

Дата **19.06.2023.** Группа ТЭК1/1. Курс 1

Дисциплина: Физика

Тема занятия: Физика атомного ядра

Цель занятия:

- *методическая* - совершенствование методики проведения лекционного занятия;
- *учебная* – сформировать представление о физике атомного ядра, открытии радиоактивности ;
- *воспитательная* – обучать учащихся соотносить полученные знания с наблюдаемыми явлениями.

Вид занятия: Лекция

Межпредметные связи:

Обеспечивающие: Техническая механика, Физика

Рекомендуемая литература

- 1.Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 10 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, Н.Н Сотский; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 9 изд.,стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)
- 2.Мякишев Г.Я. Физика: учеб. для 11 кл. общеобразоват. организаций: базовый и углубл. уровни / Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М.Чаругин; под ред. Н.А. Парфентьевой. – 10 изд.,стер. – М.: Просвещение, 2022. – 432 с.: ил. – (Классический курс)
- 3.Рымкевич А.П. Задачник: сборник для учащихся общеобразовательных учреждений. – М., «Дрофа» 2008.

Тема: Физика атомного ядра

1. Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц
2. Открытие радиоактивности
3. Альфа-, бета- и гамма-излучения

1. Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц

Выражения атомное ядро и элементарные частицы уже неоднократно упоминались. Вы знаете, что атом состоит из ядра и электронов. Само атомное ядро состоит из элементарных частиц, нейтронов и протонов. Раздел физики, в котором исследуется строение и превращение атомных ядер, называется ядерной физикой.

Первоначально разделения на ядерную физику и физику элементарных частиц не было. С многообразием мира элементарных частиц физики столкнулись при изучении ядерных процессов. Выделение физики элементарных частиц в самостоятельную область исследования произошло около 1950 г. Сегодня существуют два самостоятельных раздела физики: содержание одного из них составляет изучение атомных ядер, а содержание другого — изучение природы, свойств и взаимных превращений элементарных частиц.

Вначале ознакомимся с *устройствами*, благодаря которым возникла и начала развиваться физика атомного ядра и элементарных частиц. Это устройства для регистрации и изучения столкновений и взаимных превращений ядер и элементарных частиц. Именно они дают людям необходимую информацию о микромире.

Газоразрядный счетчик Гейгера

Счетчик Гейгера — один из важнейших приборов для автоматического подсчета частиц.

Счетчик (рис. 13.1) состоит из стеклянной трубки, покрытой изнутри металлическим слоем (катод), и тонкой металлической нити, идущей вдоль оси трубки (анод). Трубка заполняется газом, обычно аргоном. Действие счетчика основано на ударной ионизации. Заряженная частица (электрон, α -частица и т. д.), пролетая в газе, отрывает от атомов электроны и создает положительные ионы и свободные электроны. Электрическое поле между анодом и катодом (к ним подводится высокое напряжение) ускоряет электроны до энергий, при которых начинается ударная ионизация. Возникает лавина ионов, и ток через счетчик резко возрастает. При этом на нагрузочном резисторе R образуется импульс напряжения, который подается в регистрирующее устройство.

Для того чтобы счетчик мог регистрировать следующую попавшую в



него частицу, лавинный разряд необходимо погасить. Это происходит автоматически. Так как в момент появления импульса тока падение напряжения на нагрузочном резисторе R велико, то напряжение между анодом и катодом резко уменьшается — настолько, что разряд прекращается.

Счетчик Гейгера применяется в основном для регистрации электронов и γ -квантов (фотонов большой энергии).

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.



Рис. 13.2

Принцип действия камеры Вильсона основан на конденсации перенасыщенного пара на ионах с образованием капелек воды. Эти ионы создает вдоль своей траектории движущаяся заряженная частица.

Камера Вильсона представляет собой герметически закрытый сосуд, заполненный парами воды или спирта, близкими к насыщению (рис. 13.2). При резком опускании поршня, вызванном уменьшением давления под ним, пар в камере адиабатно расширяется. Вследствие этого происходит охлаждение, и пар становится перенасыщенным. Центрами конденсации становятся ионы, которые образует в рабочем пространстве камеры пролетевшая частица. Если частица проникает в камеру сразу после расширения пара, то на ее пути появляются капельки воды. Эти капельки образуют видимый след пролетевшей частицы

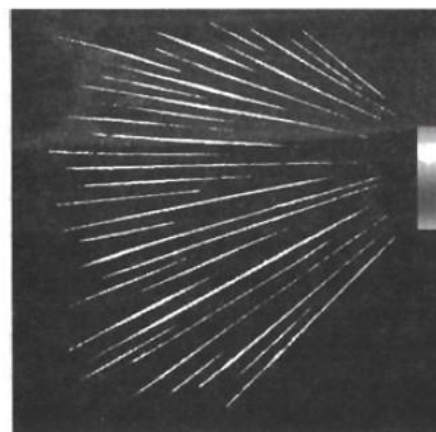


Рис. 13.3

— **трек** (рис. 13.3). Затем камера возвращается в исходное состояние, и ионы удаляются электрическим полем. В зависимости от размеров камеры время восстановления рабочего режима варьируется от нескольких секунд до десятков минут.

Информация, которую дают треки в камере Вильсона, значительно богаче той, которую могут дать счетчики. По длине трека можно определить энергию частицы, а по числу капелек на единицу длины трека — ее скорость. Чем длиннее трек частицы, тем больше ее энергия. А чем больше капелек воды образуется на единицу длины трека, тем меньше ее скорость. Частицы с большим зарядом оставляют трек большей толщины.

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*.

В исходном состоянии жидкость в камере находится под высоким давлением, предохраняющим ее от закипания, несмотря на то, что температура жидкости несколько выше температуры кипения при атмосферном давлении. При резком понижении давления жидкость оказывается перегретой, и в течение небольшого времени она будет находиться в неустойчивом состоянии. Заряженные частицы, пролетающие именно в это время, вызывают появление треков, состоящих из пузырьков пара (рис. 13.4). В качестве жидкости используются главным образом жидкий водород и пропан. Длительность рабочего цикла пузырьковой камеры невелика — около 0,1 с.

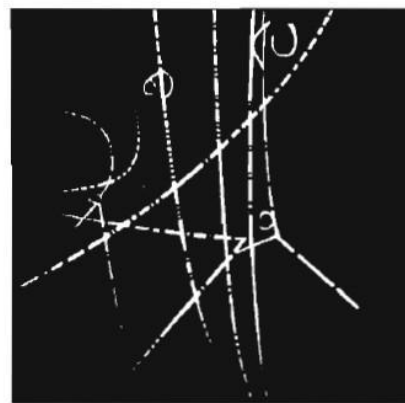


Рис. 13.4

Преимущество пузырьковой камеры перед камерой Вильсона обусловлено большей плотностью рабочего вещества. Пробеги частиц вследствие этого оказываются достаточно короткими, и частицы даже больших энергий застревают в камере. Это позволяет наблюдать серию последовательных превращений частицы и вызываемые ею реакции.

Треки в камере Вильсона и пузырьковой камере — один из главных источников информации о поведении и свойствах частиц.

Наблюдение следов элементарных частиц производит сильное впечатление, создает ощущение непосредственного соприкосновения с микромиром.

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 физiku 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 α -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.

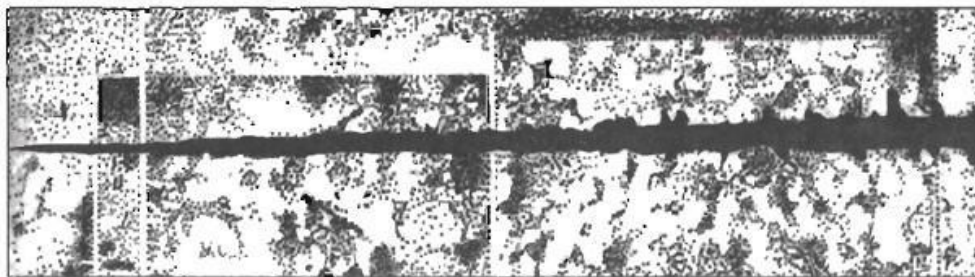


Рис. 13.5

Современные приборы для обнаружения редко встречающихся и короткоживущих частиц очень сложны. В их создании принимают участие сотни людей.

Смотреть видео!

<https://yandex.ru/video/preview/12403467713875952061>

Методы наблюдения и регистрации элементарных частиц

2. Открытие радиоактивности

Нестабильность атомов была открыта в конце XIX в. Спустя пол века построили первый ядерный реактор.

Открытие **радиоактивности** — явления, доказывающего сложный состав атомного ядра, — произошло благодаря счастливой случайности. Рентгеновские лучи, как вы помните, впервые были получены при столкновениях быстрых электронов со стеклянной стенкой разрядной трубки.

Одновременно наблюдалось свечение стенок трубки. *Беккерель* долгое время исследовал подобное явление — свечение веществ, облученных солнечным светом. К таким веществам относятся, в частности, соли урана, с которыми экспериментировал ученый.

И вот у него возник вопрос: не появляются ли после облучения солей урана наряду с видимым светом и рентгеновские лучи? Беккерель завернул фотопластинку в плотную черную бумагу, положил сверху крупинки урановой соли и выставил на яркий солнечный свет. После проявления фотопластинка почернела на тех участках, где лежала соль. Следовательно, уран создавал какое-то излучение, которое, подобно рентгеновскому, пронизывает непрозрачные тела и действует на фотопластинку. Беккерель думал, что это излучение возникает под влиянием солнечных лучей.

Но однажды, в феврале 1896 г., провести очередной опыт ему не удалось из-за облачной погоды. Беккерель убрал пластинку в ящик стола, положив на нее сверху медный крест, покрытый солью урана. Проявив на всякий случай фотопластинку два дня спустя, он обнаружил на ней почернение в форме отчетливой тени креста. Это означало, что *соли урана самопроизвольно, без каких-либо внешних влияний, создают какое-то излучение*. Начались интенсивные исследования. Конечно, не будь этой счастливой случайности, радиоактивные явления все равно были бы открыты, но, возможно, значительно позже.



Склодовская-Кюри Мария (1867—1934) —

физик и химик. Родилась в Польше, в семье учителя, работала во Франции. Первая женщина-профессор Парижского университета. Совместно с мужем П. Кюри открыла новые радиоактивные элементы **полоний** и **радий** и исследовала их свойства. Разработала классический метод обработки и анализа урановых руд, на протяжении ряда лет исследовала свойства радиоактивных излучений, их действие на живые клетки и т. д. Дважды получала Нобелевскую премию по физике и химии.

Вскоре Беккерель обнаружил, что излучение урановых солей ионизирует воздух, подобно рентгеновским лучам, и разряжает электроскоп. Испробовав различные химические соединения урана, он установил очень важный факт: интенсивность излучения определяется только количеством урана в препарате и совершенно не зависит от того, в какие соединения он входит. Следовательно, это свойство присуще не соединениям, а химическому элементу урану, его атомам.

Естественно было попытаться обнаружить, не обладают ли способностью к самопроизвольному излучению другие химические элементы, кроме урана. В 1898 г. Мария Склодовская-Кюри во Франции и другие ученые открыли излучение *тория*. В дальнейшем главные усилия в поисках новых элементов были предприняты Марией Склодовской-Кюри и ее мужем Пьером Кюри. Систематическое исследование руд, содержащих уран и торий, позволило им выделить новый, неизвестный ранее химический элемент — *полоний*, названный так в честь родины Марии Склодовской-Кюри — Польши.

Наконец, был открыт еще один элемент, дающий очень интенсивное излучение. Его назвали *радием* (т. е. лучистым). Само же явление самопроизвольного излучения было названо супругами Кюри **радиоактивностью**.

Радий имеет относительную атомную массу, равную 226, и занимает в таблице Д. И. Менделеева клетку под номером 88. До открытия Кюри эта клетка пустовала. По своим химическим свойствам радий принадлежит к щелочно-земельным элементам.

Впоследствии было установлено, что все химические элементы с порядковым номером более 83 являются радиоактивными.

Радиоактивностью называется способность нестабильных ядер превращаться в другие ядра, при этом процесс превращения сопровождается испусканием различных частиц.

Смотреть видео!

<https://yandex.ru/video/preview/13724121662030763546>

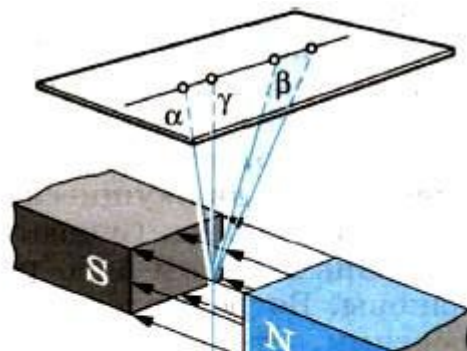
Открытие радиоактивности

3. Альфа-, бета- и гамма-излучения

После открытия радиоактивных элементов началось исследование физической природы их излучения. Кроме Беккереля и супругов Кюри, этим занялся Резерфорд.

Классический опыт, позволивший обнаружить сложный состав радиоактивного излучения, состоял в следующем. Препарат радия помещали на дно узкого канала в куске свинца. Против канала находилась фотопластинка. На выходящее из канала излучение действовало сильное магнитное поле, линии индукции которого, перпендикулярны лучу (рис. 13.6). Вся установка размещалась в вакууме.

В отсутствие магнитного поля на фотопластинке после проявления обнаруживалось одно темное пятно точно напротив канала. В магнитном поле



пучок распадался на три пучка. Две составляющие первичного потока отклонялись в противоположные стороны. Это указывало на наличие у этих излучений электрических зарядов противоположных знаков. При этом отрицательный компонент излучения отклонялся магнитным полем гораздо сильнее, чем положительный. Третья составляющая совсем не отклонялась магнитным полем. Положительно заряженный компонент получил название альфа-лучей, отрицательно заряженный — бета-лучей и нейтральный — гамма-лучей (α -лучи, β -лучи, γ -лучи).

Эти три вида излучения очень сильно различаются по проникающей способности, т. е. по тому, насколько интенсивно они поглощаются различными веществами. Наименьшей проникающей способностью обладают α -лучи. Слой бумаги толщиной около 0,1 мм для них уже непрозрачен. Если прикрыть отверстие в свинцовой пластинке листочком бумаги, то на фотопластинке не обнаружится пятна, соответствующего α -излучению.

Гораздо меньше поглощаются при прохождении через вещество β -лучи. Алюминиевая пластинка полностью их задерживает только при толщине в несколько миллиметров. Наибольшей проникающей способностью обладают γ -лучи.

Интенсивность поглощения γ -лучей усиливается с увеличением атомного номера вещества-поглотителя. Но и слой свинца толщиной в 1 см не является для них непреодолимой преградой. При прохождении γ -лучей через такой слой свинца их интенсивность ослабевает лишь вдвое.

Физическая природа α -, β - и γ -лучей, очевидно, различна.

Гамма-лучи

По своим свойствам γ -лучи очень сильно напоминают рентгеновские, но только их проникающая способность гораздо больше, чем у рентгеновских лучей. Это наводило на мысль, что γ -лучи представляют собой электромагнитные волны. Все сомнения в этом отпали после того, как была обнаружена дифракция γ -лучей на кристаллах и измерена их длина волны. Она оказалась очень малой — от 10^{-8} до 10^{-11} см.

На шкале электромагнитных волн γ -лучи непосредственно следуют за рентгеновскими. Скорость распространения у γ -лучей такая же, как у всех электромагнитных волн, — около 300 000 км/с.

Бета-лучи

С самого начала α - и β -лучи рассматривались как потоки заряженных частиц. Проще всего было экспериментировать с β -лучами, так как они сильнее отклоняются как в магнитном, так и в электрическом поле.

Основная задача экспериментаторов состояла в определении заряда и массы частиц. При исследовании отклонения β -частиц в электрических и магнитных полях было установлено, что они представляют собой не что иное, как электроны, движущиеся со скоростями, очень близкими к скорости света. Существенно, что скорости β -частиц, испущенных каким-либо радиоактивным элементом, неодинаковы. Встречаются частицы с самыми

различными скоростями. Это и приводит к расширению пучка β -частиц в магнитном поле (см. рис. 13.6).

Альфа-частицы

Труднее было выяснить природу α -частиц, так как они слабее отклоняются магнитным и электрическим полями. Окончательно эту задачу удалось решить Резерфорду. Он измерил отношение заряда q частицы к ее массе m по отклонению в магнитном поле. Оно оказалось примерно в 2 раза меньше, чем у протона — ядра атома водорода. Заряд протона равен элементарному, а его масса очень близка к атомной единице массы¹. Следовательно, у α -частицы на один элементарный заряд приходится масса, равная двум атомным единицам массы.

¹ Атомная единица массы (а. е. м.) равна $1/12$ массы атома углерода; $1 \text{ а. е. м.} \approx 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Но заряд α -частицы и ее масса оставались, тем не менее, неизвестными. Следовало измерить либо заряд, либо массу α -частицы. С появлением счетчика Гейгера стало возможным проще и точнее измерить заряд. Сквозь очень тонкое окошко α -частицы могут проникать внутрь счетчика и регистрироваться им.

Резерфорд поместил на пути α -частиц счетчик Гейгера, который измерял число частиц, испускавшихся радиоактивным препаратом за определенное время. Затем он поставил на место счетчика металлический цилиндр, соединенный с чувствительным электрометром (рис. 13.7). Электрометром Резерфорд измерял заряд α -частиц, испущенных источником внутри цилиндра за такое же время (радиоактивность многих веществ почти не меняется со временем). Зная суммарный заряд α -частиц и их число, Резерфорд определил отношение этих величин, т. е. заряд одной α -частицы. Этот заряд оказался равным двум элементарным.

Таким образом, он установил, что у α -частицы на каждый из двух элементарных зарядов приходится две атомные единицы массы. Следовательно, на два элементарных заряда приходится четыре атомные единицы массы. Такой же заряд и такую же относительную атомную массу имеет ядро гелия. Из этого следует, что α -частица — это ядро атома гелия.

Не довольствуясь достигнутым результатом, Резерфорд затем еще прямыми опытами доказал, что при радиоактивном α -распаде образуется именно гелий. Собирая α -частицы внутри специального резервуара на протяжении нескольких дней, он с помощью спектрального анализа убедился в том, что в сосуде накапливается гелий (каждая α -частица захватывала два электрона и превращалась в атом гелия).

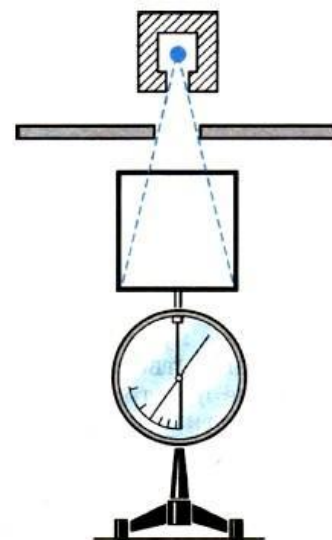


Рис. 13.7

Смотреть видео!

<https://yandex.ru/video/preview/7622447603610519543>

Альфа, бета и гамма излучения

Контрольные вопросы

1. Можно ли с помощью камеры Вильсона регистрировать незаряженные частицы?
2. Какие преимущества имеет пузырьковая камера по сравнению с камерой Вильсона?
3. Почему выяснить природу α -лучей оказалось гораздо сложнее, чем в случае β -лучей?

Задание для самостоятельной работы:

1. Ознакомиться с лекционным материалом. **Посмотреть видео!!!**
2. Письменно ответить на контрольные вопросы
3. Фотографию прислать в личном сообщении ВК <https://vk.com/id139705283>

На фотографии вверху должна быть фамилия, дата выдачи задания, группа, дисциплина. Например: «Иванов И.И, 19.06.2023, группа ТЭК 1/1 «Физика»