План лекций по программе курса «Диагностика пучков заряженных частиц»

1-го семестра, 3-го курса, факультета РЭФ

Составил: **Дорохов Виктор Леонидович**

Последняя редакция: **26.11.2025 г.**

1. **Место и роль ускорителей заряженных частиц в современном научном эксперименте и в технологии**

   Ключевые понятия: Основные направления применения ускорителей: ядерная физика, физика элементарных частиц, синхротронное излучение (СИ), лазер на свободных электронах (ЛСЭ), дефектоскопия, радиационная химия и т.п.

2. **Краткий исторический обзор развития ускорителей. Ключевые принципы ускорения, физические основы и конструкция ускорителей различных типов**

   Ключевые понятия: ускорители прямого действия; линейные резонансные ускорители; линейные ускорители Видероэ и Альвареца; циклические ускорители; резонансное ускорение; классический циклотрон и его ограничения; синхроциклотрон и его ограничения; синхротрон; индукционное ускорение; бетатрон; микротрон; лазеры на свободных электронах

3. **Движение пучка в ускорителе. Линейное приближение.**

   Ключевые понятия: сопровождающая система координат; уравнения поперечного движения частиц; бетатронные колебания; амплитуда и частота бетатронных колебаний; бетатронное число; бетатронная частота; набег бетатронной фазы; эмиттанс

4. **Измерение параметров пучка. Задачи диагностики пучка.**

   Ключевые понятия: сгруппированный пучок; ток пучка; ключевые задачи диагностики; основные типы датчиков; разрушающая и не разрушающая диагностика; контактные датчики; оптические датчики; электромагнитные датчики; временное и пространственное разрешение; point-spread function (PSF); цилиндр Фарадея; люминофорный экран; датчик на переходном излучении; датчик на основе излучения Вавилова; проволочный вторично-эмиссионный датчик; микроканальный датчик; ионизационный датчик; пучковый датчик; лазерный измеритель профиля пучка; фотоэлектронный умножитель (ФЭУ); диссектор; стрик-камера;

интерферометр; рентгеновская камера-обскура; волноводный датчик; электростатический датчик; магнитоиндукционный датчик

5. **Цилиндр Фарадея. Люминофорный экран.**

   Ключевые понятия: прохождение заряженных частиц через вещество; ионизационные и радиационные потери; пик Брегга; формула Бете-Блоха, эффективный пробег электронов в веществе; коэффициент отражения частиц; порошковые люминофоры; керамические люминофоры; полимерные люминофоры; монокристаллические сцинтилляторы; гигроскопичность люминофорных материалов; конструкции люминофорных датчиков с люминофором в вакуумном объеме и атмосфере (преимущества и недостатки); пространственное разрешение ограничеваемое материалом люминофорного экрана; время высвечивания люминофора

6. **Датчик на основе переходного излучения**

   Ключевые понятия: угловое распределение интенсивности переходного излучения; спектрально-угловая плотность переходного излучения излучения; особенности поляризации; визуализация поперечного распределения пучка в случае наклонённой мишени; классическая схема датчика; PSF датчика

7. **Датчик на основе излучения Вавилова-Черенкова (ИВЧ)**

   Ключевые понятия: теоретическая модель; спектр и условия возникновения; угол направленности ИВЧ; временное разрешение датчика и его основные ограничения; кпитерии выбора материала датчика

8. **Синхротронное излучение. Монитор поперечного профиля пучка по СИ в видимом диапазоне.**

   Ключевые понятия: теоретическая модель; полная мощность СИ; спектрально угловое распределение и особенности поляризации СИ из поворотного магнита; критическая энергия и критическая длина волны; угловая направленность СИ; классическая схема монитора профиля пучка; фундаментальные огарничения пространственного разрешения; вклад в PSF монитора поперечного профиля глубины резкости, дифракции и изгиба кривой траектории пучка частиц; пределы применимости классического монитора поперечного профиля пучка в видимой области СИ

9. **Электронно оптические преобразователи (ЭОП) в диагностике пучка с использованием излучения в видимом диапазоне.**

   Ключевые понятия: ФЭУ; особенности спектральной чувствительности фотокатодов; временные характеристики сигналов ФЭУ; области применения ФЭУ в диагностике пучков; многоанодный ФЭУ (МФЭУ); профилометр на основе МФЭУ; электронно оптический диссектор; принцип работы диссектора; сканирование

пилообразным напряжением и фазой, особенности подходов; временное разрешение диссектора; стрик-камера; принцип работы стрик-камеры; временное разрешение стрик-камеры; особенности применения диссектора и стрик-камеры в диагностике продольного распределения пучка частиц в ускорителях

10. **Интерферометр на СИ для измерения поперечных размеров пучков. Рентгеновская камера-обскура.**

    Ключевые понятия: предел разрешения диагностик поперечного профиля в видимой области излучения и методы его преодаления; интерферометр с делением волнового фронта; пространственная когерентность; теорема Ван Циттерта-Цернике; видность интерференционной картины; интерферометр Юнга; особенности конструкции интерферометров по СИ; ограничения интерферометрии в видимом диапазоне; измерение вертикального размера с использованием pi-поляризованной составляющей СИ; камера-обскура; коэффициент масштабирования; зависимость PSF от энергии квантов и размеров отверстия в диафрагме; классическая схема построения; материалы ослабителей, их влияние на спектр; устройство и особенности детектора рентгеновского излучения

11. **Принципы построения оптических систем диагностики пучка**

    Ключевые понятия: вывод излучения из вакуумной камеры установки; материал зеркал; нагрев зеркал; особенности покрытий отражающей поверхности зеркал и их влияние на отраженный спектр; материалы окон вывода, их особенности светопропускания; оптические зеркала в атмосфере; светоделители; поляризаторы; оптические фильтры; подходы к анализу изображений

12. **Магнитноиндукционные датчики**

    Ключевые понятия: Лаплас-изображение сигнала; вихревая функция; магнитоиндукционный датчик положения пучка; трансформаторы тока пучка; защита магнитоиндукционных датчиков от магнитных помех

13. **Двухпроводная линия**

    Ключевые понятия: теорема Пойнтинга; огибающая сигнала двухпроводной линии; зависимость сигнала от поперечных координат пучка; релятивистское сжатие полей пучка; полосковый датчик пучка; квазистатические сигналы двухпроводной линии

14. **Электростатические датчики**

    Ключевые понятия: пикап-электрод (pickup-electrode); теорема Шокли-Рамо; потенциальная функция; определение координат пучка; сигналы электростатического датчика положения пучка; линейные пикап-электроды; широкополосные пикап-электроды; типичные схемы обработки сигнала

15. **Диагностика бетатронных колебаний пучка**

Ключевые понятия: уравнение Хилла; измерение бетатронных частот; набег бетатронной фазы; дробная часть бетатронной частоты; спектральный анализ пооборотных измерений; преобразование Фурье; раскачка пучка ударом; резонансная раскачка пучка; контроль инжекции пучка; измерение хроматизма

16. **Измерение энергии пучка**

Ключевые понятия: магнитный спектрометр; система измерения энергии методом резонансной деполяризации; эффект Тушека; регистрация процесса резонансной деполяризации; система измерения на основе обратного комптоновского рассеяния; спектр обратного комптоновского рассеяния