

Приложение № 5
к программе
подготовки научных и научно-педагогических
кадров в аспирантуре
НИЦ «Курчатовский институт»
по научной специальности
1.3.18. Физика пучков заряженных частиц
и ускорительная техника

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по специальной дисциплине
«Физика пучков заряженных частиц
и ускорительная техника»

1. Цель и задачи освоения дисциплины

Целью дисциплины «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника» является изучение основ теории физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники, их практического применения.

Задачи дисциплины:

1) развить представление о том, какие пучки, каких частиц, с какими параметрами необходимы и используются как в фундаментальных исследованиях (физика высоких энергий), так и в прикладных задачах (в медицине – радиационная терапия, электронно-лучевая сварка, имплантация ионов, дефектоскопия, неразрушающий анализ, производство радионуклидов, стерилизация и т.д.);

2) изучить существующие и разрабатываемые методы ускорения и фокусировки частиц, способов реализации этих методов и трудностей создания пучков с наперед заданными параметрами;

3) показать всю научную широту, требующуюся при создании ускорителей: от теоретической механики, электродинамики, квантовой механики и ядерной физики до “технологических” наук, связанных с материаловедением, созданием сверхпрочных поверхностей и т.д.;

4) акцентировать внимание на знании и понимании физических законов, лежащих в основе функционирования различных типов ускорителей;

5) познакомить с качественным и количественным анализом нелинейных колебаний научить различным методам анализа устойчивости в нелинейной динамической системе, которую представляет собой частица, движущаяся в ускорителе.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров

Дисциплина «Физика пучков заряженных частиц ускорительная техника» входит в образовательный компонент и является специальной дисциплиной программы подготовки научных и научно-педагогических

кадров для научной специальности 1.3.18. «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника».

В соответствии с учебным планом занятия проводятся на первом, втором году обучения (во втором, третьем, четвертых семестрах). Кандидатский экзамен сдается в четвертом семестре.

Объем дисциплины составляет 396 часов (11 зачетных единиц), из которых 198 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (лекции, занятия семинарского типа, групповые и индивидуальные консультации, мероприятия текущего контроля успеваемости и итогового контроля). Самостоятельная работа обучающегося составляет 198 часов. Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых и/или индивидуальных консультаций.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Данная дисциплина участвует в формировании следующих компетенций:

- 1) способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- 2) способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития;
- 3) владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности;
- 4) владение культурой научного исследования, в том числе с использованием современных информационно-коммуникационных технологий;
- 5) познавательная активность, способность к преодолению когнитивных трудностей, самостоятельностью в процессе познания, принятия решений и их оценки, готовность своими силами продвигаться в усвоении

и построении систем новых знаний, применять полученные знания в области своей профессиональной деятельности;

б) способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики высоких энергий и решать их с помощью современных методов физики высоких энергий и современных информационных технологий.

4. Объем дисциплины, виды учебной работы (в часах), структура и содержание дисциплины

4.1. Объем и виды учебной работы (в часах) по дисциплине в целом

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость базового модуля дисциплины	396
Аудиторные занятия (всего)	198
В том числе:	
Лекции (Л)	144
Семинары/практические занятия (С/ПрЗ)	54
Самостоятельная работа (СР)	198
В том числе* :	
Форма текущего контроля	реферат, контрольная работа, (домашние задания, индивидуальные и групповые консультации)
Форма итогового контроля (промежуточная аттестация)	экзамен (КЭ)

* приводятся все виды самостоятельной работы по данной дисциплине

4.2. Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Наименование разделов, тем дисциплины	Часы			
		Всего	Л	С/ПрЗ	СР
1	2	3	4	5	6
1	Значение ускорителей в физической науке и технологии. Классификация ускорителей	20	12	3	16
2	Резонансное ускорение	33	12	5	20

3	Синхротрон: устройство и принцип действия	28	12	5	6
4	Устойчивость синхротронных колебаний	33	12	5	16
5	Устойчивость поперечного движения в синхротроне	33	12	5	16
6	Параметры Куранта-Снайдера	30	12	5	10
7	Дисперсионная функция и линейные возмущения в синхротроне	33	12	3	16
8	Описание плоского магнитного поля	28	12	5	16
9	Влияние паразитных мультиполей на бетатронное движение	33	12	3	16
10	Действие одномерного изолированного бетатронного резонанса	33	12	5	10
11	Амплитудная зависимость сдвигов бетатронных частот	28	10	2	20
12	Статические эффекты пространственного заряда в синхротроне	23	5	2	6
13	Сохранение эмиттана пучка	21	2	2	10
14	Особенности электронных синхротронов	10	2	2	10
15	Когерентные эффекты пространственного заряда	10	5	2	10
Всего		396	144	54	198

5. Образовательные технологии

1. При реализации настоящей дисциплины предусмотрено применение следующих образовательных технологий: лекции-визуализации (все лекции сопровождаются презентациями), проблемные лекции с дискуссией (на каждой лекции рассматриваются проблемные вопросы по актуальным направлениям развития предмета).

2. В учебном процессе помимо чтения лекций широко используются активные и интерактивные формы. Совместное и самостоятельное решение аспирантами задач по темам лекций на занятиях семинарского типа,

самостоятельное изучение предложенных тем и выступление с докладами на занятиях.

В сочетании с внеаудиторной работой это способствует формированию и развитию профессиональных навыков обучающихся.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Текущий контроль (промежуточный) проводится на 7 и 14 неделе в форме контрольной работы с оценкой по пятибалльной системе. Критерии формирования оценки – уровень знаний пройденной части курса.

Подготовка рефератов по темам лекций:

Раздел 1. Значение ускорителей в физической науке и технологии.
Классификация ускорителей.

Светимость в коллайдере.

Типы линейных ускорителей: прямого действия и резонансные

Циклические ускорители с постоянной орбитой и с переменной орбитой.

Раздел 2. Резонансное ускорение.

Резонансный принцип ускорения.

Раздел 3. Синхротрон: устройство и принцип действия.

Проектная орбита (reference orbit). Коэффициент расширения орбиты.

Принцип автофазировки в синхротроне и синхротронные колебания.

Раздел 4. Устойчивость синхротронных колебаний.

Сепаратриса в фазовом пространстве и теорема Лиувилля синхротронных колебаний.

Раздел 5. Устойчивость поперечного движения в синхротроне.

Уравнения поперечного движения в синхротроне. Матричный метод решения уравнения Хилла. Описание бетатронных колебаний с помощью непрерывных бета и фазовых функции.

Раздел 6. Параметры Куранта-Снайдера.

Параметры Куранта-Снайдера, матрица Твисса. Вычисление параметров Куранта-Снайдера, частота бетатронных колебаний, фазовый эллипс.

Раздел 7. Дисперсионная функция и линейные возмущения в синхротроне.

Дисперсионная функция в замкнутой магнитной структуре и её расчет.

Естественная хроматичность ускорителя и хроматический разброс бетатронных частот в пучке на клетке бетатронных частот. Принцип коррекции хроматичности.

Раздел 8. Описание плоского магнитного поля.

Нормальные и косые мультиполи, их представление и измерение.

Краевая фокусировка в диполях.

Раздел 9. Влияние паразитных мультиполей на бетатронное движение.

Нелинейные уравнения бетатронного движения в канонических переменных.

Сдвиг бетатронных частот.

Суммовые и разностные бетатронные резонансы.

Раздел 10. Действие одномерного изолированного резонанса.

Ширина резонанса. Биения размеров пучка. Параметрический резонанс.

Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.

Раздел 11. Амплитудная зависимость сдвигов бетатронных частот.

Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний.

Разброс частот в пучке и системы его коррекции.

Раздел 12. Статические эффекты пространственного заряда в синхротроне.

Некогерентный кулоновский сдвиг бетатронных частот.

Кулоновское взаимодействие сталкивающихся сгустков в коллайдере и ограничение светимости коллайдера.

Раздел 13. Сохранение эмиттанса пучка.

Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе.

Требование к вакууму в протонных синхротронах.

Раздел 14. Особенности электронных синхротронов.

Синхротронное излучение в электронных ускорителях.

Влияние квантовых флуктуаций излучения на движение электронов.

Раздел 15. Когерентные эффекты пространственного заряда.

Продольная неустойчивость пучка (эффект отрицательной массы).

Примеры типовых задач, решаемых на семинарах

Задача 1

Предположим, что частица движется вдоль проектной (reference) орбиты и испытывает угловое отклонение θ . Покажите, что после этого движение задается выражением

$$\zeta(s) = \sqrt{\beta(s)\beta_0} \sin(\psi(s)),$$

где β_0 – амплитудная функция в точке s_0 отклонения и фаза $\psi(s)$ измеряется от этой точки.

Задача 2

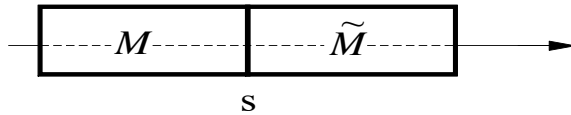
Выведите выражение для площади стационарного бакета (область ограниченная сепаратрисой) в протонном синхротроне с длиной кольца $2\pi R_0$, работающего с кратностью q при синхронной энергии $E_s \gg E_{tr} \gg (m_0 c^2)$ и амплитудой ускоряющего поля V .

Задача 3

Участок магнитной структуры состоит из двух “половинок”. Матрица первой половины есть

$$M = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \quad \text{с} \quad \det M = 1.$$

\tilde{M} -матрица второй половины, магнитная структура которой зеркально симметрична структуре первой половины относительно точки симметрии s .



Задача: найти матрицу \tilde{M} .

Задача 4

Орбиты могут корректироваться и подстраиваться, используя т.н. steering диполи. Один из стандартных алгоритмов основан на так называемом “three bumps”. Локальное искажение орбиты может быть сделано тремя steering диполями. Пусть три угла отклонения $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, создаются соответственно последовательно расположенными короткими steering диполями. Покажите, что если эти углы созданы согласно соотношениям:

$$\theta_2 = -\theta_1 \sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_2}} \frac{\sin \psi_{13}}{\sin \psi_{23}} \quad \text{и} \quad \theta_3 = \theta_1 \sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_3}} \frac{\sin \psi_{12}}{\sin \psi_{23}},$$

где ψ_{ij} – набег бетатронной фазы на reference orbit между $i^{\text{БМ}}$ и $j^{\text{БМ}}$ steering диполями, тогда искажение орбиты будет локализовано между такими первым и третьим steering диполями.

Примеры типовых задач, предлагаемых для самостоятельного решения

Задача 1

Покажите, что набег фазы $\Delta\mu$ бетатронных колебаний от точки s_1 до точки s_2 через участок, описываемый матрицей

$$M(s_2|s_1) = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{bmatrix},$$

определяется выражением

$$\text{tg}(\Delta\mu) = \frac{m_{12}}{\beta_1 m_{11} - \alpha_1 m_{12}},$$

где: m_{ij} – элементы матрицы $M(s_2|s_1)$,

β_1, α_1 – величины амплитудной функции в точке s_1 .

Задача 2

Кольцо синхротрона с периметром $\Pi_0 = 87 \text{ км}$ ускоряет протоны от 2 TeV до 20 TeV в течение 1500 секунд. Ускоряющая система с $U_0 = 15 \text{ MV}$ и работает с частотой $f_{rf} = 360 \text{ MHz}$. Найти φ_s и частоту малых фазовых колебаний предполагая $\gamma_{tr} = 105$ в приближении $\gamma \gg \gamma_{tr}$.

Задача 3

Выведите выражение для площади стационарного bucket^a. Оцените эту площадь для протонного синхротрона с периметром $\Pi = 2\pi \cdot 10^3 \text{ м}$, работающего с кратностью ускорения $q = 1113$ при синхронной энергии $E_s = 150 \text{ GeV}$, с амплитудой ускоряющего поля $U = 1 \text{ MV}$ и $\gamma_{tr} = 18$.

Задача 4

Вывести выражение для продольного эмиттанса пучка с максимальной амплитудой фазовых колебаний φ_m в стационарном bucket^c. Используйте это выражение для оценки продольного эмиттанса банча при $\varphi_m = 0.5$ в синхротроне предыдущей задачи.

Задача 5

Синхротрон со стационарным bucket^{om}, т.е. $\varphi_s = \pm\pi/2$. Найти отношение частот синхротронных колебаний

$$\frac{\Omega(\varphi_m)}{\Omega(0)} \equiv \frac{\Omega(\varphi_m)}{\Omega_0}.$$

Задача 6

По определению орбитой называется замкнутая периодическая траектория, определяемая единственными начальными значениями в пространстве $\{\zeta, \dot{\zeta}\}$, и как траектория при наличии дипольных возмущений магнитного поля описывается решением уравнения

$$\zeta'' + K_\zeta(s)\zeta = \frac{\Delta B(s)}{(B\rho)},$$

где: $\Delta B(s)$ –дипольное возмущение, не зависящее от поперечных координат x и y ;

при $\zeta \equiv x \rightarrow \Delta B(s) = -\Delta B_y(s)$;

при $\zeta \equiv y \rightarrow \Delta B(s) = \Delta B_x(s)$.

Найти искажение (смещение орбиты от reference orbit), вызываемое локальным (коротким) дипольным возмущением $\Delta B(s)$.

Задача 7

Предположим, что в кольцо синхротрона на reference orbit помещен в точке s_1 квадруполь пренебрежимо малой длины l с силой $Gl/(B\rho)$. Найти изменение частоты бетатронных колебаний ΔQ_ζ .

Итоговый контроль – кандидатский экзамен (КЭ).

Примерный перечень вопросов к КЭ:

1. Примеры применения ускорителей в науке и технике.
2. Встречные пучки, светимость коллайдера.
3. Высоковольтные ускорители прямого действия
4. Линейные индукционные ускорители.
5. Циклические ускорители с постоянной орбитой.
6. Циклические ускорители с переменной орбитой.
7. В чем принцип резонансного ускорения.
8. Ускоритель Альвареца.
9. Синхротроны с совмещенными и разделенными функциями магнитной структуры.
10. Проектная орбита (reference orbit) и подвижная система координат на этой орбите.
11. Коэффициент расширения орбиты.
12. Автофазировка в синхротроне, синхронная энергия и синхронная фаза, критическая энергия,
13. Уравнения синхротронных колебаний.
14. “Масса” и частота синхротронных колебаний.

15. Сепаратриса в продольном фазовом пространстве, продольный эмиттанс пучка и аксептанс.
16. Теорема Лиувилля в фазовом пространстве синхротронных колебаний.
17. Адиабатическое изменение параметров синхротронных колебаний.
18. Уравнения поперечного движения в синхротроне.
19. Уравнение Хилла, период магнитной структуры.
20. Слабая и сильная фокусировка.
21. Основные типы электромагнитов в синхротроне
22. Матричный метод решения уравнения Хилла.
23. Критерий устойчивости поперечного движения.
24. Описание бетатронных колебаний посредством непрерывных бета и фазовых функции.
25. Параметры Куранта-Снайдера, матрица Твисса.
26. Частота бетатронных колебаний, фазовый эллипс.
27. Согласованные и не согласованные пучки.
28. Эмиттанс пучка и аксептанс вакуумной камеры.
29. Инвариантный (нормализованный) эмиттанс пучка.
30. Естественная хроматичность ускорителя.
31. Хроматический разброс бетатронных частот в пучке.
32. Принцип коррекции хроматичности.
33. Коррекция искажений орбиты.
34. Создание бампов орбиты.
35. Скалярный потенциал плоского магнитного поля.
36. Нормальные и косые мультиполи.
37. Краевые поля. Краевая фокусировка в диполях.
38. Нелинейные уравнения бетатронного движения в канонических переменных.
39. Суммовые и разностные бетатронные резонансы.
40. Сдвиг бетатронных частот.

41. Ширина резонанса. Биения размеров пучка. Параметрический резонанс.

42. Косой квадруполь и линейный резонанс связи.

43. Использование секступольного резонанса для медленного вывода пучка из синхротрона.

44. Зависимость сдвигов частот от амплитуд колебаний.

45. Разброс частот в пучке и системы его коррекции.

46. Влияние нормальных паразитных мультиполей на процесс медленного вывода.

47. Некогерентный кулоновский сдвиг бетатронных частот.

48. Нелинейный кулоновский разброс бетатронных частот.

49. Кулоновское взаимодействие сталкивающихся сгустков в коллайдере.

50. Ограничение светимости коллайдера.

51. Рассогласование при инжекции: ошибки дипольного поля и ошибки фокусировки.

52. Диффузионные процессы: кулоновское и ядерное рассеяние на остаточном газе. Требование к вакууму в протонных синхротронах.

52. Синхротронное излучение в электронных ускорителях.

53. Декременты колебаний в ускорителях с различными типами фокусировки.

54. Влияние квантовых флуктуаций излучения на движение электронов.

55. Когерентные бетатронные колебания.

56. Когерентная поперечная неустойчивость пучка.

57. Продольная неустойчивость пучка (эффект отрицательной массы).

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

I. Основная литература:

1. Ковальчук, М.В. Идеология природоподобных технологий / Михаил Ковальчук; Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт». – Москва: Физматлит, 2021. – 336 с. – ISBN 978-5-9221-1931-3.

2. Коломенский, А.А. Физические основы методов ускорения заряженных частиц: [Учеб. пособие для физ. спец. вузов] / А. А. Коломенский. - М.: Изд-во МГУ, 1980. - 302 с.

3. Лебедев, А.Н., Шальнов, А.В. Основы физики и техники ускорителей. М., Энергоатомиздат, 1991. – 528 с.

II. Дополнительная литература:

1. D.A. Edwards, M.J. Syphers. An Introduction to the Physics of High Energy Accelerators. John Wiley & sons, INC., 1993. – ISBN: 978-3-527-61727-2

2. H. Wiedemann. Particle Accelerator Physics I. Basic principles and linear beam dynamics, Springer-Verlag, 1995. – ISBN: 978-3-540-64671-6.

3. H. Wiedemann. Particle Accelerator Physics II. Nonlinear and higher-order beam dynamics. Springer-Verlag, 1995. ISBN: 978-3-642-97550-9.

III. Перечень ресурсов Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Словари и энциклопедии на Академике: [сайт]. – URL: <https://dal.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/695372> (дата обращения: 28.06.2022).

IV. Доступ к электронным библиотекам:

1. Фонд знаний «Ломоносов»: [сайт]. URL: <http://lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:01270:article> (дата обращения: 28.06.2022).

2. Электронная библиотека Платонанет: [сайт]. – URL: https://platona.net/load/knigi_po_filosofii/2 (дата обращения: 28.06.2022).

3. Онлайн-каталог DOAJ: [сайт]. – URL: <https://doaj.org/> (дата обращения: 28.06.2022).

4. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: [сайт]. –

URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения: 30.07.2022).

5. Сервер документов ЦЕРН: [сайт]. – URL: <https://cds.cern.ch/> (дата обращения: 30.07.2022).

6. Открытый доступ к журналам по физике и астрономии Physics related free-access Journals: [сайт]. – URL: <https://www.elsevier.com/physical-sciences-and-engineering/physics-and-astronomy/journals/open-access-in-physics-journals> (дата обращения: 30.07.2022).

7. Большая научная библиотека: [сайт]. – URL: <http://www.sci-lib.net/> (дата обращения: 12.08.2022).

8. Научная электронная библиотека диссертаций и авторефератов: [сайт]. – URL: <https://www.dissercat.com/> (дата обращения: 12.08.2022).

9. Электронная библиотека механико-математического факультета Московского государственного университета: [сайт]. – URL: <http://lib.mexmat.ru/index.php> (дата обращения: 12.08.2022).

10. Электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> (дата обращения: 12.08.2022).

11. Вестник РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/bulletin> (дата обращения: 30.08.2022).

12. Книги, изданные при поддержке РФФИ: [сайт]. – URL: <https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books> (дата обращения: 30.08.2022).

V. Доступ к журналам и базам публикаций различных научных издательств:

1. Электронный доступ к коллекции из 15 журналов базы данных компании Американского физического общества (APS). База данных APS содержит журналы по ядерной физике, физике высоких энергий, астрофизике, математической физике, механике и др.: [сайт]. – URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Электронный доступ к коллекции из 17 журналов базы данных компании AIP Publishing LLC (AIP). Тематические рубрики изданий включают

основные разделы физики и смежных областей знания: [сайт]. – URL: <https://www.aip.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Электронный доступ и использование баз данных журналов компании IOP PUBLISHING LIMITED: База данных журнала Nuclear Fusion: [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

4. Электронный доступ к журналам и книгам издательства Elsevier на платформе ScienceDirect: [сайт]. – URL: <http://info.sciencedirect.com/techsupport/journals/freedomcoll.htm> (дата обращения: 12.09.2022).

5. Электронный доступ к журналам, книгам и базам данных издательства Springer_Nature: [сайт]. – URL: <https://www.springernature.com/gp> (дата обращения: 12.09.2022).

6. Электронный доступ к базе данных Cambridge Crystallographic Data Centre. База данных Кембриджского центра структурных данных CSD-Enterprise содержит данные о строении кристаллических органических и элементарноорганических соединений (800 000 структур, онлайн и оффлайн версии), комплекс программ для работы с ними для биологов, химиков и кристаллографов: [сайт]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/> (дата обращения: 12.09.2022).

VI. Электронный доступ к следующим изданиям:

1. Web of Science (авторитетная политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая (библиометрическая) база данных: [сайт]. – URL: <https://webofknowledge.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

2. Scopus (мультидисциплинарная библиографическая и реферативная база данных и инструмент для отслеживания цитируемости статей, опубликованных в научных изданиях): [сайт]. – URL: <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic> (дата обращения: 12.09.2022).

3. Коллекция журналов Wiley (более 1600 изданий) с глубиной архива с 1997 г. по текущий момент: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/>

(дата обращения: 25.09.2022).

4. Science (один из самых авторитетных научных журналов Американской ассоциации содействия развитию науки): [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 17.09.2022).

5. Institute of Physics (охватывает три направления области физики: образование, исследования и разработки): [сайт]. – URL: <https://www.iop.org/> (дата обращения: 15.08.2022).

6. Электронный доступ к архивам научных журналов: Annual Reviews: [сайт]. – URL: <https://www.annualreviews.org/> (дата обращения: 12.09.2022).

7. Cambridge University Press: [сайт]. – URL: <https://www.cambridge.org/core> (дата обращения: 21.06.2022).

8. Nature: [сайт]. – URL: <https://www.nature.com/> (дата обращения: 13.08.2022).

9. Oxford University Press: [сайт]. – URL: <https://global.oup.com/?cc=ru> (дата обращения: 12.09.2022).

10. SAGE Publications: [сайт]. – URL: <https://us.sagepub.com/en-us/nam/home> (дата обращения: 03.09.2022).

11. Science Magazine: [сайт]. – URL: <https://www.science.org/> (дата обращения: 14.09.2022).

12. Springer Journals Archiv с 1832 - 1996 гг.: [сайт]. – URL: <https://link.springer.com/> (дата обращения: 22.08.2022).

13. Taylor&Francis: [сайт]. – URL: <https://taylorandfrancis.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

14. Wiley: [сайт]. – URL: <https://www.wiley.com/> (дата обращения: 12.09.2022).

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. При освоении дисциплины необходимы стандартная учебная аудитория с доской, ноутбук, мультимедийный проектор, экран. Аспирантам

должен быть обеспечен доступ к сети Интернет и свободный доступ к библиотеке периодических изданий по предмету (в том числе и к электронным изданиям).

2. Лекции проводятся в стандартной аудитории, оснащенной в соответствии с требованиями преподавания теоретических дисциплин.