

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(НИЯУ МИФИ)

Кафедра №40 Физика элементарных частиц

**«УТВЕРЖДАЮ»**  
Декан факультета «ЭТФ» МИФИ

\_\_\_\_\_ / **Беляев В.Н.** /

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014

ПРОГРАММА И ВОПРОСЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

**Специальность / направление подготовки**  
Физика 510400

**Специализация / профиль подготовки**  
Физика атомного ядра и элементарных частиц

**Квалификация (степень) выпускника**  
Бакалавр физики

**Форма обучения** очная

*Зав.кафедрой*

Программа одобрена на заседании кафедры  
от \_\_\_\_\_ года, протокол № \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_ / *Скорохватов М.Д.* /  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2014

Москва – 2014 г.

# ПРОГРАММА ГОСЭКЗАМЕНА

## Раздел 1. Физика элементарных частиц

### 1.1. Важнейшие эксперименты в области физики частиц

1. Поиски нарушения барионного и лептонного числа.
2. Нарушение Р-четности
3. Нарушение С-четности
4. Нарушение CP-четности
5. Поиски нарушения Т-четности
6. Свойства К-мезонов
7. Свойства семейства чармониев
8. Открытие нейтральных токов
9. Открытие Z,W-бозонов
10. Предсказания и открытия с,b,t-кварков
11. Открытие тау-лептона

### 1.2. Теоретические основы электрослабой теории

1. Основные свойства слабого, электромагнитного и сильного взаимодействий
2. Основы теории групп симметрий
3. Калибровочная симметрия электрослабых взаимодействий, ее преобразования
4. Механизм спонтанного нарушения симметрии Хиггса
5. Лагранжиан электрослабой теории

### 1.3. Адронная физика

1. Рассеяние электронов на нуклонах. Формулы Дирака и Розенблюта. Зарядовые и магнитные формфакторы протона и нейтрона. Распределение зарядовой плотности в протоне.
2. Мезонные резонансы, квантовые числа и моды распада. Проявление мезонных резонансов в адронных и электромагнитных взаимодействиях.
3. Изоспин элементарных частиц. Сохранение изоспина в сильных взаимодействиях. Обобщенный принцип Паули для системы нуклонов.
4. Основные свойства NN взаимодействия при низких энергиях. Потенциал ОПО (однопионный обмен)

### 1.4. Кинематические методы в физике элементарных частиц

1. Кинематика двухчастичного и трехчастичного распадов в системе покоя нестабильной частицы и на лету (энергетические и угловые распределения продуктов двухчастичного распада).
2. Кинематика процессов двухчастичного рассеяния (мандельштамовские инвариантные переменные, их кинематические пределы).

## Раздел 2. Приборы и методы в экспериментальной физике

### 2.1. Детекторы и установки

1. Принцип работ и область применения газонаполненных детекторов (ионизационная камера, пропорциональные детекторы, дрейфовая камера).
2. Принципы работы и область применения сцинтилляционных детекторов.
3. Принцип действия и область применения полупроводниковых детекторов.
4. Детекторы переходного излучения, Идентификация частиц по рентгеновскому переходному излучению.

5. Детекторы черенковского излучения: пороговые и дифференциальные. Идентификация частиц по черенковскому излучению.
6. Электромагнитная и адронная калориметрия.
7. Принципы построения экспериментальных установок в физике элементарных частиц

## **2.2. Ядерная электроника**

1. Методы совпадений и антисовпадений.
2. Типы усилителей в физическом эксперименте.
3. Преобразование аналоговой информации в цифровой двоичный код.
4. Магистрально-модульные системы. Стандарты КАМАК, VME, Fastbus.
5. Локальные шины. Функции уровней SO-OSI-модулей.
6. Сеть Ethernet.

## **Раздел 3. Методы обработки результатов измерений**

1. Алгоритмизация вычислительных процессов. Виды алгоритмов.
2. Свойства и основные характеристики статических распределений (биномиальное, Пуассона, равномерное, нормальное).
3. Критерии проверки статических гипотез.
4. Принцип максимального правдоподобия. Двумерная функция правдоподобия на примере описания результатов линейной функцией.
5. Методы моделирования неравномерных распределений.

## **ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ГОСЭКЗАМЕНУ**

### **Физика элементарных частиц**

1. 539.1 O52 Окунь Л.Б. Лептоны и кварки. М.: Наука, 1990г.
2. 539.1 X36 Ф. Хелзен, А. Мартин. Кварки и лептоны. Введение в физику частиц. Мир 1987.
3. 539.1 П27 Д. Перкинс. «Введение в физику высоких энергий. М.: Наука, 1991
4. 539.1 Г63 Гольданский В.И., Никитин Ю.П., Розенталь И.Л. Кинематические методы в физике высоких энергий. М.: Наука, 1987.
5. 539.1 K65 Балдин А.М., Гольданский В.И., Максименко В.М., Розенталь И.Л. Кинематика ядерных реакций. М: Наука, 1990.
6. В.М. Емельянов, Стандартная модель и ее расширения. М: ФИЗМАТЛИТ, 2007

### **Приборы и методы в экспериментальной физике**

1. 539.1 A16 Абрамов А.И. и др. Основы элементарных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985г.
2. 539.1 Ц14 Цитович А.П. Ядерная электроника. М.: Энергоатомиздат, 1984г.

### **Методы обработки результатов измерений**

1. 519 C78 Статистические методы в экспериментальной физике. Под ред. А.А. Тяпкина. М.: Атомиздат, 1976.
2. 519 T30 Дж. Тейлор. Введение в теорию ошибок. М.: Мир, 1985.
3. 53 П23 Певчев Ю.Ф., Финогенов К.Г. Автоматизация физического эксперимента М.: Энергоатомиздат, 1986.
4. 519 C54 Соболев И.М. Методы Монте-Карло. М.: Наука, 1985.

## ВОПРОСЫ ГОСЭКЗАМЕНА

В билет войдут **10** вопросов, которые будут распределены следующим образом (в скобках для студентов-теоретиков)

ФЭЧ - 2

фундам.взаим. - 2

адрон.физика – 2

кинематика - 1

астрофизика и космология – 0(2)

установки и детекторы - 1(0)

яд.электроника - 1(0)

использование ЭВМ в физ.эксперименте/численные методы (по выбору) – 1

Номера вопросов определяются случайным образом.

### ФЭЧ – 2

1. В каком эксперименте определено число поколений нейтрино?
2. Чему равна масса  $Z^0$  бозона и как ее экспериментально измерить?
3. Чему равна масса  $W$  бозона и как ее экспериментально измерить?
4. Приведите минимум два примера нарушения CP-четности в слабых взаимодействиях?
5. Приведите минимум три примера нарушения P-четности в слабых взаимодействиях?
6. Отметьте («+» и «-» в таблице, приведенной ниже), какие величины экспериментально сохраняются/нарушаются в сильном, электромагнитном, слабом взаимодействиях: энергия-импульс ( $p_\mu$ ), электрический заряд (Q), изотопический спин (I), проекция изоспина ( $I_3$ ), P-четность, C-четность, странность (S), очарование (C), комбинированная CP-четность, барионное число (B).

	$p_\mu$	Q	I	$I_3$	P-четн.	C-четн.	S	C	CP	B
Сильное										
Электромагнитное										
Слабое										

7. Что такое схема смешивания кварков Glashow-Iliopoulos'a-Maiani?
8. Что такое угол Cabibbo?
9. Время жизни  $\tau$  – лептона? Как его измерить.
10. Чем отличаются состояния кваркония ( $c\bar{c}$ ):  $\eta_c, J/\psi, \psi', \psi'', \chi$ ?
11. Зная массы всех участвующих частиц, выразите приближенно соотношение между вероятностями распадов  $P^+ \rightarrow \mu^+ \nu, P^+ \rightarrow e^+ \nu$ , где P – псевдоскалярный мезон ( $\pi^+, K^+, D^+, \dots$ ). Считайте  $m_P \gg m_{\mu, e}$ .

### Фундаментальные взаимодействия (основы электрослабой теории) - 2

1. Сформулируйте теорему Нетер.
2. Дайте определение группы.
3. Является ли группа SU(N) группой Ли? Сколько она имеет генераторов?
4. Зная массы всех участвующих частиц, выразите приближенно соотношение между вероятностями распадов (в «древесном» приближении) бозона Хиггса:  $H \rightarrow \mu^+ \mu^-, H \rightarrow \tau^+ \tau^-, H \rightarrow \gamma\gamma$ .
5. Приведите примеры процессов (на диаграмме) заряженного и нейтрального токов.
6. Нарисуйте кварковую диаграмму распада нейтрона.
7. В чем заключается идея спонтанного нарушения симметрии (SSB)?
8. Сформулируйте механизма Хиггса.
9. Чему равны спиральности безмассовых нейтрино и антинейтрино?
10. Выразите через угол Вайнберга отношение масс W и Z бозонов.
11. Какое взаимодействие описывается калибровочной U(1)-симметрии и как называется соответствующая теория?
12. Запишите уравнение движение для сводной скалярной частицы.
13. Запишите уравнение движение для свободного фермиона.

14. В чем отличие скалярной частицы от векторной?
15. Каков состав хиггсовского сектора в (минимальной) Стандартной модели?
16. Какой вид имеют преобразования калибровочного поля?
17. Напишите Лагранжиан взаимодействия лептонов и поля Хиггса
18. Пусть  $\omega$  – матрица группы SU(n). Как преобразуется поле в фундаментальном представлении этой группы?
19. Пусть  $\omega$  – матрица группы SU(n). Как преобразуется калибровочное поле?
20. Как гиперзаряд связан с электрическим зарядом вектор-столбца?
21. Как выражается масса электрона через параметры модели Вайнберга-Салама?
22. Перечислите в порядке убывания по вероятности все возможные на древесном уровне моды распада бозона Хиггса с массой 125 ГэВ в рамках Стандартной модели.
23. Напишите ковариантную (длинную) производную для электрослабого взаимодействия с полями  $A_{\mu}^{1,2,3}$  и  $B_{\mu}$ .
24. Напишите связь между полями  $A_{\mu}^3$ ,  $B_{\mu}$  и  $Z_{\mu}$ ,  $A_{\mu}$  в рамках модели Вайнберга-Салама.
25. Напишите связь между массой W-бозона и константой  $G_F$ .
26. Какие спины у фотона, Z-,W-бозона и бозона Хиггса?
27. Напишите лагранжиан слабого взаимодействия Ферми.

### Адронная физика – 2

1. Какие частицы называются адронами, барионами и мезонами?
2. Какой энергией должны обладать пучки электронов в коллайдерах для исследования пространственных структур  $\sim 10^{-15}$  см?
3. Определите среднее расстояние (в см), которое пройдет частица массой  $M = 1$  ГэВ и шириной  $\Gamma = 100$  МэВ до своего распада, если скорость частицы  $\beta = 0.1$ .
4. Каким образом можно определить формфакторы нейтрона, входящие в формулу Розенблюта.
5. Какой из электромагнитных формфакторов нуклонов обращается в нуль при передаваемом импульсе  $q = 0$ ?
6. Определите величину переданного импульса электрона с энергией 100 МэВ рассеянного на угол  $30^\circ$  ядром  $^{136}\text{Xe}$  (в МэВ/с)
7. В каких процессах распада элементарной частицы сохраняется пространственная четность? Приведите примеры.
8. При каких значениях орбитального момента количества движения бариона и антибариона пространственная четность системы будет положительна?
9. В каких процессах распада элементарной частицы сохраняется зарядовая четность? Приведите примеры.
10. Какими значениями изоспина может обладать система  $\omega + \rho^0 + \pi^0$ ?
11. В каких процессах сохраняется изоспин? Приведите примеры.
12. Почему пионы называют псевдоскалярными мезонами, а  $\omega$  и  $\rho$  - векторными мезонами.
13. Как зависит от числа нуклонов A полное сечение взаимодействия  $\gamma$ -квантов ( $E_{\gamma} = 15$  ГэВ) с атомными ядрами?
14. В какие элементарные частицы с массой меньше 1 ГэВ может виртуально превратиться  $\gamma$ -квант и почему?
15. Какие значения орбитального момента количества движения двух нуклонов вносят вклад в волновую функцию дейтрона? Экспериментальные доказательства.
16. Какая составляющая нуклон-нуклонного взаимодействия вносит основной вклад в образование связанного состояния нейтрон-протонной пары?
17. Определите результат действия оператора  $s_1 \cdot s_2$  на волновую функцию двух нуклонов, находящихся в состоянии с полным спином  $S = 1$ .
18. В результате каких процессов распадаются пионы?
19. В результате каких процессов распадаются векторные мезоны?
20. Сравните по величине магнитные моменты нуклонов, пионов и мюонов.

### Кинематика– 1

- 1) Напишите определение инвариантного  $n$ -частичного фазового объема.
- 2) Дайте определения Манделштамовских переменных. Приведите соотношение, их связывающее.

- 3) Для реакции рассеяния  $e+e \rightarrow e+e$  выразите через  $s$  пределы изменения переменных  $t$  и  $u$ .
- 4) Напишите распределения по энергии и (отдельно) по телесному углу для частицы 1 от распада  $a \rightarrow 1+2$  в системе покоя  $a$ . Выведите распределение по энергии частицы 1 при распаде  $a$  налету.
- 5) Нарисуйте на одном графике распределения по энергии мюона от распадов  $\pi \rightarrow \mu \nu$  и  $K \rightarrow \mu \nu$  при условии, что  $E_\pi = E_K = E > m_K$ .  $((m_\mu/m_\pi)^2 = 0.56, (m_\mu/m_K)^2 = 0.05)$
- 6) Возможен ли вылет «назад» (под углом  $180^\circ$  от направления движения начальной частицы) а) нейтрино, б) мюона при распаде  $\pi \rightarrow \mu \nu$  налету и при каких условиях?
- 7) Какие инвариантные переменные обычно используются в кинематике трехчастичного распада  $a \rightarrow 1+2+3$ , и каковы пределы их изменения?
- 8) Вычислите полный 2-хчастичный фазовый объем.
- 9) Выведите распределение по поперечному импульсу частицы 1 от распада  $a \rightarrow 1+2$  налету.
- 10) Выразите энергию и импульс конечной частицы реакции  $a+b \rightarrow 1+2$  в системе центра инерции через инвариант  $s$ .

### Астрофизика и космология - 0(2)

1. Напишите закон расширения Хаббла и ответьте, противоречит ли он однородности и изотропности Вселенной.
2. Напишите зависимости масштабного фактора от времени на RD и MD стадиях.
3. Объясните, что такое джинсовская длина.
4. Напишите, как растут со временем малые возмущения плотности  $\delta\rho/\rho$  в расширяющейся Вселенной на MD стадии.
5. Как связано красное смещение  $z$  с космологическим временем  $t$  на MD стадии.
6. Назовите основные свидетельства наличия скрытой массы во Вселенной.
7. Напишите уравнение гидростатического равновесия звезды.
8. При каких показателях адиабаты  $\gamma$  возможно гидростатическое равновесие звезды?
9. Что означают гидродинамическое (гравитационное), тепловое, ядерное времена эволюции звезды и каковы их значения для такой звезды как Солнце?
10. Физический смысл эддингтоновского предела.
11. Состав космических лучей (напишите компоненты в порядке убывания).

### Детекторы и установки - 1(0)

1. Какими преимуществами обладают кремниевые детекторы по сравнению с германиевыми?
2. Почему различаются энергия образования пары носителей в полупроводнике и энергетическая ширина запрещенной зоны?
3. Какие основные факторы влияют на энергетическое разрешение ППД?
4. Чем обусловлен дефект амплитуды в ППД при регистрации тяжелых ионов?
5. Каковы значения средней энергии образования пары носителей заряда в ППД и газовых ионизационных камерах?
6. Что определяет фактор Фано?
7. Какова функциональная зависимость потерь энергии на переходное излучение от скорости частицы?
8. Почему в детекторах переходного излучения используются слоистые структуры с числом границ раздела до нескольких сотен?
9. От каких параметров зависит временное разрешение дрейфовой камеры и ее значение в современных установках?
10. Чем определяется пространственное разрешение многопроволочной пропорциональной камеры и ее значение в современных установках?
11. Что можно идентифицировать по черенковскому излучению частицы?
12. С какой целью в сцинтилляторы вносят люминесцирующие добавки?
13. Какой тип сцинтилляторов используется для регистрации  $\gamma$ -квантов?
14. В чем смысл принципа автофазировки?
15. Приведите формулу, определяющую радиус кривизны траектории заряженной частицы, движущейся в магнитном поле ускорителя.
16. В чем смысл принципа автофазировки?

17. Для инжекции протонов в LHC используется ускоритель SPS, на выходе которого протоны имеют энергию  $\approx 450$  ГэВ. В SPS протоны поступают из ускорителя PS с энергией 26 ГэВ. В свою очередь в PS используются протоны из ускорителя PSB с энергией 1 ГэВ, источником для которого служит линейный ускоритель LINAC на энергию 50 МэВ. Почему нельзя использовать в качестве источника частиц LHC протоны из LINAC и в чем причина создания такого каскада ускорителей?
18. В коллайдере TEVATRON сталкиваются протоны и антипротоны с энергиями 1 ТэВ. Чему равно число их актов взаимодействия в секунду, если полное сечение взаимодействия 75 мб, а светимость коллайдера  $5 \cdot 10^{31} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ ?
19. Вторичные пучки каких частиц используются для образования нейтринных пучков?
20. Почему на синхротронах не удается ускорять электроны до энергий превышающих 100 ГэВ?

### **Ядерная электроника - 1(0)**

1. Детектор элементарных частиц как источник сигнала. Согласование детектора с нагрузкой.
2. Усилители напряжения. Область применения.
3. Усилители тока. Область применения.
4. Зарядочувствительные усилители. Область применения.
5. Шумы усилителей. Способы борьбы с шумами.
6. Формирователи сигналов.
7. Типы преобразователей амплитуд сигналов в цифровой код.
8. Способы преобразования наносекундных временных интервалов в цифровой двоичный код.
9. Стандарт NIM. Выполняемые функции. Структура.
10. Стандарт SAMAC. Выполняемые функции. Структура.

### **Использование ЭВМ в физ.эксперименте - 1**

1. Приведите выражение для дисперсии биномиального распределения.
2. Какова вероятность того, что счетчик не зарегистрирует ни одного  $\gamma$ -кванта за 2 секунды при средней скорости счета 5 квантов в секунду?
3. Приведите выражение для дисперсии равномерного распределения.
4. Что характеризует эксцесс? Чему он равен для нормального распределения?
5. Что такое уровень значимости при проверке гипотез.
6. Что такое вероятность ошибки второго рода.
7. Центральная предельная теорема (определение).
8. Приведите выражение для центрального момента  $n$ -го порядка случайной величины.
9. Есть «генератор» псевдослучайных чисел в диапазоне  $(0,1)$ , являющийся моделью равномерного распределения. Как с его помощью получить экспоненциальное распределение  $f(x)=1/\beta \cdot e^{-x/\beta}$ .
10. Вид функции правдоподобия нормального распределения.
11. Какое основное ограничение накладывается на распределение ошибок при использовании МНК?

### **Численные методы - (1)**

1. Полиномиальная интерполяция. Интерполяционный полином в форме Лагранжа.
2. Полиномиальная интерполяция. Интерполяционный полином в форме Ньютона.
3. Полиномиальная интерполяция. Оптимальный выбор сетки.
4. Численное интегрирование: метод центральных прямоугольников.
5. Численное интегрирование: метод Монте-Карло.
6. Решение нелинейных уравнений: итерационный метод.
7. Решение нелинейных уравнений: метод Ньютона.
8. Решение систем нелинейных уравнений: метод Ньютона.
9. Обыкновенные дифференциальные уравнения: решение задачи Коши.
10. Обыкновенные дифференциальные уравнения: решение краевой задачи.