

**«УТВЕРЖДАЮ»**

И.о. декана физического факультета МГУ

профессор Белокуров В.В.



**БИЛЕТЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

**Направление подготовки 03.04.02 «Физика»**

**Магистерская программа**

**«ФИЗИКА УСКОРИТЕЛЕЙ И РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ»**

**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. Определить энергию деления при симметричном и асимметричном делении  $^{235}\text{U}$ .

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 (КТ, МРТ, ПЭТ).
3. Точечный изотропный источник в вакууме излучает фотоны ( $\varphi = 10^7$  1/с) с равномерным энергетическим распределением  $n(E)$  в диапазоне  $0,1 \div 1$  МэВ (спектр нормирован на 1). Рассчитать интенсивность излучения на расстоянии 1 м.

Билет 3

1. Ускорение частиц в постоянном магнитном поле. Классический циклотрон. Фазотрон. Изохронный циклотрон. Микротрон.
2. Источники ионизирующего излучения для брахитерапии. Методы расчета дозовых распределений в брахитерапии.
3. Рассчитать толщину защиты из свинца для точечного изотропного источника  $^{152}\text{Eu}$  активностью 50 ГБк, которая обеспечит допустимые условия облучения персонала группы А на расстоянии 1,5 м при работе с ним 24 ч в неделю.

Билет 4

1. Ускорители частиц с постоянным радиусом орбиты. Синхротрон и синхрофазотрон.
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 дейтронов 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. При бета-минус распаде испускаются электроны и два гамма-кванта: с энергией 1,7 МэВ (квантовый выход 20%), с энергией 1,5 МэВ (квантовый выход 30%), Q величина равна 3 МэВ. Определить граничную энергию всех групп электронов.

#### Билет 6

1. Линейные резонансные ускорители. Особенности линейных ускорителей электронов и протонов.

2. Радиационная безопасность. Основные понятия. Операционные и нормативные величины.

3. Оценить различия величин мощности поглощенной дозы фотонов и электронного излучения при идентичных условиях облучения биологической ткани;  $j_g = j_e = 1$  част/(м<sup>2</sup>\*с); значения энергий частиц 100 кэВ и 1 МэВ. Средние ионизационные потери электронов для энергий частиц 100 кэВ и 1 МэВ составляют 4,08 (МэВ\*см<sup>2</sup>)/г и 1,83 (МэВ\*см<sup>2</sup>)/г соответственно. Массовые коэффициенты передачи составляют 0,0256 см<sup>2</sup>/г и 0,0308 см<sup>2</sup>/г соответственно.

#### 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 Брегга-Грея и Спенсера — Аттикса). Ионизационный метод дозиметрии.

3. Облучение мишени из <sup>133</sup>Cs тормозным излучением длилось 10 ч. Образовавшиеся изотопы <sup>132</sup>Cs (T<sub>1</sub> = 6,7 ч) и <sup>131</sup>Cs (T<sub>2</sub> = 9,5 ч) испускают одну и ту же рентгеновскую линию. Сразу после окончания облучения поочередно были измерены 2 спектра по 10 ч. Площадь пика в 1 спектре – 2,5 \* 10<sup>10</sup>, во втором – 1,0 \* 10<sup>10</sup>. Найти отношение активностей двух изотопов на момент окончания активации.

#### Билет 9

1. Бетатронные резонансы в циклических ускорителях.

2. Характеристики радиационных полей. Дозовые величины. Связь между дозовыми величинами и характеристиками радиационных полей.

3. Величина измеренного тока плоскопараллельной воздушнонаполненной ионизационной камеры в стационарном режиме облучения фотонами равнялась  $i = 0,5$  мкА; толщина медной стенки камеры, на которую нормально падают фотоны, имеет толщину, равную максимальному пробегу наиболее высокоэнергетичных вторичных электронов; объём камеры  $V = 12$  см<sup>3</sup>; среднее отношение массовых тормозных способностей  $S_z/S_r = 0,76$ . Рассчитать мощность дозы в стенке камеры.

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  $R = 25$  см, размер опухоли по центру  $-l_1 = l_2 = 8$  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 нейтронов; деления). Зависимость сечения взаимодействия нейтронов от их энергии.
3. Определить энергию, оставляемую потоком  $\Phi$  протонов с энергией  $E_0$  в шаре с радиусом  $R$ . Пробег протонов в веществе шара определяется соотношением  $R_{\max} = \alpha E_0$ .

Билет 12

1. Высокочастотная квадрупольная фокусировка.
2. Радиационные потери энергии заряженных частиц. Критическая энергия. Радиационная длина. Свойства тормозного, синхротронного, Черенковского и переходного излучений.
3. Металлический кубик обогащённого молибдена со стороной 2 см облучили фотонами для получения генератора <sup>99</sup>Mo-<sup>99m</sup>Tc. К моменту его доставки в лабораторию радиохимического выделения активность <sup>99</sup>Mo составляла 50 ГБк. Толщина свинцовой стенки защитного бокса составляет 3 см. Какая мощность дозы (Зв/ч) создаётся в 2 м от источника? Выход линий <sup>99</sup>Mo 181 кэВ - 6.05 %, 739.5 кэВ - 12.20 %; <sup>99m</sup>Tc 140 кэВ - 89 %.  $\mu_{Mo}$  для 150 кэВ - 4 1/см, 700 кэВ - 0,7 1/см;  $\mu_{Pb}$  для 150 кэВ - 23 1/см, 700 кэВ - 1 1/см.  $\Gamma_{150} = 5$  аЗв\*м<sup>2</sup>/(с\*Бк);  $\Gamma_{700} = 29$  аЗв\*м<sup>2</sup>/(с\*Бк).

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. Определить вероятность образования кремния  $^{31}\text{Si}$  с  $T_{1/2} = 157.3$  мин в реакции  $^{31}\text{P}(n, p)^{31}\text{Si}$ , если известно, что после облучения в течение 4 ч мишени фосфора массой 1 г в потоке нейтронов плотностью  $2 \cdot 10^{10}$  н/с·см<sup>2</sup> ее активность, измеренная через 1 час после окончания облучения, оказалась  $3.9 \cdot 10^6$  распадов/с.

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. Точечный радиоактивный источник  $^{60}\text{Co}$  находится в центре свинцового сферического контейнера с толщиной стенок  $x = 1$  см и наружным радиусом  $R = 20$  см. Определить максимальную активность источника, который можно хранить в контейнере, если допустимая плотность потока  $J_{\text{дон}}$  гамма-фотонов на выходе из контейнера равна  $8 \cdot 10^6$  с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>. Принять, что при каждом акте распада ядро кобальта испускает 2 гамма-фотона, средняя энергия которых равна 1,25 МэВ. Линейный коэффициент ослабления фотонов равен  $0,64$  см<sup>-1</sup>.