

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

*Васильев В.О.* Ф.И.О.

*20 мая* 2018г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Квантовая теория**

*(наименование дисциплины)*

**Основной профессиональной образовательной программы**

**академического бакалавриата**

*(академического (ой)/прикладного (ой) бакалавриата/магистратуры)*

**03.03.02 «Физика»**

*(код и наименование направления подготовки/специальности)*

*(наименование профиля подготовки (при наличии))*

**Квалификация выпускника**

**бакалавр**


**Форма обучения**

**очная**

*(очная, заочная)*

МАГАС, 2018 г.


Составители рабочей программы

доцент. Кафедры теорет. физики, к.ф.-м.н. /  Гайтукиева З.Х./

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры теоретической физики

Протокол заседания № 9 от « 14 » мая 2018 г.

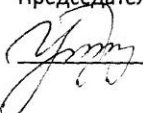
Заведующий кафедрой

 / проф. Ахриев А.С./

Рабочая программа одобрена учебно-методическим советом физико-математического факультета.


Протокол заседания № от « 9 » 16 мая 2018 г.

Председатель учебно-методического совета

 / проф. Танкиев И.А. /

Программа рассмотрена на заседании Учебно-методического совета университета

протокол № 9 от « 24 » мая 2018 г.

Председатель Учебно-методического совета университета  / проф. Хашагульгов Ш.Б./

## СОДЕРЖАНИЕ.

Организационно-методический раздел.....	4
Объем дисциплины и виды учебной работы.....	5
Распределение часов дисциплины (по темам и видам работ).....	5
Программа дисциплины.....	8
Материалы промежуточного контроля (тестовые задания).....	10
Вопросы для подготовки к экзамену.....	13
Рекомендуемая литература.	
Основная.....	15
Дополнительная.....	15
Монографическая.....	16

## 1. Цели и задачи учебной дисциплины

Цель дисциплины - дать студентам понимание закономерностей микромира. Помочь овладеть математическим аппаратом квантовой теории и научить использовать его в практических применениях в нерелятивистском и релятивистском случаях. На этой основе студент получит четкие представления о физической природе явлений, подчиняющихся квантовым закономерностям, и научится физически интерпретировать квантовые процессы.

Задачи изучения курса «Квантовая теория» заключается в следующем минимуме знаний и «умений»:

- Знать, как задается состояние квантовомеханической системы. Четко знать основные понятия квантовой физики такие, как: волновая функция, наблюдаемые физические величины, операторы физических величин, матрица плотности, средние значения в квантовой механике и др.
- Иметь представление об основных принципах квантовой физики.
- Понимать роль волнового уравнения Шредингера и уметь записывать его для конкретных физических задач.
- Уметь решать уравнение Шредингера для простейших квантовомеханических систем.
- Знать основные приближенные методы решения стационарных задач квантовой механики.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО.

«Квантовая теория» является обязательной дисциплиной базовой части Б1.Б.8.3

Для освоения дисциплины необходимы знания:

- математики и физики в объеме, предусмотренном базовым уровнем федерального компонента ГОС среднего (полного) общего образования по математике (утвержден приказом №1089 Министерства образования РФ от 5 марта 2004 года);
- следующих разделов дисциплины «Математика», изучаемой параллельно с квантовой механикой в высшем учебном заведении: аналитическая геометрия, векторная и линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисление, дифференциальные уравнения.

### Таблица 2.1.

Связь дисциплины «Квантовая теория» с предшествующими дисциплинами и сроки их изучения

Код дисциплины	Дисциплины, предшествующие дисциплине «Квантовая теория»	Семестр
Б1.Б.4.1	Мат.анализ	1,2,3
Б1.Б.4.2	Аналитическая геометрия и линейная алгебра	1,2
Б1.Б.4.3	Векторный и тензорный анализ	3
Б.1.Б.7.1	Механика	1

Б.1Б.7.2	Молекулярная физика	2
Б1.Б.4.5	Интегральные уравнения и вариационное исчисление	5
Б1.Б.8.2	Электричество и магнетизм	3
Б1.Б.7.4	Оптика	4
Б1.Б.7.5	Атомная физика	5
Б1.Б.7.6	Физика атомного ядра и элементарных частиц	6
Б1.Б.4.4	Диф.уравнения	4

**Таблица 2.2.**

Связь дисциплины «Квантовая теория» с последующими дисциплинами и сроки их изучения

Код дисциплины	Дисциплины, следующие за дисциплиной «Квантовая теория»	Семестр
Б1.Б.8.7	Физ.кинетика	8

**Таблица 2.3.**

Связь дисциплины «Квантовая теория» со смежными дисциплинами

Код дисциплины	Дисциплины, смежные с дисциплиной «Квантовая теория»	Семестр
Б1.Б.8.5	Теомодинамика	6,7
Б1.Б.8.6	Стат.физика	7

### **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ. ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих общекультурных, обще профессиональных и профессиональных компетенций:

ПК-1 способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

ПК-3 - готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований

ОПК-1 способность использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке)

Знает способы определения видов и типов профессиональных задач, структурирования задач различных групп (ПК-1); Знает способы определения видов и типов профессиональных задач а также методы их решения при проведении физических исследований (ПК-3); физические основы механики, молекулярной физики, природу колебаний и волн, основы молекулярной физики и термодинамики, электричества и магнетизма, оптики, атомной и ядерной физики, понимает широту и ограниченность применения физики к исследованию процессов и явлений в природе и обществе(ОПК-1).

уметь: выбирать наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике(ПК-1); осмысленно выбирать научный метод проведения физических исследований(ПК-3); использовать теоретические знания при объяснении результатов экспериментов, применять знания в области физики для освоения общепрофессиональных дисциплин и решения профессиональных задач, оценивает достоверность полученного решения задачи; оценивает различные методы решения задачи и выбирает оптимальный метод (ОПК-1).

владеть : возможностями современных научных методов на уровне, необходимом для постановки и решения задач, имеющих естественно-научное содержание(ПК-1); методами нахождения, отбора и объединения различных методов проведения физических исследований(ПК-3); навыками физических исследований, способен передавать результат проведенных исследований в виде конкретных рекомендаций в терминах предметной области знания (ОПК-1).

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

В этом разделе приводится объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся. Эти обобщенные данные по объему учебной дисциплины приводятся в форме табл.4.1. В ней указывается полная трудоемкость дисциплины в зачетных единицах (з.е.) и распределение трудоемкости по видам учебной работы и семестрам в академических часах.

#### Объем дисциплины и виды учебной работы

Таблица 4.1

	Всего	Порядковый номер семестра			
		7			
Общая трудоемкость дисциплины всего (в з.е.), в том числе:	4	4			
Курсовой проект (работа)					
Аудиторные занятия всего (в акад. часах), в том числе:	74	74			
Лекции	38	38			
Практические занятия, семинары	36	36			
Лабораторные работы	Не предусмотрено				

Контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2			
Самостоятельная работа всего (в акад. часах), в том числе:	41	41			
Вид итоговой аттестации:					
Зачет/дифф.зачет					
Экзамен		+			
Контроль	27	27			
Общая трудоемкость дисциплины (часов)	144	144			

## 5. Программа дисциплины.

### Распределение часов дисциплины (по темам и видам работ).

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего часов	Ауд. занятия (Л)	Ауд. Занятия (Пр)	(СР)
1.	Дуализм явлений микромира, дискретные свойства волн, волновые свойства частиц.	4	1	1	2
2.	Принцип неопределенностей.	4	1	1	2
3.	Принцип суперпозиции, наблюдаемые и состояния.	4	1	1	2
4.	Чистые и смешанные состояния.	3	1	1	1
5.	Эволюция состояний и физических величин.	3	1	1	1
6.	Соотношения между классической и квантовой механикой.	6	2	2	2
7.	Теория представлений.	6	2	2	2
8.	Общие свойства одномерного движения гармонического осциллятора.	6	2	2	2
9.	Туннельный эффект.	6	2	2	2
10.	Квазиклассическое движение.	6	2	2	2
11.	Теория возмущений.	6	2	2	2

12.	Теория момента.	6	2	2	2
13.	Движение в центрально-симметричном поле.	6	2	2	2
14.	Спин.	6	2	2	2
15.	Принцип тождественности одинаковых частиц.	5	2	1	2
16.	Релятивистская квантовая механика.	5	2	1	2
17.	Атом.	3	1	1	1
18.	Периодическая система элементов Менделеева.	3	1	1	1
19.	Химическая связь, молекулы.	3	1	1	1
20.	Квантование электромагнитного поля.	6	2	2	2
21.	Общая теория переходов.	6	2	2	2
22.	Вторичное квантование системы с неопределенным числом частиц.	6	2	2	2
23.	Теория рассеяния.	6	2	2	2
	Итого:	115	38	36	41

### Программа дисциплины.

Тема 1. Дуализм явлений микромира, дискретные свойства волн, волновые свойства частиц.

Ограниченность классической теории и необходимость перехода к квантовым понятиям. Опыты Резерфорда. Волны де Бройля. Дискретные свойства волн и волновые свойства частиц. Корпускулярно-волновой дуализм.

Тема 2. Принцип неопределенностей.

Невозможность полного описания состояния физ. системы в квантовой механике. Полный набор физических величин. Соотношения неопределенности.

Тема 3. Принцип суперпозиции, наблюдаемые и состояния.

Вероятность местоположения. Условие нормировки. Принцип суперпозиции состояния. Наблюдаемые и состояния в квантовой механике.

Тема 4. Чистые и смешанные состояния.

Волновая функция. Матрица плотности системы.

Тема 5. Эволюция состояний и физических величин.

Тема 6. Соотношения между классической и квантовой механикой.

Теоремы Эренфеста.

Тема 7. Теория представлений.

Представления Гейзенберга и Шредингера. Уравнение Шредингера. Интегралы движения. Стационарные состояния.

Тема 8. Общие свойства одномерного гармонического осциллятора.



Осциллятор по класс. и по квантовой теории. Волновые функции осциллятора. Диаграмма квантовых уровней и потенциальной энергии для осциллятора. Нулевая энергия гармонического осциллятора.

Тема 9. Туннельный эффект.

Частица в прямоугольной потенциальной яме. Движение частицы в поле «прямоугольной ступеньки». Туннельный эффект.

Тема 10. Квазиклассическое движение.

Волновая функция в квазиклассическом случае. Граничные условия в квазиклассическом случае. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. Квазиклассическое движение в центрально-симметричном поле.

Тема 11. Теория возмущений.

Возмущения, не зависящие от времени. Возмущения, зависящие от времени. Нестационарная теория возмущения Дирака. Вариационные методы.

Тема 12. Теория момента.

Момент импульса. Собственные значения момента. Собственные функции момента. Сложение моментов.

Тема 13. Движение в центральном симметричном поле.

Движение в центрально-симметричном поле. Сферические волны. Движение в кулоновском поле.

Тема 14. Спин.

Спин. Оператор спина. Волновые функции частиц с произвольным спином. Обращение времени и теорема Крамерса.

Тема 15. Принцип тождественности одинаковых частиц

Системы из одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.

Тема 16. Релятивистская квантовая механика.

Уравнение Клейна - Гордена- Фока. Уравнение Дирака для свободной частицы и античастицы. Уравнение Паули.

Тема 17. Атом.

Атомные уровни энергии. Состояние электронов в атоме. Водородоподобные уровни энергии. Тонкая структура атомных уровней.

Тема 18. Периодическая система элементов Менделеева.

Общие сведения. Открытие периодического закона Менделеева. Заполнение слоев. Периодичность свойств элементов.

Тема 19. Химическая связь, молекула.

Простейшие молекулы. Основные виды химической связи.

Тема 20. Квантование электромагнитного поля.

Спонтанные и вынужденные переходы. Квантование свободного электромагнитного поля.

Тема 21. Общая теория переходов.

Определение вероятностей переходов. Закон распада, форма линии и скорости переходов при распаде изолированного состояния. Соотношение неопределенностей между времени жизни и шириной линии. Прямые и последовательные переходы.

Тема 22. Вторичное квантование системы с неопределенным числом частиц.

Вторичное квантование. Теория квантовых переходов и метод вторичного квантования. Статистика Ферми - Дирака и Бозе – Эйнштейна.

Тема 23. Теория рассеяния.

Сечение рассеяния. Рассеяние в борновском приближении. Потенциальное и резонансное рассеяние. Рассеяние при высоких энергиях. Многоканальное рассеяние.

#### **Тестовые задания.**

1. Найти уровни энергии в одномерной симметричной потенциальной яме:  
 $V(x) = -V_0$  при  $|x| < a$ ,  $V(x) = 0$  при  $|x| > a$ .

2. Найти вероятность отражения частицы при прохождении над одномерным потенциальным барьером  $V(x) = V_0$  при  $|x| < a$ ;  $V(x) = 0$  при  $|x| > a$  (энергия частицы больше высоты барьера).

3. Найти уровни энергии и вектора состояния одномерного гармонического осциллятора в постоянном внешнем поле  $H = p^2/2m + kx^2/2 - Fx$ .

4. Найти дифференциальное сечение упругого рассеяния  $\alpha$ - частицы на  $\alpha$ - частице (в системе центра масс).

5. В ВКБ- приближении найти уровни энергии частицы массы  $m$  в потенциальном поле вида  $V(z) = \infty$  при  $z < 0$ ;  $V(z) = mgz$  при  $z > 0$ .

6. В ВКБ- приближении найти зависимость тока холодной эмиссии электронов с поверхности металла от приложенного электрического поля.

7. Найти S- уровни энергии в сферически- симметричной яме:  $V(r) = -V_0$  при  $r < a$ ;  $V(r) = 0$  при  $r > a$ .

8. Найти S- уровни энергии в сферической оболочке  $V(r) = -V_0\delta(r - a)$ .

9. Найти вероятность пребывания электрона в классически запрещенной области для водородоподобного атома в основном состоянии.

10. Найти расщепление уровней энергии атома водорода в однородном магнитном поле  $\vec{H}$ .

11. Рассчитать расщепление уровня атома водорода с  $n=2$  в слабом однородном электрическом поле.

12. Пусть гамильтониан зависит от  $\lambda$  как от параметра и  $H(\lambda)|\varphi(\lambda)\rangle = E(\lambda)|\varphi(\lambda)\rangle$ . Показать, что для нормированных на единицу векторов  $|\varphi(\lambda)\rangle$  имеет место соотношение  $\partial E(\lambda)/\partial \lambda = \langle \varphi(\lambda) | \partial H(\lambda) / \partial \lambda | \varphi(\lambda) \rangle$ .

13. Определить соотношение интенсивности пятен на экране в опыте Штерна - Герлаха, если магнитное поле ориентировано по оси  $z$ , а спины электронов падающего пучка ориентированы под углом  $\Theta$  к оси  $z$ .

14. Показать, что если оператор  $A$ - скаляр, то  $\langle JM' | A | JM \rangle = \delta_{JJ'} \delta_{MM'} \langle J | A | J \rangle$  т.е. его матричные элементы диагонально по  $J$  и  $M$  и не зависят от  $M$ .

15. Две частицы со спином  $1/2$  находятся в следующем состоянии: спин первой направлен вдоль оси  $z$ , а спин второй направлен вдоль оси, составляющей угол  $\Theta$  с осью  $z$ . Найти вероятности обнаружить частицы в синглетном и триплетном состояниях по полному спину.

16. Двухуровневая система с состояниями  $|1\rangle$ ,  $|2\rangle$ , энергии которых есть  $\hbar\omega_1$ ,  $\hbar\omega_2$ , подвергается действию не зависящего от времени возмущения  $W$ . Вычислить вероятность обнаружить то или иное состояние в момент времени  $t$ , если в момент времени  $t=0$  система находилась в основном состоянии.

17. Нейтральная частица со спином  $1/2$  и магнитным моментом  $\vec{\mu} = \mu_0 \vec{s}$  находится в однородном магнитном поле, изменяющемся во времени по закону  $\vec{h} = (H_1 \cos \omega t, H_1 \sin \omega t, H_0)$ . В момент времени  $t=0$  проекция спина на направление поля была равна  $+1/2$ . Определить вероятности перехода частицы к моменту времени  $t$  в состояние, в котором проекция спина на направление магнитного поля равна  $-1/2$ .

18. Найти вероятность перехода атома трития  $H^3$  из  $1s$  в состояние иона  $He^{3+}$  при  $\beta$ - распаде одного из нейтронов ядра.

19. Оценить полную энергию ионизации атома в рамках модели Томаса - Ферми.

20. Разложить электронную конфигурацию  $(np)^3$  на термы.

21. В борновском приближении вычислить дифференциальное и полное сечение рассеяния на потенциале Юкавы  $V(r) = g \exp(-ar)/r$ .

22. В борновском приближении найти амплитуду и дифференциальное сечение упругого рассеяния заряженной бесспиновой частицы на сферически-симметричном локализованном распределении заряда  $\rho(r)$ .

23. Вычислить амплитуду упругого рассеяния медленной частицы на потенциальной яме  $V(r) = -V_0, V(r) = 0, r > a$ .

24. Определить полное сечение упругого рассеяния непроницаемой сферой радиуса  $a$  для медленных частиц, де-бройлевская длина волны которых  $\lambda \gg a$ .

25. Найти дифференциальное сечение упругого рассеяния  $\alpha$ - частицы на  $\alpha$ - частице (в системе центра масс).

26. Указать, между какими уровнями заряженного сферического гармонического осциллятора возможны электромагнитные переходы в дипольном приближении. Вычислить время жизни первого возбужденного состояния осциллятора в этом приближении.

### **Вопросы для подготовки к экзамену.**

1. Ограниченность классической теории и необходимость перехода к квантовым явлениям.
2. Понятие о теории Бора.
3. Гипотезы Планка, Эйнштейна.
4. Волны де Бройля.
5. Корпускулярно-волновой дуализм.
6. Принцип неопределенности.
7. Вероятность местоположения. Условие нормировки.
8. Принцип суперпозиции. Наблюдаемые и состояния.
9. Чистые и смешанные состояния.
10. Эволюция состояний и физических величин.
11. Теоремы Эренфеста.
12. Представления Гейзенберга и Шредингера.
13. Уравнение Шредингера.
14. Интегралы движения.
15. Стационарные состояния.
16. Осциллятор по классической и квантовой теории.
17. Волновые функции осциллятора.
18. Частица в прямоугольной потенциальной яме.
19. Движение частицы в поле прямоугольной ступеньки.
20. Туннельный эффект.
21. Волновая функция в квазиклассическом случае.
22. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.
23. Квазиклассическое движение в центрально-симметричном поле.
24. Возмущения, не зависящие от времени. Возмущения, зависящие от времени.
25. Нестационарная теория возмущения Дирака.
26. Теория момента.
27. Движение в центрально – симметричном поле.
28. Сферические волны.
29. Движение в кулоновском поле.
30. Спин. Оператор спина.
31. Волновые свойства с произвольным спином.
32. Принцип тождественности одинаковых частиц.
33. Уравнение Клейна-Гордона-Фока.
34. Уравнение Дирака для свободной частицы и античастицы.
35. Уравнение Паули.

36. Атом.
37. Периодическая система элементов Менделеева.
38. Химическая связь, молекула.
39. Квантование электромагнитного поля.
40. Определение вероятностей переходов. Закон распада, форма линии и скорости переходов при распаде изолированного состояния.
41. Прямые и последовательные переходы.
42. Вторичное квантование системы с неопределенным числом частиц.
43. Рассеяние в борновском приближении.
44. Потенциальное и резонансное рассеяние.

#### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА.**

1. Волны материи и **квантовая механика**. 4-е изд. **2010**.
2. Ландау Л. Д. Лифшиц Е. М. «Квантовая механика» изд-е 6, М.: ФИЗ-МАТЛИТ, 2004
3. К. Коэн – Таннудпси, Б. Диу, Ф Лалоз. «Квантовая механика». Т. 1. Екатеринбург, 2000.
4. Барановский В. И. «Квантовая механика и квантовая химия». 2008.
5. Квантовая механика (Stanford Universiti «Moderdn Phusics: Quantum Mechanics», Stanford, 2008
6. Квантовая механика 4е изд – е М.:2010
7. Квантовая механика. Теория поля. Б. Н. Родимов 2012-12-26
8. Фадеев Л. Д. Якубовский О. А. «Лекции по квантовой механике».

#### **Литература (дополнительная).**

1. Бом Д. «Квантовая теория», М., Наука, 1965.
2. Боум А. «Квантовая механика: основы и приложения», М., Мир, 1990.
3. Гольдман И. И., Кривченков В. Д. «Сборник задач по квантовой механике», М., Гостехиздат. 1957.
4. Флюгге З. «Задачи по квантовой механике» тт. 1, 2., М., Мир, 1974.
5. Тернов И. М., Жуковский В. Ч., Борисов А. В. «Квантовая механика и макроскопические эффекты», М., Изд. М. У., 1993.
6. Блохинцев Д. И. «Основы квантовой механики» М., Наука, 1983.
7. Давыдов А. С. «Квантовая механика» М., Наука 1973.
8. Елютин П. В., Кривченков В. Д. «Квантовая механика с задачами» М., наука, 1976.
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М, «Квантовая механика», М., Наука, 1989.
10. Соколов А. А., Тернов И. М., Жуковский В.Ч. «Квантовая механика», М., Наука, 1979.
11. Галицкий В. М., Карнаков Б. М., Коган В. И., «задачи по квантовой механике» М., Наука, 1972.

#### **Литература (монографическая).**

1. Вейль Г. «Теория групп и квантовая механика» М., Мир, 1997г.
2. Дирак П. А. М. «Принципы квантовой механики» М., Мир, 1978г.

3. Паули В. «Принципы волновой механики» М., Гостехиздат, 1948г.

#### **Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Международный научно-образовательный сайт EqWorld [Электронный ресурс] : Электрон. дан. и прогр. – Режим доступа: <http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Дата обращения: 8.01.2011.
2. Википедия [Электронный ресурс] : [свобод. Интернет-энцикл.] – Электрон. дан. и прогр. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>, свободный. – Русскояз. часть междунар. проекта «Википедия». – Загл. с экрана. – Дата обращения: 8.01.2011.