

**Министерство образования Российской Федерации
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТОКА**

**Методические указания
к лабораторной работе № 60
по курсу общей физики**

Уфа 2001

Министерство образования Российской Федерации

**УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**
Кафедра общей физики

**ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТОКА**

Методические указания
к лабораторной работе № 60
по курсу общей физики

Уфа 2001

Составитель С. А. Шатохин

Изучение магнитного поля прямолинейного тока. Методические указания к лабораторному практикуму по разделу “Электромагнетизм”/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: С. А. Шатохин. -Уфа, 2001. - 14 с.

Методические указания предназначены для студентов, изучающих раздел курса общей физики «Электричество и магнетизм». Детально рассмотрены характеристики магнитного поля прямолинейного тока. Изложена методика экспериментального определения магнитного поля токонесущих проводников.

Табл.2. Ил.7. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: В. Р. Строкина
Ф. Ш. Шарифьянов

Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть	4
2.1. Магнитное поле и его характеристики.....	4
2.2. Магнитное поле прямолинейного тока	7
2.3. Экспериментальное определение индукции поля.....	9
3. Описание установки и методики измерений	11
4. Требования по технике безопасности.....	12
5. Порядок выполнения работы.....	13
6. Требования к отсчету	13
7. Контрольные вопросы.....	14
Список литературы.....	14

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 60

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТОКА

1. Цель работы

Целью данной работы является изучение магнитного поля прямолинейного тока; проверка зависимости индукции магнитного поля от расстояния до проводника; определение магнитной постоянной.

2. Теоретическая часть

2.1. Магнитное поле и его характеристики

Магнитные явления удобно описывать, используя представления о магнитном поле, которое (в отличие от электростатического) создается движущимися зарядами. Именно этим определяется единая природа магнетизма как для токов, так и для постоянных магнитов. В первом случае — это направленное движение заряженных носителей тока, а во втором — микроскопическое движение элементарных частиц в пределах атомов или молекул постоянного магнита.

Основной характеристикой магнитного поля в каждой точке пространства является вектор магнитной индукции \vec{B} , направление которого совпадает с направлением магнитной стрелки, помещенной в данную точку поля. Магнитные поля принято изображать с помощью линий магнитной индукции, которые проводятся так, чтобы касательная к ним в любой точке совпадала по направлению с вектором индукции \vec{B} для этой точки. На рисунке 2.1 показаны линии магнитной индукции в одной из плоскостей для прямолинейного и кругового токов. Видно, что направление линий магнитной индукции согласуется с правилом правого витка.

Вектор индукции в каждой точке магнитного поля, создаваемого проводником с током, можно определить на основе закона Био-Савара-Лапласа, который в системе СИ имеет вид

$$\vec{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I[\vec{dl} \cdot \vec{r}]}{r^3} \quad (2.1)$$

или в скалярной форме

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I \cdot d\mathbf{l}}{r^2} \cdot \sin \alpha \quad (2.2)$$

где μ_0 – магнитная постоянная;

I – сила тока в проводнике;

$d\mathbf{l}$ – вектор, совпадающий с направлением силы тока и равный длине участка проводника;

\mathbf{r} – радиус-вектор, проведенный от элемента тока ($I \cdot d\mathbf{l}$) в точку, где определяется индукция магнитного поля $d\mathbf{B}$;

α – угол между векторами $d\mathbf{l}$ и \mathbf{r} .

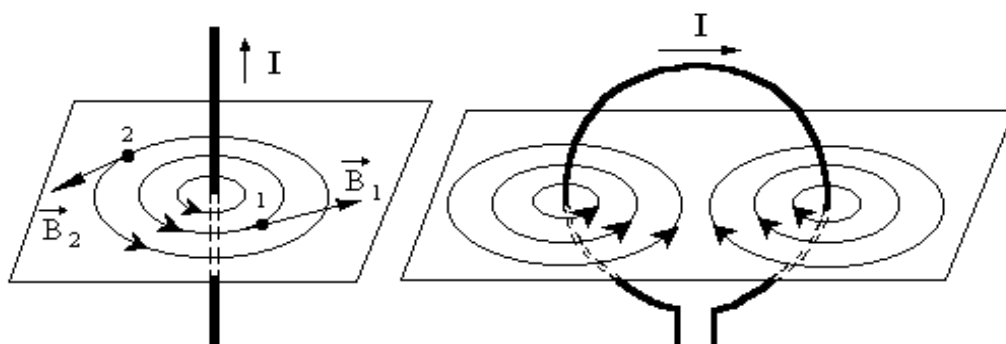


Рисунок 2. 1

Закон Био-Савара-Лапласа выражает вклад $d\mathbf{B}$ в индукцию магнитного поля в интересующей точке от отдельного малого участка $d\mathbf{l}$ проводника с током. Направление вектора $d\mathbf{B}$ перпендикулярно к плоскости, в которой лежат вектора $d\mathbf{l}$ и \mathbf{r} (рисунок 2.2).

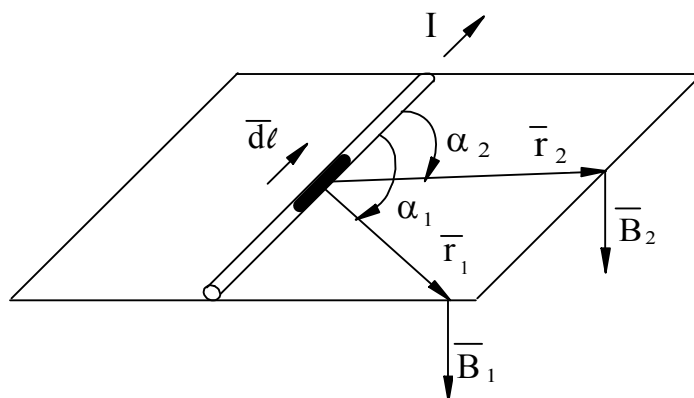


Рисунок 2.2

Каждый участок провода дает свой вклад, а результирующий вектор магнитной индукции согласно принципу суперпозиции будет равен векторной сумме этих вкладов.

Индукция магнитного поля является силовой характеристикой, так как ее значение определяет силу, действующую на малый элемент тока ($I \overline{dl}$), помещенный в данную точку поля. Согласно закону Ампера, эта сила равна

$$\overline{dF} = [(I \cdot \overline{dl}) \cdot \overline{B}] \quad (2.3)$$

Закон Ампера может быть основой для определения единицы измерения индукции магнитного поля. В системе СИ эта единица называется Тесла (Тл). Ее взаимосвязь с другими единицами следует из (2.3):

$$[B] = \text{Н} / (\text{А} \cdot \text{м}) = \text{Тл}$$

В таблице 2.1 приведены значения индукции магнитного поля в различных естественных и технических условиях.

Таблица 2.1 Диапазон измеренных магнитных полей

Источник	B, Тл
Токи альфа-ритма головного мозга	10^{-15}
Типичный телевизионный сигнал	10^{-11}
Свет лампочки 100 Вт на расстоянии 3 м	10^{-8}
Магнитное поле Земли	10^{-4}
Электродвигатель	1

2.2. Магнитное поле прямолинейного тока

Поле прямолинейного тока в любой выбранной точке на расстоянии r_0 от проводника в соответствии с принципом суперпозиции равно векторной сумме полей всех элементов тока (рисунок 2.3):

$$\vec{B} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2 + \dots \quad (2.4)$$

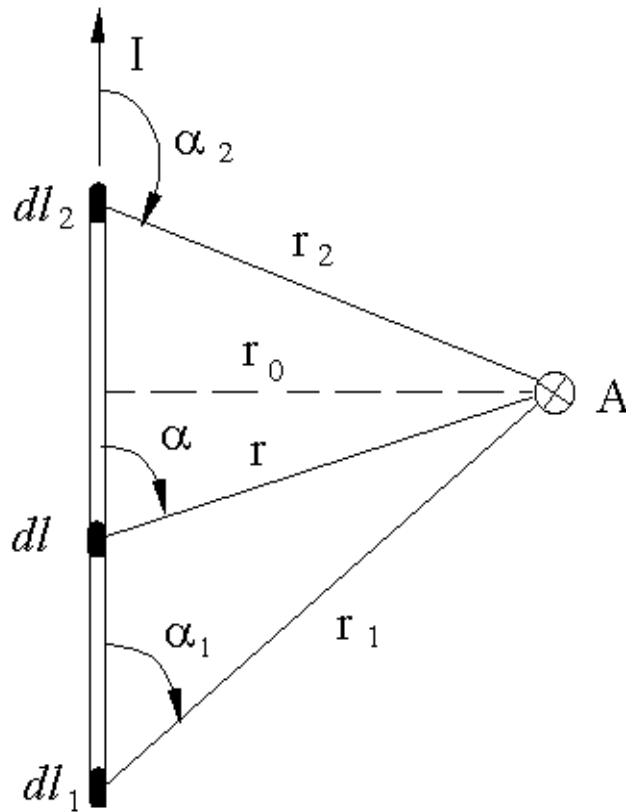


Рисунок 2.3

Хотя расстояние от каждого участка r и угол α меняются, неизменным остается направление всех векторов отдельных вкладов $d\vec{B}$. (На рисунке 2.3 вектора направлены за плоскость чертежа). Поэтому от векторного суммирования (2.4) можно перейти к скалярному

$$B = dB_1 + dB_2 + \dots = \int dB, \quad (2.5)$$

которое можно выполнить, используя интегральное исчисление. Поскольку переменные величины r и α не являются независимыми, то для удобства интегрирования можно выразить одну величину через другую. Пусть переменной интегрирования будет угол α , который изменяется в пределах от α_1 до α_2 . Непосредственно из рисунка 2.3 следует:

$$r = \frac{r_0}{\sin \alpha} \quad (2.6)$$

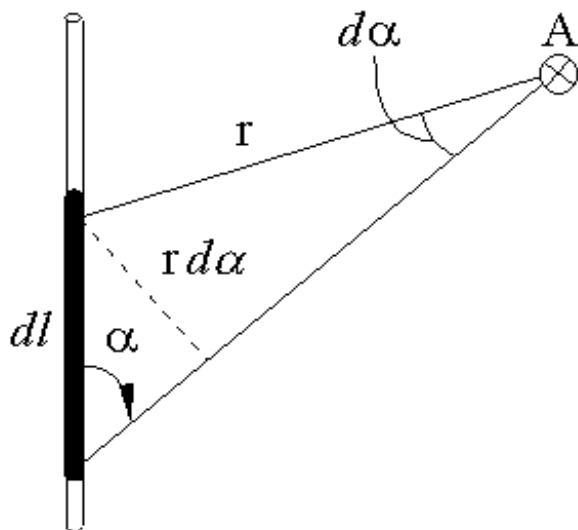


Рисунок 2.4

Длину участка dl также можно найти из геометрических соображений, смысл которых ясен из рисунке 2.4, где приведен увеличенный фрагмент предыдущего рисунка. Видно, что

$$dl = \frac{r \cdot \sin(d\alpha)}{\sin \alpha} \approx \frac{r \cdot d\alpha}{\sin \alpha} \quad (2.7)$$

Тогда с учетом соотношений (2.6) и (2.7) закон Био-Савара-Лапласа будет иметь следующий вид:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cdot \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (2.8)$$

Интегрируя по α , получим:

$$B = \int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cdot \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha \cdot d\alpha \quad (2.9)$$

или

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{I}{r_0} \cdot (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2) \quad (2.10)$$

В том случае, когда длина проводника $L \gg r_0$, $\alpha_1 \approx 0^\circ$, а $\alpha_2 \approx 180^\circ$, и выражение (2.10) приобретает вид:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{r_0} \quad (2.11)$$

которое определяет индукцию магнитного поля на расстоянии r от бесконечно длинного прямолинейного тока I .

2.3. Экспериментальное определение индукции поля

Пропускание переменного синусоидального тока по прямолинейному проводнику приводит к тому, что в пространстве вокруг него возникает переменное магнитное поле, которое изменяется в каждой точке по закону

$$V = V_m \cdot \cos \omega t \quad (2.12)$$

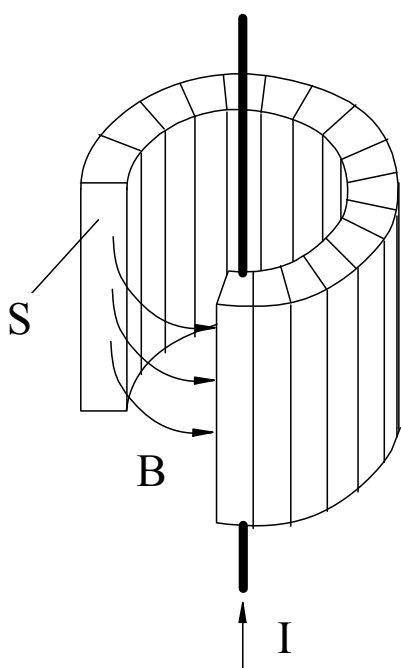


Рисунок 2.5

Амплитудное значение V_m зависит от расстояния до проводника по закону (2.11). Экспериментальное определение индукции магнитного поля V основано на явлении электромагнитной индукции. Для этого используется кольцевая катушка с заданным радиусом r_0 (рисунок 2.5), где при наличии переменного магнитного поля наводится ЭДС индукции ε , величина которой связана с индукцией магнитного поля. Измерив ε в катушке можно вычислить основную характеристику поля – магнитную индукцию V .

Соотношение между ЭДС в кольцевой катушке и индукцией поля можно получить из закона электромагнитной индукции:

$$\varepsilon = -\frac{d\psi}{dt} = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.13)$$

где ψ — потокосцепление;

N — число витков в катушке;

Φ — магнитный поток, пронизывающий каждый виток катушки.

Принимая во внимание, что поток в данном случае равен

$$\Phi = B \cdot S , \quad (2.14)$$

и учитывая (2.12), получим :

$$\varepsilon = N \cdot S \cdot \omega \cdot B_m \cdot \sin \omega t = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t , \quad (2.15)$$

где

$$\varepsilon_m = N \cdot S \cdot \omega \cdot B_m \quad (2.16)$$

откуда

$$B_m = \frac{\varepsilon_m}{N \cdot S \cdot \omega} \quad (2.17)$$

Электроизмерительные приборы для определения тока и напряжения, как правило, дают не амплитудные значения, а усредненные или эффективные величины соответствующих характеристик, которые связаны с амплитудными простыми соотношениями:

$$I_{\text{эф}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} ; \quad U_{\text{эф}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} ; \quad \varepsilon_{\text{эф}} = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{2}} \quad (2.18)$$

Таким образом, измерив $\varepsilon_{\text{эф}}$, нетрудно найти $B_{\text{эф}}$ по формуле

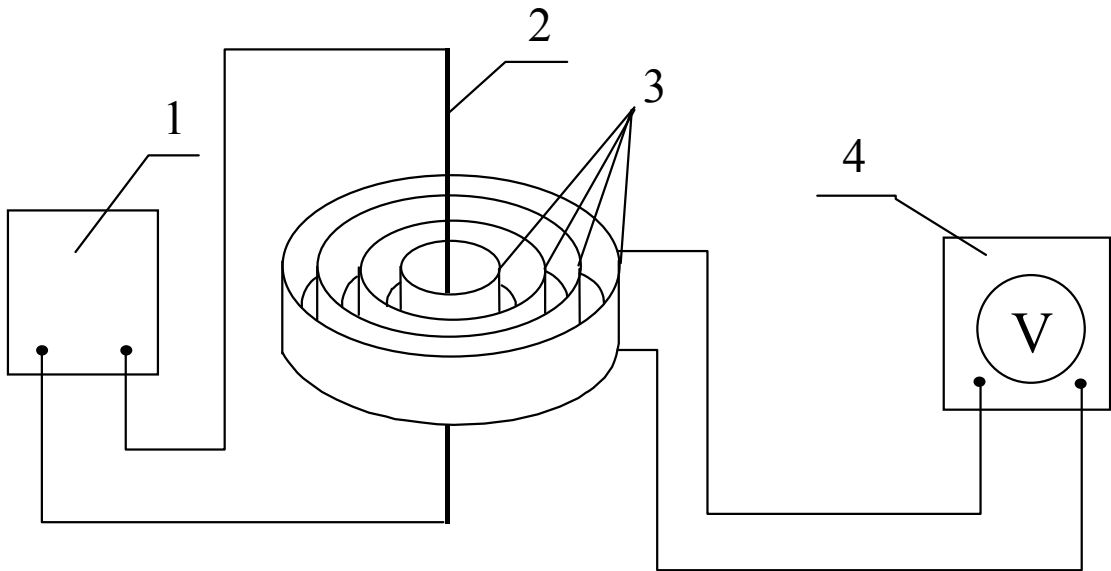
$$B_{\text{эф}} = \frac{\varepsilon_{\text{эф}}}{N \cdot S \cdot \omega} \quad (2.19)$$

Полученные данные можно использовать для анализа зависимости

$$B_{\text{эф}} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_{\text{эф}}}{r_0} \quad (2.20)$$

3. Описание установки и методики измерений

Экспериментальная установка состоит из длинного токопроводящего стержня, вокруг которого соосно расположены четыре кольцевые катушки разного диаметра (рисунок 3.1). Катушки намотаны медным проводом на каркас из немагнитного материала (магнитная проницаемость $\mu=1$).



- 1 — источник переменного тока;
- 2 — прямолинейный стальной стержень;
- 3 — измерительные кольцевые катушки;
- 4 — вольтметр.

Рисунок 3.1

При пропускании по прямолинейному проводнику переменного электрического тока в каждой катушке наводится ЭДС, для измерения которой используется вольтметр. Таким образом, по формуле (2.19) можно определить эффективное значение индукции магнитного поля для четырех значений расстояния r_0 от проводника. Полученные данные дают возможность экспериментально проверить зависимость (2.20), которая при заданном значении силы тока I в проводнике должна представлять собой линейную функцию V от r_0^{-1} . Для того чтобы убедиться в этом, необходимо построить график соответствующей зависимости (рисунок 3.2). Коэффициент наклона прямой

$$V = k \cdot r_0^{-1} \quad (3.1)$$

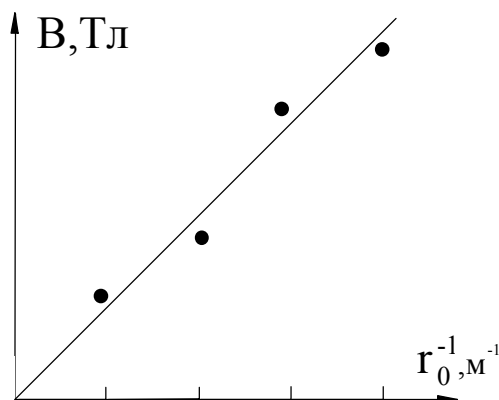


Рисунок 3.2

как видно из сравнения с (2.20), связан с силой тока соотношением

$$k = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot I \quad (3.2)$$

Поэтому, определив k непосредственно из графика, можно вычислить величину магнитной постоянной μ_0 по формуле

$$\mu_0 = \frac{2\pi k}{I} \quad (3.3)$$

Необходимые для вычисления значения площади сечения кольцевых катушек S , числа витков N и радиуса r_0 для каждой катушки приведены на панели лабораторной установки. Частота переменного тока равна 50 Гц.

4. Требования по технике безопасности

4.1. Прежде чем приступить к работе, внимательно ознакомьтесь с заданием и оборудованием.

4.2. Проверьте заземление лабораторной установки и изоляцию токонесущих проводов.

4.3. Немедленно сообщите преподавателю или лаборанту о замеченных неисправностях.

4.4. Не загромождайте свое рабочее место оборудованием, не относящимся к выполняемой работе.

4.5. Не оставляйте без присмотра свою лабораторную установку, это может привести к несчастному случаю.

4.6. По окончании работы приведите в порядок свое рабочее место. Обесточьте все лабораторные приборы.

4.7. Запрещается уходить из лаборатории без разрешения преподавателя.

5. Порядок выполнения работы

5.1. После проверки установки преподавателем или лаборантом включить источник питания в сеть.

5.2. Подключить вольтметр к клеммам первой измерительной катушки.

5.3. Нажать кнопку на панели источника питания для пропускания тока через прямолинейный проводник. Измерить ЭДС, наведенную на катушке. (ВНИМАНИЕ! Измерения проводите не дольше 4—5 секунд).

5.4. Прodelать описанные выше измерения для других катушек.

5.5. Вычислить значения индукции магнитного поля внутри каждой катушки по формуле (2.19).

5.6. Полученные данные занести в таблицу, аналогичную приведенной ниже таблицы 5.1.

Таблица 5.1 Результаты измерений и вычислений

Катушка	1	2	3	4
Γ_0				
Γ_0^{-1}				
N				
I=	ε			
	B			

5.7. Построить на миллиметровой бумаге графики зависимости магнитной индукции B от расстояния Γ_0^{-1} .

5.8. Из графиков найти коэффициент наклона прямой и вычислить значение магнитной постоянной, используя формулу (3.3).

5.9. Полученные значения коэффициента и магнитной постоянной записать в виде ответов под таблицей.

6. Требования к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и номер лабораторной работы;
- 2) основные формулы для выполнения расчетов;
- 3) таблицу с результатами измерений и вычислений;
- 4) график на миллиметровой бумаге;
- 5) выводы по работе.

7. Контрольные вопросы

1. Чем обусловлено возникновение магнитного поля?
2. Как изображаются магнитные поля?
3. Какая физическая величина является основной характеристикой магнитного поля?
4. Как формулируется и что выражает закон Био-Савара-Лапласа?
5. От чего зависит величина и направление индукции магнитного поля элемента тока?
6. Каким образом и на основании каких законов можно получить выражение для расчета индукции магнитного поля прямолинейного проводника?
7. Какое явление лежит в основе экспериментального определения индукции магнитного поля прямолинейного тока?
8. Как в данной работе осуществляется проверка теоретической зависимости индукции магнитного поля от расстояния до проводника?
9. Каким образом можно повысить точность в определении магнитной постоянной?

Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Т2. - М.: Наука физмат, 1998.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1999.

Составитель: ШАТОХИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ИЗУЧЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ТОКА
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к лабораторной работе № 60
по разделу “Электромагнетизм”

Редактор Г.Р.Юнусова
ЛБ №

Подписано к печати 31.08.01. Формат 80 х 64 1/16.
Бумага оберточная. Печать плоская. Усл. печ. л. 0,7.
Усл.-кр.-отт. 0,7. Уч-изд.л. 0,6. Тираж 300 экз.
Заказ № . Бесплатно.

Уфимский государственный авиационный технический университет.
Уфимская типография № 2 Министерства печати и массовой информации
Республики Башкортостан

450000, Уфа-центр, ул. К.Маркса, 12