

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ



УТВЕРЖДАЮ

И.о. декана физического факультета МГУ

*/ В.В. Белокуров /*

«21» марта 2024 г.

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**

**КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

**1.3.18 Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника**

Шифр и наименование области науки

**1. Естественные науки**

Наименование отраслей науки, по которым присуждаются ученые степени

**Физико-математические науки**

---

Москва 2024

## **I. Описание программы**

Программа-минимум кандидатского экзамена, разработана Физическим факультетом Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова на основе паспорта научной специальности, утвержденного Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, и учебного плана программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 1.3.18. Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

## **II. Основные разделы и вопросы к экзамену**

### **Тема 1. Общие вопросы**

История развития ускорительной техники. Вклад отечественной научной школы. Применение пучков заряженных частиц в различных областях науки, техники и народного хозяйства. Ускорительные центры России и мира

Общее определение пучка частиц. Основные свойства пучков, характеристики орбит в ускорителях. Уравнение движения заряженных частиц в электромагнитных полях.

Источники пучков заряженных частиц. Электронная эмиссия: термоэмиссия, автоэмиссия, плазменная (в т. ч. взрывная) эмиссия, фотоэмиссия. Основные характеристики катодов на основе каждого из видов эмиссии. Электронные пушки. Формирование пучков.

### **Тема 2. Ускорение заряженных частиц.**

Динамика частиц в циклических ускорителях. Ускорители с мягкой и жесткой фокусировкой. Ускорители прямого действия. Ускорение частиц в вихревом электрическом поле. Бетатрон.

Линейные ускорители. Особенности ускорителей электронов, протонов и тяжелых ионов. Автофазировка. Инжекция частиц в линейный ускоритель. Динамика частиц в линейных ускорителях. Циклические ускорители. Автофазировка, критическая энергия. Синхротрон, синхрофазотрон (протонный синхротрон). Циклотрон. Фазотрон. Микротрон. Изохронный циклотрон. Каскадные схемы ускорения частиц до высоких энергий, бустерные синхротроны.

### **Тема 3 Пучки заряженных частиц и их использование**

Пучок заряженных частиц в вакууме. Синхротронное излучение и охлаждение пучков заряженных частиц. Синхротронное излучение и радиационное трение. Основные характеристики синхротронного излучения, его применение.

Метод встречных пучков (коллайдерная схема). Основные характеристики метода: энергия реакции, светимость. Циклические и линейные пучки. Накопление заряженных частиц. Поляризованные пучки. Источники поляризованных пучков протонов и ядер. Метод Штерна-Герлаха.

Методы генерации ускоряющего электромагнитного поля: сгустками электронов, плазменными колебаниями, движущимися электронными пучками. Методы создания ЛСЭ – лазеров на свободных электронах.

Взаимодействие выведенных пучков с мишенью. Выходы вторичных частиц. Радиационный разогрев мишеней.

#### **Тема 4. Формирование пучков частиц и ускорительная техника.**

Ускорители прямого действия: каскадные ускорители с умножением напряжения Кокрофт-Уолтона, электростатические ускорители (ЭСУ) Ван-Граафа, тандемы.

Линейные ускорители. Общие характеристики принципа их действия и конструкции, преимущества и недостатки по сравнению с кольцевыми ускорителями. Линейные ускорители электронов. Линейные ускорители протонов и ионов. Импульсные инжекторы протонных синхротронов.

Индукционные ускорители. Бетатрон. Линейный бетатрон. Особенности конструкции, параметры. Пучки вторичных частиц в ускорителях.

#### **Тема 5. Взаимодействие пучков частиц с веществом.**

Взаимодействие излучения с веществом. Особенности взаимодействия заряженных частиц с веществом. Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Взаимодействие нейтронов с веществом.

Радиационная безопасность при работе на ускорителях заряженных частиц. Радиационная активность ускорителей различных типов. Обеспечение безопасной работы обслуживающего персонала. Влияние излучения на материалы и радиоэлектронное оборудование. Прикладные применения ускорителей в медицине и промышленности.

Основные особенности и характеристики крупных действующих ускорительных установок и ускорительно-накопительных комплексов /См. дополнительную литературу.

### **III. Критерии оценивания**

<b>Критерии и показатели оценивания ответа на экзамене</b>			
<b>Неудовлетворительно</b>	<b>Удовлетворительно</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Отлично</b>
Фрагментарные знания в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники	Неполные знания в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники	Сформированные и систематические знания в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники

### **IV. Рекомендуемая основная литература**

1. А.А.Коломенский основы методов ускорения заряженных частиц. М., Изд. МГУ, 1980.
2. А.Н.Лебедев, А.В.Шальнов Основы физики и техники ускорителей. В 3-х томах, М., Энергоиздат, ; 2-ое изд., Энергоатомиздат, 1991.
3. Синхротронное излучение и его применения. М., МГУ, 1990.
4. Бетатроны. М., Энергоиздат, 1981.
5. Линейные ускорители электронов непрерывного действия для научных и прикладных целейД. С. Юров, В. И. Шведунов, А. С. АлимовВестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон. 2023. № 1. 2310501
6. Алимов А.С. Практическое применение электронных ускорителей [http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuc\\_techn/el\\_ac/application.html](http://nuclphys.sinp.msu.ru/nuc_techn/el_ac/application.html)
7. Б.С. Ишханов, В.И. Шведунов УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ И ФИЗИКАЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В НИИЯФ МГУ, М. 2008 г.
8. «Ускорители и встречные пучки» // Г.И. Будкер / В кн.: Труды VII Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий, т. 1, Ер., 1970, с. 33

#### **V. Рекомендуемая дополнительная литература**

1. “Коллайдер” // Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Э.И. Кэбин / <http://nuclphys.sirp.msu.ru/experiment/accelerators/collider.html>
2. “Физика на Большом адронном коллайдере” / / ”Успехи Физических Наук”, Том179, №6. Июнь 2009 г., с.571-579
3. А. П. Черняев, Е. Н. Лыкова, А. И. Поподько МЕДИЦИНСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В СОВРЕМЕННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ, Учебное пособие, М. 2019 г.