

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский
 государственный университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Физический факультет



Согласовано, декан ФФ
 Блинов В.Е.

2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
 (кандидатский экзамен по специальности)**

ФИЗИКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И УСКОРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Научная специальность: 1.3 Физические науки

Направленность (профиль): Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

Форма обучения: очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)						Промежуточная аттестация (в часах)			
		Контактная работа обучающихся с преподавателем				Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Консультации в период занятий			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
По выбору	36				12		22				2

Всего 36 часов / 1 зачетная единица, в т.ч. - контактная работа 14 часов

Разработчики:

д.ф-м. н., проф. В.И. Тельнов

ст. преп. Т.А.Девятайкина

ст. преп. В.М. Борин

Заведующий кафедрой физики ускорителей ФФ

д.ф-м. н., проф. В.И. Тельнов

Ответственный за образовательную программу:

д.ф-м. н., проф. С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2022

Оглавление

Аннотация	3
Введение	4
1. Результаты освоения дисциплины	4
2. Трудоемкость дисциплины по видам учебных занятий	4
3. Содержание дисциплины	5
4. Перечень учебно-методических материалов, необходимых для изучения дисциплины (модуля)	5
5. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины (модуля)	6
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	5
7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)	9
Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины (оценочные материалы)	13

Аннотация

Рабочая программа дисциплины (кандидатский экзамен по специальности) Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника реализуется на физическом факультете как элективная дисциплина в рамках научной специальности 1.3 Физические науки Направленность (профиль) Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и разработана в соответствии с паспортом научной специальности Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, Порядком прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечнем и федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроками освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Настоящая программа знакомит аспирантов с основными разделами физики и техники ускорителей и с последними научными достижениями в этой области, новыми методами получения и ускорения пучков, последними достижениями в области синхротронного излучения, ускорительной техники, применении ускорителей в промышленности и медицине. Также программа дает практику презентации собственных научных результатов перед квалифицированной аудиторией.

Для начала обучения данной дисциплине необходима базовая подготовка по следующим разделам физики: электродинамика, электронная оптика, физика ускорителей

Цель курса:

- подготовить аспирантов к сдаче кандидатского экзамена в рамках научной специальности Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Задачи курса:

- научить критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности;

- сформировать у аспирантов навыки культуры работы с научными литературными источниками в целях решения поставленных задач;

- развить навыки анализа полученных численных оценок, навыков их верификации по существующим данным.

Результат освоения дисциплины:

- знание профессиональных сведений о способах верификации полученных оценок при решении реальных научных задач;

- умение анализировать условия поставленной задачи и применять нужный метод решения;

- сдача кандидатского экзамена по специальности.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: консультации в период занятий, самостоятельная работа обучающегося.

Общий объем дисциплины – 1 зачетная единица (36 часов).

Форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

Введение

Рабочая программа кандидатского экзамена Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника реализуется на физическом факультете как элективная дисциплина в рамках научной специальности 1.3 Физические науки Направленность (профиль) Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника и разработана в соответствии с паспортом научной специальности Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника, Порядком прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечнем, и федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроками освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Настоящая программа знакомит аспирантов с основными разделами физики и техники ускорителей и с последними научными достижениями в этой области, новыми методами получения и ускорения пучков, последними достижениями в области синхротронного излучения, ускорительной техники, применении ускорителей в промышленности и медицине. Также программа дает практику презентации собственных научных результатов перед квалифицированной аудиторией.

Для начала обучения данной дисциплине необходима базовая подготовка по следующим разделам физики: электродинамика, электронная оптика, физика ускорителей

Цель курса:

- подготовить аспирантов к сдаче кандидатского экзамена в рамках научной специальности Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Задачи курса:

- научить критически анализировать результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности;

- сформировать у аспирантов навыки культуры работы с научными литературными источниками в целях решения поставленных задач;

- развить навыки анализа полученных численных оценок, навыков их верификации по существующим данным.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: консультации в период занятий, самостоятельная работа обучающегося.

Общий объем дисциплины – 1 зачетная единица (36 часов).

Форма промежуточной аттестации – кандидатский экзамен.

1. Результаты освоения дисциплины

Результат освоения дисциплины:

- знание профессиональных сведений о способах верификации полученных оценок при решении реальных научных задач;

- умение анализировать условия поставленной задачи и применять нужный метод решения;

- сдача кандидатского экзамена по специальности.

2. Трудоемкость дисциплины по видам учебных занятий

Трудоемкость дисциплины – 1 з.е. (36 ч)

Форма промежуточной аттестации: кандидатский экзамен

№	Вид деятельности	Количество часов
1.	Консультации в период занятий, ч	12
2.	Занятия в контактной форме, ч	14
3.	из них аудиторных занятий, ч	-

4.	в электронной форме, ч	-
5.	консультаций, час.	12
6.	промежуточная аттестация, ч	2
7.	Самостоятельная работа, час.	22
8.	Всего, ч	36

3. Содержание дисциплины

Консультации в период занятий (12 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника	6
Методы ускорения заряженных частиц	6

Самостоятельная работа студентов (22 ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к кандидатскому экзамену	22

4. Перечень учебно-методических материалов, необходимых для изучения дисциплины

1. Бурштейн Э.Л. – Статья «Ускорители» в книге «Физический энциклопедический словарь», М., «Советская энциклопедия», 1983, с.791-796. (6)
2. Салимов Р.А. – Мощные ускорители электронов для промышленного применения. УФН, т.170, № 2, февраль 2000, с.197-201. (1)
3. Диденко А.Н., Григорьев В.П., Усов Ю.П. Электронные пучки и их применение. М., Атом-издат, 1977. (3)
4. Якубович В.А., Старжинский В.М. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами и их приложения. М., Наука, 1972. (6)
5. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. М., Наука, 1978. (7)
6. Молоковский С.И., Сушков А.Д. Интенсивные электронные и ионные пучки. 2-е изд., перераб. и доп. М., Энергоатомиздат, 1991. (3)
7. Штеффен К. Оптика пучков высокой энергии. М., Мир, 1969. (1)
8. Коломенский А.А., Лебедев А.Н. Теория циклических ускорителей. М., Физматгиз, 1962. (13)
9. Лихтенберг А. Динамика частиц в фазовом пространстве. М., Атомиздат, 1972. (1)
10. Будкер Г.И., Скринский А.Н. – Электронное охлаждение и новые перспективы в физике элементарных частиц. УФН, т.124, вып.4, 1978, с.561-595. (1)
11. Ван дер Меер С. – Стохастическое охлаждение и накопление антипротонов. УФН, т.147, вып.2, октябрь 1985, с.405-420. (1)
12. Быстров Ю.А., Иванов С.А. Ускорители и рентгеновские приборы. М. Высшая школа, 1976. (2)
13. Брехна Г. Сверхпроводящие магнитные системы. М., Мир, 1976. (1)
14. Адо Ю.М. – Ускорители заряженных частиц высоких энергий. УФН, т. 145, вып.1, январь 1985, с.87-112. (1)
15. А.И. Пипко, В.Я. Плисковский, Б.И. Королев, В.И. Кузнецов, Основы вакуумной техники: Учеб. для техникумов электрон. Приборов, 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. (95)
16. Б.З. Персов, Основы проектирования экспериментальных физических установок: [учебное пособие], Редакционно-издательский отдел НГУ, 1993. (133)

17. Н. А. Винокуров, О. А. Шевченко. Лазеры на свободных электронах и их разработка в ИЯФ им. Г. И. Будкера СО РАН. Успехи физических наук, том 188 № 5, с. 493 – 507, 2018 (1)
18. Н. А. Винокуров, Е. Б. Левичев. Ондюляторы и вигглеры для генерации излучения и других применений. Успехи физических наук, том 185 № 9, с. 917 – 939, 2015 (1)
19. И.М. Тернов, В.В. Михайлин, Синхротронное излучение : теория и эксперимент, Москва: Энергоатомиздат, 1986. (1)
20. Фетисов Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры вещества. Москва: ФизМатЛит, 2007 (6)
21. Винтизенко И.И., Линейные индукционные ускорители для релятивистских СВЧ-приборов, Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2012. (1)
22. Скринский А.Н., Пархомчук В.В. Методы охлаждения пучков заряженных частиц, Физика Элементарных Частиц и Атомного Ядра, т. 12 сс. 557-613 1981. (1)
23. Левичев Е.Б., Скринский А.Н., Тихонов Ю.А., Тодышев К.Ю. Прецизионное измерение масс элементарных частиц на коллайдере ВЭПП-4М с детектором «Кедр» // УФН. – 2014. – Т. 184, № 1. – С. 75-88. (1)
24. Заславский Г.М., Чириков Б.В. Стохастическая неустойчивость нелинейных колебаний // УФН. – 1971. – Т. 105, № 1. – С. 3-39 (1)
26. Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Использование синхротронного излучения: состояние и перспективы. 1. (Источники излучения) // УФН. – 1977. - Т. 12, № 3. – 369-418. 17. (1)
27. Кулипанов Г.Н. Изобретение В.Л. Гинзбургом ондуляторов и их роль в современных источниках синхротронного излучения и лазерах на свободных электронах // УФН. – 2007. – Т. 177, №4. – С. 384-393. (1)
28. Салимов Р.А. Мощные ускорители электронов для промышленного применения // УФН. – 2000. – Т. 170, №2. – С. 197-201. (1)
29. Пархомчук В.В., Скринский А.Н. Электронное охлаждение - 35 лет развития // УФН. – 2000. – Т. 170, № 5. – С. 473-493. (1)

5. Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

30. Коломенский А.А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц. М., Изд. МГУ, 1980.
31. Дж. Лоусон. Физика пучков заряженных частиц. М., Мир, 1980. (2)
32. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. М., Наука, 1985. (21)
33. И.Н. Мешков, Б.В. Чириков. Изд. 2-е, испр. и доп. Москва; Ижевск: Регуляр. и хаотич. динамика, 2014. ; 21 см. Ч.1: Электричество и магнетизм. (60)
34. И.Н. Мешков, Б.В. Чириков. Изд. 2-е, испр. и доп. Москва; Ижевск: Регуляр. и хаотич. динамика, 2014. ; 21 см. Ч.2: Электромагнитное поле. (59)
35. Арцимович Л.А., Лукьянов С.Ю. Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях. М., Наука, 1978. (10)
36. Рошаль А.С. Моделирование заряженных пучков. М. Атомиздат. 1978. (1)
37. Мурин Б.П., Бондарев Б.И., Кушин В.В., Федотов А.П., Линейные ускорители ионов. В 2-х томах, Атомиздат, 1978. (1)
38. Глазков А.А. Вакуумные системы электрофизических установок. М., Атомиздат, 1975. (3)
39. Смалюк В.В. Диагностика пучков заряженных частиц в ускорителях., Новосибирск: Параллель., 2009. (10)
40. Диканский, Н. С. Затухание Ландау и расфазировки когерентных колебаний пучков в накопителях: учебное пособие: [для студентов и магистрантов физического факультета НГУ], Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2010 (7)

41. Пестриков, Д. В.. Лекции по когерентным колебаниям: учебное пособие: [в 2 ч.], Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 1996. ; Ч.1. (30)
42. Пестриков, Д. В.. Лекции по когерентным колебаниям: учебное пособие: [в 2 ч.], Новосибирск : Новосибирский государственный университет, 1996. ; 20 см. Ч.2. (30)
43. А. Е. Левичев, В.М. Павлов; М-во образования и науки РФ, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2015-.; 29x20 см. Ч.1: Электродинамика ускоряющих структур на основе круглого диафрагмированного волновода. 2015. (10)
44. Павлов, В.М. Линейные ускорители: Учеб. пособие: В 2 ч. Ч.1. Ускоряющие системы, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Новосибирск: НГУ, 1999. (10)
45. Павлов, В.М. Линейные ускорители: Учеб. пособие: В 2 ч. Ч.2. Ускоряющие системы, Новосиб. гос. ун-т, Физ. фак. Новосибирск: НГУ, 1999. (10)
46. Д. В. Пестриков, Нелинейные эффекты в динамике циркулирующих пучков, Новосиб. гос. ун-т, Физ.фак. Новосибирск: НГУ, 2002. (10).
47. М. М. Карлинер, Электродинамика СВЧ: курс лекций: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, Изд. 2-е, испр. Новосибирск: Редакционно-издательский центр НГУ, 2006. (20)
48. Ю. М. Шатунов; отв. ред. А.Н. Скринский, Пучки поляризованных частиц в ускорителях и накопителях, Ин-т ядер. физики им. Г.И. Будкера СО РАН. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. (1)
49. А. Н. Лебедев, А.В. Шальнов, Основы физики и техники ускорителей, 2-е изд., перераб. и доп. М. : Энергоатомиздат, 1991 (1)
50. Г.С. Ландсберг, Оптика, 5-е изд., перераб. и доп. Москва: Наука, 1976. (157)
51. Чириков Б. В. (1928-2008). Нелинейный резонанс, Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск: Редакционно-издательский отдел НГУ, 1977. (2)

Перечень зарубежных учебников по физике ускорителей в открытом доступе

Wiedemann, Helmut (2015-01-01), [Particle Accelerator Physics](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23641)
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/23641>

Stephen; Schopper, Herwig (2020),
[Particle Physics Reference Library \(v3\), Volume 3: Accelerators and Colliders](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/39571) Myers,
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/39571>

Seryi, Andrei (2016), [Unifying Physics of Accelerators, Lasers and Plasma](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50889)
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50889>

Myers, Stephen; Bruning, Oliver (2016), [Challenges And Goals For Accelerators In The XXI Century](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50491) , <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50491>

Appleby, Rob; Burt, Graeme; Clarke, James; Owen, Hywel (2020),
[The Science and Technology of Particle Accelerators](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/53311)
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/53311>

Berz, Martin; Makino, Kyoko; Wan, Weishi (2015), [An Introduction to Beam Physics](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50888)
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50888>

Tavernier, Stefaan (2010), [Experimental Techniques in Nuclear and Particle Physics](https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/56972)
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/56972>

Minty, Michiko G.; Zimmermann, Frank (2003), Measurement and Control of Charged Particle Beams, <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50057>

Lee, Shyh-yuan (2018), Accelerator Physics (Fourth Edition)
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50490>

Fabjan, Christian W.; Schopper, Herwig (2020),
Particle Physics Reference Library, Volume 2: Detectors for Particles and Radiation
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/41753>

Carron, N.J (2006), An Introduction to the Passage of Energetic Particles through Matter
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/50879>

Groves, Timothy R. (2015), Charged Particle Optics Theory
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/41693>

Matthew Sands, THE PHYSICS OF ELECTRON STORAGE RINGS AN INTRODUCTION
<https://inspirehep.net/files/0f9249be89a808732c1451100b84d55a>

A.Wolsky, Introduction to Beam Dynamics in High-Energy Electron Storage Rings,
<https://iopscience.iop.org/book/mono/978-1-6817-4989-1.pdf>

Дополнительный список зарубежных учебников по физике ускорителей, доступных в сети НГУ

Alexander Wu Chao, Maury Tigner, Frank Zimmermann & Karl-hubert Mess 2013, *Handbook Of Accelerator Physics And Engineering (2nd Edition)*, vol Second edition, World Scientific, Singapore, viewed 12 October 2022,
<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fNTc1NDIyX19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb@redis&vid=0&format=EB>

Alexander Wu Chao, and Weiren Chou. 2008. *Reviews Of Accelerator Science And Technology, Volume 1*. Singapore: World Scientific.
<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fMzA1MjM3X19BTg2?sid=bfc66c0-a1e9-4b76-a9d8-c744f6332d10%40redis&vid=0&format=EB&rid=1>

Alexander Wu Chao, and Weiren Chou. 2009. *Reviews Of Accelerator Science And Technology - Volume 2: Medical Applications Of Accelerators*. Reviews of Accelerator Science and Technology. New Jersey: World Scientific.
<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fMzQwNjgX19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb%40redis&vid=0&format=EB&rid=1>

Alexander Wu Chao, Weiren Chou. *Reviews Of Accelerator Science And Technology - Volume 3: Accelerators As Photon Sources*. World Scientific; 2011. Accessed October 12, 2022.
<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fMzcwMjQ3X19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb%40redis&vid=0&format=EB&rid=1>

Alexander Wu Chao, and Weiren Chou. 2011. *Reviews Of Accelerator Science And Technology - Volume 4: Accelerator Applications In Industry And The Environment*. Reviews of Accelerator Science and Technology. Singapore: World Scientific.
<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fNDU3MTg5X19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb%40redis&vid=0&format=EB&rid=1>

Alexander Wu Chao, and Weiren Chou. 2012. *Reviews Of Accelerator Science And Technology - Volume 5: Applications Of Superconducting Technology To Accelerators*. Reviews of Accelerator Science and Technology. Singapore: World Scientific.

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fNTY0NTczX19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb%40redis&vid=0&format=EB&rid=1>

Alexander Wu Chao, and Weiren Chou. 2013. *Reviews Of Accelerator Science And Technology - Volume 6: Accelerators For High Intensity Beams*. Reviews of Accelerator Science and Technology. Singapore: World Scientific.

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fNzc5NjkwX19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb%40redis&vid=0&format=EB&rid=1>

Rob Appleby, Graeme Burt, James Clarke, and Hywel Owen. 2021. *The Science and Technology of Particle Accelerators*. Vol. First edition. Boca Raton: CRC Press.

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/ebookviewer/ebook/ZTAwMHR3d19fNTc1NDIyX19BTg2?sid=8c498b6f-9897-484f-9704-d6335b3235bb@redis&vid=0&format=EB>

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации;

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся;

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для аспирантов из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Перечень результатов освоения дисциплины представлен в разделе 1.

7.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости:

Текущий контроль включает контроль посещаемости обучающимися консультаций в период занятий, оценку их активности в ходе дискуссий, представление доклада по тематике, связанной с выполнением научной работы обучающегося.

Промежуточная аттестация:

Промежуточная аттестация проводится в форме кандидатского экзамена по специальности. Требования разработаны в соответствии со следующими документами:

- паспорт научной специальности Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника,

- Порядок прикрепления лиц для сдачи кандидатских экзаменов, сдачи кандидатских экзаменов и их перечень,

- федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов).

Для приема кандидатского экзамена создается комиссия по приему кандидатских экзаменов (экзаменационная комиссия), состав которой утверждается приказом ректора НГУ. Состав экзаменационной комиссии формируется из числа научно-педагогических работников (в том числе работающих по совместительству) НГУ в количестве не более 5 человек, и включает в себя председателя, заместителя председателя и членов экзаменационной комиссии. В состав экзаменационной комиссии могут включаться научно-педагогические работники других организаций.

Для оценивания знаний обучающегося в рамках проведения кандидатского экзамена используются следующие оценочные средства:

1. Портфолио - целевая подборка работ обучающегося, раскрывающая его индивидуальные образовательные достижения, в том числе:

- доклад по тематике, связанной с выполнением научной работы обучающегося.

2. Экзаменационный билет - комплекс вопросов и задач, разработанных в соответствии с паспортом научной специальности Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника.

Кандидатский экзамен проводится экзаменационной комиссией по билетам (программам), утверждаемым деканом физического факультета НГУ. Для подготовки экзаменуемый использует листы ответа, которые хранятся в деле обучающегося вместе с протоколом экзамена.

В случае неявки экзаменуемого на кандидатский экзамен по уважительной причине (при наличии подтверждающих документов) он может быть допущен приказом ректора к сдаче кандидатского экзамена в течение текущего периода промежуточной аттестации. В случае получения неудовлетворительной оценки передача кандидатского экзамена в течение текущего периода промежуточной аттестации не допускается. Передача кандидатского экзамена с положительной оценки на другую положительную оценку не допускается.

Оценка уровня знаний экзаменуемого определяется экзаменационными комиссиями по пятибалльной шкале: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно». Оценка выставляется простым большинством голосов членов экзаменационной комиссии. При равенстве голосов решающей считается оценка председателя. Экзаменуемым может быть в двухдневный срок подана апелляция ректору о несогласии с решением экзаменационной комиссии. Экзаменационная комиссия по приему кандидатского экзамена по специальной дисциплине правомочна принимать кандидатский экзамен по специальной дисциплине, если в ее заседании участвуют не менее 3 специалистов, имеющих ученую степень кандидата или доктора наук по научной специальности, соответствующей специальной дисциплине, в том числе не менее одного доктора наук. Решение экзаменационной комиссии оформляется протоколом, в котором указываются, в том числе, код и наименование научной специальности, по которой сдавались кандидатские экзамены; шифр и наименование направленности (профиля) по которой подготавливается диссертация.

Описание критериев и шкал оценивания результатов освоения дисциплины

Результат освоения дисциплины	Оценочное средство
- знание профессиональных сведений о способах верификации полученных оценок при решении реальных научных задач	Портфолио Кандидатский экзамен
- умение анализировать условия поставленной задачи и применять нужный метод решения	Портфолио Кандидатский экзамен

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины	Шкала оценивания
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – знает актуальные исследования и критически анализирует результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности, – умеет ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования, – знает возможные направления профессиональной самореализации, - владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач, – точность и полнота выделения, классификации и систематизации основного смыслообразующего компонента из источников и литературы. <p>В докладах и выступлениях обучающийся мог допустить принципиальные неточности.</p> <p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – демонстрирует углубленные знания базовых понятий, моделей, гипотез и концепций, свободно владеет всеми основными разделами современной физики, – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. <p>При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить принципиальные неточности.</p>	<i>Отлично</i>
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <ul style="list-style-type: none"> – знает актуальные исследования и критически анализирует результаты предшественников и современные достижения в области физики в применении к профессиональной области деятельности, – умеет ставить задачи научно-исследовательской деятельности на основе сопоставительного анализа современных достижений физики, в части постановки актуальных задач научных исследований в применении к профессиональной области деятельности и в зависимости от специфики объекта исследования, – знает возможные направления профессиональной самореализации, - владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач, 	<i>Хорошо</i>

<p>– точность и полнота выделения, классификации и систематизации основного смыслообразующего компонента из источников и литературы. В докладах и выступлениях обучающийся мог допустить неточности, не влияющие на суть доклада.</p> <p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <p>– демонстрирует в основном углубленные знания базовых понятий, моделей, гипотез и концепций, свободно владеет всеми основными разделами современной физики,</p> <p>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, отсутствие затруднений в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений,</p> <p>– допускает незначительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы.</p> <p>При изложении ответа на вопрос(ы) экзаменационного билета обучающийся мог допустить незначительные неточности.</p>	
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <p>– не знает направления актуальных исследований, не составляет анализ результатов предшественников и современных достижений в области физики в применении к профессиональной области деятельности,</p> <p>– затрудняется в постановке задач научно-исследовательской деятельности,</p> <p>– затрудняется в выборе возможных направлений профессиональной самореализации,</p> <p>- ограниченно владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач,</p> <p>В докладах и выступлениях обучающийся допускает неточности влияющие на суть доклада.</p> <p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <p>– демонстрирует общие знания базовых понятий и моделей в профессиональной области, критичных для понимания основных явлений и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов,</p> <p>– затрудняется в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений,</p> <p>– допускает значительные ошибки при ответах на дополнительные вопросы.</p>	<p><i>Удовлетворительно</i></p>
<p><u>Доклады и выступления</u></p> <p>– отсутствие теоретического и фактического материала, подкрепленного ссылками на научную литературу и источники,</p> <p>– затрудняется в постановке задач научно-исследовательской деятельности,</p> <p>– затрудняется в выборе возможных направлений профессиональной самореализации,</p> <p>- не владеет приемами планирования и оценки собственной деятельности по решению профессионально-значимых задач,</p> <p>– неподготовленность докладов и выступлений на основе предварительного изучения литературы по темам, неучастие в коллективных обсуждениях в ходе практического (семинарского) занятия.</p> <p><u>Кандидатский экзамен:</u></p> <p>– демонстрирует общие знания базовых понятий и моделей в профессиональной области, критичных для понимания основных явлений</p>	<p><i>Неудовлетворительно</i></p>

и экспериментов, но допускает существенные ошибки по содержанию рассматриваемых (обсуждаемых) вопросов, – затрудняется в объяснении процессов и явлений, а также при формулировке собственных суждений, – не отвечает на дополнительные вопросы.	
--	--

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины (оценочные материалы)

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям РПД, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

I. Форма и перечень вопросов экзаменационного билета.

Форма экзаменационного билета

Новосибирский государственный университет Физический факультет	
Кандидатский экзамен	

научная специальность	

направленность (профиль)	
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №	
1. Вопрос из раздела 1.	
2. Вопрос из раздела 2 или 3	
3. Вопросы по изложенному аспирантом предмету его исследований.	
Составитель _____	И.О.Фамилия
(подпись)	
Ответственный за образовательную программу	
_____	И.О.Фамилия
(подпись)	
« »	20 г.

Перечень вопросов экзамена, структурированный по категориям

I. Физика пучков заряженных частиц.
1.1. 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.
1.2. Основные понятия

<ol style="list-style-type: none"> 1. Общее определение пучка частиц. Основные свойства пучков, характеристики орбит в ускорителях. 2. Фазовое пространство и понятие ансамбля частиц в приложении к описанию пучков. Теорема Лиувилля. Адиабатические инварианты. 3. Уравнение движения заряженных частиц в электромагнитных полях. Система уравнений Максвелла. Собственные поля пучков. Уравнения Власова. 4. Модели пучков. Ламинарные пучки и гидродинамическое приближение. Неламинарные пучки без столкновений. Пучки со столкновениями и диссипацией. 5. Математические модели пучков. Метод крупных частиц. Методы решения уравнений Пуассона и Максвелла. 6. Линейные дифференциальные уравнения с периодическими коэффициентами. Теорема Флоке. Анализ устойчивости. 7. Основные свойства электромагнитных волноводов и резонаторов. Дисперсионные характеристики.
<h3>1.3. Источники пучков заряженных частиц</h3>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Электронная эмиссия: термоэмиссия, автоэмиссия, плазменная (в т.ч. взрывная) эмиссия, фотоэмиссия. Основные характеристики катодов на основе каждого из видов эмиссии. 2. Электронные пушки. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс, яркость пучков. Формирование электронных пучков с малым эмиттансом. Типы электронных пушек. 3. Ионные источники. Механизмы генерации положительных, отрицательных, поляризованных ионов. Формирование пучков. Первеанс, эмиттанс и яркость пучков. Типы ионных источников. 4. Схемы получения пучков античастиц (позитроны, антипротоны). 5. Сильноточные инжекторы протонных и нейтральных пучков.
<h3>1.4. Транспортировка пучков заряженных частиц</h3>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Магнитные и электростатические линзы с продольными и поперечными полями: аксиально-симметричные, цилиндрические, квадрупольные, мультипольные. Фокусное расстояние линзы, матрица преобразования пучка. 2. Магнитные линзы с азимутальным полем: параболические, "литиевые", магнитные горны, плазменные линзы. 3. Поворотные магниты, их фокусирующие и диспергирующие свойства. Градиентная и краевая фокусировка. Матрица преобразования пучка. 4. Электростатические отклоняющие устройства. Фокусирующие свойства, матрица преобразования. 5. Анализаторы заряженных частиц. Разрешение по импульсу-энергии. 6. Матричный анализ движения частиц в канале. Описание пучков в фазовом пространстве. Фазовые эллипсы. Уравнение моментов и огибающие пучка частиц. Акцептанс канала. 7. Транспортировка пучков в продольном магнитном поле. Теорема Буша. Источник, погруженный в магнитное поле; источник полностью или частично экранированный. Акцептанс канала. 8. Системы из квадрупольных линз (дублет, триплет, симметричные и периодические системы). 9. Оптические системы из квадрупольных линз и отклоняющих магнитов. Симметричные бездисперсные и изохронные системы, ахроматические каналы. 10. Абберационные эффекты. Хроматические абберации, нелинейности, нестабильности питания элементов магнитной оптики, ошибки в установке (юстировке) квадрупольных линз и магнитов.
<h3>1.5. Способы формирования пучков частиц различного сорта на современных ускорителях</h3>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Методы вывода ускоренных пучков из циклических ускорителей. Деление выведенных пучков на части.

<p>2. Взаимодействие выведенных пучков с мишенью. Выходы вторичных частиц. Радиационный разогрев мишеней.</p> <p>3. Способы формирования мюонных и нейтронных пучков.</p> <p>4. Методы сепарации заряженных частиц по массам. Электростатические и высокочастотные сепараторы и их возможности.</p>
<p>1.6. Ускорение заряженных частиц</p>
<p>1. Динамика частиц в циклических ускорителях. Ускорители с мягкой и жесткой фокусировкой. Поперечные колебания частиц, уравнения огибающей, условие устойчивости. Матричный анализ движения частиц. Бетатронная и дисперсионная функции. Адиабатическое изменение параметров поперечных колебаний. Поперечные колебания при наличии возмущений, резонансы.</p> <p>2. Ускорение в статических и квазистатических электрических полях. Ускорители прямого действия. Динамика пучка при ускорении в постоянном электрическом поле, действие пространственного заряда.</p> <p>3. Импульсное ускорение ионов в вакуумных диодах с магнитной изоляцией; пинч-диоды, отражательные триоды и тетроды, обращенный отражательный тетрод. “Газодинамический” метод ускорения ионов.</p> <p>4. Ускорение частиц в вихревом электрическом поле. Бетатрон.</p> <p>5. Линейные ускорители. Особенности ускорителей электронов, протонов и тяжелых ионов. Автофазировка. Инжекция частиц в линейный ускоритель. Динамика частиц в линейных ускорителях. Особенности транспортировки частиц в линейных ускорителях, влияние пространственного заряда и излучения пучка.</p> <p>6. Высокочастотная фокусировка. Фазопеременная фокусировка. Квадрупольная высокочастотная фокусировка. Динамика пучка в канале с ПОКФ - пространственно-однородной квадрупольной высокочастотной фокусировкой.</p> <p>7. Циклические ускорители. Автофазировка, критическая энергия. Фазовое движение частиц, продольный фазовый объем пучка. Адиабатическое затухание фазовых колебаний. Синхротрон, синхрофазотрон (протонный синхротрон). Циклотрон. Фазотрон. Микротрон. Изохронный циклотрон. Каскадные схемы ускорения частиц до высоких энергий, бустерные синхротроны. Нелинейная динамика частиц в циклических ускорителях и накопителях (нелинейные резонансы, динамическая апертура, стохастика, «эффекты встречи», «критерий Чирикова»).</p> <p>8. Методы генерации ускоряющего электромагнитного поля: сгустками электронов, плазменными колебаниями, движущимися электронными пучками. Методы создания ЛСЭ – лазеров на свободных электронах.</p>
<p>1.7. Интенсивные пучки заряженных частиц</p>
<p>1. Пучок заряженных частиц в вакууме. Виртуальный катод; облако осциллирующих электронов; предельный “вакуумный” ток пучка. Поперечное движение под действием собственных полей. Транспортировка интенсивных пучков. Предельный ток пучка в вакуумном канале с разделенными функциями, в канале с продольным магнитным полем. Брюллюэновский поток.</p> <p>2. Транспортировка интенсивных пучков в газе и плазме. Обратный ток. Неустойчивости пучков, влияние продольного магнитного поля на устойчивость пучков. Коллективные потери энергии пучка в плазме. Компенсация пространственного заряда и тока электронного пучка. Релятивистский стабилизированный пучок.</p> <p>4. Пространственный заряд пучка в циклических ускорителях. Кулоновский сдвиг частот поперечных колебаний.</p> <p>5. Взаимодействие интенсивных пучков со структурой канала транспортировки и ускоряющей системой (циклические и однопролетные системы). Затухание когерентных колебаний. Неустойчивость пучков.</p> <p>6. Внутрипучковое рассеяние.</p>

1.8. Синхротронное излучение и охлаждение пучков заряженных частиц.
<p>1. Синхротронное излучение и радиационное трение. Основные характеристики синхротронного излучения, его применение. Движение частиц в ускорителе (канале транспортировки) в присутствии синхротронного излучения. Декременты затухания колебаний частиц. Установившийся размер пучка. Генераторы синхротронного излучения.</p> <p>2. Ионизационное трение. Основные характеристики метода, области его применения.</p> <p>3. Электронное охлаждение. Основные характеристики метода, области его применения.</p> <p>4. Стохастическое охлаждение. Шоттки-шум. Основные характеристики метода. Области применения.</p> <p>13. Прикладные применения ускорителей в медицине и промышленности.</p> <p>14. Основные особенности и характеристики крупных действующих ускорительных установок и ускорительно-накопительных комплексов</p> <p>Установки и комплексы: ВЭПП-4, FAKEL, И-100, ММФ (МЕГАН), У-70, AGS, APS, BEPC, CEBAF (TJNAF), CESR, ДАФНЕ, ELETTRA, HERA, KEKB, LAMPF (MLNSCE), LEP-II, LUE-2000, NUCLOTRON, PEP-II, PLS, RHIC, RIKEN, SINQ (PSI), SIS, SLC, SPS, TEVATRON, TRIUMF, SLAC.</p>
1.9. Метод встречных пучков
<p>1. Основные характеристики метода: энергия реакции, светимость. Циклические и линейные пучки.</p> <p>2. Накопление заряженных частиц. Методы конверсии, многократное накопление в заданный фазовый объем, охлаждение.</p> <p>3. Ограничения светимости установки со встречными пучками. Эффекты встречи. Современные методы увеличения светимости (круглые пучки, методы «crab-cross» и «crab-waist»).</p> <p>4. Время жизни пучка в накопителе. Взаимодействие пучка с остаточным газом и встречным пучком. Влияние охлаждения.</p>
2.5. Основные особенности и характеристики крупных действующих ускорительных установок и ускорительно-накопительных комплексов.
<p>Работающие и завершившие работу установки и комплексы: ВЭПП-4, ВЭПП-2000, У-70, AGS, APS, BEPC, CEBAF (TJNAF), CESR, ДАФНЕ, ELETTRA, HERA, KEKB, Super-KEKB, LAMPF (MLNSCE), LEP-II, LUE-2000, NUCLOTRON, PEP-II, PLS, RHIC, RIKEN, SINQ (PSI), SIS, SLC, SPS, TEVATRON, TRIUMF, SLAC, LHC.</p>
1.10. Поляризованные пучки
<p>1. Источники поляризованных пучков протонов и ядер. Метод Штерна-Герлаха.</p> <p>2. Радиационная поляризация электронных пучков в накопителях.</p> <p>3. Поляризация циркулирующих пучков тяжелых частиц в накопителе на поляризованной тонкой мишени. Роль охлаждения пучков.</p> <p>4. Динамика поляризованных пучков в циклических ускорителях (накопителях), спиновые траектории и спиновые резонансы, управление поляризацией.</p> <p>. Использование поляризации электронных и позитронных пучков в накопителях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проблемы получения поляризации; - методы измерения поляризации; - прецизионная калибровка энергии электронов и позитронов методом резонансной деполяризации.
II. Ускорительная техника
2.1. Техника ускорения и формирования пучков заряженных частиц.
<p>1. Ускорители прямого действия: каскадные ускорители с умножением напряжения Кокрофт-Уолтона, электростатические ускорители (ЭСУ) Ван-Граафа, тандемы Ускоритель-трансформатор. Генераторы импульсного напряжения (ГИНы). Формирующие линии, конденсаторы-накопители. Рабочий диапазон ускорителей прямого действия, их параметры.</p>

<p>Способы стабилизации энергии частиц. Коммутация импульсных напряжений. Прикладные применения ускорителей прямого действия.</p> <p>2. Линейные ускорители. Общие характеристики принципа их действия и конструкции, преимущества и недостатки по сравнению с кольцевыми ускорителями. Основные системы линейных ускорителей в комплексе. Линейные ускорители электронов. Типы ускоряющих систем, варианты со стоячей и бегущей волной. Особенности конструкции и основные параметры машин для прикладных применений, для физики.</p> <p>3. Линейные ускорители протонов и ионов. Ионные источники. Особенности резонаторов и ускоряющих структур для ионов различных энергий, сверхпроводящие резонаторы. Импульсные инжекторы протонных синхротронов. Сверхмощные ускорители для мезонных фабрик, нейтронных и нейтринных генераторов, импульсный и непрерывный режим, предельные энергии и токи.</p> <p>4. Индукционные ускорители. Бетатрон. Линейный бетатрон. Особенности конструкции, параметры.</p> <p>5. Магнитные системы циклических ускорителей. Конструктивные особенности элементов магнитной системы (соленоиды, диполи, квадруполи, линзы высших порядков). Железные и безжелезные магнитные системы. Сверхпроводящие магнитные системы, их параметры. Системы питания и требования к ним. Применение постоянных магнитов.</p> <p>6. Ускоряющие резонаторы и системы ВЧ питания циклических ускорителей.</p> <p>7. “Теплые” и сверхпроводящие ускоряющие резонаторы, источники ВЧ мощности. ВЧ-системы электрон-позитронных накопителей встречных пучков и источников синхротронного излучения. Особенности ускоряющих структур и источников ВЧ мощности. Обеспечение устойчивого движения сгустка частиц.</p> <p>8. Вакуумные системы ускорителей. Методы получения высокого и сверхвысокого вакуума, измерение давления остаточного газа, анализ его состава.</p> <p>9. Системы инжекции и вывода пучка. Инжекция в циклические ускорители, многооборотная инжекция, перезарядная инжекция. Быстрый и медленный выходы пучка.</p> <p>10. Устройства для управления ускорителями и контроля их параметров, применение ЭВМ.</p>
<p>2.2. Диагностика пучков заряженных частиц.</p>
<p>1. Измерение тока пучка. Импульсные пучки, циркулирующие сгруппированные пучки – пояс Роговского, емкостные датчики тока. Непрерывные пучки – измеритель магнитного поля пучка. Мониторы выведенных (сброшенных) пучков, цилиндр Фарадея.</p> <p>2. Измерение эмиттанса пучка.</p> <p>3. Контроль положения и профиля пучка. Емкостные и магнитно-индукционные датчики. Вторично-эмиссионные детекторы, методы тонкой мишени. Контроль пучка по свечению остаточного газа.</p> <p>4. Контроль параметров электронных, позитронных пучков в накопителях по синхротронному излучению.</p>
<p>2.3. Синхротронное излучение.</p>
<p>1. История синхротронного излучения (СИ). Получение яркого пространственного когерентного излучения с помощью электронных пучков высокой энергии. Влияние параметров пучка электронов на характеристики СИ. Рассеяние рентгеновских лучей. Способы монохроматизации излучения.</p> <p>2. Четыре поколения источников синхротронного излучения на базе накопителей электронов:</p> <ul style="list-style-type: none"> - проблемы минимизации эмиттанса электронного пучка в накопителях; - вигглеры и ондуляторы, требования к их магнитной системе, влияние вигглеров и ондуляторов на динамику частиц в накопителях; - области использования источников синхротронного излучения (СИ). <p>3. Лазеры на свободных электронах (ЛСЭ). Принципы работы и схемы различных работающих ЛСЭ. Ограничения на параметры электронного пучка для работы ЛСЭ.</p>

Области применения ЛСЭ. Ускорители для ЛСЭ. Ускорители-рекуператоры – источники ярких электронных пучков высокой энергии с большой реактивной мощностью.
2.3. Радиационная безопасность при работе на ускорителях заряженных частиц
<ol style="list-style-type: none"> 1. Взаимодействие излучения с веществом. 2. Радиационная активность ускорителей различных типов. 3. Обеспечение безопасной работы обслуживающего персонала. 4. Влияние излучения на материалы и радиоэлектронное оборудование.
2.4. Прикладные применения ускорителей в медицине и промышленности.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ускорители заряженных частиц для медицины: <ul style="list-style-type: none"> - протонная, ионная и нейтронная терапия рака; - ускорительная масс-спектрометрия; - обеззараживание медицинских отходов и стерилизация. 2. Промышленные ускорители электронов на энергию $0.2 \div 10$ Мэв: <ul style="list-style-type: none"> - требования к промышленным ускорителям; - типы используемых промышленных ускорителей; - области и масштабы применения промышленных ускорителей.
III. Перспективы развития отрасли
<ol style="list-style-type: none"> 1. Перспективы ускорительной техники и физики пучков заряженных частиц: 2. Применение сверхпроводимости в магнитных и высокочастотных системах ускорителей: Сверхпроводящие высокочастотные ускорители, сильноточные импульсные линейные индукционные ускорители, сверхпроводящие магнитные системы: поворотные магниты, соленоиды, вигглеры и ондуляторы. 3. Проблемы и пути создания нового поколения установок со встречными пучками: <ul style="list-style-type: none"> - циклические коллайдеры (pp, e^+e^-); - линейные электрон-позитронные встречные пучки; - мюонные коллайдеры; - фотонные коллайдеры. <p>Проекты новых крупных ускорительных и ускорительно-накопительных комплексов: CLIC, ILC, FCC, мюонный коллайдер, плазменные ускорители.</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Перспективы применения ускорителей в инерциальном термоядерном синтезе.