



Некоммерческое  
акционерное  
общество

АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И  
СВЯЗИ

Кафедра  
физики

## **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Методические указания  
по выполнению расчётно-графических работ для студентов специальности  
5В070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение

Алматы 2014

СОСТАВИТЕЛИ: А.С. Калшабеков, Р.С. Калыкпаева, М.Т. Кызгарина.  
Физические основы микроэлектроники. Методические указания по  
выполнению расчётно-графических работ для студентов специальности  
5В070400 – Вычислительная техника и программное обеспечение. –  
Алматы: АУЭС, 2014. – 24 с.

Методические указания включают расчётно-графические задания (РГР),  
методические рекомендации и требования к оформлению и содержанию РГР,  
список необходимой литературы.

Ил. 9, табл.12 , библиограф. –назв.13.

Рецензент: М.В Башкиров

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества  
«Алматинского университета энергетики и связи» на 2014 год.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2014 г.

## Введение

Основные цели изучения курса физики в высшей технической школе заключаются в формировании:

а) общих представлений о современной физической картине мира;

б) знаний и умений применять:

- основные понятия, законы и модели классической и современной физики;

- методы теоретического и экспериментального исследований в физике.

Известно, что овладение знаниями как важнейший процесс человеческой активности подчиняется законам психологии:

- развитие и образование ни одному человеку не могут быть даны или сообщены. Всякий, кто желает развиваться и овладевать знаниями, достигает этого своим собственным трудом, собственным напряжением воли, собственной настойчивостью и целеустремленностью;

- успешная деятельность невозможна без осознания и принятия цели деятельности, четкого представления о результатах и о тех методах и средствах, которые необходимы для достижения поставленной цели.

В настоящем руководстве приведены варианты РГР, разделенные, по мере возрастания сложности их выполнения, на три уровня усвоения знаний: А, В и С. Критерии разделения задач таковы:

- задания уровня А – это задачи и качественные вопросы, требующие, в основном, умения решать задачи по заданному образцу;

- задания уровня В требуют умений решать типовые задачи по известному алгоритму;

- задания уровня С требуют умений выявлять внутренние связи в конкретной, достаточно сложной, физической ситуации и применять знание общих методов.

Каждый студент самостоятельно выбирает уровень заданий и получает при распределении старостой группы номер варианта. Это распределение должно быть утверждено преподавателем, ведущим практические занятия в группе.

Т а б л и ц а 1 – Варианты заданий РГР №1, М.1 «Волны в упругой среде. Интерференция, дифракция и поляризация света»

Вариант	А.Г. Чертов, А.А. Воробьев «Задачник по физике», 2006	Физика. Задания к практическим занятиям. Под ред. Ж.П. Лагутиной, в электронном варианте	И.Е. Иродов «Задачи по общей физике», 2006	Приложение А
A.1	7.1, 31.11	19.32, 20.24, 22.18		1
A.2	7.3, 30.26, 31.14, 32.2	19.33		2
A.3	7.4, 30.27, 31.13, 32.3	19.34		3
A.4	7.5, 31.14, 30.15(1), 32.4	19.35		4
A.5	7.6, 30.15(2), 31.15, 32.5	19.24		5
A.6	7.7, 30.15(3), 31.16, 32.6	19.37		6
A.7	7.8, 30.17, 31.17, 32.7	19.40		7
A.8	7.10, 30.16, 31.18	19.41, 22.4		8
B.9	7.22, 30.27	21.19, 22.17	4.218	9
B.10	7.23, 32.11	19.42, 20.32, 21.22		10
B.11		19.44, 20.33, 21.10	4.196, 5.176	11
B.12	7.37, 32.12	19.42, 20.34, 21.13		12
B.13	7.38, 32.13	19.43, 20.42, 21.15		13
B.14	7.39, 30.30, 32.14	19.42, 21.26		14
B.15	7.40, 30.28, 32.15	21.20	4.178	15
B.16	30.29, 32.16	20.35, 21.29	4.209	16
B.17	32.17	20.36, 21.30	4.206, 4.224	17
B.18	7.21, 32.18	20.37, 21.34	4.225	18
B.19	30.32	20.39, 21.28	4.222, 5.83	19
B.20	7.21, 32.12		4.210, 5.79, 5.130	20
B.21		21.9, 20.40	4.209, 4.220, 5.81	21
C.22	7.36	7.48, 19.45, 21.9, 22.35		22
C.23	31.30	19.46, 20.29, 21.5, 22.36		23
C.24	31.31	7.49, 19.47, 21.27, 22.33		24
C.25	32.13	7.48, 19.48, 21.9, 22.34,		25
C.26	7.36	7.50, 19.50, 21.5, 22.37		26
C.27	31.30	7.46, 19.45, 21.27, 22.33		22

Т а б л и ц а I – Варианты заданий (нечетные) для студентов заочной формы обучения

Вариант	Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.– М., 2006.				Приложение А
1	7.3	30.26	31.17	32.1	5, 21
2	7.22	30.27	31.14	32.2	6, 22
3	7.5	30.15 (1)	31.13	32.3	7, 23
4	7.1	30.16	31.15	32.4	8, 24
5	7.23	30.17	31.18	32.5	9, 25
6	7.7	30.30	31.11	32.6	10, 26
7	7.21	30.29	31.19	32.7	11, 18
8	7.37	30.32	31.20	32.11	12, 19
9	7.9	30.15(2)	31.21	32.12	13, 20
10	7.11	30.31	31.22	32.13	14, 1

Т а б л и ц а II – Варианты заданий (четные) для студентов заочной формы обучения

Вариант	Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.– М., 2006.				Приложение А
1	7.4	30.15(3)	31.23	32.14	1, 24
2	7.21	30.22	31.25	32.15	2, 25
3	7.6	30.23	31.4	32.16	3, 26
4	7.38	30.15(4)	31.7	32.17	4, 13
5	7.8	30.16	31.10	32.18	15, 20
6	7.40	30.11	31.11	32.12	16, 22
7	7.34	30.4	31.14	32.1	17, 23
8	7.10	30.14	31.16	32.6	18, 24
9	7.33	30.18	31.20	32.11	5, 19
10	7.39	30.17	31.17	32.5	4, 20

### Приложение А

А.1 Объясните, почему мы слышим собеседника, речь и пение актеров, звучание музыкальных инструментов. Почему голос человека индивидуален, как и отпечатки пальцев?

А.2 Какова интенсивность света, отраженного от поверхности диэлектрика, если он падает на поверхность под углом Брюстера и поляризован: 1) в плоскости, перпендикулярной плоскости падения луча; 2) в плоскости падения?

А.3 Какое отношение имеет длина волны к вопросу о том, будет ли данное тело представлять препятствие для волн? Нарисуйте возможные картины распространения волны для случаев: 1)  $d < \lambda$ ; 2)  $d \sim \lambda$ , 3)  $d \gg \lambda$ .

А.4 Почему интерференцию света можно наблюдать от двух лазеров и нельзя – от двух электроламп? Дайте полную характеристику света от таких источников.

А.5 В чем заключается суть просветления оптики? Где применяются просветленные линзы?

А.6 Говорят, что великий тенор Энрико Карузо мог заставить бокал разлететься вдребезги, спев в полный голос ноту надлежащей высоты. Как это объяснить?

А.7 На рисунке А.1 дан график смещений  $\xi$  в бегущей волне для некоторого момента времени  $t$ . Нарисуйте под ним (соблюдая тот же масштаб для  $x$ ) график плотности энергии  $w$  для того же момента времени.

А.8 Продольные и поперечные волны. Какую волну – поперечную или продольную – описывает уравнение  $\xi = A \cos(\omega t - kx)$ ? Почему? Объясните смысл величины  $\xi$  и проанализируйте зависимости  $\xi(x)$  и  $\xi(t)$ .

А.9 На рисунке А.1 дана «моментальная» фотография смещений  $\xi$  частиц среды, в которой вдоль оси  $x$  распространяется упругая волна. Укажите направление скоростей частиц в точках А, В и С в случае: а) продольной волны; б) поперечной волны, колебания в которой происходят в плоскости рисунка. Чему равна скорость частицы в точке В в обоих случаях?

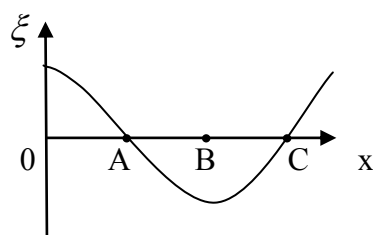


Рисунок А.1

А.10 На рисунке А.1 дан график смещений  $\xi$  в бегущей волне для некоторого момента времени  $t$ . Чему равна (нулю, отлична от нуля, максимальна) плотность кинетической, потенциальной и полной энергии в точках: 1) А и С; 2) 0 и В? Чему равен и как направлен вектор плотности потока энергии  $\vec{j}$  в этих точках?

А.11 Электрическое поле в плоской электромагнитной волне изменяется по закону  $E_x = E_0 \cos(\omega t - kz)$ ,  $E_y = E_z = 0$ . Определите: а) величину и направление  $\vec{B}_0$ , запишите закон изменения  $\vec{B}$ ; б) направление распространения волны; в) величину и направление вектора Пойнтинга.

А.12 Почему винный бокал «поёт», если провести мокрым пальцем вдоль его края? Что именно вызывает звучание бокала и почему палец при этом должен быть влажным? Каковы колебания кромки бокала: поперечные или продольные?

А.13 Какое свойство упругих волн и каким образом помогло геофизикам сделать вывод о существовании жидкого ядра Земли.

А.14 Что описывает уравнение вида  $\xi = f(\omega, t - kx)$ , где  $f$  – некоторая функция,  $\omega$  и  $k$  – константы? Приведите примеры. Каков физический смысл величин  $\omega/k$  и  $\partial\omega/\partial k$ ?

А.15 Введите понятие степени поляризации  $P$ . Как зависит этот параметр от угла падения световой волны? Сравните степени поляризации отраженного и преломленного лучей?

А.16 Волна естественного света падает под углом Брюстера на границу вакуум - диэлектрик. Под каким углом распространяются отраженная и преломленная волны? Как они поляризованы? Почему?

А.17 Голография. Применение голографии в настоящее время и перспективы её применений в будущем.

А.18 Если свести почти вплотную подушечки большого и указательного пальцев, то между ними возникает темная линия. Множество таких темных линий можно увидеть, если посмотреть между зубцами вилки, поворачивая её при этом. Чем объясняется появление этих темных линий?

А.19 Вектор Пойнтинга, его смысл. Какова связь между интенсивностью бегущей электромагнитной волны и вектором Пойнтинга? Покажите на примере, как определяется направление вектора Пойнтинга.

А.20 Продольные и поперечные волны. Какую волну – поперечную или продольную – описывает уравнение  $\xi = A\cos(\omega t - kx)$ ? Почему?

А.21 Почему невозможно осуществление двух когерентных источников естественного света? Какой метод используется в оптике для получения когерентных световых волн?

А.22 Имеется круглое отверстие в непрозрачной преграде, на которую падает плоская световая волна. За отверстием расположен экран. Что и почему будет происходить с интенсивностью в центре наблюдаемой на экране дифракционной картины, если экран удалять от преграды?

А.23 Запишите уравнение *плоской монохроматической* электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси  $Y$ . Покажите на рисунке расположение друг относительно друга векторы  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$  и  $\vec{v}$  в этой электромагнитной волне? Какие свойства волны отражают эти факты? Что можно сказать о частоте колебаний векторов  $\vec{E}$ ,  $\vec{H}$ , их начальных фазах? Что представляет собой *естественная световая волна*? Опишите свойства световой волны.

А.24 Листовые поляроидные покрытия из пластмассы первоначально были разработаны для автомобильных фар – их ставили, чтобы не слепить водителей встречных автомобилей. Каким образом это достигалось и как лучше всего следовало ориентировать такой поляроид? Учтите, что встречная машина должна все-таки оставаться видимой, так что свет частично должен проходить через покрытие.

А.25 На примере участка однородного проводника с постоянным током плотностью  $\vec{j}$  определите величину потока энергии электромагнитного поля и направление переноса энергии, исходя из понятия вектора Пойнтинга.

А.26 Вектор Пойнтинга, его смысл. На примере неоднородного участка проводника с постоянным током плотностью  $\vec{j}$  (поле сторонних сил однородно  $\vec{E}^* = const$ ) определите величину потока энергии электромагнитного излучения.

Таблица 2 – Варианты заданий РГР №2, М.2 «Законы теплового излучения. Эффект Комптона. Фотоэлектрический эффект. Волновые свойства микрочастиц»

Вариант	Волькенштейн В.С. «Сборник задач по общему курсу физики».-С.-П., 2003.	Чертов А.Г., Воробьев А.А. «Задачник по физике»,- М., 2006.	Физика. Задания к практическим занятиям./Под ред. Ж.П. Лагутиной./- М., в электронном варианте.	Приложение
A.1	19.29(а)	34.2, 35.1, 45.1	24.11	3
A.2	19.29(б)	34.10, 35.2, 45.2	24.12	5
A.3	19.30	34.12, 35.4, 45.3	24.13	6
A.4		34.1, 35.6, 45.4	23.42, 24.14	1
A.5		34.3, 35.7, 45.5(1)	23.44, 24.15	18
A.6	19.16	34.4, 37.1, 45.5(2)	24.16	2
A.7	19.17	34.14, 37.2, 45.8, 45.32		22
A.8	19.18, 19.39	34.15, 37.3, 45.33		23
B.9	19.33, 19.35	34.5, 35.4, 45.22		4
B.10	19.30, 19.36	34.6, 35.8, 45.23		7
B.11	19.31, 19.38	34.11, 35.10, 45.25		8
B.12	19.32, 19.37	34.9, 35.9, 45.24		9
B.13	19.19, 19.41	34.13, 37.4, 45.26		10
B.14	18.11	37.5, 45.10, 45.27	23.31	20
B.15	18.12, 19.40	37.6, 45.28	23.32	19
B.16	19.21	34.18, 37.7, 45.29	24.3	22
B.17		34.19, 37.8, 45.30	23.33, 24.4	17
B.18		34.20, 37.9, 45.31	23.34, 24.5	16
B.19		34.21, 37.10, 45.32	23.35, 24.7	15
B.20		34.22, 37.11(1), 45.33	23.36, 24.8	14
B.21	18.10	37.11(2), 45.34	23.33, 24.9	13
B.22	18.7	37.11(3), 45.35	23.45, 24.10	12
	Иродов И.Е. «Задачи по общей физике».- М.,2006			
C.23	5.273	34.23, 45.12	23.19, 23.46	24
C.24	5.309	34.24, 45.13	23.20, 23.47	25
C.25	5.295, 5.304	34.25, 45.11	23.48	26
C.26	5.292, 5.303	34.26, 45.13	23.50	27
C.27	5.293, 5.311	34.27, 45.9	23.39	11



Таблица I – Варианты заданий (нечетные) для студентов заочной формы обучения

Вариант	Номера задач (Чертов А.Г., Воробьев А.А. «Задачник по физике». - М., 2006. – 640 с.)				Приложение Б
0	34.2	35.6	37.3	45.24	1, 27
1	34.10	35.7	37.1	45.26	2, 26
2	34.12	35.1	37.5	45.27	3, 25
3	34.1	35.2	37.4	45.28	4, 24
4	34.3	35.4	37.2	45.29	5, 23
5	34.4	35.8	37.11	45.31	6, 22
6	34.14	35.9	37.9	45.33	7, 21
7	34.15	35.10	37.10	45.32	8, 20
8	34.5	35.3	37.8	45.30	9, 19
9	34.6	35.5	37.7	45.34	10, 18

Т а б л и ц а II – Варианты заданий (четные) для студентов заочной формы обучения

Вариант	Номера задач (Чертов А.Г., Воробьев А.А. «Задачник по физике». -М., в электронном варианте)				Приложение Б
0	34.11	35.2	36.2	45.7	11, 17
1	34.9	36.5	37.7	45.10	10, 27
2	34.13	36.3	37.8	45.2	9, 18
3	34.18	35.4	36.1	45.9	8, 12
4	34.19	35.8	36.9	45.1	7, 13
5	34.20	36.11	37.10	45.5(2)	6, 14
6	34.21	36.7	37.6	45.3	5, 15
7	34.22	35.10	36.4	45.8	4, 16

### Приложение Б

Б.1 Объясните, почему в неотапливаемом помещении температура всех тел одинакова?

Б.2 Объясните, почему открытые окна домов со стороны улиц кажутся чёрными.

Б.3 Найти энтропию и теплоемкость излучения черного тела температурой  $T$  в объеме  $V$ .

Б.4 На участок поверхности тела с поглощательной способностью  $a$ , находящегося в равновесии с излучением, падает поток энергии  $\Phi_{\text{пад}}$ . Определите: а) поток энергии  $\Phi_{\text{пог}}$ , поглощаемый участком; б) отраженный им

поток  $\Phi_{\text{отр}}$ ; в) полный поток  $\Phi_{\text{пол}}$ , распространяющийся от участка в пределах телесного угла  $2\pi$ . Объясните результат.

Б.5 Корпускулярно-волновой дуализм есть универсальное свойство природы. Как это следует понимать? Приведите примеры его проявления.

Б.6 Что представляет собой фотон? Чем фотон отличается от других элементарных частиц? Укажите все его характерные особенности.

Б.7 Покажите, что в эффекте Комптона проявляются корпускулярные свойства света. (Запишите законы сохранения энергии и импульса для процесса взаимодействия фотонов со свободными электронами).

Б.8 Какой физический смысл имеет соотношение неопределенностей  $\Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar$ ? Объясните, почему возбужденный энергетический уровень в атоме «размыт», а основной – бесконечно тонкий?

Б.10 Внутренний фотоэффект. Красная граница внутреннего фотоэффекта. Можно ли экспериментально определить красную границу фотоэффекта?

Б.11 В спектре излучения абсолютно черного тела при температуре  $T$  выделены два участка площади которых  $\Delta S_1 = \Delta S_2$  (см. рисунок Б.1). Сравните средние излучательные способности, энергетические светимости излучения, приходящиеся на соответствующие интервалы  $\Delta\lambda$ . Одинаково ли число излучаемых в каждом диапазоне фотонов?

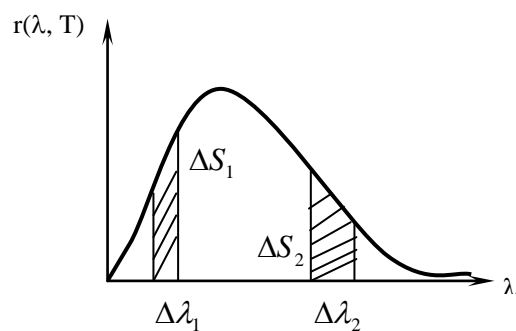


Рисунок Б.1

Б.12 Изобразите зависимость испускательной способности черного тела  $r_{\omega T}$  от частоты  $\omega$ . Как можно рассчитать значение температуры излучающего тела, используя этот график? Какие законы лежат в основе этих расчетов?

Б.13 Изобразите качественно зависимость задерживающего напряжения  $U_z$  от частоты  $\omega$  падающего света при фотоэффекте. Какие физические постоянные могут быть получены с помощью этой зависимости и как? Изобразите два графика для различных фотокатодов, прокомментируйте их.

Б.14 Получите и изобразите графически зависимость фототока насыщения  $I_{\text{нас}}$  вакуумного фотоэлемента от напряженности электрического поля  $E$  в падающей световой волне. График прокомментируйте.

Б.15 Как изменится вид вольт-амперной характеристики фотоэлемента, если: а) при неизменном спектральном составе волны увеличится в два раза ее полный световой поток; б) при неизменном световом потоке увеличится в два раза частота монохроматического света?

Б.16 Как изменится вид вольт-амперной характеристики фотоэлемента, если: а) при неизменном потоке фотонов увеличится (или уменьшится) в два раза частота монохроматического света.

Б.17 Почему при эффекте Комптона в рассеянном излучении содержатся волны с длиной волны  $\lambda' > \lambda$  и не содержатся волны с  $\lambda' < \lambda$ ? Подтвердите ответ, записав соответствующий закон.

Б.18 В чем сущность эффекта Комптона? Объясните, почему эффект Комптона не наблюдается при рассеянии видимого света?

Б.19 Поток энергии  $\Phi$  называют количество энергии, проходящей за единицу времени через какую-либо поверхность. Выразите формулу для  $\Phi$  электромагнитного излучения через характеристики волны и характеристики фотонов (на примере монохроматического излучения), укажите единицу потока.

Б.20 В комнате находится воздух при нормальных условиях. Какова наиболее вероятная длина волны де Бройля молекулы воздуха? Почему молекулы воздуха не обнаруживают волновых свойств?

Б.21 Каково содержание гипотезы де Бройля? Запишите формулы, выражающие универсальные (не зависящие от природы объекта) связи между корпускулярными и волновыми характеристиками частиц, поясните их.

Б.22 В чем состоит физическое содержание соотношения неопределенностей Гейзенберга? Поясните, какие из величин:  $p_x, p_y, p_z, x, y, z$  могут быть одновременно точно заданы, а какие – нет?

Б.23 Какой смысл вкладывается в соотношение неопределенностей  $\Delta E \Delta t \geq \hbar$  ?

Б.24 В результате комптоновского рассеяния (см. рисунок Б.2) в одном случае фотон полетел под углом  $\theta_1$  к первоначальному направлению, а в другом случае – под углом  $\theta_2$ . В каком случае длина волны излучения после рассеяния больше и в каком случае электрон, участвующий во взаимодействии, получил большую энергию?

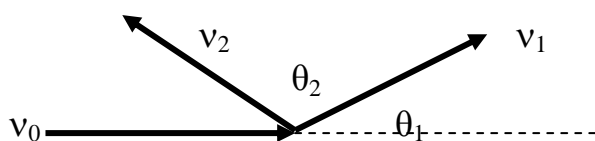


Рисунок Б. 2

Б.25 Шар радиуса  $\rho$ , поверхность которого можно принять за абсолютно черную, поддерживается при температуре  $T$ . Определить: а) энергетическую светимость  $R^*$  шара; б) излучаемый им полный поток  $\Phi$ ; в) среднюю объёмную плотность энергии  $u$  электромагнитного излучения на расстоянии  $r \gg \rho$ .

Б.26 Студент нарисовал кривые распределения энергии в спектре излучения абсолютно чёрного тела для двух температур (см. рисунок Б.3). В чем заключается ошибка?



Рисунок Б.3

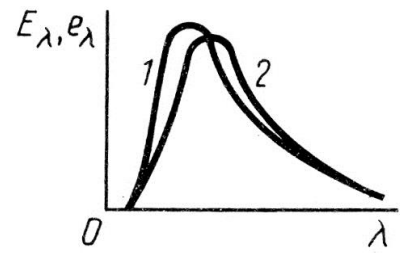


Рисунок Б.4

Б.27 На рисунке Б.4 изображены теоретическая кривая распределения энергии излучения абсолютно чёрного тела при некоторой температуре (кривая 1) и полученная экспериментально кривая для излучения некоторого тела, нагретого до той же температуры (кривая 2). Почему можно утверждать, что экспериментальная кривая ошибочна?

Т а б л и ц а 3 – Варианты заданий РГР №3, М 3 «Физика твердого тела. Элементы квантовой статистики. Контактные явления»

Вариант	Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике, 2006	Физика. Задания к практическим занятиям/ ред. Ж.П. Лагутиной, в электронном варианте	Иродов И.Е. Задачи по общей физике, 2006	Прило жение Г
A.1	46.12; 51.1	24.22; 25.39		1; 28
A.2	46.13; 51.2	24.23; 25.40		2; 29
A.3	46.14; 51.3	24.24; 25.41		3; 30
A.4	46.15; 51.4	24.25; 25.42		4; 31
A.5	46.16; 51.5	24.26; 25.43		5; 32
A.6	46.17; 51.6	24.27; 25.44		6; 33
A.7	46.18; 51.7	24.29; 25.45		7; 34
A.8	46.19; 51.8	24.28; 25.46		8; 35
A.9	46.20; 51.9	24.39; 25.47		9; 36
A.10	46.21; 51.10	24.30; 25.48		10; 37
B.11	46.22; 51.11	24.31; 25.49		11; 38
B.12	46.23; 51.12	24.32; 25.50		12; 39
B.13	46.24; 51.13	24.33; 24.19		13; 40
B.14	46.26; 51.14	24.34; 24.20		14; 41
B.15	46.69; 51.15	24.35; 24.21		15; 42
B.16	46.70; 51.16	24.36; 25.41		16; 43
B.17	46.71; 51.18	24.37; 25.47		17; 44
B.18	46.72; 51.19	24.38; 25.50		18; 45
B.19	46.73; 51.20	24.29; 25.40		19; 46
B.20	46.74; 51.21	24.40; 25.42		20; 47
B.21	46.75; 51.22	24.41; 25.48		21; 48
B.22	46.76; 51.23	24.42; 25.46		22; 49
C.23	46.27	24.27	6.79; 6.100	23; 50
C.24	47.14	25.45;	6.80; 6.99	24; 51
C.25	46.77	24.32	6.81; 6.98	25; 52
C.26	47.15	25.49	6.83; 6.85	26; 53
C.27	46.78	24.39	6.84; 6.86	27; 54

Т а б л и ц а I – Варианты заданий (нечетные) для студентов заочной формы обучения

Вариант	Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.– М., 2006.				Приложение Г
1	46.19	51.1	46.71	51.23	1, 21
2	46.21	51.3	46.74	51.16	2, 22
3	46.23	46.72	46.76	50-20	3, 23
4	46.16	51.16	51.6	46.73	4, 24
5	46.14	46.22	51.8	51.10	5, 25
6	46.12	51.13	51.15	51.4	6, 26
7	46.13	51.11	46.17	51.21	7, 27
8	46.15	51.6	46.71	51.15	8, 28
9	46.17	51.2	51.19	46.22	9, 29
10	46.18	46.75	51.9	46.72	10, 30

Т а б л и ц а II – Варианты заданий (четные) для студентов заочной формы обучения

Вариант	Номера задач по: Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.– М., 2006.				Приложение Г
1	46.15	46.22	46.76	51.10	11, 31
2	46.69	46.18	51.19	51.6	12, 32
3	46.14	46.26	51.23	51.1	13, 33
4	51.9	51.22	46.71	51.3	14, 34
5	46.19	46.75	51.2	51.23	15, 35
6	51.4	46.72	51.6	51.22	16, 36
7	51.5	46.18	46.22	51.15	17, 37
8	46.15	46.76	51.22	51.9	18, 38
9	46.72	51.23	51.10	46.19	19, 39
10	46.12	51.21	51.1	46.71	20, 40

### Приложение Г

Г.1 Контакт двух металлов по зонной теории. Объясните механизм возникновения внешней и внутренней контактной разности потенциалов двух металлов согласно зонной теории.

Г.2 Зависимость логарифма проводимости от  $1/T$  (где  $T$  – температура) для двух полупроводников представлена на рисунке Г.1. У какого из этих полупроводников запрещенная зона между валентной зоной и зоной проводимости шире?

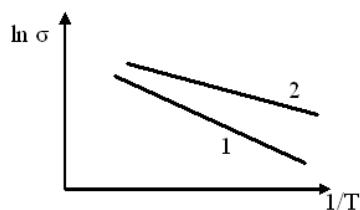


Рисунок Г.1

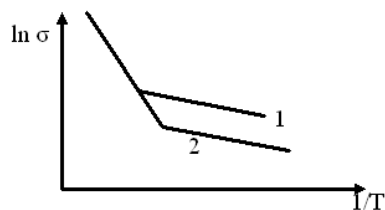


Рисунок Г.2

Г.3 Вычислите вероятность заполнения электронами энергетического уровня  $W$  для случая  $W - W_E \ll kT$ , пользуясь статистикой Ферми и статистикой Больцмана. Сделайте выводы.

Г.4 Зависимость электрической проводимости двух полупроводников от  $1/T$  имеет вид, схематически представленный на рисунке Г.2. Чем отличаются друг от друга эти полупроводники?

Г.5 Найдите температурную зависимость удельного сопротивления  $\rho$  для случая собственной проводимости полупроводника  $\Delta W \gg kT$ .

Г.6 Что такое фотопроводимость? Как зависит фотопроводимость от времени после включения и выключения света? Объясните.

Г.7 Нарисуйте график зависимости удельной энергии связи от массового числа и объясните, пользуясь им, какие процессы и почему должны сопровождаться выделением большого количества энергии. Как называются эти процессы, нашли ли они применение?

Г.8 Что собой представляют светодиоды? Чем определяется цвет излучения светодиода? Какова эффективность преобразования в них электрической энергии в видимый свет?

Г. 9 На рисунке Г.3 приведен график зависимости удельной электропроводности  $\gamma$  примесного полупроводника n-типа от обратной температуры  $1/T$  ( $T$ , кК). Определите области температур для собственного и примесного полупроводников. Найдите ширину запрещенной зоны полупроводника  $\Delta W$  и ширину энергетического зазора между донорными уровнями и зонной проводимости  $\Delta W_d$

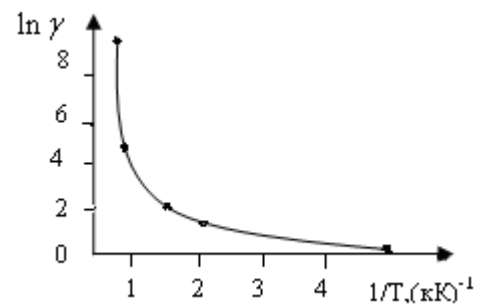


Рисунок Г.3

Г.10 – Г.17 Какие физические объекты описываются статистикой Ферми-Дирака? Что такое энергия Ферми? Какова вероятность того, что при комнатной температуре ( $kT=0,025$  эВ) электрон в металле займет состояние, энергия которого на величину  $\Delta E=$  (см. таблицу Г.1): а) больше уровня Ферми; б) меньше уровня Ферми? Каковы эти вероятности при  $T=0$  ? Нарисуйте графики функции распределения Ферми-Дирака для указанных температур и отметьте на них соответствующие условию задачи точки.

Таблица Г.1

№ задачи	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta E$ , эВ	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050

Г.18 Уровень Ферми. Объясните как влияет повышение температуры на уровень Ферми в примесных полупроводниках?

Г.19 – Г.26 Какие физические объекты описываются статистикой Ферми-Дирака? Что такое энергия Ферми? Какова вероятность того, что при температуре  $T$ , вдвое превышающей комнатную температуру ( $kT=0,050$  эВ) электрон в металле займет состояние, энергия которого на величину  $\Delta E=$  (см. таблицу Г.2): а) больше уровня Ферми; б) меньше уровня Ферми? Каковы эти вероятности при  $T=0$ ? Нарисуйте графики функции распределения Ферми-Дирака для указанных температур и отметьте на них соответствующие условию задачи точки.

Таблица Г.2

№ задачи	13	14	15	16	17	18	19	20
$\Delta E$ , эВ	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045

Г.27 Электрон, движущийся слева направо, встречает на пути в одном случае порог (см. рисунок Г.14 а), а в другом случае – барьер (см. рисунок Г.14 б). Каковы вероятности преодоления порога и барьера по классической и по квантовой теории в двух случаях: 1) кинетическая энергия  $W_k$  электрона меньше высоты порога (барьера)  $\Pi$ ; 2) кинетическая энергия  $W_k$  больше  $\Pi$ ?

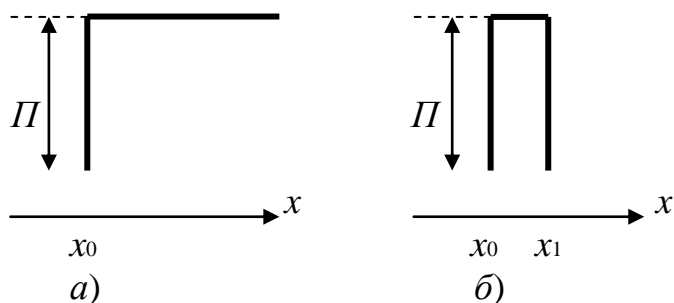


Рисунок Г.14

Г.28– Г.32 Вычислить (в эВ) максимальную  $\epsilon_m$  и среднюю  $\langle \epsilon \rangle$  кинетическую энергию свободных электронов при абсолютном нуле температуры в металле (см. таблицу Г.4), плотность которого равна  $\rho=$  (см. таблицу Г.3).

Таблица Г.3

№ задачи	21	22	23	24	25
Металл	Литий	Натрий	Калий	Рубидий	Цезий
Плотность	534 кг/м <sup>3</sup>	971 кг/м <sup>3</sup>	860 кг/м <sup>3</sup>	1530 кг/м <sup>3</sup>	1870 кг/м <sup>3</sup>



Г.33 Замкнутая полость объема  $V$  заполнена равновесным тепловым излучением при температуре  $T$ . Найти зависимость теплоёмкости  $C_V$  излучения от температуры.

Г.34 Что означает понятие «ширина запрещённой зоны»? Какие свойства кристаллов определяются шириной запрещённой зоны?

Г.35 Используя соотношение неопределённостей Гейзенберга, оцените минимальную кинетическую энергию  $E_{\min}$  электрона, локализованного в области пространства с линейными размерами порядка: а)  $r_0 \sim 10^{-10}$  м (атом); б)  $r_0 \sim 10^{-13}$  см (атомное ядро).

Г.36 При поглощении некоторым металлом фотонов с энергией 5,5 эВ испускаются фотоэлектроны с энергией 3,2 эВ. Концентрация электронов проводимости в металле такова, что внутри металла они имеют кинетические энергии вплоть до 3,7 эВ. Найдите и укажите на энергетической диаграмме: а) положение уровня Ферми; б) работу выхода электронов из металла; в) глубину потенциальной ямы; г) кинетическую энергию, которую теряет электрон, вылетая с поверхности металла.

Г.37 Частица массы  $m$  находится в состоянии с минимальной энергией в прямоугольной, бесконечно глубокой потенциальной яме ширины  $l$ . Оцените: а) энергию частицы  $E_{\min}$ ; б) силу давления  $F$  частицы на стенки ямы.

Г.38 Что собой представляют фотодиоды? Для каких целей они применяются?

Г.39 Частица массы  $m$  находится в одномерном потенциальном поле  $U(x) = kx^2/2$  (гармонический осциллятор). Установите с помощью соотношения неопределённостей зависимость минимальной возможной энергии  $E_{\min}$  частицы от размера  $x$  области ее локализации вблизи нуля.

Г.40 Что собой представляют солнечные батареи? Чем определяется их КПД и какой величины он достигает в современных солнечных батареях?

Г.41 Что собой представляет полупроводниковый диод? Какими свойствами он обладает и как они объясняются? В частности, объясните образование двойного электрического слоя на границе между двумя областями кристалла, отличающимися типом примесной проводимости.

Г.42 При поглощении некоторым металлом (литием) фотонов с энергией 3,1 эВ испускаются фотоэлектроны с энергией 0,7 эВ. Концентрация электронов проводимости в металле такова, что внутри металла они имеют кинетические энергии вплоть до 4,7 эВ. Найдите и укажите на энергетической диаграмме: а) положение уровня Ферми; б) работу выхода электронов из металла; в) глубину потенциальной ямы; г) кинетическую энергию, которую теряет электрон, вылетая с поверхности металла.

Г.43 Чем объясняется малость вклада электронов проводимости в теплоемкость металла?

Г.44 Как преобразуется энергетический спектр отдельных изолированных атомов при их объединении в кристалл?

Г.45 В чем заключается различие между проводником (металлом) и полупроводником с точки зрения зонной теории твёрдых тел?

Г.46 В чем заключается различие между полупроводником и диэлектриком с точки зрения зонной теории твёрдых тел?

Г.47 Что такое тепловая генерация электронов? В каких полупроводниках и при каких условиях она происходит? В чем отличие тепловой генерации в различных типах полупроводников?

Г.48 Что такое рекомбинация? От чего и как зависит вероятность рекомбинации?

Г.49 Энергия Ферми в цезии, отсчитанная от дна потенциальной ямы, в которой находятся электроны проводимости, равна 1,53 эВ, а глубина этой потенциальной ямы составляет 3,43 эВ. Определите по этим данным работу выхода электронов из цезия. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, испускаемых при поглощении цезием фотонов с энергией, равной 3,1 эВ? Чему равна полная энергия электрона на уровне Ферми? Нарисуйте для этого металла диаграмму энергетических уровней и их заполнение электронами при абсолютном нуле.

Г.50 Глубина потенциальной ямы электронов в некотором металле составляет 11 эВ, а работа выхода 4 эВ. Чему равна полная энергия электрона на уровне Ферми? Нарисуйте для этого металла диаграмму энергетических уровней и их заполнение электронами при абсолютном нуле.

Г.51 При поглощении некоторым металлом фотонов с энергией 3,2 эВ испускаются фотоэлектроны с энергией 1,0 эВ. Концентрация электронов проводимости в металле такова, что внутри металла они имеют кинетические энергии вплоть до 5 эВ. Найдите и укажите на энергетической диаграмме: а) положение уровня Ферми; б) работу выхода электронов из металла; в) глубину потенциальной ямы; г) кинетическую энергию, которую теряет электрон, вылетая с поверхности металла.

Г.52 Глубина потенциальной ямы в металле А составляет 4 эВ, а энергия Ферми, отсчитанная от дна потенциальной ямы, равна 3 эВ. Для металла В эти величины соответственно равны  $U_0=3,5$  эВ и  $E_F=2$  эВ. Какова будет контактная разность потенциалов, если эти металлы привести в соприкосновение? Какой из металлов будет иметь более высокий потенциал? Нарисуйте энергетические диаграммы этих металлов до и после их соприкосновения (контакта).

Г.53 Используя соотношение неопределённостей Гейзенберга, оцените минимальную кинетическую энергию  $E_{\min}$  электрона, локализованного в области пространства с линейными размерами порядка: а)  $r_0 \sim 10^{-10}$  м (атом); б)  $r_0 \sim 10^{-13}$  см (атомное ядро).

Г.54 Уровень Ферми. Объясните как влияет повышение температуры на уровень Ферми в примесных полупроводниках?

## 5.1 Методические указания по выполнению заданий РГР

Решение задач при изучении курса физики в техническом вузе имеет исключительно большое значение для будущих специалистов. Оно учит

анализировать изучаемые явления, выделять главные факторы, отвлекаясь от случайных и несущественных деталей, учит моделировать реальные физические и физико-технические процессы. Задачи развивают навык в использовании общих законов материального мира для решения конкретных вопросов, имеющих практическое или познавательное значение.

Невозможно научиться решать задачи по физике, не зная и не понимая теории. Поэтому при выполнении расчётно-графической работы необходима самостоятельная проработка теоретического материала по темам задания и усвоение основных понятий, законов, теорем и принципов.

Процесс решения поставленной физической задачи состоит, как правило, из трех основных этапов. На первом, физическом, этапе проводится анализ условия задачи, выполняется рисунок, схема или векторная диаграмма для ее наглядной интерпретации; затем, на основании тех или иных законов составляется система уравнений, в число неизвестных которой входят и искомые величины.

На втором, математическом, этапе находят решение системы уравнений, т.е. получают решение задачи сначала в общем виде, а затем, произведя вычисления, числовой ответ задачи.

После того, как получено общее решение, необходимо провести его анализ. На этом, третьем, этапе выясняют, как и от каких физических величин зависит найденная величина, в каких условиях эта зависимость проявляется. При анализе числового ответа проверяют размерность полученной величины и оценивают правдоподобность полученного ответа - то есть, соответствие числового ответа физически возможным значениям искомой величины.

## **5.2 Требования к оформлению и содержанию расчётно-графических работ**

Каждую расчётно-графическую (контрольную) работу выполняют в отдельной (школьной) тетради или набирают на компьютере. На обложке или титульном листе указывают дисциплину и номер работы, вариант, кем работа выполнена, кто её проверил, дату сдачи на проверку. Работу выполняют аккуратно, рисунки – делают карандашом при помощи линейки.

*Пример – образец титульного листа*

РГР №1, М 1 по дисциплине «    »

студента группы ВТ–12–5 Ахметова К.М..

Вариант 15.

Условие задачи переписывают полностью, без сокращений. Затем его записывают с помощью общепринятых символических обозначений в краткой форме под заглавием «Дано». Заданные числовые значения переводят в единицы СИ. Решение каждой задачи необходимо сопроводить пояснениями, раскрывающими смысл и значение используемых обозначений, указывающими физические законы и принципы, положенные в основу

решения. После того, как задача решена в общем виде, т.к. получен ответ в виде расчётной формулы, производят вычисления, руководствуясь при этом правилами приближённых вычислений. Получив численный ответ, следует оценить его правдоподобность; такая оценка позволит в ряде случаев обнаружить ошибочность полученного результата. Для замечаний преподавателя на странице оставляются поля.

В конце работы необходимо указать, каким учебником или учебным пособием студент пользовался при изучении физики электромагнитных волн и атома.

Сроки сдачи РГР указаны в графике учебного процесса.

### 5.2.1 Пример решения и оформления задачи.

*Задача.* Частица в одномерной прямоугольной «потенциальной яме» шириной  $l$  с бесконечно высокими «стенками» находится в основном состоянии. Определите вероятность обнаружения частицы в левой трети «ямы».

Дано:

$$\psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{n\pi}{l} x$$

$$n=1$$

$$0 \leq x \leq \frac{l}{3}$$

$$w-?$$

*Решение.* По условию задачи частица находится в основном состоянии, для этого состояния главное квантовое число равно единице ( $n = 1$ ). Поэтому волновая функция примет вид.

$$\psi_1(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi}{l} x.$$

Тогда вероятность обнаружения частицы в левой трети «ямы» вычислим по формуле:

$$w = \int_0^{1/3} |\psi_1|^2 dx = \frac{2}{l} \int_0^{1/3} \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx = \frac{2}{l} \int_0^{1/3} \frac{1}{2} \left( 1 - \cos \frac{2\pi}{l} x \right) dx.$$

Вычислив последний интеграл, подставив пределы интегрирования, получим:

$$w = \frac{1}{3} - \frac{1}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{3} = 0,195.$$

*Ответ:*  $w=0,195$ . С такой вероятностью частица находится в левой трети «ямы».

*Задача.* Электрон атома водорода находится в стационарном состоянии, описываемом волновой функцией  $\psi(r) = Ae^{-\alpha r}$ , где  $A$  и  $\alpha$  - некоторые постоянные. Найти энергию электрона  $E$  и постоянную  $\alpha$ .

Дано:

$$\psi(r) = Ae^{-\alpha r}$$

$A - \text{const}$

$\alpha - \text{const}$

$E - ?$

$\alpha - ?$

*Решение:* В данном случае уравнение Шредингера будет иметь вид

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0 \quad (1).$$

Вычислив первую и вторую производные  $\psi$  - функции по  $r$ , подставим их выражения в (1) и сгруппируем следующим образом

$$\left( \alpha^2 + \frac{2mE}{\hbar^2} \right) - \left( \frac{2me^2}{\hbar^2} \right) \frac{1}{r} = 0.$$

Из этого соотношения видно, что равенство его нулю при любых значениях возможно лишь в том случае, когда обе скобки по отдельности равны нулю. Отсюда  $E = -\frac{\alpha^2 \hbar^2}{2m}$ ,  $\alpha = \frac{me^2}{\hbar^2}$ .

*Ответ:*  $E = -\frac{\alpha^2 \hbar^2}{2m}$ ,  $\alpha = \frac{me^2}{\hbar^2}$ .

## Список литературы

### *Учебники:*

1. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. -М.: Высш. шк., 2004.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. - М.: Высш. шк., 2006.
3. Курс физики. Под ред. Лозовского В.Н. – СПб.: Лань, 2001. – т. 1.
4. Курс физики. Под ред. Лозовского В.Н. – СПб.: Лань, 2001. – т. 2.

### *Сборники задач:*

5. Чертов А.Г., Воробьев А.А. Задачник по физике.- М.: Высш. шк., 2006.
6. Иродов И.Е. Задачи по общей физике.- М.: Физматлит., 2006.
7. Физика. Задания к практическим занятиям/ под ред. Лагутиной Ж.П. – Минск: Вышэйшая школа, в электронном варианте.
8. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. - М.: Наука, в электронном варианте.
9. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики для втузов. - М.: Оникс 21 век, 2003.
10. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – СПб.: Книжный мир, 2012.
11. Трофимова Т.И. Физика. Курс физики. Задачи и решения.– М.: «Академия», 2011

## Содержание

1 Введение	3
2 Варианты заданий РГР №1, Модуль 1	4
3 Варианты заданий РГР №2, Модуль 2	8
4 Варианты заданий РГР №3, Модуль 3	13
5.1 Методические указания по выполнению заданий РГР	19
5.2 Требования к оформлению и содержанию РГР	19
5.2.1 Пример решения и оформления задачи	20
Приложение А	5
Приложение Б	9
Приложение Г	14
Список литературы	22

Сводный план 2014г., поз.145

Арайбек Салыбекович Калшабеков  
Раушан Сериковна Калыкпаева  
Мейрамгуль Толеубековна Кызгарина

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Методические указания к выполнению расчетно-графических работ для  
студентов специальности  
5В070400- Вычислительная техника и программное обеспечение

Редактор Н.М. Голева  
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано к печати  
Тираж 60 экз.  
Объем 1,5 уч. \_\_ изд.л.

Формат  
Бумага типографская №  
Заказ \_\_\_\_ цена 750тенге

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126