

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**Методические указания к лабораторной работе № 88
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

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе № 88
по дисциплине «Физика»

Уфа 2013

Составитель Г. П. Михайлов

УДК 539.1.04 (07)

ББК 22.383 (Я7)

Исследование космического излучения: Методические указания к лабораторной работе № 88 по дисциплине «Физика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Г. П. Михайлов – Уфа, 2013. – 14 с.

Приведены краткие сведения о природе космического излучения, даны описание экспериментальной установки, порядок выполнения работы и контрольные вопросы.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих дисциплину «Физика» по разделу «Строение атома и атомного ядра», на всех направлениях подготовки бакалавров и специалистов.

Табл. 2. Ил. 4. Библиогр.: 2 назв.

Рецензенты: канд. физ.-мат. наук, доц. Тучков С. В.,
канд. физ.-мат. наук, доц. Шатохин С. А.

©Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2013

Содержание

Введение.....	4
1. Цель работы	5
2. Задачи	5
3. Теоретическая часть	5
4. Приборы и оборудование.....	9
5. Требования по технике безопасности	10
6. Задания	10
7. Методика выполнения заданий	10
7.1. Изучение поглощения космического излучения в свинце	10
7.2. Изучение углового распределения интенсивности космического излучения	12
8. Контрольные вопросы.....	13
9. Требования к содержанию и оформлению отчета.....	13
10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы .	14
Список литературы.....	14

Лабораторная работа № 88

Исследование космического излучения

Введение

Развитие физики элементарных частиц тесно связано с изучением космического излучения – излучения, приходящего на Землю практически изотропно со всех направлений космического пространства. В исследовании космических лучей четко выделяются два основных аспекта – космофизический и ядерно-физический. В первом занимаются изучением природы космических лучей, их происхождения, состава, энергетических спектров, механизмов ускорения частиц и т.д. Во втором направлении изучаются взаимодействия космических лучей высоких энергий с веществом, генерации элементарных частиц в атмосфере и их свойства. Этот аспект тесно примыкает к физике частиц высоких энергий. Именно детальное изучение зарядов и масс частиц вторичных космических лучей привело к открытию таких элементарных частиц, как позитрон, мюоны, π - и K -мезоны, Λ -гиперон. Космические лучи еще долго будут оставаться уникальным источником частиц сверхвысоких энергий.

В данной работе проводится изучение поглощения космического излучения в свинце и углового распределения интенсивности космических лучей.

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, обрабатывать результаты, оценивать их погрешность и достоверность.

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

1. Изучение зависимости интенсивности космического излучения от толщины пройденных им свинцовых пластин.
2. Проверка эмпирической формулы зависимости интенсивности космического излучения от угла наблюдения.

2. Задачи

1. Закрепление знаний студентами закономерностей космического излучения.
2. Приобретение навыков проведения измерений и умения обработки получаемых данных.
3. Изучение зависимости интенсивности космического излучения от толщины свинцовых пластин и угла наблюдения.

3. Теоретическая часть

Космические лучи были обнаружены в начале 20 века при изучении ионизации земной атмосферы. Экспериментальные факты показали, что интенсивность ионизации незначительно уменьшается при подъеме в атмосферу на 1000 м, а затем резко увеличивается, что нельзя объяснить, если считать, что источники ионизации находятся в недрах Земли. На рис. 3.1 представлен график зависимости интенсивности космического излучения от высоты над поверхностью Земли.

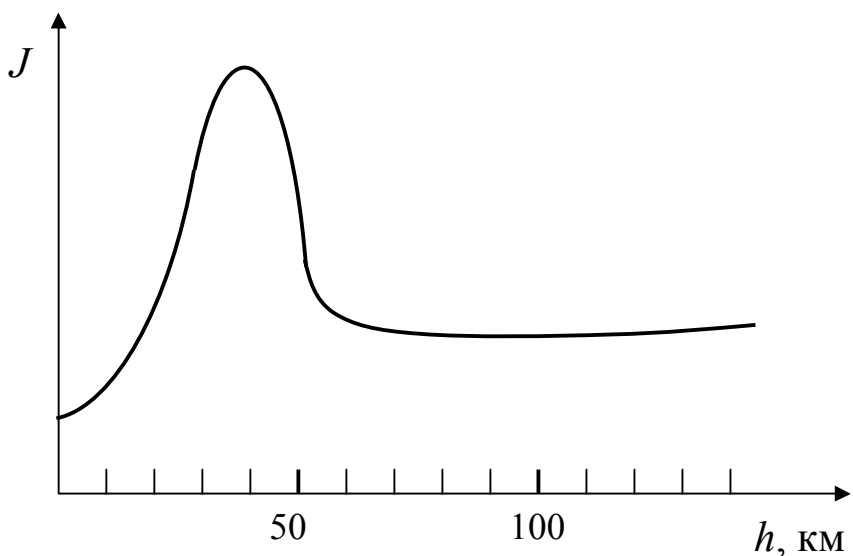


Рис. 3.1

Из рис. 3.1 видно, что на высотах, превышающих 50-60 км, наблюдается постоянная интенсивность космических лучей, с приближением к Земле происходит рост интенсивности этих лучей. Это связано с тем, что падающее на Землю космическое излучение взаимодействует с атмосферой, образуя вторичное излучение. Таким образом, различают первичное и вторичное космические излучения.

В околоземном космическом пространстве первичное космическое излучение состоит из галактического излучения (постоянная компонента) и солнечного излучения (временная компонента).

Исследования показали, что в состав первичных космических лучей входят атомные ядра с энергиями W на один нуклон, заключенными в интервале $10^9 \leq W \leq 10^{13}$ эВ, что во много раз превышает тепловую энергию частиц в самых горячих частях Вселенной. Излучение с энергией $W < 10^{13}$ эВ на 92 % состоит из протонов, примерно на 6,6% из ядер гелия (α -частиц). Более тяжелых ядер (главным образом углерода, азота, кислорода) около 0,8%. Наряду с протонами и ядрами в космических лучах содержится незначительное количество ($< 1\%$) электронов и позитронов и 0,01% γ -квантов.

Гипотезы о происхождении первичного космического излучения опираются на данные об энергии первичных частиц и на радиоастрономические данные. Считается, что в первичных лучах заряженные частицы приобретают большие энергии благодаря ускорению, которое они получают в электромагнитных полях звезд и Солнца. При вращении звезд, обладающих магнитными полями, создаются вихревые электрические поля. Магнитные поля звезд, действуя на протоны и ядра, удерживают их на замкнутых траекториях, двигаясь по которым, они приобретают в электрических полях огромные ускорения.

Свою огромную энергию частицы первичного космического излучения расходуют, главным образом, при неупругих столкновениях с ядрами атомов азота и кислорода воздуха в верхних слоях атмосферы. Результатом этих столкновений и связанных с ними процессов и являются вторичные космические лучи, которые достигают поверхности Земли. Оценки длин пробегов протонов и тяжелых ядер первичных лучей показывают, что ниже 20 км от поверхности Земли все космическое излучение является вторичным.

Вторичное космическое излучение состоит из двух компонент: мягкой (сильно поглощается свинцом) и жесткой (обладает в свинце большой проникающей способностью).

Мягкая компонента представлена электронами, позитронами и фотонами. «Родоначальниками» мягкой компоненты являются γ -кванты больших энергий, образующиеся при распаде π^0 -мезонов

$$\pi^0 \rightarrow h\nu_\gamma + h\nu_\gamma. \quad (3.1)$$

Эти γ -кванты («жесткие» γ -кванты) в поле атомных ядер легко превращаются в пары электрон-позитрон, следующие практически в том же направлении

$$h\nu_\gamma \rightarrow {}_{-1}e + {}_{+1}e. \quad (3.2)$$

Образовавшиеся таким образом легкие заряженные частицы – электроны и позитроны – в силу своей малой массы сильно ускоряются в поле встречных ядер и теряют много энергии на тормозное излучение, испускаемое ими. Возникающие таким образом γ -кванты также обладают еще весьма большой энергией и в свою очередь обращаются в пары электрон-позитрон. В результате каждый π^0 -мезон большой энергии оказывается родоначальником множества легких частиц (электронов, позитронов, γ -квантов), число которых нарастает лавинообразно (рис. 3.2).

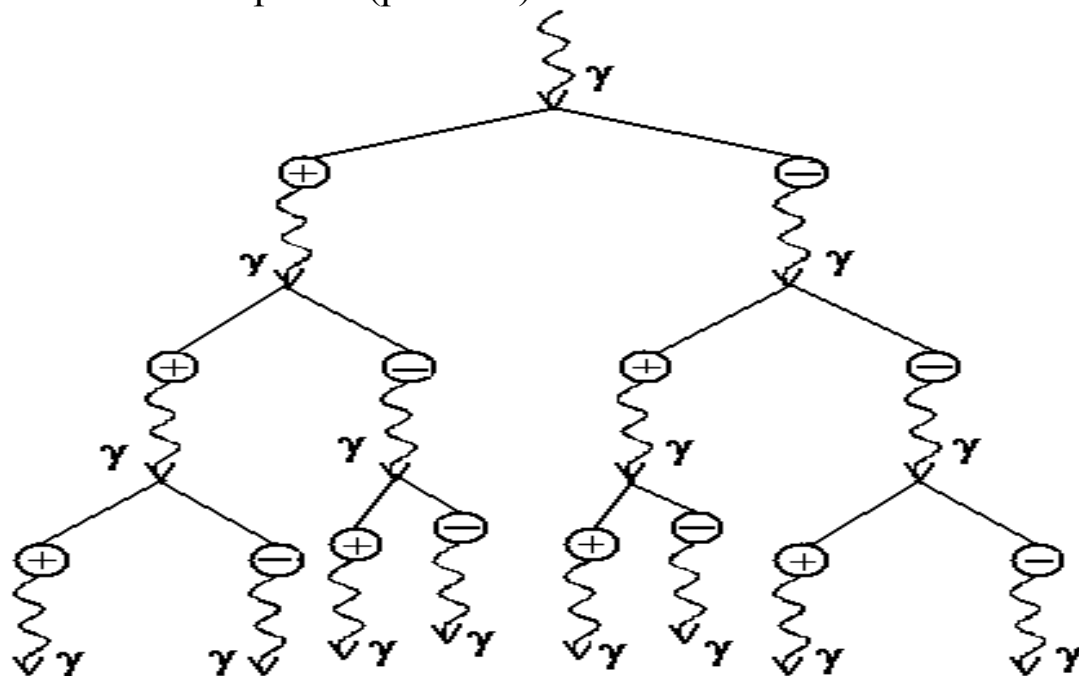


Рис. 3.2

Описанный процесс носит название каскадного космического ливня. Нарастание ливня происходит до тех пор, пока энергия γ -квантов достаточна для образования пары, т.е. превышает 1 МэВ.

Поскольку энергия первичной частицы делится между всеми ее потомками (а также тратится на производимую ими ионизацию по пути), то, в конце концов, размножение частиц прекращается. Образовавшиеся позитроны, замедлившись, аннигилируют со встречными электронами, порождая γ -кванты малой энергии, поглощаемые веществом.

В силу того, что γ -кванты легко превращаются в веществе в пары, а электроны и позитроны теряют энергию и на ионизацию, и на тормозное излучение, они не могут проходить слои вещества большой толщины, что и объясняет их «мягкость».

Жесткая компонента космического излучения состоит из μ -мезонов (мюонов), возникающих в результате распада заряженных π -мезонов (пионов)



где μ^+ и μ^- – соответственно положительный и отрицательный мюоны, ν_μ – мюонное нейтрино, $\tilde{\nu}_\mu$ – мюонное антинейтрино.

Масса мюонов значительно больше массы электронов, в электрических полях атомов они испытывают в сотни раз меньшее ускорение, чем электроны и позитроны, следовательно, их потери энергии на тормозное излучение очень малы. В результате мюоны, время жизни которых из-за их больших скоростей увеличено (это следует из теории относительности) не только достигают Земли, но и проникают на большую глубину в ее недра или под воду (на сотни метров).

Атмосфера сильно поглощает мягкую компоненту вторичного излучения, до Земли доходят фактически только высокоэнергетические галактические лучи с энергией более 10^{10} эВ.

4. Приборы и оборудование

Принципиальная схема установки, называемой «Космический телескоп», приведена на рис. 4.1.

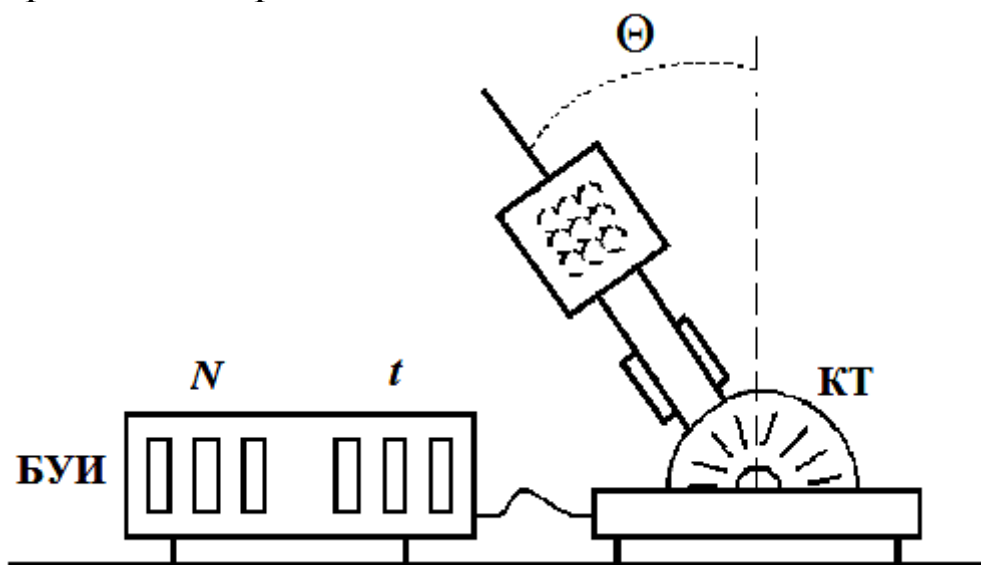


Рис. 4.1

Космический телескоп состоит из нескольких рядов параллельно включенных счетчиков Гейгера-Мюллера. Телескоп позволяет регистрировать только частицы, пролетевшие через все счетчики, что достигается с помощью схемы совпадений, посылающей в этом случае импульс напряжения на пересчетную схему.

Телескоп может поворачиваться вокруг своей оси крепления на угол Θ , считываемый на круговом лимбе прибора. Установка способна регистрировать частицы, летящие в пределах изменения этого угла.

Блок управления и индикации (БУИ) установки содержит:

1. Таймер с максимальным временем измерения 999 с.
2. Высоковольтный выпрямитель для питания счетчиков.
3. Схему совпадений.
4. Блок пересчета импульсов.

В БУИ имеются следующие кнопки управления:

«Сеть» (на задней панели прибора) – включает питание блоков 220 В.

«Пуск» – включает таймер и отсчет измеряемых импульсов одновременно.

«Стоп» – одновременная их остановка.

«Сброс» – обнуляет их показания.

«Время» – устанавливает необходимое время измерения.

На табло измерительного блока индикатор «Количество частиц» показывает число зарегистрированных частиц, а «Секунды» – показывает длительность интервала счета.

5. Требования по технике безопасности

1. Прежде чем включить установку, необходимо ознакомиться с ее устройством и принципом действия.
2. Проверить заземление установки.
3. Перед включением в сеть убедиться в исправности сетевых шнуров.

6. Задания

1. Изучение поглощения космического излучения в свинце.
2. Изучение углового распределения интенсивности космического излучения

7. Методика выполнения заданий

7.1. Изучение поглощения космического излучения в свинце

Процесс поглощения космических лучей в свинце достаточно сложен и для получения полной картины прохождения частиц через вещество необходим учет многих факторов, характеризующих не только частицу (масса, заряд, энергия), но и вещество (плотность, атомный номер). Упрощая рассмотрение, предполагаем, что частица при прохождении через свинцовые пластины теряет часть своей энергии или, потеряв всю энергию, останавливается. В эксперименте измеряются зависимости интенсивности космических лучей от толщины свинцовых пластин. Интенсивность уменьшается из-за того, что мягкая компонента космических лучей практически полностью поглощается свинцовыми пластинами. Это позволяет измерить отношение интенсивности жесткой компоненты, имеющей большую проникающую способность ($J_{ж}$) к суммарной интенсивности в отсутствии пластин

$$J_0 = J_{м} + J_{ж}. \quad (7.1)$$

7.1.1. Порядок выполнения

1. Подготовить установку к измерениям. Нажать кнопку «Сеть», дать прогреться 5 мин. Отодвинуть свинцовые пластины с пути лучей. Нажать кнопку «Сброс», при этом во всех разрядах

индикаторов должны высветиться нули.

2. Нажать кнопку «Установка», при этом должна загореться лампочка справа от кнопки. Выставить время измерения (15 мин.) кнопками «+» и «-». Повторным нажатием кнопки «Установка» отключить соответствующий режим.

3. Нажать кнопки «Сброс» и «Пуск». Дождаться окончания счета импульсов и записать количество импульсов в табл. 7.1.

4. Повторить измерения п. 3 (за то же самое время), каждый раз увеличивая число пластин на пути космических лучей. Рассчитать интенсивность (J), которая равна количеству импульсов в единицу времени $J = \frac{N}{t(\text{мин})}$.

5. Построить кривую поглощения $J = f(d)$ (рис. 7.2).

6. Из графика определить интенсивности мягкой (J_M) и жесткой ($J_ж$) компонент космического излучения.

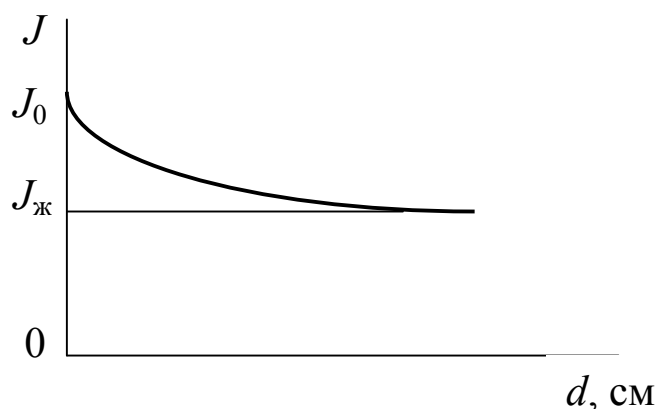


Рис. 7.2

7. По формуле $\frac{J_M}{J_ж} = \frac{N_{(n=0)} - N_{(n=8)}}{N_{(n=8)}}$, где n – число пластин, найти

верхнюю границу отношения интенсивностей мягкой и жесткой компонент космического излучения, проникающего в лабораторию.

Таблица 7.1

$d, \text{ см}$	N	$J, \text{ мин}^{-1}$	$J_M, \text{ мин}^{-1}$	$J_ж, \text{ мин}^{-1}$	$J_ж / J_M$

7.2. Изучение углового распределения интенсивности космического излучения

Вторичное космическое излучение на уровне моря обусловлено слабопоглощаемой жесткой мюонной компонентой. Мезоны, идущие под углом Θ к вертикали, проходят в атмосфере путь, в $1/\cos \Theta$ раз больший, чем мезоны, идущие по вертикали, поэтому вероятность их распада больше и больше слой проходимого воздуха. Поэтому, растет их поглощение, и, следовательно, уменьшается их интенсивность с ростом угла Θ . В данной работе предлагается проверить справедливость формулы зависимости интенсивности падающих космических лучей от угла наблюдения Θ

$$J = J_0 \cos^2 \Theta, \quad (7.2)$$

где J_0 – интенсивность вертикально падающих лучей ($\Theta = 0$), Θ – зенитный угол, отсчитываемый от вертикали. Интенсивность космических лучей будем рассматривать как количество зарегистрированных телескопом частиц в единицу времени.

7.2.1. Порядок выполнения

1. Подготовить установку к измерениям. Включить кнопку «Сеть», дать прогреться 5 мин. Нажать кнопку «Сброс», при этом во всех разрядах индикаторов должны высветиться нули.

2. Выставить время измерения (10 мин.) кнопками «Установка», «+» и «-». Перейти в режим «Измерение», снова нажав кнопку «Установка».

3. Провести измерения для вертикально падающих лучей ($\Theta = 0$). Для этого нажать кнопки «Сброс», «Пуск» и дождаться окончания счета.

4. Провести аналогичные измерения счета совпадений для углов $\Theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ за то же самое время.

5. Для углов $\Theta > 50^\circ$ внести поправку за счет ливней со стен и потолка лаборатории (ее величина измеряется при $\Theta = 90^\circ$).

6. Полученные данные занести в табл. 7.2.

7. Построить график зависимости интенсивности космических лучей J от $\cos^2 \Theta$.

8. Сделать вывод о том, является ли полученная зависимость прямой пропорциональностью, что свидетельствует о справедливости формулы (7.2).

Θ	$\cos^2 \Theta$	N	$J, \text{ мин}^{-1}$

8. Контрольные вопросы

1. Какова природа первичной компоненты космического излучения?
2. Чем объясняется появление вторичного космического излучения?
3. Каков состав жесткой компоненты вторичного космического излучения?
4. Напишите реакции образования и распада мюонов.
5. Каков состав мягкой компоненты вторичного космического излучения?
6. Что такое «космический ливень»? Объясните его происхождение.
7. Почему интенсивность прошедших через свинцовый слой лучей мало отличается от интенсивности падающего космического излучения?

9. Требования к содержанию и оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Краткое изложение теории, основные характеристики космического излучения, расчетные формулы.
2. Блок-схему установки.
3. Таблицу с экспериментальными результатами.
4. Кривую поглощения $J = f(d)$ и график зависимости интенсивности космических лучей $J = f(\cos^2 \Theta)$.
5. Определение по графику $J = f(d)$ верхней границы отношения интенсивностей мягкой и жесткой компонент космического излучения, проникающего в лабораторию;
6. Вывод, в котором дать анализ зависимости интенсивности космических лучей J от $\cos^2 \Theta$.

10. Критерии результативности выполнения лабораторной работы

Лабораторная работа считается выполненной, если студент:

- овладел понятиями мягкая и жесткая компоненты космического излучения, понимает природу вторичного космического излучения;
- правильно выполнил экспериментальную и расчетную части работы;
- нашел верхнюю границу отношения интенсивностей мягкой и жесткой компонент космического излучения, проникающего в лабораторию.
- правильно построил график зависимости интенсивности космических лучей $J = f(\cos^2 \Theta)$;
- составил отчет, соответствующий предъявляемым к нему требованиям;
- сформулировал выводы о проделанной работе;
- грамотно ответил на все контрольные вопросы.

Список литературы

1. *Детлаф А. А., Яворский Б. М.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2009.
2. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Т. 1. – СПб.: Издательство «Лань», 2011.
3. *Трофимова Т. И.* Курс физики, – М.: Academia, 2012.

Составитель МИХАЙЛОВ Геннадий Петрович

ИССЛЕДОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе № 88
по дисциплине «Физика»

Подписано в печать 2013. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman.
Усл. печ. л. 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