

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИИФВП

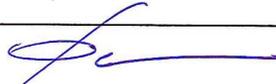
А.С. Гоголев

«14» 2022 г.

ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА
ПРИЕМ 2022 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ ОЧНАЯ

1.3.15. ФИЗИКА АТОМНЫХ ЯДЕР И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ, ФИЗИКА
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

| | | | |
|---------------------|--|---------|---|
| Уровень образования | Высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации | | |
| Курс | 2 | семестр | 4 |

| | | |
|---|--|-----------|
| Руководитель программы аспирантуры (ПА) |  | А.И. Фикс |
|---|--|-----------|

2022 г.

1. Общие положения

Программа кандидатского экзамена по специальной дисциплине 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий (далее – кандидатский экзамен) по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (далее – программа аспирантуры) сформирована с учетом освоения аспирантами специальной дисциплины образовательного компонента программы аспирантуры и паспорта научной специальности.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

На кандидатском экзамене аспирант (соискатель) должен продемонстрировать умение пользоваться знаниями, приобретенными в ходе освоения дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры.

Основу программы кандидатского экзамена по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, составили ключевые проблемы современного состояния и прогнозирование развития электроэнергетической отрасли.

Направления исследований по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий:

1. Изучение структуры атомных ядер.
2. Разработка теории ядерных реакций и ядерных распадов, в том числе синтеза сверхтяжелых элементов.
3. Исследование процессов деления атомных ядер.
4. Развитие технических основ и методик эксперимента в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий.
5. Дальнейшее развитие теории малочастичных систем.
6. Исследование реакций, индуцированных нейтронами, включая деление свойства свободного нейтрона и характеристик его распада
7. Теоретическое и экспериментальное исследование процессов с участием ультрахолодных нейтронов.
8. Исследования в области мезоатомной и мезомолекулярной физики, а также физики мюонного катализа.
9. Исследования в области ядерной астрофизики и космофизики, в том числе развитие теории нуклеосинтеза, исследование генерации нейтрино, построение теории эволюции звезд, динамики нейтронных звезд, исследование космических лучей.
10. Решение проблемы скрытого вещества во Вселенной.
11. Исследование структуры и распадных свойств адронов, лептонов и других элементарных частиц.
12. Ядро-ядерные столкновения, свойства сильновзаимодействующей материи.
13. Развитие теории электрослабого взаимодействия.
14. Неускорительные эксперименты по исследованию электрослабых взаимодействий.
15. Развитие методов обработки и анализа экспериментальных данных в области физики атомных ядер и элементарных частиц и физики высоких энергий.

2. Содержание и структура кандидатского экзамена

1. Теория атомного ядра

1.1. Ядерные силы

1. Состав и основные характеристики ядер. Размеры и массы ядер. Дефект масс, энергетическая шкала масс. Масштабы величин в ядерной физике.
2. Основные свойства нуклонов. Нуклон-нуклонное взаимодействие.

3. Модель одномезонного обмена для ядерных сил. Потенциал Юкавы. Короткодействующий характер ядерных сил.
4. Основные характеристики дейтрона. Спиновая зависимость ядерных сил. Отсутствие возбужденных состояний двухнуклонной системы.
5. Нуклон-нуклонное рассеяние в области низких энергий. Амплитуда и фазы рассеяния. Длина и эффективный радиус ядерного взаимодействия.
6. Протон-протонное рассеяние. Влияние кулоновского взаимодействия.
7. Нецентральная компонента ядерных сил. Потенциал нецентрального нуклон-нуклонного взаимодействия.
8. Основное состояние дейтрона с учетом нецентральных сил. Магнитный и квадрупольный моменты дейтрона.
9. Нейтрон-протонное рассеяние в области высоких энергий. Обменный характер ядерного взаимодействия.
10. Изотопический спин нуклона. Зарядовая независимость ядерных сил.
11. Нуклон-нуклонное рассеяние при высоких энергиях. Упругий и неупругий каналы рассеяния.
12. Феноменологические потенциалы нуклон-нуклонного взаимодействия.

1.2. Ядерные модели

13. Модель жидкой капли. Ядерная материя. Распределение ядерной плотности.
14. Формула Бете-Вайцзеккера для энергии связи ядра. Простейшие применения капельной модели.
15. Модель ядерного Ферми-газа. Свойство насыщения ядерного взаимодействия и независимость движения нуклонов в ядре. Глубина ядерного потенциала в модели идеального Ферми-газа.
16. Оболочечная модель. Движение нуклона в самосогласованном поле.
17. Изотропный осцилляторный потенциал. Решения уравнения движения в самосогласованном потенциале и свойства радиальных волновых функций нуклонов.
18. Спин-орбитальное взаимодействие. Магические ядра.
19. Спины и четности основных состояний ядер.
20. Магнитные дипольные моменты ядер.
21. Обобщенная и оптическая модели ядра.
22. Частично-дырочный формализм. Метод Хартри-Фока.
23. Парные корреляции в ядрах. Парные взаимодействия сверхпроводящего типа. Сверхтекучие состояния ядер.
24. Преобразование Боголюбова, квазичастицы. Волновые функции, энергия основного состояния, энергетический спектр.
25. Колебания сферических ядер. Поверхностные колебания. Колебательные спектры.
26. Вращательная модель ядра. Вращение аксиально симметричных ядер. Вращательные спектры ядер. Магнитные моменты деформированных ядер.

1.3. Распады ядер.

27. Бета-распад. Элементарная теория бета-распада. Правила отбора и форма бета-спектра, корреляционные характеристики. Разрешенные и запрещенные бета-переходы.
28. Электронный захват. Нарушение четности в слабых взаимодействиях. Бета-распад нейтрона.
29. Испускание ядрами протонов, альфа-распад, кластерные распады ядер. Нарушение четности в процессах деления ядер.
30. Спонтанно делящиеся изомеры. Трансурановые и сверхтяжелые элементы.

1.4. Теория рассеяния и ядерные реакции

31. Представление Шредингера и представление Гейзенберга в квантовой теории рассеяния.

32. Представление взаимодействия. Матрица рассеяния.
33. Вероятность перехода в единицу времени в квантовой теории рассеяния. Сечение рассеяния.
34. Т-матрица. Интегральное уравнение для Т-матрицы.
35. Амплитуда рассеяния. Уравнение Липпмана-Швингера.
36. Борновское приближение.
37. Эйкональное приближение.
38. Рассеяние частицы центральным полем. Парциально-волновое разложение амплитуды рассеяния.
39. Решение задачи рассеяния на потенциале прямоугольной формы.
40. Рассеяние кулоновским полем.
41. Каналы рассеяния. Соотношение унитарности для амплитуды упругого рассеяния.
42. Связь полного сечения с амплитудой упругого рассеяния. Оптическая теорема.
43. Преобразование волновых функций при обращении времени. Теорема взаимности и детальное равновесие.
44. Функция Йоста. Нули функции Йоста. Связанные состояния.
45. Особые точки амплитуды рассеяния на комплексной плоскости энергии. Виртуальные состояния и резонансы.
46. Интегральное представление функции Йоста. Теорема Левинсона.
47. Свойство аналитичности амплитуды рассеяния и принцип причинности.
48. Дисперсионные соотношения для амплитуды рассеяния.
49. Полюса матрицы рассеяния в плоскости комплексных моментов. Траектории Редже.
50. Разложение Гильберта-Шмидта. Сепарабельное представление амплитуды рассеяния.
51. Амплитуда рассеяния частиц со спином. Спиновая матрица плотности.
52. Кинематика ядерных реакций. Инвариантные кинематические переменные.
53. Лабораторная система и система центра масс. Связь кинематических переменных в различных системах отсчета.
54. Ядерные реакции при низких энергиях. Кулоновский барьер. Модель составного ядра.
55. Законы сохранения в ядерных реакциях.
56. Резонансное рассеяние. Формула Брейта-Вигнера.
57. Малочастичные системы. Уравнения Фаддеева.

1.3. Ядерная астрофизика

58. Происхождение и эволюция Вселенной. Нуклеосинтез нуклидов в Солнечной системе и Галактике.
59. Физика элементарных частиц и космология. Реликтовые нуклоны, барионная асимметрия и проблема стабильности протона.
60. Солнечная энергия. Основные ядерные реакции на Солнце.
61. Ядерные реакции в звездах в процессе эволюции. Модели звезд и эволюция звезд.
62. Солнечные нейтрино. Проблема дефицита солнечных нейтрино. Масса нейтрино и гипотеза нейтринных осцилляций.

2. Физика элементарных частиц

2.1. Общие свойства элементарных частиц.

63. Классификация элементарных частиц. Лептоны, адроны и калибровочные бозоны. Кварки. Мезоны и барионы. Частицы и античастицы.
64. Квантовые числа частиц: масса, спин, четность, зарядовая четность, изоспин, странность, чарм, G-четность.
65. Фундаментальные взаимодействия и их основные свойства.
66. Стандартная модель элементарных частиц. Поколения кварков и лептонов.

67. Векторные бозоны. Свойства фотона. W^+ , W^- и Z^0 – бозоны, как переносчики слабого взаимодействия. Глюоны и их свойства.

2.2. Математический аппарат физики элементарных частиц.

68. Точно решаемые задачи квантовой механики.

69. Уравнение Клейна-Гордона.

70. Уравнение Дирака.

71. Принципы инвариантности и законы сохранения в физике элементарных частиц.

Непрерывные симметрии в физике элементарных частиц.

72. Дискретные симметрии. Пространственное отражение, зарядовое сопряжение, обращение времени. Нарушение CP-инвариантности в процессах распадов K мезонов. CPT-теорема.

73. Основные дискретные симметрии – P, C, T, CP. CPT-теорема

2.3. Взаимодействия элементарных частиц.

74. Сильные взаимодействия. Феноменология адрон-адронных взаимодействий.

75. Статическая кварковая модель адронов. Кварковые диаграммы взаимодействия и распадов адронов.

76. Классификация адронов на основе кварковой модели. Цветовой заряд.

77. Основные процессы адрон-адронного взаимодействия в области низких и средних энергий.

78. Глубоконеупругое электрон-нуклонное рассеяние. Партоновая модель нуклона.

79. Электромагнитное взаимодействие. Калибровочная инвариантность.

80. Взаимодействия заряженных частиц с ядрами при высоких энергиях. Форм-факторы ядер.

81. Электрон-нуклонное рассеяния.

82. Слабое взаимодействие. Константа Ферми, бета-распад. W- бозоны, слабые процессы при высокой энергии, Z – бозон.

83. Диаграммы основных слабых процессов, заряженные и нейтральные слабые токи

84. Теория двухкомпонентного нейтрино. Спиральность нейтрино. Нарушение закона сохранения чужести в слабых взаимодействиях.

85. V-A теория слабого взаимодействия. Гипотеза сохраняющегося векторного тока.

86. Стандартная модель.

87. Гипотеза темной материи. Теория большого взрыва, связь космологии и физики элементарных частиц.

3. Методика экспериментальных исследований в ядерной физике и физике элементарных частиц.

3.1. Ускорители заряженных частиц.

88. Ускорительная трубка и ускоритель Ван-де-Граафа. Линейные резонансные ускорители. Циклические ускорители. Синхротрон.

89. Принцип автофазировки.

90. Ускорители со встречными пучками.

91. Статистическая обработка результатов измерения.

3.2. Детекторы элементарных частиц.

92. Взаимодействия заряженных частиц и излучения с веществом. Ионизационные и радиационные потери.

93. Поглощение фотонов в веществе.

94. Дрейфовые камеры.

95. Пропорциональные счетчики.

96. Сцинтилляционные счетчики.

97. Черенковские счетчики.

98. Полупроводниковые счетчики.
99. Детекторы ливней и калориметры.

**Дополнительная часть программы кандидатского экзамена,
включающая региональную и вузовскую компоненты**

Специальные дополнительные требования к кандидатскому экзамену формируются аспиранту (соискателю) научным руководителем в зависимости от выбранного направления научных исследований, содержание которых изложено ниже.

1. Сильное взаимодействие. КХД.

1. Масштабная инвариантность в партонной модели.
2. Неупругое рассеяние лептонов на нуклонах при высоких энергиях.
3. Лептон-кварковое рассеяние.
4. Аннигиляция электрон-позитронных пар в адроны.
5. Процесс Дрелла-Яна.
6. Кварк-кварковые взаимодействия. Квантовая хромодинамика.
7. Потенциал КХД на малых расстояниях. Асимптотическая свобода.
8. Потенциал КХД на больших расстояниях. Теория кваркового конфайнмента.
9. Неабелева теория цветовых полей.
10. Экспериментальные подтверждения существования цветового заряда у кварков.
11. Процессы на встречных протон-протонных и протон-антипротонных пучках.

2. Слабое взаимодействие. Калибровочные теории сильного и электромагнитного взаимодействий.

12. Теория Ферми ядерного бета-распада. Несохранение четности в бета-распаде.
13. Слабый распад странных частиц. Теория Кабиббо.
14. Квантовая электродинамика. Перенормируемость.
15. Проблема расходимостей в теории слабого взаимодействия. Нейтральный слабый ток.
16. Калибровочная модель слабых взаимодействий Вайнберга-Салама-Глэшоу.
17. Бозон Хиггса.

3. Электромагнитные и слабые процессы.

18. Процессы фоторождения и электророждения мезонов.
19. Рассеяние электронов и мюонов нуклонами. Электромагнитные форм-факторы нуклонов.
20. Эксперименты по поискам нейтринных осцилляций.
21. Нейтринные эксперименты на ускорителях при высоких и низких энергиях, реакторах, детектирование солнечных, атмосферных нейтрино и нейтрино от взрывов сверхновых.

4. Термоядерные установки.

22. Способы накачки энергии и изоляции плазмы.
23. Установки типа «Токамак».
24. Инерционные установки с лазерным разогревом и сжатием плазмы.
25. Международный экспериментальный термоядерный реактор. (ITER).

5. Нейтринные станции.

26. Современные детекторы нейтрино сверхвысоких энергий.
27. Баксанская нейтринная станция.
28. Японская нейтринная станция «Камиоканда».
29. Станция типа «DUMAND» на Байкале.
30. Международная антарктическая нейтринная станция «IceCube».

6. Методы измерений

31. Методы спектрометрических измерений. Магнитные спектрометры. Спектрометрические тракты измерений с полупроводниковыми и сцинтилляционными счетчиками.
32. Детекторы нейтронов. Детектирование ультрахолодных, тепловых, медленных, умеренно быстрых и быстрых нейтронов. Методы изображения многомерных спектров.
33. Дозиметрические измерения. Допустимые потоки излучений. Способы защиты.
34. Использование ЭВМ для контроля и управления.

3. Методические указания по процедуре проведения и оценивания кандидатского экзамена

Условия допуска к сдаче кандидатского экзамена

К кандидатскому экзамену допускаются:

- аспиранты, полностью освоившие программу специальной дисциплины и сдавшие зачет, предусмотренный учебным планом на предыдущем этапе обучения.
- соискатели, прикрепленные к ТПУ для сдачи кандидатских экзаменов, перед экзаменом по специальной дисциплине обязаны пройти собеседование с ведущими специалистами ИШФВП, на базе которой ведется подготовка аспирантов.

В рамках подготовки к кандидатскому экзамену по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий аспирант (соискатель) представляет реферат по тематике своего диссертационного исследования. Тема реферата должна быть согласована с научным руководителем диссертации. Проверку подготовленного реферата проводит член экзаменационной комиссии. При наличии оценки «зачтено» за реферат аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена.

Требования к оформлению. Реферат выполняется на листах бумаги формата А4. Текст печатается на компьютере 14 шрифтом. Пробел между строками – 1,5 интервала. При написании текста необходимо соблюдать поля: левое - 25÷30 мм, правое – 10÷15 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 20 мм. Все страницы реферата нумеруются и брошюруются. Объем работы должен составлять не менее 1-го авторского листа (не менее 24 стр.). *Оригинальность текста реферата* должна составлять 95%.

Структура реферата включает титульный лист, лист рецензии, содержание, введение, основную часть, заключение, список использованной литературы.

Титульный лист является первым листом реферата и заполняется по образцу.

Содержание включает наименование глав, разделов, параграфов с указанием номера страницы, с которой они начинаются. Во *введении* раскрывается значение выбранной темы, степень ее исследованности, цель и задачи работы, формулируются основные положения темы и структура работы. Текст *основной части* делится на главы, разделы или параграфы, здесь излагается содержание работы. В основной части целесообразно выделение 2-3 вопросов, отражающих разные аспекты темы. В реферате важно привести различные точки зрения на проблему и дать им оценку. В *заключении* подводятся итоги рассмотрения темы. Приветствуется определение автором перспективных направлений по изучению проблемы.

Страницы реферата нумеруются арабскими цифрами, соблюдается сквозная нумерация по всему тексту. Номер ставится внизу страницы по центру. Каждая глава (раздел) должна начинаться с новой страницы. *Ссылки* на источники, цитаты в тексте в квадратных скобках. *Список использованной литературы* дается в алфавитном порядке и должен содержать не менее 15 источников, из них не менее 50% последних пяти лет, из которых не менее половины последних трех лет.

Проведение кандидатского экзамена

На кандидатском экзамене экзаменуемый должен продемонстрировать совокупность имеющихся знаний по специальной дисциплине.

Прием кандидатских экзаменов осуществляется очно и в устной форме в комиссии, утвержденной приказом ректора, в составе которой должно участвовать не менее 3-х членов. В случае особых обстоятельств допускается прием кандидатского экзамена в режиме онлайн.

Экзаменационный билет включает в себя 3 вопроса.

Первые два вопроса - это вопросы основной части данной Программы, которые соответствуют паспорту научной по специальности 1.3.15. Физика атомных ядер и элементарных частиц, физика высоких энергий, третий вопрос должен соответствовать проблематике научной деятельности аспиранта (соискателя).

Ответы на вопросы выполняются в письменном виде в форме тезисов. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала на основе письменных тезисов. После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать отвечающему уточняющие вопросы по ответам. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам специальной дисциплины. Результат сдачи заносится в журнал регистрации, который хранится в ИШФВП. Протоколы сдачи экзаменов с подписью всех членов комиссии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры.

Критерии оценки ответа на кандидатском экзамене:

| % выполнения заданий экзамена | Экзамен, балл | Соответствие традиционной оценке | Определение оценки |
|-------------------------------|---------------|----------------------------------|--|
| 90%÷100% | 18 ÷ 20 | «Отлично» | Отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владение опытом практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, их качество оценено количеством баллов, близким к максимальному |
| 70% - 89% | 14 ÷ 17 | «Хорошо» | Достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество ни одного из них не оценено минимальным количеством баллов |
| 55% - 69% | 11 ÷ 13 | «Удовл.» | Приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и опыт практической деятельности, необходимые результаты обучения сформированы, качество некоторых из них оценено минимальным количеством баллов |
| 0% - 54% | 0 ÷ 10 | «Неудовл.» | Результаты обучения не соответствуют минимально достаточным требованиям |

4. Рекомендуемая литература

Основная литература

1. Дж. Блатт, В. Вайскопф. Теоретическая ядерная физика. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. - 659 с.
2. Савельев, И.В. Курс физики. В 3 т. Т. 3.: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, стер / И.В. Савельев. - СПб.: Лань, 2016. - 308 с.
3. О. Бор, Б. Моттelson. Структура атомного ядра. Т.1- 2. Мир, М.1971, 1977.
4. И. Айзенберг, В.Грайнер. Микроскопическая теория ядра. Атомиздат, М., 1976.
5. А.Б. Мигдал. Теория конечных ферми-систем и свойства атомных ядер. Наука, М., 1983.
6. Тартынов, Г.Н. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. Т. 3. Физика элементарных частиц: Учебник КПП / Г.Н. Тартынов. - СПб.: Лань КПП, 2016. - 432 с.
7. Хелзен, Ф. Кварки и лептоны: Введение в физику частиц / Ф. Хелзен, А. Мартин - М.: Мир, 1987. - 456 с
8. В.Г. Соловьев. Теория сложных ядер. Наука, М., 1971.
9. Ж.П. Блейзо, Ж. Рипка, Квантовая теория конечных систем. Феникс. Киев. 1998.
10. Дж. Тейлор, Теория рассеяния. Мир, М., 1976.
11. А.И. Базь, Я.Б. Зельдович, А.М. Переломов. Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике. Наука, М., 1971.
12. Ф. Клоуз. Кварки и партонны. Мир, М., 1982.
13. В.Б. Беляев. Лекции по теории малочастичных систем. Энергоатомиздат. М., 1986.

14. С.Г. Кадменский, В.И. Фурман. Альфа - распад и родственные ядерные реакции. Энергоатомиздат. М., 1985.
15. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Релятивистская квантовая теория. Часть 2. Наука, М., 1971, Гл.14 - 15.
16. Л.Б. Окунь. Слабые взаимодействия элементарных частиц. Физматгиз, М., 1963; Лептоны и кварки. Наука. М., 1983.
17. Г. Челлен. Физика элементарных частиц. Наука. М., 1966, Гл.4-5.
18. С. Вайнберг. УФН, 1976, т.118, с.505. 28
19. Р. Блин-Стойл. Фундаментальные взаимодействия и атомное ядро. Мир. М., 1976, Гл.3-4.
20. И.В. Андреев. Хромодинамика и жесткие процессы при высоких энергиях. Наука, М., 1981.
21. Р. Фейнман. Взаимодействие фотонов с адронами. Мир, М., 1975.
22. "Ядерная астрофизика", сборник статей под ред. Ч. Барнса, Д. Клейтона, Д. Шрамма, Мир, М., 1986.
23. Т. Эрикссон, В. Вайзе. Пионы и ядра. Наука. М., 1986.
24. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теория поля. Наука, М., 1973, гл.Х-ХП.
25. А.И. Ахиезер, В.Б. Берестецкий. Квантовая электродинамика. Наука, М., 1969.
26. Д. Бьеркен, С. Дрелл. Релятивистская квантовая теория. т.1-2. Наука, М.,1978.
27. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Квантовые поля. Наука, М., 1980.
28. В.Б. Берестецкий, Е.М. Лифшиц, А.Н. Питаевский. Квантовая электродинамика. Наука, М., 1980.
29. С. Швебер. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля. ИЛ, М.,9. 1968.
30. Ф. Боум, П. Фогель. Физика массивных нейтрино. Мир, М., 1990.
31. Л.Б. Окунь. Слабые взаимодействия элементарных частиц. Физматгиз, М., 1963; Лептоны и кварки. Наука, М., 1983.
32. Ю.В. Новожилов. Введение в теорию элементарных частиц. Гл.8-16. Наука, М., 1978.
33. С. Трейман, Р. Джакив, Д. Гросс. Лекции по алгебре токов. Атомиздат, М., 1977.
34. Н.Ф. Нелипа. Физика элементарных частиц. Высшая школа, М., 1977.
35. К. Нишиджима. Фундаментальные частицы. Мир. М., 1965.
36. С. Газиорович. Физика элементарных частиц. Наука, М., 1969.
37. А.В. Кузнецов, Б.А. Полосьянц, Ю.В. Ступин. Мини - ЭВМ в экспериментальной физике. М., Атомиздат, 1975.
38. А.Т. Ситенко, В.К. Тарковский. Лекции по теории ядра. М., Атомиздат, 1972.
39. Альфа -, бета-, гамма - спектроскопия. Под ред. К. Зигбана. М., Атомиздат, 1969.
40. В.Г. Соловьев. Теория атомного ядра. Ядерные модели. М., Энергоатомиздат, 1981.
41. В.Е. Левин. Ядерная физика и ядерные реакторы. М., Атомиздат, 1975.
42. В.И. Виноградов. Дискретные информационные системы в научных исследованиях. М., Атомиздат, 1976.
43. В.И. Калашникова, М.С. Козадаев. Детекторы элементарных частиц. М., Наука, 1966.
44. Е. Ким. Мезонные атомы и ядерная структура. М., Атомиздат, 1975.
45. Е.Г. Комар. Основы ускорительной техники. М., Атомиздат. 1975.
46. И.И. Гуревич, Л.В. Тарасов. Физика нейтронов низких энергий. М., Наука, 1965.
47. К.Н. Мухин. Введение в ядерную физику. Атомиздат. М., 1965.
48. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Т.1, 2. М., Энергоатомиздат. 1993.
49. Л.Б. Окунь. Слабые взаимодействия элементарных частиц. Физматгиз, М., 1963; Лептоны и кварки. Наука, М., 1983.
50. Ландау Л.Д., Е.М. Лифшиц. Квантовая механика. Наука, М., 1974.
51. М.И. Дайсон, Б.А. Долгошеин и др. Искровая камера. М., Атомиздат, 1967.
52. Р. Далитц. Странные частицы и сильные взаимодействия. М., Атомиздат, 1966.
53. С. Газиорович. Физика элементарных частиц. М., Наука, 1969.
54. Ф. Бони, Введение в физику ядра, адронов и элементарных частиц. М., Мир. 1999.
55. Ц. Ли, Ц. Ву. Слабые взаимодействия. М., Мир, 1968.
56. Э. Ферми. Лекции о П-мезонах и нуклонах.

57. Ю.А. Александров, Г.С. Ворожцев и др. Пузырьковые камеры. М. 1963.
58. А.А. Воробьев, Н.С. Руденко, В.И. Сметанин. Техника искровых камер. М., Атомиздат, 1978.
59. В.И. Гольданский, А.В. Куценко, М.И. Подгорецкий. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. М., физматгиз, 1959.
60. А.В. Куценко, Б.А. Полосьянц, Ю.В. Ступин. Мини - ЭВМ в экспериментальной физике. М., Атомиздат, 1975

Дополнительная литература

1. А. Лейн, Теория ядра. Атомиздат, М., 1967.
2. Браун, А.Г. Атомная и ядерная физика. Элементы квантовой механики. Практикум: Учебное пособие / А.Г. Браун, И.Г. Левитина. - М.: Инфра-М, 2019. - 352 с.
3. Стрелков, С.П. Практикум по решению задач по общему курсу физики. Основы квантовой физики. Строение вещества. Атомная и ядерная физика: Учебное пособие / С.П. Стрелков, Д.В. Сивухин, В.А. Угаров. - СПб.: Лань, 2014. - 240 с.
4. Проскурякова, Е.А. Физика элементарных частиц: Учебное пособие / Е.А. Проскурякова. - СПб.: Лань, 2016. - 104 с.
5. Бояркин, О.М. Физика частиц - 2013: Квантовая электродинамика и Стандартная модель / О.М. Бояркин, Г.Г. Бояркина. - М.: КД Либроком, 2015. - 440 с.
6. Г.В. Клапдор - Клайнротхаус, А. Штаудт. Неускорительная физика элементарных частиц. М., Наука. 1997.
7. Э. Хайд, И. Перельман, Г. Сиборг. Деление ядер. Атомиздат, М., 1969
8. П. Рамон. Теория поля. Современный вводный курс. Мир, М., 1984.
9. Н.Н. Боголюбов, А.А. Логунов, И.Т. Тодоров. Основы аксиоматического подхода в квантовой теории поля. Наука, М., 1969.
10. Нгуен Ван Хью. Лекции по теории унитарной симметрии элементарных частиц. Атомиздат, М., 1967.
11. Дж. Берштейн. Элементарные частицы и их токи. Мир, М., 1970.
12. В.Г. Кадышевский, А.Н. Тавхелидзе. Квазипотенциальный метод. В сб. "Проблемы теоретической физики." Наука, М., 1986.
13. С. Адлер, Р. Дашен. Алгебра токов. Мир, М., 1970.
14. К. Ициксон, Ж.Б. Зюбер, Квантовая теория поля, т.1-2. Мир, М., 1984.
15. Б.С. Ишханов, К.М. Капитонов, И.А. Тутынь. Нуклеосинтез во Вселенной. М., МГУ. 1999.
16. В.П. Зрелов. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в ядерной физике. Атомиздат 1968.
17. Дж. Лингвуд. Принципы работы циклических ускорителей. ИЛ, М., 1963.
18. К. Гротц, Г.В. Клапдор-Клайнротхаус. Слабое взаимодействие в физике ядра, частиц и астрофизике. Мир, М., 1992.
19. М. Престон. Физика ядра. Мир, М., 1964
20. О. Пауэлл, П. Фаулер, Д.Перкинс. Исследование элементарных частиц фотографическим методом. ИЛ, М., 1962.
21. Ю. Комминс, Ф. Буксбаум. Слабое взаимодействие лептонов и кварков. Энергоатомиздат, М., 1987.
22. Ю.В. Заневский. Проволочные детекторы элементарных частиц. Атомиздат, М., 1978.
23. Ю.К. Азимов, А.И. Калинин и др. Полупроводниковые детекторы ядерных частиц и их применение. Атомиздат, М., 1967.
24. Ю.В. Зеленский. Проволочные детекторы элементарных частиц. Атомиздат, М., 1978.