Краткая программа лекционного курса

«Физика атомного ядра и частиц», «Ядерная физика» (3-й курс, дн., ф.ф. КФУ)

и требования к экзамену

1. Краткая история развития ядерной физики*, начиная с открытия радиоактивности Беккерелем в 1896 году. Основные характеристики атомных ядер: размер, форма, распределение плотности внутри ядер, масса, спин, электромагнитные моменты, четность. Методы измерения этих характеристик. Масштабы физических величин в ядерной физике.
2. Межнуклонные силы, их свойства. Энергия связи ядра.
3. Капельная модель ядра, формула Вайцзеккера. Область применения капельной модели.
4. Модель Ферми-газа для ядра. Объяснение энергии симметрии в формуле Вайцзеккера.
5. Альфа-распад ядер. Теория Гамова для альфа-распада. Тонкая структура спектров альфа-частиц.
6. Бета-распад ядер. Спектр бета-излучения. Нейтрино. Теория Ферми для бета-распада.
7. Взаимодействие альфа-, бета- и гамма- излучения с веществом.
8. Четность, закон сохранения четности в ядерных реакциях.
9. Оболочечная модель ядра. Область применения. Спин и четность согласно оболочечной модели.
10. Модель Шмидта для магнитных моментов ядер. Квадрупольный момент ядра в одночастичной модели оболочек.
11. Ядерные реакции с образованием составного ядра. Взаимодействие нейтронов с веществом. Сечение реакции.
12. Прямые ядерные реакции. Реакции с участием дейтона. Определение спина и четности ядер в прямых ядерных реакциях.
13. Законы сохранения в ядерных реакциях.
14. Изоспин.
15. Кинематика ядерных реакций
16. Ядерные реакции деления. Простейшая теория деления.
17. Ядерные реакции синтеза. Термоядерные реакции в звездах.
18. Элементарные частицы. Классификация. Законы сохранения в физике элементарных частиц.

* - история развития ядерной физики относится к вводной части курса и не входит в экзаменационные билеты.

Основная литература:

1. Povh B., Rith K., Scholz C., Zetsche F. Particles and Nuclei. 5-th ed. 2006. Springer.
2. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. 2004. М., УРСС.
3. Мухин К.Н. Введение в ядерную физику. 1965. М., Атомиздат.
4. Колпаков П.Е. Основы ядерной физики. 1969. М., Просвещение.
5. Ишханов Б.С., Капитонов И.М., Орлин В.Н. Модели атомных ядер. 1997. М., Изд. МГУ.
6. Широков Ю.М., Юдин Н.П. Ядерная физика. 1980. М., Наука.

Дополнительная литература:

1. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. 2005. М., УРСС.
2. Нелипа Н.Ф. Физика элементарных частиц. 1977. М., Высшая школа.
3. Богуш А.А. Введение в калибровочную полевую теорию электрослабых взаимодействий. 2003. М., УРСС

май 2013г

Экзаменационный билет содержит два вопроса, первый из которых теоретический и на него предполагается развернутый ответ. Этот вопрос соответствует теме одной из лекций и оценивается максимально в 40 баллов. Второй вопрос представляет собой простую задачу или качественный вопрос, нацеленный на понимание одного из ключевых понятий курса, либо модели, либо некоторой экспериментальной закономерности. Решение или ответ должны быть по возможности краткими. Максимальное число баллов за второй вопрос - 10.

Теоретические вопросы к экзамену (первый вопрос экзаменационного билета):

1. Масштабы физических величин в ядерной физике. Внесистемные единицы измерения длины, энергии, сечения. Энергетическая шкала масс.
2. Определение размеров ядер в опытах по рассеянию частиц. Формула Резерфорда. Сечение рассеяния. Формула Мотта. Зависимость радиуса ядра от массового числа.
3. Рассеяние электронов как инструмент определения внутренней структуры ядер и частиц.
4. Альфа-распад. Закономерности. Вывод закона Гейгера-Неттола.
5. Бета-распад. Закономерности. Гипотеза нейтрино. Теория бета-распада Ферми. Вывод аналитического выражения для бета-спектра и правила Сарджента по теории Ферми.
6. Капельная модель ядра. Несжимаемость ядерного вещества. Формула Вайцзеккера. Физический смысл слагаемых в этой формуле. Дорожка стабильности по капельной модели. Другие применения.
7. Недостатки капельной модели ядра. Оболочечная модель. Количественная оценка вклада спин-орбитального взаимодействия. Схема уровней энергии ядра.
8. Модель Ферми-газа для ядра. Энергия симметрии и плотность ядерных уровней в этой модели.
9. Электромагнитные моменты ядер. Разложение потенциала ядра в ряд по мультиполям. Ядерный магнетон. *Эффект Зеемана и квадрупольное взаимодействие.*
10. Законы сохранения в ядерных реакциях.
11. Четность, пространственная и *внутренняя*. Четность системы частиц. Закон сохранения четности.
12. Прямые ядерные реакции. Определение характеристик ядерных уровней в реакциях с участием дейтона.
13. Ядерные реакции с образованием составного ядра. Модель Бора, вывод формулы Брейта-Вигнера.
14. Формула Бора для энергетических потерь при прохождении заряженной частицы через вещество.
15. Изоспин, закон сохранения изоспина. Зеркальные ядра и ядерные изоспиновые мультиплеты. Изоспиновые мультиплеты среди элементарных частиц.
16. Свойства ядерных (межнуклонных) сил. Межнуклонные силы как проявление фундаментального сильного взаимодействия. Глюоны.
17. *Деление ядер. Параметр деления. Цепная ядерная реакция. Ядерные реакторы.*
18. *Ядерные реакции синтеза. Термоядерные реакции в звездах.*
19. Кинематика ядерных реакций. Порог реакции.
20. Магнитный момент ядра в одночастичной модели оболочек. Модель Шмидта.
21. Спин и четность ядра согласно оболочечной модели.
22. *Наблюдаемый и собственный* квадрупольный момент ядра. Предсказания одночастичной модели оболочек и причина их расхождения с экспериментом. Отсутствие у ядер дипольных моментов: связь с законом сохранения четности.
23. Элементарные частицы, определение, классификация. Фундаментальные частицы и взаимодействия. Законы сохранения в физике частиц.

Качественный вопрос или задача:

1. Нарушение закона сохранения четности в слабых взаимодействиях. Опыт Ву.
2. Может ли среди ядер изобар быть больше одного стабильного ядра? Почему?
3. Запаздывающие нейтроны и их роль в управляемой цепной ядерной реакции.
4. Каков спин и четность ядра ${}_{4}Be^{9}$?
5. Вычислите энергию присоединения нейтрона и энергию отрыва нейтрона для ядра ${}_{40}Zr^{90}$. Энергия связи ядер ${}_{40}Zr^{89}$, ${}_{40}Zr^{90}$ и ${}_{40}Zr^{91}$ равны соответственно 771.9 МэВ, 783.8 МэВ, 791.1 МэВ, масса нейтрона 939.6 МэВ.
6. Запишите выражение для закона сохранения момента импульса в ядерной реакции
   $p+{}_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z+1}Y^{A}+n$
   если $I(A,Z)=5/2$ и $I(A+1,Z)=9/2$
7. Оцените разность энергий связи ядер ${}_{4}Be^{9}$ и ${}_{5}B^{9}$. $m_n-m_p=1.3$ МэВ.
   $E_{св}(A,Z)=a_1A-a_2A^{2/3}-a_3Z^2A^{-1/3}-a_4A^{-1}(A/2-Z)^2+da_5A^{-3/4}$
   $a_1=15.75$ МэВ, $a_2=17.8$ МэВ , $a_3=0.71$ МэВ , $a_4=94.8$ МэВ, $a_5=34$ МэВ
8. Вычислите энергию возбуждения ядра ${}_{90}Th^{233}$ в результате захвата нейтрона ядром ${}_{90}Th^{232}$. Массы ядер ${}_{90}Th^{233}$ и ${}_{90}Th^{232}$ равны 233.042 а.е.м. и 232.038 а.е.м. соответственно, масса нейтрона – 1.0087 а.е.м.
9. Чем обьясняется то, что $Z<A/2$ для тяжелых ядер?

В условии второго вопроса-задачи могут содержаться избыточные данные.

Приведенные вопросы даются в качестве примера. Формулировка вопросов в билете и исходные численные данные задач могут незначительно отличаться. Вопросы, отмеченные курсивом, требуют дополнительной самостоятельной проработки (они не попали в лекционный курс в достаточном объеме, поскольку семестр сокращённый).

май 2013г