

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 имеющих 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	Наименование 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,		2 часа Работа с лекционным материалом по темам «законы сохранения», «квантовые числа», «порог	Дз.

		механизмы ядерных реакций		реакции».	
		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	Элементарные 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, СТ и СРТ 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.	Элементы ядерной астрофизики	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»	2 часа. Решение задач по темам «закон	4 часа. Работа с лекционным материалом по теме	

	Ранняя Вселенная, бегущие константы, инфляционные модели ранней вселенной,	сохранения», «энерговыведение реакции», «порог реакции»	«Инфляционные модели». Решение задач по темам «закон сохранения», «энерговыведение 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 ($c = \hbar = 1$) 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 Гейзенберга, 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. Условия использования этих моделей.
10. Статистические характеристики атомных ядер и способы их измерения.
11. Квадрупольный момент ядра.
12. Энергия связи. Формула Вайцеккера. Дефект массы. Особенности формулы Вайцеккера.
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, 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 ^{12}C и ^{16}O ; образование элементов тяжелее кислорода.
43. Особенности в процессах образования элементов, резонансный уровень ядра $^{12}\text{C}^*$ (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, $\epsilon_{pp}(T^4)$, $\epsilon_{CN}(T^{15})$.
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 ($M > M_{\odot}$ и $M < M_{\odot}$) и время жизни звезды. Синтез гелия, гелиевая вспышка и ее последствия.
52. Нейтронизация вещества – нейтронные звезды и черные дыры. Нейтронизация вещества, «урка»-процесс. Вспышки сверхновых и черные дыры.

Основная литература по курсу

1. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин. «Частицы и атомные ядра». 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». 1979 год. 367 с.
3. Л.Б. Окунь. «Физика элементарных частиц». 2-е издание, 1988 г.
4. Б.С. Ишханов, Э.И. Кэбин «Физика ядра и частиц. XX век» М., Изд-во Московского университета. 2000.