

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
Физический факультет
Кафедра физики ускорителей

УТВЕРЖДАЮ
Декан _____ А. Е. Бондарь
«_____» _____ 2014 г.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ

Учебно-методический комплекс

Направление подготовки
03.03.02 Физика (уровень бакалавриата)

Профиль:
Общая физика

Форма обучения
Очная

Новосибирск 2014

Учебно-методический комплекс «Циклические ускорители» предназначен для студентов третьего курса физического факультета НГУ. В состав комплекса включены рабочая программа дисциплины «Циклические ускорители», банк обучающих материалов, банк контролируемых материалов.

Составили:

доцент Е. А. Переведенцев
каф. физ.-мат. наук, асс. Д. Б. Шварц

Учебно-методический комплекс

© Новосибирский государственный университет, 2014
© Переведенцев Е.А., 2014
© Шварц Д. Б., 2014

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
Физический факультет
Кафедра физики ускорителей

УТВЕРЖДАЮ
Декан _____ А. Е. Бондарь
«_____» _____ 2014 г.

ЦИКЛИЧЕСКИЕ УСКОРИТЕЛИ

Рабочая программа дисциплины

Направление подготовки
03.03.02 Физика (уровень бакалавриата)

Профиль:
Общая физика

Форма обучения
Очная

Новосибирск 2014

Рабочая программа дисциплины «Циклические ускорители», предназначенная для студентов третьего курса физического факультета НГУ, разработана в 2011 году в соответствии с ФГОС ВПО по направлению подготовки 011200 Физика (квалификация «бакалавр») от 08.12.2009, изменена в соответствии с требованиями Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования от 19.12.2013, изменена в 2014 г. в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика (уровень бакалавриата) от 07.08.2014.

Составили:

доцент Е. А. Переведенцев
кафд. физ.-мат. наук, асс. Д. Б. Шварц

Рабочая программа

© Новосибирский государственный университет, 2014
© Переведенцев Е.А., 2014
© Шварц Д. Б., 2014

Содержание

Аннотация	4
1. Цели освоения дисциплины	5
2. Место дисциплины в структуре ООП	5
3. Компетенции обучающегося, формируемые при освоении дисциплины	6
4. Структура и содержание дисциплины	6
5. Образовательные технологии	10
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	11
7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания	11
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины Рекомендованная литература к теоретическому курсу	11
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины	12

I. Рабочая программа дисциплины «Линейные ускорители»

Аннотация

Программа курса «Циклические ускорители» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО к уровню бакалавриата по направлению подготовки «03.03.02 Физика» (академический бакалавриат), а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на Физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Новосибирский государственный университет (НГУ) кафедрой физики ускорителей. Дисциплина изучается студентами третьего курса физического факультета в весеннем семестре.

Цели курса – дать студентам базовые знания, умения и навыки по основам циклических ускорителей. Одна из главных задач курса – показать самые последние разработки и новые идеи в этой области физики и высоких технологий, опираясь на достижения ИЯФ СО РАН как в фундаментальных исследованиях по физике высоких энергий, так и в работах по применению ускорителей в инновационных технологиях: использование синхротронного излучения, радиационных технологиях и т.п.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника общепрофессиональных компетенций ОПК-3, а также профессиональных компетенций ПК-1 и ПК-3.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, семинарские занятия, домашние задания, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, допуск к экзамену, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: домашние задания, задания для самостоятельного решения.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 4 зачетных единицы:

- занятия лекционного типа – 48 часов;
- занятия семинарского типа – 48 часов;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 12 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена и экзамен) – 36 часов;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, семинарского типа, групповые консультации, экзамен) составляет 132 часа.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 48 часов.

1. Цели освоения дисциплины

Данный курс предназначен для обучения специалистов, которые будут в своей последующей работе использовать знания об устройстве и принципе работы циклических ускорителей элементарных заряженных частиц, предназначенных для научных и промышленных целей.

Циклические ускорители заряженных частиц являются основным инструментом современной физики высоких энергий, обеспечивая эксперименты по физике элементарных частиц интенсивными пучками электронов, позитронов, протонов, антипротонов и многозарядных ионов, разогнанных до сверхвысоких энергий. ИЯФ СО РАН располагает огромным опытом проектирования и создания циклических ускорителей, важнейшие новые направления в развитии циклических ускорителей (встречные пучки, электронное охлаждение и многое другое) были открыты именно в этом Институте. ИЯФ СО РАН развивает успешное международное сотрудничество по физике высоких энергий с ведущими лабораториями мира, а на собственной площадке ведет работу на двух электрон-позитронных коллайдерах, ВЭПП-4М и ВЭПП-2000.

Уникальный многолетний опыт и высокая компетенция ускорительных лабораторий Института отразилась в программе данного спецкурса. Он предназначен для бакалавров специальностей «физика элементарных частиц» и «радиофизика» ФФ НГУ в качестве ознакомительного курса, а для специальности «физика ускорителей» кроме 36ч. лекционного курса предлагается курс семинарских занятий объемом 36 ч. и задание (12 задач) для углубления теоретических знаний и приобретения основательных практических навыков в решении задач, и тем самым курс является для специальности «физика ускорителей» кратким и эффективным введением в специальность.

Программа курса включает классические вопросы устойчивости бетатронных траекторий, анализ ускорения в индукционных и резонансных ускорителях (бетатронах и синхротронах), а также более продвинутые проблемы, связанные с радиационными эффектами и динамикой встречных пучков в коллайдерах. Одна из главных задач курса — показать самые последние разработки и новые идеи в этой области физики и высоких технологий, опираясь на достижения ИЯФ СО РАН как в фундаментальных исследованиях по физике высоких энергий, так и в работах по применению ускорителей в инновационных технологиях: использование синхротронного излучения, радиационных технологиях и т.п. Экскурсии по установкам Института являются неотъемлемой частью учебного процесса.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Линейные ускорители» обязательной дисциплиной вариативной части подготовки бакалавра по направлению «03.03.02 Физика».

Дисциплина «Линейные ускорители» опирается на следующие дисциплины данной ООП:

- Математический анализ;
- Дифференциальные уравнения;
- Высшая алгебра;
- Электродинамика;

Результаты освоения дисциплины используются в следующих дисциплинах данной ООП:

- Практика и научно-исследовательская работа в НИИ.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Общепрофессиональные компетенции ОПК-3 и ОПК-6, профессиональные компетенции ПК-1 и ПК-3.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- Иметь представления о преимуществах циклических ускорителей для достижения предельно высоких энергий заряженных частиц
- Иметь представления о преимуществах накопителей для получения пучков высокой яркости (большая интенсивность плюс малый эмиттанс пучка)
- Понимать перспективы использования пучков высокой яркости для современных инновационных технологий
- Понимать преимущества коллайдера с высокой светимостью при постановке высокоэффективных экспериментов по физике элементарных частиц, что равнозначно повышению экономической эффективности фундаментальных исследований
- На основе изученных характеристик синхротронного излучения и уникальных возможностей электронных накопителей – источников синхротронного излучения, осознавать огромный исследовательский и технологический потенциал этой области применения циклических ускорителей
- Уметь ориентироваться в информации, получаемой из печатных изданий и сети «Интернет», соответствующей по качеству своей профессиональной подготовке.

4. Структура и содержание дисциплины

Дисциплина «Линейные ускорители» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-м курсе физического факультета НГУ в 5-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часа.

Особенность курса «Циклические ускорители» заключается в том, что студентам передаются не только современные знания в данной области, но и весь накопленный многолетний опыт Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Поскольку институт стоит у истоков ускорительной техники, весь курс построен с учетом практических знаний, имеющихся у его коллектива. Кроме этого, студенты могут «вживую» ознакомиться со многими макетами различных ускорительных разработок, а также с действующими установками, созданными в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа в течение семестра (не включая период сессии)	Промежуточная аттестация (подготовка к экзамену и экзамен)
				Лекции (кол-во часов)	Семинары (кол-во часов)		
1	Уравнения движения частиц в циклических ускорителях. Фокусировка в неоднородном магнитном поле.		5	2	2	2	
2	Устойчивость поперечного		5	2	2	2	

	движения частиц в циклических ускорителях. Бетатронные колебания. Матрица перехода. Слабая фокусировка.						
3	Бетатронные колебания в периодических фокусирующих системах. Устойчивость решений уравнения Хилла, теорема Флоке. Огибающая бетатронных колебаний в жесткофокусирующем ускорителе.		5	2	2	2	
4	Влияние возмущений ведущего поля в циклических магнитных структурах. Искажение равновесной орбиты. Запрещенные полосы бетатронных частот.		5	2	2	2	
5	Замкнутая орбита для частиц с неравновесной энергией. Коэффициент удлинения орбит, удлинение периода обращения.		5	2	2	3	
6	Продольное движение частиц, резонансное ускорение, автофазировка, уравнения синхротронных колебаний.		5	2	2	3	
7	Синхротронное излучение, его характеристики и влияние на динамику циркулирующих электронов. Радиационное затухание колебаний.		5	2	2	3	

8	Возбуждение колебаний вследствие квантовых флуктуаций синхротронного излучения. Установившиеся размеры пучка в электронном накопителе.		5	2	2	3	
9	Анализ нелинейных возмущений осциллятора методом усреднения. Нерезонансные возмущения. Хроматизм и кубическая нелинейность бетатронных колебаний.		5	2	2	3	
10*	Внешний (простой) резонанс ангармонических колебаний. Амплитудно-частотная характеристика, фазовый портрет, области бетатронной автофазировки.		5	2	2	3	
11*	Параметрический резонанс, нелинейные резонансы. Амплитудно-частотная характеристика, фазовый портрет, области бетатронной автофазировки.		5	2	2	3	
12	Взаимодействие встречающихся сгустков. Параметр пространственного заряда ξ .		5	2	2	3	
13	Ограничение светимости встречных пучков "эффектами встречи".		5	2	2	3	
14*	Эффекты, определяющие время жизни пучка в		5	2	2	3	

	накопителе.						
15*	Методы инъекции. Методы охлаждения протонных пучков: электронное охлаждение, стохастическое охлаждение.		5	2	2	3	
16	Влияние пространственного заряда на динамику интенсивного пучка. Когерентные неустойчивости пучка, их диагностика и подавление.		5	2	2	3	
17	Групповая консультация		2				2
18	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		32				32
19	Экзамен		2				2
Всего				32	32	44	36

*) Звездочкой отмечены дополнительные темы, не включенные в экзамен.

План семинарских занятий

- 1) Ускорение частиц в циклотроне. Изохронный циклотрон. Синхроциклотрон, вариация частоты ускоряющего поля в цикле. Ускорение вихревым электрическим полем, изменение радиуса орбиты при ускорении в однородном поле. Бетатрон. "Закон 2:1".
- 2) Динамика частиц в магнитных элементах. Спектрометры на основе поворотного магнита. Матрицы линейных магнитных элементов. Примеры применения матричного формализма. Эквивалентность "толстой" линзы системе из "тонкой" линзы и пустых промежутков. Применение электростатических полей, электронная оптика на основе электростатических элементов.
- 3) Уравнения Хилла. Решение в форме Флоке. Уравнение на огибающую и его решение на примере пустого промежутка. Расчёт структурных функций на примере одномерной FO-периодической структуры. Понятие бета-функций и бетатронных частот. Динамика частицы в фазовом пространстве.
- 4) FOFO-структура. Двумерное поперечное движение, FODO-структура, условие одновременной устойчивости по двум степеням свободы.
- 5) Транспортные и обратная матрицы циклического ускорителя. Параметризация Твисса. Транспортировка вектора параметров Твисса с помощью матричного формализма.
- 6) Уравнение на бета-функцию. Матрица системы элементов, выстроенных в обратном порядке ("зеркальная матрица").
- 7) Комплексные собственные вектора обратной матрицы. Построение транспортной матрицы по известным значениям параметров Твисса на входе в транспортный участок.
- 8) Неидеальности магнитной структуры. Возмущение равновесной орбиты сосредоточенным и распределённым искажением магнитного поля. Резонансные условия.

- 9) Возмущение фокусирующих полей. Сдвиг бетатронных частот. Разрушение устойчивости поперечных колебаний, "запрещённые" зоны.
- 10) Искажение структурных функций сосредоточенным возмущением фокусировки, распространение искажения в кольцо. Условие линейного сложения искажений от двух сосредоточенных возмущений.
- 11) Движение частицы с отклонением по импульсу. Дисперсионная функция. Коэффициент удлинения орбит. Параметр проскальзывания. Расчёт дисперсионной функции в периодической FODO структуре с малым углом поворота в ячейке, но немалым набегом бетатронной фазы.
- 12) Натуральный хроматизм бетатронных частот. Последствия и методы компенсации. Вывод полной формулы для хроматизма "малых машин". Хроматизм структурных функций, на примере азимутально-симметричного ускорителя.
- 13) Продольная динамика частиц. Ускорение частиц в синхротроне. Принцип автофазировки. Синхротронные колебания. Гамильтонов формализм для продольного движения. Динамика в фазовом пространстве. Понятие сепаратрисы – границы зоны финитного движения. Вывод полной формулы для ширины сепаратрисы.
- 14) Радиационное затухание в электронных синхротронах. Теорема о сумме декрементов. Связь между затуханием колебаний продольной и поперечной горизонтальной степенями свободы. Особенности радиационного "затухания" в FD-структуре.
- 15) Коллайдеры – ускорители на встречных пучках. Понятие светимости. Эффекты встречи – взаимодействие частицы с полем встречного сгустка. Возмущение фокусировка встречным сгустком. Сдвиг частоты, динамическая бета-функция. Flip-flop эффект.
- 16) Нормализованные переменные. Быстрые и медленные переменные; переменные действие-угол. Метод усреднения для осциллятора с малым возмущением. Примеры применения метода усреднения: сдвиг частоты, затухание, амплитудно-частотная зависимость, нелинейные резонансы.

5. Образовательные технологии

Учебный курс «Циклические ускорители» читается классическим способом: проводятся потоковые лекции, а также семинарские занятия по группам, в каждой из которых не более 15-и студентов. При подаче материала лекционного курса используется мультимедийная техника. На экран выводятся формулировки, определения, основные понятия, а также графические иллюстрации, помогающие наглядно подать материал. Все семинарские занятия проводятся в интерактивной форме. Обсуждаются идеи и способы решения поставленных задач, оптимальность предложенных решений. Поощряется элемент соревновательности. Автор наиболее удачного решения рассказывает его у доски. Существенным элементом образовательных технологий является не только умение студента найти решение задачи, но и способность доходчиво донести его до всей аудитории. Умение ответить на вопросы сокурсников и преподавателя развивает навыки, которые будут необходимы в дальнейшей профессиональной деятельности студента. Важнейшим элементом технологии является самостоятельное решение студентами и сдача заданий. Это единственная полностью индивидуальная форма обучения. Сдача заданий в устной форме преподавателю направлена на формирование коммуникативных навыков, умения объяснять, логически излагать решение, быстро отвечать на вопросы преподавателя. Студент рассказывает свое решение преподавателю, отвечает на дополнительные вопросы, решает одну - две простые задачи на ту же тему. Если даже задача была частично или полностью списана, студент все равно приобретает навыки решения задач данного типа. Таким образом, триада: лекции + семинары + задания способствуют активному усвоению материала и позволяют студентам не столько вызубрить теорию, сколько научиться применять ее для решения задач.

Оценка на экзамене складывается из трех сумм: $\Sigma = \Sigma_b + \Sigma_t + \Sigma_p$, где Σ_b — количество баллов, заработанных студентом в семестре, Σ_t — количество баллов, полученных за ответ на теоретический билет, Σ_p — количество баллов, полученных за решение задач из практического билета. Каждая из сумм может равняться нулю. В зависимости от набранных баллов проставляется оценка за экзамен:

Σ	Оценка
[0;200)	неудовлетворительно
[200;400)	удовлетворительно
[400;600)	хорошо
[600;900]	отлично

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями, написанными преподавателями кафедры физики ускорителей:

1. Е.А.Переведенцев. Радиационные эффекты в циклических ускорителях. Учебное пособие по спецкурсу «Циклические ускорители», 2015.
2. E.Perevedentsev. Linear Beam Dynamics and Beyond, in: “High Quality Beams”, Proc. Joint US-CERN-Japan-Russia Accelerator School, AIP Conf. Proc., v.592, New York, 2001.

Система контроля включает текущий (по ходу семестра) контроль освоения практического материала, а также экзамен.

Текущий контроль по практике: осуществляется в ходе семестра путем приема обязательных заданий.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию, по билетам, в устной форме.

7. Фонд оценочных средств для проведения аттестации по итогам освоения дисциплины: показатели, критерии оценивания компетенций, типовые контрольные задания

Освоение компетенций оценивается по двухбалльной шкале «сформирована / не сформирована». Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ОПК-3, а также ПК-1 и ПК-3 сформирована в части, относящейся к формированию способности использовать в профессиональной деятельности материал данного курса.

Образец билета на экзамене:

1. Устойчивость поперечного движения частиц в циклических ускорителях.
2. Бетатронные колебания.
3. Матрица перехода.
4. Слабая фокусировка.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Обязательная литература:

1. Г.Брук. Циклические ускорители заряженных частиц, М., Атомиздат, 1970.

2. А.А.Коломенский, А.Н.Лебедев. Теория циклических ускорителей, М., Физматгиз, 1962.
3. D.A.Edwards, M.J.Syphers. An Introduction to the Physics of High-Energy Accelerators. Wiley, New York, 1993.
4. M.Sands. Physics of electron storage rings, Preprint SLAC-121 (1970).
5. E.Perevedentsev. Linear Beam Dynamics and Beyond, in: "High Quality Beams", Proc. Joint US-CERN-Japan-Russia Accelerator School, AIP Conf. Proc., v.592, New York, 2001.
6. Е.А.Переведенцев. Радиационные эффекты в циклических ускорителях. Учебное пособие по спецкурсу «Циклические ускорители», 2005.
7. А.Н.Лебедев, А.В.Шальнов. Основы физики и техники ускорителей, М., Энергоатомиздат, 1991.

Дополнительная литература:

1. A.Chao, M.Tigner. Handbook of Accelerator Physics and Engineering, World Scientific, Singapore, 1999.
3. S.Y.Lee Accelerator Physics, World Scientific, Singapore, 1999.
4. Дж.Ливингуд. Принципы работы циклических ускорителей, М., 1963.

Интернет ресурсы:

1. Методические материалы на сайте кафедры физики ускорителей ФФ НГУ
<http://accel.inp.nsk.su/>

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Доска, мел, тряпка.
2. Доступ к информационным ресурсам, выложенным на сайте кафедры
<http://accel.inp.nsk.su/>
3. Оборудование мультимедиа (проектор, ПК, экран).

Рабочая программа дисциплины одобрена на заседании кафедры физики ускорителей физического факультета НГУ 29 августа 2014 года.

II. Банк обучающих материалов, рекомендации по организации самостоятельной работы студентов, выполнению курсовых проектов и лабораторных работ

А. А. КОЛОМЕНСКИЙ и А. Н. ЛЕБЕДЕВ

ТЕОРИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ УСКОРИТЕЛЕЙ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1962

АННОТАЦИЯ

Книга содержит систематическое изложение общей теории современных циклических ускорителей, а также описание особенностей установок различных типов. Наряду с принципиальными теоретическими вопросами в книге рассмотрены наиболее существенные прикладные вопросы и методы расчета параметров и допусков. Особое внимание уделено работам, выполненным за последние годы и посвященным получению максимальных значений энергии и интенсивности ускоряемых частиц. Подробно рассмотрены сильнофокусирующие ускорители, радиационные эффекты, проблема накопления частиц и т. д.

Книга рассчитана на научных сотрудников и инженеров, работающих в области физики частиц высокой энергии и ускорительной техники, а также на аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Андрей Александрович Коломенский и Андрей Николаевич Лебедев.

Теория циклических ускорителей.

М., Физматгиз, 1962 г., 352 стр. с илл.

Редактор *В. Л. Козлов.*

Техн. редактор *Н. Я. Мурашова*

Корректор *К. В. Булатова.*

Сдано в набор 22/1 1962 г. Подписано к печати 18/V 1962 г. Бумага 60×90^{1/16}. Физ. печ. л. 22. Услови. печ. л. 22. Уч.-изд. 21,7. л. Тираж 6000 экз. Т-04786. Цена книги 1 р. 29 к. Зак. № 148.

Государственное издательство физико-математической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Типография № 2 им. Евг. Соколовой ЛПП Ленсовнархоза.
Ленинград, Измайловский пр., 29.

Отпечатано с матриц типографии № 2 им. Евг. Соколовой в типографии им. Котлякова
Госфиниздата СССР. Ленинград, Садовая, 21, Зак. № 885.

III. Банк контролирующих материалов

1. Задания по практике

1. Магнитная система электронного синхротрона Б-3М (2.5–250 МэВ) состоит из 4-х одинаковых 90-градусных секторных магнитов с радиусом поворота $r_0 = 100$ см, показатель спада $n = 0.6$, разделённых дрейфовыми промежутками длиной $L = 40$ см. Найти бетатронные частоты ν_x, ν_z , огибающие w_x, w_z и формфакторы бетатронных колебаний β_{max}/β_{min} , адмиттансы A_x, A_z для апертуры ± 3 см, дисперсионную функцию $\eta(s)$ и коэффициент удлинения орбит α_p .
2. Какой силы тонкая квадрупольная линза, установленная в центре одного из прямолинейных промежутков Б-3М, потребуется для сдвига бетатронных частот на $\Delta\nu = 0.2$ при энергии 5 МэВ?
3. Оценить горизонтальное искажение орбиты в Б-3М при отклонении ведущего поля в одном из 4-х магнитов на 1 % от проектного значения.
4. Найти синхротронную частоту и ширину ВЧ сепаратрисы Б-3М при использовании ускоряющего напряжения $U_0 = 20$ кВ на 1-й гармонике частоты обращения. Каков максимально допустимый темп ускорения в этой машине?
5. Оценить радиационные потери W_0 , времена радиационного затухания колебаний τ_x, τ_z, τ_s и "установившиеся" размеры электронного пучка в магнитной системе Б-3М при энергии частиц 250 МэВ.
6. Исследовать хроматизм бетатронных частот в азимутально-симметричной магнитной системе с ведущим полем в медианной плоскости $H_z(r) = H_0(r_0/r)^n$. Сравнить со случаем линейной фокусировки: $dH_z/dr = const(r)$.
7. Показать, что $w(s) = \sqrt{\beta_0 + s^2/\beta_0}$ является огибающей пучка прямолинейных траекторий с начальными условиями $x_i = \sqrt{\varepsilon\beta_0} \cos(\phi_i), x'_i = \sqrt{\varepsilon/\beta_0} \sin(\phi_i)$. Пояснить смысл параметров β_0 и ε .
8. Исследовать вызванное эффектами встречи возмущение β -функции в месте встречи пучков в зависимости от близости к параметрическому резонансу, учитывая пространственный заряд встречного сгустка в линейном приближении ("эффект Фраскатти"). Для параметров электрон-позитронного накопителя ВЭПП-2М (без змейки) найти $\xi_{x,z}, \Delta\nu_{x,z}$ и светимость на энергии 510 МэВ: $\beta_z^* = 6$ см, $\beta_x^* = 40$ см, $\nu_z = 3.08, \nu_x = 3.06, f_0 = 16.7$ МГц, $I^+ = I^- = 15$ мА, $r_0 = 122$ см, $\eta^* = 40$ см.
9. В азимутально-симметричной магнитной структуре с радиусом орбиты r_0 и показателем спада ведущего поля n установлена тонкая квадрупольная линза оптической силы P . Найти границы зон устойчивости бетатронных колебаний на плоскости $n - P$.
10. Построить матрицу перехода для участка магнитной структуры по заданным значениям параметров Твисса на входе и выходе этого участка.
11. Найти приращение фазы бетатронных колебаний на участке магнитной структуры с известной матрицей перехода с начального на конечный азимут и заданными значениями параметров Твисса на входе этого участка.
12. Вычислить декремент радиационного затухания горизонтальных бетатронных колебаний в магнитной системе типа FD при равной длине и одинаковом по величине градиенте фокусирующей и дефокусирующей секций.

2. Билеты к экзамену

1. Уравнения движения частиц в циклических ускорителях. Фокусировка в неоднородном магнитном поле.
2. Устойчивость поперечного движения частиц в циклических ускорителях. Бетатронные колебания. Матрица перехода. Слабая фокусировка.
3. Бетатронные колебания в периодических фокусирующих системах. Устойчивость решений уравнения Хилла, теорема Флоке. Огибающая бетатронных колебаний в жесткофокусирующем ускорителе.
4. Влияние возмущений ведущего поля в циклических магнитных структурах. Искажение равновесной орбиты. Запрещенные полосы бетатронных частот.
5. Замкнутая орбита для частиц с неравновесной энергией. Коэффициент удлинения орбит, удлинение периода обращения.
6. Продольное движение частиц, резонансное ускорение, автофазировка, уравнения синхротронных колебаний.
7. Синхротронное излучение, его характеристики и влияние на динамику циркулирующих электронов. Радиационное затухание колебаний.
8. Возбуждение колебаний вследствие квантовых флуктуаций синхротронного излучения. Установившиеся размеры пучка в электронном накопителе.
9. Взаимодействие встречающихся сгустков. Параметр пространственного заряда ξ .
10. Ограничение светимости встречных пучков «эффектами встречи».

УМК одобрен на заседании кафедры физики ускорителей физического факультета НГУ
29 августа 2014 года