

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет**

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ МЕТАЛЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

**Методические указания
к лабораторной работе № 36
по дисциплине «Физика»**

Уфа 2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Уфимский государственный авиационный технический университет

Кафедра физики

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ МЕТАЛЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

Методические указания
к лабораторной работе № 36
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель Е.В. Трофимова

УДК 537.533.2 (07)

ББК 22.333 (Я7)

Методические указания к лабораторной работе № 36 по дисциплине «Физика» «Изучение термоэлектронной эмиссии металлов. Определение работы выхода электрона» / Уфим. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Е.В. Трофимова. – Уфа, 2013. – 13 с.

Методические указания знакомят студентов с явлением термоэлектронной эмиссии из металлов. Студентам предлагается определить работу выхода электрона из вольфрама по зависимости тока насыщения от температуры.

В методических указаниях приведены краткая теория, описание лабораторной установки, методика выполнения работы, форма отчетности.

Предназначены для студентов, изучающих раздел «Электричество и магнетизм» дисциплины «Физика», на всех реализуемых направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 2. Ил. 6. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. Строкина В.Р.,
канд. физ.-мат. наук, доц. Шатохин С.А.

©Уфимский государственный авиационный
технический университет, 2013

Содержание

Введение	4
1. Цель работы.....	4
2. Задачи.....	5
3. Теоретическая часть	5
3.1. Термоэлектронная эмиссия	6
3.2. Метод измерения.....	9
4. Приборы и оборудование	10
5. Требования по технике безопасности	11
6. Задания.....	11
7. Методика выполнения заданий	11
8. Требования к содержанию и оформлению отчета	12
9. Контрольные вопросы	13
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы .	13
Список литературы	13

Лабораторная работа № 36

Изучение термоэлектронной эмиссии металлов. Определение работы выхода электрона

Введение

Термоэлектронная эмиссия металлов широко применяется в различных вакуумных устройствах – электронных лампах, электронно-лучевых трубках, ионно-лучевых пушках и т.д. С научной точки зрения теория термоэлектронной эмиссии вносит существенный вклад в понимание природы электрического тока, распределения электронов по энергиям теплового движения.

В предлагаемой лабораторной работе изучаются основные положения термоэлектронной эмиссии металлов с помощью двухэлектродной лампы – вакуумного диода. Выполнение работы позволит студентам разобраться в теории явления, методах обработки экспериментальных данных в случаях, когда искомая физическая величина входит в аргумент трансцендентной функции.

В результате выполнения данной лабораторной работы формируются следующие **компетенции**:

- способность демонстрировать базовые знания в области общенаучных дисциплин и готовность использовать основные законы в профессиональной деятельности;
- способность проводить эксперименты по заданной методике, обработку результатов, оценку погрешности и достоверности их результатов.

Перечисленные компетенции формируются через **умения**:

- работать с измерительными приборами;
 - рассчитывать физические величины по экспериментальным данным;
 - анализировать результаты опыта;
 - оформлять отчет;
- а также **владения**:
- теоретическим материалом;
 - навыками измерения физических величин по приборам;
 - технологией обработки экспериментальных данных.

1. Цель работы

Изучение термоэлектронной эмиссии металлов, определение работы выхода электрона.

2. Задачи

1. Усвоение важного физического явления – электронной эмиссии металлов.

2. Приобретение навыков правильной эксплуатации электроизмерительных приборов и оборудования современной физической лаборатории, получения экспериментальных функциональных зависимостей между физическими величинами.

3. Освоение одного из методов обработки экспериментальных данных и определение работы выхода электрона из металла.

3. Теоретическая часть

Металлическая связь характеризуется обобществлением валентных электронов отдельных атомов во всем кристалле. Эти обобществленные электроны называются электронами проводимости и могут свободно перемещаться внутри металла. Однако выйти из металла они не могут вследствие притяжения положительно заряженными ионами кристаллической решетки. Электроны, совершая тепловое движение, могут пересекать поверхность металла и удаляться от нее на небольшие расстояния (порядка атомных). При этом у поверхности металла возникает электронный слой, а в металле остается нескомпенсированный заряд положительных ионов. Вблизи поверхности образуется двойной заряженный слой наподобие конденсатора. В результате в поверхностном слое металла появляется электрическое поле, а потенциал при переходе из внешнего пространства внутрь металла увеличивается на некоторую величину ϕ . Соответственно потенциальная энергия электрона уменьшается на $e\phi$. Распределение потенциальной энергии электрона у границы металл-вакуум имеет вид потенциального барьера (рис. 3.1).

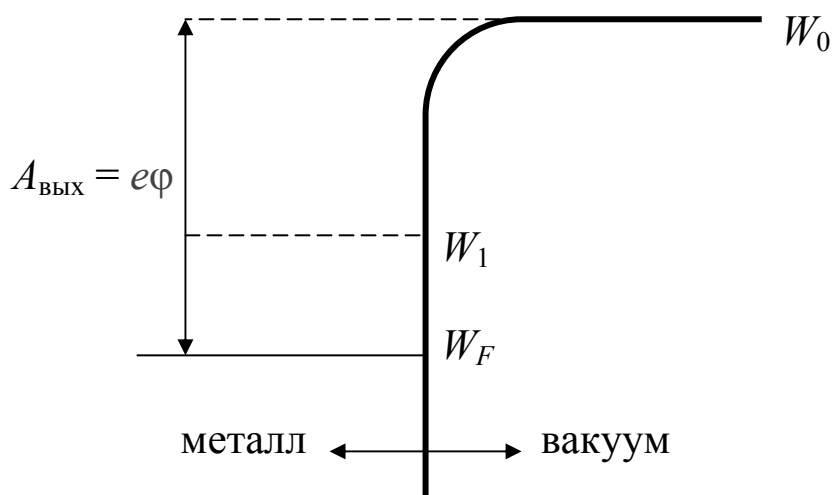


Рис. 3.1

W_0 – энергия покоящегося электрона в вакууме; W_F – энергия Ферми, т.е. максимальная энергия электрона в металле при нулевой абсолютной температуре

Величина $A_{\text{вых}} = e\phi = W_0 - W_F$ называется работой выхода электрона. Такую работу должен совершить электрон, чтобы выйти из металла в вакуум. Если электрон внутри металла имеет полную энергию, например, W_1 (рис. 3.1), он не сможет покинуть металл. Условие вылета электрона из металла: $W \geq W_0$. При комнатной температуре и отсутствии внешних возбуждений практически для всех электронов это условие не выполняется, и электроны остаются внутри проводника.

Явление испускания электронов металлами называют электронной эмиссией.

По способам возбуждения различают термо-, фото-, авто-, вторичную электронную эмиссии.

Термоэлектронная эмиссия имеет место при нагревании металлов; при возбуждении электронов светом говорят о фотоэлектронной эмиссии; при автоэлектронной эмиссии электроны вырываются из металла сильным электрическим полем; вторичной электронной эмиссией называют выбивание электронов бомбардировкой поверхности металла электронами или ионами.

3.1. Термоэлектронная эмиссия

Термоэлектронной эмиссией называют испускание электронов нагретыми телами. Для ее наблюдения можно использовать вакуумную лампу – диод.

На рис. 3.2 представлена электрическая цепь для изучения термоэлектронной эмиссии.

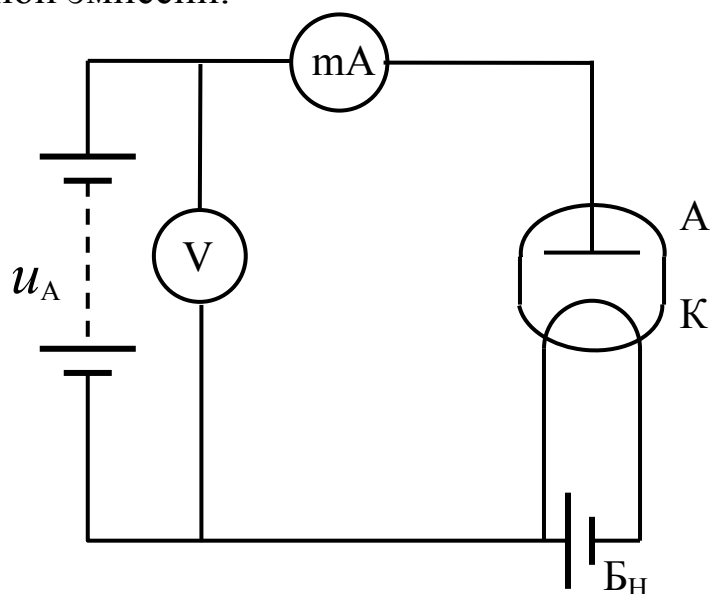


Рис. 3.2

Батарея B_H служит для нагрева катода К. Если раскалить катод К до высокой температуры (при этом катод эмиттирует в вакуум электроны) и приложить к аноду А положительное напряжение U_A , то эмиттированные электроны устремляются к аноду, и в цепи возникает электрический ток.

Анодный ток создают электроны, покинувшие катод вследствие термоэлектронной эмиссии, поэтому его можно также назвать термоэлектронным током. Сила этого тока в диоде зависит от величины напряжения U_A так, как показано на рис. 3.3.

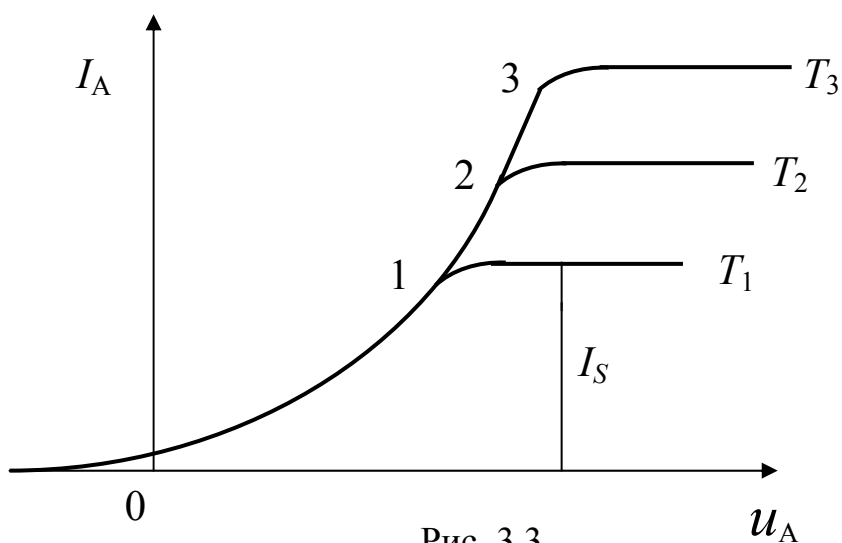


Рис. 3.3

Отклонение зависимости анодного тока I_A от анодного напряжения U_A от прямолинейной связано с тем, что классическая теория электропроводности в данном случае неприменима, и закон Ома не выполняется. В металлах электроны проводимости ускоряются в электрическом поле, при столкновениях с атомами решетки теряют скорость, снова ускоряются и т.д. – в результате их средняя скорость оказывается пропорциональной напряженности поля. В вакууме же электрону не с чем сталкиваться, и он ускоряется на всем промежутке от катода до анода. Это одна причина нелинейной зависимости $I_A(U_A)$. Вторая причина состоит в том, что электрическое поле в этом промежутке неоднородно из-за наличия вблизи катода области пространственного заряда, образованного вылетевшими электронами. Размеры этой области зависят от приложенного напряжения: чем больше напряжение, тем меньше объемная плотность заряда и тем она более протяженна.

Теоретические расчеты, выполненные С. Ленгмюром и С.А. Богуславским для электродов различной формы, показывают, что зависимость тока диода I_A от анодного напряжения U_A имеет вид

$$I_A = C \cdot U_A^{3/2}, \quad (3.1)$$

где C – константа, зависящая от формы и размеров электродов.

Соотношение (3.1) выражает уравнение кривой 0123 рис. 3.3 и носит название закона Богуславского-Ленгмюра.

При внимательном рассмотрении рис. 3.3 можно заметить, что реальная кривая не проходит через начало координат, а смещена в область отрицательных напряжений. Отклонение этой кривой от графика функции (3.1) обусловлено тем, что закон Богуславского-Ленгмюра получен в предположении, что электроны покидают катод с нулевыми скоростями. В реальности электроны при вылете имеют некоторую кинетическую энергию и способны достичь анода даже при небольшом отрицательном напряжении.

Когда потенциал анода становится настолько большим, что все электроны, испускаемые катодом в единицу времени, попадают на анод, ток достигает своего максимального значения и перестает зависеть от анодного напряжения. Число электронов, эмиттируемых с катода в единицу времени, зависит от его температуры. На рис. 3.3 I_S – величина тока насыщения, три кривые относятся к трем разным температурам катода, причем $T_1 < T_2 < T_3$.

Плотность тока насыщения j_S характеризует эмиссионную способность катода. Число электронов в металле, способных преодолеть потенциальный барьер $A_{\text{ВЫХ}} = e\phi$ (рис. 3.1) и выйти в вакуум, резко увеличивается при повышении температуры. Температурная зависимость тока насыщения выражается формулой Ричардсона – Дэшмана

$$j_S = B \cdot T^2 \cdot e^{-\frac{A_{\text{ВЫХ}}}{kT}}, \quad (3.2)$$

где B – эмиссионная способность катода, постоянная для данного металла; k – постоянная Больцмана; $A_{\text{ВЫХ}}$ – работа выхода электрона из металла; T – абсолютная температура.

Экспоненциальная зависимость числа электронов, преодолевающих барьер $A_{\text{ВЫХ}}$, от величины работы выхода и обратной температуры вытекает из распределения Больцмана.

3.2. Метод измерения

Измеряя на опыте зависимость тока насыщения от температуры, можно определить работу выхода для данного металла.

В нашем случае для определения работы выхода используется метод прямых Ричардсона. Суть метода в следующем. Прологарифмируем уравнение (3.2).

$$\ln \frac{j_S}{T^2} = \ln B - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{k} \cdot \frac{1}{T}. \quad (3.3)$$

Переходя к десятичным логарифмам, найдем

$$\lg \frac{j_S}{T^2} = \lg B - \frac{A_{\text{ВЫХ}}}{k} \lg e \cdot \frac{1}{T}. \quad (3.4)$$

Подставляя $\lg e = 0,43$, получим

$$\lg \frac{j_S}{T^2} = \lg B - \frac{0,43}{k} A_{\text{ВЫХ}} \cdot \frac{1}{T}. \quad (3.5)$$

Такой вид уравнения удобен для его экспериментальной проверки.

График зависимости $\lg(j_S / T^2)$ от $1/T$ является прямой линией с угловым коэффициентом $0,43 A_{\text{ВЫХ}} / k$. Определив тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс $1/T$, рассчитывают работу выхода

$$A_{\text{ВЫХ}} = \frac{k \operatorname{tg} \alpha}{0,43}. \quad (3.6)$$

Для построения графика необходимо знать плотность анодного тока насыщения и температуру катода.

Плотность тока насыщения определяют как отношение величины анодного тока к площади поверхности катода.

Температуру определяют по измеренному току накала катода при помощи графика зависимости температуры катода от тока накала (рис. 3.4).

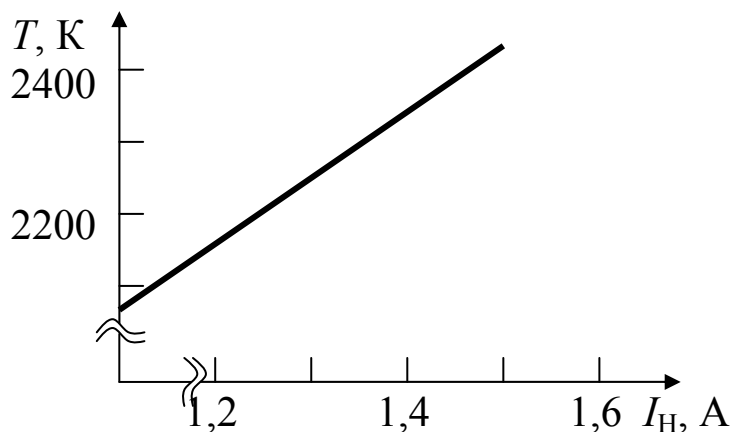
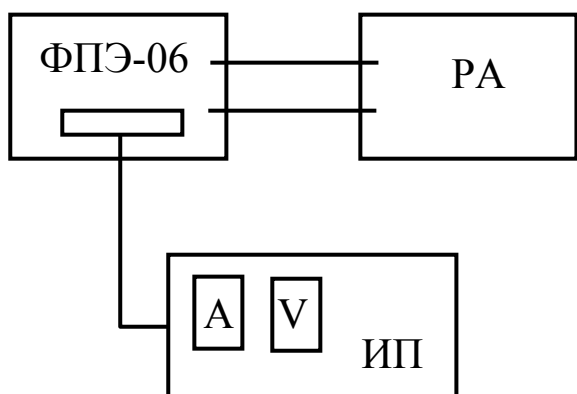


Рис. 3.4

4. Приборы и оборудование

Измерения проводятся по схеме, представленной на рис. 4.1 и 4.2.



ИП – источник питания,
ФПЭ – кассета ФПЭ-06,
РА – миллиамперметр

Рис. 4.1

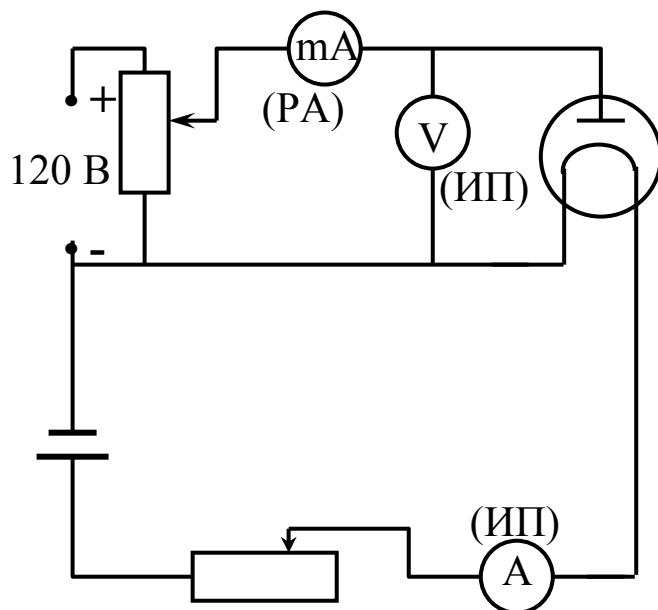


Рис. 4.2

Амперметр на панели источника питания служит для контроля тока накала I_H , максимальное значение которого не должно превышать 2,2 А. Плавная регулировка накала осуществляется ручкой, расположенной под амперметром.

Вольтметр на панели источника питания измеряет анодное напряжение U_A , регулировка которого производится ручкой на панели источника питания, расположенной непосредственно под вольтметром.

Для измерения анодного тока I_A используется комбинированный прибор В7-40/5 (на схеме РА) (рис. 4.1, 4.2), который подключается к cassette ФПЭ-06 (рис. 4.1)

5. Требования по технике безопасности

1. Перед началом работы тумблеры «сеть» на стенде и на приборах должны быть отключены.

2. Убедиться в исправности электрических шнуров, вилок, розеток.

3. Проверить правильность соединения приборов по рис. 4.1.

4. Вывести регулировки тока накала и анодного напряжения в крайние левые положения.

5. Установить на приборе В7-40/5 режим измерения последовательным нажатием клавиш « $I \Rightarrow$ » и «АВП».

6. Задания

1. Получить вольтамперные характеристики вакуумного диода при различных токах накала катода и определить величины токов насыщения.

2. По температурной зависимости тока насыщения определить работу выхода электрона из материала катода.

7. Методика выполнения заданий

Задание 1. Получить вольтамперные характеристики вакуумного диода при различных токах накала катода, определить величины токов насыщения.

1. Подключить cassette ФПЭ-06 соединительным кабелем к источнику питания ИП (рис. 4.1).

2. Установить ток накала $I_A = 1,3$ А.

3. Увеличивая анодное напряжение U_A от 10 до 100 В через каждые 10 В, записать соответствующие значения анодного тока в табл. 7.1. Показания снимать, убедившись в правильном показании тока накала непосредственно в момент измерения анодного тока.

4. Установить последовательно ток накала $I_H = 1,4; 1,5; 1,6; 1,7$ А и для каждого значения I_H провести измерения по п. 3.

5. Для каждого значения тока накала построить вольтамперную характеристику и точку перегиба на каждой кривой считать точкой насыщения (I_S).

Задание 2. Определить работу выхода электрона из материала катода.

6. По графику зависимости температуры катода T от тока накала I_H (рис. 3.4) определить температуру катода для каждого значения I_H .

7. Рассчитать плотность анодного тока насыщения по формуле $j_S = I_S / S$. Величина тока насыщения I_S определяется из п. 5, площадь катода принять $S = 11 \text{ мм}^2$.

8. Все полученные данные занести в таблицу 7.2.

9. Построить график зависимости $\lg j_S / T^2$ от $1/T$, откладывая по оси абсцисс $1/T$, а по оси ординат $\lg j_S / T^2$.

10. Определить тангенс угла наклона полученной прямой к оси абсцисс и рассчитать работу выхода по формуле (3.6). Тангенс угла наклона определяется как отношение катетов $\Delta(\lg j_S / T^2)$ к $\Delta(1/T)$.

Таблица 7.1

U_A	I_A				
	$I_H=1,3$ А	$I_H=1,4$ А	$I_H=1,5$ А	$I_H=1,6$ А	$I_H=1,7$ А

Таблица 7.2

№ п/п	I_H , А	I_S , mA	T , К	$1/T$, К^{-1}	j_S , $\text{mA}/\text{м}^2$	j_S/T^2	$\lg(j_S/T^2)$
1							
2							
3							
4							

8. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Номер, название и цель лабораторной работы.
2. Краткие основные теоретические положения.

3. Результаты исследований и расчетов в виде таблиц и графиков.

4. Окончательный результат (значение работы выхода) и выводы.

9. Контрольные вопросы

1. Подчиняется ли зависимость анодного тока от анодного напряжения для вакуумного диода закону Ома? Почему?

2. Какова причина насыщения тока в вакуумном диоде?

3. Что называют работой выхода электрона из металла?

4. В чем состоит явление электронной эмиссии?

5. Объясните качественно зависимость тока насыщения от температуры катода. Каким законом эта зависимость описывается?

6. Какие измерения необходимы для определения работы выхода электрона?

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел знаниями о природе явления электронной эмиссии металлов, понятием работы выхода электрона из металла, знанием законов термоэлектронной эмиссии;

- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;

- правильно построил графики $I_A(u_A)$, $\lg(j_s/T^2)$ от $1/T$;

- составил отчет, соответствующий требованиям;

- сформулировал выводы о проделанной работе;

- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики – М.: Академия, 2009. С. 243-245.

2. *Трофимова Т.И.* Курс физики – М.: Академия, 2012. С. 191-193.

Составитель ТРОФИМОВА Евгения Владимировна

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ МЕТАЛЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТЫ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНА

Методические указания
к лабораторной работе № 36
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr.

Усл. печ. л. 1,1. Усл.-кр.-отг. 1,1. Уч-изд.л. 0,9.

Тираж 100 экз. Заказ №

ФГБОУ ВПО Уфимский государственный авиационный
технический университет

Редакционно-издательский комплекс УГАТУ

450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12