**1.Основные этапы развития физики ядра и элементарных частиц.Опыт Резерфорда по рассеянию а-частиц.Размеры ядер.**

Ядерная физика изучает структуру атомных ядер, свойства ядерник сил, законы изменения и превращения ядер при распаде и ядерных реакциях, взаимодействие ядерного излучения с веществом и элементарные частицы. Ее предыстория начинается в 1896 г., когда французский ученый Беккерель открыл, что соединения урана, независимо от их химического строения, самопроизвольно испускают лучи высокой проникающей способности. Тот же эффект наблюдался у открытого вскоре супругами Кюри элемента — радия. Исследуя характер отклонения этих лучей в магнитном поле, Резерфорд показал, что они состоят из трех различных компонент: а-лучей — потока положительно заряженных частиц; β-лучей— потока частиц, заряженных отрицательно, и γ-лучей, не отклоняющихся в магнитном поле. Изучая рассеяние а-частиц в веществе, Резерфорд пришел к выводу, что в атоме, имеющем, размеры порядка 10^-8 см, а масса сосредоточена в небольшой положительно заряженной сердцевине — в атомном ядре, поперечник которого имеет величину порядка всего 10^-12 см, т. е. во много раз меньше размеров всего атома. На основании этих опытов в 1911 г. Резерфорд предложил ядерную модель.. По этой ядерной модели атом состоит из тяжелого положительно заряженного ядра и в тысячи раз более легкой оболочки, образованной электронами. Электроны вращаются вокруг ядра и удерживаются вблизи него электрическими силами на расстояниях, которыми и определяется размер всего атома. Так как атомы электрически нейтральны, то атомный номер Z, определяющий заряд ядра и химические свойства элементов, равен числу электронов внешней оболочки. **Атомное ядро**-центральная массивная часть атома, вокруг которой по квантовым орбитам обращаются электроны. Масса Я. а. примерно в 4·10^3 раз больше массы всех входящих в состав атома электронов. Размер Я. а. очень мал (10^-12—10^-13см), что приблизительно в 105 раз меньше диаметра всего атома. Электрический заряд положителен и по абсолютной величине равен сумме зарядов атомных электронов (т. к. атом в целом электрически нейтрален).

**48.Универсальность слабого взаимодействия. Заряженные и нейтральные токи. Переносчики слабого взаимодействия - промежуточные бозоны. Понятие о полевой теории слабых взаимодействий.**

Переносчиками слабого взаимодействия являются промежуточные векторные бозоны. Их известно 3 вида: W–, W+, Z0. Эти частицы имеют очень большие массы: mW≈85mp, mZ≈96mp, где mp – масса протона.

В 1983 г. существование промежуточных векторных бозонов было экспериментально подтверждено. Известно, что основным методом исследования в физике элементарных частиц является метод рассеяния, т.е. столкновение различных частиц друг с другом, в результате которого рождаются новые частицы. В последнее время широко применяются коллайдеры – ускорители, в которых сталкиваются два пучка частиц с нулевым суммарным импульсом (частицы из разных пучков имеют равные по модулю, но противоположно направленные импульсы). Говорят, что процесс рассматривается в системе центра инерции сталкивающихся частиц. Рождающиеся в коллайдере новые частицы регистрируются различными детекторами.

**2.Ядро как система взаимодействующих протонов и нейтронов.Массаядра.Зарядядра.Форм-фактор ядра и нуклонов.**

Атомные ядра являются связанной системой взаимодействующих протонов и нейтронов. В атомном ядре проявляются три типа взаимодействий. 1)Сильные взаимодействия между нуклонами приводят к образованию связанного состояния A нуклонов. 2)Электромагнитные взаимодействия приводят с одной стороны к расталкиванию между протонами, что ослабляет связь в атомном ядре, с другой стороны взаимодействие магнитных моментов нуклонов приводит к большому разнообразию ядерных состояний. 3)Слабое взаимодействие между нуклонами приводит к взаимным превращениям нейтронов и протонов в атомном ядре − явлению β-распада атомных ядер. Электрическое взаимодействие связывало атомное ядро и электроны атомных оболочек. Атомное ядро считалось состоящим из протонов и электронов. Факт вылета из ядра электронов при β-распаде считался несомненным доказательством того, что электроны находятся в ядре.   
    Ситуация изменилась, когда пришло понимание, что нейтрон является такой же элементарной частицей как и протон.  
    Было очевидно, что протон-нейтронную модель ядра по аналогии с моделью атома необходимо создавать на основе законов квантовой теории. Однако оставался открытым вопрос о том, какие силы связывают протоны и нейтроны в ядре. Изучение свойств ядерных сил стало центральной задачей ядерной физики. Было очевидно, что это силы не электрической природы, что они действуют на расстоянии меньше 10–12 см, что это силы притяжения, о чем свидетельствовало существование связанной системы – дейтрон, состоящей из протона и нейтрона. Дейтрон имеет размер ~2,3 фм и энергию связи 2,2 МэВ. Атомные ядра имеют радиусы от 2 до 8 фм. Энергия связи, приходящаяся на один нуклон для большинства атомных ядер, составляет от 5 до 9 МэВ. Ядерные силы, связывающие протоны и нейтроны в ядре в тысячи раз превосходят электромагнитные силы на расстояниях ядерных масштабов.  
    Возникло представление о новом типе взаимодействий – ядерном взаимодействии, которое связывает протоны и нейтроны в атомные ядра.  
Свойства ядерных сил, особенно на малых расстояниях, были неизвестны

***В*** ***состав атомного ядра*** ***входят элементарные частицы***: ***протоны*** и ***нейтроны***

Протон имеет положительный заряд е+=1,06·10–19 Кл и массу покоя *mp* = 1,673·10–27кг = 1836*me*.

Нейтрон (*n*) – нейтральная частица с массой покоя *mn* = 1,675·10–27кг = 1839*me*

***Заряд ядра*** равен *Ze*, где *e* – заряд протона, *Z– зарядовое число*, равное *порядковому номеру* химического элемента в периодической системе элементов Менделеева, т.е. числу протонов в ядре. Число нейтронов в ядре обозначается *N*. Как правило *Z* > *N*.

***Форм-фактор*** - функция, характеризующая распределение электрического заряда (электрический Ф.) или магнитного момента (магнитный Ф.) внутри какой-либо микросистемы (атома, атомного ядра) или элементарной частицы.Форм-фактор ядра – в основном определяется распределением нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре.

***3.*Изотопы.Изобары.Спин и магнитный момент ядра.Изотопический спин ядра.**

***Изотопы*** -  разновидности [атомов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) (и [ядер](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE)) какого-либо [химического элемента](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82), которые имеют одинаковый атомный номер, но при этом разные массовые числа. Все изотопы одного элемента имеют одинаковый заряд ядра, отличаясь лишь числом нейтронов. Обычно изотоп обозначается символом химического элемента, к которому он относится, с добавлением верхнего левого индекса, означающего массовое число (например, [12C](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4-12), [222Rn](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%BE%D0%BD-222)) (например, углерод-12, радон-222). Пример изотопов: 168O, 178O, 188O — три стабильных изотопа кислорода.

***Изобары*** - [нуклиды](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%B8%D0%B4%D1%8B) разных элементов, имеющие одинаковое [массовое число](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE); например, изобарами являются [40Ar](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%90%D1%80%D0%B3%D0%BE%D0%BD-40&action=edit&redlink=1), [40K](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B9-40), [40Ca](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%86%D0%B8%D0%B9-40&action=edit&redlink=1).

Хотя массовое число (т. е. число [нуклонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D1%83%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%BD)) *A* = *N* + *Z* в ядрах-изобарах одинаково, числа [протонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) *Z* и [нейтронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) *N* различаются:

Zне равноZ2, N1не равноN2.

***Спин*** – наз. также собственный момент импульса атомного ядра или атома. Спин ядра J складывается из спиновых s1*-* sAи орбитальных l1*-* lAмоментов отдельных нуклонов:vec_J = vec_s1 + vec_s2 +... + vec_sА  + vec_l1 + vec_l2 + ... + vec_lА = vec_j1 + vec_j2 + ... + vec_jА.

Атомное ядро в каждом состоянии характеризуется *полным моментом количества движения*J, который в системе покоя ядра называется **спином ядра.** Для спинов атомных ядер экспериментально установлены следующие закономерности: **1)**если A – чётное, то J = n (n = 0, 1, 2, 3,...), т.е. спин ядра имеет целочисленное значение; **2)**если A – нечётное, то J = n + 1/2, т.е. спин ядра имеет полуцелое значение;**3)**чётно-чётные ядра в основном состоянии имеют значение спина J= 0, что указывает на взаимную компенсацию моментов нуклонов в основном состоянии ядра – особое свойство межнуклонного взаимодействия.   
    Магнитный момент ядра связан с его механическим моментом следующим соотношением:aneq1_07**Магнитный момент ядра — это векторная величина, характеризующая магнитные свойства вещества**

\Large \vec\mu =\gamma \vec p=\gamma\hbar \vec I   \mu  — Магнитный момент ядраp  — Собственный момент количества движения ядра\gamma  — [Гиромагнитное отношение](http://frutmrut.ru/magnitomexanicheskoe-otnoshenie/)\hbar  — [Постоянная Дирака](http://frutmrut.ru/postoyannaya-diraka/) I — Спин ядра ***Изотопи́ческий спин*** (изоспи́н) — одна из внутренних характеристик ([квантовое число](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%BE)), определяющая число зарядовых состояний [адронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BD). В частности, [протон](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) и [нейтрон](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) различаются значением проекции изоспина, тогда как абсолютные значения их изоспинаодинаковы.Когда проекция изотопического спина *Iz* равна +1/2, то нуклон становится протоном, а когда −1/2 — нейтроном.

**4.Энергия связи ядра.Полуэмпирическая ф-ла Вайцзеккера для энергии связи.**

Энергия связи ядра Eсв(A,Z) это минимальная энергия, необходимая, чтобы развалить ядро на отдельные, составляющие его нуклоны.

Есв(A, Z) = [Zmp + (A - Z)mn - M(A, Z)]c2,

где Z - число протонов, (A - Z) - число нейтронов, mp - масса протона, mn - масса нейтрона, М(A,Z) - масса ядра с массовым числом А и зарядом Z.

Энергия связи ядра, выраженная через массу атома Mат, имеет вид:

Есв(A, Z) = [ZmH + (A - Z)mn - Mат(A, Z) - Zme)]c2 ,

где mH - масса атома водорода, me - масса электрона

В капельной модели ядро рассматривается как сферическая капля несжимаемой заряженной ядерной жидкости радиуса R = r0A1/3. То есть в энергии связи ядра учитываются объемная, поверхностная и кулоновская энергии. Дополнительно учитываются выходящие за рамки чисто капельных представлений энергия симметрии и энергия спаривания. В рамках этой модели можно получить полуэмпирическую формулу Вайцзеккера для энергии связи ядра.



Первое слагаемое в энергии связи ядра, подобного жидкой капле, пропорционально массовому числу A и описывает примерное постоянство удельной энергии связи ядер.

Второе слагаемое - поверхностная энергия ядра уменьшает полную энергию связи, так как нуклоны, находящиеся на поверхности имеют меньше связей, чем частицы внутри ядра. Это аналог поверхностного натяжения.

Третье слагаемое в энергии связи обусловлено кулоновским взаимодействием протонов. В капельной модели предполагается, что электрический заряд протонов равномерно распределен внутри сферы радиуса R = r0A1/3.

Четвертое слагаемое - энергия симметрии ядра отражает тенденцию к стабильности ядер с N = Z. Пятое слагаемое - энергия спаривания учитывает повышенную стабильность основных состояний ядер с четным числом протонов и/или нейтронов.

Формула Вайцзеккера позволяет по известным A и Z вычислять энергию связи ядра с погрешностью ~10 МэВ.

**49.Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Модель Вайнберга-Саламаэлектрослабого взаимодействия.**

Электромагнитное и слабое взаимодействия объединяются при энергиях порядка 102 ГэВ, что соответствует температуре 1015 К.

Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия было предсказано в 1960-х гг. В 1967 г. С. Вайнберг, Ш. Глэшоу и А. Салам показали, что электромагнитное и слабое взаимодействия представляют собой одно и то же взаимодействие (электрослабое). Теория вводит дополнительные частицы (два разнозаряженных бозона W + и W-, а также нейтральный бозон Z °) и новое поле особого типа (скалярное поле Хиггса). При появлении последнего промежуточные W- и Z -мезоны становятся очень тяжелыми (масса порядка 90 ГэВ), что делает радиус действия слабых сил очень маленьким (10-16см). В 1983 г. объединение электромагнитного и слабого взаимодействия было подтверждено экспериментально на ускорителе в ЦЕРН (Европейском центре ядерных исследований в Женеве) открытием частиц W и Z, которые ответственны за слабое взаимодействие.

Объединение электромагнитного и слабого взаимодействия характеризует их единство и взаимодополнительность.

**5.Статические мультипольные моменты ядер.Электрический квадрупольный момент ядра**.

Электрический квадрупольный момент.

Электрический квадрупольный момент служит мерой отклонения распределения электрического заряда ядра от сферической симметрии. Количественно он определяется как ***Q=Z(3z^2-r^2)*** при условии, что проекция спина ядра максимальна вдоль оси *z* прямоугольной системы координат, начало которой совпадает с центром ядра. В этом выражении *Z*– заряд ядра, или его атомный номер, *z* – координата протона в ядре, *r* – расстояние от протона до центра ядра, а черта над выражением в скобках означает усреднение плотности заряда по всему ядру. Можно показать, что в сферически симметричном случае *Q* = 0.

**Мультипол**и (от лат. multum — много и греч. πόλος — полюс) — определённые конфигурации точечных источников (зарядов). Простейшими примерами мультиполя служат точечный заряд — мультиполь нулевого порядка; два противоположных по знаку заряда, равных по абсолютной величине — диполь.

**6.Квантовомеханическое описание ядерных состояний.Четностьвлновой ф-ии.Св-ва симметрии волновых ф-ий.Бозоны и фермионы.Принцип Паули.**

**Чётность.**характеризует свойства симметрии ядер, ну и любых физических систем по отношению к зеркальным отображениям.

, , ;, . возьмём . Пусть  будет чётной , она является решением уравнения Шредингера с чётным *H*: , чётность волновой функции должна сохраняться в любой момент времени (если взаимодействие слабое, то нарушается закон чётности). (чётная), (нечётная) – по отношению к операции инверсии.

***СИММЕТРИЯ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ***

зависимость волновой функции системы *тождественных частиц* от перестановки местами пары таких частиц. При перестановке частиц с целым спином не изменяется (симметрична) , а с полуцелым спином меняет знак (антисимметрична).

**Фермио́н** — частица (или [квазичастица](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%B7%D0%B8%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0)) с полуцелым значением [спина](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D0%BD).

Примеры фермионов: [кварки](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BA) (они образуют [протоны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD) и [нейтроны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), которые также являются фермионами), [лептоны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%BD) (электроны, мюоны,нейтрино),

Фермионы подчиняются [статистике Ферми — Дирака](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8_%E2%80%94_%D0%94%D0%B8%D1%80%D0%B0%D0%BA%D0%B0): в одном [квантовом состоянии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5) может находиться не более одной частицы ([принцип Паули](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF_%D0%9F%D0%B0%D1%83%D0%BB%D0%B8))

**Бозоны**, -частица с целым значением [спина](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D0%BD" \o "Спин).В отличие от [фермионов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BE%D0%BD), бозоны подчиняются [статистике Бозе — Эйнштейна](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%91%D0%BE%D0%B7%D0%B5_%E2%80%94_%D0%AD%D0%B9%D0%BD%D1%88%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B0), которая допускает, чтобы в одном [квантовом состоянии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5) могло находиться неограниченное количество одинаковых частиц.

**При́нципПа́ули**(принцип запрета) — один из фундаментальных принципов [квантовой механики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0), согласно которому два и более тождественных[фермиона](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BE%D0%BD) (частиц с полуцелым спином) не могут одновременно находиться в одном [квантовом состоянии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5).

**7.Основныехар-ки дейтрона**.

**Дейтрон** - ядро, состоящее из одного протона и одного нейтрона. Изучая свойства этой простейшей ядерной системы (энергию связи дейтрона, спин, магнитный и квадрупольный моменты) можно подобрать потенциал, описывающий свойства нуклон-нуклонного взаимодействия.

Характеристики дейтрона:

Масса 1875.6 МэВ/c2

Энергия связи 2.224 МэВ

Спин 1

Четность +

Магнитный момент 0.85742μN

Электрический квадрупольный момент 0.282 Фм2

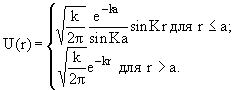
**Магнитный момент дейтрона** в S-состянии μ(S) = 0.8796μN, близок к экспериментальному значению.

Различие можно объяснить небольшой примесью D-состояния (L = 1 + 1) в волновой функции дейтрона. Магнитный момент в D-состоянии μ(D) = 0.1204μN. Примесь D-состояния составляет 0.03. Положительный квадрупольный момент дейтрона (вытянутый эллипсоид) соответствует притяжению нуклонов, сплюснутый эллипсоид - отталкиванию.

Описание: s012_1.gif Описание: s012_2.gif

**Волновая функция дейтрона ψ(r) имеет вид**

**ψ(r) = U(r)/r**

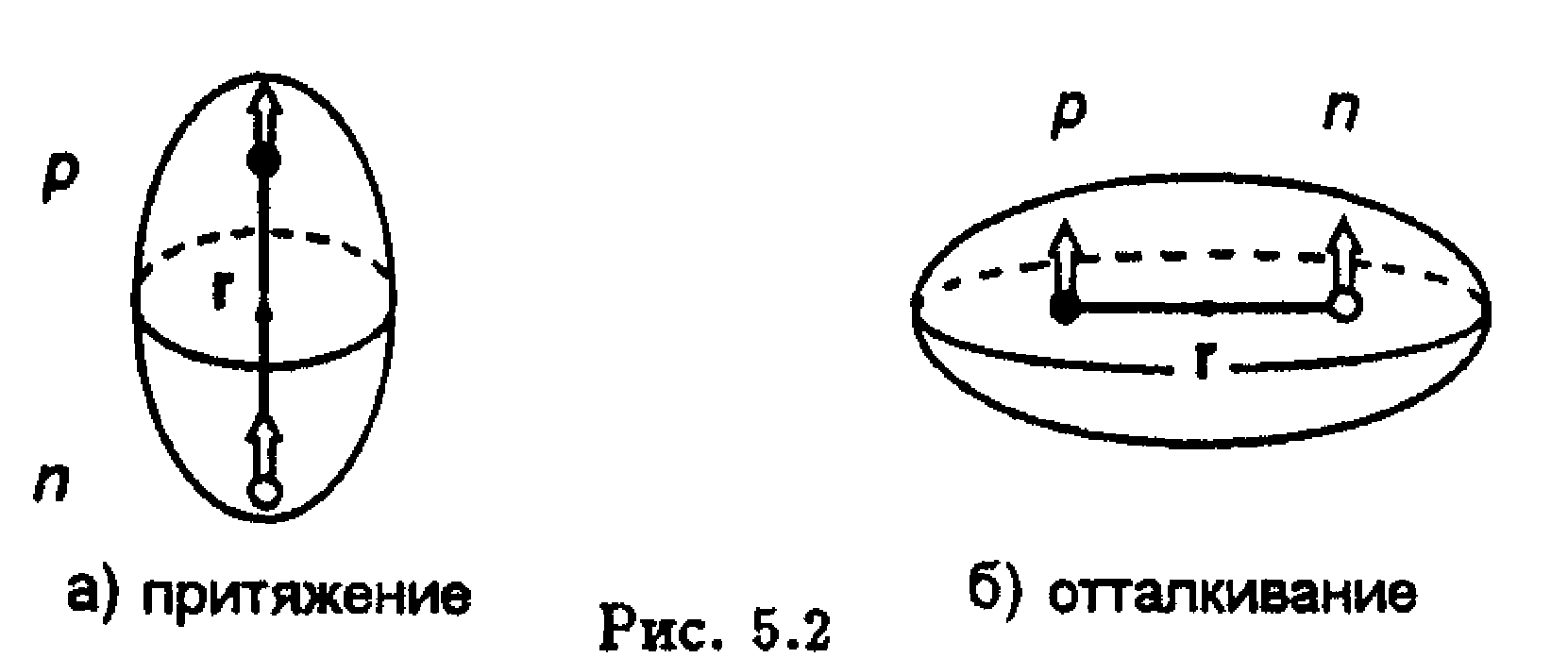


**40.Экспериментальные методы в физике высоких энергий. Понятие о современных методах получения пучков высоких энергий. Накопители частиц. Встречные пучки.**

Встречные пучки - экспериментальный метод исследования элементарных частиц, в к-ром два пучка заряж. частиц, ускоренных до заданной энергии, движутся навстречу друг другу, взаимодействуя на участке встречи. В традиц. варианте для осуществления метода используются накопители заряж. частиц. Самое важное преимущество метода В. п.- достижение энергии реакции, недоступной ускорителям с неподвижной мишенью. Макс. энергия реакции при столкновении встречных частиц с одинаковыми значениями импульсов равна сумме энергий обеих частиц:

Накопители заряженных частиц накопительные кольца, элемент ускорителей заряженных частиц со встречными пучками. В современных ускорителях обычно интенсивность ускоренных частиц в одном импульсе составляет 1012—1013 частиц, что не обеспечивает необходимой эффективности для физического эксперимента со встречными пучками. Поэтому перед столкновением пучков частицы десятков и сотен импульсов ускорителя накапливаются в специальных накопительных кольцах. Накопительное кольцо состоит из постоянного (или квазипостоянного) магнита, кольцевой вакуумной камеры, устройства для инжекции и перемещения по камере пучка частиц и ускоряющего промежутка. В некоторых вариантах Н. з. ч. совмещены с основным ускорителем.

**8.Тензорный характер ядерных сил.**

Ядерные силы обеспечивают притяжение — это следует из самого факта существования стабильных ядер, состоящих из протонов и нейтронов. 1.Ядерные силы велики по абсолютной величине. Их действие на малых расстояниях значительно превосходит действие всех известных в природе сил, в том числе и электромагнитныхю Ядерные силы обеспечивают существование ядер.2. Ядерные силы короткодействующие.3. Ядерные силы не зависят от электрических зарядов взаимодействующих частиц.4. Ядерные силы зависят от спина.5. Ядерные силы нецентральны(т.е.не обладают сферич.симметрией)-это тензорные силы.Они зависят от угла соедин.2 нуклона и вектор их суммарного спина 

Ядерные силы обладают свойством насыщения. свойство насыщения ядерных сил проявляется в том, что энергия связи ядра пропорциональна числу нуклонов в ядре— А, а не A^2.7. Ядерные силы имеют обменный характер. Впервые обменный характер был установлен у сил химической связи: связь образуется в результате перехода электронов от одного атома к другому. Обменное свойство ядерных сил проявляется в том, что при столкновении нуклоны могут передавать друг другу такие свои характеристики, как заряд, проекции спинов и другие.

**9.Зарядовая независимость ядерных сил.Обменныйхар-р ядерных сил.**

**Зарядовая независимость ядерных сил** (изотопическая инвариантность) — независимость фундаментального сильного взаимодействия от электрического (кулоновского) заряда частиц внутри одного изотопического мультиплета (например, дуплета из протона и нейтрона, когда они находятся в ядре атома и называются в этом случае нуклонами; изотопического триплета пи-мезонов и т. д.).

Ядерные силы обладают свойством *зарядовой независимости*, выражающимся в том, что величина ядерных сил не зависит от электрического заряда взаимодействующих [**нуклонов**](http://ckto.narod.ru/fromPhizics/APhysics/5_5_1.htm).

**Обменные силы**Явление насыщения и короткодействующий характер ядер-ных сил впервые были объяснены на основе предположения об обменном характере ядерных сил, т. е. что эти силы возникают между двумя частицами благодаря обмену третьей частицей. Такой частицей в случае взаимодействия нуклонов является, по-видимому, мезон. Если состояние двух взаимодействующих нуклонов зависит от их пространственных r1, r2 и спиновых s1, s2 координат, то подобный обмен может осуществляться тремя различными способами.1) Нуклоны могут обмениваться пространственными координатами, сохраняя неизменными спиновые переменные. Эта возможность была рассмотрена Майорана. Силы, возникающие при таком взаимодействии, получили название сил Майорана.2) Возможен обмен нуклонов спиновыми переменными при неизменных пространственных координатах. Этот вариант был рассмотрен Бартлеттом. Силы взаимодействия нуклонов при таком обмене получили название сил Бартлетта.3) Возможен одновременный обмен спиновыми и простран-ственными координатами. Возникающие при этом обменные силы известны под названием сил Гейзенберга.**Насыщение ядерных сил**Явление насыщения ядерных сил свидетельствует о том, что каждый нуклон, входящий в состав сложного ядра, взаимодейетвует с ограниченным числом частиц. В противном случае, т. е., если бы каждый нуклон взаимодействовал со всеми нуклонами в ядре, энергия связи, как уже отмечалось, была бы пропорциональной числу взаимодействующих пар нуклонов А (А -- 1)/2. Используя вариационный принцип, можно показать, что, независимо от формы потенциальной функции, обычные короткодействующие силы притяжения не могут привести к насыщению . По-видимому, насыщение может возникнуть в том случае, когда ядерные силы, являющиеся силами притяжения, на малых расстояниях переходят в силы отталкивания, что соответствует конечным размерам нуклонов.

**39.Космическое излучение. Первичное космическое излучение. Прохождение космического излучения через атмосферу. Гипотезы происхождения космических лучей.**

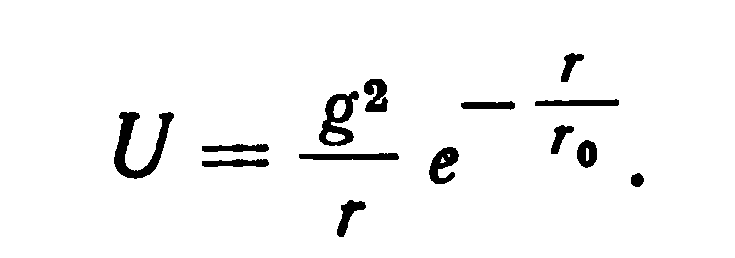
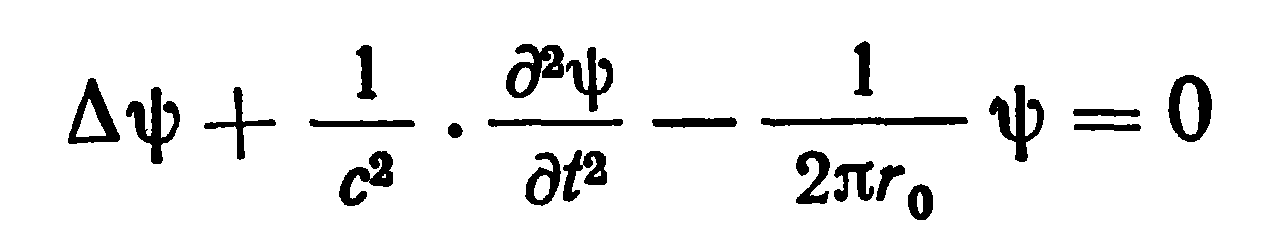
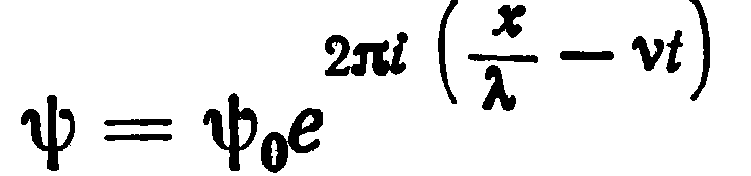
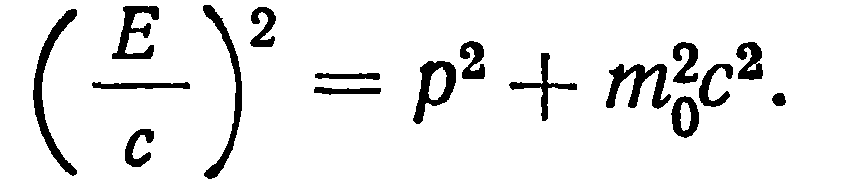
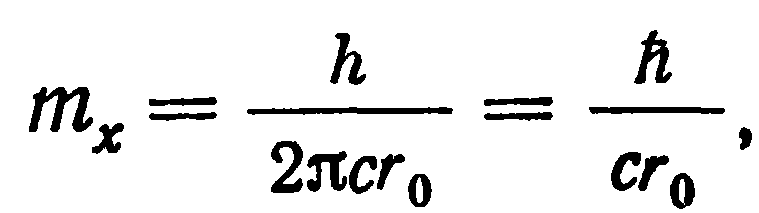
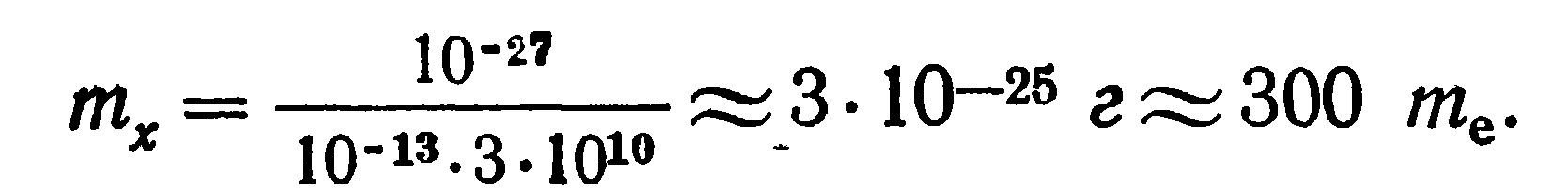
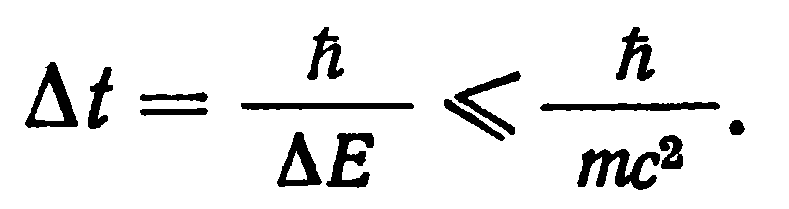
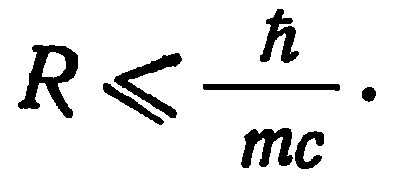
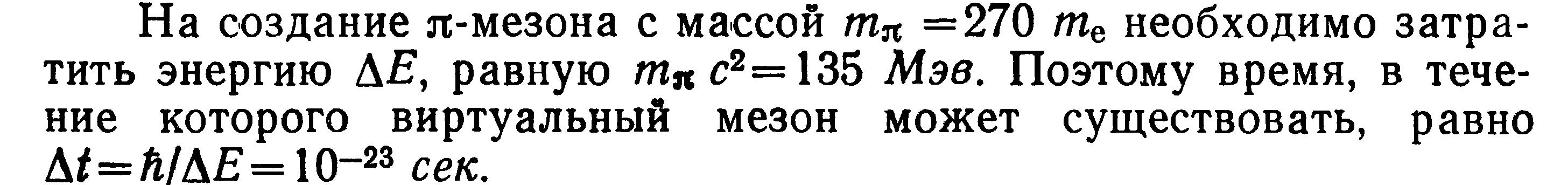
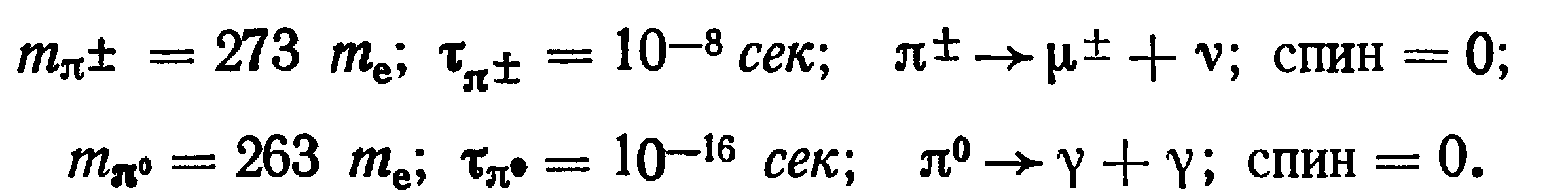
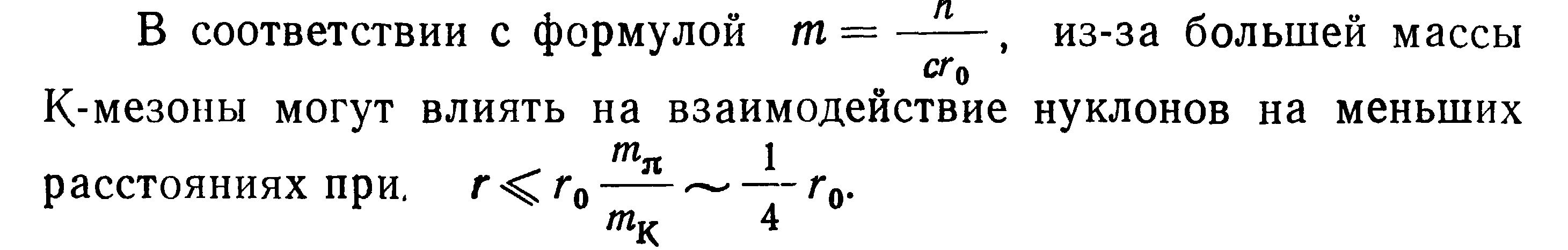
Космическое излучение-это ионизирующее излучение, непрерывно падающее на поверхность Земли из мирового пространства и образующееся в земной атмосфере в результате взаимодействия излучения с атомами воздуха. Различают первичное и вторичное космическое излучение. Первичное космическое излучение представляет собой поток элементарных частиц, которые приходят на земную поверхность из разных областей всемирного пространства. Оно образуется вследствие извержения и испарения материи с поверхности звезд и туманностей космического пространства. Первичное космическое излучение отличается большой проникающей способностью. Космические излучения подразделяются по происхождению на внегалактические, галактические и солнечные.

При взаимодействии космических частиц с атомами элементов, находящихся в атмосфере возникает вторичное космическое излучение. Оно состоит из мезонов, электронов, позитронов, протонов, нейтронов, гамма- квантов, т.е. из практически всех известных в настоящее время частиц.

Первичные космические лучи, врываясь в атмосферу, постепенно теряют свою энергию, растрачивая ее на многочисленные столкновения с ядрами атомов воздуха. Получаемые осколки, приобретая часть энергии первичной частицы, сами становятся факторами ионизации, разрушают и ионизируют другие атомы газов воздуха, т.е. превращаются в частицы вторичного космического излучения.

Вторичное космическое излучение возникает в результате электронно-фотонных и электронно-ядерных взаимодействий. При электронно-фотонном процессе заряженная частица взаимодействует с полем ядра атома, рождая фотоны, которые образуют пары электронов и позитронов. Эти частицы, в свою очередь, вызывают возникновение новых фотонов. Электронно-ядерный процесс обусловлен взаимодействием первичных частиц, с ядрами атомов воздушной среды. При этом взаимодействии возникает ряд новых частиц – мезонов, протонов, нейтронов.

**10.Мезонная теория ядерных сил**.

Юкава предположил, что нуклоны являются носителями некоторых «мезонных» зарядов — g,создающих мезонное поле (т. е. поле действия ядерных сил). Поскольку радиус действия ядерных сил (г0) очень мал, потенциал поля нуклонов должен уменьшаться с расстоянием быстрее, чем потенциал электромагнитного поля. Например, согласно Юкава, он может следовать законуПодобно тому как электрические заряды при неравномерных движениях излучают электромагнитные волны, мезонные заряды могут при некоторых условиях излучать мезокные волны. Но закон распространения этих волн должен быть другим, так как в него необходимо ввести зависимость от r0. уравнение мезонного поля следует записать в несколько ином видеВместе с тем волна может быть решением такого уравнения только, если , v и г0 связаны соотношением (1) Поскольку известно, что E = hv и p = h/, то, подставив в фор-мулу (1) значение v и 1, выраженные через энергию и импульс частицы, получим энергия и импульс частицы связаны с ее массой таким образом: Сопоставляя две последние формулы, Юкава пришел к выводу, что должны существовать частицы, масса покоя которых связана с радиусом действия ядерных сил соотношением откудаСледовательно, частицы должны обладать массой, промежуточной Между массами электрона и протона, откуда и произошло название «мезон» (по-гречески «мезо» означает промежуточный). Полная энергия покоящегося нуклона массы М равна М, если он «испускает» мезон с массой m, то их полная энергия (без учета кинетической энергии) должна быть равна М+m. Таким образом, неопределенность величины полной энергии Е в данном случае Еm. Но из соотношения неопределенностей известно, что чем больше , тем меньше время , допустимое для состояния перехода.  Следовательно, мезон может существовать только в течение этого короткого времени t. За это время частица, двигаясь даже со скоростью света, сможет пройти лишь путь R = ct. Следовательно , Мезоны, которые не могут отойти от источника на расстояния, большие также называются виртуальными.  в 1947 г. Пауэлл с сотрудниками открыли в космических лучах новую частицу: П-мезон уже с другими характеристиками: взаимодействиях. При (n, р) взаимодействиях происходит обмен мезонами и П°-мезонами, а при (р, р) и (n, n) взаимодействиях главным образом обмен только П°-мезонами. Отдельные свободные я-мезоны могут быть обнаружены, если они образуются не виртуально, а реально, и распространяются от места образования на расстояние, превышающее радиус действия ядерных сил. Для этого нужно, чтобы нуклоны обладали большой кинетической энергией (Т>), часть которой может перейти в массу покоя рождающейся частицы. В космических лучах П-мезоны рождаются в результате столкновения протонов высоких энергий с ядрами воздуха. Их получают также при работе с ускорителями, направляя, например, пучок ускоренных до высоких энергий протонов на различные мишени. Кроме Пмезонов сейчас изучена еще одна группа частиц, К-мезоны, с массами около 1000 Интересным свойством мезонов является то, что отрицательно заряженный П-мезон, замедленный в веществе, может быть захвачен ядром на разрешенные уровни энергии, аналогичные уровням электронов в атоме. Комбинация ядра и отрицательного мезона может существовать очень короткое время и называется мезоатомом.Мезон может поглотиться одним из нуклонов ядра, отдав ядру свою энергию покоя, спин, заряд и т. п. (из-за чего ядро может разрушиться). Для мезонов, предварительно захваченных в состояние мезоатома и находящихся вблизи ядра, вероятность такого поглощения особенно велика.

**11.Классификация моделей ядра.Капельная модель ядра.**

все ядра состоят из протонов и нейтронов, связанных между собой ядерными силами.использовании вычислительных машин. Наиболее эффективным методом получения сведений о ядерных силах в настоящее время является исследование столкновений между двумя нуклонами и изучение дейтона — связанной системы, состоящей только из протона и нейтрона. Однако и этих исследований пока недостаточно для ясного понимания законов действия ядерных сил. Это заставляет прибегать к построению гипотетических моделей ядра. К настоящему времени предло-жено много моделей ядра, каждая из которых удовлетворительно объясняет лишь некоторые свойства ядер, но ни одна из них не может объяснить всю совокупность опытных фактов. Все существующие модели можно грубо разделить на два класса, являющиеся как бы приближением к действительности с разных сторон. Модели ядер с сильным взаимодействием. В этих моделях учитывается, что ядро является системой сильновзаимодействующих друг с другом частиц, связанных силами, действующими только на очень малых расстояниях. Свободный, пробег нуклона в ядре и радиус сил между двумя частицами г0 при этом малы по сравнению с размером ядра R и го. Движение нуклона в такой модели определяется не состоянием ядра как целого, а движением небольшого числа его соседей. К такому типу относятся модели: капельная, составного ядра, статистическая, модель из а-частиц и другие. Модели ядер из независимых частиц. В моделях этого класса предполагается, что движение нуклонов является совершенно несогласованным, они движутся практически независимо друг от друга в потенциальном поле, которое образовано суммарным средним действием всех нуклонов ядра (при этом R). К такому типу относятся модели оболочечная, модель Ферми-газа, модель потенциальной ямы и др. Кроме того, предложены обобщенная и оптическая модели, в которых делается попытка согласования некоторых противоположных допущений, положенных в основу моделей 1-го и 2-го классов.по модели независимых частиц, то нижние энергетические уровни его должны быть полностью заполнены, и согласно принципу Паули на эти уровни нельзя поместить другие идентичные частицы. При движении нуклона в ядре и столкновении его с другими нуклонами должно происходить перераспределение энергии между ними; в результате один из нуклонов должен перейти в более низкое энергетическое состояние, а это невозможно. В связи с этим можно считать нуклоны практически невзаимодействующими, а длину свободного пробега большой(при этом R). Если же рассматривать возбужденное ядро, энергия возбуж-дения которого больше средней энергии связи нуклона в ядре, то столкновения нуклонов внутри такого ядра становятся возможными, так как появляются свободные выше и ниже расположенные уровни и нуклоны могут переходить из одного состояния в другое. В этом случае можно считать длину свободного пробега меньшей размеров ядра. **Капельная модель ядра**. Кроме объяснения ряда свойств невозбужденных ядер, модель ядра в виде жидкой капли получила широкое применение в теории ядерных реакций. Капельная модель позволяет также наглядно объяснить очень важный процесс деления тяжелых ядер. Проникновение нуклона в ядро-каплю приводит к возникновению колебаний, в результате которых ядро деформируется. Силы кулоновского расталкивания протонов стремятся усилить деформацию, тогда как силы поверхностного натяжения, наоборот, — вернуть ядро в исходное состояние. Чем больше заряд ядра Z, тем значительнее роль кулоновских сил и тем легче ядро делится на два осколка. Капельная модель дает хорошее согласие с опытом при исследовании устойчивости основных состояний ядер по отношению к самопроизвольному делению. С другой стороны, вычисление возбужденных состояний ядер по данной модели дает слишком большие расстояния между уровнями.

**12.Физическое обоснование оболочечной структуры ядра.**

Тот факт, что ядра с определенным числом протонов и нейтронов как-то особо выделены, напри- мер по энергии связи, приводит к предположению, что ядро, как и атом, состоит из замкнутых оболочек с определенными периодическими свойствами. Сильным аргументом в пользу оболочечной структуры являются экспериментальные факты, которые показывают, что те ядра, в которых число протонов или нейтронов совпадает с одним из так называемых «магических» чисел (2, 8, 20, 50, 82, 126), выделяются своей высокой стабильностью. Это проявляется в ряде особенно-стей: а) энергии связи этих ядер имеют явно выраженные максимумы; б) ядра с «магическими» числами р или n наиболее распространены в природе; в) вероятность захвата нейтрона такими ядрами мала; г) квадрупольные моменты ядер с «магическим» числом нуклонов малы, что указывает на сферическую симметрию таких ядер; д) при делении урана образуются два неодинаковых осколка, причем особенно велика вероятность, что один из них содержит 50,а другой — 82 нейтрона. Таким образом, опытные факты дают основание предположить, что указанные выше числа нейтронов и протонов образуют в ядре особенно устойчивые замкнутые оболочки.положения, которые легли в основу оболочечной модели: 1. Считается, что нуклоны квазинезависимы и движутся в усредненном потенциальном поле ядра, создаваемом всеми остальными нуклонами ядра, и их движение может быть рассчитано в соответствии с законами квантовой механики. 2. Оболочки, обладающие повышенной устойчивостью, образуются 2, 8, 20, 50, 82 и 126 нейтронами или протонами (последняя цифра 126 относится только к нейтронам, так как нет ядер с таким числом протонов). Ядра, в которых число р и число п равно любому из магических чисел, обладают качествами, перечисленными выше. Сюда, например, относятся «дважды магические» ядра 

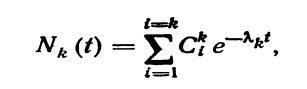
3. В ядре имеет место сильное взаимодействие между орбитальным механическим моментом l и его спином S. Говорят, что в ядре существует сильная спин-орбитальная связь. В результате этой связи уровень энергии нуклона для данного значения квантового числа l (за исключением l=0) расщепляется на два подуровня, характеризуемых значениями полного момента количества движения j, равными l+1/2 и l—1/2, которые соответствуют проекциям спинов +1/2 и-1/2 На каждом из этих подуровней может разместиться 2j+1) нейтронов и 2j+1) протонов. При постепенном заполнении уровней сначала заполняются уровни l+1/2 а затем уровни l—1/2 При сделанных предположениях о потенциальной яме разность энергий между уровнями l+1/2и l-1/2Для данного значения lдовольно велика и увеличивается с возрастанием l. Уже при l, равном 4, разность энергий так велика, что нуклоны, занимающие уровеньl+1/2, и нуклоны, занимающие уровень l-1/2, находятся по существу в разных оболочках. 4. Одинаковые нуклоны стремятся объединиться в пары с ну- левым суммарным моментом. Поэтому спины основных состояний у четно-четных ядер равны нулю, а в ядрах с нечетным числом А равны спину последнего, неспаренного, или так называемого «свободного», нуклона. Состояние каждого нуклона в ядре характеризуется его мо- ментом j и четностью. момент jможет возникнуть либо из состояния l+1/2, либо из со- стояния с l-1/2При заданном значении / (полуцелом) эти два состояния имеют согласно формуле Р=(—I )^l разную четность. вопрос о ядерном спине. Поскольку нуклоны на различных энергетических уровнях объединяются в пары с нулевым суммарным моментом количества движения, то и ядра, содержащие четное число протонов и четное число нейтронов будут иметь нулевой момент количества движения. Спин ядра с нечетным А должен определяться моментом неспаренного нуклона. Модель ядерных оболочек способна предсказывать также четность ядер. Так, в случае нечетного А ядерная четность совпадает с четностью неспаренного нуклона.

**13.Деформированные ядра. Состояния нуклонов в деформированном ядре**.

Деформированные ядра – ядра, форма которых в основном состоянии отличается от сферически-симметричной. Деформированные ядра имеют квадрупольные моменты Q, значительно большие предсказываемыходночастичной оболочечной моделью ядра. Известно пять областей массовых чисел A, в которых вблизи долины стабильности (Рис. 17) располагаются деформированные атомные ядра:1) 19 ≤ A ≤ 25 – изотопы Mg, Al; 2) 96 ≤ A ≤ 116 – нейтроноизбыточные изотопы Zr, Mo, Ru, Pd; 3) 120 ≤ A ≤ 170 – нейтронодефицитные изотопы Xe, Ba; 4) 150 ≤ A ≤ 170 – ядра редкоземельных элементов Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hb, W, Os; 5) A > 220 – ядра актинидов. Параметры деформации ядра определяются по величине Q0 (внутр. электрич. квадрупольным моментом) зависят от распределения плотности ядерного вещества. В простейшем случае предполагается, что ядро - равномерно заряженный эллипсоид вращения с полуосями а>b. Плотность распределения нейтронов и протонов постоянна внутри эллипсоида и равна 0 вне его. Размер ядра определяется среднеквадратичным радиусомR= Ферми, а его форма выражением: 

где сферич. ф-ция, b2 наз. параметром квадрупольной деформации:При малых деформациях: 

**14.Вращательные и колебательные состояния ядер. Связь одночастичных и коллективных движений.** По мере удаления от заполненных оболочек минимум потенциальной энергии может соответствовать деформированному ядру. У несферического ядра изменяются одночастичные уровни, меняется частота колебаний, появляются вращательные степени свободы. Для ядер, имеющих в основном состоянии спин J=0, возбужденное состояние имеют только четные значения спина J=0, 2, …. Энергия вращательных состояний четно-четных деформированных аксиально-симметричных ядер описывается соотношением: E=ћ^2J(J+1)/(2σ) где σ-момент инерции ядра, J-спин ядра. У сферических ядер существуют колебательные возбуждения, приводящие к деформации поверхности ядра. Возможны монопольные (J=0), квадрупольные (J=2), октупольные (J=3) и т.д. колебания. Дипольные колебания отсутствуют, т.к. они соответствуют просто перемещению ядра, при котором ядро не возбуждается. Модель, которая позволила одновременно учесть как одночастичные так и коллективные степени свободы ядра-обобщенная модель была предложена в начале 50-х годов Д. Рейнуотером, О. Бором и Б. Моттельсоном. В этой модели предполагается сильная связь внешних по отношению к заполненным оболочкам нуклонов с остовом, что может приводить к устойчивой равновесной деформации ядра. Движение остова описывается в гидродинамической модели. Одночастичные состояния рассчитываются в деформированном потенциале. Если четно-нечетное ядро представляет собой деформированный аксиально-симметричный бесспиновый остов плюс один валентный нуклон, то спектр возбужденных состояний такого ядра можно описать формулой: E=ћ^2[J(J+1)-2K^2]/(2σ)+Eодн, где Еодн-энергия одночастичного состояния.

**15.Радиоактивный распад ядер.**Радиоактивностью называется самопроизвольное превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотопы другого элемента, сопровождающиеся испусканием элементарных частиц или ядер (например, ядра Не\*). Радиоактивность, наблюдающуюся у существующих в природных условиях ядер называют естественной радиоактивностью, а радиоактивность ядер, полученных в результате различных ядерных реакций — искусственной радиоактивностью. Принципиальной разницы между естественной и искусственной радиоактивностью не существует, так как свойства того или иного изотопа не зависят от способа его образования, не зависят от этого и законы его радиоактивного распада. Различают следующие виды радиоактивного распада: 1) α-распад, 2) β-распад, 3) спонтанное деление атомного ядра, 4) протонный распад, 5) двухпротонный распад и др. α-лучи — тяжелые частицы с малой проникающей способностью (это ядра гелия — Не\*); β-лучи — легкие частицы с большей проникающей способностью (это — электроны); Y-лучи, обладающие максимальной проникающей способностью, которые представляют собой жесткое электромагнитное излучение, возникающее при переходе ядра из возбужденного состояния в основное. В дальнейшем процессы радиоактивного распада, при которых из ядра вылетает ядро гелия, или а-частица, стали называть а-распадом; процессы, при которых испускаются электроны— β-распадом. Соответственно с этим ядра, испускающие частицы — а-активными или β-активными ядрами. Закон радиоактивного распада. Если в момент t имеется большое число N радиоактивных ядер и если за промежуток dt распадается в среднем dN ядер, то в соответствии с определением величины λ: dN = — λNdt. Знак минус означает, что общее число радиоактивных ядер уменьшается в процессе распада, Вследствие того, что постоянная распада λ не зависит от времени (т. е. от «возраста» ядра), соотношение легко интегрируется.;Результатом интегрирования и является основной закон радиоактивного распада, имеющий вид где N0 — число радиоактивных ядер в произвольно выбранный начальный момент t = 0. Радиоактивные ряды В случае, когда имеется более двух генетически связанных друг с другом элементов, говорят о существовании радиоактивного ряда. Для такого случая выражение, определяющее число ядер А-того элемента, имеет вид где константы С определяются характеристиками отдельных элементов. При каждом а-распаде массовое число уменьшается на 4 единицы, а число протонов — только на два, и поэтому процент нейтронов увеличивается. В результате после потери нескольких а-частиц ядро становится склонным к β-распаду, при котором внутри ядра один из нейтронов превращается в протон по схеме n→p + β-+v. В радиоактивных рядах процессы а-распада и β-распада поэтому обычно чередуются друг с другом. При а-распаде массовое число А изменяется на 4, а при β-распаде совсем не изменяется. Поскольку остаток от деления А на 4 одинаков для всех ядер одного и того же ряда, для данного семейства А может быть выражено формулой: А = 4/2 + С, где С — постоянное для ряда число. В принципе могут существовать только 4 различных радиоактивных ряда в которых А равно 4n; 4n + 1; 4n + 2; 4n + 3. Радиоактивный ряд обычно начинается с изотопа, время жизни которого очень велико и близко к времени жизни Земли — лет. В третьем ряду родоначальником ряда был плутоний Рu94 с Т=104 лет, но он успел распасться и в естественном виде не обнаруживается. Последний ряд был предсказан теоретически и создан в лабораторных условиях после усовершенствования методов искусственного получения изотопов.

**16.Энергетическое условие α-распада.** Явление а-распада состоит в том, что ядро самопроизвольно испускает а-частицу и превращается в другое ядро с массовым числом, на 4 единицы меньшим, и с атомным номером, меньшим на 2 единицы:  В большинстве случаев а-частицы, вылетающие при распаде ядер данного элемента, имеют одинаковые энергии, т. е. являются моноэнергетическими. Однако некоторые ядра испускают несколько типов моноэнергетических а-частиц, что получило название тонкой структурой а-спектров. [Энергия](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%DD%ED%E5%F0%E3%E8%FF), выделившаяся при α-распаде 222

где *М*А и *М*A-4 - [массы](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%CC%E0%F1%F1%E0_%FF%E4%F0%E0) материнского и дочернего ядер, Ma - масса альфа-частицы. Энергетическое условие возможности альфа-распада заключается в том, чтобы [энергия связи](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%FD%ED%E5%F0%E3%E8%FF%20%F1%E2%FF%E7%E8)  альфа-частицы относительно материнского ядра была отрицательна. Эта энергия связи оказывается отрицательной почти для всех бета-стабильных ядер с*A*>150 , т. е. все ядра с *А*>150 должны быть альфа-радиоактивными. Однако во многих случаях [время жизни](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%E2%F0%E5%EC%FF_%E6%E8%E7%ED%E8_%FF%E4%F0%E0) этих ядер ([период полураспада](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%EF%E5%F0%E8%EE%E4%20%EF%EE%EB%F3%F0%E0%F1%EF%E0%E4%E0)) слишком велико и альфа-радиоактивность не удается наблюдать.  [Спектр](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%FD%ED%E5%F0%E3%E5%F2%E8%F7%E5%F1%EA%E8%E9_%F1%EF%E5%EA%F2%F0) альфа-частиц, возникающих при распаде материнского ядра, представляет ряд моноэнергетических линий, соответствующих переходам на различные [уровни](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%F3%F0%EE%E2%ED%E8_%FF%E4%F0%E0) дочернего ядра. Т. к. альфа-частица не имеет [спина](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%F1%EF%E8%ED_%FF%E4%F0%E0), [правила отбора](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%EF%F0%E0%E2%E8%EB%E0%20%EE%F2%E1%EE%F0%E0) по [моменту количества движения](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%EC%EE%EC%E5%ED%F2%F3%20%EA%EE%EB%E8%F7%E5%F1%F2%E2%E0%20%E4%E2%E8%E6%E5%ED%E8%FF) *I*=*L* и [четности](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%F7%E5%F2%ED%EE%F1%F2%E8), которые вытекают из соответствующих [законов сохранения](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%E7%E0%EA%EE%ED%EE%E2%20%F1%EE%F5%F0%E0%ED%E5%ED%E8%FF), оказываются простыми. [Угловой момент](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%D3%E3%EB%EE%E2%EE%E9%20%EC%EE%EC%E5%ED%F2) *L* альфа-частицы может принимать значения в интервале: 777. Простейшая теория альфа-распада [[Г. Гамов](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%C3.%20%C3%E0%EC%EE%E2)  1927] сводилась к описанию движения альфа-частицы в [потенциальной яме](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%EF%EE%F2%E5%ED%F6%E8%E0%EB%FC%ED%EE%E9%20%FF%EC%E5) с барьером. Т. к. энергия альфа-частиц составляет 5-10 МэВ, а высота кулоновского барьера у тяжелых ядер 25-30 МэВ, то вылет альфа-частицы из ядра может происходить только за счет [туннельного эффекта](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%F2%F3%ED%ED%E5%EB%FC%ED%EE%E3%EE%20%FD%F4%F4%E5%EA%F2%E0), а вероятность этого процесса определяется проницаемостью *В* барьера. Цель большинства исследований альфа-распада - измерение приведенных ширин и сравнение их с вычисленными на основе различных теоретических представлений о ядре. Абсолютные значения зависят от ряда параметров и особенно чувствительны к величине радиуса канала *RC*. Наиболее точные и надежные результаты получаются, если возможен анализ отношения ширин для переходов на разные уровни, одного и того же ядра , т. к. в этом случае большинство [неопределенностей](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%ED%E5%EE%EF%F0%E5%E4%E5%EB%E5%ED%ED%EE%F1%F2%E5%E9)сокращается. Отношения приведенных ширин 555 соответствуют факторам замедления.Из анализа ширин следует, что альфа-частицы не существуют в альфа-распадающемся ядре все время, а с некоторой конечной вероятностью возникают на его поверхности перед вылетом. Имеющиеся данные свидетельствуют также о том, что в поверхностном слое [тяжелых ядер](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%F2%FF%E6%E5%EB%FB%F5%20%FF%E4%E5%F0), по-видимому, существуют альфа-частичные группировки [нуклонов](http://www.astronet.ru/db/search.html?not_mid=1172388&words=%ED%F3%EA%EB%EE%ED%EE%E2) (альфа-кластеры). Классификация альфа-переходов основывается на структурных факторах, связанных с вероятностью образования альфа-частицы. Альфа-распад идет на 2-4 порядка быстрее, когда альфа-частица образуется из нейтронных и протонных пар, по сравнению с распадом, когда альфа-частица образуется из неспаренных нуклонов. В первом случае альфа-распад называется благоприятным, и такими оказываются все альфа-переходы между основными состояниями четно-четных ядер. Во втором случае альфа-распад называется неблагоприятным.

**17.Виды β-распада. Энергетические условия β-распадов. Спектры электронов при β-распаде. Гипотеза нейтрино** Бета-распадом называется процесс превращения нестабильного ядра в изобару-ядро с зарядом, отличным от исходного на AZ= ±1, сопровождаемый испусканием электрона (позитрона) или захватом электрона с оболочки атома. Одновременно ядро испускает нейтрино или антинейтрино. Периоды полураспада β-активных ядер лежат в пределах от 10~2 сек до 1018 лет. Если а-распад наблюдается почти исключительно у тяжелых ядер, то р-распад свойствен ядрам как с малыми, так и с большими значениями массового числа А. Известны три вида β-распада. 1). β--распад, при котором из ядра вылетает электрон и антинейтрино (v) и образуется ядро с тем же массовым числом, но с увеличенным на единицу атомным номером (AZ= +1): (A, Z) → (A, Z+1) + e- + ν.За счет этого процесса и рождается электрон внутри ядра. 2)р+-распад, при котором из ядра вылетают позитрон и нейтрино, а новое ядро имеет атомный номер на единицу меньше AZ=—1): (A, Z) → (A, Z-1) + e+ + νe. Распад свободного протона невозможен энергетически, так как его масса меньше массы нейтрона. Внутри же ядра такой ппроцесс может идти за счет энергии ядра. 3)К β-распадным явлениям относится также электронный захват, при котором ядро захватывает электроны с атомной оболочки и испускает нейтрино: (A, Z) + e- → (A, Z-1) + νe. Чаще всего захват происходит с К-оболочки и потому процесс называется К-захватом, но он возможен и для других оболочек. При этом внутри ядра один протон превращается в нейтрон. При β—распаде освобождается энергия, равная разности масс начального ядра и ядра-продукта вместе с массой электрона Описание: 5425 Спектр электронов, образующихся при β-распаде в отличие от дискретного спектра α-частиц имеет непрерывный характер, т.е. их ядра вылетают электроны различных энергий вплоть до энергии β-распада. Непрерывный спектр электронов некоторыми физиками интерпретировался как невыполнение закона сохранения энергии в β-распаде. Впервые гипотеза о ещё одной частице, которая образуется при β-распаде высказал В. Паули в 1930 г. Предположил, что при β-распаде вылетает еще одна частица — нейтральная—с массой, близкой к нулю, и со спином, равным половине. Ферми назвал ее нейтрино (нейтрино — по-итальянски значит «нейтрончик»). Эта частица обозначается символом v. (Впоследствии частицу, вы- вылетающую при р-распаде -нейтрона, стали рассматривать, как антинейтрино— v.) Согласно этой гипотезе энергия (∆Е), освобождающаяся в каждом акте распада, по-разному распределяется между электроном и нейтрино.Таким образом, если реакция распада нейтрона идет в виде n→р + е- + v, то выполняются и закон сохранения энергии, и закон сохранения момента количества движения.

**52.Дозвездный нуклеосинтез. Барионная асимметрия Вселенной. Ядерные реакции в звездах.**

Звёздный нуклеосинтез — собирательное понятие для ядерных реакций образования элементов тяжелее водорода, внутри звёзд, а также, в незначительной степени, на их поверхности.

БАРИОННАЯ АСИММЕТРИЯ ВСЕЛЕННОЙ - наблюдаемое в окружающей нас части Вселенной преобладание вещества над антивеществом, экстраполируемое на Вселенную в целом (см. Барионы, Античастицы). Очевидно, антивещества нет на Земле, т. к. перемешанные вещество и антивещество мгновенно аннигилируют с выделением огромной энергии (см. Аннигиляция). Данные о метеоритных вспышках, межпланетном газе, солнечном ветре говорят, что антивещество отсутствует и в Солнечной системе. Более того, малое количество антипротонов и более тяжёлых антиядер в космических лучах, а также тот факт, что в межзвездном газе не происходит аннигиляции протонов (p) и антипротонов (), к-рую можно было бы наблюдать по появлению фотонов высокой энергии (g) от цепочки реакций, показывают, что антивещество в Галактике в больших количествах отсутствует.

Ядерные реакции в звездах: В 1939 году Г. Бете впервые рассмотрел CNO-цикл как один из путей образования гелия из водорода в звездах. Особенность CNO-цикла состоит в том, что он, начинаясь с ядра углерода, сводится к последовательному добавлению 4-х протонов с образованием в конце CNO-цикла ядра 4He. М. Бeрбидж, Г. Бeрбидж, В. Фаулер, Ф. Хойл в 1957 году дали следующее описание основных процессов звездной эволюции (рис.2), в которых происходит образование атомных ядер.

- Горение водорода, в результате этого процесса образуются ядра 4He.

- Горение гелия. В результате реакции образуются ядра 12C.

- α-процесс. В результате последовательного захвата -частиц образуются ядра 16O, 20Ne, 24Mg, 28Si …

- e-процесс. При достижении температуры 5·109 K в звездах в условиях термодинамического равновесия протекает большое количество разнообразных реакций, в результате чего образуются атомные ядра вплоть до Fe и Ni. Ядра с A ~ 60 - наиболее сильно связанные атомные ядра. Поэтому на них кончается цепочка ядерных реакций синтеза, сопровождающихся выделением энергии.

- s-процесс. Ядра тяжелее Fe образуются в реакциях последовательного захвата нейтронов. Последующий β--распад повышает порядковый номер образующихся атомных ядер. Интервал времени между последовательными захватами нейтронов больше периодов β--распада.

- r-процесс. Если скорость последовательного захвата нейтронов гораздо больше скорости β--распада атомного ядра, то оно успевает захватить большое число нейтронов и лишь затем, в результате последовательной цепочки β--распадов, превращается в стабильное ядро. Обычно считается, что r-процессы происходят в результате взрывов Сверхновых.

- P-процесс. Некоторые стабильные нейтронодефицитные ядра (так называемые обойденные ядра) образуются в реакциях захвата протона, в реакциях (β-,n) или в реакциях под действием нейтрино.

- X-процесс. Механизм образования легких ядер Li, Be, B в то время не был известен. Образовавшись в звездах, эти ядра должны были интенсивно разрушаться в реакциях под воздействием протонов. Сегодня считается, что эти ядра образуются в результате взаимодействия космических лучей с космической пылью. (Легкие ядра образуются также на дозвездной стадии эволюции Вселенной.)

**51.Этапы развития Вселенной. Современные представления о составе Вселенной.**

Большое значение для определения Возраста Вселенной имеет периодизация основных протекавших во Вселенной процессов. В настоящее время принята следующая периодизация[2] Истории Вселенной:

Самая ранняя эпоха, о которой существуют какие-либо теоретические предположения, это Планковское время (10−43 с после Большого взрыва). В это время гравитационное взаимодействие отделилось от остальных фундаментальных взаимодействий. По современным представлениям эта эпоха Квантовой космологии продолжалась до времени порядка (10−11 с после Большого взрыва).

Следующая эпоха характеризуется рождением первоначальных частиц кварков и разделением видов взаимодействий. Эта эпоха продолжалась до времён порядка (10−2 с после Большого взрыва). В настоящее время уже существуют возможности достаточно подробного физического описания процессов этого периода.

Современная эпоха Стандартной космологии началась через 0,01 секунды после Большого взрыва и продолжается до сих пор. В этот период образовались ядра первичных элементов, возникли звёзды, Галактики, солнечная система, планеты, появилась жизнь на Земле.

Важной вехой в истории развития Вселенной в эту эпоху считается эра рекомбинации, когда материя расширяющейся Вселенной стала прозрачной для излучения. По современным представлениям это произошло через 380000 лет после Большого взрыва. В настоящее время это излучение мы можем наблюдать в виде Реликтового фона, что является важнейшим экспериментальным подтверждением существующих моделей Вселенной.

Успехи, достигнутые астрономами в исследованиях строения вселенной за последние 20 лет, вызвали среди неспециалистов меньший интерес, чем мощное развитие физики, имевшее место за тот же промежуток времени, опрокинувшее наши прежние представления. Причина этого, повидимому, заключается в том, что квантовая теория и волновая механика затронули основы точных наук и повели к созданию совершенно новых методов исследования.

В новом октябрьском номере "Астрофизического журнала" (AstrophysicalJournal) астроном из Университета Мэриленда СтейсиМакгоу (StacyMcGaugh) опубликовал статью, в которой рассматривается теория строения Вселенной. Причем Макгоу поддерживает довольно спорную теорию, которая отвергает центральную гипотезу общепринятой теории строения Вселенной, согласно которой Вселенная на 90% состоит из темной материи. Ученые считают, что темная материя состоит из какого-то нового вида элементарных частиц, отличных от протонов, нейтронов и других известных частиц, образующих обычную материю

Макгоу рассматривает микроволновое фоновое космическое излучение, которое считается носителем энергии, выделившейся во время Большого Взрыва. Исследования спектра этого фонового излучения, проведенные в рамках проекта Boomerang, указывают на то, что Вселенная состоит главным образом из "обычной", а не из темной материи. Местоположение первого пика энергетического спектра фонового излучения подтверждает, что Вселенная является "плоской", и с этим согласны многие астрофизики. Однако неожиданно малая амплитуда второго пика энергетического спектра ставит в тупик приверженцев теории темной материи. Макгоу считает, что такая небольшая интенсивность второго пика говорит о том, что темной материи попросту не существует.

**50.Калибровочная инвариантность как принцип построения полевых теорий элементарных частиц. Проблема построения единой теории слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий.**

Если принять во внимание уже развитую объединенную теорию электрослабых взаимодействий, называемую сейчас стандартной, и следовать тенденции объединения, то возникает проблема построения единой теории электрослабого и сильного взаимодействий. В настоящее время созданы модели такой единой теории, получившие название модели великого объединения. Все эти модели имеют много общих моментов, в частности характерная энергия объединения оказывается порядка 1015 ГэВ, что значительно превосходит характерную энергию объединения электромагнитных и слабых взаимодействий. Отсюда вытекает, что прямое экспериментальное исследование великого объединения выглядит проблематичным даже в достаточно отдаленном будущем. Для сравнения отметим, что наибольшая энергия, достижимая на современных ускорителях, не превышает 103 ГэВ. Поэтому если и будут получены какие-либо экспериментальные данные относительно великого объединения, то они могут носить только косвенный характер. В частности, модели великого объединения предсказывают распад протона и существование магнитного монополя большой массы. Экспериментальное подтверждение этих предсказаний было бы грандиозным триумфом тенденций объединения.

Общая картина разделения единого великого взаимодействия на отдельные сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия выглядит следующим образом. При энергиях порядка 1015 ГэВ и выше существует единое взаимодействие. Когда энергия становится ниже 1015 ГэВ, сильное и электрослабое взаимодействия отделяются друг от друга и представляются как различные фундаментальные взаимодействия. При дальнейшем уменьшении энергии ниже 102 ГэВ происходит отделение слабого и электромагнитного взаимодействий. В результате на масштабе энергий, характерных для физики макроскопических явлений, три рассматриваемых взаимодействия выглядят как не имеющие единой природы.

Заметим теперь, что энергия 1015 ГэВ отстоит не так далеко от планковскойэнергиипри которой становятся существенными квантовогравитационные эффекты. Поэтому теория великого объединения с необходимостью ведет к проблеме квантовой гравитации. Если далее следовать тенденции объединения, мы должны принять идею о существовании одного всеобъемлющего фундаментального взаимодействия, которое разделяется на отдельные гравитационное, сильное, слабое и электромагнитное последовательно по мере понижения энергии от планковского значения до энергий, меньших 102 ГэВ.

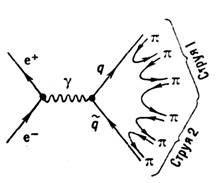
Построение такой грандиозной объединяющей теории, по-видимому, неосуществимо в рамках системы идей, приведших к стандартной теории электрослабых взаимодействий и моделям великого объединения. Требуется привлечение новых, возможно кажущихся сумасшедшими, представлений, идей, методов. Несмотря на очень интересные подходы, развитые в последнее время, такие, как супергравитация и теория струн, проблема объединения всех фундаментальных взаимодействий остается открытой.

**45.Сильное взаимодействие и структура адронов. Классификация и квантовые характеристики адронов. Симметрия сильного взаимодействия.**

Частицы, участвующие в Сильные взаимодействия, называются адронами, в отличие от фотона и лептонов (электрона и позитрона, мюонов и нейтрино), не обладающих Сильные взаимодействия К адронам относятся все барионы (в частности, нуклоны — нейтрон n и протон p, гипероны) и мезоны (p-мезоны, K-мезоны), в том числе большое количество т. н. ядерно-нестабильных частиц — резонансов. Одно из проявлений Сильные взаимодействия — ядерные силы, связывающие нуклоны в атомных ядрах. Сильные взаимодействия имеют малый радиус действия (~10-13 см) и на этих расстояниях значительно превосходят все другие типы взаимодействий. Характерное время, за которое происходят элементарные процессы, вызываемые Сильные взаимодействия, составляет 10-23—10-24 сек. Сильные взаимодействия обладают высокой степенью симметрии; они симметричны относительно пространственной инверсии, зарядового сопряжения, обращения времени. Специфическим для Сильные взаимодействия является наличие внутренних симметрий адронов: изотопической инвариантности, симметрии по отношению к фазовому преобразованию, приводящей к существованию особого сохраняющегося квантового числа — странности, а также SU (3)-симметрии.

*Сильные взаимодействия и структура адронов.*Из квантовомеханический соображений, аналогичных тем, которые приводились для оценки радиуса действия ядерных сил, следует, что адроны должны быть окружены «облаком» непрерывно испускаемых и поглощаемых — т. н. виртуальных (см. Виртуальные частицы) — пионов и других адронов. При этом радиус пионного «облака» по порядку величины должен составлять (где m — масса пиона), а радиусы «облаков», создаваемых более тяжёлыми адронами, обратно пропорциональны их массам. Вследствие большой величины g2/ħc вероятность виртуального испускания адронов велика, т. е. «облака» должны иметь значительную плотность и существенным образом определять физические процессы с участием адронов. Иными словами, из большой величины константы Сильные взаимодействия вытекает, что адроны должны иметь сложное внутреннее строение и лишь условно могут называются элементарными частицами (если даже отвлечься от возможности того, что они состоят из более фундаментальных частиц — кварков).

47.**Элементы квантовойхромодинамики. Цветовая симметрия сильных взаимодействий. Асимптотическая свобода и конфайнмент. Диаграммы Фейнмана.=**

КВАНТОВАЯ ХРОМОДИНАМИКА (КХД) - квантовая теория сильного взаимодействия цветных глюонных и кварковых полей. Построена на основе принципа локальной калибровочной инвариантности относительно преобразований в трёхцветном комплексном пространстве внутренних симметрии. По совр. представлениям, КХД составляет основу описания сильного взаимодействия между адронами и ответственна за силы, связывающие кварки в адроны. КХД возникла в нач. 70-х гг. в результате синтеза представления о цвете кварков, партонной картины глубоко неупругого взаимодействия (см. Партоны)и аппарата неабелевых калибровочных полей. Кварковая модель, согласно к-рой все адроны являются связанными состояниями либо пары кварк-антикварк (мезоны), либо трёх кварков (барионы), хорошо объясняла систематику адронов, т. е. их группировку по свойствам в унитарные и изотопич. мультиплеты, расщепление по массам внутри этих мультиплетов, а также нек-рыестатич. свойства адронов (напр., отношения величин магн. моментов). Важным составным элементом этой картины было либо предположение о парастатистике, либо о существовании дополнит.характеристики кварков - цвета, введение к-рого диктовалось необходимостью утроения числа кварков каждого типа (аромата) для того, чтобы, не входя в противоречие с принципом Паули, можно было построить нек-рые барионы (напр., D+ + , состоящий из трёх u-кварков с одинаковым направлением спина). При этом необходимо накладывать дополнит.условие "бесцветности" реально наблюдаемых адронов. Отсутствие в природе дикварковых мезонов, а также величины вероятности распада p0''2g и сечения аннигиляции е+ е- в адроны однозначно указывали на симметрию относительно преобразований в цветовом пространстве, соответствующую группе SU(3) [эта группа часто маркируется ниж. индексом "c" - от англ. colour - цвет, SU(3)c]. Представление о партонах возникло из обнаруженного экспериментально различия в поведении структурных функций глубоко неупругих процессов и формфакторов упругого рассеяния лептонов на адронах, к-рые оказалось возможным совместить только на основе предположения о существовании точечных (слабо взаимодействующих) составляющих адронов - партонов. Дальнейшее эксперим. изучение жёстких процессов, в к-рых исследовалась структура адрона на малых расстояниях, показало, что заряж. партонытождественны кваркам и антикваркам. Т. о., получалось, что, с одной стороны, на расстоянии порядка радиуса адрона (~10-13 см) кварки должны достаточно сильно взаимодействовать, чтобы образовывать такие прочные системы, как адроны, а с другой стороны, эффективная константа этого взаимодействия должна ослабевать на расстояниях порядка 0,1 радиуса адрона. Ослабление эфф. константы взаимодействия кварков с уменьшением расстояния было позднее названо асимптотической свободой. Возрастание константы взаимодействия с ростом расстояния давало надежду на объяснение явления "невылетания кварков" (т. н. конфайнмента), проявляющегося в отсутствии свободных кварков. Напр., интенсивный рост взаимодействия между разлетающимися кварком (q) и антикварком () образовавшимися в процессе аннигиляции е+ и е- (рис.1), приводит к рождению из вакуума кварк-антикварковых пар и обесцвечиванию ими как разлетающихся кварка и антикварка, так и друг друга. В результате вместо q и наблюдаются две адронные струи, летящие в системе центра инерции в противоположные стороны. 

46.**Кварки, глюоны и их основные характеристики. Цвет и аромат. Кварковая структура адронов. Формула Нишиджимы.**

*Кварки* - бесструктурные точечные частицы со спином 1/2ћ, участвующие в сильном взаимодействии (как и во всех остальных) и являющиеся элементарными составляющими всех адронов.

Существует шесть типов кварков, обозначаемых буквами u, d, s, c, b, t (от английских слов up, down, strange, charmed, bottom, top). Говорят о шести “ароматах” кварков. Каждый кварк имеет барионное число В = + 1/3 и дробный электрический заряд. Кварки u, c, t имеют заряд +2/3, а кварки d, s, b, - заряд –1/3 (в единицах элементарного заряда е = 1.6.10 -19 Кл). Кварки имеют массы. Самый лёгкий кварк u (его масса несколько МэВ/с2), самый тяжёлый – t (его масса 174 ГэВ/с2).



Из кварков состоят все адроны: барионы и мезоны – обширный класс элементарных частиц, участвующих в сильном взаимодействии и имеющих внутреннюю структуру и размеры около 10-13 см. Сами кварки на современном уровне знаний бесструктурны (как и лептоны), т.е. ведут себя как точечные частицы. Их размер не более 10-17 см. Кварки не наблюдают в свободном состоянии. Они “заперты” в адронах. Их присутствие в адронах надёжно установлено многочисленными экспериментами. В соответствии с современными концепциями кварки невозможно выбить из адрона.

Каждый из шести кварков обладает присущим только ему специфическим квантовым числом (ароматом). Так s-кварк имеет квантовое число “странность”, равное –1, с-кварк – квантовое число “очарование”, равное + 1 и т.д. У каждого кварка есть античастица – антикварк. Антикварки имеют противоположные знаки электрического заряда, барионного квантового числа и ароматов. Так античастица с-кварка, обозначаемая , имеет заряд –2/3, барионное число В = –1/3 и квантовое число “очарование” –1.*Глюоны* − частицы со спином J = 1 и нулевой массой переносят сильное цветное взаимодействие между кварками. В отличии от фотонов глюоны сами участвуют в сильных взаимодействиях. Глюон обладают этой способностью так как он несет в себе цвет и антицвет, тем самым взаимодействуя с самим собой. При испускании или поглощении глюона кварки изменяют свой цвет. При этом остальные квантовые числа кварка и его аромат не изменяются.

Взаимодействие глюонов и кварков ответственно за удержание кварков внутри адрона. Особенности этого взаимодействия таковы, что величина (константа) сильного взаимодействия растет с увеличением расстояния между кварками.

Экспериментально глюоны наблюдались в виде узких адронных струй, возникающих при взаимодействии частиц высоких энергий.

Глюоны играют существенную роль в формировании внутренней структуры адронов. Из процессов глубоконеупругого рассеяния частиц на нуклонах следует, что примерно половина энергии нуклона приходится на глюоны.

**43.Свойства элементарных частиц. Лептоны, адроны. Частицы и античастицы. Механизмы взаимодействия в мире частиц.**

Каждая частица описывается набором физических величин – квантовых чисел, определяющих её свойства. Наиболее часто употребляемые характеристики частиц следующие.

- Масса частицы, m. Массы частиц меняются в широких пределах от 0 (фотон) до 90 ГэВ (Z-бозон). Z-бозон - наиболее тяжелая из известных частиц. Однако могут существовать и более тяжелые частицы. Массы адронов зависят от типов входящих в их состав кварков, а также от их спиновых состояний.

- Время жизни, τ. В зависимости от времени жизни частицы делятся на стабильные частицы, имеющие относительно большое время жизни, и нестабильные.

- Спин J. Величина спина измеряется в единицах ħ и может принимать 0, полуцелые и целые значения. Например, спин π-, К-мезонов равен 0. Спин электрона, мюона равен 1/2. Спин фотона равен 1. Существуют частицы и с большим значением спина. Частицы с полуцелым спином подчиняются статистике Ферми-Дирака, с целым спином - Бозе–Эйнштейна.

- Электрический заряд q. Электрический заряд является целой кратной величиной от е = 1,6×10-19 Кл, называемой элементарным электрическим зарядом. Частицы могут иметь заряды 0, ±1, ±2.

- Внутренняя четность Р. Квантовое число Р характеризует свойство симметрии волновой функции относительно пространственных отражений. Квантовое число Р имеет значение +1, -1.

*Лептоны* (греч. «лептос» – лёгкий) - частицы, участвующие в электромагнитных и слабых взаимодействиях. К ним относятся частицы, не обладающие сильным взаимодействием: электроны, мюоны, таоны, а также электронные нейтрино, мюонные нейтрино и тау-нейтрино. Все лептоны имеют спины, равные 1/2 , и следовательно являются фермионами. Все лептоны обладают слабым взаимодействием. Те из них, которые имеют электрический заряд (т.е. мюоны и электроны), обладают также и электромагнитным взаимодействием. Нейтрино участвуют только в слабых взаимодействиях.

*Адроны* (греч. «адрос» – крупный, массивный) - частицы, участвующие в сильных, электромагнитных и слабых взаимодействиях. Сегодня известно свыше сотни адронов и их подразделяют на барионы и мезоны.

Барионы - адроны, состоящие из трёх кварков (qqq) и имеющие барионное число B = 1.

Мезоны - адроны, состоящие из кварка и антикварка ( ) и имеющие барионное число B = 0.

У всех *частиц* имеются партнеры-*античастицы,* обладающие теми же значениями массы, спина, времени жизни, но имеющие противоположный знак электрического заряда, других зарядов, например, лептонного, барионного, гиперзаряда, странности и т.д.. Античастицей электрона является позитрон, протона*p*- антипротон , нейтрона *n*- антинейтрон и т.д. Если у частицы нет никаких зарядов, ее античастица совпадает с ней самой и частица называется истинно нейтральной. Примерами истинно нейтральной частицы являются квант, -бозон, -мезон и т.д. Окружающая нас часть Вселенной, а,возможно, и вся Вселенная зарядово асимметрична: она состоит из и почти не содержит . Причины такой асимметрии объясняются в теориях Великого объединения взаимодействий элементарных частиц.

**44.Законы сохранения в мире элементарных частиц. Классификация взаимодействий и элементарных частиц.**

*Симметрия*. Каждой частице соответствует античастица. е+ и р- отличаются от е- и р+ знаком электрического заряда. n от n знаком магнитного момента. е+ + е- = γ + γ.

*Законы сохранения в мире элементарных частиц*. В мире элементарных частиц есть ЗС энергии, импульса, момента импульса + всех зарядов: барионного, электрического и трех лептонных.

ЗС барионного заряда B: В = +1 для барионов; В = -1 для антибарионов; для остальных В=0. Для всех процессов с участием барионов и антибарионов суммарный барионный заряд сохраняется.

ЗС лептонных зарядов: электронный Le( для е и ν е (нейтрино)), мюонный Lμ ( для μ и νμ ), таонныйLτ (для τ и ντ ). Le = Lμ = Lτ = +1 (для лептонов); -1 (для антилептонов). Для всех остальных L = 0. Для всех процессов с участием лептонов и антилептонов суммарный лептонный заряд сохраняется.

Существуют ЗС странности S, очарования C, прелести b, изотопического спина.

Элементарные частицы принято классифицировать в основном по двум признакам: 1) по способности к различным видам взаимодействия и 2) по массе.

Различные процессы с элементарными частицами заметно различаются по интенсивности их протекания. В соответствии с этим взаимодействия элементарных частиц можно разделить на четыре класса: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.

*Сильное* взаимодействие вызывает процессы, протекающие с наибольшей интенсивностью, оно приводит к самой сильной связи элементарных частиц. Именно сильное взаимодействие обуславливает связь протонов и нейтронов в ядрах атомов и обеспечивает устойчивость ядер. Потому сильное взаимодействие называют также ядерным.

*Электромагнитное* взаимодействие осуществляется через электрическое поле. Очевидно, что это взаимодействие возможно только между электрически заряженными телами. Электромагнитное взаимодействие заметно слабее сильного (ядерного). Именно это взаимодействие обуславливает связь электронов с ядром в атоме и атомов в молекуле.

*Слабое* взаимодействие вызывает очень медленно протекающие процессы с элементарными частицами. Примером процесса, обусловленного слабым взаимодействием, является бета-распад, а примером элементарной частицы, способной только к слабому взаимодействию, может служить нейтрино. Именно крайне малой интенсивностью слабого взаимодействия объясняется тот факт, что нейтрино свободно пронизывают толщу Земли и Солнца, не испытывая при этом поглощения.

*Гравитационное* взаимодействие является универсальным, оно наблюдается между любыми материальными телами, но в микромире оно не играет существенной роли. По сравнению с остальными тремя взаимодействиями оно пренебрежимо мало.

**42.Методы детектирования частиц высоких энергий. Адронные и электромагнитные калориметры.**

Kалори́метр (от [лат.](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%8F%D0%B7%D1%8B%D0%BA) calor — тепло и …метр) в физике элементарных частиц и ядерной физике — прибор, который измеряет энергию частиц. Большинство частиц, попадающих в калориметр, при взаимодействии с его веществом инициируют возникновение вторичных частиц, передавая им часть своей энергии. Вторичные частицы образуют [ливень](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9B%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D1%8C_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%BD%D1%8B%D1%85_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86)&action=edit&redlink=1), который поглощается в объёме калориметра и его энергия измеряется тем или иным способом. Энергия может быть измерена полностью (это требует полного поглощения частиц ливня в чувствительном объёме калориметра), или частично, с последующим пересчётом поглощённой энергии в полную энергию первичной частицы. Как правило, калориметры имеют поперечную (относительно траектории частицы) сегментацию для получения информации о направлении движения частицы и выделившейся энергии, и продольную сегментацию для получения информации о форме ливня и, исходя из этого, — о типе частицы. Проектирование калориметров — активная область исследований в физике элементарных частиц.

Электромагнитные калориметры спроектированы для измерения энергии частиц, которые взаимодействуют с веществом главным образом посредством [электромагнитного взаимодействия](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5)([фотоны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD), заряженные [лептоны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B5%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%BD)).

Адронные калориметры измеряют энергию частиц, взаимодействущих в основном посредством [сильного взаимодействия](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5) ([адроны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%8B)).

По геометрии калоримеры разделяются на гомогенные и гетерогенные (самплинг-калориметры). Адронные калориметры почти всегда являются гетерогенными, так как очень трудно создать детектор частиц ([сцинтиллятор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%86%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B8%D0%BB%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80), [полупроводниковый детектор](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80&action=edit&redlink=1) и т. д.) таких размеров, чтобы обеспечить в нём полное развитие и поглощение адронного ливня. Гетерогенный детектор состоит из чередующихся слоёв поглощающего и детектирующего материалов ([сэндвич](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%8D%D0%BD%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D1%87)-геометрия). Поглощающим материалом служат тяжёлые элементы ([медь](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D0%B4%D1%8C), [свинец](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%86), [уран](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%BD_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82)) и т. п.). Предпочтительно использование тяжёлых ядер и в детектирующем материале, в качестве которого может выступать сцинтиллятор (например, [вольфрамат свинца](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D1%81%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B0" \o "Вольфрамат свинца) PbWO4) или [черенковский радиатор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5" \o "Черенковское излучение) (например,[свинцовое стекло](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%BB%D0%BE)). В ходе остановки вторичных частиц ливня выделившаяся (в виде света) энергия собирается из детектирующих слоёв, преобразуется в электрический импульс (с помощью фотодетекторов, как правило, [фотоэлектронных умножителей](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%AD%D0%A3)) и регистрируется.Электромагнитные детекторы, как правило, являются гомогенными. [Электроны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), [позитроны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) и [гамма-кванты](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B0-%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82), из которых состоит электромагнитный ливень, хорошо поглощаются в детектирующих материалах, и детектор может иметь разумные размеры. Гомогенные калориметры имеют лучшее [энергетическое разрешение](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5&action=edit&redlink=1), чем самплинг-калориметры.Иногда для регистрации адронной и электромагнитной компонент ливня используют расположенные последовательно электромагнитный и адронный калориметры. Электромагнитная компонента ливня поглощается в первом из них, тогда как адронная компонента проходит его без значительных потерь и поглощается адронным калориметром. За адронным калориметром в этом случае ставят мюонные камеры для регистрации [мюонов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8E%D0%BE%D0%BD), обладающих большой проникающей способностью и слабо поглощающихся даже в массивных слоях адронногокалориметра.Калориметры используются практически во всех современных ускорительных экспериментах.

**41.Элементы релятивистской кинематики. Наблюдение процессов рождения и распадов частиц. Методы наблюдения короткоживущих частиц. Многодетекторные измерительные системы.**

Сокращение продольных размеров движущихся тел:

Отставание движущихся часов: 

Относительность одновременности и последовательности событий: 

Релятивистская формула сложения скоростей

*Камера Вильсона*. Счетчики позволяют лишь регистрировать факт прохождения через них частицы и фиксировать некоторые ее характеристики. В камере же Вильсона, созданной в 1912 г., быстрая заряженная частица оставляет след, который можно наблюдать непосредственно или сфотографировать. Этот прибор можно назвать окном в микромир, т. е. мир элементарных частиц и состоящих из них систем.

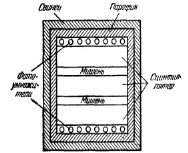
*Пузырьковая камера*. В 1952 г. американским ученым Д. Глейзером было предложено использовать для обнаружения треков частиц перегретую жидкость. В такой жидкости на ионах (центрах парообразования), образующихся при движении быстрой заряженной частицы, появляются пузырьки пара, дающие видимый трек. Камеры данного типа были названы пузырьковыми.

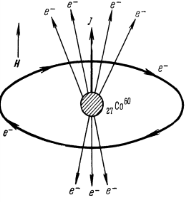
*Метод толстослойных фотоэмульсий.* Для регистрации частиц наряду с камерами Вильсона и пузырьковыми камерами применяются толстослойные фотоэмульсии. Ионизирующее действие быстрых заряженных частиц на эмульсию фотопластинки позволило французскому физику А. Беккерелю открыть в 1896 г. радиоактивность. Метод фотоэмульсии был развит советскими физиками Л. В. Мысовским, Г. Б. Ждановым и др. Фотоэмульсия содержит большое количество микроскопических кристалликов бромида серебра. Быстрая заряженная частица, пронизывая кристаллик, отрывает электроны от отдельных атомов брома. Цепочка таких кристалликов образует скрытое изображение. При проявлении в этих кристалликах восстанавливается металлическое серебро и цепочка зерен серебра образует трек частицы (рис. 13.5). По длине и толщине трека можно оценить энергию и массу частицы. Из-за большой плотности фотоэмульсии треки получаются очень короткими (порядка 10-3 см для -частиц, испускаемых радиоактивными элементами), но при фотографировании их можно увеличить. Преимущество фотоэмульсий в том, что время экспозиции может быть сколь угодно большим. Это позволяет регистрировать редкие явления. Важно и то, что благодаря большой тормозящей способности фотоэмульсий увеличивается число наблюдаемых интересных реакций между частицами и ядрами.

**18.Характеристики нейтрино.** Нейтрино-единственная частица, которая не участвует ни в сильных, ни в электромагнитных взаимодействиях. Исключая гравитационное взаимодействие, в котором участвуют все частицы, нейтрино может принимать участие лишь в слабых взаимодействиях. Нейтрино является электрически нейтральной частицей со спином s = 1/2, с очень маленькой массой и большой проникающей способностью, т.е. малой величиной сечения взаимодействия с веществом. Сечение взаимодействия нейтрино с энергией несколько МэВ с веществом~10-43 см2, поэтому для их регистрации необходимы большие их потоки, большие объемы вещества, в котором происходят взаимодействия и большое время измерения. Непосредственное наблюдение антинейтрино было осуществлено в серии опытов Ф. Рейнеса и К. Коуэна (1953-1956). Наблюдалась реакцияṽ + p → e+ + n, которая является обращением реакции распада нейтрона. Свидетельством того, что антинейтрино вступило в реакцию с протоном, служил факт одновременного возникновения нейтрона и позитрона. Позитрон практически сразу же аннигилировал с электроном, что приводило к возникновению двух γ-квантов. Нейтрон после замедления захватывался ядром кадмия. Образовавшееся в результате возбужденное ядро высвечивало несколько γ-фотонов. Мишенью служили два сосуда, заполненные раствором хлористого кадмия в воде.

Три бака наполнялись жидкостью, способной сцинтиллировать под действием γ-фотонов. Для защиты от космического излучения и выходящих из реактора нейтронов резервуары были заключены в парафиновую, а затем в свинцовую оболочки. Все устройство было глубоко зарыто в землю вблизи большого реактора. Вспышка, вызванная захватными γ-фотонами, запаздывала по отношению к вспышке, обусловленной аннигиляционными γ-фотонами, на несколько десятков мкс. Это позволяло надежно отделить исследуемый эффект от фона, обусловленного другими процессами. Опыт продолжался 57 дней. В час регистрировалось в среднем около трех двойных вспышек ожидаемой интенсивности. Эти результаты служат прямым доказательством существования антинейтрино.

**23.Эффект Мессбауэра и его применение в физике и технике.** В 1958 году [Мессбауэром](http://nuclphys.sinp.msu.ru/introduction/nobelprice.htm" \l "Mesb) было открыт эффект, который состоит в том, что испускание или поглощение Описание: гамма-квантов атомными ядрами в твердом теле может происходить без возбуждения колебательных степеней свободы твердого тела, то есть возможны переходы без отдачи ядра, когда импульс фотона принимает не отдельное ядро, а кристалл в целом. Эффект Мессбауэра используется в многочисленных приложениях. Благодаря эффекту Мессбауэра стало возможным измерение спектров резонансного испускания или поглощения γ-квантов с разрешениемΔE/E ≈ 10-16, исследование физических и химических свойств конденсированных сред, исследования взаимодействия электрических и магнитных моментов ядер с внутренними электрическими и магнитными полями, вызывающими расщепление ядерных уровней и ряд других экспериментов, требующих рекордно высокого энергетического разрешения, и, в частности, стало возможно измерение гравитационного красного смещения в лабораторных условиях.

**19.Элементы теории β-распада. Понятие о слабых взаимодействиях. Разрешенные и запрещенные β-переходы.** Основная идея теории Э.Ферми (1934 г.): электрон и антинейтрино, испускаемые в процессе распада нейтрона, не входят в состав нейтрона, а рождаются в результате слабого взаимодействия, переводящего нейтрон в протон. Учитывая короткодействующий характер слабого взаимодействия, Ферми предложил рассматривать взаимодействие этих четырех частиц в одной точке с постоянной *GF*. Тогда распад свободного нейтрона  можно представить графически в виде феймановской диаграммы четырех линий, пересекающихся в точке. Слабое взаимодействие– короткодействующее фундаментальное взаимодействие между элементарными частицами, ответственное за бета-распад атомных ядер и медленные распады частиц. Слабое взаимодействие значительно слабее сильного и электромагнитного, но гораздо сильнее гравитационного. В слабом взаимодействии участвуют все фундаментальные фермионы (кварки и лептоны) и все адроны. Единственными частицами, которые участвуют только в слабом взаимодействии являются три типа нейтрино νe, νμ, ντ и их античастицы. В процессе слабого взаимодействия частицы обмениваются переносчиками слабого взаимодействия промежуточными (фундаментальными) бозонами: имеющими электрический заряд W± и нейтральным Z. Бета-распады разделяются на разрешенные и запрещенные, различающиеся вероятностями переходов. К разрешенным переходам относятся переходы, при которых суммарный орбитальный момент l, уносимый электроном и нейтрино, равен нулю. Запрещенные переходы подразделяются по порядку запрета, который определяется орбитальным моментом 1. Если 1=1, то это запрещенный переход первого порядка, 1=2 – второго порядка и т.д.

**20.Несохранение четности при β-распаде. CPT-теорема.** Сохранения четности в сильных и электромагнитных взаимодействиях. Согласно этому закону все механические и электрические явления обладают право-левой симметрией, т. е. симметричны относительно замены правого на левое. Для любой установки всегда можно создать установку, являющуюся ее точной зеркальной копией. Такая ситуация с правым и левым изменилась коренным образом в 1957 г., когда было установлено, что слабые взаимодействия и тем самым β-распадные явления право-левой симметрией не обладают. Впервые это было ясно показано в опыте Ц. By, сделанном по предположению Ц. Ли и Ч. Янга, выдвинувших гипотезу о несохранении четности в слабых взаимодействиях. Схема опыта By по обнаружению несохранения четности в β-распаде. Образец, содержащий β-активный изотоп кобальта 27С060 (для опыта был выбран этот изотоп, потому что у него велики спин (J = 5) и магнитный момент), помещен в магнитное поле Н кругового тока. Поле Н поляризует ядра 27С060, т. е. ориентирует вдоль поля их магнитные моменты. Стрелками на окружности указано направление скоростей электронов внутри проводника. Вся система зеркально симметрична относительно плоскости, в которой расположен круговой ток. Поэтому, казалось бы, и интенсивность излучаемых β-электронов должна быть одинаковой по обе стороны плоскости симметрии. В эксперименте же наблюдалась резкая асимметрия. По одну сторону плоскости испускалось примерно на 40% больше электронов, чем по другую. Тем самым опыт By выявляет асимметрию слабых взаимодействий по отношению к отражению в плоскости или, что то же, по отношению к правому и левому.кругового тока. Эта асимметрия относительно правого и левого и есть нарушение закона сохранения четности в слабых взаимодействиях. После опыта By оно было подтверждено и в ряде других экспериментов.СРТ-теорема. В рамках квантовой теории Людерсом и Паули была доказана фундоментальная теорема. Квантовые системы инвариантны относительно СРТ-преобразования в любой последовательности. Следствием СРТ-инвариантности является равенство масс и времени жизни частицы и античастицы. СР-преобразование заменяет частицу на античастицу и изменяет знак импульса. Т-преобразование меняет местами начальное и конечное состояние и изменяет направления импульсов и спинов. В силу СРТ-инвариантности, если в природе происходит некоторый процесс, то точно с такой же вероятностью может происходить СРТ-сопряженный процесс, в котором частицы заменены соответствующими античастицами, проекции их спинов и импульсов изменили знак, а начальное и конечное состояния поменялись местами. Вероятности π+ и π- мезонов одинаковы. Из СРТ-инвариантности следует, что в случае слабых распадов К0, В0, D0 –мезонов Т-инвариантность нарушается. На опыте не обнаружено ни одного случая нарушения СРТ-инвариантности.

**21.γ-излучение ядер. Электрические и магнитные переходы.** Явление γ-излучения ядер состоит в том, что ядро (A,Z) испускает g квант без изменения массового числа А и заряда ядра Z. Испускание γ-излучения обычно происходит после α- или β-распадов атомных ядер, если образовавшееся ядро образуется в возбужденном состоянии.   
 Гамма-излучение возникает при распаде возбужденных состояний ядер. Спектр γ-излучения всегда дискретен из-за дискретности ядерных уровней. С точностью до незначительной энергии отдачи ядра энергия γ-перехода равна разности энергий уровней, между которыми происходит γ-переход. Изучая γ-спектры, получают информацию о таких свойствах атомных ядер, как деформация атомного ядра, спаривание тождественных нуклонов, структура и последовательное заполнение ядерных оболочек и др. Времена жизни γ-радиоактивных ядер обычно изменяются от 10-8 с до 10-17 с, т. е. в среднем они значительно меньше времен жизни по отношению к α- и β-распадам. Причина в том, что интенсивность электромагнитных взаимодействий всего лишь на три порядка слабее ядерных. Время жизни γ-радиоактивных ядер зависит от различия спинов и четностей начального и конечного состояний, между которыми происходит γ-переход. Гамма-переходы происходят между ядерными состояниями, характеризующимися определенными значениями спина Ji, Jf и чётности Pi, Pf. Поэтому γ*-*кванты также имеют определённые значения спина Jγ и четности Pγ. Законы сохранения момента количества движения J и четности P в электромагнитных переходах Jf = Ji + Jγ   или   |Jf − Ji| ≤ Jγ ≤ Jf + Ji, Pf = Pi ·Pγ   или   Pγ = Pi ·Pf.    Обычно используется классификация γ-квантов по полному моменту количества движения J и четности P. Полный момент количества движения γ-кванта J принимает целочисленные значения, начиная с единицы: J= 1, 2, 3, ... . Значение J = 0 для γ-кванта исключено, так как оно отвечает сферически симметричному состоянию, а электро­магнитная волна поперечна. Число J называется мультипольностьюγ-кванта. В частности, низшие мультиполи имеют следующие названия: диполь – J= 1, квадруполь – J= 2, октуполь – J= 3. Спин γ-кванта J равен 1. В зависимости от чётности при определенном значении полного момента J γ-кванты различают по типу на магнитныеиэлектрические:P = (-1)J+1 – магнитные γ-кванты (МJ);  P = (-1)J – электрические γ-кванты (ЕJ). Названия «магнитный» и «электрический» происходят от типа систем зарядов и токов, излучающих соответствующие γ-кванты. Так, при колебании электрического диполя испускаемое электромагнитное излучение с квантовой точки зрения состоит из E1 γ-квантов. Колеблющийся магнитный диполь испускает M1 γ-кванты и т. д. Правила отбора по чётности для γ-переходов имеют вид: Pi ·Pf = (-1)J для EJ γ-квантов; Pi ·Pf = (-1)J+1 для MJ γ-квантов.

|  |
| --- |
|  |

**35.Реакции деления. Энергетические условия деления. Элементарная теория деления.**

Ядерная реакция деления — процесс расщепления атомного ядра на два (реже три) ядра с близкими массами, называемых осколками деления. В результате деления могут возникать и другие продукты реакции: лёгкие ядра (в основном, альфа-частицы), нейтроны и гамма-кванты. Деление бывает спонтанным (самопроизвольным) и вынужденным (в результате взаимодействия с другими частицами, прежде всего, с нейтронами). Деление тяжёлых ядер — экзоэнергетический процесс, в результате которого высвобождается большое количество энергии в виде кинетической энергии продуктов реакции, а также излучения.

Деление ядер служит источником энергии в ядерных реакторах и ядерном оружии.

**22.Ядерная изомерия. Внутренняя конверсия.** Изомерами называются атомные ядра, имеющие одинаковое число нейтронов и протонов, но различные физические свойства, в частности различные периоды полураспада. Времена жизни γ-радиоактивных ядер обычно имеют порядок 10-12–10-17 с. В некоторых случаях при сочетании высокой степени запрета с малой энергией γ-перехода могут наблюдаться γ-радиоактивные ядра с временами жизни макроскопического порядка (до нескольких часов, а иногда и больше). Такие долгоживущие возбужденные состояния ядер называются изомерами*.* Явление ядерной изомерии было открыто в 1921 г. О. Ганном, обнаружившим, что существуют два радиоактивных вещества, имеющие одинаковые массовые числа A и порядковый номер Z, но различающиеся периодом полураспада.   Изомерные состояния следует ожидать там, где оболочечные уровни, близкие друг другу по энергии, сильно различаются значениями спинов. Именно в этих областях и находятся так называемые «острова изомерии». **Внутренняя конверсия**  − явление, при котором энергия γ-перехода ћω из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией в результате электромагнитного взаимодействия передаётся одному из электронов атомной оболочки, который при этом вылетает из атома (конверсионный электрон). Кинетическая энергия конверсионного электрона Т определяется энергией γ-перехода ћω и энергией связи электрона в атоме Ece: T = ћω - Ece. Электроны внутренней конверсии могут вылетать из различных оболочек атома: K, L, M и т.д. Чаще всего конверсионные электроны вылетают из ближайшей к ядру K-оболочки. В отличие от β-распада конверсионные электроны имеют дискретный спектр энергии. Коэффициент внутренней конверсии K определяет отношение вероятности внутренней конверсии к вероятности γ-перехода с испусканием γ‑кванта. Коэффициент внутренней конверсии растёт с уменьшением энергии перехода ћω и с увеличением заряда ядра (~Z3). Величина коэффициента внутренней конверсии может меняться в широких пределах от 10-3 до 102-103.

**26.Излучение Вавилова-Черенкова. Переходное излучение**В 1934 году в лаборатории [С. Вавилова](http://nuclphys.sinp.msu.ru/persons/images/vavilov_sergey.jpg) [П. Черенков](http://nuclphys.sinp.msu.ru/introduction/nobelprice.htm#Cherenkov) открыл излучение, названное излучением Вавилова-Черенкова. Это излучение возникает при равномерном и прямолинейном движении частицы в веществе, когда ее скорость больше фазовой скорости света в данной среде (v > c/n). В 1937 году это явление было теоретически объяснено [И. Таммом и И. Франком](http://nuclphys.sinp.msu.ru/introduction/nobelprice.htm#Cherenkov). Излучение Черенкова широко используется в физике высоких энергий для регистрации релятивистских частиц и определения их скоростей. Практически все современные детекторы частиц высоких энергий используют черенковские счетчики. **Перехо́дноеизлуче́ние** — [электромагнитное излучение](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5), наблюдающееся при пересечении [заряженной частицей](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0) границы раздела двух сред с отличающимися [показателями преломления](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F).

Эффект был предсказан в [1945году](http://ru.wikipedia.org/wiki/1945_%D0%B3%D0%BE%D0%B4_%D0%B2_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B5) [В. Л. Гинзбургом](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92._%D0%9B._%D0%93%D0%B8%D0%BD%D0%B7%D0%B1%D1%83%D1%80%D0%B3) и [И. М. Франком](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98._%D0%9C._%D0%A4%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%BA" \o "И. М. Франк). Экспериментально эффект обнаружен в [1958 году](http://ru.wikipedia.org/wiki/1958_%D0%B3%D0%BE%D0%B4_%D0%B2_%D0%BD%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B5) в Ереванском Институте Физики. Излучение наблюдается по обе стороны от границы раздела. [Частота](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B0) переходного излучения вперёд занимает значительно более широкую [спектральную](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80) область по сравнению с излучением назад и ограничено сверху максимальной частотой, определяемой формулой: Wmax=WoE/moc^2 где Wo=4πne^2/m; n — [концентрация](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86) [электронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) среде, m — [масса](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B0) электрона, m0 — масса излучающей частицы, E — [энергия](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) излучающей частицы. При движении быстрых заряженных частиц в определённой области углов может иметь место [интерференция](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) между переходным излучением и [излучением Черенкова - Вавилова](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82_%D0%92%D0%B0%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%E2%80%94_%D0%A7%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0).

**24.Взаимодействие ядерного излучения с веществом.** Разные виды ядерных излучений (*α*, *β*, *γ*) сопровождаются освобождением разного количества энергии и обладают разной проникающей способностью в различных веществах. Альфа-излучение представляет собой поток положительно заряженных ионов гелия , и задерживается, например, тонким листом бумаги. Альфа - излучение практически не способно проникнуть извне в организм человека через наружный слой кожи, образованный отмирающими клетками. Поэтому *α*−излучение не представляет для живого организма опасности, пока *α*−активные радионуклиды не попадут внутрь организма через открытую рану, с пищей или при дыхании. Бета-излучение представляет собой легких ядерных частиц - электронов с отрицательным зарядом *е*− и позитронов с положительным зарядом *е*+. Бета-излучение обладает достаточной энергией для проникновения в живой организм через внешнюю поверхность. Бета-излучение проходит в биологические ткани организма на глубину один-два сантиметра. Наибольшая защита от внешнего ядерного излучения для живых организмов необходима при наличии *γ*−излучения.*−* Гамма-излучение встречается наиболее часто и для природных и для искусственных радионуклидов. Оно может быть самостоятельным, но может сопровождать *α*− и *β−*излучение и представляет собой жесткое электромагнитное излучение, распространяющееся со скоростью света. Значительно ослабить до безопасного уровня или задержать *γ*−излучение могут лишь достаточно толстые свинцовые или бетонные плиты. Все виды ядерного излучения обладают довольно большой энергией и при попадании в вещество вызывают деформацию равновесной электронной, атомной и молекулярной структуры вещества и нарушают механизм движения и взаимодействия электронов, атомов и молекул вещества. Для живого организма это приводит к нарушению энерго- и массообмена клеток на молекулярном уровне и вызывает серьезные нарушения равновесия химических и биологических процессов, определяющих нормальную жизнедеятельность организма. Чем больше интенсивность потока ядерного облучения живого организма, тем более неблагоприятными могут оказаться последствия для его нормальной жизнедеятельности. **Амплитуда рассеяния** в [квантовой физике](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0) — характеристика рассеянной волны: [амплитуда](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BC%D0%BF%D0%BB%D0%B8%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B0) исходящей сферической волны относительно входящей [плоской волны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D0%B0) в процессе рассеяния в [стационарном состоянии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5_(%D0%BA%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D1%82%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)). Амплитуда рассеяния полностью характеризует процесс рассеяния и в общем случае зависит от направления, в котором наблюдается рассеянная волна. В отличие от сечения рассеяния (эффективного поперечного сечения) амплитуда рассеяния сохраняет информацию о фазе рассеянной волны.

**25.Потери энергии на ионизацию и возбуждение атомов. Тормозное излучение. Пробеги заряженных частиц.** Полные потери энергии частицы при ее движении в среде определяются двумя процессами: возбуждение атомов мишени и их ионизация. Для расчета потерь на возбуждение обычно делается упрощающее предположение: атом мишени представляется как система только с двумя возбужденными состояниями, энергии которых равны соответственно E1и E2, относительно основного состояния. Взаимодействие частицы с атомом в этом случае может приводить к возбуждению с потерей энергии E1 или E2, или к ионизации, с потерей энергии распределенной в соответствии с функцией :Описание: Безымянный Потери энергии на возбуждение равны: ∆Ee = n1E1 + n2E2, где n1 и n2 – целые числа случайные числа, распределенные в соответствии с законом Пуассона. Потери энергии на ионизацию вычисляются как: Описание: Безымянный1, n3 - целое случайное число, распределенные в соответствии с законом Пуассона, ξi – случайные числа, равномерно распределенные от 0 до 1, g= Emax/Emax+I. Полные потери энергии ∆E вычисляются как сумма потерь на возбуждение и ионизацию. Тормозное излучение. При движении заряженной частицы в веществе происходит её рассеяние в электростатических полях атомных ядер и электронов. Возникающее в результате тормозное излучение пропорционально квадрату ускорения a частицы E = 2e2a2/3c2, E - энергия, излучаемая зарядом е, c - скорость света. Тормозное излучение, как правило, возникает при движении электронов в среде. Оно лежит в основе рентгеновского излучения рентгеновских аппаратов и γ-излучения, испускаемого быстрыми электронами при прохождении через вещество. Так как ускорение обратно пропорционально массе частицы, то тормозное излучение электрона будет в тысячи раз интенсивнее тормозного излучения протона. Число тормозных фотонов с энергией между ћω и ћ(ω + dω), испущенных электроном движущимся в поле ядра с зарядом Ze, пропорционально Z2/ω. Расстояние, на котором энергия электрона E из-за тормозного излучения уменьшается в е раз, называется радиационной длиной x0. Спектр энергии тормозного излучения непрерывный и имеет верхнюю границу, равную начальной энергии электрона. При релятивистских энергиях электрона Te >> mec2 тормозное излучение электронов направлено по направлению их движения и концентрируется в пределах конуса с угловым раствором θ(радиан) = mec2/Te. На этом основано получение интенсивных пучков высокоэнергичных γ-квантов на электронных ускорителях. Пробег заряженной частицы.Тяжёлые заряженные частицы взаимодействуют в основном с атомными электронами и поэтому мало отклоняются от направления своего первоначального движения. Вследствие этого пробеги тяжёлых частиц измеряют расстоянием по прямой от точки входа частиц в среду до точки их остановки. Обычно пробег измеряется в единицах длины (м, см, мкм) или длины, умноженной на плотность вещества (г/см2). Пробеги -частиц имеют разброс значений, описываемый функцией Гаусса. Он обусловлен, в частности, статистическими флуктуациями ионизационных потерь. Альфа-частица, проходя через среду, может испытывать перезарядку, превращаясь в однозарядный ион гелия 4He+или атом гелия 4He. В силу статистических флуктуаций пробег тяжёлой частицы определяется как расстояние, на котором интенсивность пучка частиц составляет половину от начальной интенсивности. Кроме того, вводится понятие экстраполированного пробега, который определяется как расстояние, на котором прямая, аппроксимирующая средний участок спада кривой интенсивности, пересекает ось.

**27.Взаимодействие нейтронов с веществом. Замедление нейтронов. Тепловые и резонансные нейтроны. Диффузия тепловых нейтронов.**

**Взаимодействие нейтронов с веществом** — физические процессы, происходящие при попадании нейтронов различных энергий в вещество. Среди различных типов взаимодействия нейтронов с веществом наиболее характерны ионизация, упругое и неупругое рассеяние и ядерные реакции.

[Ионизация](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) представляет собой отрыв электронов от атомов под действием кинетической энергии нейтрона. Взаимодействие нейтронов с электронами определяется взаимодействием между их магнитными моментами. Это взаимодействие настолько мало, что его энергия достигает потенциала ионизации (порядка 10 эВ) только на расстояниях около 10-11 см.

Существует также очень слабое электрическое взаимодействие нейтрона c электроном. Оно объясняется тем, что нейтрон состоит из электрически заряженных кварков. Однако это взаимодействие становится существенным только на расстояниях, сравнимых с размерами нейтрона.

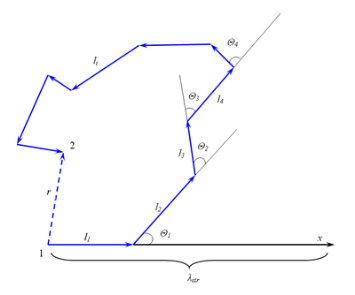
Основная потеря энергии нейтронов происходит на ядрах. При этом различают два типа взаимодействия нейтронов с ядрами[[1]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2_%D1%81_%D0%B2%D0%B5%D1%89%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D0%BC#cite_note-muhin11-1): 1) Упругое потенциальное рассеяние на ядерных силах. При этом нейтрон не попадает в ядро, но проходит достаточно близко от него. 2) Ядерные реакции различных типов: (n,γ), (n,p), (n,α), деление ядра, упругое рассеяние с заходом в ядро.

**Замедле́ниенейтро́нов** — процесс уменьшения [кинетической энергии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) [свободных нейтронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) в результате их многократных столкновений с [атомными ядрами](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE) вещества. Вещество, в котором происходит процесс замедления нейтронов, называется ***замедли́телем***. Замедление нейтронов применяется, например, в [ядерных реакторах на тепловых нейтронах](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80_%D0%BD%D0%B0_%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0%D1%85).

В ходе [ядерных реакций](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BF%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F), образуются, как правило, [быстрые нейтроны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%8B%D1%81%D1%82%D1%80%D1%8B%D0%B5_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%8B) (с энергией > 1 [МэВ](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%8D%D0%92)). Быстрые нейтроны при соударениях с атомными ядрами теряют энергию крупными порциями, расходуя её, главным образом, на возбуждение ядер или их расщепление. В результате одного или нескольких столкновений энергия нейтрона становится меньше минимальной [энергии возбуждения](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%AD%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F_%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%B1%D1%83%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F&action=edit&redlink=1) ядра (от десятков кэВ до нескольких МэВ, в зависимости от свойств ядра). После этого рассеяние нейтрона ядром становится [упругим](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5), то есть нейтрон расходует энергию на сообщение ядру скорости без изменения его внутреннего состояния. При одном упругом соударении нейтрон теряет, в среднем, долю энергии, равную Описание: \frac {2A} {(A + 1)^2} где А — массовое число ядра-мишени. Эта доля мала для тяжёлых ядер (1/100 для [свинца](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%86)) и велика для лёгких ядер 1/7 для [углерода](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B4) и 1/2 для [водорода](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4)). Поэтому замедление нейтронов происходит на лёгких ядрах гораздо быстрее, чем на тяжёлых.Нейтронное излучение условно разделяют на энергетические диапазоны, отличающиеся методами получения и регистрации нейтронов, а также направлениями их использования:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Вещество** | **N** | **t, мксек** | **LБ, см** |
| Свинец | 1600 | 1300 | 200 |
| Графит | 110 | 70 | 43 |
| Вода | 23 | 3 | 13 |

**Диффузия нейтронов** — это хаотическое движение [нейтронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) в веществе. Она аналогична [диффузии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%84%D1%83%D0%B7%D0%B8%D1%8F) в [газах](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7) и подчиняется тем же закономерностям, главной из которых является то, что диффудирующее вещество распространяется от областей с большей концентрацией к областям с меньшей концентрацией.В теории диффузии для объяснения основ часто рассматривается наиболее простейший случай — диффузия моноэнергетических нейтронов, то есть предполагается, что при столкновениях с ядрами нейтроны не изменяют своей энергии, что примерно выполняется только для тепловой области, в которой энергия нейтронов в среднем не меняется, и лишь в отдельных столкновениях может или увеличиваться, или уменьшаться, причём вероятность её возможных значений определяется [распределением Максвелла](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%9C%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%B0). Диффузию замедляющихся нейтронов, то есть рассеяние с уменьшением энергии, обычно рассматривают в связи с [замедлением нейтронов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BD%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2).



**28..Прохождение γ-излучения через вещество. Фотоэффект. Эффект Комптона. Рождение электрон-позитронных пар. Эффективные сечения взаимодействия γ-квантов с свойств веществом.**

Каждый фотон выбывает из падающего пучка в результате единичного акта

ΔI = -τI Δx = - N σ I Δx

τ – коэффициент пропорциональности (т.н. коэффициент поглощения)\*,

характеризующий ослабление пучка при прохождении слоя Δх вещества

ΔI – число фотонов, выбывших из пучка

Δх – проходимая толщина вещества

I – число γ-квантов, падающих на слой Δх

σ – полное сечение на 1 атом рассеяния или поглощения γ-квантов

N– число атомов поглотителя в 1см³

Каждый фотон выбывает из падающего пучка в результате единичного акта

Интенсивность пучка на толщине х поглотителя:

I (x) = I(0)exp(-Nσx)=I (0)exp(-τx)

Х : [см], [г/см], [электрон/см²]

τ, σ : [1/см], [см²/г], [см²/электрон]

Определение зависимости величины τот

· энергии фотонов

· поглощающего вещества

Гамма-лучи, в отличие от [α-лучей](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0) и [β-лучей](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D1%82%D0%B0-%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B8), не отклоняются [электрическими](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5) и [магнитными полями](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5), характеризуются большей проникающей способностью при равных энергиях и прочих равных условиях. Гамма-кванты вызывают ионизацию атомов вещества. Основные процессы, возникающие при прохождении гамма-излучения через вещество:

[Фотоэффект](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82) — энергия гамма-кванта поглощается электроном оболочки атома, и электрон, совершая работу выхода, покидает атом (который становится ионизированным).

[Комптон-эффект](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D0%B5) — гамма-квант рассеивается при взаимодействии с электроном, при этом образуется новый гамма-квант, меньшей энергии, что также сопровождается высвобождением электрона и ионизацией атома.

[Эффект образования пар](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%BF%D0%B0%D1%80) — гамма-квант в поле ядра превращается в электрон и позитрон.

[Ядерный фотоэффект](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%84%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82) — при энергиях выше нескольких десятков МэВ гамма-квант способен выбивать нуклоны из ядра.

Фотоэффект – явление, связанное с освобождением электронов твердого тела (или

## жидкости) под действием электромагнитного излучения.

Различают внешний

фотоэффект – испускание электронов под действием света (фотоэлектронная эмиссия),

γ-излучения и др.;

внутренний фотоэффект – увеличение электропроводности

полупроводников или диэлектриков под действием света (фотопроводимость); вентильный фотоэффект – возбуждение

светом эдс на границе между металлом и полупроводником или между разнородными полупроводниками.

Фотоэффектом называется такое взаимодействие γ - кванта с атомом, при котором γ - квант поглощается

(исчезает), а из атома вырывается электрон.

Одна часть энергии γ- кванта Eγ расходуется на разрыв связи электрона с ядром ε

e-, другая часть преобразуется в кинетическую энергию электрона Ee-:

Eγ= Ee- + εe-

Эффект Комптона – упругое рассеяние электромагнитного излучения малых длин волн (рентгеновского и γ-излучения) на

свободных электронах, сопровождающийся увеличением длины волны λ.

Комптон-эффект слабеезависит от энергии Eγпо сравнению с фотоэффектом. Поэтому им можно пренебречьлишь в области энергий Eγ>10Мэв, где становится существенным эффект **образования электрон-позитронных пар.**

Гамма - квант в поле ядра может образовать пару частиц: электрон и позитрон.

Вся энергия γ - кванта преобразуется в энергию покоя электрона и позитрона 2mec^2и их кинетические энергии Ee- и Ee+.

В случае образования электрон-позитронных пар баланс энергии имеет следующий вид (законсохранения энергии): Eγ = 2mec^2+ Ee- + Ee+; где Ее- и Ee+ кинетические энергии электрона и позитрона

**29..Основные методы детектирования ионизирующих излучений. Сцинтилляционный детектор с неорганическим и органическим сцинтиллятором. Ионизационная камера и счетчик Гейгера-Мюллера.**

Для регистрации и измерения ионизирующих излучений используют ионизационный, химический и сцинтилляционный методы.   
**Ионизационный метод.** Сущность его заключается в том, что под воздействием ионизирующих излучений в среде (газовом объеме) происходит ионизация молекул, в результате чего электропроводность этой среды увеличивается. Если в нее поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами возникает направленное движение ионов, т.е. Проходит так называемый ионизационный ток, который легко может быть измерен.   
Такие устройства называют детекторами излучений. В качестве детекторов в дозиметрических приборах используются ионизационные камеры и газоразрядные счетчики различных типов.   
Ионизационный метод положен в основу работы таких дозиметрических приборов, как ДП-5А (Б,В), ДП-22В и ИД-1.   
**Химический метод**. Его сущность состоит в том, что молекулы некоторых веществ в результате воздействия ионизирующих излучений распадаются, образуя новые химические соединения. Количество вновь образованных химических веществ можно определить различными способами. Наиболее удобным для этого является способ, основанный на изменении плотности окраски реактива, с которым вновь образованное химическое соединение вступает в реакцию. На этом методе основан принцип работы химического дозиметра гамма- и нейтронного излучения ДП-70 МП.   
**Сцинтилляционный метод.** Этот метод основывается на том, что некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий, вольфрамат кальция) светятся при воздействии на них ионизирующих излучений. Возникновение свечения является следствием возбуждения атомов под воздействием излучений: при возвращении в основное состояние атомы испускают фотоны видимого света различной яркости (сцинтилляции). Фотоны видимого света улавливаются специальным прибором – так называемым фотоэлектронным умножителем, способным регистрировать каждую вспышку. В основу работы индивидуального измерителя дозы ИД-11 положен сцинтилляционный метод обнаружения ионизирующих излучений.

**Ионизацио́ннаяка́мера** — газонаполненный датчик, предназначенный для измерения уровня [ионизирующего излучения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5).

Измерение уровня излучения происходит путём измерения уровня ионизации газа в рабочем объёме камеры, который находится между двумя электродами. Между электродами создаётся [разность потенциалов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B7%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BF%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2). При наличии свободных зарядов в газе между электродами возникает ток, пропорциональный скорости возникновения зарядов и, соответственно,[мощности дозы](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D1%89%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%B4%D0%BE%D0%B7%D1%8B) облучения.

**Счётчик [Ге́йгера](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%B9%D0%B3%D0%B5%D1%80,_%D0%93%D0%B0%D0%BD%D1%81" \o "Гейгер, Ганс)**, **счётчик Ге́йгера—Мю́ллера** — [газоразрядный прибор](http://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%93%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D1%8F%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80&action=edit&redlink=1) для автоматического подсчёта числа попавших в него [ионизирующих частиц](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0).

Представляет собой газонаполненный [конденсатор](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80_(%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D1%82)), который пробивается при пролёте ионизирующей частицы через объём газа. Изобретён в 1908 году [Гансом Гейгером](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%B9%D0%B3%D0%B5%D1%80,_%D0%93%D0%B0%D0%BD%D1%81_%D0%92%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B3%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BC)

**30.Дозиметрия, радиометрия и спектрометрия ионизирующего излучения. Понятия об основных дозах радиации. Действие излучения на живую ткань.**

Дозиметрия ионизирующих излучений — раздел прикладной ядерной физики, в котором рассматриваются свойства ионизирующих излучений, физические величины, характеризующие поле излучения и взаимодействие излучения с веществом (дозиметрические величины). В более узком смысле слова Д. и. и. — совокупность методов измерения этих величин. Важнейший признак дозиметрических величин — их связь с радиационно-индуцированными эффектами, возникающими при облучении объектов живой и неживой природы. Под радиационно-индуцированными эффектами в общем смысле понимают любые изменения в облучаемом объекте, вызванные воздействием ионизирующих излучений. Основной дозиметрической величиной является доза ионизирующего излучения и ее модификации. Задача Д. и. и. — описание дозного поля, сформированного в живом организме в реальных условиях облучения.

Радиометрия (от лат. radio - излучаю и греч. metreo-измеряю - совокупность методов измерений активности (числа распадов в единицу времени) нуклидов в радиоактивных источниках.

Родоначальниками радиометрии можно считать Э. Резерфорда и Х. Гейгера, впервые в 1930 осуществивших с помощью искрового счётчика определение числа a-частиц, испускаемых в 1 сек 1 г радия, т.е. измеривших удельную активность препарата. В данной лекции мы рассмотрим методы определения абсолютной и относительной радиоактивности твёрдых (и в меньшей степени – жидких) препаратов.

По способу регистрации радиоактивного излучения радиометрические методы делятся на

ионизационные (измерение общего ионизационного эффекта излучения) и импульсные (счёт числа частиц α-

или β- излучения или квантов γ-излучения). Распределение активности по поверхности изучаемого объёма

обычно определяют методом фотоэмульсионной авторадиографии.

**Воздействие радиации на ткани живого организма**

    В органах и тканях биологических объектов как и в любой среде при облучении в результате поглощения энергии идут процессы ионизации и возбуждения атомов. Эти процессы лежат в основе биологического действия излучений. Его мерой служит количество поглощенной в организме энергии.  
    В реакции организма на облучение можно выделить четыре фазы. Длительность первых трех быстрых фаз не превышает единиц микросекунд, в течение которых происходят различные молекулярные изменения. В четвертой медленной фазе эти изменения переходят в функциональные и структурные нарушения в клетках, органах и организме в целом.  
    Первая, физическая фаза ионизации и возбуждения атомов длится 10-13 сек. Вo второй, химико-физической фазе, протекающей 10-10 сек образуются высокоактивные в химическом отношении радикалы, которые, взаимодействуя с различными соединениями, дают начало вторичным радикалам, имеющим значительно большие по сравнению с первичными сроки жизни. В третьей, химической фазе, длящейся 10-б сек, образовавшиеся радикалы, вступают в реакции с органическими молекулами клеток, что приводит к изменению биологических свойств молекул.  
    Описанные процессы первых трех фаз являются первичными и определяют дальнейшее развитие лучевого поражения. В следующей за ними четвертой, биологической фазе химические изменения молекул преобразуются в клеточные изменения. Наиболее чувствительным к облучению является ядро клетки, а наибольшие последствия вызывает повреждение ДНК, содержащей наследственную информацию. В результате облучения в зависимости от величины поглощенной дозы клетка гибнет или становится неполноценной в функциональном отношении. Время протекания четвертой фазы очень различно и в зависимости от условий может растянуться на годы или даже на всю жизнь.

**31.Основные методы радиометрии и спектрометрии ионизирующего излучения.**

Методы обнаружения и измерения

В результате взаимодействия радиоактивного излучения со внешней средой происходит ионизация и возбуждение ее нейтральных атомов и молекул. Эти процессы изменяют физико-химические свойства облучаемой среды. Взяв за основу эти явления, для регистрации и измерения ионизирующих излучений используют ионизационный, химический и сцинтилляционный методы.

Ионизационный метод. Сущность его заключается в том, что под воздействием ионизирующих излучений в среде (газовом объеме) происходит ионизация молекул, в результате чего электропроводность этой среды увеличивается. Если в нее поместить два электрода, к которым приложено постоянное напряжение, то между электродами возникает направленное движение ионов, т.е. Проходит так называемый ионизационный ток, который легко может быть измерен.

Такие устройства называют детекторами излучений. В качестве детекторов в дозиметрических приборах используются ионизационные камеры и газоразрядные счетчики различных типов.

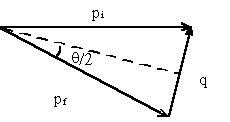
Ионизационный метод положен в основу работы таких дозиметрических приборов, как ДП-5А (Б,В), ДП-22В и ИД-1.

Химический метод. Его сущность состоит в том, что молекулы некоторых веществ в результате воздействия ионизирующих излучений распадаются, образуя новые химические соединения. Количество вновь образованных химических веществ можно определить различными способами. Наиболее удобным для этого является способ, основанный на изменении плотности окраски реактива, с которым вновь образованное химическое соединение вступает в реакцию. На этом методе основан принцип работы химического дозиметра гамма- и нейтронного излучения ДП-70 МП.

Сцинтилляционный метод. Этот метод основывается на том, что некоторые вещества (сернистый цинк, йодистый натрий, вольфрамат кальция) светятся при воздействии на них ионизирующих излучений. Возникновение свечения является следствием возбуждения атомов под воздействием излучений: при возвращении в основное состояние атомы испускают фотоны видимого света различной яркости (сцинтилляции). Фотоны видимого света улавливаются специальным прибором – так называемым фотоэлектронным умножителем, способным регистрировать каждую вспышку. В основу работы индивидуального измерителя дозы ИД-11 положен сцинтилляционный метод обнаружения ионизирующих излучений.

**34.Прямые ядерные реакции. Использование прямых ядерных реакций для определения квантовых характеристик ядерных состояний.**

|  |
| --- |
|  |
|  |

Наряду с механизмом ядерной реакции, идущей через составное ядро, когда в процесс взаимодействия вовлекается все ядро, возможен и другой механизм, когда налетающая частица взаимодействует лишь с небольшим числом нуклонов ядра. Это так называемые прямые ядерные реакции. Время их протекания существенно меньше времени протекания реакций, идущих через составное ядро и сравнимо с характерным ядерным временем (временем пролета нуклона через ядро). Для нуклонов с энергиями ~10 МэВ это время порядка 10-22 с.   
    Прямые ядерные реакции вносят особенно большой вклад в сечение ядерных процессов при больших энергиях, однако заметную роль могут играть и при низких энергиях. Прямые процессы существенны в реакциях неупругого рассеяния (n,n'), (p,p'), перезарядки (n,p) при бомбардировке ядер нуклонами с энергией большей нескольких мегаэлектронвольт. Другим важным классом прямых процессов являются реакции срыва (d,p), (d,n), (3He,p) и т.д. и реакции подхвата, например (p,d), (n,d) и т.д.  
    В прямых реакциях можно ожидать заметную асимметрию в угловых распределениях, например, вылета частиц преимущественно в переднюю полусферу в с.ц.и., так как импульс вперед налетающей частицы больше среднего импульса назад, приходящегося на участвующие во взаимодействии частицы ядра-мишени. То обстоятельство, что частицы взаимодействуют не свободно, а в поле тяжелого кора ядра, которому передают часть своего импульса, может несколько усложнить эту картину и в некоторых случаях привести к появлению максимумов под задними углами и привести к симметричному относительно 900 угловому распределению. Наличие асимметрии вперед-назад в угловых распределениях является четким свидетельством о том, что реакция идет через прямой механизм. Прямые процессы преобладают в тех случаях, когда ядру передается относительно небольшая энергия налетающей частицы. Прямые процессы при не слишком высокой энергии идут преимущественно на поверхности ядра. Поверхностный характер прямых реакций ведет к появлению дифракционной картины в угловых распределениях вылетающих частиц. Так как передача энергии ядру небольшая, то для импульсов, налетающей Описание: http://nuclphys.sinp.msu.ru/react/images/vecp1.gifi и вылетающей Описание: http://nuclphys.sinp.msu.ru/react/images/vecp1.giff частиц можно записать

**32.Механизмы ядерных реакций. Сечение реакций. Каналы ядерных реакций. Законы сохранения в ядерных реакциях. Связь между сечениями прямых и обратных реакций.**

**Я́дернаяреа́кция** — это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра и выделением большого количества энергии. Впервые ядерную реакцию наблюдал [Резерфорд](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D1%80%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%B4,_%D0%AD%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%82) в [1919 году](http://ru.wikipedia.org/wiki/1919_%D0%B3%D0%BE%D0%B4), бомбардируя [α-частицами](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B0-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B0) ядра[атомов](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) [азота](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B7%D0%BE%D1%82), она была зафиксирована по появлению вторичных [ионизирующих](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BE%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) частиц, имеющих пробег в [газе](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B0%D0%B7) больше пробега α-частиц и идентифицированных как [протоны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BD). Впоследствии с помощью [камеры Вильсона](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B0_%D0%92%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%BE%D0%BD%D0%B0) были получены фотографии этого процесса.

По механизму взаимодействия ядерные реакции делятся на два вида:

* реакции с образованием [составного ядра](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%BE), это двухстадийный процесс, протекающий при не очень большой [кинетической энергии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) сталкивающихся частиц (примерно до 10 [МэВ](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D1%82)).
* прямые ядерные реакции, проходящие за *ядерное время*, необходимое для того, чтобы частица пересекла ядро. Главным образом такой механизм проявляется при больших энергиях бомбардирующих частиц.

Если после столкновения сохраняются исходные ядра и частицы и не рождаются новые, то реакция является упругим рассеянием в поле [ядерных сил](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B2%D0%B7%D0%B0%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D0%B5), сопровождается только перераспределением [кинетической энергии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) и [импульса](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81) частицы и ядра-мишени и называется **потенциальным рассеянием**

Сечение ядерной реакции

Вероятность реакции определяется так называемым ядерным сечением реакции. В лабораторной системе отсчёта (где ядро-мишень покоится) вероятность взаимодействия в единицу времени равна произведению сечения (выраженного в единицах площади) на поток падающих частиц (выраженный в количестве частиц, пересекающих за единицу времени единичную площадку). Если для одного входного канала могут осуществляться несколько выходных каналов, то отношения вероятностей выходных каналов реакции равно отношению их сечений. В ядерной физике сечения реакций обычно выражаются в специальных единицах — [барнах](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%BD" \o "Барн), равных 10−24 см².

Каналы реакций

Переход в невозбуждённое состояние может осуществляться различными путями, называемыми каналами реакции. Типы и квантовое состояние налетающих частиц и ядер до начала реакции определяют входной канал реакции. После завершения реакции совокупность образовавшихся продуктов реакции и их квантовых состояний определяет выходной канал реакции. Реакция полностью характеризуется входным и выходным каналами.

Каналы реакции не зависят от способа образования составного ядра, что может быть объяснено большим временем жизни составного ядра, оно как бы «забывает», каким способом образовалось, следовательно, образование и распад составного ядра можно рассматривать как независимые события.

Законы сохранения в ядерных реакциях

При ядерных реакциях выполняются все [законы сохранения](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%8B_%D1%81%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) [классической физики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%81%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0). Эти законы накладывают ограничения на возможность осуществления ядерной реакции. Даже энергетически выгодный процесс всегда оказывается невозможным, если сопровождается нарушением какого-либо закона сохранения.

[Закон сохранения энергии](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%81%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D0%B8)

Если Описание: ~ \Epsilon_1 , Описание: ~ \Epsilon_2 , Описание: ~ \Epsilon_3 , Описание: ~ \Epsilon_4  — полные энергии двух частиц до реакции и после реакции, то на основании закона сохранения энергии:

Описание: ~ \Epsilon_1 + \Epsilon_2 = \Epsilon_3 + \Epsilon_4. 

[Закон сохранения импульса](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D1%81%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D1%83%D0%BB%D1%8C%D1%81%D0%B0)

Полный импульс частиц до реакции равен полному импульсу частиц-продуктов реакции. Если Описание: ~ \vec{p}_1 , Описание: ~ \vec{p}_2 , Описание: ~ \vec{p}_3 , Описание: ~ \vec{p}_4  — векторы импульсов двух частиц до реакции и после реакции, то

Описание: ~ \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_3 + \vec{p}_4. 

**33.Модель составного ядра. Резонансные ядерные реакции. Формула Брейта-Вигнера. Нерезонансные ядерные реакции через составное ядро.**

Модель составного ядра

    Модель составного ядра была впервые сформулирована Бором. Согласно этой модели ядерная реакция протекает в два этапа. На первом этапе частица a и ядро мишень А образуют связанную систему составное (компаунд) ядро С, которое на втором этапе распадается на ядро В и частицу b:

a + A Описание: arrow.gif (61 bytes) CОписание: arrow.gif (61 bytes) b + B.

    В основе модели лежит предположение, что частица а, попадая в ядро А, сильно взаимодействует с нуклонами ядра. В модели составного ядра предполагается, что длина свободного пробега налетающей частицы много меньше размеров ядра, вследствие чего каждая частица, попадающая в ядро, захватывается им.

Рассмотрим случай, когда суммарная энергия Описание: \varepsilon нейтрона и исходного ядра лежит в области расположения энергетических полос составного ядра. Согласно квантовой механике, если Описание: \varepsilon равна энергии одного из квазистационарных уровней составного ядра, то вероятность образования последнего особенно велика. Сечение ядерных реакций при таких энергиях частиц резко возрастает, образуя так называемые резонансные максимумы. В этих случаях ядерные реакции называются резонансными.

Ограничемся случаем медленных нейтронов, когда достаточно учитывать лишь частицы с орбитальным моментом Описание: l=0 (в s-состоянии).

Тогда для реакции Описание: A(n, b) B формула Брейта-Вигнера может быть записана в виде

Описание: \sigma_{nb}=\pi\lambda_n^2g\frac{\Gamma_n\Gamma_b}{(\varepsilon-\varepsilon_0)^2+\Gamma^2/4}

где Описание: \varepsilon_0 - энергия резонансного уровня, Описание: \lambda_n - длина волны налетающего нейтрона. Величина Описание: \Gamma в знаменателе есть полная ширина уровня, равная сумме ширин уровней по всем возможным входным и выходным каналам реакции. В частном случае одного входного и одного выходного каналов Описание: \Gamma=\Gamma_n+\Gamma_b, где Описание: \Gamma_b - соответствует поглощению нейтрона, т.е испусканию частицы Описание: b, а Описание: \Gamma_n - упругому рассеянию нейтрона. Статистический множитель Описание: g учитывает возможные ориентации моментов импульса частиц до столкновения и частиц, образовавшихся после столкновения.

Описание: g=\frac{2I+1}{(2I_n+1)(2I_A+1)} 

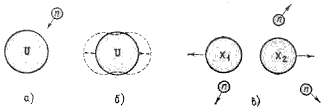
Нерезонансные ядерные реакции описываются на основе модельных представлении о ядре. Так, при высоких энергиях используется оптическая модель ядра. При изучении взаимодействий частиц высоких энергий с ядрами широкое распространение получили статистические и гидродинамические модели взаимодействия частиц. В оптической модели ядро − сплошная среда для падающих на ядро частиц, преломляющая и поглощающая де-Бройлевские волны. Гамильтониан взаимодействия

H = V{r) + iW{r).

V{r) − потенциал, описывающий рассеяние падающей на ядро частицы; iW(r) описывает процесс поглощения волны в ядре. Этот процесс подбирают обычно из согласования расчета с экспериментом.

|  |
| --- |
|  |

**36.Деление изотопов урана под действием нейтронов. Энергия активации.**

В результате опытов по облучению нейтронами урана было найдено, что под действием нейтронов ядра урана делятся на два ядра (осколка) примерно половинной массы и заряда; этот процесс сопровождается испусканием нескольких (двух-трех) нейтронов (рис. 402). Помимо урана, способны делиться еще некоторые элементы  
  
**Рис. 402. Деление ядра урана под действием нейтронов: а) ядро захватывает нейтрон; б) удар нейтрона о ядро приводит последнее в колебания; в) ядро делится на два осколка; при этом испускается еще несколько нейтронов**из числа последних элементов периодической системы Менделеева. Эти элементы, так же как и уран, делятся не только под действием нейтронов, но также без внешних воздействий (спонтанно) \*). Спонтанное деление было установлено на опыте советскими физиками К. А. Петржаком и Георгием Николаевичем Флеровым (р. 1913) в 1940 г. Оно представляет собой весьма редкий процесс. Так, в 1 г урана происходит всего лишь около 20 спонтанных делений в час.  
  
Благодаря взаимному электростатическому отталкиванию осколки деления разлетаются в противоположные стороны, приобретая огромную кинетическую энергию (около 160 МэВ). Реакция деления происходит, таким образом, со значительным выделением энергии. Быстродвижущиеся осколки интенсивно ионизуют атомы среды. Это свойство осколков используют для обнаружения процессов деления при помощи ионизационной камеры или камеры Вильсона.

Осуществление цепной реакции деления на практике не просто; опыт показывает, что в массе природного урана цепная реакция не возникает. Причина этого кроется в потере вторичных нейтронов; в природном уране большая часть нейтронов выходит из игры, не вызывая делений. Как выявили исследования, потеря нейтронов происходит в наиболее распространенном изотопе урана — уране-238 (23892U). Этот изотоп легко поглощает нейтроны по реакции, подобной реакции серебра с нейтронами (см. § 222); при этом образуется искусственно-радиоактивный изотоп 23892U. Делится же 238U с трудом и только под действием быстрых нейтронов.  
  
Более удачными для цепной реакции свойствами обладает изотоп 235U, который содержится в природном уране в количестве 0,7%. Он делится под действием нейтронов любой энергии — быстрых и медленных и тем лучше, чем меньше энергия нейтронов. Конкурирующий с делением процесс — простое поглощение нейтронов — мало вероятен в 235U в отличие от 238U. Поэтому в чистом уране-235 возможна цепная реакция деления при условии, однако, что масса урана-235 достаточно велика. В уране малой массы реакция деления обрывается из-за вылета вторичных нейтронов за пределы его вещества.  
  
В самом деле, ввиду крошечных размеров атомных ядер нейтрон проходит в веществе значительный путь (измеряемый сантиметрами), прежде чем случайно натолкнется на ядро. Если размеры тела малы, то вероятность столкновения на пути до выхода наружу мала. Почти все вторичные нейтроны деления вылетают через поверхность тела, не вызывая новых делений, т. е. не продолжая реакции.  
  
Из тела больших размеров вылетают наружу главным образом нейтроны, образовавшиеся в поверхностном слое.   
  
Нейтроны, образовавшиеся внутри тела, имеют перед собой достаточную толщу урана и в большинстве своем вызывают новые деления, продолжая реакцию (рис. 405). Чем больше масса урана, тем меньшую долю объема составляет поверхностный слой, из которого теряется много нейтронов, и тем благоприятнее условия для развития цепной реакции.

**Энергия активации** в физике — минимальное количество энергии, которое должны получить электроны донорной примеси, для того чтобы попасть в зону проводимости. [Уравнение Аррениуса](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%90%D1%80%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%83%D1%81%D0%B0) устанавливает связь между энергией активации и скоростью протекания реакции:

Описание: E_a = -RT \ln \left( \frac{k}{A} \right)

k — константа скорости реакции, Описание: A — [фактор частоты](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80_%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D1%8B) для реакции, Описание: R — [универсальная газовая постоянная](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D0%BD%D0%B8%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F), Описание: T — [температура](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B0) в [кельвинах](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B2%D0%B8%D0%BD).

С повышением температуры растёт вероятность преодоления энергетического барьера.

**37. Цепная реакция. Коэффициент размножения. Ядерные реакторы.**

**Цепная реакция** — химическая и ядерная реакция, в которой появление активной частицы ([свободного радикала](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D0%BB) или [атома](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BE%D0%BC) в химическом, [нейтрона](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD) в ядерном процессе) вызывает большое число (цепь) последовательных превращений неактивных [молекул](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB%D0%B0) или ядер. Свободные радикалы и многие атомы, в отличие от молекул, обладают свободными ненасыщенными валентностями (непарным [электроном](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD)), что приводит к их взаимодействию с исходными молекулами. При столкновении свободного радикала (R•) с молекулой происходит разрыв одной из валентных связей последней и, таким образом, в результате реакции образуется новый свободный радикал, который, в свою очередь, реагирует с другой молекулой — происходит цепная реакция. В [ядерной цепной реакции](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BF%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) (которая была так названа по аналогии с химической) активными частицами являются [нейтроны](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BD), которые инициируют один из видов [ядерной реакции](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) — [деление ядер](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D1%8F%D0%B4%D1%80%D0%B0).

Коэффициент размножения нейтронов для чистых активно делящихся веществ, так же как и для активной зоны ядерного реактора, зависит прежде всего от числа нейтронов, испускаемых в среднем при каждом акте деления ядра, продолжительность которого не превышает 10 13 сек. Эти нейтроны называют мгновенными, в отличие от запаздывающих, испускаемых осколочными ядрами через некоторое время ( от долей секунды до нескольких секунд) после деления первоначального ядра. Число запаздывающих нейтронов не превосходит 1 % числа мгновенных нейтронов. В развитии цепного процесса при атомном взрыве запаздывающие нейтроны не играют роли ( так как атомный взрыв происходит в миллионные доли секунды), но при стабилизации цепного процесса в ядерном реакторе их роль весьма существенна. [2]

Коэффициент размножения нейтронов ( мультипликационный фактор) показывает, во сколько раз каждое следующее поколение нейтронов превосходит предыдущее по численности. [3]

**Я́дерный реа́ктор** — это устройство, в котором осуществляется управляемая [цепная ядерная реакция](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B5%D0%BF%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F), сопровождающаяся выделением энергии. Первый ядерный реактор построен и запущен в декабре 1942 года в [США](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%A8%D0%90) под руководством [Э. Ферми](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8,_%D0%AD%D0%BD%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%BE). Первым реактором, построенным за пределами США, стал [ZEEP](http://ru.wikipedia.org/wiki/ZEEP), запущенный в [Канаде](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D0%B0) в сентябре [1945 года](http://ru.wikipedia.org/wiki/1945_%D0%B3%D0%BE%D0%B4)[[1]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80#cite_note-zeep-cstm-1). В Европе первым ядерным реактором стала установка [Ф-1](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4-1_(%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80)), заработавшая [25 декабря](http://ru.wikipedia.org/wiki/25_%D0%B4%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D0%B1%D1%80%D1%8F) [1946 года](http://ru.wikipedia.org/wiki/1946_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) в Москве под руководством [И. В. Курчатова](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D1%83%D1%80%D1%87%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%B2,_%D0%98%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%8C_%D0%92%D0%B0%D1%81%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%B5%D0%B2%D0%B8%D1%87).[[2]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80#cite_note-2)

К [1978 году](http://ru.wikipedia.org/wiki/1978_%D0%B3%D0%BE%D0%B4) в мире работало уже около сотни ядерных реакторов различных типов. Составными частями любого ядерного реактора являются: активная зона с ядерным топливом, обычно окруженная отражателем нейтронов, теплоноситель, система регулирования цепной реакции, радиационная защита, система дистанционного управления. Корпус реактора подвержен износу (особенно под действием ионизирующего излучения)[[3]](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80#cite_note-3). Основной характеристикой ядерного реактора является его мощность. Мощность в 1 МВт соответствует цепной реакции, в которой происходит 3·1016 актов деления в 1 сек.

**38.Синтез легких ядер. Критерий Лоусона. Проблемы управляемого термоядерного синтеза.**

ДЕФЕКТ МАССЫ (от лат. defectus - недостаток, изъян) - разность между массой связанной системы взаимодействующих тел (частиц) и суммой их масс в свободном состоянии. Д. м. Описание: 1119930-184.jpg определяется энергией связи Описание: 1119930-185.jpg системы:

Описание: 1119930-186.jpg

В случае атомных ядер Д. м. даётся ф-лой

Описание: 1119930-187.jpg

где m - масса ядра, имеющего Z протонов и N нейтронов, mр и mn - массы протона и нейтрона. T. к. на практике измеряются не массы ядер, а массы атомов M, то Д. м. часто определяют как массу между массой атома в а.е. м. и массовым числом A=Z+N (см. Массспектроскопия ).Определённый таким образом Д. м., приходящийся на 1 нуклон, наз. иногда упаковочным коэф. Знание Д. м. позволяет определить величину энергии, к-рая может выделиться в ядерных реакциях, в частности в реакциях, не наблюдаемых в лаб. условиях, но происходящих в недрах звёзд. Поэтому данные о Д. м. разл. ядер играют важную роль в теории [эволюции звёзд](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/4596.html) и теории [нуклеосинтеза](http://www.femto.com.ua/articles/part_2/2525.html" \o "Нуклеосинтез).

ЛОУСОНА КРИТЕРИЙ

- определяет условия возникновения термоядерной реакции в импульсной термоядерной системе: при темп-ре плазмы Т в течение времени Описание: 2555-73.jpgдолжна сохраняться [плотность](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/2006) Описание: 2555-74.jpg, т. е. в системе достигнут коэф. усиления энергии R(T). Это условие фиксировано для каждой конкретной величины коэф. преобразования Описание: 2555-75.jpg термоядерной энергии в электрическую. Так, напр., для высокотемпературной плазмы (Описание: 2555-76.jpg кэВ) при Описание: 2555-77.jpgсм -3\*с для DT-реакции и Описание: 2555-78.jpgсм -3\* с для DD-реакции. Критерий установлен Дж. Д. Лоусоном (J. D. Lawson) в 1957.

Л. к. применим для термоядерного реактора, работающего в режиме усилителя мощности с коэф. усиления R (Т). Формально из зависимости R(T),выведенной Дж. Д. Лоусоном, можно получить критерий зажигания самоподдерживающейся термоядерной реакции, если принять Описание: 2555-79.jpgдля DT-плазмы, где Описание: 2555-80.jpg - полная энергия, выделяющаяся в термоядерной реакции, а Описание: 2555-81.jpg - энергия, выделяющаяся в виде a-частиц, остающихся в плазме. О графич. представлении Л. к. и его практич. применении см. в статьях Управляемый термоядерный синтез, [Термоядерный реактор](http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/2595/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B9).

**Управляемый термоядерный синтез** (**УТС**) — синтез более тяжёлых атомных ядер из более лёгких с целью получения энергии, который, в отличие от взрывного термоядерного синтеза (используемого в [термоядерных взрывных устройствах](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%BE%D1%8F%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B6%D0%B8%D0%B5)), носит управляемый характер. Управляемый термоядерный синтез отличается от традиционной [ядерной энергетики](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F) тем, что в последней используется [реакция распада](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B0%D0%B4), в ходе которой из тяжёлых ядер получаются более лёгкие ядра. В основных [ядерных реакциях](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F), которые планируется использовать в целях осуществления управляемого термоядерного синтеза, будут применяться [дейтерий(2H)](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D0%B9%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B9) и [тритий (3H)](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%B8%D0%B9), а в более отдалённой перспективе [гелий-3 (3He)](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%B9-3) и [бор-11 (11B)](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D1%80-11).