

Министерство образования и науки Российской Федерации

ПРОГРАММА-МИНИМУМ

кандидатского экзамена по специальности

01.04.23 «Физика высоких энергий»

по техническим и физико-математическим наукам

Программа-минимум
содержит 9 стр.

2007

Введение

В основу данной программы положены следующие дисциплины: астрофизика высоких энергий, экспериментальная техника для исследования процессов высокой энергии, кинематика процессов взаимодействия и распада частиц, электромагнитные взаимодействия, общие свойства фундаментальных взаимодействий, сильные взаимодействия. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Научно-исследовательского института ядерной физики МГУ им. М.В.Ломоносова, ГНЦ «Курчатовский институт» и Физического института РАН.

I. Астрофизика высоких энергий

1. Энергетический спектр первичного космического излучения и его основные особенности (форма спектра, неоднородности спектра и их возможные причины, полная энергия космического излучения, поступающего на Землю)
2. Ядерный состав первичных космических лучей и его особенности. Распространенность элементов во Вселенной и в космических лучах. Интерпретация различий.
Электроны, позитроны, фотоны и антипротоны в составе первичного космического излучения при разных энергиях.
3. Геомагнитные эффекты, их использование для определения энергетического спектра и заряда первичных космических частиц.
4. Свойства космического излучения вблизи поверхности Земли и под Землей (состав, интенсивность). Методика исследования космических частиц разных энергий (на спутниках Земли, в атмосфере, на горах и под землей).
5. Широкие атмосферные ливни и их свойства. Методы регистрации широких атмосферных ливней (в том числе по радио - и черенковскому излучению).

6. Основные источники космического излучения. Механизмы ускорения космических частиц.
7. Гамма-астрономия высоких и сверхвысоких энергий. Поиски гамма-излучения высокой энергии от остатков сверхновых звезд.
8. Большой Взрыв. Красное смещение. Реликтовое излучение, его энергетический спектр, происхождение.
9. Темная материя во Вселенной и ее возможная природа.
10. Регистрация потоков нейтрино низких энергий от вспышки сверхновой 8К 1987А на различных установках в мире.
11. Проблема верхней границы энергетического спектра космических протонов и ядер. Экспериментальные данные.

II. Экспериментальная техника для исследования процессов, протекающих при высокой энергии*

12. Методы ускорения частиц. Линейные и циклические ускорители: циклотрон, фазотрон, синхрофазотрон. Мезонные фабрики.
13. Коллайдеры, накопительные кольца. Устройство. Достоинства. Примеры действующих и проектируемых коллайдеров.
14. Крупнейшие действующие и проектируемые ускорители заряженных частиц.
15. Космические лучи, как источник сверхвысоких энергий.
16. Метод рентгено-эмульсионных камер в космических лучах.
17. Детекторы частиц. Импульсные ионизационные и пропорциональные камеры, дрейфовые камеры, сцинтилляционные счетчики, микростриповые и падовые детекторы, пузырьковые камеры, черенковские счетчики, кольцевой черенковский спектрометр. Искровые и стриммерные камеры.
18. Методы идентификации частиц.

19. Методы измерения энергии: магнитные спектрометры, ионизационные калориметры, детекторы переходного излучения.
20. Основные требования, предъявляемые к трековым детекторам и калориметрам: геометрический фактор, пространственное и энергетическое разрешение.
21. Комплексные установки на ускорителях и в космических лучах. Примеры действующих и проектируемых установок.

III. Кинематика при анализе процессов взаимодействия и распада частиц*

22. Основные кинематические характеристики: энергия, импульс (поперечный и продольный, четырех-импульс). Мандельштамовские переменные: s , t , u , , фейнмановская переменная x , бьеркеновские переменные, быстрота и псевдобыстрота.
23. Физические системы координат: система центра масс, лабораторная система, симметричная система и др. Связь характеристик частиц в этих системах: преобразования Лоренца. Инварианты лоренцевских преобразований
24. Внутренние квантовые числа: спин, изотопспин, лептонный и барионный заряды, странность, чарм, бьюти, топ и законы их сохранения. Дискретная симметрия. Законы сохранения.
25. Дифференциальное и полное сечение реакций, матричный элемент, фазовый объем.
26. Особенности кинематики распада на две, три или более частиц.

IV Общие свойства фундаментальных взаимодействий

27. Электрослабые, сильные и гравитационные взаимодействия. Бегущие константы взаимодействий. Характерные эффективные сечения и другие

особенности разных типов взаимодействий. Фундаментальные частицы и их роль в процессах взаимодействия.

28. Универсальный характер взаимодействий и Великое объединение.

29. Открытие позитрона, мюона, π -мезона, странных и очарованных частиц.

30. Фермионы (лептоны, кварки) и бозоны (глюоны, фотоны, W^\pm, Z^0 – бозоны, гипотетический бозон Хиггса, мезоны и резонансы). Распады частиц под влиянием сильных, электромагнитных и слабых сил.

31. Открытие W^\pm, Z^0 – бозонов. Открытие t-кварка.

32. Адроны (барионы, мезоны, резонансы) и ядра. Кварковая структура адронов.

33. Гипотеза суперсимметричных частиц. Великое объединение. Распад протона.

34. CP-нарушение и его экспериментальные проявления. CPT – теорема.

35. Распады нейтральных каонов. Углы смешивания Кабибо. Матрица Кабаяши-Маскавы. Осцилляции странности. Регенерация каонов.

V Структура адронов

36. Магнитные моменты и g-факторы частиц.

37. Партоновая структура нуклона из экспериментов по глубоконеупругому рассеянию $ep, \nu p, \bar{\nu} p$: кварки, их спин и электрические заряды.

38. Валентные и морские кварки и глюоны и их структурные функции в адронах и ядрах. Методы их измерения. Бьеркеневский скейлинг. Квантовое число «цвет».

39. Свойства кварков и глюонов из экспериментов по электрон-позитронной аннигиляции в адроны: масса кварков, их спин и заряд, экспериментальное доказательство существования «цветного» заряда.

40. Проблема невылетания цвета (конфайнмент) и адронизация кварков.

41. Рассеяние электронов и нейтрино на нуклонах. Формулы Резерфорда, Мотта и Дирака.

42. Кварконий. Потенциальное описание цветовых взаимодействий. Основные положения квантовой хромодинамики. Механизм Дрелла-Яна.

VI. Свойства лептонов

43. Электроны, мюоны, нейтрино (вейлевские, дираковские, майорана). Их заряды, массы, лептонные числа, спиральность, нарушение четности. Поколения лептонов и кварков и их возможное число. Методы определения (космологические и ускорительные).

44. Слабые взаимодействия при высоких энергиях. Универсальный характер слабых взаимодействий. Взаимодействия нейтрино с кварками. Заряженные и нейтральные токи. Сечения слабых взаимодействий.

45. Осцилляции нейтральных каонов и гипотеза нейтринных осцилляций. Осцилляции нейтрино в плотном веществе (эффект Михеева-Смирнова-Вольфенштейна).

46. Солнечные нейтрино и их происхождение. Эксперименты Девиса и их результаты. Галлиевые детекторы. Примеры более поздних экспериментов по изучению потоков солнечных нейтрино и осцилляций (Камиоканде и другие).

VII. Электромагнитные взаимодействия *

47. Тормозное и синхротронное излучение. Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение. Рождение электрон-позитронных пар фотонами. Энергетические зависимости сечений и потерь энергии.

48. Особенности прохождения заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери энергии. Формула Бете-Гайтлера. Радиационная длина и критическая энергия.
49. Эффект Ландау-Померанчука-Мигдала.
50. Электронно-фотонный каскад. Основные результаты теории (число частиц в максимуме каскада, положение максимума, зависимость от энергии и атомного номера).
52. Каскад в атмосфере, радиус ливня, состав частиц. Связь с энергией первичной частицы.
53. Черенковское и радиоизлучение ливня. Примеры установок для изучения широких атмосферных ливней. Действующие и проектируемые установки для регистрации космических лучей предельно высоких энергий. (ШАЛ-1000 и др.)
54. Обнаружение "излома" в энергетическом спектре первичного космического излучения при энергии $5 \cdot 10^6$ ГэВ и его современное объяснение в диффузионной модели. Возможность галактической и внегалактической протонной астрономии при предельно высоких энергиях космических частиц ($10^9 - 10^{11}$ ГэВ).

VIII. Стандартная Модель

55. Понятие о калибровочной природе сильных и электрослабых взаимодействий. Основные положения Стандартной Модели.
56. Экспериментальное обнаружение W^+ , W^- и Z^0 бозонов.
57. Роль гипотетического скалярного Хиггс-бозона в теории. Возможные эксперименты для его обнаружения в e^+e^- и pp столкновениях.

IX. Сильные взаимодействия

- 58 Поперечные сечения процессов взаимодействия. Полные, упругие и

неупругие поперечные сечения. Экспериментальное определение поперечных сечений разных процессов. Оптическая теорема. Предел Фруассара.

59. Зависимость поперечных сечений от природы и энергии соударяющихся частиц (экспериментальные данные и теоретические предсказания). Рассеяние частиц на ядрах. Формфакторы.

60. Множественное рождение частиц при высоких энергиях - универсальный процесс. Эксклюзивный, инклюзивный и эвентуальный способы анализа процессов. Основные характеристики процесса: множественность, импульсные и угловые распределения.

61. Основные механизмы адронных взаимодействий (дифракционные процессы, пионизация и фрагментация; кластеризация, эффект лидирования и относительное постоянство поперечного импульса). Струи. Асимметрия разлета вторичных частиц в системе центра масс столкновения мезонов и нуклонов. Фейнмановский скейлинг.

62. Открытие ядерно-каскадного процесса в космических лучах. Особенности адронных взаимодействий при сверхвысоких энергиях.

63. Взаимодействие адронов с ядрами и ядер с ядрами. Основные характеристики. Зависимость основных параметров столкновения от атомного номера. Способы описания столкновений с ядрами: глауберовский подход, ядерно-каскадные модели, струнные модели, модель независимых столкновений.

64. Кварк-глюонная плазма и ее проявления.

65. Принципы построения моделей для описания процессов множественного рождения частиц в мягких процессах (статистические, гидродинамические модели, мультипериферические, кварк-глюонные и др.). Основные предсказания моделей.

Литература

1. А.И. Ахиезер, Н.В. Шульга. Электродинамика высоких энергий в веществе. «Наука», М., 1993г.
2. В.С. Мурзин, Л.И. Сарычева. Физика адронных процессов. «Энергоатомиздат». М., 1986 г.
3. В.Г. Гришин. "Кварки и адроны во взаимодействиях частиц высоких энергий". «Энергоатомиздат». М., 1988 г.
4. П.Ф. Ермолов. Лептонные взаимодействия при высоких энергиях. Изд. МГУ, 1987
5. Л.Б. Окунь. "Введение в физику элементарных частиц". «Наука». М., 1992г.
6. Л.Б. Окунь. "Лептоны и кварки". Изд-во Наука. М., 1990 г.
7. Д. Перкинс. "Введение в физику высоких энергий". «Энергоатомиздат». с. 3-428. М., 1991 г
8. В.С. Мурзин. "Введение в физику космических лучей". Изд. III, МГУ, М., 1988 г
9. В.И. Гольданский, Ю.П. Никитин, И.Л. Розенталь. Кинематические методы в физике высоких энергий. «Наука». М., 1987г
10. Г.Б. Христиансен, Г.Б. Куликов, Ю.А. Фомин. Космическое излучение сверхвысоких энергий. «Наука», М. 1975.
11. Физическая энциклопедия (под ред. А.М. Прохорова) Изд. «Советская энциклопедия» - «Большая российская энциклопедия» т. 1 – 5, 1988 – 1998г.

Примечание:

Звездочками (*) отмечены разделы, на которые следует обращать особое внимание при сдаче экзамена соискателями ученой степени кандидата технических наук.