нагрузке R = 25 Ом, если последняя подключена к источнику постоянного тока с внутренним сопротивлением r = 0,1 Ом и током короткого замыкания $I_{к.з}$ = 150 А.

Решение. Записываем выражение для определения мощности, выделяемой на нагрузке R:

$$P = I^2 R. \tag{1}$$

Согласно закону Ома для замкнутой цепи,

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \tag{2}$$

Запишем соотношение, связывающее ток короткого замыкания $I_{\text{к.з}}$, ЭДС источника ε и его внутреннее сопротивление r:

$$I_{\text{к.з}} = \frac{\varepsilon}{r}. \tag{3}$$

Отсюда

$$\varepsilon = I_{\text{к.з}}\, r. \tag{4}$$

Подстановка соотношения (4) в формулу (2) дает

$$I = \frac{I_{\text{к.з}} r}{(R + r)}. \tag{5}$$

Переписав формулу (1) с учетом выражения (5), получим окончательную формулу

$$P = \frac{I_{\text{к.з}}^2 r^2}{(R + r)^2} R, \tag{6}$$

а затем, подставив числовые значения, найдем

$$P = \frac{150^2 \cdot 0{,}1^2}{(25 + 0{,}1)^2} \cdot 25 = 9 \text{ Вт}.$$

2.6. Электромагнетизм

Пример 1. Два параллельных бесконечно длинных провода D и C, по которым текут в одном направлении электрические токи силой I = 60 А, расположены на расстоянии d = 10 см друг от друга. Определить индукцию $\vec{B}$ магнитного поля, создаваемого проводниками с током в точке A (рис. 2.10), отстоящей от оси одного проводника на r_1 = 5 см, а от другого – на r_2 = 12 см.

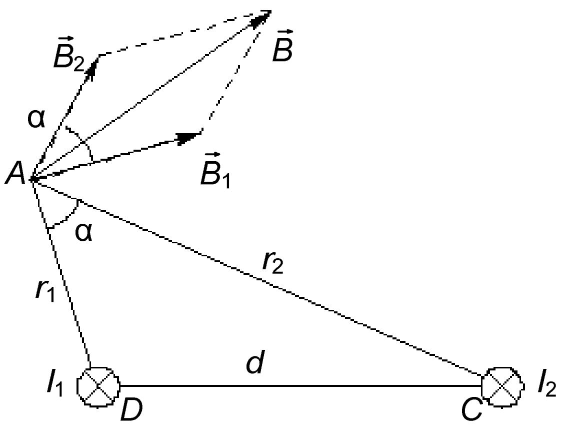


Рис. 2.10

Решение. Для нахождения магнитной индукции $\vec{B}$ в точке A воспользуемся принципом суперпозиции магнитных полей. Для этого выделим направление магнитных индукций $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$ полей, создаваемых каждым проводником в отдельности, и сложим их геометрически: $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$ (см. рис. 2.10).

Модуль вектора $\vec{B}$ может быть найден по теореме косинусов как

$$B = \sqrt{B_1^2 + 2B_1B_2\cos\alpha + B_2^2}, \qquad (1)$$

где α – угол между векторами $\vec{B}_1$ и $\vec{B}_2$.

Магнитные индукции B_1 и B_2 выражаются, соответственно, через силу тока I и расстояния r_1 и r_2 от проводов до точки A:

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_1}; \; B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r_2}.$$

Подставив выражения B_1 и B_2 в формулу (1) и вынеся выражение $\frac{\mu_0 I}{2\pi}$ за знак корня, получим

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{2\cos\alpha}{r_1 r_2} + \frac{1}{r_2^2}}. \qquad (2)$$

Вычислим cosα по теореме косинусов, учитывая, что $\angle\alpha = \angle DAC$ (как углы с соответственно перпендикулярными сторонами):

$$d = r_1^2 + r_2^2 - 2r_1 r_2 \cos\alpha.$$

Отсюда

$$\cos\alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2} = \frac{25+144-100}{2\cdot 5\cdot 12} = \frac{23}{40}.$$

Подставим в формулу (2) числовые значения физических величин и произведем вычисления:

$$B = \frac{4\pi\cdot 10^{-7}\cdot 60}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{0{,}5^2} + \frac{1}{0{,}5\cdot 0{,}12}\cdot\frac{23}{40} + \frac{1}{0{,}12^2}} = 309\cdot 10^{-6}\,\text{Тл} = 309\,\text{мкТл}.$$

Пример 2. Плоский квадратный контур со стороной a = 10 см, по которому течет ток силой I = 100 А, свободно установился в однородном магнитном поле (B = 1 Тл). Определить работу A, совершаемую внешними силами при повороте контура относительно оси, проходящей через середину его противоположных сторон, на угол φ = 90°.

Решение. Работа внешних сил по перемещению контура с током в магнитном поле равна произведению силы тока в контуре на изменение магнитного потока через контур (рис. 2.11):

$$A = -I\Delta\Phi = I\,(\Phi_1 - \Phi_2),$$

где Φ_1 – магнитный поток, пронизывающий контур до перемещения;
Φ_2 – магнитный поток, пронизывающий контур после перемещения.

Если φ = 90°, то $\Phi_1 = B\cdot S$, а $\Phi_2 = 0$. Следовательно,

$$A = I\cdot B\cdot S = I\cdot B\cdot a^2 = 100\cdot 1\cdot (0{,}1)^2 = 1\ \text{Дж}.$$

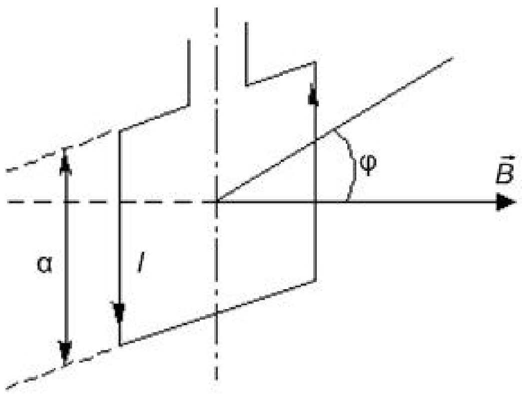


Рис. 2.11

Примечание. Задача может быть решена другим способом, с использованием определения работы при вращательном движении:

$$A = M\Delta\varphi.$$

Предлагаем эти вычисления проделать самостоятельно и убедиться, что описанный выше способ решения задачи с использованием понятия магнитного потока более рационален.

Пример 3. В колебательном контуре, состоящем из индуктивности и емкости, максимальный ток в катушке I_m = 1 А, а максимальное напряжение на конденсаторе U_m = 1 кВ. С момента, когда напряжение равно нулю, до момента, когда энергия в катушке становится равной энергии в конденсаторе, проходит t = 1,56 мкс. Считая омическое сопротивление пренебрежимо малым, вычислить период колебаний контура и его энергию.

Решение. По условию задачи энергия магнитного поля в заданный момент времени равна энергии электрического поля в конденсаторе. Сумма этих энергий определяет полную энергию поля контура

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{CU^2}{2}; \ \frac{LI^2}{2} = \frac{CU^2}{2}, \qquad (1)$$

где L – индуктивность контура;

I – ток в контуре;

C – емкость контура;

U – напряжение на пластинах.

Полная энергия контура, выраженная через максимальное напряжение,

$$W = \frac{CU_m^2}{2}. \qquad (2)$$

Из формул (1) и (2)

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \qquad (3)$$

Используя уравнение гармонического колебания, в котором отсчет времени ведется от момента, когда напряжение равно нулю, имеем

$$U = U_{\mathrm{m}} \sin \frac{2\pi}{T} t,$$

где U_{m} – амплитуда напряжения (максимальное напряжение);
T – период колебаний;
t – время колебаний.

С учетом выражения (3) получаем

$$\frac{U_{\mathrm{m}}}{\sqrt{2}} = U_{\mathrm{m}} \sin \frac{2\pi}{T} t; \ \frac{\sqrt{2}}{2} = \sin \frac{2\pi}{T} t.$$

Подставив числовые значения, находим T:

$$\frac{2\pi t}{T} = \frac{\pi}{4},$$

откуда

$$T = 8t.$$

Таким образом, период колебаний контура равен

$$T = 8 \cdot 1{,}57 \cdot 10^{-6} = 12{,}6 \cdot 10^{-6}\ \text{с}.$$

Вычислим теперь полную (максимальную) энергию контура. Она равна максимальной электрической энергии конденсатора (энергия магнитного поля при этом равна нулю) или максимальной энергии магнитного поля (при нулевой энергии электрического поля):

$$W = \frac{CU_{\mathrm{m}}^2}{2}; \ W = \frac{LI_{\mathrm{m}}^2}{2}. \tag{4}$$

Используя формулу Томсона $T = 2\pi\sqrt{LC}$, получаем

$$\sqrt{LC} = \frac{T}{2\pi}. \tag{5}$$

Произведение правых частей равенств (4) равно квадрату полной энергии контура W^2. Извлечение корня с учетом формулы (5) дает

$$W = \frac{I_{\text{m}} U_{\text{m}} \sqrt{LC}}{2} = \frac{I_{\text{m}} U_{\text{m}} T}{4\pi}.$$

Вычисляем полную энергию контура:

$$W = \frac{1 \cdot 10^{3} \cdot 12{,}6 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 3{,}14} = 0{,}001\,\text{Дж}.$$

Пример 4. По двум параллельным проводникам, расположенным на расстоянии d = 20 см друг от друга, текут токи I_1 и I_2 одного направления величиной в 100 А. Длина проводников l = 3 м. Вычислить силу взаимодействия между проводниками, если они находятся в вакууме.

Решение. На проводники с током в магнитном поле действует сила Ампера, которая может быть найдена по формуле

$$F = \frac{\mu\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi d},$$

где μ – магнитная проницаемость среды, равная для вакуума μ = 1;
μ_0 – магнитная постоянная.

Подставив в формулу известные нам значения, получаем

$$F = \frac{1 \cdot 4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 3}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}2} = 0{,}03\,\text{Н}.$$

Пример 5. Внутри длинного соленоида, имеющего однослойную обмотку из провода диаметром d = 1 мм, находится стальной сердечник. Определить магнитную проницаемость сердечника при силе тока I = 2 А.

Решение. Индукция намагничивающего поля, т. е. поля внутри соленоида без сердечника, вычисляется по формуле

$$B_0 = \mu_0 I \frac{k}{d}, \tag{1}$$

где μ_0 – магнитная постоянная;
k – число слоев обмотки.

Или же

$$B_0 = \mu_0 H, \tag{2}$$

где H – напряженность магнитного поля.

Из формул (1) и (2) следует, что

$$H = I\frac{k}{d}. \tag{3}$$

Если внутрь соленоида поместить сердечник с магнитной проницаемостью μ, то индукция станет равной

$$B = \mu B_0. \tag{4}$$

Отсюда с учетом соотношения (2) следует, что

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H}. \tag{5}$$

Подставляя в формулу (3) исходные данные, находим, что H = 2 кА/м, а затем по графику (см. приложение, рисунок) для стали находим B = 1,25 Тл. Тогда

$$\mu = \frac{1{,}25}{1{,}26\cdot10^{-6}\cdot2\cdot10^{3}} = 495.$$

Пример 6. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов, равную U = 400 В, попал в однородное магнитное поле напряженностью H = 1 кА/м. Определить радиус кривизны траектории и частоту обращения электрона в магнитном поле, если вектор скорости перпендикулярен линиям поля.

Решение. На движущийся в магнитном поле электрон действует сила Лоренца $\vec{F}_{\text{л}}$, которая сообщает электрону нормальное ускорение. По второму закону Ньютона $\vec{F}_{\text{л}} = m\vec{a}_n$, где $\vec{a}_n$ – нормальное ускорение; m – масса электрона. Тогда в проекции на направление ускорения с учетом выражений для силы Лоренца и нормального ускорения имеем

$$F_л = e\text{v}B\sin\alpha = \frac{m\text{v}^2}{R},$$

где e – заряд электрона;

v – скорость электрона;

B – магнитная индукция;

R – радиус кривизны траектории;

α – угол между векторами $\vec{B}$ и $\vec{\text{v}}$ (в нашем случае он равен 90°, следовательно, $\sin\alpha = 1$).

Отсюда найдем R:

$$R = \frac{m\text{v}}{eB}. \tag{1}$$

Если обозначить кинетическую энергию электрона как T, то входящий в равенство (1) импульс электрона $m\text{v}$ может быть выражен как $m\text{v} = \sqrt{2mT}$. Используя равенство $T = eU$ для определения кинетической энергии электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U, получаем

$$m\text{v} = \sqrt{2meU}. \tag{2}$$

Магнитная индукция может быть выражена через напряженность H магнитного поля в вакууме как $B = \mu_0 H$, где μ_0 – магнитная постоянная. Подставив полученные выражения в формулу (1), находим

$$R = \frac{\sqrt{2meU}}{\mu_0 eH}. \tag{3}$$

Производим вычисления:

$$R = \frac{\sqrt{2\cdot 9{,}11\cdot 10^{-31}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 400}}{4\cdot 3{,}14\cdot 10^{-7}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10^{3}} = 5{,}37\cdot 10^{-2}\ \text{м}.$$

Частота обращения электрона в магнитном поле связана с его скоростью и радиусом соотношением $n = v / (2\pi R)$. Подставив в это соотношение выражение (3), с учетом формулы (2) получаем

$$n = \frac{\mu_0 eH}{2\pi m}.$$

Произведем вычисления:

$$n = \frac{4 \cdot 3{,}14 \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{3}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}11 \cdot 10^{-31}} = 3{,}52 \cdot 10^{7}\ \text{с}^{-1}.$$

Пример 7. В однородном магнитном поле с индукцией B = 0,1 Тл равномерно с частотой n = 10 об/с вращается рамка, содержащая N = 1000 витков, плотно прилегающих друг к другу. Площадь рамки S = 150 см^2. Определить мгновенное значение ЭДС индукции в момент времени, когда угол поворота рамки φ = 30°.

Решение. Мгновенное значение ЭДС индукции определяется уравнением Фарадея – Максвелла

$$\varepsilon_i = -\frac{d\psi}{dt}, \quad (1)$$

где ψ – потокосцепление, связанное с магнитным потоком Φ и числом витков N соотношением

$$\psi = N\Phi. \quad (2)$$

Подставляя выражение (2) в формулу (1), получаем

$$\varepsilon_i = -N\frac{d\Phi}{dt}.$$

При вращении рамки магнитный поток, пронизывающий ее в момент времени t, определяется соотношением

$$\Phi = BS\cos\omega t, \quad (3)$$

где ω – циклическая частота.

Подставив в формулу (2) выражение (3) и продифференцировав по времени, найдем мгновенное значение ЭДС индукции:

$$\varepsilon_i = NBS\omega\sin\omega t.$$

Учитывая, что $\omega = 2\pi n$, а $\omega t = \varphi$, получаем

$$\varepsilon_i = 2\pi nNBS\omega\sin\varphi.$$

Произведем вычисления:

$$\varepsilon_i = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 10 \cdot 10^3 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}5 = 47{,}1 \text{ В}.$$

Пример 8. Имеется катушка, индуктивность которой L = 0,2 Гн, а сопротивление R = 1,64 Ом. Найти, во сколько раз уменьшится сила тока в катушке через t = 0,05 с после того, как катушка будет отключена от источника тока и замкнута накоротко.

Решение. При выключении тока в цепи (рис. 2.12) и «закорачивании» катушки ток в ней изменяется по закону

$$I = I_0 \exp\left(-\frac{R}{L}t\right),$$

где I_0 – значение тока до «закорачивания» катушки.

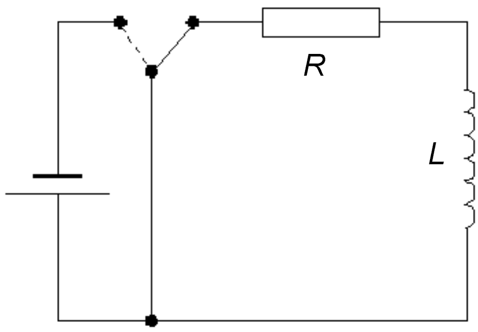


Рис. 2.12

Через промежуток времени t_1 сила тока в катушке будет равна $I_1 = I_0\exp(-Rt_1 / L)$. Тогда отношение токов I_0 и I будет следующим:

$$\frac{I_0}{I} = \exp\left(\frac{Rt_1}{L}\right) = k.$$

Произведем вычисления:

$$k = \exp\left(\frac{1{,}64 \cdot 0{,}05}{0{,}2}\right) = e^{0{,}41} = 1{,}5 \text{ раза}.$$

2.7. Волновая и квантовая оптика

Пример 1. В опыте Юнга отверстия освещались монохроматическим светом с длиной волны $\lambda = 600$ нм. Расстояние между отверстиями $d = 1$ мм, расстояние от отверстий до экрана $l = 3$ м. Найти положение на экране четырех первых светлых полос.

Решение. В опыте Юнга наблюдается явление интерференции света, которое выражается в его ослаблении или усилении. Так как в предложенном случае выполняется одно из условий интерференции ($l \gg d$), то можно воспользоваться формулой для нахождения координат максимумов интенсивности света

$$X = \pm k \frac{l}{d} \lambda,$$

где $k = 0, 1, 2, 3, \ldots$.

Знак «±» указывает, что максимумы симметричны относительно нулевого ($k = 0$, $\varphi = 0$).

Все параметры формулы заданы условиями задачи. Проведем расчеты при различных значениях k:

1) $k = 0$, $X = 0$ (светлая, самая яркая полоса, расположенная напротив отверстия);

2) $k = 1,\ X_1 = \pm \dfrac{l\lambda}{d} = \pm \dfrac{3 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{10^{-3}} = \pm 1{,}8 \cdot 10^{-3}$ м $= \pm 1{,}8$ мм;

3) $k = 2,\ X_2 = \pm \dfrac{2l\lambda}{d} = \pm \dfrac{2 \cdot 3 \cdot 600 \cdot 10^{-9}}{10^{-3}} = \pm 3{,}6 \cdot 10^{-3}$ м $= \pm 3{,}6$ мм;

4) $k = 3$, $X_3 = \pm 3X_1 = \pm 5{,}4$ мм.

Светлые полосы располагаются симметрично относительно центральной полосы ($k = 0$).

Пример 2. На дифракционную решетку нормально падает пучок света от разрядной трубки. Чему должна быть равна постоянная дифракционной решетки d, чтобы в направлении $\varphi = 41°$ совпадали максимумы двух линий: $\lambda_1 = 656{,}3$ нм и $\lambda_2 = 410{,}2$ нм?

Решение. При прохождении света через дифракционную решетку максимум будет наблюдаться при условии

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

где k – порядок дифракционного максимума.

Из условий задачи следует, что

$$\sin\varphi = \frac{k_1\lambda_1}{d} = \frac{k_2\lambda_2}{d},$$

или $k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2$.

Отсюда

$$k_2 / k_1 = \lambda_1 / \lambda_2 = 656{,}3 / 410{,}2 = 1{,}6.$$

Так как k_1 и k_2 обязательно должны быть выражены целыми числами, то полученному отношению удовлетворяют значения $k_1 = 5$ и $k_2 = 8$. Тогда

$$d = \frac{k_1\lambda_1}{\sin\varphi} = \frac{5\cdot 656{,}3\cdot 10^{-9}}{\sin 40^\circ} = 5\cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Пример 3. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения абсолютно черного тела, $\lambda_{max} = 0{,}58$ мкм. Определить энергетическую светимость $R_Т$ тела.

Решение. По закону Стефана – Больцмана энергетическая светимость абсолютно черного тела пропорциональна четвертой степени термодинамической температуры и рассчитывается по формуле

$$R_Т = \sigma T^4, \qquad (1)$$

где σ – постоянная Стефана – Больцмана;

T – термодинамическая температура.

Температуру T можно выразить, используя закон смещения Вина:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \qquad (2)$$

где $b = 2{,}9 \cdot 10^{-3}$ м/К – постоянная Вина.

Используя формулы (1) и (2), получаем

$$R_Т = \sigma\left(\frac{b}{\lambda_{max}}\right)^4.$$

Произведем вычисления:

$$R_Т = 5{,}67\cdot 10^{-8}\left(\frac{2{,}9\cdot 10^{-3}}{5{,}8\cdot 10^{-7}}\right)^4 = 3{,}54\cdot 10^7 \text{ Вт/м}^2.$$

Пример 4. Определить максимальную скорость v_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра ультрафиолетовым излучением с длиной волны λ = 155 нм.

Решение. Максимальную скорость фотоэлектронов можно определить из уравнения Эйнштейна для фотоэффекта

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{m v_{max}^2}{2}, \tag{1}$$

где h – постоянная Планка;

c – скорость света в вакууме;

A – работа выхода электронов (приложение, табл. 6);

m – масса покоя электрона.

Отсюда

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2(hc/\lambda - A)}{m}}. \tag{2}$$

Подстановка значений констант и величин, заданных в условии задачи, в формулу (2) дает

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot ((6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 155 \cdot 10^{-9}) - 0,75 \cdot 10^{-18})}{9,11 \cdot 10^{-31}}} = 1,08 \cdot 10^6 \text{ м/с.}$$

2.8. Физика атома и атомного ядра

Пример 1. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов U. Найти длину волны де Бройля λ, если 1) U_1 = 51 В; 2) U_2 = 510 кВ.

Решение. Длина волны де Бройля частицы зависит от ее импульса p и рассчитывается по формуле

$$\lambda = \frac{h}{p}, \tag{1}$$

где h – постоянная Планка.

Импульс частицы можно определить, если известна ее кинетическая энергия E_k. Связь импульса с кинетической энергией различна для нерелятивистского случая (когда кинетическая энергия частицы много меньше ее энергии покоя) и для релятивистского случая (когда они сравнимы между собой).

В нерелятивистском случае

$$p = \sqrt{2m_0 E_k}, \tag{2}$$

где m_0 – масса покоя частицы.

В релятивистском случае

$$p = \sqrt{\frac{(2E_0 + E_k)E_k}{c^2}}, \tag{3}$$

где $E_0 = m_0c^2$ – энергия покоя частицы.

В нерелятивистском случае из формулы (1) и соотношения (2) следует, что

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_k}}. \tag{4}$$

В релятивистском случае из формулы (1) и соотношения (3) следует, что

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{(2E_0 + E_0)E_0 / c^2}}. \tag{5}$$

Сравним кинетические энергии электрона, прошедшего заданные в условии задачи разности потенциалов U_1 = 51 В и U_2 = 510 кВ, с энергией покоя электрона $E_0 = m_0c^2$ = 0,51 МэВ и в зависимости от этого решим, какую из только что полученных формул следует применить для вычисления длины волны де Бройля.

Как известно, кинетическая энергия электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U, равна $E_k = eU$.

В первом случае $E_k' = eU_1$ = 51 эВ = 0,51 · 10^{-4} МэВ, что много меньше энергии покоя электрона. Следовательно, для вычисления λ можно применить формулу (4). Для упрощения расчетов заметим, что $E_k' = 10^{-4}m_0c^2$. Подставив это выражение в формулу (4), перепишем ее в виде

$$\lambda_1 = \frac{h}{\sqrt{2m_0 10^{-4} m_0 c^2}} = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \cdot \frac{h}{m_0 c}.$$

Учитывая, что $h / (m_0 c)$ есть комптоновская длина волны λ_k, получаем

$$\lambda_1 = 10^2 \cdot \lambda_k / \sqrt{2}.$$

Подставив сюда значение λ_k = 2,43 пм, находим

$$\lambda_1 = 10^2 \cdot 2{,}43 / \sqrt{2} = 155 \text{ пм}.$$

Во втором случае кинетическая энергия $E_k'' = eU_2$ = 510 кэВ = 0,51 МэВ, т. е. равна энергии покоя электрона. Для вычисления λ необходимо применить формулу (5):

$$\lambda_2 = \frac{h}{\sqrt{(2m_0c^2 + m_0c^2)m_0c^2 / c^2}} = \frac{h}{\sqrt{3}m_0c} = \frac{\lambda_k}{\sqrt{3}} = \frac{2{,}43}{\sqrt{3}} = 1{,}27 \text{ пм}.$$

Пример 2. Кинетическая энергия электрона в атоме водорода составляет величину порядка E_k = 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные линейные размеры атома.

Решение. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса имеет вид

$$\Delta x \cdot \Delta p \geqslant \hbar, \tag{1}$$

где Δx – неопределенность координаты частицы (в данном случае электрона);

Δp – неопределенность импульса электрона;

$\hbar$ – постоянная Планка ($h / 2\pi$).

Из соотношения неопределенностей следует, что чем точнее определяется положение частицы в пространстве, тем более неопределенным становится импульс, а следовательно, и энергия частицы. Пусть атом имеет линейные размеры l, тогда электрон атома будет находиться где-то в пределах области с неопределенностью

$$\Delta x = \frac{l}{2}.$$

Соотношение неопределенностей (1) можно записать в этом случае в виде

$$\left(\frac{l}{2}\right)\Delta p \geqslant \hbar,$$

откуда

$$l \geqslant \frac{2\hbar}{\Delta p}.$$

Неопределенность импульса не должна превышать значение самого импульса p, т. е. $\Delta p \leqslant p$. Импульс p связан с кинетической энергией соотношением $p = \sqrt{2mE_k}$. Заменим Δp значением $p = \sqrt{2mE_k}$ (такая замена не увеличит величину l). Переходя от неравенства к равенству, получим

$$l_{\min} = \frac{2\hbar}{\sqrt{2mE_k}}. \qquad (2)$$

Проверим размерность $l_{\min}$. Для этого в правую часть формулы (2) вместо символов величин подставим их единицы измерения:

$$\frac{[\hbar]}{([m]\cdot[E_k])^{1/2}} = \frac{\text{Дж}\cdot\text{с}}{(\text{кг}\cdot\text{Дж})^{1/2}} = \left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}^2}{\text{кг}\cdot\text{с}^2}\right)^{1/2}\cdot\text{с} = \text{м}.$$

Найденная единица измерения является единицей измерения длины.

Произведем вычисления:

$$l_{\min} = \frac{2\cdot 1{,}05\cdot 10^{-34}}{\sqrt{2\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot 1{,}6\cdot 10^{-19}\cdot 10}} = 1{,}24\cdot 10^{-10}\ \text{м}.$$

Пример 3. Волновая функция $\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}}\cdot\sin\left(\frac{\pi x}{l}\right)$ описывает состояние частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме шириной l. Вычислить вероятность нахождения частицы в малом интервале Δl, составляющем 1 % от ширины ямы, в двух случаях:

1) вблизи стенки ($0 \leqslant x \leqslant \Delta l$);

2) в средней части ямы $\left(\frac{l}{2} - \frac{\Delta l}{2} \leqslant x \leqslant \frac{l}{2} + \frac{\Delta l}{2}\right)$.

Решение. Вероятность того, что частица будет обнаружена в интервале dx (от x до $x + dx$), пропорциональна этому интервалу и квадрату модуля волновой функции, описывающей данное состояние:

$$dW = |\psi(x)|^2 dx.$$

В первом случае искомую вероятность можно найти путем интегрирования в пределах от 0 до $0{,}01l$ (рис. 2.13):

$$W = \frac{2}{l} \int_0^{0{,}01l} \sin^2 \frac{\pi x}{l} dx. \tag{1}$$

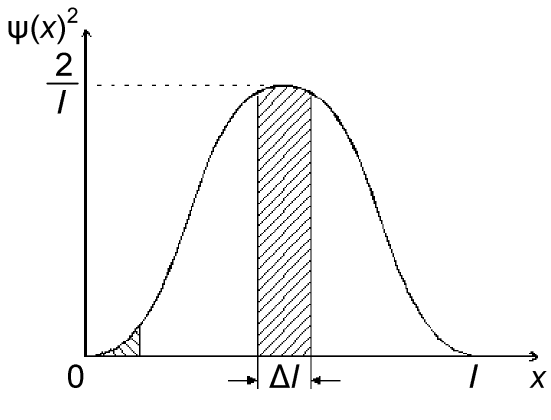


Рис. 2.13

Знак модуля в выражении (1) опущен, так как функция ψ в данном случае не является комплексной. Поскольку x изменяется в интервале $0 \leqslant x \leqslant 0{,}01l$, то $\frac{\pi x}{l} \ll 1$ и, следовательно, справедливо приближенное равенство

$$\sin^2 \frac{\pi x}{l} \approx \left(\frac{\pi x}{l}\right)^2. \tag{2}$$

С учетом формулы (2) выражение (1) принимает вид

$$W = \frac{2}{l}\int_{0}^{0,01l}\left(\frac{\pi x}{l}\right)^2 dx = \frac{2\pi^2}{l^3}\int_{0}^{0,01l} x^2 dx.$$

После интегрирования получаем

$$W = (2/3)\pi^2 \cdot 10^{-6} = 6,6 \cdot 10^{-6}.$$

Во втором случае нет необходимости в интегрировании, так как квадрат модуля волновой функции вблизи ее максимума в заданном малом интервале (Δl = 0,01l) практически не изменяется. Искомая вероятность определяется выражением

$$W = |\psi(l/2)|^2 \Delta l,$$

или

$$W = \frac{2}{l}\cdot \sin^2\left(\frac{\pi}{l}\cdot\frac{l}{2}\right)\Delta l = \frac{2}{l}\cdot 0,01l = 0,02.$$

Пример 4. Электрон в атоме водорода перешел с четвертого энергетического уровня на второй. Определить энергию испущенного при этом фотона.

Решение. Энергия фотона определяется по формуле

$$E = h\nu.$$

Здесь неизвестной величиной является частота ν, которая может быть рассчитана по спектральной формуле

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

где R – постоянная Ридберга ($R = 1,1 \cdot 10^7$ м$^{-1}$);
c – скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с);
m – номер орбиты, на которую перешел электрон;
n – номер орбиты, с которой перешел электрон.

Следовательно, энергия фотона выражается формулой

$$E = hRc\left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2}\right).$$

Подставим в данную формулу значения величин:

$$E = 6{,}62 \cdot 10^{-34} \cdot 1{,}1 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \cdot 10^{8} \cdot (1/4 - 1/16) = 4{,}1 \cdot 10^{-19}\ \text{Дж}.$$

Пример 5. Вычислить дефект массы и энергию связи ядра ${}_{3}^{7}Li$.

Решение. Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных протонов и нейтронов. Дефект массы ядра Δm определяется по формуле

$$\Delta m = Zm_\text{п} + (A - Z)m_\text{н} - m_\text{я}, \qquad (1)$$

где Z – зарядовое число (атомный номер, или число протонов в ядре);
A – массовое число (число нуклонов, составляющих ядро);
$m_\text{п}$, $m_\text{н}$, $m_\text{я}$ – массы протона, нейтрона и ядра соответственно.

В формуле (1) не известна масса ядра лития, которая определяется из соотношения

$$m_\text{я} = m_\text{а} - Zm_e, \qquad (2)$$

где $m_\text{а}$ – масса атома;
m_e – масса электрона.

Подставим соотношение (2) в формулу (1):

$$\Delta m = Zm_\text{п} + (A - Z) \cdot m_\text{н} - m_\text{а} + Zm_e. \qquad (3)$$

Массы нуклонов, электрона и атома выразим в атомных единицах массы (а.е.м.), приняв во внимание, что 1 а.е.м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг. Тогда после подстановки соответствующих значений в формулу (3) получим

$$\Delta m = 3 \cdot 1{,}00728 + 4 \cdot 1{,}00867 - 7{,}01601 + 3 \cdot 0{,}00065 = 0{,}04216\ \text{а.е.м.}$$

Выразим Δm в килограммах:

$$\Delta m = 0{,}04216 \cdot 1{,}66 \cdot 10^{-27} = 7 \cdot 10^{-29}\ \text{кг}.$$

Энергия связи определяется по формуле

$$E_\text{св} = \Delta m \cdot c^2 = 7 \cdot 10^{-29}\,(3 \cdot 10^{8})^2 = 63 \cdot 10^{-13}\ \text{Дж}.$$

Пример 6. Имеется радиоактивный препарат ^{27}Mg массой m = 0,2 мкг. Определить начальную активность препарата A_0 и активность препарата A через t = 5 ч. Период полураспада магния $T_{1/2}$ = 10 мин.

Решение. Активность изотопа характеризует скорость радиоактивного распада и равна отношению числа ядер dN, распавшихся за интервал времени dt, к этому интервалу:

$$A = -\frac{dN}{dt}. \tag{1}$$

Знак «–» показывает, что число радиоактивных ядер N со временем убывает. Для нахождения отношения $\frac{dN}{dt}$ воспользуемся формулой закона радиоактивного распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}, \tag{2}$$

где N – число радиоактивных ядер, содержащихся в изотопе в момент времени t;

N_0 – число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начальный (t = 0);

λ – постоянная радиоактивного распада.

Продифференцируем выражение (2) по времени:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N_0 e^{-\lambda t}. \tag{3}$$

Из формул (1) и (3) следует, что активность препарата A в момент времени t равна

$$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}. \tag{4}$$

Если в формулу (4) подставить t = 0, получим начальную активность препарата A_0:

$$A_0 = \lambda N_0. \tag{5}$$

Постоянная радиоактивного распада λ связана с периодом полураспада $T_{1/2}$ соотношением

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \tag{6}$$

Число радиоактивных ядер N_0, содержавшихся в изотопе в момент времени, когда его масса была равна m, определяется соотношением

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_\text{A}, \tag{7}$$

где μ – молярная масса изотопа;

N_A – число Авогадро.

С учетом выражения (7) формулы (5) и (4) принимают вид

$$A_0 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_\text{A},$$

$$A = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}}}. \tag{8}$$

Произведем вычисления, учитывая следующее:

1) $\text{T}_{1/2}$ = 10 мин = 600 с;

2) ln2 = 0,693;

3) t = 6 ч = 6 · 3,6 · 10^3 с = 2,16 · 10^4 с.

$$A_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{0,693}{600} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 5,15 \cdot 10^{12} \text{ Бк},$$

$$A = 5,15 \cdot 10^{12} \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{600} \cdot 2,16 \cdot 10^4\right) = 75,3 \text{ Бк}.$$

В представленных примерах рассмотрены наиболее характерные методы решения задач по различным разделам физики. Примеры решения задач по более широкому спектру направлений можно найти в литературе, представленной в библиографическом списке [1–13].

Далее даны задачи, сгруппированные по разделам физического курса, которые можно использовать в качестве заданий для контрольных и самостоятельных работ студентов, а также на практических занятиях.

3. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

3.1. Механика

101. Легковой автомобиль длиной l_1 = 4,5 м, движущийся со скоростью v_1 = 90 км/ч, обгоняет автопоезд длиной l_2 = 15 м, движущийся со скоростью v_2 = 60 км/ч. Определить длину участка обгона L, т. е. расстояние между точкой, в которой передний бампер автомобиля поравняется с задним бампером автопоезда, и точкой, в которой задний бампер автомобиля поравняется с передним бампером автопоезда. Как изменится L, если скорость автомобиля уменьшится до v_1' = 75 км/ч?

102. С помощью рентгеновского лазера, расположенного на круговой орбите H = 150 км, требуется уничтожить крылатую ракету длиной l = 5 м, движущуюся горизонтально со скоростью v = 300 м/с на высоте h = 15 м. Какое расстояние пролетит ракета за промежуток времени между «выстрелом» и ее поражением? Следует ли вводить упреждение в направление лазерного луча?

103. Скорость тела, движущегося прямолинейно, меняется по закону $v = A + Bt + Ct^2$, где A = 1 м/с; B = 3 м/с^2; C = 6 м/с^3. Какое расстояние пройдет тело к моменту времени, когда его ускорение a станет равным 27 м/с^2?

104. Тело движется вдоль оси x согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где B = 2 м/с; C = 1 м/с^2; D = 0,5 м/с^3. Какой путь S оно пройдет за промежуток времени, в течение которого его ускорение возрастет с a_1 = 5 м/с^2 до a_2 = 11 м/с^2?

105. Скорости двух тел, движущихся вдоль оси x, изменяются согласно уравнениям $v_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2$ и $v_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где A_1 = 2 м/с; B_1 = 5 м/с^2; A_2 = 10 м/с; B_2 = 1 м/с^2; $C_1 = C_2$ = 0,3 м/с^3. Первое тело стартует из точки x_1 = 0, а второе – из точки x_2 = 10 м. Определить ускорения тел в момент, когда первое тело догонит второе.

106. Координата колеблющейся материальной точки изменяется по закону $x = A\sin(2\pi\nu t)$, где A = 4 см, ν = 2 Гц. Определить скорость и ускорение точки в положении x = 1 см.

107. Две точки движутся вдоль оси x согласно уравнениям $x_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2 + D_1t$ и $x_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2 + D_2t^3$, где B_1 = 1 м/с; C_1 = 2 м/с^2; D_1 = 0,1 м/с^3; B_2 = 2 м/с; C_2 = 0,8 м/с^2; D_2 = 0,2 м/с^3. Каковы будут скорости точек, когда их ускорения окажутся одинаковыми?

108. Точки движутся вдоль оси x согласно уравнениям $x_1 = B_1t + C_1t^{-1}$ и $x_2 = B_2t + C_2t^2$, где $B_1 = 1$ м/с; $C_1 = 4$ м/с; $C_2 = 2$ м/с^2. Определить ускорения точек в момент времени, когда скорость первой из них равна нулю.

109. Две точки движутся вдоль оси x так, что скорость первой из них меняется согласно уравнению $v_1 = Bt + Ct^2$, где $B = 8$ м/с^2; $C = -1$ м/с^3, а скорость второй постоянна и равна $v_2 = 12$ м/с. Определить расстояние между точками, когда их ускорения окажутся одинаковыми, если при $t = 0$ координаты точек были равны $x_1 = 0$ м и $x_2 = 10$ м. Каким будет это расстояние через $t = 8$ с после начала движения?

110. Две точки движутся вдоль оси x согласно уравнениям $x_1 = B_1t^2 + Ct^{-1}$ и $x_2 = B_2t$, где $B_1 = 1$ м/с^2; $C = -8$ м/с; $B_2 = 2$ м/с. Определить скорости точек в момент, когда их ускорения одинаковы.

111. Зависимость пути s, пройденного телом, от времени t определяется уравнением $s = At + Bt^2$, где $A = -1$ м/с; $B = 0{,}5$ м/с^2. В какой момент времени тангенциальное ускорение a_τ будет равно нормальному ускорению a_n, если радиус кривизны траектории $R = 1$ м? Определить также полное ускорение a в этот момент времени.

112. Точка движется согласно уравнению пройденного пути $s = At + Bt^3$, где $A = 1$ м/с; $B = 1$ м/с^3. Определить радиус кривизны траектории в момент, когда полное ускорение $a = 10$ м/с^2, а нормальное ускорение $a_n = 8$ м/с^2.

113. Траектория движения точки задается уравнениями $x = At$ и $y = Bt^2$, где $A = 3$ м/с; $B = 1$ м/с^2. Определить угол между полным и нормальным ускорениями в момент времени $t = 2$ с, когда радиус кривизны траектории $R = 21$ м. Начертить траекторию за первые две секунды движения.

114. Траектория движения точки задается уравнениями $x = A\cos\omega t$ и $y = B\sin\omega t$, где $A = B = 1$ м; $\omega = 2\pi$ с$^{-1}$. Начертить траекторию движения и найти ускорение, с которым движется точка.

115. Тело брошено с высоты $H = 10$ м вверх под углом $\alpha = 30°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с. Записать уравнение траектории тела и определить ее кривизну через $t = 4$ с после начала движения.

116. Тело брошено вверх под углом $\alpha = 60°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 30$ м/с. Определить координаты тела, тангенциальное и нормальное ускорения через $t = 1$ с после начала движения.

117. С самолета, летящего со скоростью $v = 180$ км/ч на высоте $H = 100$ м, сбрасывают груз. Определить длину вектора перемещения груза до точки падения, а также направление движения груза в момент касания земли.

118. Скорость вращения колеса радиусом $R = 1$ м изменяется по закону $\omega = \omega_0 - At^3$, где $\omega_0 = 32$ с$^{-1}$, $A = 4$ с$^{-2}$. Определить путь, пройденный точками обода колеса до остановки.

119. Угловое перемещение, совершаемое диском радиуса $R = 0{,}5$ м, изменяется по закону $\varphi = Bt - Ct^2$, где $B = 16$ с$^{-1}$, $C = 4$ с$^{-2}$. Определить ускорение точек обода колеса в момент остановки и число оборотов, которое сделает к этому времени колесо.

120. Колесо вращается равноускоренно и делает $N = 240$ оборотов за время $t = 2$ мин. Определить начальную частоту вращения и угловое ускорение колеса, если в конце движения колесо вращалось с частотой $n = 600$ об/мин.

121. В рельсотроне, или электромагнитной пушке, снаряд разгоняется магнитным полем. Какова должна быть длина разгонного участка рельсотрона, чтобы снаряд за $t = 0{,}01$ с разгонялся до скорости $\text{v} = 8$ км/с? Считая силу магнитного воздействия на снаряд постоянной, определить, во сколько раз она превышает вес снаряда на поверхности Земли.

122. Скорость шарика, падающего вниз в глицерине, меняется со временем по закону $\text{v} = \text{v}_0(1 - e^{-\alpha t})$, где $\text{v}_0 = 6{,}1$ см/с; $\alpha = 140$ с$^{-1}$. Определить плотность шарика $\rho_ш$, если известно следующее: 1) через $t = 0{,}01$ с после начала движения сила вязкого трения по модулю в 3 раза больше равнодействующей всех сил, приложенных к шарику; 2) плотность глицерина $\rho_г = 1{,}25 \cdot 10^3$ кг/м^3.

123. Сила сопротивления, действующая на пузырек пара, поднимающийся в жидкости, определяется по формуле Стокса $F_c = 6\pi R\eta\text{v}$, где R – радиус пузырька; η – коэффициент вязкости жидкости; v – скорость движения пузырька. Определить коэффициент вязкости жидкости, если $R = 3$ мм, а скорость движения пузырька постоянна и равна $\text{v} = 0{,}02$ м/с. Плотность пара считать пренебрежимо малой по сравнению с плотностью жидкости $\rho_ж = 1$ г/см^3.

124. Космонавт массой $m = 70$ кг проходит испытание во вращающейся центрифуге, сидя в кресле, удаленном от оси вращения на расстояние $l = 2$ м. Сравните максимальный вес космонавта при вращении центрифуги с периодом обращения $T = 4$ с в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

125. Проволока выдерживает груз массой $m_1 = 110$ кг при вертикальном подъеме его с некоторым ускорением и груз массой $m_2 = 690$ кг при опускании его с таким же по модулю ускорением. Какова максимальная масса груза, который сможет выдержать эта проволока, если поднимать его с постоянной скоростью?

126. Атлет раскручивает молот (шар массой $m = 7$ кг, привязанный к тросу) так, что шар движется по окружности радиусом $R = 1$ м, а путь, пройденный шаром во время раскрутки, растет в соответствии с уравнением $s = Bt + Ct^2$, где $B = 4$ м/с; $C = 2$ м/с^2. Трос выдерживает нагрузку $F_п = 14$ кН. Какой запас прочности ($F_п / F$) имеет трос в момент броска молота, если продолжительность раскрутки $t = 4$ с?

127. На краю круглой платформы радиусом $R = 2{,}35$ м лежит шайба. Платформа вращается так, что путь, проходимый шайбой, растет в соответствии с уравнением $s = Ct^2$, где $C = 0{,}5$ м/с^2. В какой момент времени шайба соскользнет с платформы, если коэффициент трения $\mu = 0{,}2$?

128. Машина Атвуда, представляющая собой систему из двух тел массами m_1 и m_2, соединенных невесомой нитью, перекинутой через невесомый блок, может быть использована для взвешивания тел. Определить массу тела m_1, если тело массой $m_2 = 2$ кг движется вниз с ускорением $a = 1{,}4$ м/с^2.

129. На краю горизонтальной плоскости установлен невесомый блок, через который перекинута нерастяжимая и невесомая нить, соединяющая два груза. Один груз движется вертикально и имеет массу $m_1 = 2$ кг, а другой движется горизонтально и имеет массу $m_2 = 1{,}5$ кг. Определить ускорение, с которым движутся грузы, если коэффициент трения для плоскости $\mu = 0{,}2$.

130. Молот массой $m = 1$ т падает на наковальню с высоты $H = 127$ см. Длительность удара $\Delta t = 0{,}01$ с. Определить среднее значение силы удара.

131. На прямолинейно движущееся со скоростью $v = 5$ м/с тело массой $m = 2$ кг действует в направлении движения убывающая по времени сила $F = F_0 - At$, где $F_0 = 5$ Н; $A = 2{,}5$ Н/с. Каков будет импульс тела по окончании действия силы?

132. Модуль силы, действующей в направлении движения тела, изменяется согласно уравнению $F = At - Bt^2$, где $A = 2$ Н/с; $B = 3$ Н/с^2. Определить изменение импульса тела к моменту окончания действия силы.

133. Тело массой $m = 2$ кг равномерно вращается по окружности радиуса $R = 20$ см. Определить модуль изменения импульса тела при повороте на угол $\varphi = 60°$, если период вращения $T = 2$ с.

134. Определить давление газа на стенки сосуда при следующих условиях: 1) масса одной молекулы $m = 3{,}3 \cdot 10^{-27}$ кг; 2) скорость молекулы $v = 2$ км/с; 3) число молекул, движущихся по нормали к стенке сосуда, составляет $n = 10^{19}$ на 1 см^3 объема сосуда.

135. Одним из движителей космических кораблей может быть «световой парус» – зеркальная пленка, получающая импульс при падении на нее света. Начальная скорость корабля v_1 = 7,9 км/с (первая космическая), конечная скорость v_2 = 11,2 км/с (вторая космическая). Сколько фотонов (частиц света) должно отразиться от светового паруса при следующих условиях: 1) свет падает на парус по нормали; 2) масса корабля с парусом m = 500 т; 3) масса фотона $m_ф = 0{,}5 \cdot 10^{-35}$ кг?

136. Какой импульс получит покоящийся электрон при попадании в него γ-кванта при следующих условиях: 1) масса падающего γ-кванта $m_1 = 3{,}3 \cdot 10^{-30}$ кг; 2) масса рассеянного γ-кванта $m_2 = 0{,}71 \cdot 10^{-30}$ кг; 3) угол между направлениями движения падающего и рассеянного γ-квантов равен $\vartheta = 90°$?

137. Фотон падает по нормали на металлическую пластинку и в результате фотоэффекта выбивает из нее электрон, движущийся по нормали в направлении, противоположном направлению движения фотона. Какой импульс получит пластина при попадании в нее одного фотона, если масса фотона $m_ф = 5 \cdot 10^{-34}$ кг, а кинетическая энергия электрона равна $T_e = 4{,}1 \cdot 10^{-19}$ Дж?

138. Граната, летевшая со скоростью v = 15 м/с, разорвалась на два осколка. Больший осколок, масса которого составляет 60 % от массы всей гранаты, стал двигаться под углом $\alpha = 30°$ к прежнему направлению со скоростью v_1 = 250 м/с. Найдите модуль скорости v_2 меньшего осколка.

139. Снаряд, летевший в воздухе горизонтально со скоростью v = 50 м/с на высоте h = 80 м, разорвался на две равные части. Один из осколков полетел вниз и упал на землю через 2 с после разрыва. Определите угол по отношению к горизонту, в направлении которого полетел второй осколок, и его скорость.

140. Для сбора космического мусора на околоземной орбите может быть использована сеть-ловушка. С какой скоростью станет двигаться космический «мусорщик» массой m_1 = 50 т, оборудованный такой сетью и имеющий скорость v_1 = 8,050 км/с, после захвата вышедшего из строя спутника массой m_2 = 1 т, двигавшегося в момент захвата в том же направлении, что и «мусорщик», со скоростью v_2 = 8,000 км/с?

141. Тело массой m = 0,5 кг движется прямолинейно так, что его скорость меняется согласно уравнению $v = A(1 - e^{-Dt})$, где A = 1 м/с; D = 1 с$^{-1}$. Определить работу сил, действующих на тело, за первые две секунды движения и развиваемую ими мощность в конце движения.

142. Тело массой m = 1 кг, теплоемкость которого C = 453 Дж/К, соскальзывает без начальной скорости с наклонной плоскости высотой h = 1 м. Определить скорость тела в конце плоскости, если, соскользнув, оно нагрелось на ΔT = 0,015 К.

143. При забивании сваи массой m_1 = 0,5 т копер массой m_2 = 1 т падает с высоты h = 1,5 м. Считая удар копра о сваю неупругим, определить, на какую глубину она погрузится в грунт, если средняя сила сопротивления грунта $F_с$ = 200 кН.

144. Пуля массой m пробивает ящик с песком массой $4m$ и застревает в другом таком же ящике. Начальная скорость пули v = 800 м/с на вылете из 1-го ящика уменьшается в 2 раза. Определить: 1) начальную скорость 1-го ящика с песком; 2) отношение количеств теплоты Q_1 / Q_2, выделившихся в 1-м и 2-м ящиках.

145. Тело массой m = 5 кг под действием постоянной силы начинает двигаться из состояния покоя равноускоренно и, пройдя путь l = 16 м, приобретает скорость v = 8 м/с. Найдите максимальную и среднюю мощность N этой силы в процессе движения тела.

146. Потенциальная энергия двух α-частиц, находящихся на расстоянии r друг от друга, вычисляется по формуле $U = Lr^{-1}$, где $L = 9{,}56 \cdot 10^{-28}$ Н·м^2. До какого минимального расстояния смогут сблизиться α-частицы, начинающие двигаться из бесконечности навстречу друг другу с относительной скоростью сближения v = $3 \cdot 10^6$ м/с?

147. Долбежный станок, мощность двигателя которого N = 480 Вт, за t = 5 мин прорезает паз глубиной h = 18 мм и длиной l = 100 мм. Определить КПД привода станка (отношение работы резания к энергии, потребляемой станком) при следующих условиях: 1) увеличение глубины паза за один проход резца, равный l, составляет Δh = 0,5 мм; 2) усилие резания составляет $F_р$ = 1 кН.

148. Пружина сжата на x_1 = 10 см. Какая работа будет совершена при дополнительном сжатии пружины до x_2 = 15 см, если сила упругости в конце сжатия F_2 = 150 Н?

149. Определить мощность гидропривода, если при давлении P = 500 кПа поршень, площадь которого S = 100 см^2, равномерно перемещается на расстояние l = 100 мм за t = 2 с.

150. С двух горок одинаковой высоты $H = 9$ м одновременно начинают скатываться два шарика массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг навстречу друг другу. Определить высоту h, на которую поднимутся шарики после абсолютно неупругого столкновения, а также количество теплоты Q, выделившейся при соударении. Трение в системе отсутствует. Размерами шариков можно пренебречь.

151. Рассчитать момент инерции квадратной рамки общей массы 4 кг со сторонами длиной по 0,6 м. Ось вращения проходит через центры двух противоположных сторон рамки.

152. Рассчитать момент инерции полого шара массой 6 кг относительно оси, проходящей через его центр. Радиус шара 20 см, радиус полости, расположенной в центре шара, равен 10 см.

153. Обруч диаметром $D = 1$ м и массой $m = 400$ г раскручивается вокруг оси, проходящей через его центр и перпендикулярной к его плоскости. Уравнение движения обруча имеет вид $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $C = 0{,}5$ с$^{-2}$. Определить крутящий момент, действующий на обруч.

154. На краях доски длиной $L = 3$ м и массой $M = 30$ кг сидят дети массой по $m_1 = 20$ кг каждый. Доска уравновешена на опоре, проходящей через ее центр. С каким угловым ускорением начнет двигаться доска, если один из детей создаст вертикальное усилие $F = 15$ Н?

155. К невесомой нити, намотанной на однородный цилиндрический барабан массой $m_1 = 2$ кг, привязан груз массой $m_2 = 4$ кг. Ось вращения барабана горизонтальна и неподвижна. С какой скоростью будет двигаться груз через $t = 2$ с после того как его отпустили?

156. Два груза, массы которых $m_1 = 1{,}5$ кг и $m_2 = 0{,}5$ кг, соединены невесомой нитью, перекинутой через блок, представляющий собой пустотелый шкив массой $m_3 = 1$ кг. Тяжелый груз висит на 0,5 м выше более легкого груза. Определить время, через которое грузы окажутся на одной высоте.

157. На краю горизонтальной плоскости установлен блок, представляющий собой однородный диск диаметром $d = 6{,}6$ см. Масса блока $m = 3$ кг. Через блок перекинута нерастяжимая невесомая нить, соединяющая два груза, один из которых движется вертикально и имеет массу $m_1 = 2$ кг, а другой движется горизонтально и имеет массу $m_2 = 1{,}5$ кг. Коэффициент трения для плоскости $\mu = 0{,}1$. Сколько оборотов N сделает блок за промежуток времени $\Delta t = 0{,}5$ с после начала движения?

158. На однородный барабан массой m = 3 кг действует тормозящий момент M = 15 мН · м так, что угловая скорость ω барабана меняется со временем согласно уравнению $\omega = B + Ct$, где B = 16 с$^{-1}$; C = –1 с$^{-2}$. Определить: 1) диаметр барабана; 2) число оборотов, которое он сделает до полной остановки.

159. Стержень длиной L = 1 м закреплен в точке, отстоящей от его верхнего конца на 20 см. Стержень отклонили от вертикали на угол 30° и отпустили. Определить угловое ε и тангенциальное a_τ ускорение нижнего конца стержня в начальный момент движения.

160. Определить момент сил M, действующих на пулю калибра d = 7,62 мм и массой m = 10 г в стволе винтовки длиной l = 0,6 м, если известно: 1) пуля представляет собой однородный цилиндр; 2) при вылете из ствола пуля успевает сделать N = 4 полных оборота и имеет скорость v = 600 м/с; 3) пуля в стволе движется равноускоренно.

161. Определить высоту, на которую может подняться шар, запущенный со скоростью v_0 = 4 м/с вверх по наклонной плоскости. Трением пренебречь. Шар вращается без проскальзывания.

162. Определить линейную скорость вершины спиленного дерева в конце падения. Дерево считать однородным стержнем длиной l = 15 м.

163. Стержень длиной 1,5 м может вращаться относительно оси, отстоящей на 0,5 м от одного из его концов. Стержень поставили вертикально более длинной частью вверх и отпустили. Определить его угловую скорость и линейные скорости концов стержня в момент прохождения им нижнего вертикального положения.

164. При отказе двигателя вертолета и остановке винта, произошедшей на высоте h_1 = 600 м, пилот перешел в режим авторотации, и винт стал раскручиваться потоком воздуха, набегающим при падении вертолета. Определить высоту h_2, на которой возможно возникновение подъемной силы винта, если известно: 1) подъемная сила возникает при скорости вращения винта n = 900 об/мин; 2) винт имеет четыре лопасти, каждую из которых можно считать однородным стержнем длиной l = 4 м и массой $m_л$ = 50 кг; 3) масса вертолета (без винта) $m_в$ = 1 т; 4) скорость падения вертолета на высоте h_2 равна v = 20 м/с.

165. Манипулятор за t = 2 с равноускоренно перемещает груз массой m = 5 кг по дуге, радиус которой R = 1,5 м. Определить максимальную мощность привода манипулятора, если известно: 1) момент инерции манипулятора J = 15 кг · м^2; 2) угол поворота $\Delta\varphi$ = 90°; 3) груз можно считать точечной массой.

166. На вращающееся тело действует механический момент, изменяющийся по закону $M = M_0 + At$, где $M_0 = 100$ Н·м; $A = 200$ (Н · м/с). На сколько изменится момент импульса этого тела за время $t = 1{,}5$ с?

167. Горизонтальная платформа массой 100 кг и радиусом 1 м вращается с частотой $n_1 = 0{,}5$ об/с вокруг вертикальной оси, проходящей через центр инерции платформы. Человек массой 60 кг стоит на краю платформы. С какой частотой n_2 будет вращаться платформа, если человек сойдет с платформы? Считать платформу диском, а человека материальной точкой.

168. Фигурист массой $m = 70$ кг начинает вращение с частотой $n_1 = 1$ об/с, держа руки горизонтально. С какой частотой он будет вращаться, если поднимет руки вертикально? Тело фигуриста считать однородным цилиндром радиуса 15 см, руки – стержнями по 0,75 м и массой по 5 кг каждый.

169. Во вращающийся с угловой скоростью $\omega_1 = 5$ с$^{-1}$ диск массой $M = 10$ кг и радиусом $R = 10$ см попадает пуля массой $m = 10$ г со скоростью v = 600 м/с. Определить угловую скорость вращения диска с пулей ω_1 и работу, совершенную силами сопротивления, если направление полета пули лежало в плоскости вращения диска на расстоянии 5 см от его оси вращения.

170. На вращающийся диск массой $M = 2$ кг и радиуса $R_1 = 1$ м бросают без вращения обруч массой $m = 1$ кг радиуса $R_2 = 0{,}5$ м. На сколько изменится угловая скорость вращения системы, если после падения обруча на диск его центр будет находиться на расстоянии $l = 0{,}25$ м от оси вращения диска? Начальная скорость вращения диска $\omega_1 = 2$ с$^{-1}$.

171. Максимальное смещение гармонически колеблющейся на пружине материальной точки равно 20 см. Определить скорость точки в момент, когда ее смещение от положения равновесия равно половине амплитуды $x = A / 2$. Жесткость пружины $k = 200$ Н/м, масса точки $m = 20$ г.

172. Скорость колеблющейся материальной точки массой 500 г изменяется в соответствии с графиком, представленным на рис. 3.1. Записать законы изменения во времени координат и ускорения точки, нарисовать их графики. Определить полную энергию колеблющейся точки.

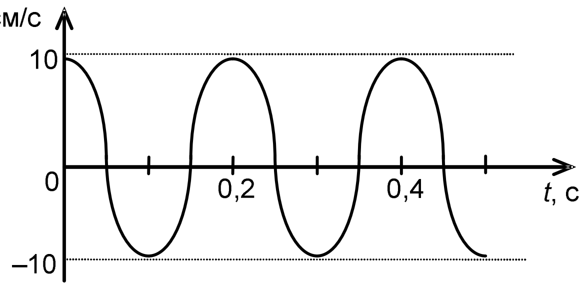


Рис. 3.1

173. Записать уравнение и начертить траекторию результирующего колебания, возникающего при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний, происходящих по закону $x = 3\sin(2t)$ и $y = 4\cos(2t + \pi)$ см. Указать начальную точку.

174. Разность фаз двух гармонических осцилляторов одинакового периода $T = 8$ с, одного направления и одинаковой амплитуды А = 2 см составляет $\pi/4$. Начальная фаза одного из них равна нулю. Написать уравнение движения, возникающего в результате сложения колебаний. Начертить его график.

175. Определить изменение периода колебаний математического маятника с длиной подвеса 2,45 м при перенесении его с Земли на Луну. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а радиус Земли в 3,7 раза больше радиуса Луны.

176. Два математических маятника имеют частоты колебаний 1 Гц и 2 Гц соответственно. Определить период колебаний третьего маятника, длина которого равна полусумме длин двух указанных маятников.

177. Тонкий обруч радиусом $R = 50$ см подвешен на вбитый в стену гвоздь и колеблется в плоскости, параллельной стене. Определить период колебаний обруча.

178. Физический маятник выполнен в форме правильного креста из двух одинаковых стержней длиной 50 см каждый. Определить период колебаний маятника, если ось колебаний проходит через верхний конец одного из стержней.

179. Логарифмический декремент затухания равен 0,01. Определить число полных колебаний N до уменьшения амплитуды в 3 раза.

180. Вагон массой $m = 80$ т имеет рессоры жесткостью k по 500 кН/м каждая. Определить длину рельса, если известно, что при скорости движения вагона $V = 36$ км/ч он начинает сильно раскачиваться.

3.2. Молекулярная физика

201. Определить молярную массу, плотность и концентрацию газовой смеси, состоящей из 16 г углекислого газа, 14 г азота и 16 г кислорода и заключенной в сосуде объемом 4 л.

202. Вода объемом $V = 3$ л выкипает из кастрюли за 1 ч. Определить среднее число испаряющихся за 1 с молекул воды.

203. Определить расстояние между ближайшими атомами кубической кристаллической решетки железа, если на одну элементарную кубическую ячейку приходится один атом железа.

204. Определить плотность и концентрацию низкотемпературной азотной плазмы, если атомарная концентрация $n_а = 2 \cdot 10^{18}$ м$^{-3}$, а степень диссоциации плазмы $\alpha = 80$ %.

205. Сосуд заполнен смесью газов в количестве 21 г азота и 176 г кислорода. Определить объем сосуда и плотность смеси, если ее концентрация равна $3 \cdot 10^{20}$ см$^{-3}$.

206. Определить молярную массу высокотемпературного сверхпроводника $RbCs_2C_{60}$, синтезируемого путем легирования сферических молекулярных кристаллов фуллерена C_{60} атомами щелочных металлов. Определить массу поверхностного сверхпроводящего слоя площадью 1 мм^2 и толщиной 3,5 нм, считая диаметр одной кристаллической сферы 0,7 нм.

207. Определить концентрацию атомов, сравнить объемную плотность вещества в оболочке и в объеме одного молекулярного сферического кристалла фуллерена C_{60}. Толщина сферической оболочки фуллерена равна 0,1 нм, радиус молекулы C_{60} равен 0,357 нм.

208. Определить количество вещества и поверхностную плотность атомов углерода в однослойной нанотрубке средним диаметром 20 нм и длиной 10 мкм, приняв среднее межатомное расстояние в атомном слое (графене) в 0,246 нм.

209. Газ находится в 10-литровом сосуде при нормальных условиях. Вакуумный насос может откачать газ до давления 10^{-6} атм. Сколько молекул будет откачано из сосуда? Сколько их останется в сосуде?

210. Литр неизвестного газа при $t = 0$ °С и давлении 1 атм имеет массу $m = 0{,}0894$ г. Какой это газ и сколько атомов он содержит при данных условиях?

211. Кислород находится при нормальных условиях, занимая объем $V = 4$ л. Определить внутреннюю энергию газа U, а также среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_к \rangle$ его молекул при температуре $T = 300$ К.

212. Определить суммарную кинетическую энергию $E_к$ поступательного движения всех молекул газа, находящегося в сосуде объемом $V = 3$ л под давлением $P = 540$ кПа.

213. В высокотемпературной изотермической ($T = 10^7$ K) водородной плазме Солнечной короны электронная концентрация $n_e = 10^{15}$ м$^{-3}$. Считая, что в плазме при данных условиях ионизировано 100 % и диссоциировано 50 % от общего числа частиц газа, определить суммарную кинетическую энергию $E_к$ поступательного движения всех ионов плазмы в объеме $V = 1$ м^3.

214. Молярная внутренняя энергия U некоторого двухатомного газа равна 5,02 Дж/моль. Определить среднюю кинетическую энергию вращательного движения $\langle \varepsilon_{вр} \rangle$ одной молекулы этого газа. Газ считать идеальным.

215. Баллон содержит кислород при давлении $P = 2$ МПа. Найти его плотность, если средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы кислорода $E_к = 6{,}21 \cdot 10^{-21}$ Дж.

216. Определить среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв} \rangle$ молекул газа массой $m = 0{,}3$ г, заключенного в сосуд объемом $V = 2$ л под давлением $P = 200$ кПа.

217. Азот находится при температуре $T = 300$ К. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения $\langle \varepsilon_{вр} \rangle$ одной молекулы, а также суммарную кинетическую энергию $E_к$ всех молекул газа. Масса азота в сосуде $m = 0{,}7$ кг.

218. Давление кислорода, находящегося в сосуде объемом $V = 4$ л при температуре $t = 27$ °С, составляет $P = 0{,}5$ МПа. Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения $E_к$ молекул газа в сосуде после увеличения его средней тепловой скорости в 2 раза.

219. Определить наиболее вероятную скорость $v_в$ молекул хлора, заключенного в сосуд объемом 3 л в количестве двух молей под давлением $P = 100$ кПа.

220. Найти среднюю тепловую скорость молекул аммиака (NH_3), а также кинетическую энергию вращательного движения всех молекул газа массой 85 г при температуре $t = 127$ °С.

221. Баллон объемом $V = 20$ л заполнен азотом при температуре $t = 27$ °С. Когда часть газа израсходовали, давление в баллоне снизилось на $\Delta P = 50$ кПа. Определить массу израсходованного азота при изотермическом процессе.

222. В баллоне объемом $V = 25$ л находится аргон под давлением $P_1 = 600$ кПа при температуре $T_1 = 350$ К. Когда из баллона было взято некоторое количество газа, давление в нем понизилось до $P_2 = 400$ кПа, а температура установилась $T_2 = 280$ К. Определить массу аргона, взятого из баллона.

223. В комнате объемом V = 60 м^3 температура понизилась с t_1 = 17 °C до t_2 = 7 °C, а давление изменилось от $P_1 = 1{,}05 \cdot 10^5$ Па до $P_2 = 1{,}03 \cdot 10^5$ Па. На какую величину изменилась масса воздуха в комнате? Молярная масса воздуха $\mu \approx 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

224. В баллон емкостью V = 12 л поместили азот массой m = 1,5 кг при температуре T_1 = 600 К. Какое давление P_2 станет создавать азот в баллоне при температуре T_2 = 320 К, если 35 % азота будет выпущено? Каково было начальное давление P_1?

225. Вычислить плотность водорода, находящегося в баллоне под давлением P = 4 МПа и имеющего температуру T = 300 К.

226. Определить плотность ρ водяного пара, находящегося под давлением P = 4,5 кПа и имеющего температуру T = 350 К.

227. Имеются два баллона емкостью V_1 = 5 л и V_2 = 2 л, соединенные трубкой с краном. Давление газа в первом и во втором баллоне соответственно $P_1 = 1{,}2 \cdot 10^5$ Па и $P_2 = 2 \cdot 10^5$ Па. Температура в обоих баллонах одинакова. Какое давление установится в баллонах, если открыть кран?

228. Газ имеет плотность ρ = 1,4 кг/м^3 при температуре T = 600 К и давлении P = 2,5 атм. Определить, какой газ находится в сосуде.

229. В сосуде объемом V = 30 л содержится идеальный газ при температуре t = 0 °C. После того как часть газа была выпущена наружу, давление в сосуде понизилось на ΔP = 0,78 атм без изменения температуры. Найти массу выпущенного газа. Плотность данного газа при нормальных условиях считать равной $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг/л.

230. Два сосуда одинакового объема содержат хлор. В одном сосуде давление P_1 = 1,5 МПа и температура T_1 = 600 К, а в другом – давление P_2 = 2 МПа и температура T_2 = 250 К. Сосуды соединили трубкой и охладили в них хлор до температуры T = 200 К. Определить установившееся в сосудах давление.

3.3. Термодинамика

231. Плотность некоторого газа при нормальных условиях ρ = 1,25 кг/м^3. Отношение удельных теплоемкостей c_p / c_v = 1,4. Определить удельные теплоемкости c_p и c_v этого газа.

232. Количество теплоты, необходимое для нагревания газа на 25 К при постоянном давлении, равно 500 Дж, а количество теплоты, выделяемое при охлаждении этого же газа на ΔT = 75 К при постоянном объеме, равно 1070 Дж. Определить показатель адиабаты для этого газа.

233. Закрытый баллон вместимостью 0,8 $м^3$ заполнен азотом под давлением 2,3 МПа при температуре 20 °С. Количество теплоты, переданное газу, равно 4,5 МДж. Определить температуру и давление газа в конце процесса.

234. Двухатомный газ находится в закрытом баллоне емкостью 5 $дм^3$ под давлением 0,5 МПа. После нагревания давление в баллоне увеличилось в 4 раза. Определить количество теплоты, переданное газу.

235. Расширяясь, трехатомный газ совершает работу, равную 245 Дж. Какое количество теплоты было передано газу, если он расширялся изобарно?

236. Во время изобарного сжатия при начальной температуре 100 °С объем кислорода массой 10 кг уменьшился в 1,5 раза. Определить работу, совершаемую газом, количество отведенного тепла и изменение внутренней энергии.

237. Аргон массой 10 г нагрет на 100 К при постоянном давлении. Определить количество теплоты, переданное газу, приращение внутренней энергии и работу, совершенную газом.

238. Одноатомный газ, находящийся под давлением 0,3 МПа, изобарно расширяется от 2 до 7 $дм^3$. Определить работу, совершенную газом, приращение внутренней энергии и количество подведенного тепла.

239. Углекислый газ массой 4,4 г, находящийся первоначально под давлением 0,01 МПа при температуре 87 °С, адиабатно сжимают до 1/20 его начального объема. Определить конечную температуру и давление газа, приращение внутренней энергии и работу, совершенную газом.

240. Кислород массой 3,2 г, находящийся при температуре 20 °С, адиабатически расширяется, в результате чего его давление уменьшается от P_1 = 1 МПа до P_2 = 0,38 МПа. Определить: 1) во сколько раз увеличивается объем газа; 2) температуру в конце процесса; 3) работу, совершенную газом, и изменение его внутренней энергии; 4) какое количество теплоты необходимо сообщить газу при постоянном объеме, чтобы его температура снова повысилась до 20 °С.

241. Двигатель мотоцикла имеет рабочий цилиндр объемом 200 $см^3$. В процессе работы двигателя в цилиндре происходит адиабатическое расширение рабочей смеси при начальном давлении P_1 = 20 атм. Рабочая смесь состоит из смеси воздуха и паров горючего. Степень сжатия двигателя, представляющая собой отношение максимального объема рабочей смеси к ее минимальному объему, равна α = 6. Какую мощность развивает двигатель при частоте вращения n = 3000 об/мин? Рабочую смесь считать двухатомным идеальным газом.

242. Степень сжатия бензинового двигателя (отношение максимального объема рабочей смеси к ее минимальному объему) равна $\alpha = 8$. Найти отношение температуры выхлопа к температуре горения. Расширение считать адиабатическим, а рабочую смесь (смесь воздуха и паров бензина) – двухатомным идеальным газом.

243. Тепловой двигатель работает по замкнутому циклу, состоящему из двух изохор и двух изобар. Определить КПД тепловой машины, если давление и объем в цикле изменяются в 2 раза. Рабочее тело считать двухатомным газом.

244. Цикл работы теплового двигателя состоит из двух изохор и двух изобар. Давление в цикле изменяется в 2, а объем – в 3 раза. Определить работу, совершаемую в цикле и КПД тепловой машины, если минимальные значения термодинамических параметров в цикле следующие: $P_0 = 1$ атм, $V_0 = 10$ л. Рабочее тело – трехатомный газ.

245. Газ, совершающий цикл Карно, КПД которого равен $\eta = 25$ %, при изотермическом расширении производит работу 240 Дж. Какова работа, совершаемая газом при изотермическом сжатии?

246. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, за один цикл отдает холодильнику $Q_х = 400$ Дж тепла. Определить КПД двигателя и работу, совершаемую им за цикл, если температура нагревателя $t_н = 327$ °С, а температура холодильника $t_х = 27$ °С.

247. Температура нагревателя тепловой машины, работающей по циклу Карно, $T_н = 373$ К, а температура холодильника $T_х = 273$ К. Работа цикла составляет $A = 1$ кДж. Изобразить этот цикл в координатах «$S \leftrightarrow T$». Определить ΔS – разность максимального и минимального значений энтропии S рабочего тела.

248. Водяной пар массой 1 кг сжимается от давления 0,2 МПа при температуре 40 °С до давления 4,5 МПа при температуре 253 °С. Определить приращение энтропии в процессе сжатия.

249. В результате изотермического сжатия воздуха объемом $V_1 = 887$ дм^3, находящегося при температуре 30 °С и начальном давлении 0,1 МПа, его энтропия уменьшилась на 573 Дж/К. Определить объем V_2 воздуха в конце процесса. Воздух считать двухатомным газом.

250. Углекислый газ в количестве 5 моль переходит из состояния с начальной температурой 27 °С в состояние с температурой 177 °С. Определить изменение энтропии газа, если его объем при этом возрастает в 2 раза.

3.4. Электростатика

251. Найти силу электростатического притяжения между ядром атома водорода и электроном. Радиус атома водорода $0{,}5 \cdot 10^{-8}$ см, заряд ядра численно равен и противоположен по знаку заряду электрона. Сравнить эту силу с их силой гравитационного взаимодействия.

252. Два точечных заряда, находясь в воздухе ($\varepsilon = 1$) на расстоянии 20 см друг от друга, взаимодействуют с некоторой силой. На каком расстоянии нужно поместить эти заряды в масле, чтобы сила взаимодействия не изменилась?

253. Найти напряженность электрического поля в точке, лежащей посередине между точечными зарядами $q_1 = 8 \cdot 10^{-9}$ Кл и $q_2 = -5 \cdot 10^{-9}$ Кл, находящимися в воздухе ($\varepsilon = 1$) на расстоянии $r = 10$ см.

254. В центре квадрата, в вершинах которого находится по заряду, равному $7 \cdot 10^{-9}$ Кл, помещен отрицательный заряд. Найти этот заряд, если результирующая сила, действующая на каждый заряд, равна нулю.

255. Расстояние между двумя точечными зарядами $q_1 = 22$ нКл и $q_2 = -44$ нКл равно 5 см. Найти напряженность и потенциал электрического поля в точке, находящейся на расстоянии 3 см от положительного заряда и 4 см от отрицательного заряда.

256. Медный шар диаметром 1 см помещен в масло. Плотность масла $\rho = 800$ кг/м^3. Чему равен заряд шара, если в однородном электрическом поле шар оказался взвешенным в масле? Электрическое поле направлено вертикально вверх, а его напряженность $E = 35$ кВ/см.

257. Шарик массой 40 мг движется со скоростью $v = 10$ см/с и несет на себе положительный заряд, равный $q_1 = 1$ нКл. На какое минимальное расстояние может приблизиться шарик к положительному точечному заряду, равному $q_2 = 1{,}4$ нКл?

258. На какое расстояние могут сблизиться два электрона, если они движутся навстречу друг другу с относительной скоростью $v = 10^8$ см/с?

259. Два шарика с зарядами $q_1 = 7$ нКл и $q_2 = 15$ нКл находятся на расстоянии $r_1 = 40$ см. Какую работу нужно совершить, чтобы сблизить их до расстояния $r_2 = 25$ см?

260. Шарик массой 0,1 г и зарядом 10^{-8} Кл влетает со скоростью 20 см/с в однородное электростатическое поле с напряженностью $E = 2$ кВ/м и движется в нем, смещаясь в направлении поля на расстояние 10 см. Какова будет скорость шарика в конце траектории, если он влетел перпендикулярно направлению поля?

261. Две проводящие сферы заряжены одинаковыми зарядами $q = 6$ мКл. Потенциал меньшей сферы $\varphi = 3$ В. Радиусы сфер различаются в два раза. Какими будут заряды и потенциалы в системе после соединения сфер тонкой проволочкой?

262. В плоском горизонтально расположенном конденсаторе, расстояние между пластинами которого $d = 1$ см, находится заряженная капелька массой $m = 5 \cdot 10^{-11}$ г. При отсутствии электрического поля капелька вследствие сопротивления воздуха падает с некоторой постоянной скоростью. Найти заряд капельки, если при разности потенциалов между пластинами конденсатора $U = 600$ В капелька падает вдвое медленнее.

263. Между двумя вертикальными пластинами на одинаковом расстоянии от них падает пылинка. Вследствие сопротивления воздуха скорость пылинки постоянна и равна $v = 2$ см/с. Через какое время после подачи на пластины разности потенциалов $U = 3000$ В пылинка достигнет одной из пластин? Какое расстояние l по вертикали пролетит пылинка до попадания на пластину? Расстояние между пластинами $d = 2$ см, масса пылинки $m = 2 \cdot 10^{-9}$ г, ее заряд $q = 6{,}5 \cdot 10^{-17}$ Кл.

264. Расстояние между пластинами плоского конденсатора равно 4 см. Электрон начинает двигаться от отрицательной пластины в тот момент, когда от положительной пластины начинает двигаться протон. На каком расстоянии от положительной пластины они встретятся?

265. Протон, ускоренный электрическим полем длиной $d_1 = 10$ см и напряженностью $E_1 = 100$ В/м, попадает в поперечно направленное поле напряженностью $E_2 = 20$ В/м. Найти: 1) смещение протона от первоначального направления движения за время $t = 5$ мкс; 2) его кинетическую энергию в этот момент времени.

266. Электрон летит от одной пластины плоского конденсатора до другой. Разность потенциалов между пластинами 3 кВ, расстояние между пластинами 5 мм. Найти: 1) силу, действующую на электрон; 2) ускорение электрона; 3) скорость, с которой он достигает второй пластины.

267. Электрон, ускоренный внешним электрическим полем, влетает в воздушный конденсатор с плоскими квадратными обкладками на одинаковом удалении от обкладок. Заряд конденсатора $q = 1$ нКл, расстояние между обкладками $d = 1$ см, площадь обкладок $S = 100$ см^2. Определить: 1) энергию конденсатора W; 2) минимальную ускоряющую разность потенциалов внешнего электрического поля U, необходимую для того, чтобы электрон вылетел из конденсатора.

268. Конденсатор емкостью 3 мкФ с площадью пластин 10 см^2 заряжается от источника питания до напряжения 15 В. Найти напряженность электрического поля в конденсаторе.

269. Два конденсатора емкостью 20 и 30 мкФ включены последовательно на участке электрической цепи. Разность потенциалов на концах участка цепи равна 100 В. Найти заряды на каждом конденсаторе и энергию всей системы.

270. Площадь пластин плоского конденсатора равна 100 см^2, а расстояние между ними равно 5 мм и заполнено парафинированной бумагой. Какая разность потенциалов была приложена к пластинам конденсатора, если известно, что при разрядке конденсатора выделилось количество энергии, равное 4,19 мкДж? Определить также напряженность электрического поля между обкладками.

3.5. Постоянный ток

271. Катушка из медной проволоки имеет сопротивление R = 10,8 Ом. Масса проволоки m = 3,41 кг. Сколько метров проволоки и какого диаметра намотано на катушке?

272. Определить, в каких диапазонах может изменяться удельное сопротивление углеродных нанотрубок, если при измерении сопротивления нанотрубок диаметром от 1,4 до 50 нм и длиной от 1 до 5 мкм было получено одинаковое значение, равное R = 12,9 кОм. Рассчитать силу тока в нанотрубке с минимальной проводимостью, если предельная плотность тока составляет $j_{max} = 10^7$ А/см^2.

273. Сила тока i в проводнике изменяется со временем согласно уравнению $i = B + Ct$, где B = 4 А; C = 2 А/с. Какое количество электричества проходит через поперечное сечение проводника за время от t_1 = 2 с до t_2 = 6 с? При какой силе постоянного тока I через поперечное сечение проводника проходит такое же количество электричества?

274. Два цилиндрических проводника равной длины, один из меди, а другой из алюминия, имеют одинаковые сопротивления. Во сколько раз медный провод тяжелее алюминиевого?

275. Вольфрамовая нить электрической лампочки накаливания имеет в накаленном состоянии температуру t = 2300 °С. Какова плотность j и сила тока I, протекающего по нити, если ее диаметр d = 20 мкм, длина l = 0,5 м, а напряжение на нити U = 200 В? Удельное сопротивление вольфрама при 0 °С равно $\rho_0 = 5{,}5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, температурный коэффициент сопротивления $\alpha = 4{,}6 \cdot 10^{-3}$ К$^{-1}$.

276. Элемент с ЭДС 1,1 В и внутренним сопротивлением 1 Ом замкнут на внешнее сопротивление 9 Ом. Найти: 1) силу тока в цепи; 2) падение потенциала во внешней цепи; 3) падение потенциала внутри элемента; 4) КПД источника.

277. Определить плотность и силу тока в плазменной дуге плазмотрона, если концентрация электронов в дуге $n_e = 10^{19}$ м$^{-3}$, диаметр дуги 5 мм, электронная температура $T_e = 10^5$ К.

278. При внешнем сопротивлении $R_1 = 3{,}75$ Ом в цепи протекает ток $I_1 = 0{,}5$ А. Когда в цепь последовательно с первым сопротивлением ввели еще сопротивление $R_2 = 1{,}0$ Ом, сила тока стала $I_2 = 0{,}4$ А. Найти ЭДС и внутреннее сопротивление r источника, а также определить силу тока короткого замыкания.

279. Электрическая цепь состоит из источника тока с ЭДС $\varepsilon = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 2$ Ом и параллельно подключенных сопротивления $R = 3$ Ом и конденсатора емкостью $C = 100$ мкФ. Определить заряд на обкладках конденсатора.

280. Имеются два одинаковых элемента с ЭДС 2 В и внутренним сопротивлением 0,3 Ом. Как надо соединить эти элементы (последовательно или параллельно), чтобы получить бОльшую силу тока в следующих случаях: 1) внешнее сопротивление 0,2 Ом; 2) внешнее сопротивление 16 Ом? Вычислить силу тока в каждом из этих случаев.

3.6. Электромагнетизм

301. По контуру в виде равностороннего треугольника течет ток силой 50 А. Сторона треугольника равна 20 см. Определить магнитную индукцию B в точке пересечения высот.

302. По двум бесконечно длинным прямым проводникам текут, как показано на рис. 3.2, одинаковые токи силой $I_1 = I_2 = 60$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A, равноудаленной от проводников на расстояние $d = 10$ см. Угол $\alpha = 60°$.

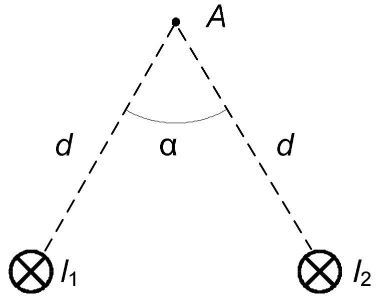


Рис. 3.2

303. По изогнутому под углом 120° длинному проводу течет ток силой $I = 20$ А. Определить напряженность поля на биссектрисе угла в точке A, отстоящей от вершины угла O на 15 см (рис. 3.3).

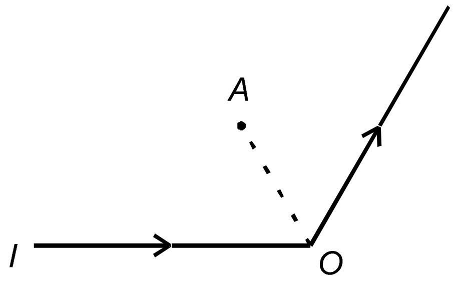


Рис. 3.3

304. Радиусы кольцевых токов силой $I_1 = 10$ А и $I_2 = 5$ А равны $r_1 = 16$ см и $r_2 = 12$ см. Они имеют общий центр, а их плоскости расположены под углом $\alpha = 60°$. Найти напряженность магнитного поля в точке A, являющейся общим центром витков. Рассмотреть два случая направления токов в витках (рис. 3.4).

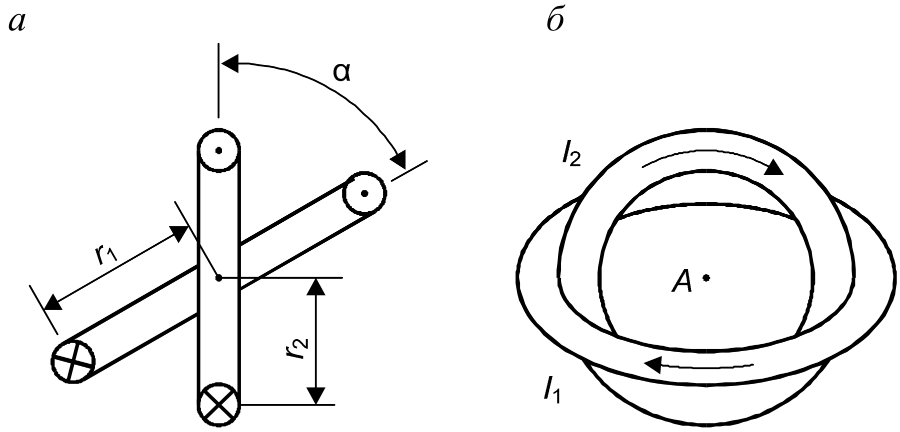


Рис. 3.4

305. На рис. 3.5 изображен бесконечно длинный провод, изогнутый под прямым углом. Определить индукцию магнитного поля B в точке A, лежащей на биссектрисе угла и отстоящей на 10 см от его вершины O, если по проводу течет ток силой $I = 20$ А.

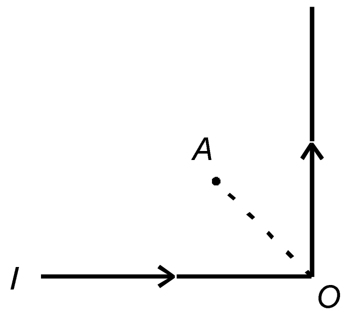


Рис. 3.5

306. По двум скрещенным под прямым углом и почти касающимся друг друга бесконечно длинным проводам текут токи силой $I_1 = 100$ А и $I_2 = 200$ А. Определить индукцию поля в точке A, отстоящей от проводов на $d = 10$ см. Рассмотреть все возможные направления токов (рис. 3.6).

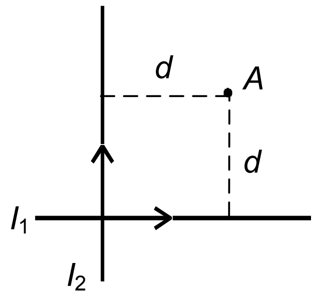


Рис. 3.6

307. По кольцу радиусом $R = 20$ см течет ток силой $I = 100$ А. Определить магнитную индукцию B в точке A, лежащей на оси кольца (рис. 3.7). Угол $\alpha = 45°$.

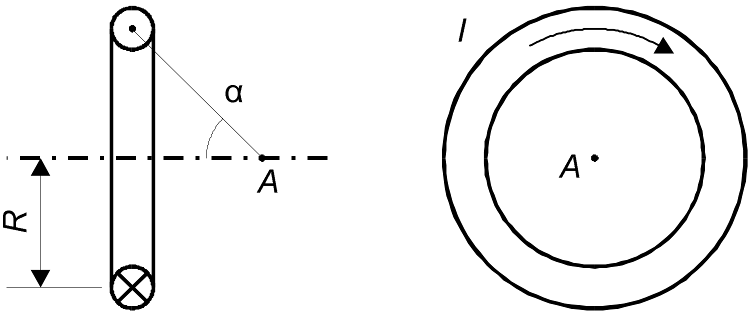


Рис. 3.7

308. Расстояние между параллельными длинными проводами, по которым в противоположных направлениях текут токи силой 50 и 100 А, равно 16 см. Как расположена линия, на которой индукция поля равна нулю? На каком расстоянии она находится от провода с током силой 50 А?

309. По изолированному кольцевому проводнику радиусом 20 см течет ток силой 10 А. Перпендикулярно плоскости кольца проходят два длинных провода с токами силой 10 и 20 А так, что они касаются кольца в точках, лежащих на противоположных концах диаметра. Определить индукцию в центре кольца, когда токи текут в одинаковых и в противоположных направлениях.

310. По проводнику, согнутому в виде прямоугольника со сторонами 8 и 12 см, течет ток силой 50 А. Определить напряженность H и индукцию B магнитного поля в точке пересечения диагоналей прямоугольника.

311. По двум параллельным проводам длиной 5 м каждый текут в одном направлении одинаковые токи силой $I = 500$ А. Расстояние между проводами $d = 10$ см. Определить силу, действующую на проводники, если они находятся в магнитном поле $B = 1$ мТл, направленном перпендикулярно плоскости проводников.

312. По трем параллельным проводам, находящимся в одной плоскости на расстоянии $d = 20$ см друг от друга, текут одинаковые токи силой 400 А. В двух проводах направление токов совпадает. Вычислить силу, действующую на единицу длины каждого проводника.

313. Квадратная проволочная рамка расположена в одной плоскости с прямым длинным проводом так, что две ее стороны параллельны проводу. По рамке и проводу текут одинаковые токи силой $I = 200$ А. Определить силу, действующую на рамку, если ближайшая к проводу сторона рамки находится на расстоянии, равном ее длине $a = 4$ см.

314. Два параллельных проводника длиной $l = 1$ м находятся в однородном магнитном поле на расстоянии 10 см друг от друга. По проводникам текут равные токи силой 10 А. Внешнее магнитное поле перпендикулярно плоскости проводников, а его индукция равна 0,2 мТл. Чему равны силы, действующие на проводники, когда токи в них текут в одинаковых и в противоположных направлениях?

315. В однородном магнитном поле напряженностью 500 А/м находятся два параллельных проводника длиной $l = 1$ м каждый, по которым в одном направлении текут токи силой 50 А. Взаимное расположение проводников остается неизменным, но плоскость проводников может располагаться под различными углами по отношению к направлению однородного поля. Чему равны максимальное и минимальное значения сил, действующих на проводники? Расстояние между проводниками $d = 10$ см.

316. Сила тока в электродуге плазмотрона равна 200 А. Для создания эффекта сканирующего воздействия плазменной дуги на поверхность материала на дугу воздействуют поперечным магнитным полем, изменяющимся по закону $B = B_0\sin(2\pi\nu t)$, где $B_0 = 0{,}02$ Тл; $\nu = 50$ Гц. Определить среднее значение модуля отклоняющей силы в расчете на единицу длины дуги.

317. Электрическая цепь замкнута подвижным проводником длиной $l = 0{,}5$ м, который движется вертикально вниз с постоянной скоростью. Цепь находится в поперечном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. Мощность, отдаваемая источником питания в цепь, равна $P = 2{,}5$ Вт, общее сопротивление цепи $R = 15$ Ом. Определить массу проводника.

318. По трем параллельным проводникам, находящимся на одинаковом расстоянии $d = 10$ см друг от друга, текут одинаковые токи силой $I = 100$ А. Во всех проводах направления токов совпадают. Вычислить для каждого из проводов отношение силы, действующей на него, к его длине.

319. Проводник длиной $l = 80$ см подвешен горизонтально на двух пружинах жесткостью по 200 Н/м. По проводу течет ток силой $I = 10$ А. При включении однородного магнитного поля, направленного перпендикулярно проводнику, он опускается на 2 см. Найти магнитную индукцию поля.

320. Горизонтальные рельсы находятся на расстоянии $l = 0{,}3$ м друг от друга. На них лежит стержень, перпендикулярный рельсам. Какой должна быть индукция однородного магнитного поля для того, чтобы стержень начал двигаться, если по нему пропускается ток силой $I_0 = 50$ А? Коэффициент трения стержня о рельсы $\mu = 0{,}02$, масса стержня $m = 0{,}5$ кг.

321. Электрон вращается в поперечном магнитном поле с частотой $n = 55{,}5 \cdot 10^6$ об/с. Определить индукцию магнитного поля.

322. В однородное магнитное поле с индукцией $B = 0{,}01$ Тл влетела частица, несущая элементарный заряд, и стала двигаться по окружности радиусом $R = 0{,}5$ мм. Определить момент импульса частицы L при ее движении в магнитном поле.

323. Электрон, пройдя ускоряющую разность потенциалов $U = 1$ кВ в электрическом поле, влетает в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Определить смещение траектории электрона после того как он вылетит из магнитного поля, если индукция поля $B = 2$ мТл.

324. Заряженная частица с кинетической энергией $T = 2$ кэВ движется в однородном магнитном поле по окружности радиусом $R = 4$ мм. Определить силу Лоренца $F_{\text{Л}}$, действующую на частицу со стороны поля.

325. Электрон движется по окружности в однородном магнитном поле с напряженностью $H = 5$ кА/м. Определить частоту вращения электрона.

326. Электрон движется в магнитном поле с индукцией $B = 4$ мТл по окружности радиусом $R = 0{,}8$ см. Определить кинетическую энергию электрона.

327. Протон и α-частица, ускоренные одинаковой разностью потенциалов, влетают в однородное магнитное поле. Во сколько раз радиус кривизны траектории протона больше радиуса кривизны траектории α-частицы?

328. Электрон движется в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10$ мТл по окружности радиусом $R = 1{,}5$ см. Определить период обращения электрона и его скорость.

329. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 2$ Тл движется α-частица, траектория движения которой представляет собой окружность радиусом $R = 1$ см. Определить кинетическую энергию частицы.

330. Заряженная частица движется по прямолинейной траектории в скрещенных под прямым углом электрическом и магнитном полях с напряженностями, равными соответственно $E = 200$ В/см и $H = 1$ кА/м. Траектория частицы перпендикулярна как вектору $\vec{E}$, так и вектору $\vec{H}$. Определить скорость движения частицы.

331. Проводник длиной $l = 50$ см, по которому течет ток силой $I = 1$ А, движется перпендикулярно магнитному полю напряженностью $H = 20$ А/м ($\mu = 1$) со скоростью $v = 50$ км/ч. Определить работу при перемещении проводника в течение $t = 1$ мин.

332. Проводник длиной $l = 0{,}6$ м сопротивлением $R = 0{,}05$ Ом движется в плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю с индукцией $B = 0{,}5$ Тл. По проводнику течет ток силой $I = 4$ А. Скорость движения проводника $v = 0{,}8$ м/с. Во сколько раз мощность, затраченная на перемещение проводника в магнитном поле, отличается от мощности, затраченной на его нагревание?

333. В горизонтальной плоскости вращается прямолинейный проводник длиной $l = 0{,}5$ м вокруг оси, проходящей через его конец. При этом он нормально пересекает вертикальное однородное магнитное поле напряженностью $H = 50$ А/м ($\mu = 1$). По проводнику течет ток силой $I = 4$ А, а скорость его вращения $n = 20$ об/с. Вычислить работу вращения проводника за $t = 2$ мин.

334. В плоскости, перпендикулярной магнитному полю напряженностью $H = 100$ А/м, вращается с частотой $n = 50$ об/с прямолинейный проводник длиной $l = 1$ м, по которому течет ток силой $I = 10$ А. Ось вращения проходит через один из концов проводника. Определить работу, совершаемую полем за $t = 10$ с.

335. Виток радиусом $r = 20$ см, по которому течет ток силой $I = 50$ А, свободно установился в поле напряженностью $H = 1$ кА/м. Затем виток повернули относительно диаметра на угол 30°. Определить совершенную при этом работу.

336. Определить магнитный поток Φ, пронизывающий плоский контур площадью $S = 20$ см^2, если он находится в однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}03$ Тл и его плоскость составляет угол 60° с направлением линий индукции.

337. Числовая плотность витков соленоида $n = 8$ витков/см. В средней части соленоида помещен круговой виток диаметром d = 4 см. Плоскость витка расположена под углом 60° к оси соленоида. Определить магнитный поток Φ, пронизывающий виток, если по обмотке соленоида течет ток силой $I = 1$ А.

338. Виток, в котором поддерживается постоянная сила тока, равная $I = 60$ А, свободно установился в магнитном поле с индукцией B = 20 мТл. Диаметр витка d = 10 см. Какую работу нужно совершить, чтобы повернуть виток относительно оси, совпадающей с диаметром, на угол 60°?

339. В проволочное кольцо, присоединенное к баллистическому гальванометру, вставили прямой магнит. При этом по цепи прошел заряд $q = 50$ мкКл. Определить изменение магнитного потока через кольцо, если известно, что сопротивление цепи гальванометра $R = 10$ Ом.

340. Круговой контур радиусом r = 2 см помещен в однородное магнитное поле напряженностью $H = 2$ кА/м перпендикулярно силовым линиям. По контуру течет ток силой $I = 2$ А. Какую работу надо совершить, чтобы повернуть контур на угол 90° вокруг оси, совпадающей с диаметром контура?

341. По графику, представленному на рисунке (см. приложение), определить магнитную проницаемость стали для значений индукции намагничивающего поля, равных $B_1 = 0{,}4$ мТл и $B_2 = 1{,}2$ мТл.

342. Во сколько раз изменится магнитный поток, если чугунный сердечник в соленоиде заменить стальным того же размера? Индукция намагничивающего поля B = 2,2 мТл (см. приложение, рисунок).

343. Внутри соленоида без сердечника индукция поля $B = 2$ мТл. Используя рисунок (см. приложение) определить, каким станет магнитный поток, если в соленоид ввести чугунный сердечник с площадью поперечного сечения $S = 100$ см^2.

344. Соленоид содержит $N = 500$ витков. При силе тока I = 10 А магнитный поток $\Phi = 80$ мкВб. Определить индуктивность соленоида.

345. Соленоид имеет стальной полностью размагниченный сердечник объемом $V = 500$ см^3. Напряженность магнитного поля соленоида при силе тока $I = 0{,}5$ А равна $H = 1$ кА/м. Используя рисунок (см. приложение), определить индуктивность соленоида.

346. Обмотка соленоида с железным сердечником содержит $N = 600$ витков. Длина сердечника l = 40 см. Используя рисунок (см. приложение), определить, во сколько раз изменится индуктивность соленоида, если сила тока, протекающего по обмотке, возрастет от 0,4 до 1 А.

347. На железный полностью размагниченный сердечник диаметром $d = 5$ см и длиной $l = 80$ см намотано $N = 2{,}4 \cdot 10^3$ витков провода. Используя рисунок (см. приложение), определить индуктивность получившегося соленоида при силе тока $I = 0{,}6$ А.

348. Тороид выполнен из мягкой стали. Индукция поля одинакова во всех точках внутри тороида и равна $B = 1{,}2$ Тл. Диаметр проволоки, из которой сделана однослойная обмотка, равен $d = 1$ мм, объем тороида $V = 1{,}0$ дм^3. Определить индуктивность тороида и ток, текущий по его обмотке.

349. Используя рисунок (см. приложение), составить таблицу изменения магнитной проницаемости в зависимости от напряженности магнитного поля для стали с шагом 500 А/м. Построить график.

350. Используя рисунок (см. приложение), определить, как изменится магнитный поток, если железный сердечник в соленоиде заменить стальным, диаметр которого в 1,5 раза больше, чем железного, при той же длине. Индукция намагничивающего поля равна 2 мТл.

351. Источник питания с ЭДС $\varepsilon = 10$ В и внутренним сопротивлением $r = 1$ Ом замыкается проводящим проводом длиной $l = 4$ м на внешнее сопротивление $R = 4$ Ом. Затем цепь помещается во внешнее поперечное магнитное поле с индукцией, возрастающей со скоростью $\Delta B/\Delta t = 3{,}14$ Тл/с. Определить максимально возможное значение силы тока цепи в магнитном поле. Сопротивлением провода пренебречь.

352. Рамка площадью $S = 400$ см^2 имеет $N = 100$ витков провода и вращается с периодом $T = 20$ мс в однородном магнитном поле с индукцией $B = 10$ мТл вокруг оси, перпендикулярной магнитному полю. Концы провода через скользящие контакты замкнуты на сопротивление $R = 50$ Ом. Определить силу тока, протекающего через сопротивление. Какова частота протекающего тока?

353. Катушка диаметром $D = 10$ см намотана из медного провода сечением $S = 0{,}1$ мм^2 и содержит $N = 50$ витков. Определите: 1) максимальное значение ЭДС индукции $\varepsilon_{\max}$ в катушке при ее вращении с частотой 50 об/с в магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл; 2) максимальный ток в катушке $I_{\max}$. Удельное электрическое сопротивление меди $\rho_0 = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

354. Из двух кусков проволоки одинаковой длины изготовлены круглый и квадратный контуры. Контуры помещены в переменное поперечное магнитное поле. Каково отношение индуктивных токов в этих контурах ($I_{\text{квад}}/I_{\text{круг}}$) при одинаковой скорости изменения силы тока?

355. Из медного проводника длиной l = 30 см и сечением S_0 = 10 мм^2 изготовлен круговой контур и помещен в поперечное, убывающее по закону $B = B_0 - Ct$ (B_0 = 0,5 Тл; C = 0,05 Тл/с) магнитное поле. Определить ЭДС индукции и силу тока в контуре в момент времени t = 4 с. Удельное электрическое сопротивление меди $\rho_0 = 1{,}7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м

356. Плоский проволочный виток площадью S = 200 см^2 и сопротивлением R = 2 Ом расположен в магнитном поле, индукция которого возрастает по закону $B = Ct^2$ (С = 10 мТл/с^2). Определить силу тока в контуре в момент t = 2 с. Сделать рисунок, где указать направление индукционного тока.

357. Цепь состоит из катушки с индуктивностью L = 0,1 Гн и источника тока, после отключения которого без разрыва цепи сила тока уменьшилась до 0,1 % от первоначального значения за время, равное t = 0,07 с. Определить сопротивление катушки.

358. Источник тока замкнули на катушку, сопротивление которой равно R = 20 Ом. По истечении времени t = 0,1 с сила тока замыкания достигла 95 % от предельного значения. Определить индуктивность катушки.

359. В электрической цепи, состоящей из сопротивления R = 20 Ом и индуктивности L = 0,06 Гн, течет ток силой I_0 = 20 А. Определить силу тока в цепи через t = 0,3 мс после того, как цепь будет отключена от источника тока и соединены накоротко сопротивление и катушка.

360. Источник тока замкнули на катушку сопротивлением R = 10 Ом и индуктивностью L = 0,2 Гн. Через какое время сила тока в цепи достигнет 50 % от максимального значения?

361. Число витков в соленоиде N = 800, его длина l = 20 см, а поперечное сечение S = 4 см^2. При какой скорости изменения силы тока в соленоиде индуцируется ЭДС самоиндукции, равная 0,4 В?

362. Круглая рамка, имеющая N = 200 витков и площадь S = 100 см^2, равномерно вращается в однородном магнитном поле вокруг оси, перпендикулярной полю и проходящей через диаметр рамки. Вычислить частоту вращения при индукции поля B = 0,03 Тл, если максимальный ток, индуцируемый в рамке при ее сопротивлении R = 20 Ом, составляет I_m = 0,02 А.

363. В однородном магнитном поле напряженностью H = 1 кА/м равномерно вращается круглая рамка, имеющая N = 100 витков, радиус которых r = 5 см. Ось вращения проходит через диаметр рамки и перпендикулярна магнитному полю. Сопротивление рамки R = 1 Ом, угловая скорость ее вращения ω = 10 с$^{-1}$. Построить график зависимости индуцируемого тока от угла поворота и найти максимальный ток в рамке.

364. В соленоиде без сердечника ток равномерно возрастает со скоростью 0,3 А/с. Числовая плотность витков $n = 1{,}1 \cdot 10^4$ м$^{-1}$, площадь поперечного сечения соленоида $S = 100$ см^2. На соленоид надето изолированное кольцо того же диаметра. Вычислить ЭДС индукции в кольце.

365. Рамка площадью $S = 100$ см^2 равномерно вращается с частотой $n = 5$ об/с относительно оси, лежащей в плоскости рамки и перпендикулярной линиям индукции однородного магнитного поля ($B = 0{,}5$ Тл). Определить среднее значение ЭДС индукции за время, в течение которого магнитный поток, пронизывающий рамку, изменится от нуля до максимального значения.

366. Площадь рамки, содержащей $N = 1000$ витков, равна $S = 100$ см^2. Рамка равномерно вращается с частотой $n = 10$ об/с в магнитном поле напряженностью $H = 10$ кА/м. Ось вращения лежит в плоскости рамки и перпендикулярна линиям напряженности. Определить максимальную ЭДС индукции, возникающей в рамке.

367. В однородном магнитном поле с индукцией $B = 0{,}1$ Тл равномерно с частотой $n = 5$ об/с вращается стержень длиной $l = 50$ см так, что плоскость его вращения перпендикулярна линиям напряженности, а ось вращения проходит через один из его концов. Определить индуцируемую на концах стержня разность потенциалов.

368. В соленоиде ток равномерно возрастает от 0 до 50 А в течение 0,5 с, при этом соленоид накапливает энергию 50 Дж. Какая ЭДС индуцируется в соленоиде?

369. Соленоид содержит $N = 800$ витков. Площадь поперечного сечения сердечника из немагнитного материала $S = 10$ см^2. По обмотке течет ток, создающий поле с индукцией $B = 8$ мТл. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, которая возникает на зажимах соленоида, если сила тока уменьшается до нуля за время 0,8 мс.

370. По катушке индуктивностью $L = 8$ мкГн течет ток силой 6 А. При выключении тока его сила уменьшается практически до нуля за $t = 5$ мс. Определить среднее значение ЭДС самоиндукции, возникающей в контуре.

371. Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и двух одинаковых конденсаторов, включенных параллельно. Период собственных колебаний контура $T_1 = 20$ мкс. Как изменится период, если конденсаторы включить последовательно?

372. Колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Вычислить энергию контура, если максимальный ток в катушке I_m = 1,2 А, а максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора U_m = 1,2 кВ. Частота колебаний контура ν = 10 кГц (потерями можно пренебречь).

373. Максимальная энергия магнитного поля колебательного контура $W_m^{\text{маг}}$ = 1 мДж при токе i = 0,8 А. Чему равна частота колебаний контура, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора составляет U_m = 1,2 кВ?

374. Период колебаний контура, состоящего из катушки индуктивности и конденсатора, составляет T = 10 мкс. Чему равен максимальный ток в катушке, если максимальная разность потенциалов на обкладках конденсатора U_m = 900 В? Максимальная энергия электрического поля $W_m^{\text{эл}}$ = 9 мДж.

375. Ток в катушке колебательного контура изменяется в соответствии с уравнением $i = I_0\cos 2\pi\nu t$. Частота колебаний ν = 100 кГц. Определить минимальный промежуток времени, по истечении которого энергия магнитного поля катушки меняется от максимального значения до значения, равного энергии электрического поля конденсатора.

376. В колебательном контуре с периодом колебаний T = 100 мкс напряжение на конденсаторе через промежуток времени t = 25 мкс, прошедший с момента, когда напряжение было равно нулю, составляет U = 500 В. Найти емкость конденсатора при общей энергии контура W = 1 мДж.

377. Конденсатор емкостью C = 50 пФ подключили к источнику тока с ЭДС, равной ε = 3 В, а затем к катушке с индуктивностью L = 1 мкГн. Определить максимальное значение силы тока и частоту колебаний, возникающих в контуре.

378. Цепь переменного тока образована последовательным соединением активного сопротивления R = 800 Ом, индуктивности L = 1,27 Гн и емкости C = 1,59 мкФ. На зажимы подано напряжение U = 127 В с частотой ν = 50 Гц. Найти действующее значение силы тока $I_{\text{эф}}$, сдвиг фаз между током и напряжением, а также мощность, выделяющуюся в цепи.

379. Генератор радиоволн состоит из конденсатора и катушки индуктивности. Площадь пластин конденсатора S = 0,025 м^2, расстояние между пластинами d = 1 мм, диэлектрическая проницаемость диэлектрика ε = 4. Определить длину волны λ, излучаемой генератором, если известно, что при изменении тока на 2 А за 0,5 с в катушке индуцируется ЭДС равная 1 мВ.

380. Определить длину электромагнитной волны в вакууме, на которую настроен колебательный контур, если максимальный заряд конденсатора $q_m = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл, а максимальная сила тока в контуре $I_m = 1$ А. Определить напряжение на конденсаторе в момент, когда энергия магнитного поля составляет 75 % от ее максимального значения. Индуктивность контура $L = 2 \cdot 10^{-7}$ Гн.

3.7. Волновая и квантовая оптика

401. Световая волна, частота которой $\nu = 5 \cdot 10^{14}$ Гц, переходит из вакуума в диамагнитную среду с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Какова будет длина волны и скорость света в этой среде? Указать цветовую окраску данного диапазона световых волн.

402. При переходе световой волны из вакуума в оптически плотную среду длина волны уменьшилась на 33 %. С какой скоростью распространяется свет в данной среде? Чему равно произведение магнитной и диэлектрической проницаемостей для этой среды?

403. Свет с длиной волны 420 нм преломляется на границе раздела двух сред. Угол падения $\alpha = 45°$, угол преломления $\beta = 30°$. Как изменится длина световой волны?

404. Углы преломления β при падении белого света из воздуха под углом $\alpha = 60°$ на стекло для различных длин волн имеют следующие значения:

λ, мкм	0,40	0,49	0,59	0,69	0,76
β	28°24'	29°3'	29°28''	29°41'	29°48'

Построить по этим данным зависимость диэлектрической проницаемости стекла от длины волны $\varepsilon(\lambda)$.

405. Узкий светового пучок белого света падает под углом $\alpha = 45°$ на стекло. Определить угол расхождения светового пучка в стекле, если показатели преломления для красного и фиолетового лучей для данного сорта стекла равны $n_{кр} = 1{,}57$ и $n_{ф} = 1{,}59$, соответственно.

406. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 500$ нм. Отраженный от пленки свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d пленки, если показатель преломления материала пленки $n = 1{,}4$.

407. Расстояние l от щелей до экрана в опыте Юнга равно 1 м. Длина волны λ = 0,7 мкм. Определить расстояние между щелями, если на отрезке длиной x = 1 см укладывается N = 10 темных интерференционных полос.

408. На стеклянную пластинку нанесен тонкий слой прозрачного вещества с показателем преломления n = 1,3. Пластинка освещена параллельным пучком монохроматического света с длиной волны λ = 540 нм, падающим на пластинку нормально. Какую минимальную толщину d должен иметь слой, чтобы отраженный пучок имел наименьшую яркость?

409. Световой луч, распространявшийся в воздухе с частотой $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц, разделяют на два луча. Указать результат сложения этих лучей, если первый из них проходит путь 4,5 мкм в среде с диэлектрической проницаемостью ε = 4, а второй – 8,5 мкм в воздухе.

410. Определить расстояние между двумя соседними интерференционными светлыми полосами, образующимися на поверхности косого клина в отраженном монохроматическом свете. Угол раствора клина α = 0,5', показатель преломления материала клина n = 1,5, длина волны падающего на клин света λ = 600 нм.

411. Постоянная дифракционной решетки в 4 раза больше длины световой волны монохроматического света, нормально падающего на ее поверхность. Определить угол α между двумя первыми симметричными дифракционными максимумами.

412. На поверхность дифракционной решетки нормально падает монохроматический свет. Дифракционная решетка с периодом d = 0,01 мм находится на расстоянии L = 2 м от экрана. Решетка освещается монохроматическим светом. Расстояние между двумя ближайшими светлыми линиями, лежащими по разные стороны от центральной полосы дифракционной картины, равно 3 см. Сколько дифракционных максимумов можно наблюдать в данном случае?

413. Дифракционная картина наблюдается на расстоянии 2 м от источника монохроматического света с длиной волны 0,6 мкм. На расстоянии 80 см от экрана находится диафрагма с круглым отверстием. Определить радиус отверстия, при котором центр картины будет наиболее светлым.

414. Определить расстояние от точки наблюдения до круглого отверстия диаметром 4 мм, открывающего 5 зон Френеля, при падении на него плоской монохроматической световой волны с длиной 0,5 мкм.

415. Найти длину волны и частоту рентгеновского излучения, падающего под углом 30° на грань кристалла с межатомным расстоянием 0,4 нм, если при этом наблюдается дифракционный максимум 3-го порядка.

416. Пучок света последовательно проходит через два николя, плоскости пропускания которых образуют между собой угол $\varphi = 40°$. Принимая, что коэффициент поглощения каждого николя равен $k = 0{,}15$, найти, во сколько раз пучок света, выходящий из второго николя, ослаблен по сравнению с пучком, падающим на первый николь.

417. Угол падения луча на поверхность стекла равен 50°. При этом отраженный пучок света оказался максимально поляризованным. Определить угол преломления луча.

418. Угол между плоскостями пропускания поляризаторов равен 30°. Естественный свет, проходя через такую систему, ослабляется в 4 раза. Пренебрегая потерей света при отражении, определить коэффициент поглощения света в поляризаторах.

419. Пучок света, идущий в стеклянном сосуде с глицерином, отражается от дна сосуда. При каком угле падения отраженный пучок света максимально поляризован?

420. При прохождении света через трубку длиной $l_1 = 20$ см, содержащую раствор сахара с концентрацией $C_1 = 0{,}1$ г/см^3, плоскость поляризации света повернулась на угол $\varphi_1 = 13{,}3°$. В другом растворе сахара, налитом в трубку длиной $l_2 = 15$ см, плоскость поляризации повернулась на угол $\varphi_2 = 5{,}2°$. Определить концентрацию C_2 второго раствора.

421. Площадь, ограниченная графиком лучеиспускательной способности $r_{\lambda,T}$ черного тела, изменилась в 10 раз. Как изменится при этом длина волны λ_{max}, соответствующая максимуму спектра теплового излучения?

422. С нагретой металлической поверхности площадью $S = 20$ см^2 при температуре $T = 1400$ К за время $t = 2$ мин излучается энергия $W = 418$ кДж. Определить коэффициент теплового излучения ε металла, считая металл серым телом.

423. Из смотрового окошечка печи излучается поток энергии $N = 4$ кДж/мин. Определить температуру T печи, если площадь окошечка $S = 8$ см^2.

424. Поток излучения абсолютно черного тела $N = 10$ кВт, максимум энергии излучения приходится на длину волны $\lambda_m = 0{,}8$ мкм. Определить площадь излучающей поверхности.

425. Как и во сколько раз изменится поток излучения абсолютно черного тела, если максимум энергии излучения переместится с красной границы видимого спектра $\lambda_{кр}$ = 780 нм на фиолетовую $\lambda_{ф}$ = 390 нм?

426. Импульс, переносимый монохроматическим пучком фотонов через площадку площадью S = 4 см^2 за время t = 0,5 мин, равен $P = 3 \cdot 10^{-9}$ кг·м/с. Найти для этого пучка модуль вектора Умова – Пойнтинга.

427. Найти длину волны излучения, у которого импульс фотона равен импульсу ускоренного напряжением U = 4 мВ электрона. Определить соответствующий данному излучению диапазон по шкале электромагнитных волн.

428. Нормально падающий на зачерненную поверхность площадью S = 50 см^2 монохроматический свет с длиной волны λ = 600 нм передает ей за время t = 2 мин энергию W = 90 Дж. Определить: 1) число упавших фотонов; 2) световое давление на поверхность.

429. Определить давление света на стенки 100-ваттной электрической лампочки, считая, что вся потребляемая ею мощность идет на излучение. Коэффициент отражения стенок лампочки 10 %. Лампочку считать сферой диаметром 4 см.

430. Определите энергию, массу и импульс фотонов рентгеновского излучения с длиной волны λ = 20 пм.

431. Фотон с энергией E = 10 эВ падает на серебряную пластину и вызывает фотоэффект. Определить импульс p, полученный пластиной, если принять, что направления движения фотона и фотоэлектрона лежат на одной прямой, перпендикулярной к поверхности пластины.

432. На фотоэлемент с катодом из лития падает свет с длиной волны λ = 200 нм. Найти максимальную скорость вылетающих фотоэлектронов и наименьшее значение задерживающей разности потенциалов U, которую нужно приложить к фотоэлементу, чтобы прекратить фототок.

433. Монохроматический ультрафиолетовый свет с длиной волны λ = 50 нм падает на алюминиевую пластинку, вырывая из нее электроны. Красная граница фотоэффекта $\nu_{кр}^{Al} = 9 \cdot 10^{14}$ Гц. Определить максимально возможное удаление l электрона от поверхности пластинки, если напряженность задерживающего электрического поля E = 500 В/м.

434. На металлическую пластину направлен пучок ультрафиолетового излучения (λ = 0,25 мкм). Фототок прекращается при минимальной задерживающей разности потенциалов U = 0,96 В. Определить работу выхода электронов из металла.

435. На поверхность металла падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda = 0{,}1$ мкм. Красная граница фотоэффекта $\lambda_0 = 0{,}1$ мкм. Какая доля энергии фотона расходуется на сообщение электрону кинетической энергии?

436. Фотон при эффекте Комптона на свободном электроне был рассеян на угол $\theta = 90°$. Определить импульс p_e, приобретенный электроном, если энергия фотона до рассеяния была равна $\varepsilon_1 = 1{,}02$ МэВ.

437. Рентгеновское излучение ($\lambda = 1$ пм) рассеивается электронами, которые можно считать практически свободными. Определить импульс электронов отдачи и максимальную длину волны λ_{max} рентгеновского излучения в рассеянном пучке.

438. Какая доля энергии фотона приходится при эффекте Комптона на электрон отдачи, если угол рассеяния фотона равен $\theta = 90°$? Энергия фотона до рассеяния $\varepsilon_1 = 0{,}51$ МэВ.

439. Определить угол, на который был рассеян γ – квант с энергией $\varepsilon_1 = 0{,}8$ МэВ при эффекте Комптона, если кинетическая энергия электрона отдачи $E = 0{,}2$ МэВ.

440. Фотон с энергией $\varepsilon_1 = 0{,}51$ МэВ был рассеян при эффекте Комптона на свободном электроне на угол $\theta = 180°$. Определить кинетическую энергию электрона отдачи.

3.8. Физика атома и атомного ядра

441. Кинетическая энергия электрона равна энергии фотона и составляет 1,025 эВ. Найти: 1) массу фотона; 2) $\lambda_ф / \lambda_э$ – отношение длины волны фотона к длине волны электрона.

442. Кинетическая энергия электрона равна энергии ионизации атома водорода и составляет 13,5 эВ. Вычислить длину волны де Бройля λ для электрона. Сравнить полученное значение λ с диаметром d атома водорода (найти отношение λ / d). Нужно ли учитывать волновые свойства электрона при изучении движения электрона в атоме водорода? Диаметр атома водорода принять равным удвоенному значению боровского радиуса.

443. Какую ускоряющую разность потенциалов U должен пройти протон, чтобы длина волны де Бройля λ была равна: 1) 1 нм; 2) 1 пм?

444. Вычислить длину волны де Бройля λ протона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов U, равную: 1) 1 МВ; 2) 1 ГВ.

445. Определить и сравнить длины волн де Бройля α-частицы и протона, прошедших одинаковую разность потенциалов $U = 1$ кВ.

446. При какой кинетической энергии частицы применение нерелятивистской формулы для расчета длины волны де Бройля даст ошибку менее 10 %?

447. Кинетическая энергия электрона равна удвоенной энергии покоя. Во сколько раз изменится длина волны де Бройля λ, если кинетическая энергия электрона уменьшится вдвое?

448. Концентрация электронов в плазменной дуге $n_e = 10^{19}$ м$^{-3}$. Определите длину волны де Бройля для электронов, если плотность тока в дуге составляет $2 \cdot 10^6$ А/м^2.

449. Энергия протонов, ускоряемых в БАК (Большом адронном коллайдере, ЦЕРН, Женева), может достигать 7 ТэВ. Определить длину волны де Бройля λ для таких протонов.

450. В проектируемом Международном линейном коллайдере (ILC, Linac) энергия сталкиваемых электронов и позитронов составит по 250 ГэВ на каждую частицу. Определить импульсы и длины волн де Бройля для таких частиц.

451. Протон движется со скоростью равной 99,99975 % от скорости света в вакууме. С какой точностью может быть определена координата протона?

452. В проектируемом Международном линейном коллайдере сфокусированный пучок позитронов с энергией E = 250 ГэВ будет представлять собой плоскую ленту длиной 640 нм. Используя соотношение неопределенностей, оценить неопределенность энергии позитронов в пучке.

453. Атом испустил фотон в течение промежутка времени Δt = 10 нс. Определить наибольшую точность $\Delta\lambda$, с которой может быть измерена длина волны излучения фотона, равная λ = 8 пм.

454. Электрон находится в одномерном потенциальном ящике. Используя соотношение неопределенностей, оценить ширину ящика, если минимальная энергия электрона T = 10 эВ.

455. Частица находится в потенциальном ящике шириной l = 0,5 нм. Определить наименьшую разность ΔE энергетических уровней электрона. Ответ выразить в электрон-вольтах.

456. Частица в потенциальном ящике шириной l находится в низшем возбужденном состоянии. Определить вероятность W нахождения частицы в интервале $l/3$, равноудаленном от стенок ящика. Пояснить ответ графически.

457. Частица находится в потенциальном ящике шириной l в возбужденном состоянии (n = 2). Определить вероятность W нахождения частицы в интервале $(3/8)l < x < (5/8)l$. Пояснить ответ графически.

458. Электрон находится в потенциальном ящике шириной l = 0,1 нм в возбужденном состоянии (n = 4). В каких точках вероятность обнаружения электрона будет максимальна? Вычислить плотность вероятности для этих точек. Результат пояснить графически.

459. Электрон находится в потенциальном ящике шириной l = 0,2 нм. В каких точках в интервале $0 < x < l$ плотность вероятности нахождения электрона на первом и третьем энергетических уровнях одинакова? Вычислить плотность вероятности для этих точек. Результат пояснить графически.

460. Электрон, ускоренный напряжением 15 В, падает на потенциальный барьер с энергией U = 20 эВ и шириной l = 0,1 нм. Во сколько раз изменится коэффициент прозрачности D барьера для электрона, если ускоряющее напряжение уменьшится на 10 В?

461. Найти: 1) радиусы первых трех боровских орбит в атоме водорода; 2) скорость электрона на них.

462. Найти числовые значения кинетической, потенциальной и полной энергии электрона на первой боровской орбите.

463. Вычислить кинетическую энергию электрона, находящегося на n-й орбите атома водорода, для n = 1, n = 2, n = 3 и n = 8.

464. Найти: 1) период обращения электрона на первой боровской орбите атома водорода; 2) угловую скорость электрона.

465. Найти наименьшую и наибольшую длины волн спектральных линий водорода в видимой области спектра.

466. Найти наибольшую длину волны в ультрафиолетовой серии спектра водорода. Какую наименьшую скорость должны иметь электроны, чтобы при возбуждении атомов водорода ударами электронов появилась эта линия?

467. Рентгеновская трубка работает на напряжении U = 100 кВ. Определить скорость электронов, бомбардирующих антикатод, и минимальную длину волны в спектре рентгеновского излучения.

468. Определить энергию фотона, соответствующего K_α-линии (λ = 0,7 Å) в спектре характеристического рентгеновского излучения молибдена.

469. Полупроводник нагревается от 20 до 40 °С и его удельная электропроводность увеличивается при этом в 2,7 раза. Определить E_g – ширину запрещенной зоны полупроводника и λ_0 – длину волны красной границы внутреннего фотоэффекта.

470. Ширина запрещенной зоны полупроводника равна E_g = 0,8 эВ. Будет ли наблюдаться внутренний фотоэффект в этом полупроводнике, если его облучать светом с длиной волны λ = 2 мкм?

471. Найти число протонов и нейтронов, входящих в состав ядра атома $^{27}_{13}\mathrm{Al}$. Определить удельную энергию связи ядра.

472. Сравнить удельные энергии связи ядер изотопов дейтерия $^{2}_{1}\mathrm{H}$ и урана $^{235}_{92}\mathrm{U}$.

473. Сравнить удельные энергии связи ядра атомов гелия $^{4}_{2}\mathrm{He}$ и изотопа урана $^{238}_{92}\mathrm{U}$.

474. Энергия протонов, ускоряемых в БАК, может достигать 7 ТэВ. Определить энергию, которая может выделиться в ускорителе, если БАК сталкивает 20 встречно движущихся протонов между собой с интенсивностью $3 \cdot 10^7$ раз в секунду в течение 10 мин. Какая суммарная масса элементарных частиц может образоваться в таком эксперименте?

475. Найдите энергию, выделяющуюся при термоядерной реакции синтеза гелия $^{4}_{2}\mathrm{He}$ массой m = 1 кг из ядер дейтерия $^{2}_{1}\mathrm{H}$ и трития $^{3}_{1}\mathrm{H}$. Запишите соответствующую реакцию.

476. Исходными компонентами ядерной реакции являются $^{14}_{7}\mathrm{N}$ и $^{4}_{2}\mathrm{He}$, а одним из продуктов – $^{17}_{8}\mathrm{O}$. Записать уравнение этой реакции и найти ее энергию. Освобождается или поглощается эта энергия?

477. Какая энергия выделится, если в ходе протекания реакции $^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{14}\mathrm{Si} + ^{1}_{1}\mathrm{H}$ подвергнутся превращению все ядра, находящиеся в m = 1 г алюминия? Числовая плотность алюминия $n = 6 \cdot 10^{22}$ см$^{-3}$.

478. Реакция (n, α) на изотопе бора $^{10}_{5}\mathrm{B}$ идет при бомбардировке ядер медленными нейтронами. Найти энергию, выделяющуюся при этой реакции, и скорость α-частицы.

479. Какую энергию можно получить в результате деления 1 г урана $^{235}_{92}\mathrm{U}$, если при каждом делении ядра выделяется энергия, равная 200 МэВ?

480. Какая масса урана $^{235}_{92}\mathrm{U}$ расходуется в сутки на атомной электростанции мощностью 5 МВт? КПД электростанции η = 17 %, а энергия, выделяющаяся при каждом акте распада, равна 200 МэВ.

481. Кинетическая энергия α-частицы, вылетающей из ядра атома радия при радиоактивном распаде, равна T = 4,78 МэВ. Найти скорость α-частицы и полную энергию, выделяющуюся при ее вылете.

482. Какой изотоп образуется из ядра $^{232}_{90}\mathrm{Th}$ после четырех α-распадов и двух β-распадов?

483. Кинетическая энергия α-частицы, вылетающей из ядра атома полония $^{210}_{84}\mathrm{Po}$ при радиоактивном распаде, равна $T = 7{,}58$ МэВ. Найти скорость α-частицы и полную энергию, выделенную ядром при его распаде.

484. Какой изотоп образуется из ядра атома урана $^{238}_{92}\mathrm{U}$ после трех α-распадов и двух β-распадов? Каков состав ядра этого изотопа?

485. Радиоактивный изотоп $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ распадается с периодом полураспада $T_{1/2} = 15{,}3$ ч. Определите количество ядер ΔN, распавшихся в одном миллиграмме этого изотопа за время $t = 10$ ч.

486. Определить постоянную распада и период полураспада радионуклида, если за три дня число радиоактивных ядер уменьшилось на 13,5 %.

487. За какое время распадется 2 мг полония $^{210}_{84}\mathrm{Po}$, если в начальный момент его масса составляет 0,2 г? Период полураспада данного изотопа равен 138 суткам.

488. Определить период полураспада висмута $^{210}_{83}\mathrm{Bi}$, если известно, что висмут массой 1,0 г выбрасывает за одну секунду $4{,}58 \cdot 10^{15}$ β-частиц.

489. Период полураспада $^{238}_{92}\mathrm{U}$ равен $4{,}5 \cdot 10^{9}$ лет. Сколько ядер распадается за 1 с в куске урана $^{238}_{92}\mathrm{U}$ массой 1,0 кг? Какова активность этого куска?

490. Период полураспада $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ равен $T_{1/2} = 15{,}3$ ч. Больному ввели внутривенно раствор объемом $V_{\text{р}} = 1$ см^3, содержащий искусственный радиоизотоп натрия $^{24}_{11}\mathrm{Na}$ активностью $A_0 = 2{,}0$ кБк. Активность крови объемом $V_{\text{к}} = 1$ см^3, взятой через 5 ч, оказалась равной $A = 0{,}27$ Бк. Найти полный объем крови в организме человека.

Заключение

Преподавание курса физики в современных условиях сопряжено с трудностью соблюдения большого числа новых методических требований, что обусловлено переходом на новые стандарты образования: модульность и практическая направленность обучения, увеличение доли самостоятельной работы студентов, снижение аудиторной нагрузки на обучающихся. При этом актуальным остается требование обеспечения наряду с базовым уровнем подготовки получения студентами знаний, касающихся последних достижений по профилю изучаемого предмета.

Представленное учебно-методическое пособие отвечает упомянутым требованиям и соответствует специфике современного образовательного процесса. Его применение возможно как на аудиторных занятиях, так и при самостоятельном изучении дисциплины и позволяет обучающимся сформировать компетенции, характерные для базового естественнонаучного модуля и смежных с физикой дисциплин профильного модуля вариативной части учебных планов различных сроков обучения. Широкая палитра представленных в пособии задач позволяет студентам различных профилей обучения получить практические навыки в области классической физики и обращает их внимание на открытия и исследования, сделанные в последние годы или планируемые на ближайшее время.

Авторы надеются, что данное пособие окажется полезным большому числу обучающихся и планируют в его последующих изданиях не изменять тому курсу, которым следует современная физика.

Библиографический список

1. *Воронов В. К.* Современная физика: учебное пособие / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов. Москва: ЛКИ, 2005. 512 с.

2. *Воронов В. К.* Современная физика. Конденсированное состояние: учебное пособие / В. К. Воронов, А. В. Подоплелов. Москва: ЛКИ, 2008. 336 с.

3. *Ивлиев А. Д.* Физика: учебное пособие для студентов вузов / А. Д. Ивлиев. Санкт-Петербург: Лань, 2009. 692 с.

4. *Савельев И. В.* Курс общей физики: учебное пособие для втузов: в 3 книгах / И. В. Савельев. Санкт-Петербург: Лань, 2008. Кн. 1: Механика. Молекулярная физика. 432 с.

5. *Савельев И. В.* Курс общей физики: учебное пособие для втузов: в 3 книгах / И. В. Савельев. Санкт-Петербург: Лань, 2008. Кн. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. 496 с.

6. *Савельев И. В.* Курс общей физики: учебное пособие для втузов: в 3 книгах / И. В. Савельев. Санкт-Петербург: Лань, 2008. Кн. 3: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела.Физика атомного ядра и элементарных частиц. 406 с.

7. *Трофимов В. И.* Курс общей физики / В. И. Трофимов. Москва: Наука, 2011. 205 с.

8. *Трофимова Т. И.* Курс физики: учебник для студентов вузов / Т. И. Трофимова. Москва: Академия, 2006. 560 с.

9. *Трофимова Т. И.* Физика. 500 основных законов и формул: справочник для студентов вузов / Т. И. Трофимова. Москва: Высшая школа, 2007. 63 с.

10. *Трофимова Т. И.* Физика в таблицах и формулах / Т. И. Трофимова. Москва: Academia, 2008. 448 с.

11. *Фирганг Е. В.* Руководство к решению задач по курсу общей физики: учебное пособие для вузов / Е. В. Фирганг. Санкт-Петербург: Лань, 2008. 352 с.

12. *Яворский Б. М.* Курс физики: учебное пособие для втузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. Москва: Академия, 2009. 720 с.

13. *Яворский Б. М.* Справочник по физике для инженеров и студентов втузов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф, А. К. Лебедев. Москва: Оникс: Мир и образование; Минск: Харвест, 2008. 1056 с.

Приложение

Таблица 1

Некоторые физические и астрономические константы

Константа	Числовое значение
Число Авогадро	N_A = 6,02205 · 10^{23} моль$^{-1}$
Молярный объем идеального газа при нормальных условиях	V_0 = 22,4 · 10^{-3} м^3/моль
Универсальная газовая постоянная	R = 8,3144 Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	k = 1,3807 · 10^{-23} Дж/К
Постоянная Стефана – Больцмана	σ = 5,670 · 10^{-8} Вт/(м^2·К^4)
Постоянная Планка	h = 6,6252 · 10^{-34} Дж·с
Заряд электрона	e = –1,60219 · 10^{-19} Кл
Скорость света в вакууме	c = 2,997925 · 10^8 м/с
Радиус Земли	$R_З$ = 6,37 · 10^6 м
Масса Земли	$m_З$ = 5,96 · 10^{24} кг

Таблица 2

Диаметр атомов и молекул

Химический элемент	Диаметр, нм
Гелий (He)	0,20
Водород (H_2)	0,23

Таблица 3

Свойства некоторых твердых тел

Вещество	Плотность, 10^3 кг/м^3	Температура плавления, °С	Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	Удельная теплота плавления, 10^5 Дж/кг
Алюминий	2,5	559	895	3,22
Железо	7,9	1530	500	2,72
Лед	0,9	0	2100	3,35
Медь	8,5	1100	395	1,75
Свинец	11,3	327	125	0,23

Таблица 4

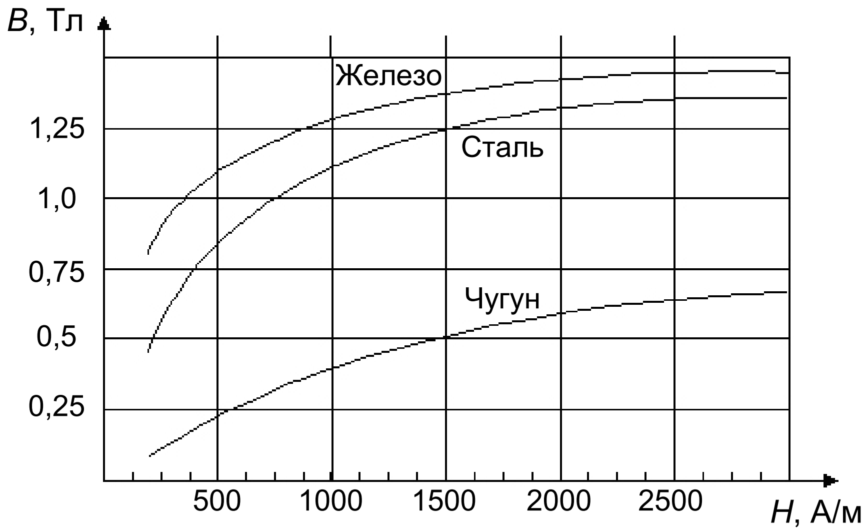
Диэлектрическая проницаемость ε диэлектриков

Вещество	ε	Вещество	ε	Вещество	ε
Керосин	2	Стекло	6	Эбонит	2,6
Масло	5	Фарфор	6	Парафинированная бумага	2,0

Таблица 5

Удельное сопротивление проводников при 0 °С

Проводник	$\rho \cdot 10^8$, Ом·м
Медь	1,7
Алюминий	2,5
Нихром	100,0



Зависимость индукции *B* от напряженности *H* магнитного поля
для ферромагнетиков

Таблица 6

Работа выхода $A_{вых}$ электронов из металла, эВ

Металл	$A_{вых}$
Cs	1,90
W	4,50
Ag	4,74
Pt	5,30
Li	5,10

Таблица 7

Показатель преломления n

Вещество	n
Алмаз	2,42
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Стекло	1,50

Таблица 8

Массы некоторых изотопов, а.е.м. (1 а.е.м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг)

Изотоп	Масса	Изотоп	Масса	Изотоп	Масса
${}^{1}_{1}H$	1,00814	${}^{9}_{4}Be$	9,01505	${}^{27}_{13}Al$	26,99010
${}^{2}_{1}H$	2,01474	${}^{10}_{5}B$	10,01612	${}^{30}_{14}Si$	29,98325
${}^{3}_{1}H$	3,01700	${}^{12}_{6}C$	12,00380	${}^{40}_{20}Ca$	39,97542
${}^{3}_{2}He$	3,01699	${}^{13}_{7}N$	13,00987	${}^{56}_{27}Co$	55,95759
${}^{4}_{2}He$	4,00388	${}^{14}_{7}N$	14,00752	${}^{63}_{29}Cu$	62,94962
${}^{6}_{3}Li$	6,01703	${}^{17}_{8}O$	17,00453	${}^{113}_{48}Cd$	112,94206
${}^{7}_{3}Li$	7,01823	${}^{17}_{8}O$	17,00453	${}^{200}_{80}Hg$	200,02800
${}^{7}_{4}Be$	7,01915	${}^{23}_{12}Mg$	23,00145	${}^{235}_{92}U$	235,11750
${}^{8}_{4}Be$	8,00785	${}^{24}_{12}Mg$	23,99267	${}^{238}_{92}U$	238,12376

Таблица 9

Масса m_0 и энергия покоя E_0 некоторых частиц

Частица	m_0		E_0	
	кг	а.е.м.	Дж	Мэв
Электрон	$9{,}11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8{,}16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1{,}673 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1{,}50 \cdot 10^{-10}$	938,3
Нейтрон	$1{,}675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1{,}51 \cdot 10^{-10}$	939,6
Дейтрон	$3{,}35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3{,}00 \cdot 10^{-10}$	1876,0
α-частица	$6{,}64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5{,}96 \cdot 10^{-10}$	3733,0

Оглавление

Учебное издание

Гулин Лев Васильевич
Анахов Сергей Вадимович

ЗАДАЧИ ПО КУРСУ ФИЗИКИ

Учебно-методическое пособие

Редактор О. Е. Мелкозерова
Компьютерная верстка А. В. Кебель

Печатается по постановлению
редакционно-издательского совета университета

Подписано в печать 7.06.15. Формат 60×84/16. Бумага для множ. аппаратов. Печать плоская. Усл. печ. л. 5,8. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 300 экз. Заказ № ___.
Издательство Российского государственного профессионально-педагогического университета. Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.