

Утверждено
решением Ученого Совета
физического факультета МГУ
от 26.12.2019 г.

Декан физического факультета МГУ
профессор Н.Н.Сысоев



Государственный экзамен по физике
Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова
Магистерская программа
«Физика Ускорителей и Радиационной Медицины»

Билет № 1

1. Высоковольтный метод ускорения. Генераторы высокого напряжения трансформаторного типа. Каскадные и электростатические ускорители. Тандемные ускорители.
2. Радионуклидная и таргетная терапия. Уравнения производства радионуклидов. Основные способы получения медицинских изотопов.
3. Оценить максимальную энергию электронов, ускоренных в бетатроне, если магнитное поле с радиусом меняется по закону $B(r) = B_0 - kr$, где $B_0 = 1 \text{ T}$, а $k = \frac{dB}{dr} = \frac{1T}{m}$ при $r \geq R_0$ и $B(r) = B_0$ при $r < R_0$.

Билет № 2

1. Ускорение частиц в вихревом электрическом поле. Ускорители индукционного типа (ЛИУ и бетатроны). Бетатронное условие.
2. Эмиссионная и трансмиссионная томография. Преобразование Радона и экспоненциальное преобразование Радона. Методы медицинской визуализации (РКТ, МРТ, ПЭТ-томография).
3. Оценить частоту поперечных колебаний альфа-частиц в ВЧК-структуре с круглыми электродами, если радиус апертуры 5 см, частота приложенного напряжения 10 МГц, напряженность электрического поля 150 кВ/см.

Билет № 3

1. Ускорение частиц в постоянном магнитном поле. Классический циклотрон. Фазotron. Изохронный циклотрон. Микротрон.
2. Источники ионизирующего излучения для брахитерапии. Методы расчета дозовых распределений в брахитерапии.
3. Оценить толщину водного слоя, в котором поглощенная доза, создаваемая продуктами фотопротонной реакции, равняется поглощенной дозе, создаваемой вторичными электронами. Водный слой бесконечных размеров облучается фотонами с энергией 30 МэВ, сечение фотопротонной реакции считать равным 15 мбарн, полное сечение взаимодействия фотонов 0.4 барн.

Билет № 4

1. Ускорители частиц с постоянным радиусом орбиты. Синхротрон и синхрофазotron.
2. Протонная и ионная лучевая терапия. Формирование дозовых полей в протонной и ионной лучевой терапии. Аналитическая аппроксимация глубинного дозового распределения широкого пучка протонов.
3. Оценить максимальную энергию дейtronов в классическом циклотроне, если ускоряющее напряжение 100 кэВ.

Билет № 5

1. Магнитные и электростатические линзы с продольными и поперечными полями. Фокусное расстояние линзы, матрица преобразования пучка.
2. Дистанционная фотонная и электронная лучевая терапия. Характеристики клинических пучков фотонов и электронов. Методы расчета дозы в фотонной и электронной лучевой терапии. Методы учета негомогенностей в фотонной лучевой терапии.
3. Альфа-излучатель равномерно распределен в плоской бесконечной пластине толщиной l . Оценить зависимость поглощенной дозы, создаваемой альфа-частицами от ее толщины. Пробег альфа-частиц дается выражением $R_{max} = \alpha E^p$. При вычислениях полагать, что $p = 1$.

Билет № 6

1. Линейные резонансные ускорители. Особенности линейных ускорителей электронов и протонов.
2. Радиационная безопасность. Основные понятия. Операционные и нормативные величины.
3. Найти число целых спиновых резонансов, которые преодолеваются в синхротроне, если максимальная кинетическая энергия протонов и дейtronов равна 12.3 ГэВ и 5.7 ГэВ/нуклон соответственно. Энергию инжекции принять равной 440 МэВ/нуклон.

Билет № 7

1. Резонансный метод ускорения. Автофазировка. Синхротронные колебания.
2. Биологическое действие ионизирующих излучений. Кривые «доза-эффект» в рамках различных моделей (многоударная, многомишенная, линейно-квадратичная). Относительная биологическая эффективность. Фракционирование дозы в лучевой терапии.
3. Определить закон изменения частоты ускоряющего поля синхрофазотрона со временем, если в процессе ускорения магнитное поле увеличивается по линейному закону.

Билет № 8

1. Поперечное движение частиц в линейных и циклических ускорителях. Бетатронные колебания. Слабая и сильная фокусировка.
2. Теория полости (соотношения Брэгга-Грея и Спенсера – Аттика). Ионизационный метод дозиметрии.
3. Вычислить максимальную активность $^{75}_{33}As$, который получается в результате распада $^{75}_{34}Se$, получаемого в реакторе после облучения стабильного изотопа $^{74}_{34}Se$. Плотность потока тепловых нейтронов 10^{13} нейтрон/ $cm^2 \times$ сек, сечение радиационного захвата 52 барн.

Билет № 9

1. Бетатронные резонансы в циклических ускорителях.
2. Характеристики радиационных полей. Дозовые величины. Связь между дозовыми величинами и характеристиками радиационных полей.
3. Однородный поток протонов с энергией E_0 падает на шар радиуса R . Оценить зависимость отношения поглощенной дозы к потоку протонов от радиуса шара. Пробег протонов дается выражением $R_{max} = \alpha E^p$. При вычислениях полагать, что $p = 1$.

Билет № 10

1. Собственные поля пучков. Кулоновский сдвиг частот бетатронных колебаний.
2. Процессы взаимодействия фотонов с веществом (фотоэффект, когерентное рассеяние, комптоновское рассеяние, рождение электрон-позитронных пар, ядерный фотоэффект). Зависимость сечения процессов от энергии фотона.
3. Оценить искажение за счет геометрического ослабления и поглощения при эмиссионной томографии головы с размерами фантома $R = 25 \text{ см}$, размер опухоли по центру $-l_1 = l_2 = 8 \text{ см}$.

Билет № 11

1. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Адиабатические инварианты. Инвариант Куранта-Снайдера. Эмиттанс. Аксептанс.
2. Процессы взаимодействия нейтронов с веществом (упругое резонансное и упругое потенциальное рассеяние, неупругое рассеяние, радиационный захват, неупругие реакции поглощения: с вылетом заряженных частиц и нейtronов; деления). Зависимость сечения взаимодействия нейтронов от их энергии.
3. Оценить число бетатронных колебаний за один оборот в FD структуре, для которой показатель спада магнитного поля $|n_F| = |n_D| = n = 3$.

Билет № 12

1. Высокочастотная квадрупольная фокусировка.
2. Радиационные потери энергии заряженных частиц. Критическая энергия. Радиационная длина. Свойства тормозного, синхротронного, Черенковского и переходного излучений.
3. Оценить среднее значение коэффициента качества (КК) фотопротонов, образовавшихся в результате фотоядерных реакций фотонами с энергией 30 МэВ в воде. Зависимость КК от энергии считать линейной, при энергии протона 5 МэВ КК = 2, а при энергии 20 МэВ КК = 1.4.

Билет № 13

1. Метод встречных пучков. Коллайдеры. Накопление тяжелых частиц. Накопление легких частиц. Синхротронное излучение.
2. Упругое рассеяние заряженных частиц. Закономерности многократного упругого рассеяния.
3. Оценить максимально возможный ток электростатического ускорителя, в котором в качестве переносчика зарядов на кондуктор используется металлическая лента толщиной $d = 3 \text{ см}$ и шириной $l = 10 \text{ см}$. Лента разделена на отдельные участки изолирующим материалом с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 12$ и приводится во вращение валом радиуса $R = 50 \text{ см}$, вращающимся с угловой скоростью $\omega = 10 \text{ об/с}$. Напряжение источника 5 кВ.

Билет № 14

1. Динамика поляризованных пучков в циклических ускорителях. Спиновые резонансы и методы их преодоления.
2. Ионизационные потери заряженных частиц. Зависимость удельных ионизационных потерь от энергии частицы. Пробег тяжелых заряженных частиц в веществе. Стрэгглинг. Кривая Брэгга.
3. Найти область изменения возможных значений синхронной фазы в разрезном микротроне, если динамическое условие резонанса записывается как $T_{i+1} - T_i = 2T_{RF}$, где T_i – период обращения на i -ой орбите, а T_{RF} – период изменения ускоряющего напряжения.