**Рабочая программа дисциплины**

**Физика атомного ядра и частиц (для студентов астрономического отделения).**

**Лекторы:** к.ф.-м.н., доцент Подгрудков Дмитрий Аркадьевич, кафедра физики космоса, d.a.podgrudkov@physics.msu.ru; к.ф.-м.н., ассистент Красоткин Сергей Анатольевич, кафедра физики космоса, sergekras@rambler.ru

**Аннотация дисциплины.**

Курс лекций и семинаров является базовой дисциплиной общего профиля и посвящен ознакомлению слушателей с основными понятиями и явлениями физики атомного ядра и элементарных частиц, необходимых для понимания и последующего изучения процессов звездообразования, звёздной динамики, генерации и транспорта различных излучений в астрофизических средах. Рассматривается общая история развития физики ядра, история открытия частиц. В курсе подробно рассматриваются простейшие модели ядра (капельная и одночастичная оболочечная), даются базовые сведения о процессах ядерных превращениях. Изучаются процессы ядерных распадов и реакций, условия их протекания. Подробно рассматривается стандартная модель частиц и даётся общий обзор текущего состояния исследований в области расширений стандартной модели и имеющихся противоречий между моделью и экспериментом. Кратко рассматриваются общие зависимости процессов синтеза элементов в звёздах.

Курс является базовым для студентов астрономического отделения.

**Содержание и структура дисциплины.**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид работы** | **Семестр** | | | **Всего** |
| **5** |  |  |
| **Общая трудоёмкость, акад. часов** | 324 |  |  | 324 |
| **Аудиторная работа:** |  |  |  |  |
| Лекции, акад. Часов | 36 |  |  | 36 |
| Семинары, акад. Часов | 18 |  |  | 18 |
| Лабораторные работы, акад. часов | 108 |  |  | 108 |
| **Самостоятельная работа, акад. часов** | 172 |  |  | 172 |
| **Вид итогового контроля (зачёт, зачёт с оценкой, экзамен)** | ЭКЗАМЕН |  |  |  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **№ раз-дела** | **Наиме-нование раздела** | **Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий** | | | **Форма текущего контроля** |
| **Аудиторная работа** | | **Самостоятельная работа обеспечена учебными пособиями и интернет ресурсами** |
| **Лекции** | **Семинары** |
| **1** | **Физика атомного ядра** | 2 часа.  Лекция 1 «*История открытия ядра и частиц*»  Общие сведения, история открытия ядра,  масштабы и единицы. |  | 2 часа  Работа с лекционным материалом по темам «масштабы и единицы», «коэффициенты пересчёта», «системы единиц». | Дз. |
| 2 часа.  Лекция 2 «*Введение в физику ядра*»  Единицы, масштабы, размеры.  Сечение, размер и форма ядра. | 2 часа  Разбор и решение задач по темам «масштабы и единицы», «коэффициенты пересчёта», «системы единиц», «сечение», «размер ядра» | 4 часа  Работа с лекционным материалом и решение задач на темы «масштабы и единицы», «коэффициенты пересчёта», «системы единиц». |
| 2 часа.  Лекция 3 «*Ядерный парк. Модели ядра.*  *Энергия связи*.»  Ядерный парк, массы нуклонов, энергия связи, дефект масс, модель жидкой капли, формула Вайцзеккера и её члены |  | 2 часа  Работа с лекционным материалом по темам «энергия связи», «дефект масс», «формула Вайцзеккера», «модель жидкой капли». | Дз. |
| 2 часа.  Лекция 4 «*Квантовые свойства ядра*»  Модели ядра. Элементы квантовой механики. «Квантовые» вектора. Статистики Ферми и Бозе. Квантовые свойства ядра.  Наблюдаемые свойства ядра. | 2 часа.  Разбор и решение задач по темам «энергия связи», «энергия отделения нуклона», «сложение квантовых векторов» | 4 часа  Работа с лекционным материалом по теме «квантовые свойства ядра».  Решение задач по темам  «энергия связи», «энергия отделения нуклона», «сложение квантовых векторов», «дефект масс» |
| 2 часа.  Лекция 5 «*Радиоактивный распад*».  Общие закономерности, виды распадов (α, β, γ, фрагментация, выброс кластера, отделение нуклона) и их свойства |  | 2 часа  Работа с лекционным материалом по темам «радиоактивный распад», «статистический характер процессов». | Дз. |
| 2 часа.  Лекция 6 «*Свойства ядерных сил*»  Очевидные свойства ядерных сил, потенциал ядерного взаимодействия, изоспин. | 2 часа  Разбор и решение задач по темам «закон радиоактивного распада», «законы сохранения в распадах» | 4 часа  Работа с лекционным материалом по темам «свойства ядерных сил», «изоспин».  Решение задач по теме «закон радиоактивного распада», «кинематика продуктов распада» |
| 2 часа  Лекция 7 «*Ядерные реакции*»  Законы сохранения, пороговая энергия реакции, механизмы ядерных реакций |  | 2 часа  Работа с лекционным материалом по темам «законы сохранения», «квантовые числа», «порог реакции». | Дз. |
| Лекция 8 «Модель ядерных оболочек»  Магические числа, характеристики оболочек, ограничения модели, заполнение ядра, уровни энергии в ядре. | 2 часа  Разбор и решение задач по темам «порог реакции», «энергетический выход реакции», «спин-чётность основного состояния ядра нечётного», «орбитальный момент пары лептонов». | 4 часа  Работа с лекционным материалом по теме «модель ядерных оболочек».  Решение задач по темам «порог реакции», «энергетический выход реакции», «спин-чётность основного состояния ядра нечётного», «орбитальный момент пары лептонов». |
| 1 час тестирование в ЦЦКО по теме «Физика атомного ядра» | 2 часа контрольная работа «Физика атомного ядра» | 4 часа  Подготовка к контрольной работе. Повторение пройденного материала. | КР  Тест |
| **2** | Элемен-тарные частицы. | 2 часа  Лекция 9 «Элементарные частицы»  Стандартная модель частиц. Фундаментальные частицы: частицы-переносчики, лептоны, кварки, бозон Хиггса. |  | 2 часа.  Работа с лекционным материалом по теме «Стандартная модель». Самостоятельное изучение темы «ускорители». | Дз. |
| 2 часа  Лекция 10 «КЭД и КХД. Кварки»  Возникновение квантовой теории, основные положения КЭД и КХД. | 2 часа  Разбор и решение задач по темам «кварковая структура частиц», «диаграммы Фейнмана», «квантовые числа» | 4 часа.  Работа с лекционным материалом и решение задач на тему «кварковая структура частиц», «диаграммы Фейнмана», «квантовые числа», «законы сохранения» |
| 2 часа.  Лекция 11 «Слабое взаимодействие»  Лептоны, слабые распады, нейтрино, осцилляции нейтрино. |  | 2 часа  Работа с лекционным материалом по теме «нейтрино», «лептоны». Самостоятельное изучение темы «солнечные нейтрино», «методы регистрации нейтрино». | Дз. |
| 2 часа  Лекция 12 «Симметрии и проблемы стандартной модели»  Законы сохранения квантовых чисел, чётность, нарушение чётности, СT и CPT теоремы. | 2 часа  Решение задач по теме «кинематика распада», «идентификация канала распада», «идентификация неизвестной частицы в распаде» | 4 часа.  Тема самостоятельной работы 9.  Работа с лекционным материалом. Решение задач по теме «кинематика распада», «идентификация канала распада», «идентификация неизвестной частицы в распаде» |
| **3.** | Элемен-ты ядерной астро-физики | 2 часа  Лекция 13 «Большой взрыв».  Полевые уравнения ОТО, космологическая постоянная, уравнения Фридмана, разбегающиеся галактики, гипотеза большого взрыва, горячая ранняя Вселенная. |  | 2 часа.  Работа с лекционным материалом. Самостоятельное изучение темы «Постоянная Хаббла, история открытия и современное состояние исследований». | *Дз.* |
| 2 часа.  Лекция 14 «Немного космологии»  Ранняя Вселенная, бегущие константы, инфляционные модели ранней вселенной, | 2 часа.  Решение задач по темам «закон сохранения», «энерговыделение реакции», «порог реакции» | 4 часа.  Работа с лекционным материалом по теме «Инфляционные модели». Решение задач по темам «закон сохранения», «энерговыделение реакции», «порог реакции» |
| 2 часа  Лекция 15 «Нуклеосинтез».  Первичный нуклеосинтез, нуклеосинтез в звёздах, pp- и CNO-циклы, 3α процесс, s- и r-процессы. Структура и эволюция звезд. |  | 2 часа.  Работа с лекционным материалом. |  |
| 2 часа  Лекция 16 «Космические лучи»  Происхождение, транспорт, регистрация, спектр, состав, источники. | 2 часа  Контрольная работа по теме «Элементарные частицы» | 4 часа.  Работа с лекционным материалом и подготовка к контрольной работе. |
| 1 час  Тестирование в ЦККО по теме «Элементарные частицы» |  | 2 часа.  Тема самостоятельной работы 14.  Работа с лекционным материалом и подготовка реферата по теме " Первичное космическое излучение сверхвысокой энергии - недавние достижения и открытия" . |  |
| 2 часа  Коллоквиум. |  |  |  |

**Перечень вопросов к экзамену.**

1. Основные физические величины в микромире и их значение: длина, время, скорость, масса, энергия, заряд, спин, магнитный момент и способы их измерения. Внесистемная система единиц (c = ħ = 1) и правила пользования ею.
2. Квантовые свойства частиц: дуальность волна-частицы, уровневая структура энергетических спектров, первичное и вторичное квантования.
3. Границы применимости классического описания поведения тел; принцип неопределенности Гайзенберга, понятие наблюдаемых величин.
4. Законы сохранения основных физических величин: импульс, момент импульса, энергия, электрический заряд. Масса как энергия.
5. Сечение. Эффективное поперечное сечение и способы его измерения. Дифференциальное сечение.
6. Опыт Резерфорда.
7. Определение размеров ядер по рассеянию электронов на ядрах.
8. Распределение плотности электрического заряда в нуклонах и ядрах.
9. Ядерные модели: модель жидкой капли, модель ферми-газа, оболочечная и обобщенная модели, оптическая модель и модель Глаубера-Ситенко. Условия использования этих моделей.
10. Статистические характеристики атомных ядер и способы их измерения.
11. Квадрупольный момент ядра.
12. Энергия связи. Формула Вайцзеккера. Дефект массы. Особенности формулы Вайцзеккера.
13. Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия.
14. Обойденные ядра – их образование.
15. Ядерные реакции через составное ядро.
16. Резонансные ядерные реакции. Особенности ядерных реакций под действием разных частиц: α, p, n, γ, прямые ядерные реакции.
17. Законы сохранения для разных типов взаимодействий, экзо- и эндо-термические реакции.
18. Термоядерные реакции синтеза – условия для их осуществления. Реакция деления, цепная ядерная реакция.
19. Спин и магнитный момент частиц и способы определения спина.
20. Сохранение квантовых чисел. Изотопический спин.
21. Закон радиоактивного распада. Статистический характер распада. Радиоактивные семейства.
22. Искусственная радиоактивность. Виды распада. α-распад. Туннельный эффект. Зависимость периода α-распада от энергии α-частиц. β-распад.
23. Фундаментальные взаимодействия и их свойства.
24. Экспериментальное доказательство существования нейтрино.
25. Несохранение четности в β-распаде.
26. γ-излучение ядер. Классификация гамма-переходов.
27. Классификация элементарных частиц, фермионы и бозоны.
28. Фундаментальные бозоны и фермионы и их свойства. Диаграммы Фейнмана.
29. Кварки и лептоны.
30. Свойства кварков из e+e—аннигиляции.
31. Лептоны – точечные частицы, g-факторы частиц.
32. Партоны в протоне, валентные и морские кварки.
33. Строение барионов и мезонов.
34. Стандартная Модель в физике частиц.
35. КЭД и КХД: основные процессы.
36. Кварконии и потенциал взаимодействия между кварками.
37. Бегущие константы и гипотеза Великого объединения.
38. Общая картина развития Вселенной во времени: гипотеза Большого Взрыва.
39. Основные закономерности фундаментальных процессов, участвующих в эволюции Вселенной. Фазовые переходы. Кварк-глюонная плазма.
40. Барионная асимметрия. Распад протона.
41. Диаграмма распространенности элементов во Вселенной и ее особенности.
42. Происхождение химических элементов: образование гелия (на ранней стадии горячей Вселенной), загадка гелия; проблема дейтерия; Li, Be, B – разрушение в звездах и образование при процессах фрагментации в космических лучах; образование изотопов 12C и 16O; образование элементов тяжелее кислорода.
43. Особенности в процессах образования элементов, резонансный уровень ядра 12C\* (7.68 МэВ) и его уникальная роль в эволюции Вселенной.
44. Причины всплесков распространенности H, He, C, Fe: недостаток ядер Li, Be, B. Реакции, в которых образуются ядра периодической системы.
45. Реакция образования ядер с A > 60, s- и r-процессы и условия их протекания.
46. Экзотические частицы во Вселенной (монополи, тахионы).
47. Стационарная модель Солнца и звезд.
48. pp- и CN-циклы на Солнце, εpp(T4), εCN(T15).
49. Нейтрино в pp-цикле. Борные нейтрино. Бериллиевые нейтрино.
50. Регистрация потока нейтрино от Солнца. Хлор-аргоновый методы (эксперимент Девиса). Галлий-германиевый метод. Сравнение чувствительности этих методов. Возможные объяснения результатов экспериментов по регистрации нейтрино от Солнца.
51. Процессы в звездах в зависимости от массы звезды и температуры (M > M○ и M < M○) и время жизни звезды. Синтез гелия, гелиевая вспышка и ее последствия.
52. Нейтронизация вещества – нейтронные звезды и черные дыры. Нейтринизация вещества, «урка»-процесс. Вспышки сверхновых и черные дыры.
53. Электромагнитные процессы для заряженных частиц: ионизационные потери, черенковское излучение, переходное излучение, тормозное излучение в разных энергетических интервалах.

**Основная литература по курсу**

1. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. «[Частицы и атомные ядра](http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/ikyu.htm)». Изд. 2-е.испр. — М.: Издательство ЛКИ. 2007. — 584 с. (Классический университетский учебник.)
2. Н.Г. Гончарова. «Семинары по физике ядра и частиц» 2000 год. URL:<http://nuclphys.sinp.msu.ru/seminar/index.html>
3. Н.Г.Гончарова, Б.С.Ишханов, И.М.Капитонов, Э.И.Кэбин, М.Е.Степанов «Физика ядра и частиц. Задачи с решениями». 2005 год, URL:<http://nuclphys.sinp.msu.ru/problems/index.html>

Дополнительная литература

1. Л.И.Сарычева. «Физика фундаментальных взаимодействий». М.; КДУ, 2008.-220с.
2. И.Е. Иродов. «[Задачи по общей физике».](http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/irodov.htm) 1979 год. 367 с.
3. Л.Б. Окунь. «[Физика элементарных частиц](http://nuclphys.sinp.msu.ru/books/b/okun_fech.htm)». 2-е издание, 1988 г.
4. Б.С. Ишханов, Э.И. Кэбин «Физика ядра и частиц. ХХ век» М., Изд-во Московского университета. 2000.