

II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Магнитное поле. Индукция магнитного поля. Принцип суперпозиции магнитных полей

Магнитное поле – вид материи посредством которой осуществляется взаимодействие движущихся зарядов. Магнитное поле создаётся:

- движущимися электрическими зарядами;
- проводниками с током;
- переменным электрическим полем.

Для исследования магнитного поля применяют пробный ток, циркулирующий в плоском замкнутом контуре очень малых размеров. Ориентацию контура в пространстве характеризуют направлением нормали к контуру, связанной с направлением тока правилом правого буравчика. Такая нормаль называется положительной.

Магнитный момент контура с током – это вектор \vec{p}_m , направление которого совпадает с направлением положительной нормали \vec{n} , а модуль равен произведению силы тока на площадь контура.

Вектор магнитного момента

$$\vec{p}_m = IS\vec{n},$$

где I – сила тока в контуре, S – площадь контура.

Для произвольного контура

$$\vec{p}_m = I \int_S \vec{n} dS,$$

где dS – элемент площади контура, \vec{n} – нормаль к элементу dS .

$$[p_m] = A \cdot m^2, \dim p_m = L^2 I.$$

Вектор магнитной индукции \vec{B} (вектор индукции магнитного поля) является силовой характеристикой магнитного поля

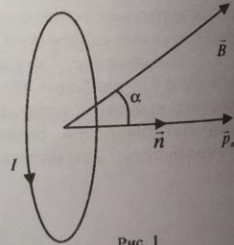


Рис. 1

Направление вектора \vec{B} задается направлением положительной нормали к контуру с током.

Индукция магнитного поля – это вектор, модуль которого численно равен максимальному значению силы, действующей на единицу длины проводника при силе тока в один Ампер

$$B = \frac{F_{A \max}}{I\ell}$$

где $F_{A \max}$ – величина силы Ампера, I – ток в проводнике, ℓ – длина проводника.

$$[B] = Tл (месла), \dim B = MT^{-2}I^{-1}.$$

Модуль вектора индукции магнитного поля также численно равен отношению величины максимального момента силы, действующей на контур с током в магнитном поле, к произведению силы тока в контуре на его площадь:

$$B = \frac{M_{\max}^{sp}}{IS}$$

где M_{\max}^{sp} – величина максимального момента силы, I – ток в контуре, S – площадь контура.

Магнитная индукция \vec{B} связана с напряженностью магнитного поля \vec{H} соотношением

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}$$

где μ – относительная магнитная проницаемость среды; μ_0 – магнитная постоянная.

Проводник с током создает вокруг себя магнитное поле. Магнитное поле – силовое поле.

Линии индукции магнитного поля (магнитные силовые линии) – это линии, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора индукции \vec{B} . Магнитные силовые линии проводника с током представляют собой концентрические окружности.

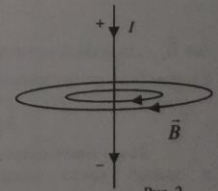


Рис. 2

Для определения направления силовых линий используется правило буравчика. Если буравчик ввинчивается по направлению тока, то направление его вращения определяет направление силовых линий.

Магнитных зарядов в природе нет. Линии вектора \vec{B} нигде не начинаются и не заканчиваются. Они замыкаются вокруг электрических токов.

Электрические токи (макро токи, микро токи и токи смещения) служат вихрями вектора \vec{B} .

Магнитное поле *однородно*, если вектор \vec{B} в любой его точке постоянен, магнитное поле *неоднородно*, если \vec{B} изменяется от точки к точке.

Магнитные поля, как и электрические, подчиняются принципу суперпозиции.

Принцип суперпозиции для магнитного поля: индукция магнитного поля, порождаемого несколькими проводниками с токами (или движущимися зарядами), равна геометрической сумме индукций \vec{B}_k магнитных полей, порождаемых каждым проводником с током (или движущимся зарядом) в отдельности

$$\vec{B} = \sum_{k=1}^N \vec{B}_k,$$

где \vec{B}_k - индукция магнитного поля, создаваемая k -ым проводником с током (или движущимся зарядом).

Законы магнетизма

Закон Био-Савара-Лапласа. Вектор магнитной индукции $d\vec{B}$ в любой точке магнитного поля, создаваемого элементом проводника с током I длиной $d\vec{l}$ (см. рис. 3) равен

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^3} [d\vec{l} \times \vec{r}] \quad \text{или} \quad d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} [d\vec{l}, \vec{e}_r],$$

где $d\vec{l}$ - вектор, совпадающий с элементарным участком проводника с током и направленный в ту сторону, в какую течет ток,

6

\vec{r} - вектор, проведенный от элемента тока в точку, где определяется вектор $d\vec{B}$, \vec{e}_r - единичный вектор, направленный от элемента проводника $d\vec{l}$ к точке, в которой определяется магнитная индукция, μ_0 - магнитная постоянная, равная $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Модуль вектора $d\vec{B}$ определяется выражением

$$dB = \frac{\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2}$$

где α - угол между векторами \vec{r} и $d\vec{l}$.

Магнитное поле любого тока может быть вычислено как векторная сумма полей, создаваемых отдельными элементами участками тока.

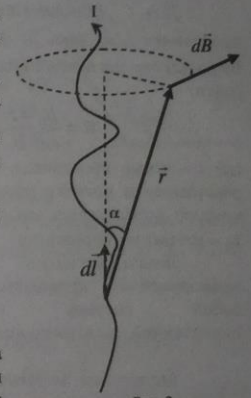


Рис. 3

Магнитная индукция поля прямолинейного проводника с током I.

Для произвольной точки поля A магнитная индукция направлена перпендикулярно плоскости чертежа (см. рис. 4) и численно равна

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi b} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

где b - расстояние от точки A до проводника, φ_1 и φ_2 - углы между векторами плотности тока и радиус-векторами, проведенными в точку A из начала и конца проводника,

μ_0 - магнитная постоянная.

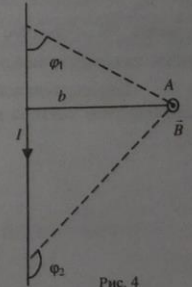


Рис. 4

7

Для бесконечно длинного проводника (см. рис. 5) $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = \pi$, тогда вектор магнитной индукции численно равен:

$$B = \frac{\mu_0 2I}{4\pi b}$$

где I – ток в проводнике, b – кратчайшее расстояние от прямого провода до точки, в которой определяется магнитная индукция, μ_0 – магнитная постоянная.

Линии магнитной индукции поля прямолинейного проводника представляют собой систему концентрических окружностей, охватывающих провод.

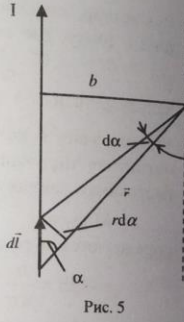


Рис. 5

Магнитная индукция поля в центре кругового тока I направлена вдоль положительной нормали к контуру (см. рис. 6) и численно равна

$$B = \mu_0 \frac{I}{2\pi R} \text{ или } B = \frac{\mu_0 2p_m}{4\pi R^3},$$

где p_m – модуль вектора магнитного момента, R – радиус проводника, μ_0 – магнитная постоянная.

Направление вектора \vec{B} совпадает с направлением вектора магнитного момента \vec{p}_m .

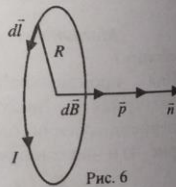


Рис. 6

III. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Пример 1. Длинный провод с током $I = 50$ А изогнут в точке O под углом 120° (рис. 7). Определить магнитную индукцию в точке A , расположенной на биссектрисе этого угла на расстоянии $d = 5$ см от точки O .

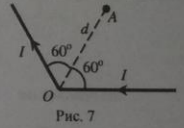


Рис. 7

Решение

В соответствии с принципом суперпозиции магнитных полей магнитная индукция в точке A будет равна векторной сумме магнитных индукций \vec{B}_1 и \vec{B}_2 полей, создаваемых прямыми участками провода

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$$

Для всех участков провода векторное произведение $[d\vec{l}, \vec{e}_r]$ и, соответственно, вектор $d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi r^2} [d\vec{l}, \vec{e}_r]$ перпендикулярен плоскости рисунка и направлен на нас. Поэтому выражение можно записать в скалярной форме

$$B = B_1 + B_2.$$

Магнитную индукцию поля каждого из прямых участков находим с помощью формулы пункта *Магнитная индукция поля прямолинейного проводника с током I* . Считая, что правый конец провода находится в бесконечности, получим для правого участка $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = 120^\circ$. Тогда

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \left(\cos 0 - \cos \frac{2\pi}{3} \right) = \frac{3\mu_0 I}{8\pi r_0},$$

где $r_0 = d \sin \frac{\pi}{3}$.

Для левого участка $\varphi_1 = 60^\circ$, а $\varphi_2 = 180^\circ$, следовательно

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \left(\cos \frac{\pi}{3} - \cos \pi \right) = \frac{3\mu_0 I}{8\pi r_0}.$$

В точке A модуль индукции магнитного поля, созданного изогнутым проводником

$$B = B_1 + B_2 = \frac{6\mu_0 I}{8\pi d \sin \frac{\pi}{3}}$$

Вычисление

$$B = \frac{6 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{8\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} = 3,46 \cdot 10^{-4} \text{ Тл.}$$

Ответ: индукция магнитного поля в точке A равна $3,46 \cdot 10^{-4}$ Тл.

IV. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Элементарная индукция магнитного поля $d\vec{B}$, создаваемая элементом проводника $d\vec{l}$, по которому протекает ток I , в точке, определяемой радиус-вектором \vec{r} , проведенным из элемента проводника, в СИ определяется по формуле...

$$1. d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3} \quad 2. d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^2} \quad 3. d\vec{B} = \frac{\mu_0 I [d\vec{l}, \vec{r}]}{4\pi r^3}$$

$$4. d\vec{B} = \frac{\mu_0 [\vec{r}, Id\vec{l}]}{4\pi r^3} \quad 5. d\vec{B} = \frac{\mu_0 (Id\vec{l}, \vec{r}) \vec{r}}{4\pi r^3 r}$$

2. Бесконечно длинные проводники с токами I_1 и I_2 расположены параллельно друг другу (рис. 8). Вектор индукции магнитного поля, создаваемого проводниками в точке O направлен...

1. влево. 2. вправо. 3. вниз. 4. вверх.
5. перпендикулярно плоскости рисунка.

Рис. 8

3. Выберите правильную определяющую формулу для магнитного момента контура с током.

$$1. \vec{p}_m = \frac{IS}{2} \vec{n} \quad 2. \vec{p}_m = \frac{S}{I} \vec{n} \quad 3. \vec{p}_m = \frac{I}{2S} \vec{n}$$

$$4. \vec{p}_m = IS\vec{n} \quad 5. \vec{p}_m = IS^2\vec{n}$$

(I - ток, S - площадь, \vec{n} - нормаль к контуру.)

4. Магнитная индукция поля B в центре кругового контура радиуса r с током I в СИ имеет вид...

$$1. \frac{\mu_0 I}{2r} \quad 2. \frac{\mu_0 I}{r} \quad 3. \frac{2\mu_0 I}{r} \quad 4. \frac{\mu_0 I}{r^2} \quad 5. \frac{\mu_0 I}{2r^2}$$

5. Силовой характеристикой магнитного поля является...

1. напряженность магнитного поля. 2. магнитная индукция.
3. намагниченность. 4. магнитный поток. 5. сила Ампера.

6. Единицей магнитной индукции в СИ является...

1. Гн (Генри). 2. А/м (Ампер на метр). 3. Тл (Тесла).
4. Вб (Вебер). 5. Ф (Фарад)

7. Выберите правильное утверждение. Магнитное поле...

1. не имеет источников. 2. всегда однородно. 3. потенциально.
4. частный случай электростатического поля. 5. не вихревое.

8. Магнитная индукция поля, создаваемого бесконечно длинным прямым проводом с силой тока I , пропорциональна...

(r - расстояние до провода, I - ток).

$$1. \frac{I}{r} \quad 2. \frac{I}{r^2} \quad 3. \text{не зависит от } r \quad 4. Ir \quad 5. Ir^2$$

9. Для расчета индукции магнитного поля постоянных токов, текущих в проводниках различной конфигурации, применяется закон...

1. Ампера. 2. Био-Савара-Лапласа. 3. Фарадея. 4. Кулона. 5. Ленца

10. По двум круговым виткам, плоскости которых взаимно перпендикулярны, а центры совпадают, текут токи силой I_1 и I_2 . Индукция магнитного поля первого витка в центре — B_1 , второго — B_2 . Индукция результирующего магнитного поля (B_p) определяется по формуле...

1. $B_p = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$. 2. $B_p = B_1 + B_2$. 3. $B_p = B_1 - B_2$.

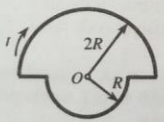
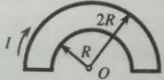
4. $B_p = \sqrt{B_1^2 - B_2^2}$. 5. $B_p = \sqrt{B_2^2 - B_1^2}$

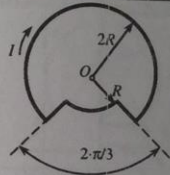
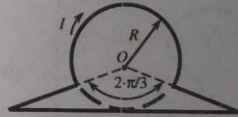
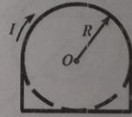
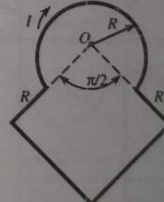
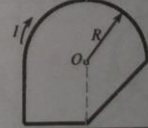
V. РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

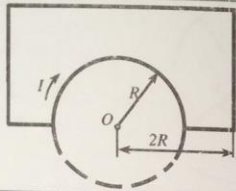
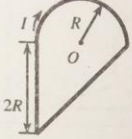
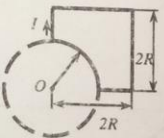
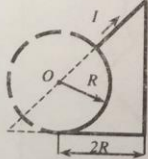
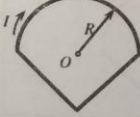
По плоскому контуру из тонкого провода течёт ток I . Определите величину магнитной индукции поля, создаваемого этим током в точке O , для контура с радиусом изогнутой части R , который представлен в таблице 1 в соответствии с вариантом.

Построить графики зависимости магнитной индукции от силы тока и от радиуса изогнутой части.

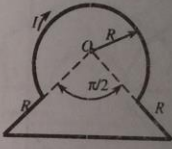
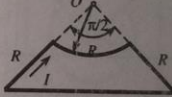
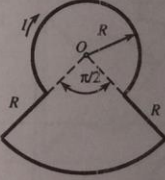
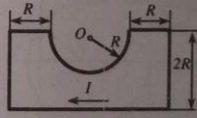
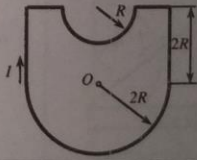
Таблица 1.

Исходные данные			
	Вид контура	I, A	R, cm
1.		8	30
2.		16	20

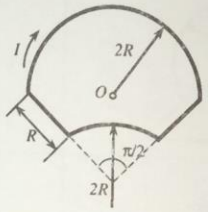
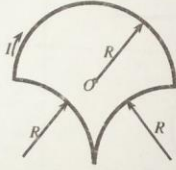
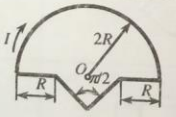
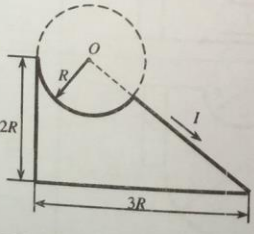
3.		3	10
4.		4	19
5.		2	90
6.		8	34
7.		7	50

8.		5	25
9.		10	40
10.		9	15
11.		0,5	45
12.		0,7	35

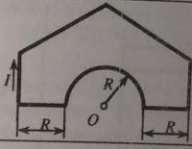
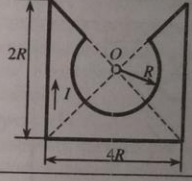
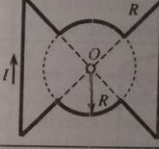
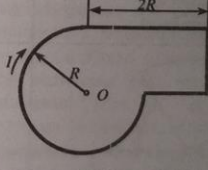
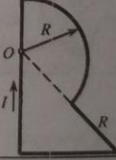
14

13.		0,3	60
14.		0,9	36
15.		1,5	75
16.		0,25	10
17.		12	48

15

18.		14	7
19.		1,6	32
20.		2,5	10
21.		6	30

16

22.		1,8	54
23.		2,4	72
24.		15	45
25.		2,7	81
26.		4,5	90

17

27.		3,6	18
28.		0,75	15
29.		0,45	18
30.		1	30

18

VI. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЁТА И РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

При выполнении расчётно-графических работ (РГР) по общей физике необходимо оформить отчёт в печатном виде на листах формата А4 следующего содержания.

1. Титул в соответствии с требованиями университета.
2. Формулировка задания в соответствии с вариантом.
3. Теоретические основы работы.

В краткое содержание теоретической части работы необходимо включить:

- явление, изучаемое в РГР;
- определения основных физических понятий, объектов, процессов и величин, касающихся данной работы;
- законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы;
- пояснение к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерения.

4. Решение задач расчётно-графической работы.

При решении задач необходимо:

- представить схему контура в соответствии с вариантом задания и необходимые для решения рисунки и схемы;
- сопровождать используемые при решении законы, уравнения и соотношения, пояснениями, мотивирующими решение;
- представить результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в формулировке задания, и необходимые физические константы;
- проверить размерность величин, полученных в результате решения;
- выполнить необходимые вычисления и представить результат в Международной системе единиц;
- сформулировать полный ответ в соответствии с вопросами задания.

5. Графическая часть.

При построении графиков, указанных в задании следует:

- представить таблицы с данными для построения графиков;

19

- указать аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить;
 - представить графики функций (на осях координат указать физические величины и единицы их измерения);
6. Анализ и выводы по результатам работы.

VII. РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАЩИТЕ ОТЧЕТА ПО РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями по пункту VI и сдавшие его на проверку в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчёта, при наличии ошибок и недочетов, работа возвращается студенту на доработку. При соблюдении всех требований к оформлению отчёта, правильном выполнении задания и решении соответствующих задач студент допускается к защите отчёта.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а так же освоить математический аппарат, необходимый для решения задач включённых в расчётно-графическую работу. При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и учебно-методические разработки, рекомендованные к учебному процессу по дисциплине "Физика", содержащие раздел "Магнетизм". Во время защиты студент должен уметь ответить на вопросы преподавателя в полном объёме теоретического и методического содержания данного РГР, уметь самостоятельно вывести необходимые расчётные формулы, и прокомментировать полученные результаты.

VIII. СПРАВОЧНЫЕ ТАБЛИЦЫ

Таблица 2

Множители и приставки для образования кратных единиц

Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение
10^{12}	Тера	T
10^9	Гига	G
10^6	Мега	M
10^3	Кило	k
10^{-1}	Деци	d
10^{-2}	Санتي	c
10^{-3}	Милли	m
10^{-6}	Микро	mk
10^{-9}	Нано	n
10^{-12}	Пико	p

Таблица 3

Основные величины, их обозначения и единицы величин в СИ

Наименование	Величина		Единица	
	Обозначение размерности	Наименование	Обозначение	
			Международное	Русское
Длина	L	метр	<i>m</i>	<i>м</i>
Время	T	секунда	<i>s</i>	<i>с</i>
Масса	M	килограмм	<i>kg</i>	<i>кг</i>
Сила электрического тока	I	Ампер	<i>A</i>	<i>А</i>
Термодинамическая температура	Θ	Кельвин	<i>K</i>	<i>К</i>
Количество вещества	N	моль	<i>mol</i>	<i>моль</i>
Сила света	J	кандела	<i>cd</i>	<i>кд</i>

Таблица 4
Производные единицы СИ, имеющие наименование

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	Выражение через основные единицы СИ
Поток магнитной индукции	Вебер	Вб	$\text{м}^2\text{кг}\text{с}^{-2}\text{А}^{-1}$
Индукция магнитного поля	Тесла	Тл	$\text{кг}\text{с}^{-2}\text{А}^{-1}$
Индуктивность	Генри	Гн	$\text{м}^2\text{кг}\text{с}^{-2}\text{А}^{-2}$

IX. РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

- электронная база данных учебно-методической литературы кафедры Общей и технической физики (СПГУ);
- электронные версии учебников, пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы, предусмотренных вузовской рабочей программой, находящиеся в свободном доступе для студентов, обучающихся в вузе, на внутри сетевом сервере <http://www.spmi.ru/>;
- научная Электронная Библиотека <http://www.e-library.ru/>;
- информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru/>);
- рекомендуемые поисковые системы <http://www.yandex.ru/>, <http://www.google.ru/>, <http://www.google.com/> и др.

2. Савельев И.В. Курс физики. Т. 1-3. СПб., М.: Издательство «Лань», 2008.

3. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике СПб., М., Лань, 2006.

4. Физика. Электромагнетизм. Методические указания для самостоятельной работы студентов бакалавриата направления подготовки 140400. /Национальный минерально-сырьевой университет "Горный". Сост.: Н.Н.Смирнова СПб, 2013. 27 с.

5. Чертов А. Г. Воробьев А.А.. Задачник по физике. М.: Физматлит, 2003.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Введение.....	3
II. Теоретическое содержание.....	4
Магнитное поле. индукция магнитного поля. принцип Суперпозиции магнитных полей.....	4
Законы магнетизма.....	6
III. Пример решения задач.....	9
IV. Контрольные вопросы.....	10
V. Расчётно-графическое задание.....	12
VI. Требования к содержанию отчёта и решению задач расчётно- графической работы.....	19
VII. Рекомендации к защите отчета.....	20
VIII. справочные таблицы.....	21
IX. Рекомендательный библиографический список.....	22

ФИЗИКА

МАГНЕТИЗМ

*Методические указания к расчётно-графическим работам
для студентов бакалавриата направлений
21.03.01, 20.03.01, 13.03.01, 13.03.02, 27.03.04
и специальности 08.05.01*

Сост.: Н.Н. Смирнова, В.В. Фицак

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
общей и технической физики

Ответственный за выпуск Н.Н. Смирнова

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 08.06.2018. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,0. Тираж 200 экз. Заказ 531. С.177.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2