Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра общей физики

Паспорт экзамена

по дисциплине «Физика», 4 семестр

1. **Структура экзамена**
   Проводится в форме письменного тестирования с использованием электронной информационно-образовательной среда НГТУ (http:// www.nstu.ru/sveden/eos)
2. **Методика оценки**

Экзамен проводится в письменной форме:

- выполнение тестовых заданий с использованием электронной информационно-образовательной среды НГТУ (http:// www.nstu.ru/sveden/eos). Тест состоит из 30 вопросов различного вида, варианты теста составляются из вопросов общего перечня (п. 5).

В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 5).

Таким образом, проверяются результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с установленными в программе индикаторами достижения компетенций

3. **Уровни освоения компетенций и критерии оценки**

1. Экзамен считается сданным на **продвинутом** уровне, если студент правильно выполнил от 27 до 30 заданий теста, а также, знает определения всех понятий, продемонстрировал способность безошибочно устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, выявлять проблемы, предлагать механизмы их решения, представляет количественные и качественные характеристики определенных процессов и не допускает ошибок при решении задач. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций не содержит пробелов. Установленные в программе компетенции сформированы в полном объеме. Оценка составляет *от 35 до 40 баллов.*

2. Экзамен считается сданным на **базовом** уровне, если студент правильно выполнил от 21 до 26 заданий теста, а также знает определения основных понятий, продемонстрировал способность устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, правильно характеризует процессы, явления, не допускает существенных ошибок при решении задач. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит несущественные пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на базовом уровне. Оценка составляет *от 26 до 34 баллов.*

3. Экзамен считается сданным на **пороговом** уровне, если студент правильно ответил от 15 до 20 вопросов теста, знает определения основных понятий, продемонстрировал способность устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, при решении задач допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит пробелы. Установленные в программе компетенции сформированы на пороговом уровне. Оценка составляет *от 20 до 25 баллов.*

Экзамен считается не сданным и результат промежуточной аттестации признается

неудовлетворительным, если студент правильно ответил менее чем на половину вопросов теста, не знает определений понятий, не продемонстрировал способность устанавливать последовательность и соответствие между процессами и явлениями, при решении задач допускает принципиальные ошибки. Совокупность результатов обучения по дисциплине и соотнесенных с ними индикаторов достижения компетенций содержит существенные пробелы. Установленные в программе компетенции не сформированы. Оценка составляет *менее 20 баллов.*

4. Шкала оценки

Экзамен считается сданным, если сумма баллов по всем заданиям билета составляет от 20 до 40 баллов включительно. Сумма менее 20 баллов признается неудовлетворительным результатом промежуточной аттестации по дисциплине.

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, установленными в НГТУ.

5. Примерный тест для экзамена

Утверждаю:
Зав. кафедрой ____ _____ ФИО
«____» _____ 20_ г.

Тест

по дисциплине «Физика»[1]
Время выполнения – 90 минут

Вопрос 1. Опишите суть эффекта Рамзауэра–Таунсенда. Как он подтверждает волновые свойства электронов?

Ответ: Эффект Рамзауэра–Таунсенда заключается в аномальном (резком) уменьшении эффективного поперечного сечения рассеяния медленных электронов на атомах инертных газов при определённых значениях энергии электронов. Это явление объясняется волновой природой электрона: при прохождении через атом возникает дифракция электронной волны, и при определённой длине волны наступает интерференционное гашение рассеянной волны. Эффект служит прямым доказательством волновых свойств частиц.

Вопрос 2. Что характеризует фазовая скорость волны де Бройля?

A) Скорость переноса энергии частицей
B) Скорость перемещения фазы волны
C) Скорость движения центра волнового пакета
D) Скорость изменения амплитуды волны

Ответ: B

Вопрос 3. Сформулируйте соотношение неопределённостей Гейзенберга для координаты и импульса. Поясните его физический смысл без использования формул.

Ответ: Соотношение неопределённостей утверждает, что невозможно одновременно сколь угодно точно измерить координату и импульс микрочастицы. Произведение неопределённостей этих величин не может быть меньше некоторой фундаментальной константы. Физический смысл: любая попытка более точно определить положение частицы приводит к возрастанию неопределённости её импульса, и наоборот. Это не связано с несовершенством приборов, а является принципиальным свойством квантовых объектов.

Вопрос 4. Что демонстрируют опыты Франка и Герца? Какой вывод о дискретности атомных состояний из них следует?

Ответ: В опытах Франка и Герца изучалось прохождение электронов через пары ртути. Обнаружено, что при увеличении ускоряющего напряжения ток через трубку сначала растёт, затем резко падает при определённых значениях напряжения (4,9 В, 6,7 В и т.д.). Это доказывает,

[1] Правильные ответы выделены символом ✔

что атомы могут поглощать энергию только дискретными порциями (квантами). Потеря энергии электроном при неупругом ударе соответствует переходу атома из основного в возбуждённое состояние, что подтверждает дискретность энергетических уровней.

Вопрос 5. Какие из перечисленных положений относятся к постулатам Бора для водородоподобного атома? (Выберите все верные)

□ Электрон движется по круговым орбитам, излучая энергию непрерывно.

□ Электрон может находиться только на стационарных орбитах, на которых не излучает.

□ При переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается или поглощается квант энергии.

□ Момент импульса электрона на стационарных орбитах кратен постоянной Планка, делённой на 2π.

Ответ: верны второй, третий и четвёртый пункты.

Вопрос 6. Поясните, что означает свойство ортогональности собственных волновых функций в квантовой механике.

Ответ: Ортогональность собственных функций означает, что интеграл произведения двух различных собственных функций по всему пространству равен нулю. Физически это соответствует тому, что состояния с разными собственными значениями (например, разными энергиями) полностью различимы и не перекрываются. Данное свойство позволяет разлагать произвольную волновую функцию по ортогональному базису и вычислять вероятности обнаружения системы в том или ином состоянии.

Вопрос 7. Что такое эрмитов (самосопряжённый) оператор? Почему в квантовой механике физические величины описываются только такими операторами?

Ответ: Эрмитов оператор совпадает со своим сопряжённым. Для него выполняется равенство интегралов с сопряжёнными функциями. В квантовой механике физические величины (координата, импульс, энергия) представляются эрмитовыми операторами, потому что их собственные значения являются вещественными числами – именно такими должны быть результаты измерений. Кроме того, собственные функции эрмитова оператора образуют полный ортогональный базис, что необходимо для описания состояний.

Вопрос 8. Оператор импульса частицы в одномерном случае имеет вид $\hat{p} = -i\hbar\dfrac{d}{dx}$. Чему равно среднее значение импульса для частицы, если её волновая функция вещественна? (Впишите число)

Ответ: 0

Вопрос 9. Каков физический смысл непрерывного спектра в задаче о свободном движении квантовой частицы?

Ответ: Для свободной частицы (отсутствие потенциальной энергии) энергия не квантуется и может принимать любые неотрицательные значения – это и есть непрерывный спектр. Соответствующие волновые функции не нормируются на единицу, а нормируются на дельта-функцию или на длину периодичности. Непрерывный спектр означает, что частица может иметь любую кинетическую энергию, и её движение не ограничено пространственно (при отсутствии внешних полей).

Вопрос 10. Почему в квантовой механике энергия линейного гармонического осциллятора не может быть равной нулю?

Ответ: Нулевая энергия осциллятора (энергия основного состояния) не равна нулю из-за соотношения неопределённостей. Если бы осциллятор находился в состоянии с нулевой энергией, то его координата и импульс были бы точно равны нулю одновременно, что запрещено квантовой механикой. Поэтому минимальная энергия составляет $\hbar\omega/2$, что подтверждается экспериментально (например, наличие нулевых колебаний в кристаллах).

Вопрос 11. Как называется эффект, заключающийся в прохождении микрочастицы через потенциальный барьер, высота которого больше полной энергии частицы?

A) Туннельный эффект

B) Фотоэффект

C) Эффект Комптона

D) Эффект Зеемана

Ответ: A

Вопрос 12. Опишите радиальное распределение плотности вероятности для электрона в

основном состоянии атома водорода. Где наиболее вероятно обнаружить электрон?

Ответ: Для основного состояния (1s) волновая функция сферически симметрична. Радиальная плотность вероятности (вероятность найти электрон на расстоянии r от ядра) имеет максимум на расстоянии, равном боровскому радиусу (около 0,529 Å). При $r \to 0$ вероятность стремится к нулю (из-за объёмного множителя), а при больших r экспоненциально убывает. Таким образом, наиболее вероятное положение электрона – на расстоянии боровского радиуса от ядра.

Вопрос 13. В чём суть принципа Паули? Как он влияет на заполнение электронных оболочек в атоме?

Ответ: Принцип Паули (запрет Паули) гласит: в квантовой системе два одинаковых фермиона (в том числе электрона) не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии. Для электронов в атоме это означает, что на каждой орбитали (характеризуемой набором квантовых чисел *n, l, m*) может располагаться не более двух электронов, причём их спины должны быть противоположны. Именно принцип Паули определяет периодическую структуру таблицы Менделеева и порядок заполнения электронных оболочек.

Вопрос 14. Поясните понятия «дефект массы» и «энергия связи» атомного ядра. Почему энергия связи приходится на один нуклон?

Ответ: Дефект массы – это разность между суммой масс свободных нуклонов, составляющих ядро, и фактической массой ядра. Энергия связи – это энергия, которая выделяется при образовании ядра из отдельных нуклонов, она равна дефекту массы, умноженному на квадрат скорости света. Удельная энергия связи (энергия связи на один нуклон) позволяет сравнивать устойчивость разных ядер: чем она выше, тем ядро прочнее. Максимум удельной энергии связи приходится на ядра железа и никеля.

Вопрос 15. Что такое широкий атмосферный ливень? Из каких компонент он состоит?

Ответ: Широкий атмосферный ливень – это каскад вторичных частиц, возникающий при взаимодействии космической частицы высоких энергий (протона или ядра) с ядрами атомов воздуха. Ливень состоит из адронной (ядерно-активной), электромагнитной (электроны, позитроны, фотоны) и мюонной компонент. Адронный каскад порождает пионы и каоны, которые распадаются или взаимодействуют. Электромагнитная компонента развивается за счёт радиационного торможения и рождения пар. Мюонная компонента возникает из распадов заряженных пионов.

Вопрос 16. Какая из перечисленных частиц является истинно нейтральной (тождественна своей античастице)?

A) Электрон
B) Протон
C) Нейтрон
D) Фотон

Ответ: D

Вопрос 17. Объясните, почему нейтрино и антинейтрино различаются по спиральности. Что означает лептонное число?

Ответ: Нейтрино всегда левовинтовые (спин направлен против импульса), а антинейтрино – правовинтовые (спин по импульсу). Это связано с тем, что нейтрино имеют нулевую или очень малую массу и участвуют только в слабых взаимодействиях, которые нарушают чётность. Лептонное число – квантовое число, сохраняющееся во всех известных процессах. Электронное лептонное число для электрона и электронного нейтрино равно +1, для позитрона и электронного антинейтрино – –1. Сохранение лептонного числа запрещает, например, распад мюона на электрон и фотон.

Вопрос 18. Что такое странность в физике элементарных частиц? Какой закон сохранения с ней связан?

Ответ: Странность – квантовое число, отличное от нуля у некоторых адронов (каонов, гиперонов), которые рождаются в сильных взаимодействиях парами, но распадаются медленно (через слабое взаимодействие). В сильных и электромагнитных взаимодействиях странность сохраняется, а в слабых – может изменяться на ±1. Это объясняет, почему странные частицы рождаются быстро, а живут относительно долго (порядка 10^{-10} с).

Вопрос 19. Перечислите три группы элементарных частиц по типу взаимодействий. Приведите примеры частиц из каждой группы.

Ответ:

1. Лептоны – участвуют в электромагнитном, слабом и гравитационном взаимодействиях, но не в сильном. Примеры: электрон, мюон, нейтрино.

2. Адроны – участвуют в сильном взаимодействии (и, следовательно, во всех остальных). Делятся на барионы (протон, нейтрон, гипероны) и мезоны (пионы, каоны).

3. Частицы-переносчики взаимодействий (калибровочные бозоны): фотон (электромагнитное), W и Z-бозоны (слабое), глюоны (сильное), гипотетический гравитон (гравитационное).

Вопрос 20. В опыте по определению постоянной Планка используется вольфрамовая пластина. Красная граница фотоэффекта для вольфрама 230 нм. Чему равна работа выхода в электронвольтах? ($hc = 1240$ эВ·нм). Ответ округлить до десятых.

Ответ: 5,4 эВ.

Вопрос 21. Назовите четыре фундаментальных взаимодействия в порядке убывания их интенсивности. Каков радиус действия сильного и слабого взаимодействий?

Ответ: По убыванию интенсивности: сильное (ядерное), электромагнитное, слабое, гравитационное. Сильное взаимодействие действует на расстояниях порядка 10^{-15} м (размер ядра). Слабое взаимодействие – крайне короткодействующее, его радиус около 10^{-18} м (обратная величина массы W-бозона). Электромагнитное и гравитационное взаимодействия имеют бесконечный радиус действия (убывают по закону $1/r^2$).

Вопрос 22. Период полураспада некоторого радиоактивного изотопа составляет 1 час. Какая доля первоначального количества ядер останется через 3 часа?

A) 1/2
B) 1/4
C) 1/8
D) 3/4

Ответ: C

Вопрос 23. Сформулируйте правила смещения (правила Содди) для α-распада и β^--распада. На какой элемент превращается уран-238 после α-распада?

Ответ: При α-распаде массовое число уменьшается на 4, зарядовое – на 2. При β^--распаде массовое число не меняется, зарядовое увеличивается на 1 (нейтрон превращается в протон, излучая электрон и антинейтрино).

Вопрос 24. Что такое внутренняя конверсия? Чем она отличается от гамма-излучения?

Ответ: Внутренняя конверсия – процесс, при котором возбуждённое ядро передаёт энергию непосредственно одному из атомных электронов (обычно с K-оболочки), который вылетает из атома. При этом гамма-квант не испускается. В отличие от гамма-излучения, где энергия уносится фотоном, при внутренней конверсии появляется быстрый электрон и характеристическое рентгеновское излучение (после заполнения вакансии). Оба процесса конкурируют, и их вероятности зависят от энергии перехода и заряда ядра.

Вопрос 25. Почему для осуществления цепной ядерной реакции на природном уране необходимо замедлять нейтроны?

Ответ: Природный уран состоит в основном из изотопа ^{238}U (99,3%) и лишь 0,7% ^{235}U. Деление ^{235}U эффективно происходит только на медленных (тепловых) нейтронах с энергией около 0,025 эВ. Быстрые нейтроны, возникающие при делении, с большей вероятностью захватываются ^{238}U без деления или рассеиваются. Замедлители (вода, графит) снижают энергию нейтронов до тепловой, увеличивая сечение деления ^{235}U и позволяя поддерживать самоподдерживающуюся цепную реакцию.

Вопрос 26. Коэффициент размножения нейтронов в реакторе на тепловых нейтронах равен 1,05. За какое количество поколений нейтронов их число увеличится в 2 раза? (Принять, что каждое поколение длится 10^{-3} с. Ответ дайте в секундах с точностью до десятых.

Ответ: 0,014 с

Вопрос 27. Какие два основных процесса обеспечивают выделение энергии на Солнце? Почему для термоядерного синтеза необходима высокая температура?

Ответ: На Солнце идут протон-протонный цикл (превращение водорода в гелий) и, в меньшей степени, CNO-цикл. Основной источник энергии – слияние четырёх протонов в ядро гелия-4 с выделением около 26,7 МэВ. Высокая температура (около 15 миллионов кельвин в центре Солнца) необходима для преодоления кулоновского барьера между положительно заряженными ядрами. При тепловом движении лишь небольшая часть частиц имеет достаточно высокую энергию, чтобы сблизиться на расстояние действия ядерных сил и прореагировать.

Вопрос 28. Как изменится энергия Ферми в металле при повышении температуры?
A) Увеличится пропорционально T
B) Уменьшится пропорционально T^2
C) Практически не изменится
D) Станет равной нулю
Ответ: C

Вопрос 29. Поясните физический смысл сверхпроводимости. В чём состоит эффект Мейснера?

Ответ: Сверхпроводимость – это состояние некоторых материалов при низких температурах, в котором их электрическое сопротивление становится точно равным нулю, а также наблюдается выталкивание магнитного поля из объёма образца. Эффект Мейснера заключается в том, что сверхпроводник, помещённый в слабое магнитное поле, выталкивает его из своего объёма (становится идеальным диамагнетиком), независимо от того, охлаждён ли он в поле или поле приложено после охлаждения. Это отличает сверхпроводник от идеального проводника и является фундаментальным свойством сверхпроводящего состояния.

Вопрос 30. Что такое плазма? Назовите её основные параметры и приведите примеры естественной и искусственной плазмы.

Ответ: Плазма – это частично или полностью ионизованный газ, в котором суммарный положительный и отрицательный заряды примерно равны (квазинейтральность). Основные параметры: степень ионизации, концентрация заряженных частиц, температура электронов и ионов, дебаевский радиус экранирования, плазменная частота. Примеры естественной плазмы: ионосфера Земли, солнечный ветер, межзвёздный газ, вещество звёзд (включая Солнце). Искусственная плазма: газовый разряд (неоновая лампа, искра), плазма в термоядерных установках (токамак), плазменные горелки.

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Факультет _____

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Физика»

---

1. Волновые свойства корпускул. Формула Вульфа-Брэгга. Эффект Рамзауэра-Таунсенда
2. Молекулы. Виды связей в молекулах. Молекулярные спектры.

Утверждаю: зав. кафедрой ОФ _____ _____

(подпись) (дата)

Вопросы к экзамену по дисциплине «Физика»

1. Волновые свойства корпускул. Формула Вульфа-Брэгга. Эффект Рамзауэра-Таунсенда.
2. Волны де Бройля. Уравнения де Бройля. Плоские волны. Фазовая и групповая скорости. Уравнение Гельмгольца для волн де Бройля.
3. Условие одновременной измеримости различных динамических переменных. Соотношение неопределенностей. Соотношение неопределенностей между произвольными физическими величинами.

4. Дискретность атомных состояний. Коэффициенты Эйнштейна. Формула Планка. Опыты Франца-Герца. Атомные и молекулярные спектры. Экспериментальные закономерности в линейчатых спектрах. Комбинационный принцип Ритца.
5. Ядерная модель атома. Формула Резерфорда. Опыты Резерфорда. Постулаты Бора. Правила квантования. Водородоподобный атом.
6. Уравнение Шредингера. Свойства волновых функций. Собственные функции и собственные значения. Ортогональность собственных функций. Уравнение Шредингера, зависящее от времени. Принцип суперпозиции состояний.
7. Описание физических величин в классической физике. Описание физических величин в квантовой механике. Определение оператора. Линейные операторы. Сумма и произведение операторов. Коммутирующие и антикоммутирующие операторы. Собственные значения и собственные функции линейных операторов. Линейные самосопряженные (эрмитовы) операторы. Условие самосопряженности произведения двух самосопряженных операторов.
8. Постулаты квантовой механики. Вычисление средних значений динамических переменных. Оператор координаты. Оператор импульса. Оператор Гамильтона. Оператор момента импульса. Оператор полной энергии.
9. Стационарное уравнение Шредингера. Свободное движение частицы. Нормировка на длину периодичности. Непрерывный спектр.
10. Частица в одномерной потенциальной яме. Одномерная яма конечной глубины. Линейный осциллятор. Движение в поле центральной силы. Квантовый ротатор.
11. Прохождение микрочастиц через потенциальный барьер. Потенциальный барьер произвольной формы.
12. Стационарные состояния атома водорода.
13. Источники атомного магнетизма. Орбитальный момент электрона по квантовой теории. Спин. Электронные конфигурации и идеальная схема заполнения оболочек. Принцип Паули. Принцип минимума энергии. Правило Хунда. Химические связи.
14. Элементы физики атомного ядра. Атомное ядро. Состав атомных ядер. Описание атомного ядра. Изотопы, изобары, изотоны (примеры нуклидов). Энергия связи ядра. Дефект массы ядра. Удельная энергия связи. Спин ядра и его магнитный момент. Квантование. Ядерный магнетон. Ядерный магнитный резонанс. Основные свойства ядерных сил. Модели атомного ядра.

15. Космическое излучение. Первичное космическое излучение. Вторичное космическое излучение. Мягкий компонент. Жесткий компонент. Электронно-позитронно-фотонный (каскадный) ливень.
16. Мюоны и их свойства. Схемы распада мюонов. Мезоны и их свойства. Схемы распада π-мезонов. Возможные схемы распада каонов. Частицы и античастицы. Принцип зарядового сопряжения. Симметрия между частицами и античастицами. Аннигиляция. Истинно нейтральные частицы.
17. Лептоны и их свойства. Семейство лептонов. Лептонное число. Закон сохранения лептонного числа. Следствие закона сохранения лептонного числа. Нейтрино и антинейтрино. Спиральность. Отличие нейтрино и антинейтрино. Масса нейтрино и спиральность.
18. Адроны и их свойства. Адроны. Барионное число. Мезоны. Барионы. Закон сохранения барионного числа. Следствие закона сохранения барионного числа. Изотопические мультиплеты. Изотопический спин. Закон сохранения изотопического спина. Гипероны. Типы гиперонов. Странность. Закон сохранения странности. Следствия закона сохранения странности. Четность. Закон сохранения четности.
19. Законы сохранения при различных взаимодействиях. Классификация элементарных частиц. Три группы элементарных частиц. Понятие о кварках. Кварки. Спин кварков. Необычность некоторых свойств кварков. Свойства кварков. Построение некоторых барионов и мезонов из кварков. Квантовые числа для протона и нейтрона.
20. Взаимодействие γ-излучения с веществом. Фотоэлектронное поглощение γ-излучения. Комптоновское рассеяние. Образование электрон-позитронных пар. Воздействие ионизирующего излучения на вещество. Поглощенная доза излучения. Экспозиционная доза излучения. Биологическая доза. Мощность дозы излучения. Методы наблюдения радиоактивных излучений и частиц. Основные типы приборов, применяемых для регистрации радиоактивных излучений и частиц.
21. Фундаментальные взаимодействия в природе. Типы взаимодействия элементарных частиц. Свойства фундаментальных взаимодействий.
22. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Радиоактивное излучение и его виды. Отклонение радиоактивного излучения в магнитном поле. Естественная радиоактивность. Искусственная радиоактивность. Радиоактивный распад. Постоянная радиоактивного распада. Закон

радиоактивного распада. Период полураспада ($T_{1/2}$). Среднее время жизни радиоактивного ядра.

23. Активность нуклида. Правила смещения. Радиоактивные семейства. Правила смещения для α-, β- распадов. Материнское ядро. Правила смещения. Законы сохранения зарядового и массового чисел. Правила смещения как следствия законов сохранения зарядового и массового чисел. Радиоактивные семейства. Радиоактивное семейство урана-235.
24. Закономерности радиоактивных распадов. Описание α-распада. Закон Гейгера-Нэтолла. Квантово-механическое объяснение α-распада. Три типа β-распада. Особенности β-распада. γ-излучение. γ-спектр. Внутренняя конверсия.
25. Классификация ядерных реакций. Ядерные реакции под действием нейтронов. Реакции деления ядра. Нейтроны деления. Мгновенные нейтроны. Запаздывающие нейтроны. Пример деления ядра $^{235}_{92}U$.
26. Выделение энергии при делении тяжелых ядер. Энергия активации. Цепная ядерная реакция. Коэффициент размножения (k). Необходимое условие для развития цепной реакции. Классификация цепных ядерных реакций. Критические размеры. Критическая масса. Возможный процесс воспроизводства ядерного горючего.
27. Реакции синтеза атомных ядер. Примеры реакций синтеза (энерговыделение). Возможные способы протекания термоядерных реакций на Солнце.