

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

\_\_\_\_\_ /С.Ю. Роцин/

Одобрено на заседании

Академического

совета Аспирантской школы по

техническим наукам

Согласовано

Академический директор

Аспирантской

школы по техническим наукам

\_\_\_\_\_ /И.С. Монахов/

**Программа вступительного испытания по специальности  
основной образовательной программы высшего образования – программы  
подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
Физика элементарных частиц**

Научная специальность: 1.3.15 Физика атомных ядер и элементарных частиц,  
физика высоких энергий

Москва, 2023

## **1. Область применения и нормативные ссылки**

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

## **2. Структура вступительного экзамена**

Вступительное испытание основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по образовательной программе Физика конденсированного состояния состоит из двух частей: оценки индивидуальных достижений (портфолио) и оценки знаний по направлению подготовки (собеседование).

Максимальная возможная оценка за обе части вступительного испытания по специальности составляет 100 баллов.

Для участия в конкурсе по итогам вступительного испытания по специальности необходимо набрать суммарно не менее 30 баллов. Оценка за вступительное испытание по специальности от 1 до 29 баллов считается неудовлетворительной.

**2.1. Оценка индивидуальных достижений. Структура портфолио**  
Максимальная возможная оценка за индивидуальные достижения (портфолио) составляет 50 баллов.

Для участия в конкурсе оценки индивидуальных достижений (портфолио) абитуриент может представить следующие документы, подтверждающие его достижения:

**1) Документы, подтверждающие опыт научно-исследовательской деятельности абитуриента.**

a. Доклады на международных и российских конференциях, научных семинарах, научных школах и т.д. по направлению будущего диссертационного исследования. Подтверждается представлением программы конференции, диплома (сертификата) участника.

b. Опубликованные или принятые к публикации научные работы (статьи, доклады в сборниках докладов). Подтверждается представлением электронных копий подлинников, ссылкой на открытые источники, справкой из редакции о принятии к публикации с обязательным указанием номера журнала и страниц. Публикации должны относиться к тому же направлению, что и тема будущего диссертационного исследования.

c. Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных, патенты на изобретения, патенты на полезные модели, и проч.

d. Участие в научно-исследовательских проектах, академических грантах. Подтверждается данными проекта (название, номер гранта, фонд), контактными данными руководителя проекта и краткой аннотацией (не более 200 слов), разъясняющей суть работы абитуриента.

**2) Рекомендательное письмо** от потенциального научного руководителя планируемого диссертационного исследования, в котором отражено его согласие выступить научным руководителем абитуриента в аспирантуре, а также, при знакомстве потенциального руководителя с научной и учебной деятельностью абитуриента, ее характеристика.

**3) Описание исследовательского проекта** (не более четырех страниц),

который поступающий предполагает реализовать во время обучения в аспирантуре (на русском или английском языке). Описание проекта должно содержать:

- а) актуальность - краткое введение в область предполагаемого исследования, текущее состояние выбранной отрасли;
- б) формулировку проблемы исследования и научную новизну;
- в) цели и задачи исследования;
- г) обоснование теоретической или практической значимости;
- д) краткое описание предполагаемых подходов и методов в решении поставленных задач.

## 2.2. Критерии оценки портфолио

<b>Критерий оценки</b>	<b>Количество баллов</b>
<b>Доклады на конференциях</b>	<b>Максимум 5 баллов</b>
с публикацией докладов (за каждую)	2 балла
без публикации докладов (за каждую)	1 балл
<b>Публикация научных работ</b>	<b>Максимум 20 баллов</b>
<i>Публикация в журнале или в сборнике докладов, индексируемом в Web of Science/Scopus:</i>	
публикация в журнале первого квартиля (Q1) без соавторов	20 баллов
публикация в журнале первого квартиля (Q1) в соавторстве	19 баллов
публикация в журнале второго квартиля (Q2) без соавторов	18 баллов
публикация в журнале второго квартиля (Q2) в соавторстве	17 баллов
публикация в журнале третьего квартиля (Q3) без соавторов	15 баллов
публикация в журнале третьего квартиля (Q3) в соавторстве	14 баллов
публикация в журнале четвертого квартиля (Q4) без соавторов	13 баллов
публикация в журнале четвертого квартиля (Q4) в соавторстве	12 баллов
публикация в журнале без квартиля без соавторов	11 баллов
публикация в журнале без квартиля в соавторстве	10 баллов
<i>Публикация в журнале, входящем в Список D НИУ ВШЭ:*</i>	

без соавторов	12 баллов
в соавторстве	10 баллов
<b>Публикация в журнале или в сборнике докладов, не индексируемом в Web of Science/Scopus:</b>	
Публикация в журнале из списка ВАК без соавторов	8 баллов
Публикация в журнале из списка ВАК в соавторстве	6 баллов
<b>Свидетельства о государственной регистрации программ и баз данных, патенты на изобретения, патенты на полезные модели, и проч.</b>	<b>5 баллов</b>
<b>Участие в научно-исследовательских проектах</b>	<b>5 баллов</b>
<b>Рекомендательное письмо от потенциального научного руководителя</b>	<b>5 баллов</b>
<b>Описание исследовательского проекта</b>	<b>до 10 баллов</b>

\* Список D НИУ ВШЭ представлен по ссылке: [https://scientometrics.hse.ru/list\\_d](https://scientometrics.hse.ru/list_d)

Оценка индивидуальных достижений проводится на собеседовании.

**Минимальный балл (неудовлетворительная оценка) за портфолио – до 9 баллов включительно. Для участия в конкурсе по итогам оценки индивидуальных достижений необходимо набрать суммарно не менее 10 баллов.**

### **2.3. Структура и процедура проведения оценки знаний по направлению подготовки (собеседование)**

Максимальная возможная оценка за собеседование составляет 50 баллов. Собеседование состоит из двух частей.

1) Ответ на вопросы в соответствии с направленностью (научной специальностью) будущей научно-исследовательской работы (диссертации). Абитуриент выбирает билет, содержащий два вопроса из представленных в программе собеседования тем.

Абитуриенту предоставляется 30 минут на подготовку. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы. Оценка за ответы по каждому из вопросов составляет максимум 15 баллов.

2) Беседа по планируемому направлению исследований. Абитуриенту необходимо раскрыть следующие вопросы: предполагаемая тема научно-исследовательской работы, формулировка проблемы, цели ее исследования, новизна. В ходе ответа комиссия может задавать уточняющие вопросы. Оценка за данную часть собеседования составляет максимум 20 баллов.

Собеседование проводится на русском или английском языке (по желанию абитуриента), собеседование может проводиться дистанционно с использованием информационных технологий.

## 2.4. Критерии оценки собеседования

<b>Критерии оценивания ответа по вопросам программы собеседования</b>	<b>Баллы</b>
Ответ полный, без замечаний, продемонстрированы знания по специальной дисциплине	14-15
Ответ полный, с незначительными недочетами, продемонстрированы знания по специальной дисциплине	11-13
Ответ полный, с незначительными замечаниями	6-10
Ответ не полный, с существенными замечаниями	3-5
Ответ на поставленный вопрос не дан	0-2
<b>Критерии оценивания ответа по планируемому направлению исследований</b>	<b>Баллы</b>
Ответ полный, без замечаний, продемонстрировано представление о планируемом направлении исследований	20
Ответ полный, с незначительными недочетами, продемонстрировано представление о планируемом диссертационном исследовании	16-19
Ответ полный, с незначительными замечаниями	11-15
Ответ не полный, с существенными замечаниями	7-10
Ответ на поставленный вопрос не дан	0-6

В случае набора абитуриентами равного количества баллов (полупроходного балла), преимущество получает абитуриент, соответствующий перечисленным ниже критериями. Критерии представлены в порядке убывания значимости.

1. оценка за собеседование;
2. оценка за индивидуальные достижения

## 3. Программа собеседования

### **I. Астрофизика высоких энергий.**

Гамма-астрономия высоких и сверхвысоких энергий. Поиски гамма-излучения высокой энергии от остатков сверхновых звезд. Большой Взрыв. Красное смещение. Реликтовое излучение. Темная материя. Широкие атмосферные ливни.

### **II. Экспериментальная техника.**

Методы ускорения частиц. Циклотрон, фазотрон, синхрофазотрон. Мезонные фабрики. Коллайдеры, накопительные кольца. Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизация. Эффект Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Прохождение электронов и фотонов через вещество. Электромагнитные ливни.

Прохождение адронов через вещество. Адронные ливни. Рентгено-эмульсионные камеры. Импульсные ионизационные и пропорциональные камеры, дрейфовые камеры, сцинтилляционные счетчики, микростриповые и падовые детекторы, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, кольцевой черенковский спектрометр. Адронные и электромагнитные калориметры. Времяпролетные системы. Искровые и стриммерные камеры. Методы идентификации частиц. Детекторы переходного излучения.

### III. Кинематика взаимодействия и распада частиц.

Мандельштамовские переменные:  $s$ ,  $t$ ,  $u$ . Фейнмановская переменная  $x$ , Бьеркеновские переменные, быстрота и псевдобыстрота. Преобразования Лоренца. Инварианты лоренцовских преобразований. Внутренние квантовые числа: спин, изоспин, лептонный и барионный заряды, странность, чарм. Дискретные симметрии. Законы сохранения. Дифференциальное и полное сечение реакций, матричный элемент, фазовый объем.

### IV. Общие свойства фундаментальных взаимодействий

Электромагнитное, слабое, сильное и гравитационное взаимодействия.  $\beta$ -распады ядер. Непрерывный спектр  $\beta$ -электронов. Эксперимент Эллиса-Вустера. Четырехфермионное взаимодействие Ферми. Правила отбора Ферми и Гамова-Тейлера. Лоренцова структура четырехфермионного взаимодействия. Пространственная четность. Несохранение P-четности в слабых распадах. Опыт Ву. Гипотеза о левоспиральности нейтрино. V–A структура слабого взаимодействия. Единое слабое взаимодействие. Сохранение векторного тока. Сильное взаимодействие. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Гипотеза Юкавы о скалярном массивном переносчике сильного взаимодействия.  $\pi$  мезоны. Странные частицы. Сохранение странности. Зарядовая четность.  $K^0$ –анти- $K^0$ -осцилляции.  $K_L$  мезон. Регенерация  $K_S$  в веществе. Измерение разницы масс  $K_L$  –  $K_S$ . Бегущие константы взаимодействий. Универсальный характер взаимодействий и Великое объединение.

### V. Стандартная модель.

Формула Гелл-Мана Нишиджимы. Феноменологическая классификация мезонов и барионов в SU(2) и SU(3). Кварки. Цвет. Калибровочная инвариантность. Поля Янга-Миллса. Неабелевы калибровочные поля. Спонтанное нарушение калибровочной инвариантности. Хиггсовский механизм. Теорема Голдстона. Модели Джорджи-Глэшоу и Вайнберга-Салама. Лагранжиан Стандартной модели. Нейтральные токи. Эксперимент по обнаружению нейтральных токов. Измерение угла Вайнберга. Открытие W и Z бозонов в эксперименте UA1. Рождение W и Z в протон-антипротонных взаимодействиях. Свойства и распады W и Z бозонов. Эксперименты на LEP. Эксперимент SLD. Проверка Стандартной Модели в экспериментах LEP. Количество поколений легких нейтрино.

### VI. Тяжелые кварки и лептоны.

Открытие  $\tau$ -лептона. Рождение  $\tau$ -лептонов в  $e^+e^-$ -аннигиляции. Масса, время жизни, магнитный и электрический момент. Верхний предел на массу  $\tau$ -нейтрино. Спиральность  $\tau$ -нейтрино. Проверка лептонной универсальности в распадах  $\tau$ -лептонов. Лептонные распады. V–A структура заряженного тока. Адронные распады  $\tau$ -лептона. Параметры Мишеля. Перенормировки и поправки QED к g–2. Аномальный момент мюона. Сильные и слабые поправки к g–2 мюона. Эксперимент E821 и его результаты. Новые эксперименты по измерению g–2 мюона. Адроны, содержащие c- и b-кварки. Классификация, распады. Измерения времен жизни.

Открытие  $J/\psi$  и  $Y$ -резонансов. Потенциальные модели. Спектр уровней тяжелого кваркония.  $B$ -мезоны, основные состояния. Измерения массы, времени жизни. Полулептонные и адронные распады  $B$ -мезонов. Матрица смешивания кварков Кабиббо-Кобаяши-Маскава. Определение элементов матрицы СКМ. Параметризация Волфенштейна и треугольники унитарности. Механизмы нарушения  $CP$ -четности в распадах  $B$ -мезонов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Б. Окунь, Лептоны и кварки, Москва, Наука (1990).
2. Л. Райдер, Элементарные частицы и симметрии. Москва, Наука, (1983)
3. Ф. Энглер «Механизм БЭХ и его скалярный бозон», УФН т.185 ,1050–1058 (2015),
4. Е.П. Шабалин «Что может дать дальнейшее изучение нарушения  $CP$ - и  $T$ - симметрии и проверка  $CPT$ -инвариантности», УФН т.171, 951–976 (2001)
5. М. Перл «Открытие новой элементарной частицы — тяжелого  $\tau$ -лептона», УФН т. 129, 671–684 (1979)
6. С.В. Семенов, Физика очарованных адронов, УФН т.169, No.9, 937 (1999)
7. Г.В. Пахлова, П.Н. Пахлов, С.И. Эйдельман, Экзотический чармоний, УФН т.180, 225 (2010)
8. А.Е. Бондарь, П.Н. Пахлов, А.О. Полуэктов, Наблюдение  $CP$ -нарушение в распадах  $B$ -мезонов, УФН т.177, 697 (2007)
9. A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. C, 38, 090001 (2014) The Review of Particle Physics. <http://pdg.lbl.gov/> (Или более поздние издания)
10. Клаус Групен. Детекторы элементарных частиц. Новосибирск 1999. <http://log-in.ru/books/16705>
11. R.Chan and G. Goldhaber «Experimental Foundations of Particle Physics» 2nd Edition CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS