

*Реальность предоставляет нам факты столь романтические, что воображение бессильно добавить что-либо к ним.*

*Жюль Верн*

*Каждое взаимодействие внутриатомных частиц состоит в полном уничтожении изначальных частиц и создании новых внутриатомных частиц. Внутриатомный мир — это непрерывный танец создания и уничтожения, когда материя переходит в энергию, а энергия — в материю. Преходящие формы вспыхивают и гаснут, образуя никогда не заканчивающуюся и всегда заново созданную реальность.*

*Гари Зукав*

*Те, кто знает истину, отличаются от тех, кому она нравится, а те, кто предпочитают её, не всегда находят в ней удовольствие.*

*Китайская поговорка*

**ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ДЛЯ 8 КЛАССА  
ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА.  
ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ.**



## Оглавление

1. Скорость света .....	3-4
2. Дисперсия света .....	5-9
3. Спектры излучения и поглощения .....	9-13
4. Планетарная модель атома.....	14-18
5. Ядерные силы.....	19-21
6. Радиоактивность.....	22-28
7. Ядерная энергетика.....	29-42
8. Примерные темы рефератов.....	43
9. Литература.....	44

*Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.  
Анатолий Найдин*



г. Новокузнецк  
2014 г

*Мы имеем серьезные основания сделать заключение, что сам по себе свет (включая лучистую теплоту и другие излучения) является электромагнитным возмущением в форме волн, распространяющихся через электромагнитное поле согласно законам электромагнетизма.*

*Д. Максвелл*

Урок 1.

## **ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПРИРОДА СВЕТА. СКОРОСТЬ СВЕТА.**

**В чем гениальность предсказаний Максвелла?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с гипотезой Максвелла на природу света. Дать представление о методах измерения скорости света.

**ТИП УРОКА:** лекция.

**ОБОРУДОВАНИЕ:**

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Объяснение
3. Закрепление
4. Задание на дом



**II.** Обобщающая таблица "Электродинамика": уравнения Максвелла, электромагнитное поле, скорость распространения электромагнитных волн. Максвелл: "*... мы едва ли можем отказаться от вывода, что свет состоит из поперечных колебаний той же самой среды, которая является причиной электрических и магнитных явлений*".

Эта гипотеза получила блестящее подтверждение во многих экспериментах, большинство из которых мы с вами повторим. Они станут убедительными доказательствами волновой и электромагнитной природы света. Сейчас нам известно, что свет - электромагнитные волны с длиной волны в вакууме от 0,4 до 0,72 мкм. Все электромагнитные волны, в том числе и свет, распространяются в свободном от вещества пространстве с постоянной скоростью  $3 \cdot 10^8$  м/с. А триста лет назад? А еще раньше? Трудно сказать, когда люди начали размышлять над природой вездесущего света, который по библии был создан богом на третий день и до сих пор служит источником большей части наших знаний об окружающем мире ( $10^9$  бит информации в секунду).

Прежде всего, **свет – переносчик действия на расстояние.** Два способа передачи действия на расстояние и две теории на природу света.

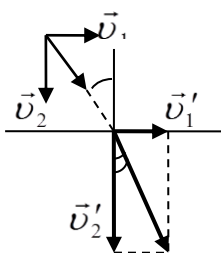
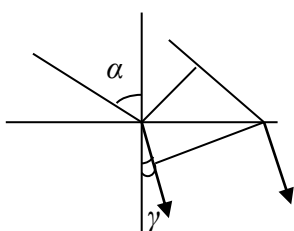
*Нет такой вещи в обычном смысле слова, такого тела, которое двигалось бы от Солнца к Земле или от видимого объекта к глазу, а есть состояние, движение, возмущение, которые были сначала в одном месте, затем в другом.*

*Х. Гюйгенс*

*Справедливо, что я заключаю из моей теории о телесности света, но я делаю это без всякой абсолютной определенности.*

*И. Ньютон*

Кратко рассказать о достоинствах и недостатках каждой теории. Демонстрация независимости распространения световых пучков и прямолинейности распространения света. Объяснение этих явлений волновой и корпускулярной теориями. Демонстрация преломления света на границе "воздух - вода".



Преломление света с точки зрения волновой и корпускулярной теорий. С точки зрения волновой теории скорость света при переходе из воздуха в воду должна уменьшаться, а с точки зрения корпускулярной теории – увеличиваться. Ньютон

считал, что при падении света на более плотную среду, частицы света испытывают притяжение, и скорость их увеличивается. Решающий эксперимент: **Необходимо измерить скорость света в воздухе и в воде, после чего сравнить их и сделать вывод в пользу той или другой теории.** Физо и Фуко.



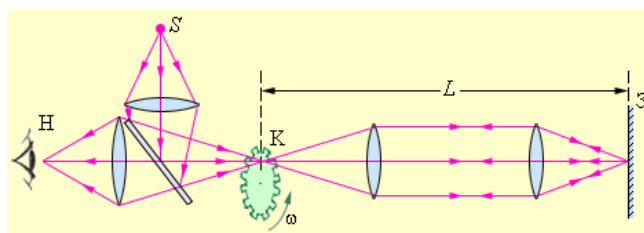
**Измерение скорости света в вакууме.** Астрономический метод

(Рёмер):  $c = \frac{D}{22_{мин}} = 300 \cdot 10^6 \text{ км}/1320 \text{ с} = 227000 \text{ км/с.}$

Уверенность в точности закона тяготения привела к новому открытию!

**Лабораторный метод определения скорости света, предложенный Галилеем.** Опыт Физо:  $c = 313000 \text{ км/с.}$

Измерение скорости света в воде (Физо). Скорость света в воде оказалась в 1,33 раза меньше, чем в вакууме. Какая из теорий получила блестящее подтверждение в эксперименте?



*... то, что скорость света является категорией, недоступной человеческому воображению, и что, с другой стороны, её возможно измерить с необыкновенной точностью, делает ее определение одной из самых увлекательных проблем, с которой может столкнуться исследователь ...*



*А. Майкельсон*

$$c = 299792458 + 1,1 \text{ м/с}$$

Поскольку скорость света измерена так точно, принято новое определение метра. **Метр – это расстояние, проходимое в вакууме плоской электромагнитной волной за 1/299792458 долю секунды.** Свет распространяется от источника к приемнику с огромной скоростью без какого-либо толчка и проходит все промежуточные точки на линии светового луча!



*Это почти неподвижности мука  
Мчаться куда – то со скоростью звука,  
Зная прекрасно, что есть уже где – то  
Некто,  
Летящий,  
Со скоростью  
Света!*

*Леонид Мартынов*

### **III. Задача:**

1. Свет от ближайшей звезды достигает Земли через 4,3 года. Каково расстояние от этой звезды до Земли?

### **IV. §**

1. Почему пуля может срикошетить от поверхности водоема?
2. Предложите свой способ измерения скорости света.

*Наиболее удивительная и чудесная смесь цветов – белый цвет.*

*И. Ньютон*

Урок 2.

## **ДИСПЕРСИЯ СВЕТА**

**За которое время луч света проходит через оконное стекло?**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с явлением дисперсии света, происхождением цветов, световыми эффектами, как одним из доказательств волновой природы света.

**ТИП УРОКА:** лекция.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** проекционный аппарат, призма дисперсионная "Флинт", призма прямого зрения, экран. Набор светофильтров, прибор для сложения цветов спектра, линза собирающая, волновая ванна с принадлежностями.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос-повторение
3. Лекция
4. Закрепление
5. Задание на дом

**II. Опрос фундаментальный:** 1. Скорость света и методы ее измерения.

**Вопросы:**

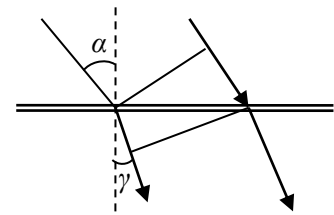
1. Для чего в научных исследованиях стараются повысить точность измерений?
2. Почему Г. Галилею не удалось измерить скорость света в своем опыте?
3. Как мог Г. Галилей в своей попытке измерить скорость света убедиться в том, что засечки моментов времени были источником огромных ошибок?
4. Зависит ли скорость света от свойств среды, в которой свет распространяется?
5. При слиянии нейтронных звезд возникший гравитационно-волновой сигнал и гамма-всплеск пришли практически одновременно. Почему?

Задача:

1. «Вояджер-1», самый дальний из созданных человеком объектов в космосе, находится от нас на расстоянии 145 астрономических единиц. За какое время световой сигнал с Земли достигает «Вояджера-1»?

**III. Преломление волн (повторение).**

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$



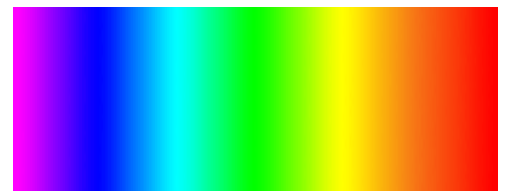
Демонстрация преломления волн различных частот в волновой ванне. Почему «длинные» волны преломляются сильнее, чем короткие? Для коротких волн мелкая вода не такая уж мелкая! Для каких волн показатель преломления больше?

**Дисперсия волн - зависимость показателя преломления среды (скорости волн в среде) от частоты. Дисперсия** (от лат. *dispergo* – разбрасывать). Если бы на границу раздела двух сред падали волны различных частот, то после преломления они были бы разбросаны по разным направлениям. Аналогичный опыт со световыми волнами провел Ньютон (схема опыта на доске).



Призма была куплена Ньютоном в аптеке (в те времена наблюдение призматических спектров было распространенным развлечением, снимающим стресс.)

**Демонстрация опыта.** Что произошло с пучком белого света (стал цветным и расширился).



**Спектр. Семь цветов радуги (КОЖЗГСФ).** В спектре солнечного света традиционно выделяют семь цветов, можно выделить и больше.

**Как можно объяснить наблюдаемое явление?** Очевидно, что белый свет - волны различных частот и призма их разбросала. Во всех материалах скорость низких частот света больше, чем высоких частот.

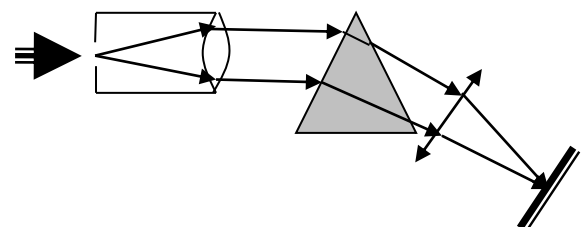
Волны одной частоты вызывают у нас ощущение красного цвета, другой – зеленого, третьей – синего. Совместное их действие вызывает ощущение белого света (демонстрация сложения цветов линзой).

Излучение, воспринимаемое нами как красный цвет, имеет длину волны между 590 и 780 нм, затем переходит к оранжевому, желтому, зеленому, синему и заканчивается тем, что мы называем фиолетовым, между 380 и 450. Полный диапазон видимого излучения 380-780 нм. Свет – физическое явление, а вот цвет ощущение – явление физиологическое.

**Белый свет - сложный** (эпиграф). Почему такое разбрасывание произошло? Волны различных частот преломляются призмой не одинаково? Какие сильнее?

**Лучи, отличающиеся по цвету, отличаются и по степени преломляемости.**

Устройство и принцип действия спектроскопа – прибора для наблюдения спектров.



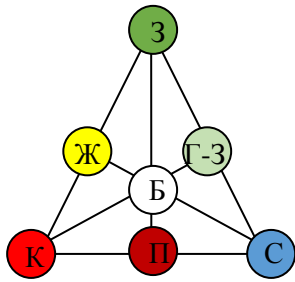
**Происхождение цветов.** Примеры с белой, черной и красной рубашкой.

Цвет объекта определяется именно светом, которым этот объект освещается. Зелёный газон воспринимается нами именно в зелёном цвете потому, что его поверхность отражает только зелёную (520-580 нм) составляющую спектра светового потока (будь то солнце или лампочка в качестве источника), а остальные цветовые составляющие поглощаются. Черный камень обсидиан даже при ярком свете остается черным, потому что он поглощает практически все лучи. Предметы черного цвета нагреваются на солнце сильнее остальных еще и потому, что они поглощают не только весь цветовой спектр солнечных лучей, но ещё и тепловое излучение Солнца. Отсутствие света – то же есть чёрный цвет. Когда же весь спектр светового луча белого света отражается от поверхности предмета, то предмет принимает белый цвет. Освещение солнечным светом в полдень дает нам возможность увидеть 100% цвет (истинный цвет) предметов! Цвет объекта не заложен в нем от природы! Если окружающие нас предметы осветить световым источником красного или синего света, то практически все цвета будут видимы для нас в красных или синих цветовых тонах, потому что в спектрах этих двух цветовых источников попросту нет других цветов.

*Не будь цветов, все ходили бы в одноцветных одеяниях.*

*К. Прутков*

Первобытные люди все самое ценное и значимое отмечали каким-либо цветом: кровь и огонь (красный), молоко (белый), земля (черный).



*Цвет может успокоить и возбудить, создать гармонию и вызвать потрясение.*

*Жан Вьено (французский художник)*

**Светофильтры.** Световые эффекты. Комбинации цветов. Демонстрация сложения красного и зеленого цветов.

**Цветной треугольник** на магнитной доске. **Основные и дополнительные цвета.** Можно ли создать фонарик, который будет светить синими (черными) лучами?

*У меня есть все основания полагать, что эти три основные цвета соответствуют трем типам (модам) ощущения органов зрения, которыми определяется вся цветовая гамма, видимая нормальным человеческим глазом.*

*Максвелл.*

**Выбор благоприятного сочетания цветов в одежде.** Основные цвета - яркие (кнопки пускателей, места смазки, светофор).

*Все живое стремится к цвету.*

*И.В. Гете*

*Нет ничего в том, что делают живые существа, что нельзя было бы понять с точки зрения того, что они состоят из атомов, действующих в соответствии с законами физики.*

*Ричард П. Фейнман.*

#### IV. Задачи:

1. Какой длины путь пройдет фронт волны монохроматического света в вакууме за то же время, за какое он проходит путь длиной 1 м в воде?
2. Определить показатель преломления среды, если известно, что свет с частотой  $4,4 \cdot 10^{14}$  Гц имеет в ней длину волны 0,51 мкм.

**Скорость света в вакууме не зависит от частоты используемого света!**

#### Вопросы:

1. Пучок зеленого света переходит из воздуха в воду. Меняются ли при этом его частота, длина волны, цвет?
2. Какими будут казаться черные буквы на белой бумаге, если смотреть на них сквозь зеленое стекло? Каким при этом будет казаться цвет бумаги?
3. Чем свет отличается от цвета?
4. Дисперсия дарит нам красивые закаты - когда Солнце находится у горизонта. Как это понимать?
5. Для чего при стирке белья в воду добавляют «синьку»?
6. На каком принципе основан световой занавес?
7. Приведите примеры применения «цветного треугольника» в быту.

#### V. §

1. Налейте в плоский тазик воды и положите зеркало так, чтобы один конец его опирался на край тазика, а другой был под водой. Тогда вода над зеркалом, имеющая форму клипа, будет работать как призма. Осветите фонариком вашу призму. Что вы наблюдаете?
2. Посадите на палочку или травинку каплю воды. Встаньте спиной к Солнцу и осторожно поднимайте каплю. Когда лучи Солнца образуют с направлением глаз угол около  $42^\circ$ , прозрачная капля вдруг вспыхнет чрезвычайно чистым по тону цветом. Если осторожно перемещать каплю по дуге окружности, можно увидеть все цвета радуги.
3. *"Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным разумом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов. Он исследовал различие световых лучей и проявляющиеся при этом различные свойства цветов, чего ранее никто не подозревал ... пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого". Слова на памятнике Ньютону.*  
Что вы еще можете добавить к этим словам?
4. Нарежьте из цветной бумаги квадратики разных цветов размером 2×2 см. Положите цветной квадратик на лист белой бумаги, и смотрите в центр квадратика в течение 30 с, не напрягая зрения. После этого переведите взгляд на белое поле бумаги (квадратики можно нарисовать фломастером на бумаге). Почему на белом поле виден квадратик в дополнительном цвете? Найдите дополнительные цвета.
5. Изобретатель акваланга Жак Кусто описывал такой случай: «Во время одного из первых погружений с аквалангом я случайно порезал руку. И с удивлением увидел, что из моей руки течет зеленая кровь». Объясните явление.
6. Из карандаша и диска из картона сделайте волчок. Вырезав из цветной бумаги секторы (два красных и два синих), оклейте ими поочередно диск. Запустив волчок, наблюдайте смешение цветов. Опишите опыты и их результаты.
7. В комнате, освещенной обычным белым светом, зажгите настольную лампу с красной лампочкой. Положите на стол лист белой бумаги и поместите между ним и лампой карандаш. Почему тень от карандаша зеленая?
8. Леонардо да Винчи утверждал, что «зеленый и голубой усиливают свой цвет в полутени, а красный и желтый выигрывают в цвете в своих освещенных частях». Так ли это?



*Спектры воспринимались так же, как прекрасные узоры на крыльях бабочек: их красотой можно было восхищаться, но никто не думал, что регулярность в их окраске способна навести на след фундаментальных биологических законов.*

*Н. Бор*

### Урок 3.

## ТИПЫ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ.

### Почему небо синее, а закат красный?

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Продемонстрировать учащимся спектры излучения и спектр поглощения различных веществ. Дать представление о спектральном анализе.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** проекционный аппарат ФОС-67 с принадлежностями, ртутная лампа, призма прямого зрения, экран, горелка для демонстрации спектров излучения и спектров поглощения натрия, фотоэлемент кремниевый, набор светофильтров, микроамперметр.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Дисперсия света. 2. Сложение цветов.

**Задачи:**

1. Сколько длин волн монохроматического света с частотой  $5 \cdot 10^{14}$  Гц уложится на пути длиной  $s = 1,2$  мм: 1) в вакууме; 2) в стекле ( $n = 1,50$ )?
2. Определить скорость распространения красных и фиолетовых лучей в воде, если показатель преломления для луча красного света 1,331, а для фиолетового – 1,343.

**Вопросы:**

1. Объясните, почему белое тело кажется белым в белом свете, красным в красном и т.д.?
2. Почему вены именно зелено-синего цвета, ведь кровь темно-красная?
3. Посветите красной лазерной указкой в темноте и при свете, где красный будет более яркий? Почему?
4. Если продолжительное время смотреть на одноцветный рисунок, а затем перевести взгляд на белую бумагу, то на бумаге вы увидите изображение рисунка в дополнительном цвете. Почему?
5. Почему снег мы видим белым?
6. Если черное тело поглощает падающий на него свет, то почему оно видно?
7. В театрах иногда применяют световой занавес. Предложите конструкцию занавеса и объясните принцип его действия.
8. Если смотреть на разноцветную светящуюся рекламу из газоразрядных

трубок, то красные буквы всегда кажутся выступающими вперед, по отношению к синим и зеленым. Почему?

9. Можно ли управлять показателем преломления вещества?

10. Какие явления нельзя объяснить дисперсией света:

- радугу;
- прохождение белого света через зеленый светофильтр;
- зеленый цвет листьев деревьев;

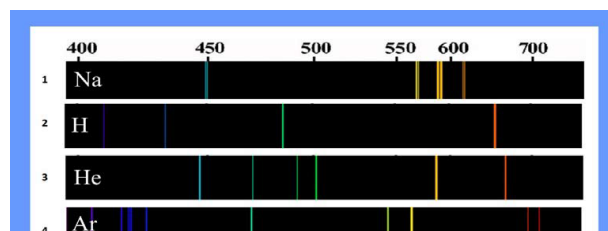
11. Почему в морозный солнечный день снег сверкает разноцветными огнями?

**III.** Бесконечно можно смотреть на три вещи: на то, как бежит вода, как работают другие люди, и как горит огонь, меняя свои цвета. Но от чего же зависят разные оттенки языков пламени?



Горелка Бунзена дает очень чистое белое пламя, и поэтому ее используют для разогрева веществ с целью наблюдения их цветового спектра. Демонстрация линейчатого спектра ртутной лампы. Какие частоты представлены в линейчатом спектре? **Линейчатый спектр дают**

**вещества, находящиеся в газообразном атомарном состоянии. Демонстрация плаката "Спектрограф". Спектры излучения водорода, гелия, ртути. Спектральный анализ.**



Почему атом излучает спектральные линии строго определенной длины волны и почему этих линий так много (у атома железа, например, только в видимой части спектра свыше 3000)? У каждого элемента есть уникальный цветовой штрих код (аналогия с отпечатками пальцев). В 1860 году Бунзен методом спектрального анализа открыл новый элемент – цезий! За последующие полвека лет методом спектрального анализа были открыты 25 новых элементов! При столкновении нейтронных звезд в 2017 году оптические телескопы зарегистрировали спектры золота, платины и свинца. Расчёты показали, что только золота в результате этого столкновения образовалось больше, чем 10 масс Земли.

*Если у тебя есть смесь, состоящая из лития, натрия, калия, бария, стронция и кальция, тебе достаточно дать мне только один миллиграмм, и я, посмотрев на нее через зрительную трубу моего прибора, совсем не прикасаясь к образцу, смогу сказать, какие элементы в ней присутствуют.*

*Роберт Бунзен*

Представление о том, насколько прост и эффективен метод спектрального анализа, дает один из анекдотов о знаменитом американском экспериментаторе Р. Вуде. Будучи аспирантом, этот остроумный человек уличил хозяйку пансионата, у которой столовался вместе с товарищами, в том, что она готовит им жаркое к завтраку из недоеденных накануне бифштексов: "посолил" огрызок мяса хлористым литием, а наутро обнаружил в спектре жаркого интенсивную красную линию, типичную для лития. Точность этого метода до  $10^{-8}$  %. Например, по спектру на КМК определяют химический состав стали (время 5 мин).

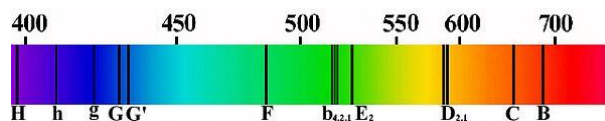
Демонстрация **линейчатого спектра паров натрия** (поваренная соль). Соли натрия делают пламя желтым, стронция - красным, калия - фиолетовым, галогенов в присутствии меди – голубым. Соли бария делают пламя зеленым, пудра титана или алюминия – белым. Для быстрого сгорания (фейерверк) используют содержащее кислород вещество – калиевую селитру. Углерод всегда горит светло-голубым цветом, но при недостатке кислорода в пламени присутствуют раскаленные частички углерода (сажа), которые окрашивают пламя желто-оранжевым цветом. Это свойство атомов объясняет, почему лес, прибитый к океанскому берегу, так высоко ценится для топки каминов. Долгое время, находясь в море, бревна адсорбируют большое количество разных веществ, и при горении бревен эти вещества окрашивают пламя во множество разных цветов. **Полосатые спектры.** Расширение спектральных линий при увеличении плотности газа. Переход к непрерывному спектру. **Молекулярные спектры.** Полосатые спектры дают вещества, находящиеся в газообразном молекулярном состоянии.

**Сплошной спектр** дают вещества, находящиеся в твердом, жидком и газообразном (при высоком давлении) состоянии. Демонстрация сплошного спектра, полученного от вольфрамовой нити лампы накаливания. Какие частоты представлены в непрерывном спектре излучения?

Квантовые объекты имеют дискретный спектр энергии, у них есть отдельные энергетические уровни. Если теперь мы возьмем систему из большого числа объектов, то спектр становится полосатым или непрерывным.

### Спектры поглощения.

Демонстрация спектра поглощения паров натрия. Почему возникает спектр



поглощения? **Газ поглощает излучение тех же частот, каких излучает в сильно нагретом состоянии!**

**Дополнительная информация.** Обычное стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи (рассеивает), но пропускает видимый свет и инфракрасные лучи. Пропусканием инфракрасного излучения объясняется, например, нагревание салона автомобиля в летнее время или потери тепла через окна в зимнее время. Кварцевое стекло пропускает излучение с длиной волны больше 150 нм. Крупные молекулы поглощают в видимой части спектра, и именно молекулярное поглощение придает вещам их цвет.

**Спектр Солнца (фраунгоферовы линии).** Изначально в спектре излучения Солнца присутствуют все цвета - он непрерывен. А темные линии появляются в нем в результате поглощения части спектра в поверхностных слоях Солнца и, следовательно, присутствуют в составе солнечного вещества. Если солнечные лучи пропустить через окрашенное натрием пламя горелки, темные линии натрия в спектре Солнца становятся еще более темными и выраженными.

*...Распялил луч в трехгранности стекла, сквозь трещины  
распластанного спектра туманностей исследовал состав...*

*М. Волошин, «Путями Каина*

**Дополнительный материал:** Определение химического состава вещества (еще раз о спектральном анализе). Химический состав атмосфер Солнца и звезд. Эффект Доплера и определение лучевых скоростей звезд. По увеличению ширины линий спектра звезды можно измерить температуру ее фотосферы. Расширение Вселенной (красное смещение). Теория Большого Взрыва. Астрофизика опирается на «трех китов»: спектроскопию звезд и туманностей, теорию излучения и теорию атома.

#### **IV. Задача:**

1. Если эффективная высота атмосферы Земли 8 км, то какой толщины слой атмосферы проходят лучи Солнца на закате или восходе?

#### **Вопросы:**

1. Почему по мере подъема звезды над горизонтом она становится ярче?
2. Почему глаз человека может смотреть на Солнце, когда оно у горизонта, и не может, когда оно в зените?
3. Почему днем Луна белая, а ночью желтая?
4. Отчего сигналы опасности подают красным светом, хотя глаз наиболее чувствителен к желто-зеленому свету?
5. Почему участки на фотографиях туманности Ориона, где много пыли, имеют явный голубой оттенок?
6. Почему днем на небе не видны звезды, а на Луне они видны днем?
7. Почему нельзя увидеть дно кастрюли через слой молока?

#### **V. §.**

1. При смешении желтой краски с синей, получается краска зеленого цвета, тогда как при смешении лучей желтого и синего цвета получается белый цвет. Почему?
2. Капнув несколько капель молока в стакан с водой, посмотрите сквозь него на светящуюся лампочку. Лампочка покажется красновато-желтой. Если же посмотреть на отраженный от стакана свет, он будет голубым. Проведите опыт и объясните наблюдаемое различие цветов.
3. Предложите проект измерителя поглощения света светофильтром.
4. Можно ли накаливать до "белого каления" стеклянную трубку? Проверьте это на опыте.
5. Справедлива ли поговорка: «Небо красно к вечеру — моряку бояться нечего; небо красно поутру — моряку не по нутру»?
6. При освещении мощной электрической лампой горящей свечи на белом экране появляется не только тень от свечи, но и от пламени. Разве источник света (пламя) может дать собственную тень?

*Я, не колеблясь, утверждаю, что один только взгляд на призматический спектр дает возможность указывать на присутствие ... мельчайших количеств вещества ...*

*Ф. Тальбот*

#### **Урок 4.**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: «НАБЛЮДЕНИЕ СПЛОШНОГО И ЛИНЕЙЧАТОГО СПЕКТРОВ».**

#### **Линейчатый спектр - следствие процессов внутри атома!**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** Научить учащихся наблюдать спектры излучения с помощью треугольных призм, устанавливать тип спектра, проводить спектральный анализ.

ТИП УРОКА: лабораторная работа.

ОБОРУДОВАНИЕ: призмы дисперсионные, выпрямитель "Разряд", набор спектральных трубок, лазер ЛТ-209, проекционный аппарат ФОС-67.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Краткий инструктаж
1. Выполнение работы
2. Подведение итогов
3. Задание на дом



II. Название работы, оборудование, краткая теория.

**Спектральный анализ:**

- **Каждый элемент имеет свой спектр.**
- **Спектр каждого элемента строго постоянен.**
- **Вид спектра не зависит от того, в каком химическом соединении находится данный элемент.**
- **Яркость спектральных линий зависит от концентрации элемента в данном веществе.**
- **Число спектральных линий зависит от способа возбуждения и температуры.**
- **После наблюдения спектра, необходимо его зарисовать и описать.**

III. Выполнение работы:

- Спектр лампы накаливания.
- Спектр гелия.
- Спектр неона.
- Спектр водорода.
- Спектр криптона.

**Дополнительное задание:** Определить химический состав газа в газоразрядной трубке лазера ЛТ-209 (сообщить учащимся, что в трубке смесь двух газов).

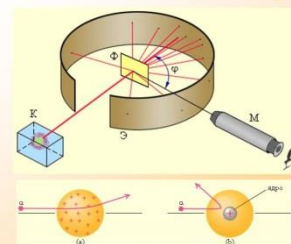
IV. Подведение итогов. Выводы.

V. §

1. Изготовить простейший спектроскоп.

*Быть может эти электроны  
Миры, где пять материков.  
Искусство, званья, войны, троны  
И память сорока веков!  
Еще, быть может, каждый атом -  
Вселенная, где сто планет.  
Там все, что здесь, в объеме сжатом,  
Но также то, чего здесь нет.*

Схема опыта Резерфорда



В.Я. Брюсов

Урок 5.

**ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА. ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА.**

**Атом должен иметь структуру!**



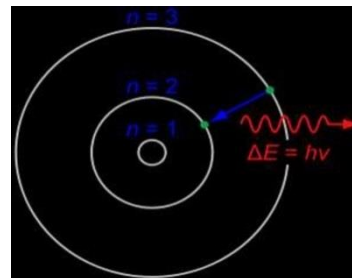
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с решающим экспериментом по выяснению структуры атома. Дать представление о планетарной модели атома.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** модель "потенциальный холм", шарики, кинофрагмент "Опыт Резерфорда". Высокочастотный выпрямитель "Разряд", спектральные трубки, зачетные папки по квантовой физике.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос-повторение
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



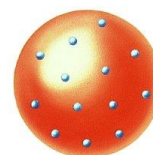
**II. Опрос фундаментальный:** 1. Типы спектров излучения. 2. Спектры поглощения.

*Вопросы:*

1. Почему скорость света в веществе меньше чем в вакууме?
2. Почему задолго до восхода Солнца начинается рассвет?
3. Почему Солнце на закате (восходе) кажется красным?
4. Почему на глубину порядка двухсот метров уже не проникает никакой видимый свет?
5. Почему опасность солнечного ожога в утренние и вечерние часы практически нулевая?
6. Почему цвет метеора зависит от его химического состава?
7. На основании чего можно было бы утверждать, что в холодном газе, окружающем Солнце, присутствует железо?
8. Тернистый путь фотонов из центра Солнца к его поверхности, занимает почти миллион лет. Почему так долго?

**III. Что было известно об атоме к началу XX века?**

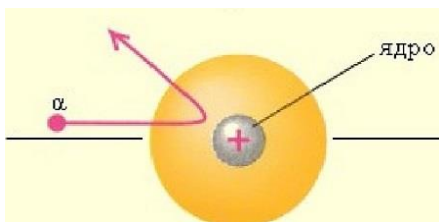
- Размеры:  $d \sim 10^{-8}$  см (практически одинаковы для всех атомов).
- В состав атома входят электроны (число электронов равно порядковому номеру химического элемента в периодической таблице). Отрицательный заряд атома:  $q_- = Z$  эл. зарядов =  $-Z e$ , где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. В пределах  $10^{-29}$  см электрон представляет собой правильную сферу (размер неизвестен).
- Атомы нейтральны (в состав атома входит положительный заряд). Положительный заряд атома:  $q_+ = Z$  эл. зарядов =  $Z e$ .
- Масса атома:  $m_0 = M_B / N_A$ . Очень часто масса атома в справочниках дана в атомных единицах массы: 1 а.е.м. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  кг.
- Атомы могут излучать свет.
- Молекула - система атомов.
- Атомы одного и того же химического элемента тождественны.



**Идея опыта Резерфорда (1909 – 1911 г.).** Где сосредоточен положительный заряд атома? Аналогия со стогом сена, винтовкой с патронами и контрабандным золотом. Экспериментальная установка (рисунок на доске).

Тонкая золотая фольга (600 атомных слоев). Почему золотая фольга должна быть тонкой? Длина свободного пробега  $\alpha$  - частиц в воздухе 5 см, а в золоте 17 мкм, поэтому фольга имела толщину 1 мкм. Почему фольга из золота? Золото легко получить в химически чистом виде, оно легко обрабатывается (чеканка), химически устойчиво, изотропно. Сейчас ученым удалось синтезировать даже наноллисты золота толщиной 0.2–0.4 нм, что соответствует слоям толщиной 1–2 атома, а в последнее время толщиной лишь в 1 атом.

Резерфорд и Гейгер визуально подсчитали, что в продолжение секунды из излучателя в один грамм радия вылетает 130 тысяч альфа-частиц. Как им это удалось?



*Безграничный энтузиазм и неутолимое дерзание Резерфорда вели его от открытия к открытию.*

*Нильс Бор*

**Результаты экспериментов.** Фольга отражала альфа-частицы, и они отклонялись в среднем на 2–

3°. Но некоторые частицы вели себя странно. Они отклонялись на 90°, а иногда и больше, даже отскакивали назад (в среднем 1 из 50000), словно атомы тонкой фольги служили для них преградой.

Угол отклонения, <sup>0</sup>	5	15	30	60	75	105	120	135	150	180
Число частиц	8289900	120570	7800	477	211	70	52	43	33	12

*Это было одно из самых невероятных событий, которое когда-либо случалось со мной в жизни. Это было почти так же невероятно, как если бы выстрелили 15-дюймовым снарядом в лист папиросной бумаги, а снаряд вернулся бы назад и попал в вас.*

*Э. Резерфорд*



**Дополнительная информация.** Резерфорд попросил одного из своих студентов переоборудовать установку таким образом, чтобы можно было наблюдать рассеяние альфа-частиц под большими углами отклонения, - просто для очистки совести, чтобы окончательно исключить такую возможность. В качестве детектора использовался экран с покрытием из сульфида натрия - материала, дающего флуоресцентную вспышку при попадании в него альфа-частицы. Каково же было удивление не только студента, непосредственно проводившего эксперимент, но и самого Резерфорда, когда выяснилось, что некоторые частицы отклоняются на углы вплоть до 180°! Понятно, что Э. Резерфорд не мог видеть внутреннюю структуру атома, поэтому он опирался на логику. Если положительный заряд и масса равномерно распределены по всему объему атома (именно такое представление об атоме было в то время), то все  $\alpha$ -частицы должны были пролететь сквозь фольгу практически не отклоняясь, ведь их энергия колоссальна (это примерно как бить мячом сквозь паутину).

*...рассеяние назад ... невозможно получить ..., если не считать, что основная часть массы атома сконцентрирована в небольшом ядре.*

*Э. Резерфорд*

*Все, окружающее нас, является непостижимой тайной. Мы должны пытаться раскрыть эту тайну, даже не надеясь добиться этого.*

*Карлос Кастанеда*

**Планетарная модель атома.** 7 марта 1911 г. Манчестерское философское общество услышало доклад Резерфорда «Рассеяние  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучей и строение атома». **Размеры атомного ядра и атома:**  $d_{\text{я}} = 10^{-13}$  см;  $d_{\text{а}} = 10^{-8}$  см. Во сколько раз размеры ядра меньше размеров атома? Сравнение с Солнечной системой не

случайно: диаметр Солнца ( $1,4 \cdot 10^6$  км) почти во столько же раз меньше размеров Солнечной системы ( $6 \cdot 10^9$  км), во сколько размеры ядер ( $10^{-13}$  см) меньше диаметра атома ( $10^{-8}$  см). Если представить себе атомное ядро размером с теннисный мяч, то электрон будет меньше пылинки, летающей за километр от этого мяча! Если размеры атома водорода мысленно увеличить до размеров Земли, то ядро атома будет иметь диаметр всего 127 м! Размеры ядра, в котором собрана практически вся масса, в сравнении с атомом чрезвычайно малы.

**Заряд ядра (Z) в единицах элементарного заряда равен порядковому номеру элемента в периодической таблице.**

**Массовое число (A) - округленная до целого числа масса атома в атомных единицах массы (а.е.м).** Масса ядра почти равна массе атома:  $m_{\text{я}} = m_{\text{А}} - Zm_{\text{е}}$ .

Сложные атомы. Символическое обозначение атомов:  ${}^A_Z X$ . Примеры:  ${}^4_2 \text{He}$ .

**Ядро - область внутри атома, в которой сосредоточен весь положительный заряд и почти вся масса атома.**

**Историческая справка.** Один из друзей Резерфорда сказал ему однажды: «Счастливым вы человек, Резерфорд! Всегда на гребне волны». И услышал ответ: «Конечно! Ведь я сам ее создаю...». Кроме того, с именем Резерфорда связан важнейший сюжет из истории отечественной науки. В его лаборатории работал Петр Леонидович Капица. В начале 1930-х ему запретили выезжать из страны, и он был вынужден остаться в Советском Союзе. Узнав об этом, Резерфорд переслал Капице все приборы, которые были у него в Англии, и таким образом помог создать в Москве Институт физических проблем. То есть благодаря Резерфорду состоялась существенная часть советской физики.

Применение законов классической физики к атомной системе. **Планетарная модель атома.** Если бы электрон и ядро покоились, то через  $10^{-16}$  с электрон упал бы на ядро. Следовательно, для устойчивости атома необходимо, чтобы внутри атома существовало непрерывное движение. Планеты движутся вокруг Солнца, а электроны вокруг ядра - как велосипедисты на велотреке!

**Трудности планетарной модели.** Движущийся с ускорением вокруг ядра электрон должен излучать электромагнитные волны и через  $10^{-9}$  с должен упасть на ядро (пример со спутником Земли в плотных слоях атмосферы).

**Классическая физика не смогла объяснить устойчивость атома, явление излучения и поглощения света атомами, тождественность всех атомов одного и того же элемента.**

*Прекрасно, что мы встретились с парадоксом. Теперь можно надеяться на продвижение вперед.*

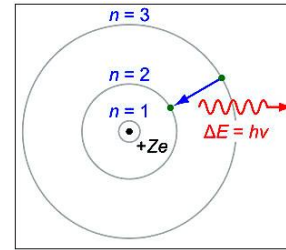
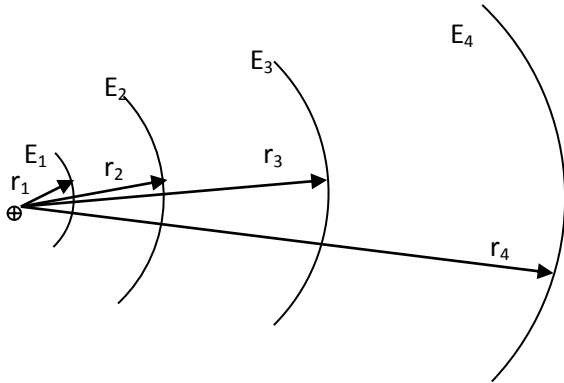
*Нильс Бор*

**Как Бор "спас" планетарную модель атома?** 28 февраля 1913 года Нильс Бор предложил планетарную модель строения атома.

**Историческая справка.** Л. Д. Ландау. Автомобильная катастрофа, телеграмма П.Л. Капицы в институт Бора в Дании. Лекарство против отека мозга. Бор-футболист, играл за сборную Дании, борец за мир.

## Постулаты Бора:

1. Атомная система может находиться лишь в определенных энергетических состояниях, называемых стационарными. Каждому стационарному состоянию соответствует своя энергия и свой радиус орбиты электрона. Находясь в стационарном состоянии, атом не излучает.



2. Переход атомной системы из одного стационарного состояния в другое происходит при излучении или поглощении кванта с энергией  $h\nu$ .

### Излучение

$$E_2 - E_1 = h\nu_{21}$$

$$E_3 - E_1 = h\nu_{31}$$

$$E_3 - E_2 = h\nu_{32}$$

.....

$$E_m - E_n = h\nu_{mn}$$

$$\nu_{mn} = \nu_{nm}$$

### Поглощение

$$E_1 + h\nu_{12} = E_2$$

$$E_1 + h\nu_{13} = E_3$$

$$E_2 + h\nu_{23} = E_3$$

.....

$$E_n + h\nu_{nm} = E_m$$

Атом поглощает кванты тех же частот, каких излучает. Основное и возбужденные состояния. Постоянная Планка:  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Определенный атом может принять или излучить энергию только определенных порций и ни толикой больше или меньше (постулат квантового мира)!

Если бы электрон в атоме водорода мог занимать любую из множества орбит, водород при различных обстоятельствах проявлял бы различные свойства, однако атомы одного и того же химического элемента в основном состоянии **тождественны** (неразличимы, как кирпичи из одной формы). Электрон в основном состоянии «размазан» не по окружности, а по сфере известного радиуса! Это понятие в физике называется "электронным облаком".

Электрон в атоме перемещается с орбиты на орбиту, исчезая на одной и мгновенно возникая на другой, не появляясь в пространстве между ними. Электрон не бывает «между» стационарными состояниями! Квантовый лифт, например, никогда бы не находился между этажами, он мог бы быть только на втором или на первом, но никак не посередине. Эта идея – **квантовый скачок** – принесла Бору Нобелевскую премию. Мало того – ученые не могут определить, где именно на новой орбите появится исчезнувший электрон или в какой момент он будет совершать скачок!

*Физическая система обладает конечным числом различных состояний; она перескакивает из одного состояния в другое, не проходя через непрерывный ряд промежуточных значений.*

*А, Пуанкаре, 1912 г.*

## IV. Задача:

1. Какова скорость  $\alpha$  - частиц с кинетической энергией 7,68 МэВ?

*Как говорится в квантовой механике: заткнись и решай!  
Цитаты преподавателей СПбГУПТД*

*Вопросы:*

1. Почему в опытах по рассеянию альфа-частиц атомами электроны, входящие в состав атома, не оказывали заметного влияния?
2. Сколько слоев атомов пролетела  $\alpha$  - частица, если толщина фольги в экспериментах составляла  $10^{-5}$  м?
3. Как изменились бы результаты опыта Резерфорда, если: а) увеличить толщину фольги; б) использовать алюминиевую фольгу?
4. Как изменилась бы картина рассеяния, полученная Резерфордом, если бы вместо  $\alpha$ -частиц он использовал в качестве снарядов протоны, имеющие такую же скорость?

**V. §**

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Э. Резерфорда.
2. Рассмотрите, и кратко опишите идеи и опыты, на основании которых можно определить атомные и молекулярные спектры.

*Могучие силы  
Сомкнуло в миры.  
И чудной, прекрасной,  
Повеяло жизнью.  
А.В. Кольцов*

## **Урок 6. СОСТАВ ЯДРА АТОМА. ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ.**

**Элемент - это вещество, состоящее из атомов с одинаковым зарядом ядра.**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с экспериментальными данными о строении и свойствах атомных ядер, протонно-нейтронной моделью атомного ядра.

**ТИП УРОКА:** лекция.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** диафильм "Строение атома", кинофрагмент "Открытие нейтрона",

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос-повторение
3. Лекция
4. Демонстрация кинофрагмента
5. Закрепление
6. Задание на дом

**II. Задача:**

1. Электрон в атоме переходит со стационарной орбиты с энергией  $-8,2$  эВ на орбиту с энергией  $-4,7$  эВ. Поглощается или выделяется квант света? Найдите энергию этого кванта.

*Вопросы:*

1. В чем заключались противоречия между моделью атома Резерфорда и



классической физикой?

2. Почему один человек не может пройти сквозь другого человека?
3. Правда ли, что электроны не вращаются вокруг ядра, а находятся на стационарных орбитах?
4. Почему все вещество не собирается в точку?
5. Как с помощью модели атома Резерфорда - Бора объяснить: устойчивость атома, тождественность атомов, излучение света?
8. Что находится между орбитами электронов в атоме?
9. Почему орбита электрона на рисунках изображается в виде электронного облака?
10. Почему размеры тяжелых многоэлектронных атомов практически такие же, что и у атома водорода?
11. Упадут ли электроны на ядра атомов при приближении температуры тела к абсолютному нулю?

**III.** В 1911 г. Резерфорд предложил ядерную модель строения атома: атом состоит из положительно заряженного ядра, окруженного отрицательно заряженными частицами - электронами; именно в ядре сосредоточена почти вся масса атома.

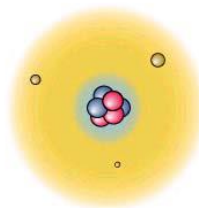
Хотя в ядре сосредоточена почти вся масса атома, размер ядра по сравнению с атомом чрезвычайно мал (диаметр атома порядка  $10^{-10}$  м, ядра —  $10^{-15}$  м).

Из курсов физики вы уже знаете, что атомное ядро состоит из частиц двух видов: протонов, имеющих положительный электрический заряд, и нейтронов, не имеющих заряда. Масса протона примерно равна массе нейтрона и почти в 2000 раз больше массы электрона. Протоны и нейтроны, входящие в состав ядра атома, называют нуклонами. Суммарное количество протонов и нейтронов в атоме называют массовым числом и обозначают символом (A). Атом является электрически нейтральным: суммарный заряд протонов в ядре равен суммарному заряду электронов, расположенных вокруг ядра. Так как заряд протона по модулю равен заряду электрона, то понятно, что в атоме число протонов равно числу электронов. Число протонов в ядре называют зарядовым (протонным) числом и обозначают символом (Z). Порядковый номер элемента в периодической таблице соответствует числу протонов в ядре (зарядовому числу).

**Зная зарядовое (Z) и нуклонное (A) числа ядра атома, можно определить количество нейтронов (N) в данном ядре:  $N = A - Z$ . Все свойства атома определяет всего одна величина: количество протонов в ядре!**

**Строение атомных ядер:**  ${}^3_2\text{He}$ ,  ${}^7_3\text{Li}$ ,  ${}^9_4\text{Be}$ . Каков состав ядра  ${}^{235}_{92}\text{U}$ ?

Число нейтронов в ядре атома:  $N = A - Z$ . Из письма Резерфорда Н. Бору: *"Мне было приятно слышать, что Вы отнеслись к нейтрону так благожелательно"*.



В 1907 году радиохимиком Фредериком Содди было обнаружено, что существуют вещества с одинаковыми химическими свойствами, но отличающиеся числом нейтронов.

**Изотопы - атомы, ядра которых имеют одинаковый заряд, но разную массу** (отличаются количеством нейтронов в ядре). Массы изотопов измерены с относительной погрешностью 0,00001 % . Например, атомная масса атома водорода  ${}^1_1\text{H}$  равна 1,0078250 а.е.м, масса тяжелого изотопа водорода - дейтерия  ${}^2_1\text{H}$  равна 2,0141018, а масса гелия  ${}^4_2\text{He}$  равна 4,0026033. Масса электрона в этих единицах равна 0,00054858, и ее тоже надо принимать во внимание. В одной атомной единице массы заключена энергия 931,5 МэВ.

${}^{35}_{17}\text{Cl}$  – 75%;  ${}^{37}_{17}\text{Cl}$  – 25%;  $A_{\text{cp}} = \frac{A_1\% + A_2\%}{100\%}$ . **Элемент** - вещество, образованное

атомами с одним и тем же числом протонов в ядре. После открытия изотопов стали различать «простой элемент» и «смешанный элемент». Почему?

**Другие примеры с изотопами урана и водорода:**

${}^{238}_{92}\text{U}$  - 99,3%

${}^1_1\text{H}$  = 99,985%

${}^{235}_{92}\text{U}$  - 0,7%

${}^2_1\text{H}$  (дейтерий) = 0,015% (1932 год, Гарольд Юри)

${}^{234}_{92}\text{U}$  - 0,006%

${}^3_1\text{H}$  – тритий (содержание незначительно)

Оставшиеся в живых жители Хиросимы навсегда запомнят разницу между безобидным изотопом урана  ${}^{238}\text{U}$  и изотопом урана  ${}^{235}\text{U}$ .

По образному выражению Ф.Содди, атомы изотопов одинаковы «снаружи», но различны «внутри».

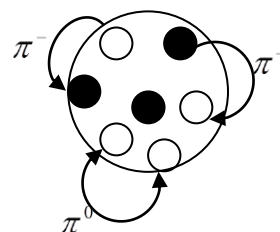
Некоторые химические элементы состоят лишь из одного стабильного изотопа (бериллий, фтор, натрий, алюминий, фосфор, марганец, золото и ряд других элементов). Наибольшее число стабильных изотопов – 10 обнаружено у олова, у железа, например, их – 4, у ртути – 7.

**Тяжелая вода.** В организме человека её 6 или 7 грамм, в реках, озёрах и морях гораздо больше. Тритиевая вода, к сожалению, радиоактивна! Работа со справочником по физике и технике: Табл. 261 на ст. 208 и табл. 263 на ст. 210. Выводы учащихся.

**Состав атомного ядра** на примере  ${}^7_3\text{Li}$ . Почему ядро

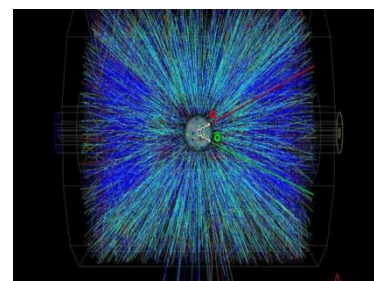
устойчиво? Оказывается, что все частицы в ядре притягиваются друг к другу благодаря взаимодействию, которое более чем в сотню раз сильнее, чем электромагнитное отталкивание протонов. Именно поэтому

взаимодействие нуклонов называют сильным взаимодействием. **Ядерные силы.**  $\pi$ -мезоны – кванты ядерного поля. Обменный характер ядерных сил. Нуклон всегда окружён своеобразной «мезонной шубой», т.е. облаком постоянно испускаемых и поглощаемых  $\pi$ -мезонов, распространяясь на расстояния порядка 2,5 пм.



**Свойства ядерных сил:**

- Короткодействующие  $\sim 10^{-13}$  см.
- Обладают зарядовой независимостью.



- Самые мощные из известных сил природы.
- Возникают между адронами.

**Ядро - пульсирующий сгусток мимолетных частиц.**

**Энергия связи ядра ( $E_{св}$ ) - минимальная работа, необходимая для разделения системы (ядра) на составляющие ее частицы.**

*Физики могут объяснить даже то, что невозможно представить.*

*Л. Ландау*

**IV.** Демонстрация кинофрагмента.

**V. Задача:** 1. Вычислить плотность вещества, из которого состоит ядро  ${}^4_2\text{He}$ , считая его радиус равным  $10^{-13}$  см.

**Дополнительная информация.** Если в атомах убрать свободное пространство и оставить только составляющие их элементарные частицы, то чайная ложка такого "вещества" будет иметь массу  $5 \cdot 10^{12}$  килограмм. Из него состоят так называемые нейтронные звезды.

*Вопросы:*

1. Сколько протонов и сколько нейтронов в ядре атома аргона  $\text{Ar} - 40$ ?
2. Чем отличаются ядра изотопов урана?
3. В ядре атома бора содержится 5 протонов и 6 нейтронов. Сколько электронов в этом атоме? сколько нуклонов в ядре этого атома?
4. Чем отличаются по составу ядро легкого изотопа гелия от ядра сверхтяжелого изотопа водорода?
5. Каким образом открытие нейтрона позволило объяснить наличие изотопов?
6. Поясните смысл выражения: «Ядерные силы обладают зарядовой независимостью».
7. Что вам известно о тяжелой воде?

**VI §**

1. В 1815 году Вильям Прут предположил, что все элементы "построены" из водорода, который является, таким образом, первичной материей. Что привело его к этой гипотезе и почему в XIX веке она была отвергнута?
2. Вообразите мир без сильного взаимодействия. Чем еще интересен этот мир?

*...я показал, что соли урана испускают лучи, о существовании которых не было до этого известно, и что эти лучи обладают замечательными свойствами, часть которых сходна со свойствами, изученными Рентгеном.*

*А. Беккерель*

## Урок 7. ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

**Почему жидкий радон ярко светится голубым светом?**

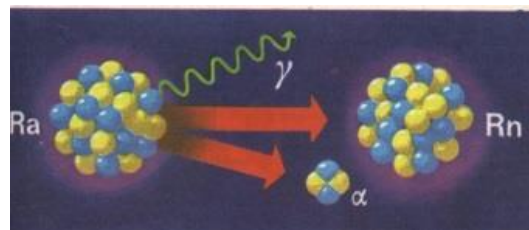
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с явлением естественной радиоактивности. Расширить их представления о свойствах атомного ядра.

**ТИП УРОКА:** урок-лекция.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** кинофрагмент "Свойства радиоактивных излучений".

## ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Лекция
4. Закрепление
2. Задание на дом



## II. Вопросы:

1. Почему у тяжелых ядер число нейтронов превышает число протонов?
2. В чем сходство и в чем различие гравитационных, электромагнитных и ядерных сил?
3. Почему не бывает атомных ядер, состоящих только из двух протонов или только из двух нейтронов?
4. Почему ядра тяжелых элементов распадаются, ведь чем больше нуклонов в ядре, тем больше должны быть ядерные силы?
5. Из десятков тысяч возможных наборов протонов и нейтронов только около 250 стабильны, но почему именно они?
6. Можно ли рассматривать нейтронную звезду, как ядро химического элемента с очень большим порядковым номером?

**III. Открытие Рентгена (рентгеновские лучи). Работы А. Беккереля по фотолюминесценции. Соли урана. Открытие излучения солей урана (2 марта 1896 г.). А. Беккерель – первая жертва радиации!**

### **Радиоактивность - самопроизвольное излучение солей урана.**

Классическая физика объяснить явление радиоактивности не смогла.

**Исторические факты.** 26 декабря 1898 года во Французской медицинской академии Пьер и Мария Кюри сделали первое сообщение об открытии радия. Работы супругов Кюри. Выделение радия и полония из урановой руды (за 4 года переработав тонны руды химическим способом, выделили 0,1 г радия). Уровень облучения от одного грамма радия примерно такой же, как от тонны чистого урана. Полоний чрезвычайно токсичен, радиотоксичен и канцерогенен и если он попадает в организм, то он смертелен даже в ничтожно малых дозах. Вещества, испускающие открытое Беккерелем излучение, были названы **радиоактивными**, а само явление Мария Склодовская-Кюри в 1898 г. назовет **радиоактивностью**. В 1899 году Беккерель обнаружил, что излучение радия отклоняется в магнитном поле, а Резерфорд показал, что оно состоит из двух компонент, названных альфа - и бета-лучами. В 1900 году Виллард открыл  $\gamma$  - лучи, а Резерфорд в 1909 году выяснил, что  $\alpha$  - лучи – дважды ионизованные атомы гелия.

*Поэзия -*

*та же добыча радия.*

*В грамм добыча,*

*в год труды*

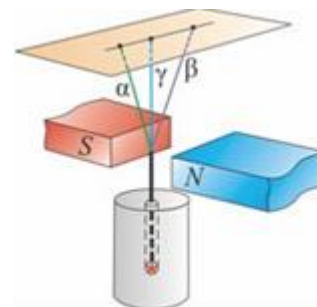
*Изводишь*

*единого слова ради*

*Тысячи тонн*

*словесной руды.*

*В. Маяковский*



Опыт Резерфорда. Три компоненты ( $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ ) радиоактивного излучения; их свойства.

**$\alpha$  - компонента:** скорость  $\sim 20000$  км/с; масса  $\sim 4$  а.е.м.; заряд  $2e$ .

Альфа-частицы, обладая большой массой, быстро теряют свою энергию и поэтому имеют незначительный пробег в веществе (например, в биологических тканях 30-150 мм).

**$\beta^-$  – компонента:** Скорость  $\sim 3 \cdot 10^8$  м/с, масса  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, заряд  $= -e$ .

При средних энергиях пробег бета-частиц в воздухе составляет несколько метров, в воде - 1-2 см, в тканях человека - около 1 см, в металлах - 1 мм.

$\gamma$  – лучи - электромагнитные волны с длиной волны меньше  $10^{-11}$  м.

**Все радиоактивные излучения обладают:**

- химическим (биологическим) действием;
- вызывают ионизацию газов (воздух);
- поглощаются веществом;
- вызывают флуоресцентное свечение ряда веществ.

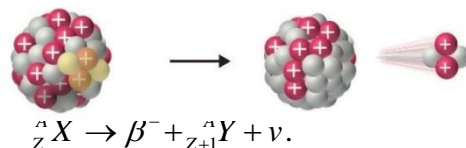
**Дополнительная информация:** Пьер Кюри исследовал влияние образца радия на свою кожу и выяснил, что радий вызывает ожоги и раны. Из гуманитарных соображений супруги Кюри отказались патентовать радий и, несмотря на финансовые трудности и тяжелые условия работы, получали удовольствие от исследований, особенно ночью, когда видели вокруг себя «светящиеся очертания стаканов и пробирок с образцами». Через 12 лет после начала работы, исполнилась мечта Марии: она увидела, наконец, серебристо-белую капельку чистого металла радия массой 0,0085 г. Но эта капелька излучала в 3 миллиона раз активнее, чем такая же капелька урана.

**Превращения ядер химических элементов в результате распада.**

Выделение энергии: 1 г радия выделял 102 Дж тепла в час. Во всех соединениях урана и тория был обнаружен гелий, причем в больших количествах. В 1901 году английский физик Эрнест Резерфорд и его коллега Фредерик Содди обнаружили, что торий испускает альфа-частицы и постепенно преобразуется в химический элемент радий. Газ, выделяющийся из радия, был назван эманацией. Эманации радия (радон) не была гелием, но она превращалась в него (уменьшение радиоактивности изотопа тория при обдувании образца)! Все это очень смахивало на утверждение алхимиков о возможности превращения элементов. Через два года вдохновенной работы Резерфорд и Содди пришли к поразительному заключению: радиоактивность есть не что иное, как распад атома на заряженную частицу и атом другого элемента, по своим химическим свойствам отличный от исходного элемента.

Внутриядерные превращения радиоактивных элементов. Распад ядер радиоактивных элементов или изотопов может происходить тремя основными путями, и соответствующие реакции ядерного распада названы тремя первыми буквами греческого алфавита. **Правило смещения.**

**Альфа - распад:**  ${}^A_Z X \rightarrow \alpha + {}^{A-4}_{Z-2} Y$



**Электронный бета-распад:**

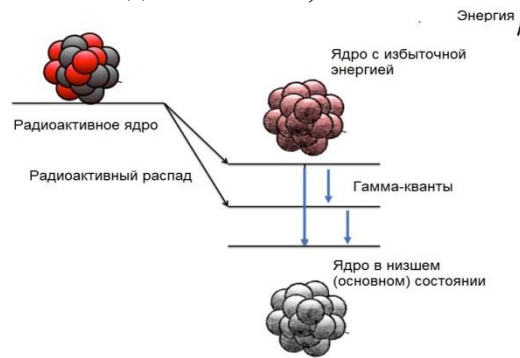
**Дополнительная информация.** При распаде одного и того же ядра электроны имеют различные энергии от нуля до некоторого максимального значения энергии. Куда девается часть энергии (средняя энергия, передаваемая электроном калориметру, оказалась в 2 раза меньше максимальной энергии)? В 1930 году В. Паули предположил, что часть энергии уносит неизвестная частица, которую он назвал



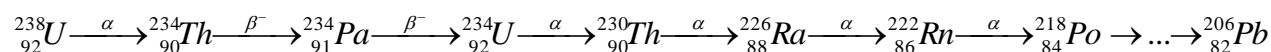
«нейтрон». После открытия настоящего в 1932 году, эта частица была переименована Э. Ферми в «нейтрино». В 1956 году в опытах было доказано существование нейтрино (Нобелевская премия Ф. Рейнсу в 1995 году). Нейтрино практически свободно пронесется повсюду, принося с собой информацию из недр звезд и из недоступных уголков Вселенной. Например, Солнце испускает так много нейтрино, что 100 триллионов из них пролетают через вас каждую секунду вашей жизни. Хотя нейтрино обладают массой, она настолько бесконечно мала, что высокоэнергетические нейтрино движутся со скоростью, практически неотличимой от скорости света в вакууме.

**Гамма-распад:**  ${}^A_Z X \rightarrow \gamma + {}^A_Z X$ .

Чаще всего после радиоактивного распада атомное ядро "застревает" в состоянии с избыточной энергией. Затем происходит "сброс" этой избыточной энергии путём испускания гамма - квантов, "ядерных фотонов", после чего за время порядка  $10^{-12}$ - $10^{-15}$  с ядро переходит в своё основное состояние.



**Радиоактивный распад - самопроизвольная ядерная реакция.**



Может ли быть "чистым" кусок урана? В каком-то смысле уран даже более удивителен, чем радий. Его период полураспада  $4,5 \cdot 10^9$  лет. Свидетель и современник рождения нашей планеты, он сохраняет в своих недрах и радий, и полоний, и еще десяток других радиоэлементов, которые без него давно бы исчезли на Земле. Ежечасно и ежесекундно он порождает их вновь и вновь. Кусок из чистого урана-238 через четыре с половиной миллиарда лет на половину будет из урана, а вторая половина - по большей части свинец! Интуитивно ясно, что чем короче период полураспада элемента, тем меньше его атомов находится в смеси.

**Исторический факт.** Резерфорд, получивший Нобелевскую премию по химии, отмечал, что из всех превращений, которые ему удалось наблюдать, «самым неожиданным было собственное превращение из физика в химика».

**Исторический факт.** Эрнст Резерфорд пользовался следующим критерием при выборе своих сотрудников. Когда к нему приходили в первый раз, Резерфорд давал задание. Если после этого новый сотрудник спрашивал, что делать дальше, его увольняли.

**Дополнительная информация:** В последнее время популярность стали приобретать некие медальоны, заряженные скалярной энергией. Часть из них оказались избыточно радиоактивны, поскольку содержат урановое стекло или торий. В середине прошлого века на прилавках магазинов Америки появился сенсационный продукт — «Набор юного химика». В его состав, помимо всего прочего, входили радиоактивные элементы.

**Радиоактивность - способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием частиц.**

К 1913 г о радиоактивных элементах было известно уже довольно много:

- все они распадаются за времена от миллионных долей секунды до миллиардов лет, излучая при этом  $\alpha$ -частицы (ядра гелия),  $\beta$ -частицы (быстрые электроны) и  $\gamma$ -лучи (рентгеновские лучи с очень короткой длиной волны);
- при радиоактивном распаде одновременно с излучением  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц происходит изменение химических свойств элемента;
- энергия радиоактивных излучений в миллионы раз превышает энергию химических

реакций;

- процесс радиоактивного распада не может быть замедлен или ускорен: тепло и холод, давление и химические реакции, электрические и магнитные поля нисколько на него не влияют.
- Около половины тепла, которое получает Земля из своих недр, образуется при распаде радиоактивных элементов. Благодаря радиоактивному распаду ядро Земли удерживается в расплавленном состоянии миллиарды лет.

У большинства людей слово «радиация» ассоциируется с опасностью. И это, безусловно, правильно. Радиоактивное излучение не фиксируется органами чувств человека, но известно, что оно может привести к губительным последствиям. От влияния радиации можно защититься, возведя на пути излучения препятствие. Проще всего защититься от  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений. Хотя  $\alpha$ -частицы летят с огромной скоростью, их поток легко останавливает даже тонкое препятствие. Как показали эксперименты, достаточно листа бумаги толщиной 0,1 мм.  $\beta$ -излучение полностью поглощается, например, алюминиевой пластинкой толщиной 1 мм. Труднее всего защититься от  $\gamma$ -излучения — оно проникает сквозь достаточно толстые слои материалов. В отдельных случаях для защиты от  $\gamma$ -излучения необходимы бетонные стены толщиной несколько метров.

## II. Задачи:

1. Сколько  $\alpha$  и  $\beta$  распадов должно произойти, чтобы ядро  ${}_{92}^{234}\text{U}$  превратилось в  ${}_{82}^{206}\text{Pb}$ ? Распад каждого отдельного атома происходит мгновенно.
2. Определите массу  $\alpha$ -частицы, зная, что масса протона и масса нейтрона примерно равны  $1,7 \cdot 10^{-27}$  кг. Какова кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы, если она движется со скоростью  $1,5 \cdot 10^7$  м/с?

## Вопросы:

1. В ядро какого элемента превращается ядро изотопа тория  ${}_{90}^{234}\text{Th}$ , если оно претерпевает три последовательных  $\alpha$ -распада?
2. В результате какого радиоактивного распада ядро  ${}_{11}^{22}\text{Na}$  превращается в ядро магний-22?
3. Почему распадаются ядра радиоактивных элементов?
4. Почему  $\alpha$ -частицы вылетают из ядра, несмотря на действие внутриядерных сил?
5. Одним из методов урановой разведки стало измерение потоков гелия, восходящих из глубинных пластов Земли. Почему?
6. Почему радий в чистом виде получить практически невозможно?
7. Почему при  $\alpha$ -распаде одинаковых ядер энергии  $\alpha$ -частиц одинаковы, а при  $\beta$ -распаде одинаковых ядер энергии  $\beta$ -частиц различны?

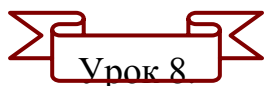
## V. §§.

1. Предложите идею толщиномера и уровнемера с использованием радиоактивного изотопа.

*Ничто из того, что есть, не может быть уничтожено.  
Всякое изменение есть только соединение и разделение частей.*

*Демокрит*

*Различные причины не могут вызывать одинаковые следствия.*



*А. Дюма. Шевалье д'Арманталь*

## **ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА**

**Распад чем-то напоминает процесс жарки кукурузы при изготовлении поп - корна!**

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с законом радиоактивного распада, его статистическим характером.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** монеты, магнитная доска с принадлежностями, лист бумаги.

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

**II. Опрос фундаментальный:** 1. Естественная радиоактивность. 2. Состав радиоактивного излучения. 3. Правило смещения.

**Задачи:**

1. Изотоп нептуния  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  – родоначальник радиоактивного ряда, включающего в себя 11 ядерных реакций. На каком изотопе висмута  ${}_{83}\text{Bi}$  он заканчивается и сколько  $\alpha$ - и  $\beta$ -превращений включает?

**Вопросы:**

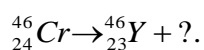
1. Ядро свинца  ${}_{82}^{205}\text{Pb}$  может быть получено в результате  $\alpha$ -распада полония Po или  $\beta$ -распада таллия Tl. Записать уравнения соответствующих ядерных реакций.

2. Почему Пьер Кюри обнаружил электрическое поле вокруг образца уранинита (соединение урана)?

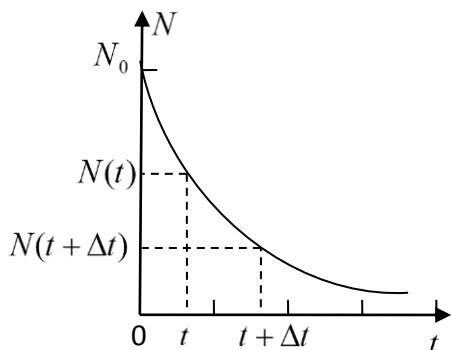
3. Предположим, вас угощают тремя радиоактивными печеньями: одно из них является источником  $\alpha$  - излучения, другое –  $\beta$  - излучения, а третье –  $\gamma$  - излучения. Одно из печений необходимо съесть, другое держать в руке, а третье – положить в карман. Как надо поступить, чтобы минимизировать действие радиации?

4. Возраст Земли – несколько миллиардов лет, а период полураспада радия – 1620 лет. Почему же на Земле ещё сохранился радий?

5. Впишите недостающую частицу или ядро: а)  ${}_{20}^{45}\text{Ca} \rightarrow ? + e^{-} + \bar{\nu}$ ; б)  ${}_{29}^{58}\text{Cu} \rightarrow ? + \gamma$ . в)



**III. Период полураспада (T) - промежуток времени, в течение которого распадается половина из наличного числа атомов данного радиоактивного элемента.** Примеры:  $T_{92}^{238}\text{U} = 4,5 \cdot 10^9$  лет,  $T_{92}^{235}\text{U} = 710 \cdot 10^6$  лет (доля в природном уране 0,72%),  $T_{92}^{234}\text{U} = 270 \cdot 10^3$  лет,  $T_{88}^{226}\text{Ra} = 1620$



лет. У различных изотопов время полураспада варьируется от миллиардных долей секунды до миллиардов лет. Период полураспада не может быть изменен никакими внешними воздействиями!

**Физическую величину, численно равную количеству распадов, происходящих в радиоактивном источнике за единицу**

**времени, называют активностью радиоактивного источника.**

**Единица активности в Си: 1 Бк = 1 расп/с. 1 Ки (Кюри) =  $3,7 \cdot 10^{10}$  расп/с.**

**IV. Задачи:**

1. Имелось некоторое количество радиоактивного радона. Количество радона уменьшилось в 8 раз за 11,4 дня. Каков период полураспада радона?
2. После крупной радиационной аварии, произошедшей в 1986 году на Чернобыльской атомной электростанции, некоторые участки местности оказались сильно загрязнены радиоактивным изотопом цезия-137 с периодом полураспада 30 лет. На некоторых участках норма максимально допустимого содержания цезия-137 была превышена в 1000 раз. Через сколько периодов полураспада после загрязнения такие участки местности вновь можно считать удовлетворяющими норме?
3. Определите массу радия-226, если его активность составляет 5 Ки. Постоянная радиоактивного распада радия-226 равна  $1,37 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$ .

**V. §.**

1. По справочнику определите периоды полураспада радиоактивных изотопов, образующихся при взрыве атомной бомбы.
2. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности П. Кюри и М. Кюри.

*Прогресс — как огонь: он и греет, и сжигает.*

*философ Л. Н. Гумилев*

**Урок 9.**

**ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА. ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ.**

**Разговор с биологами:**

**- Вы же видели, как делится Инфузория Туфелька?**

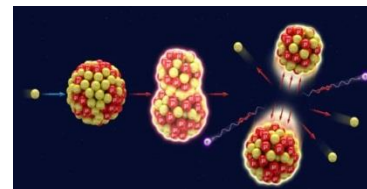
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с лепной реакцией деления ядер урана и обсудить возможности ее практического использования.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** электродинамическая модель "Цепная ядерная реакция".

## ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



## II. Задачи:

1. Период полураспада радиоактивного элемента 15 суток. За какое время произойдет уменьшение его активности в 4 раза?

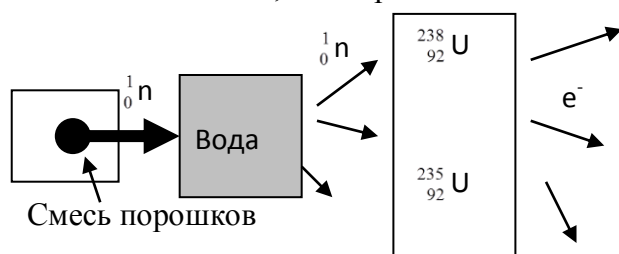
### Вопросы:

1. В каких случаях активность радиоактивного препарата можно считать постоянной величиной?
2. Отличается ли активность радиоактивных препаратов, если периоды полураспада радиоактивных ядер относятся как 2:1, а количество ядер как 1:2?
3. Как определить возраст породы, изучая образец урановой руды?
4. За какое время распадется 75% ядер радиоактивного вещества, если период его полураспада 20 с?
5. Активность радиоактивного препарата уменьшилась в 4 раза за 8 дней. Каков его период полураспада?

**III.** Слова Резерфорда о перспективах ядерной энергетики: *"Перспективы получения энергии путем искусственного превращения атомов не выглядят многообещающими"*.

Уран - тяжелый металл серо-стального цвета с плотностью  $19,04 \text{ г/см}^3$  и точкой плавления  $1132^{\circ}\text{C}$ . По виду он похож на серебро, по тяжести - на платину, по химическим свойствам - на вольфрам.

Энрико Ферми в Италии, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри во Франции в 1932–37 годах подвергали нейтронному облучению чуть ли не все элементы периодической системы. Причин тому две: во-первых, нейтрон не отталкивается, а притягивается ядрами, и, во-вторых, он подчиняется законам квантовой механики. Были открыты десятки новых изотопов. Нейтроны при этом получались в радио-бериллиевых источниках, где происходила ядерная реакция. Ферми был первым, кто понял, что эти нейтроны целесообразно замедлить, и осуществил это, поставив на пути нейтронов замедлитель – вещество, которое будет не поглощать нейтроны, а в упругих соударениях замедлять их. Атомные ядра этого вещества должны быть достаточно легкими для того, чтобы отнимать у нейтронов кинетическую энергию. В начале периодической системы таких элементов всего только два – водород (точнее, его изотоп дейтерий) и углерод. Ферми использовал парафин – вещество, содержащее много углерода и водорода. И сейчас в большинстве ядерных реакторов в качестве замедлителя нейтронов используется углерод (в виде химически чистого графита) или «тяжелая» вода, в которой обычный водород заменен дейтерием.



Бомбардировка ядер атома урана медленными нейтронами. Опыты Ферми. Чем медленнее нейтрон двигался, тем охотнее поглощался

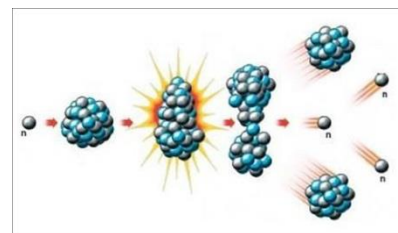
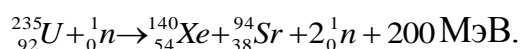
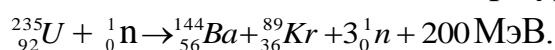


ядрами. **Интерпретация опытов Ферми.** Нобелевская премия: *"за открытие радиоактивных элементов, полученных нейтронным облучением, и за связанное с этим открытие ядерных реакций, вызванных медленными нейтронами"*. Верна только вторая половина!

Фриш и Ган, проведя аналогичные опыты, выделили из урана радиоактивные изотопы элементов средней части периодической таблицы. Два месяца спустя Отто Фриш и Лиза Майтнер, на основании опытов Гана, разработали теорию деления ядра урана.

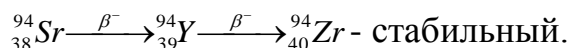
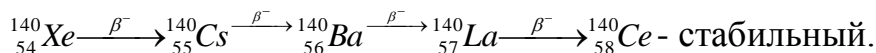
26 января 1939 г., Мейтнер - Гану: *«Все сделанное вами в последнее время мне представляется фантастическим. Добрая половина периодической системы встречается среди этих осколков урана...»* Лиза Майтнер - первая в Германии женщина-физик, смогла получить ученую степень в начале 20-х годов. Название ее диссертации "проблемы космической физики" журналисту показалось невыносимым, и в газете было напечатано: *"Проблемы косметической физики"*.

### Возможные схемы деления ядра урана:



Известно, что ядро урана делится не одним, а примерно 50 различными способами, причем вероятности их сильно различаются, но не превышают 8% каждый.

### Радиоактивность осколков деления (ошибка Ферми):



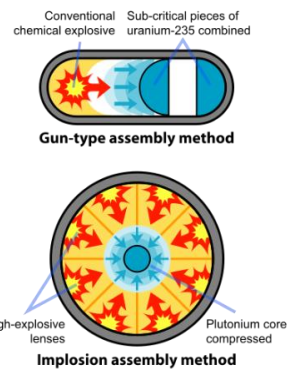
*Ядро урана, которое мы предполагаем шарообразным, сплющивается от удара нейтрона, и форма ядра испытывает периодические изменения, в результате чего оно становится менее устойчивым и иногда совсем выходит из равновесия.*

*Энрико Ферми*

При делении одного ядра урана в среднем выделяется **200 МэВ энергии**. При полном делении всех ядер в 1 г урана-235 выделяется  $2,3 \cdot 10^4$  кВт·ч (такая энергия выделяется при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти). Ядра атомов обладают огромным запасом энергии, которая называется **ядерной энергией**. Испускание нейтронов при делении ядра. Точное число нейтронов деления 2,42 оставалось государственной тайной вплоть до 1950 г. **Цепная реакция**. Коэффициент размножения нейтронов (определение) - отношение количества выделенных нейтронов в момент деления ядер к количеству нейтронов, которые выделились в предыдущий момент распада ядер. Аналогия с размножением человеческого общества: количество браков, удачные и неудачные браки, несчастные случаи.

Ядерную энергию высвобождают в ядерных реакторах и самым страшным путем, взрывая ядерное оружие.

**Дополнительная информация.** Факторы, определяющие величину коэффициента размножения: деление ядер урана-235 и некоторых ядер урана-238, захват нейтронов ядрами урана-238 и другими примесями, выход нейтронов из делящегося вещества наружу.  $^{235}_{92}\text{U}$  - делится под действием любых нейтронов.  $^{238}_{92}\text{U}$  - "термояд", делится только под действием нейтронов с энергией более 1 МэВ (60% нейтронов имеют такую энергию и только одно из пяти ядер делится). Если размеры куска урана сравнимы с длиной свободного пробега, то большая часть нейтронов покидает его и цепной реакции не будет. Поскольку в чистом куске урана-235 шарообразной формы число делящихся ядер  $N_d \sim r^3$ , а число покидающих  $N_n \sim r^2$ , то  $k \sim r$ , и при радиусе куска 9 см коэффициент размножения нейтронов достигает единицы (критическая масса равна).



**Критическая масса урана-235 равна 47,8 кг.** Используя бериллиевые отражатели нейтронов и т. д., ее доводят до 10 кг. **Критическая масса плутония-239 – 9,65 кг, критическая масса калифорния-251 – 10 г.** В атомной бомбе соединяются либо две докритических массы (пушечный тип), либо критическая масса шара значительно уменьшается при предварительном сжатии его со всех сторон до критического состояния (имплозивный тип). Откуда же берется первый нейтрон при взрыве атомной бомбы (секрет атомной бомбы)?

**Поражающие факторы ядерного взрыва.** КПД атомной бомбы 10 – 30%. «Отец» атомной бомбы в СССР И.В. Курчатов. При протекании реакции ядерного взрыва гамма-излучение продуцирует электромагнитный импульс с напряжённостью на уровне 100—1000 кВ/м. Это не только выводит из строя незащищенные электромагнитные линии бункеров, шахт и других объектов, но и приводит к образованию молнии.

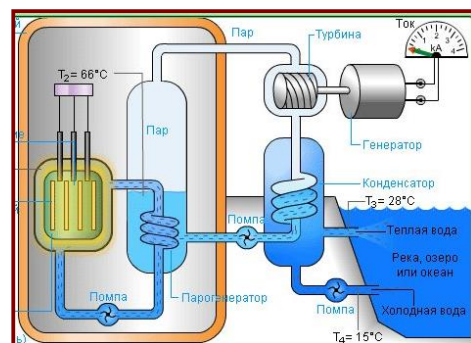
*Хороша наука – физика! Только жизнь коротка!*

*И.В. Курчатов*

**Атомная энергетика** — одна из самых экологических с точки зрения выбросов углекислого газа: за 1 кВт·ч атомные электростанции выбрасывают всего 12 г  $\text{CO}_2$ . Для сравнения, у природного газа этот показатель составляет 490 г/кВт·ч, а у угля — 820 г/кВт·ч.

Исторический факт. В среду, 2 декабря 1942 г., в 15 ч 25 мин по местному времени стартовала эра ядерной энергетике: в Чикагском университете Энрико Ферми ввел в действие первый ядерный реактор! В среду 25 декабря 1946 г., в 19 часов в Москве под руководством Игоря Васильевича Курчатова запущен первый советский ядерный реактор. Первая электроэнергия, извлеченная из энергии ядерного распада, была получена только спустя почти 10 лет — 20 декабря 1951 года в Национальной лаборатории Айдахо с помощью реактора на быстрых нейтронах EBR-I, произведенная мощность которого составляла около 100 кВт.

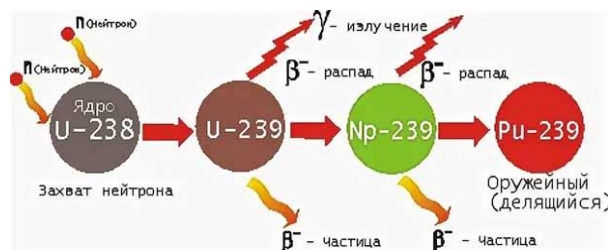
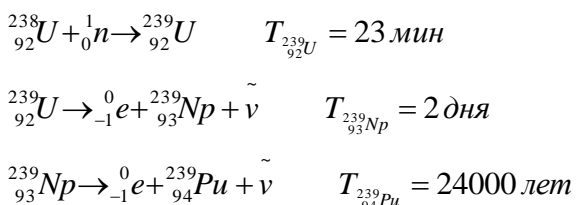
**Ядерный реактор** — устройство, предназначенное для осуществления управляемой цепной ядерной реакции деления, которая всегда сопровождается выделением энергии. **Блок-схема реактора.** Водяной реактор (ВВР) - это просто большой бак с водой, в которую погружены ТВЭЛы и регулирующие стержни. В таком реакторе вода



является одновременно и замедлителем и теплоносителем. Для работы такого реактора его ТВЭЛы должны быть изготовлены из обогащенного урана с добавкой около 3% урана-235. **Замедлитель нейтронов и теплоноситель - вода** (медленные нейтроны в 600 раз эффективнее быстрых). Самые эффективные **замедлители нейтронов**: вода, тяжелая вода (Германия), графит (США). **Регулирующие стержни**, осуществление в ядерном реакторе управляемой реакции деления. Поглотитель нейтронов: бор, кадмий, гафний, цирконий-88.

**Справка:** В водо-водяном реакторе мощностью 3 ГВт начальный состав топлива:  $^{238}\text{U}$  – 77350 кг,  $^{235}\text{U}$  – 2630 кг,  $^{234}\text{U}$  – 20 кг. Состав извлеченного топлива через 3 года:  $^{238}\text{U}$  – 75400 кг,  $^{235}\text{U}$  – 640 кг и т.д. Атомный реактор можно уподобить костру, в котором около 1 % сухих дров (уран-235) , а все остальное - сырые поленья (уран-238). Масса загруженного топлива на 3 кг превосходила массу выгруженного топлива. Когда сотрудники АЭС удаляют отработанное топливо, в нем остается около 95% от его первоначальной энергии — другими словами, используется только 5% его энергии!

**Образование плутония (Г. Сиборг, 1940-1941 г):**



**Дополнительная информация.** Чистый

плутоний - это серебристо-серый тяжелый металл плотностью 19,82 г/см<sup>3</sup> и температурой плавления 640<sup>0</sup>С. Открытие плутония изменило сам подход к решению урановой проблемы. Прежде всего, стало ясно, что поглощение нейтронов в уране-238 - полезный процесс, поскольку при этом образуется «ядерное топливо» - столь же и даже более эффективное, чем уран-235. Для выделения 1 г плутония надо переработать примерно 1 кг облученного урана, пропустив его через 30 химических реакций и более сотни операций.

Уран-графитовые реакторы ничем принципиально не отличаются от первых реакторов Ферми и Курчатова. Например, реактор мощностью в тысячу мегаватт (или один гигаватт) - это графитовый цилиндр весом 600 т, высотой 7 м и диаметром 12 м , в котором просверлено около 2 тысяч вертикальных каналов диаметром 15 см. Около 100 каналов занято управляющими стальными стержнями с добавкой бора, а в остальные каналы помещено примерно 200 т урана, расфасованного в длинные стержни - тепловыделяющие элементы - ТВЭЛы, собранные из таблеток окиси урана UO<sub>2</sub>, обогащенного до 1,8 % изотопом урана-235. Кроме того, по трубам, проведенным сквозь толщу реактора, прогоняется вода при температуре 300<sup>0</sup>С и давлении 150 атмосфер, которая отводит тепло в парогенератор и обеспечивает работу мощных паровых турбин - электрогенераторов. Температура графита в работающем реакторе - около 700<sup>0</sup>С, температура ТВЭЛов - около 2000<sup>0</sup>С.

**Основные особенности АЭС:**

- **Чрезвычайно высокая "теплота сгорания" ядерного горючего.**
- **Невозможность полного сгорания топлива за одну загрузку (раз в полгода и более выгоревшее топливо заменяется новым).**

Отличие АЭС: вид и обогащение топлива, по материалу замедлителя, по виду теплоносителя.

**Дополнительная информация. Атомные электростанции.** На атомных электростанциях вырабатывается 15% всей производимой на планете электроэнергии. Сегодня 192 атомные

электростанции работают в 31 стране мира. Как правило, все они имеют по несколько энергоблоков – технологических комплексов оборудования для производства электроэнергии, имеющих в своем составе ядерный реактор. Общее количество таких энергоблоков в мире составляет 451. На первом месте по количеству АЭС находятся США – 62, на втором Франция – 19, третье место у Японии – 17. Россия занимает пятое место по количеству атомных электростанций. Их у нас 10 с 37 энергоблоками. Общая мощность всех АЭС мира составляет около 392 ГВт.

Пространство, в котором непосредственно происходит реакция деления ядер, называется «активной зоной ядерного реактора». В ее процессе выделяется большое количество энергии в виде тепла, которое нагревает теплоноситель. В большинстве случаев теплоносителем выступает обычная вода.



Правда, предварительно ее очищают от различных примесей и газов. Она подается снизу в активную зону реактора с помощью главных циркуляционных насосов. В активной зоне ядерного реактора находится ядерное топливо и, за редким исключением, так называемый замедлитель. Существует три вида ядерного топлива — плутониевое, ториевое и урановое. Но в силу сложности производства и переработки первых двух и больших запасов последнего, в качестве топлива для АЭС используют именно уран. Из очищенного с помощью химических реакций урана в виде порошка получают урановый ангидрид или диоксид урана, который как раз-таки является ядерным топливом. Для начала с помощью пресса из него формируют небольшие круглые таблетки и запекают в печи при температуре в 1000 градусов Цельсия. Затем таблетки диаметром в пару сантиметров упаковывают в циркониевые трубки — по 30 штук в каждую — и запаивают концы (твэлы). Для упрощения учета и перемещения ядерного топлива в реакторе твэлы собираются в тепловыделяющие сборки по 150–350 штук. Одновременно в активную зону реактора обычно помещается 200–450 таких сборок. Устанавливают их в рабочих каналах активной зоны реактора. Конструкция тепловыделяющего элемента должна обеспечить отвод тепла от топлива к теплоносителю и не допустить попадания в теплоноситель продуктов деления. В ходе ядерных реакций образуются, как правило, быстрые нейтроны, то есть нейтроны, имеющие высокую кинетическую энергию. Если не уменьшить их скорость, то ядерная реакция со временем может затухнуть. Замедлитель и решает задачу снижения скорости нейтронов. В качестве замедлителя, широко используемого в ядерных реакторах, выступают вода, бериллий или графит. Но наилучшим замедлителем является тяжелая вода ( $D_2O$ ). Для того чтобы предотвратить попадание нейтронов в окружающую среду, активная зона реактора окружается отражателем. В качестве материала для отражателей часто используют те же вещества, что и в замедлителях. Кроме того, наличие отражателя необходимо для повышения эффективности использования ядерного топлива, так как отражатель возвращает назад в активную зону часть вылетевших из зоны нейтронов. Для производства водяного пара на АЭС применяются парогенераторы. Тепло они получают от реактора, оно приходит с теплоносителем первого контура, а пар нужен для того, чтобы крутить паровые турбины. Применяются парогенераторы на двух- и трехконтурных АЭС. На одноконтурных их роль играет сам ядерный реактор. Это так называемые кипящие реакторы, в них пар генерируется непосредственно в активной зоне, после чего направляется в турбину. В паровой турбине потенциальная энергия сжатого и нагретого водяного пара преобразуется в кинетическую энергию вращения вала турбины, а он уже вращает ротор электрогенератора. Электрогенератор преобразует механическую энергию в электрическую, которая по проводам поступает к потребителям.

На электростанции в топливных элементах выделяется огромное количество энергии, но их ресурсы не бесконечны. Периодически персонал АЭС перезагружает ядерное топливо. Отработанные элементы отправляют в специальный бассейн для выдержки, который обычно располагается в непосредственной близости от реактора. В отработавших топливных



элементах содержится большое количество осколков деления урана, сразу после извлечения из реактора элемент очень радиоактивен. Поэтому его хранят три-четыре года в бассейнах с определенным температурным режимом под слоем воды, защищающим персонал от радиационного излучения продуктов распада урана.

21 января 1954 года с верфи в штате Коннектикут сошла первая атомная подводная лодка «Наутилус». Она смогла стать первой субмариной, прошедшей Северный полюс подо льдами Арктики 3 августа 1958 года.

#### IV. Задачи:

1. Сколько энергии можно получить при делении 1 г Урана-235, если при делении каждого ядра выделяется энергия, равная  $3,2 \cdot 10^{-11}$  Дж?
2. Мощность реактора атомного ледокола — 80000 кВт. Потребление реактором Урана-235 составляет 500 г в сутки. Определите КПД реактора.
3. При взрыве атомной бомбы в Херосиме выделилось порядка  $10^{14}$  Дж энергии. Сколько атомов изотопа урана-235 разделилось при этом?
4. Сколько урана-235 нужно израсходовать для получения такого же количества энергии, которое вырабатывает крупнейшая в мире Саяно-Шушенская ГЭС за сутки? Мощность этой ГЭС  $P = 6,4$  ГВт. КПД АЭС около  $\eta = 40\%$ .

#### V. §§

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности И.В. Курчатова.
2. Приведите примеры преобразования кинетической энергии в электрическую энергию, электрической энергии в механическую энергию, химической энергии в электрическую энергию, внутренней энергии в механическую энергию. Какое из преобразований проще реализовать?

*Тысяча четыреста двадцать два рентгена в поле, значит, излучение пробило силовой барьер, – понял Рохан.*

*Станислав Лем, «Непобедимый»*

### Урок 10.

## ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.

### Как можно получить повышенную дозу облучения?

**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учеников с применениями радиоактивных изотопов в народном хозяйстве, медицине и в других областях. Дать представление о биологическом действии радиоактивных излучений и их экологической безопасности.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** кинофрагмент "Ядерные реакции".

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Деление ядер урана. 2. Цепная ядерная реакция.



### Задачи:

1. Какая масса урана-235 подвергается делению при взрыве атомной бомбы с тротильным эквивалентом 20 килотонн, если тепловой эквивалент тротила 4,1 МДж/кг?
2. Сколько атомов урана-235 разделится за 2 ч в ядерном реакторе мощностью 0,5 ГВт, если при делении одного ядра выделяется энергия 200 МэВ?

### Вопросы:

1. Почему вещества, занимающие места в середине и конце таблицы Менделеева, не применяют в качестве замедлителей нейтронов?
2. Почему не начинается цепная реакция в куске урана массой 100 грамм?
3. Почему капли в струе воды пульсируют?
4. Почему в водо-водяных реакторах используют в качестве замедлителя тяжелую, а не обычную воду?
5. Почему нейтронное облучение (нейтронная бомба) опасно для живых организмов?
6. Почему бериллий и полоний в бериллиево-полониевом источнике нейтронов до взрыва атомной бомбы необходимо было хранить разделенными?
7. Какие особенности свинца и кадмия позволяют изготовленному из них слою служить надежной защитой от проникающей радиации?

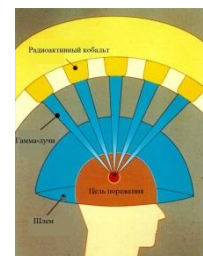
**III. Изотопы. Радиоактивные изотопы.** Существует несколько способов получения радиоактивных изотопов: продукты распада урана в ядерном реакторе, облучение образца, мощные ускорители. Получение: плутоний - 238, америций-241, стронций-90, тулий-170 и т.д.

Изотоп с самым коротким периодом полураспада Li-4, который распадается за  $9 \cdot 10^{-23}$  с (выброс протона). Из-за столь малого времени жизни не все ученые признают факт его существования. Калифорний даёт более 1 000 000 нейтронов в секунду на 1 мкг. Всего 1 г калифорния во время распада выделяет энергии столько же, сколько 200 кг радия за тоже время. Стоит он 40 000 000 долларов за 1 грамм! Гораздо дороже  $^{99}\text{M}$ , его цена достигает 50 миллионов долларов за 1 грамм. По всему миру проводятся исследования с целью создания практической технологии по переработке ядерных отходов.

### Применение радиоактивных изотопов.

#### Медицина:

- Если разместить на поверхности головы человека точечные источники гамма-излучения так, чтобы вред от каждого отдельного из них был минимальным, а их лучи в совокупности сформировали фокус, то в фокусе живые клетки опухоли будут быстро и гарантированно погибать. Это оригинальное решение уже реализовано и носит название гамма-нож Лекселла, по имени его изобретателя.



#### Металлургия:

- Гамма-дефектоскопия. По одну сторону проверяемого изделия помещают источник гамма-лучей, а по другую - фотопленку. Таким способом в настоящее время проверяется черное и цветное литье, готовые изделия (толщиной до 30 см) и качество сварных швов.
- Радиоизотопные следящие уровнемеры.
- При производстве проката для непрерывного измерения толщины стальной ленты.

#### Машиностроение:

- Определение степени износа движущихся частей машины.
- Непосредственная сигнализация о допустимом износе детали.

### **Текстильная промышленность:**

- Для снятия статического заряда (ионизация воздуха).

**Строительство:** Контроль плотности бетона.

**Сельское хозяйство:** Консервация сельхозпродуктов.

### **Космонавтика:**

• Марсоход использует энергию тепла, выделяемого кусочком плутония: этот радиоактивный материал находится в контейнере, закреплённом на вертикальном штоке (радиоизотопный термоэлектрический генератор). Благодаря ему марсоход мог бы получать электроэнергию в течение более чем ста лет. Генератор состоит из двух основных элементов: источника тепла, выделяемого плутонием, и твердотельных термопар, которые преобразуют тепловую энергию распада плутония в электричество. Тепло от распада радиоактивного изотопа идет для нагрева горячей стороны термопары, а холодная сторона охлаждается при контакте с атмосферой.

### **Биология (метод "меченых" атомов):**

• С помощью радиоизотопов человек узнал удивительные факты даже о себе самом: объем крови, циркулирующей по всему телу, механизм функционирования внутренних органов, скорость миграции веществ в организме и многое другое. Например, если выпить глоток соленой воды, в которую добавлен радиоактивный изотоп натрия  $^{24}\text{Na}$ , то уже через 2 минуты с помощью счетчика Гейгера - Мюллера его можно обнаружить в пальце руки, через час он распределится по всему телу, а еще спустя 3 часа начнет выводиться из организма. Оказалось, что полный круг кровообращения занимает всего 23 секунды, что атомы человеческого тела непрерывно заменяются новыми, поступающими в организм с пищей, и что весь цикл такой замены атомов занимает около года, то есть каждый год. Человек почти полностью обновляется, сохраняя при этом свою индивидуальность и целостность.

### **Радиоуглеродный анализ.**

• Попадающие в атмосферу из космоса нейтроны выбивают протоны из азота-14, и образуется углерод-14, уровень которого на Земле остается стабильным на протяжении многих тысяч лет. Технология **радиоуглеродного датирования** основана на подсчете атомов радиоактивного изотопа углерода  $^{14}_6\text{C}$ , которые накапливаются в живых тканях (растениях и животных) в течение всей их жизни, а после ее окончания его концентрация в тканях постепенно снижается. Скорость этого снижения отлично известна - период полураспада углерода 5730 лет, поэтому по количеству оставшихся атомов  $^{14}\text{C}$  можно легко подсчитать, когда существо или растение прекратило жизнедеятельность. Оказалось, что в 1 г углерода органического происхождения - будь то древесина, трава, кости животного или бактерии - содержится примерно 70 млрд. атомов углерода  $^{14}\text{C}$ , причем каждую минуту 15 из них распадаются. Для датировки достаточно сосчитать число распадов, которые регистрирует счетчик Гейгера - Мюллера за 1 мин в 1 г углерода, взятого из исследуемого образца (для удобства его обычно сжигают и исследуют на радиоактивность образовавшийся углекислый газ). Метод хорошо работает только для образцов возрастом не старше 50 тыс. лет (на отрезках свыше 25 000 лет уже может давать большую погрешность) — у более древних вообще не остается атомов  $^{14}\text{C}$ .

**Биологическое действие радиоактивных излучений.** Радиоактивное ядро может отделить от себя щепоточку или выделить немного энергии. В первом случае испускаются альфа- (ионы) или бета-частицы (электроны), а во втором – гамма-лучи (фотоны). Стряхнув лишнее, ядро успокаивается. Эти частицы опасны тем, что оказывают ионизирующее действие на ткани организма. Вот жили себе спокойно наши углероды в организме, а кто-то появился и давай у

них электроны отрывать, макромолекулы разрушать и творить другие непотребства. Такое приводит к раку и мутациям. Воздействие радиоактивного излучения приводит к ионизации атомов, разрыву химических связей и образованию в организме свободных радикалов ( $\text{H}_2\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}^-$ ) - **ионизирующее излучение**. В больших дозах это излучение повреждает живые клетки и влияет на ДНК. Лечение - "связывание" или выведение из организма свободных радикалов (минеральная вода "нафтуса"). Радиоактивную воду и радий некоторое время охотно употребляли для лечения!  
**Анекдот.** Физики-ядерщики шутят: "К лицам, проживающим в радиусе 20 км от места взрыва обращаться с приставкой "фон", в радиусе 10 км — "ваша светлость", в радиусе 5 км — "ваше сиятельство"?"

*...попились жесткие рентгеновские лучи, не представимые человеческому уму вздрагивающие векторы электрического и магнитного полей, или более конкретные снаряды-кванты, разрывающие и решетящие все, что подалось им на пути.*

*А. Солженицын*

**Дополнительная информация.** Если источник ионизирующего излучения находится вне организма, то речь идет о внешнем облучении (опасность представляют мощные источники нейтронов и  $\gamma$  – излучения), если внутри – внутреннее облучение (наиболее опасны источники  $\alpha$  – частиц). При облучении человека смертельной дозой  $\gamma$ -излучения (6 Гр, 600 Р) в организме выделяется энергия  $E = 70 \text{ кг} \cdot 6 \text{ Гр} = 420 \text{ Дж}$  (чайная ложка горячей воды) и за счет этой энергии ионизируется  $10^{15}$  молекул воды в  $1 \text{ см}^3$  (5 мг воды во всем организме - небольшая потеря). Образование свободных радикалов:  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{OH}^- + \text{H}$ ;  $\text{H}_2\text{O}^+ \rightarrow \text{OH} + \text{H}^+$ , обладающих способностью вступать в реакции и свойством регенерации (цепная реакция). Среднее облучение при флюорографии составляет 0,0014 Гр – это легкая доза, которая применяется локально, поэтому не так уж она опасна. Опасность начинается, если воздействие облучение приходится на все тело – например, как в контрольной комнате Чернобыля сразу после взрыва вы бы впитывали 300 Зв в час. Но вряд ли продержались бы час. Доза стала бы смертельной уже через 1-2 минуты.

При высоких дозах облучения ДНК становится битой, и клетки быстро умирают. Дозы облучения свыше 3000 Р (30 Зв) вызывают неврологические повреждения. В течение нескольких минут пациенты испытывают сильную рвоту и диарею, головокружение, головные боли и бессознательное состояние. Часто случаются приступы и тремор, а также атаксия - потеря контроля над функцией мышц. Смерть в течение 48 часов неизбежна.

Пациенты, которые подвергаются воздействию радиации от 8 до 30 Зв, испытывают насморк и диарею в течение часа, а умирают в течение 2 дней – 2 недель после воздействия.

**Излучение естественных радионуклидов и космическое излучение создают естественный радиационный фон. Естественный фон - 0,2 Р в год:** естественные источники 72% (радон 54%, другие радиоактивные изотопы 30%, космическое излучение 16%), медицина 26%, радиоактивные осадки 1,3%, атомная энергетика 0,3%.

**Дополнительная информация.** Один из самых популярных и живучих мифов о радиации гласит: радиоактивное излучение — дело рук человека. Но это не совсем так. Солнце и звёзды посылают в космическое пространство множество протонов, электронов и альфа-частиц, которые взаимодействуют с магнитным полем Земли. Этот постоянный поток космических лучей, попадая в атмосферу, сталкивается с атомами и создаёт вторичное излучение, которое доходит до поверхности планеты. Больше всего космической радиации достигает полюсов, меньше — экваториальных областей. Интересно и то, что в результате реакций в атмосфере образуются радиоактивные элементы, которые затем поступают в организм человека.

Уран в небольших количествах содержится в глине, из которой делают посуду, раковины и унитазы. Не волнуйтесь, поход в туалет не грозит лучевой болезнью, ведь радиоактивное излучение от предметов из глины выше общего фона на несколько процентов или чуть больше. Бананы не раз вызывали срабатывание систем обнаружения радиационных угроз в аэропортах. Следуют за бананом в рейтинге самых радиоактивных продуктов питания - картофель, бобы, орехи и семечки подсолнечника.

Наконец, следующим компонентом природного облучения выступает газ радон. Он лишён цвета или запаха, концентрируется в закрытых помещениях, в низинах, болотах и может содержаться в воде. Именно радон считается одним из факторов риска, провоцирующих развитие рака лёгких. Чтобы избавиться от избытков радона в большинстве случаев достаточно простого проветривания.

В среднем проживающий на Земле человек, не имеющий дела с источниками радиации, ежегодно получает дозу в 1 миллизиверт (мЗв). Космонавт на МКС зарабатывает 0,5–0,7 мЗв. Ежедневно! Допустимой ежегодной дозой для сотрудника АЭС считаются 20 мЗв — в 20 раз больше, чем получает обычный человек. В настоящее время медициной установлена максимальная предельная доза, которую в течение жизни человеку превышать нельзя во избежание серьезных проблем со здоровьем. Это 1000 мЗв, или 1 Зв.

**Дозиметр** — прибор для измерения дозы ионизирующего излучения, полученной прибором (и, следовательно, тем, кто им пользуется) за некоторый интервал времени, например за время пребывания на определенной территории или в течение рабочей смены. Приборы для измерения интенсивности радиоактивного излучения от определенного источника (жидкости, газа, загрязненной поверхности) называют **радиометрами**.

*Ядерная гонка вооружений это всё равно, как два мужика стоящих по пояс в бензине. У одного три спички, а другого пять...*

*Карл Саган*

**Дополнительная информация: Как защититься от радиации?** Радиация - любое излучение, то есть поток энергии в виде частиц или волн, — даже солнечный свет. Излучение бывает неионизирующим и ионизирующим. **Ионизирующее излучение** достаточно мощное для того, чтобы вызывать изменения на атомном уровне. В результате образуются ионы — электрически заряженные частицы, отсюда и название. Именно о нём идёт речь, когда в обычной жизни мы говорим о радиации. В зависимости от вида частиц или волн, которые излучает ядро, чтобы стать стабильным, выделяют разные виды радиоактивного излучения. **Альфа-излучение** останавливается при взаимодействии с молекулами воздуха, не проникает даже через обычный лист бумаги. Такое излучение представляет опасность только при внутреннем воздействии на органы и ткани, если альфа-частицы попадают в организм с едой, воздухом или через повреждения кожи. **Бета-излучение** обладает большей энергией, и для защиты от него понадобится противогаз, тонкий слой алюминия или особого стекла. **Гамма-излучение** представляет собой электромагнитные волны. Wi-Fi, сигнал радиотелефона можно считать отдалёнными родственниками этого вида радиоактивности. Как вы понимаете, волны легко пройдут и через стекло и через противогаз. Тут для защиты понадобятся тяжёлые металлы вроде чугуна или свинца. Однако свинец сам по себе токсичный материал и в последнее время вместо него для радиационной защиты помещения применяют бетон. Есть одно но. Бетонные стены накапливают радиацию, а затем сами начинают излучать. Видимо, поэтому внутри помещений ее уровень вдвое выше, чем на улице. Гамма-излучение применяют для лучевой терапии, при консервации продуктов и в космической отрасли. Источники радиации разделяют на естественные и искусственные. Следует помнить — радиация от источника распространяется так же, как тепло от костра. Чем дальше вы от горящего хвороста, тем меньше тепла до вас доходит, чем меньше времени удастся провести у открытого огня, тем

хуже согреешься.

**Чтобы обезопасить себя от ионизирующего излучения, есть три способа:**

- Защита временем, когда чем меньше вы находитесь в зоне действия источника излучения, тем лучше.
- Защита расстоянием, когда чем дальше вы находитесь от источника, тем меньше доза облучения.
- Экранирование, когда между вами и источником есть барьер, например из свинца, бетона или воды, если речь идёт о защите от рентгеновских и гамма-лучей.

**Что делать при радиационной опасности?**

Если вы находитесь в районе радиационной опасности, важно соблюдать три принципа: не выходить на улицу, быть в курсе актуальной информации и следовать инструкциям.

**Специалисты из МЧС дают такие рекомендации:**

- 1) Укрыться в жилом доме. Стены деревянных домов ослабляют радиацию в 10–12 раз, каменных — в 10–15 раз, а подвалы — до 100 раз.
- 2) Исключить приток воздуха с улицы: закрыть все окна, двери и вентиляционные отверстия, заделать любые щели.
- 3) Собрать запасы питьевой воды, а затем перекрыть все краны и накрыть колодцы плёнкой или крышкой. В деревне это нужно сделать в первую очередь.
- 4) Подготовиться к возможной эвакуации. Собрать вещи, документы, ценности, лекарства и еду на 2–3 дня. Лучше брать консервы и продукты, которые хранились в закрытых помещениях.
- 5) Упаковать вещи в полиэтиленовые мешки, пакеты из плотной бумаги или ткани, а затем убрать в сумку или рюкзак.
- 6) Надеть верхнюю одежду, головной убор из плотной ткани и обувь с высокими голенищами.
- 7) Внимательно слушать официальные сообщения и следовать им.
- 8) Стараться не покидать укрытие без острой необходимости и ждать спасателей.

**IV. Демонстрация кинофрагмента.**

*Задачи:*

1. При взрыве четвертого блока Чернобыльской АЭС в 1986 г. произошла утечка, в том числе плутония. Через какой промежуток времени активность заражённой плутонием местности уменьшится в 16 раз? Период полураспада плутония  $Pu$  равен  $T = 24 \cdot 10^3$  лет.

*Вопросы:*

1. Чем опасно радиоактивное излучение? Расскажите о мерах защиты от него.
2. Чтобы задержать  $\gamma$  – излучение, нужны десятки сантиметров свинца, а нейтронное облучение задерживается слоем воды. Почему?
3. На Луне радиоактивность примерно в 400 раз выше, чем в Москве. Почему?
4. Может ли сколь угодно малая доза увеличить вероятность возникновения негативных последствий?
5. В настоящее время в принципе можно осуществить мечту алхимиков средневековья – превратить ртуть в золото. Каким образом?
6. Зачем продукты питания облучают радиацией?
7. Галактические космические лучи, то есть ионы высоких энергий, которые попадают в Солнечную систему из межзвёздного пространства, — очень опасный для космонавтов и космической техники тип радиации. Почему?



Если действительно субатомная энергия в звездах свободно используется для поддержания горения их гигантских печей, то это, кажется, немного приближает нас к осуществлению мечты о контроле этой скрытой силы для процветания человеческой расы – или для ее самоубийства.

Артур Эддингтон

## Урок 11.

### ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

#### Как обуздать энергию звёзд?

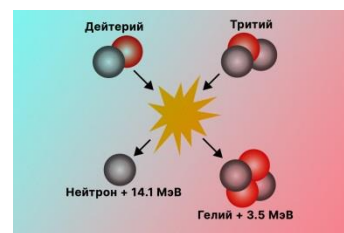
**ЦЕЛЬ УРОКА:** Познакомить учащихся с условиями протекания управляемых термоядерных реакций и перспективами развития ядерной энергетики России.

**ТИП УРОКА:** комбинированный.

**ОБОРУДОВАНИЕ:** кинофильм "Ядерная энергетика в мирных целях".

**ПЛАН УРОКА:**

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом



**II. Опрос фундаментальный:** 1. Ядерный реактор. 2. АЭС.

**Задачи:**

1. Какая электрическая мощность атомной электростанции, расходующей в сутки 220 г изотопа урана-235 и имеющей КПД 25%?

**Вопросы:**

1. Почему вещества, занимающие места в середине и конце таблицы Менделеева, не применяют в качестве замедлителей нейтронов?
2. Бактерии имеют такой закон развития: каждая живет 1 час и каждые полчаса порождает одну новую (всего две за свою жизнь). Каково будет потомство одной бактерии через 6 часов после ее рождения?
3. Почему не начинается цепная реакция в куске урана массой 100 грамм?
4. Почему при центральном столкновении с протоном нейтрон передает ему всю энергию?
5. Почему капли в струе воды пульсируют?
6. Почему в водо-водяных реакторах используют в качестве замедлителя тяжелую, а не обычную воду?
7. После ядерного взрыва возникает мощный электромагнитный импульс. Эффект воздействия очень зависит от высоты, на которой взорвана бомба, и от индукции магнитного поля Земли в этом месте. Почему?
8. Почему нейтронное облучение (нейтронная бомба) опасно для живых организмов?
9. Почему не строят компактные и не большие атомные электростанции, которые легко собираются, модернизируются и перевозятся?

**III.** Обосновать возможность термоядерного синтеза на основе анализа графика удельной энергии связи. Возможная схема термоядерного синтеза:  ${}^3_1\text{H} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + n + 17,6 \text{ МэВ}$ .

Одноимённые заряды отталкиваются, поэтому ядра сливаться не хотят, а значит, реакции синтеза отличаются высоким порогом? Преодоление кулоновского отталкивания частиц ( $T = 10 \cdot 10^6 \text{ К}$ ). "Запал" - атомная бомба. Неуправляемая термоядерная реакция. В водородной бомбе специальная капсула, заполненная смесью дейтерия и трития, окружается урановым или плутониевым зарядом. Под действием ядерного взрыва, направленного внутрь капсулы, обеспечиваются условия, необходимые для протекания термоядерной реакции. Оболочка капсулы, как правило, из урана-238. Сколько энергии, освобождается в водородной бомбе при синтезе 1 кг гелия?

Вблизи атолла Бикини 25 июля 1946 г. бомба взорвалась под водой на глубине 30 м, чтобы имитировать подводную атаку. Однако «спецэффект» взрыва был потрясающим. Через десять миллисекунд центр лагуны сверкнул, как бриллиант, и 100000 м<sup>3</sup> воды обратилось в пар. Кроме того, 10 миллионов литров воды поднялось в воздух в виде высочайшего в мире фонтана шестисотметрового диаметра и почти двухкилометровой высоты. Девять судов затонули сразу, оставшиеся насквозь пропитались «колдовским зельем» радиоактивной воды. Взрыв Майк 1 ноября 1952 г (атолл Бикини). Это была не бомба, а целая установка массой 60 т с жидким дейтерием при низкой температуре. Бомба выделила гораздо больше энергии, чем предполагалось: в 650 раз больше, около 15 мегатонн.

Через пару лет на полигоне Семипалатинск был испытан отечественный вариант компактной водородной бомбы, в которой взрывчаткой служил дейтерид лития  ${}^2\text{D}^6\text{Li}$  (Сахаров). При взрыве атомного «запала» появлялся мощный поток излучения и нейтронов, под действием которых дейтерид лития распадался на изотоп лития и дейтерий. Необходимый тритий возникал в момент взрыва атомной бомбы в реакции:  ${}^1_0n + {}^6_3\text{Li} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^3_1\text{T}$ .

*Мы сделали дело дьявола.*

*Р. Оппенгеймер – один из «отцов» водородной бомбы в США*

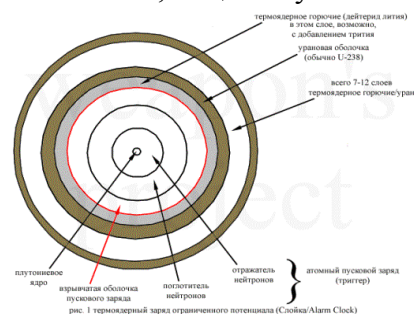
Академик Игорь Тамм попросил своего талантливого ученика Андрея Сахарова помочь решить одну трудную математическую задачу. На следующий день Сахаров у него спросил: — *Так вы работаете над атомным оружием?*

Тамм пришел в ужас, потому что работа была сверхсекретной, и тут же поставил вопрос о допуске к ней Сахарова.

Будущий Нобелевский лауреат Эрнест Лоуренс принес на публичную лекцию о чудесах радиоактивности склянку с радиоактивной солью натрия. Уровень радиоактивности был так высок, что счетчик Гейгера зашкаливал. Лоуренс приготовил раствор соленой воды и позвал своего коллегу Роберта Оппенгеймера. Друзья радостно выпили воду, а через минуту Оппенгеймер поднес руку к счетчику. Счетчик заверещал, как белка, и все радостно засмеялись.

*Если блеск тысяч солнц  
Разом вспыхнет на небе,  
Человек станет Смертью,  
Угрозой Земле.*

*Бхагават - Гита*



*Если вы хотите найти секреты Вселенной, думайте в терминах энергии, частоты и вибрации.*

*Никола Тесла*

*...в многой мудрости много печали; и кто умножает познания, тот умножает скорбь.*

*Екклесиаст*

*Теперь я стал Смертью, разрушителем миров.*

*Бхагавадгита*

**Дополнительная информация.** Водородная бомба — это наше, родное изобретение. Первый советский термоядерный боеприпас был испытан в 1953 году. Американцы на атолле Бикини провели испытания лишь в следующем году и тогда ещё просто взрывного устройства, не годного для практического применения. Лишь в 80-х удалось добиться равномерного действия излучения, позволяющего использовать капсулы в форме сферы. Внешний её слой состоит из обеднённого урана, средний из термоядерного горючего, внутренний же из подкритической массы плутония. При взрыве пускового заряда в результате обжатия плотность плутония увеличивается, критическая масса достигается и происходит второй уже ядерный взрыв. Термоядерная реакция начинается в момент, когда внешние слои капсулы ещё падают внутрь, а внутренние со всей ядерной силы уже стремятся наружу. На фронте столкновения ударных волн преодолевается потенциальный барьер, и ядра начинают сливаться. В качестве горючего используется дейтрид лития-6. Сам по себе литий, в действительности, не «горит». Но захватывая нейтрон (появившийся в результате распада плутония), он распадается на тритий и гелий. И уже тритий вступает в реакцию с дейтерием, порождая ещё одно ядро гелия и релятивистский нейтрон. Нейтрон может расколоть следующее ядро лития, но скорее всего зону реакции просто покинет. И здесь в игру вступает уран из внешней и внутренней оболочек. Релятивистские нейтроны не захватываются ядрами, а разбивают их. Разваливающиеся ядра урана порождают тучи новых нейтронов уже подходящей для разложения лития энергии. Систему можно сбалансировать так, что 90% урана и лития выгорают. Если ядерное взрывное устройство поддерживает цепную реакцию лишь до момента своего разрушения, то термоядерный заряд запускается уже в плазменном агрегатном состоянии. В момент «горения» бомба напоминает звезду, являясь каплей более плотного, чем ртуть, полностью ионизированного вещества.

### **Термоядерные реакции в недрах Солнца и звезд.**

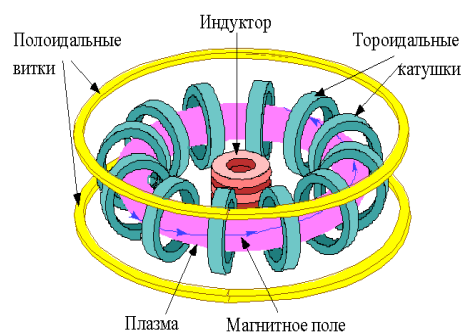
Реакции термоядерного синтеза не оставляют углеродный след, не производят радиоактивных отходов, которые долго распадаются, а небольшой объем водородного топлива теоретически могла бы питать дом в течение сотен лет.

**Проблемы управляемого термоядерного синтеза.** Чтобы зажечь термоядерную реакцию с положительным выходом энергии (когда полезная энергия термоядерного синтеза превышает затраты на нагрев плазмы) нужно иметь три достаточно высоких параметра:

- 1. Температура плазмы должна превышать 100 млн. градусов;**
- 2. Концентрация плазмы должна тоже быть достаточной;**
- 3. Время удержания энергии (время, которое плазма будет оставаться горячей при выключении источников нагрева) также должно быть достаточно большим.**

### **Магнитное удержание для термоядерного синтеза.**

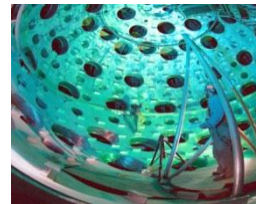
Начато строительство международного реактора (ITER): объем плазмы 2000 л, мощность 500 МВт, стоимость 5 млрд. евро. Планируется, что полностью установка вступит в строй в 2022 г. Проект стоит 12 млрд долл. и является третьим по стоимости научным проектом в истории (после Манхэттенского проекта и Международной космической станции).



Почему технически очень сложно осуществить управляемую термоядерную реакцию на установках типа токамак? В установках с магнитным удержанием большую роль приобретает тот факт, что магнитное поле имеет северный и южный полюса; в результате равномерно сжать газ в правильную сферу чрезвычайно трудно. Лучшее, что мы способны создать, – это магнитное поле в форме бублика. Но процесс сжатия газа напоминает сжимание в руках воздушного шарика. Каждый раз, когда вы сжимаете шарик с одного конца, воздух выпячивает его в другом месте.

**Лазерный комплекс с инерционным удержанием.** Комплекс состоит из 192 мощных лазеров, которые будут одновременно направляться на миллиметровую мишень.

При помощи самых мощных на Земле лазеров в лаборатории искусственно создается кусочек солнца. Твердотельный лазер на неодимовом стекле идеально подходит для воспроизведения высочайших температур, которые можно обнаружить только в ядрах звезд. В эксперименте используются лазерные системы размером с хороший завод; целая батарея лазеров, входящих в такую систему, выстреливает в длинный туннель серию параллельных лучей. Затем эти мощные лазерные лучи отражаются от системы небольших зеркал, установленных вокруг сферического объема. Зеркала точно фокусируют все лазерные лучи, направляя их на крошечный шарик из богатого водородом вещества (такого, как дейтерид лития, активное вещество водородной бомбы). Обычно ученые используют шарик размером с булавочную головку и весом всего около 10 мг. Лазерная вспышка мгновенно разогревает поверхность шарика, вызывая испарение верхнего слоя вещества и резкое сжатие шарика. Он «схлопывается», и возникающая при этом ударная волна доходит до самого его центра и заставляет температуру внутри шарика подскочить до миллионов градусов – уровня, необходимого для слияния ядер водорода с образованием ядер гелия.



В процессе термоядерного синтеза с инерционным удержанием высвобождается громадное количество энергии, в том числе в виде нейтронов. (Температура дейтерида лития может достигать 100 млн градусов по шкале Цельсия, а плотность – двадцатикратной плотности свинца.) Происходит всплеск нейтронного излучения от шарика. Нейтроны попадают в сферическое «одеяло» из вещества, окружающее камеру реактора, и нагревают его. Затем полученное тепло используется для кипячения воды, а пар уже можно использовать для вращения турбины и получения электричества.

**Рентгеновские лазеры с ядерной накачкой.**

**Дополнительная информация (Почему атомы — величайшее чудо Вселенной).**

Открытие того, что атомы могут иметь разную массу, но при этом сохранять свои элементарные свойства, привело не только к открытию изотопов, но и помогло исследователям обнаружить, что атомные ядра состоят из двух различных типов частиц: протонов (с положительным зарядом) и (незаряженных) нейтронов. Это сразу же подсказывает нам, что между протонами и/или нейтронами в ядре должно существовать какое-то дополнительное взаимодействие, отличное от электромагнитного взаимодействия. Например, существование дейтерия (изотопа водорода с 1 протоном и 1 нейтроном) говорит нам о том, что между протонами и нейтронами существует некая сила притяжения, которую нельзя объяснить ни электромагнетизмом (поскольку нейтроны нейтральны), ни гравитацией (поскольку гравитационные силы слишком слабы, чтобы объяснить такое связывание). Должна существовать какая-то **ядерная сила**, связывающая нейтроны и протоны. Эта сила должна, по крайней мере, на некотором небольшом расстоянии преодолевать электростатическое отталкивание между протонами внутри одного атомного ядра, то есть она должна быть сильнее, чем даже (достаточно сильная сама по себе) сила отталкивания между двумя протонами. Поскольку стабильных атомных ядер, состоящих только из двух (или более) протонов, не существует, нейтрон должен играть определённую роль в стабильности ядра. Если взять свободный протон, то он будет стабилен. Если взять свободный электрон, то он тоже будет стабильным. А если взять свободный нейтрон, то он не будет стабильным, а распадётся на протон, электрон и третью, нейтральную частицу.

Кроме того, когда ученые обнаружили радиоактивный бета-распад, когда догадались, что звёзды питаются за счёт ядерного синтеза в их ядрах, они сразу же смогли сделать вывод о существовании четвёртого фундаментального взаимодействия в дополнение к гравитации, электромагнетизму и сильному ядерному взаимодействию - того, что мы называем **слабым** ядерным взаимодействием. Способность превращать один тип частиц в другой, отличающийся от «суммы частей» или от «создания равных количеств материи и антиматерии», - это то, чего нельзя достичь при помощи трёх других взаимодействий. Просто изучая атомы, ученые сделали вывод о существовании слабого ядерного взаимодействия.

#### V. §§ 102-104.

1. Предложите проект утилизации отходов АЭС.
2. Предложите идею уровнемера с использованием радиоактивного изотопа.
3. В чем суть экологических проблем, возникающих в связи с развитием ядерной энергетики?
4. Один квадратный сантиметр земной поверхности каждую секунду выбрасывает в космос 6 млн. электронных антинейтрино. Почему это происходит?
5. Почему растения не болеют раком после Чернобыля или почему растительная жизнь так сопротивляется радиации и ядерной катастрофе?
6. Ионосфера испытывает воздействие как сверху, со стороны магнитосферы, так и снизу — из приземной атмосферы, и даже со стороны литосферы, твёрдой оболочки планеты. Как это понимать?

<b>ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ КУРСОВЫХ</b>	<b>ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Работа бытового дозиметра.</li> <li>2. Составление радиационной карты региона.</li> <li>3. Радиологический анализ местных пищевых продуктов.</li> <li>4. Экологические проблемы атомной энергетики.</li> <li>5. Расщепление атома: ящик Пандоры или огонь Прометея?</li> <li>6. Будущее Солнца и других звезд.</li> <li>7. Большой адронный коллайдер — путь к изучению строения Вселенной.</li> <li>8. Термоядерный реактор — реактор будущего.</li> <li>9. Ядерно-физические методы изучения возраста археологических находок.</li> <li>10. Естественная радиоактивность: безопасная или опасная.</li> <li>11. Хронология атомной эры.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. История атома: от Демокрита до Резерфорда.</li> <li>2. Кирпичики материи, или Что такое кварки.</li> <li>3. Научный подвиг Пьера и Марии Кюри (история открытия радия).</li> <li>4. Как Э. Резерфорд установил природу <math>\alpha</math>-частиц.</li> <li>5. История создания ядерного реактора.</li> <li>6. Первые атомные электростанции.</li> <li>7. Организация безопасности атомных реакторов.</li> <li>8. Драма идей: история атомной бомбы.</li> <li>9. История получения искусственных радиоактивных изотопов.</li> <li>10. Где и как применяют искусственные радиоактивные изотопы.</li> <li>11. Что такое радоновые ванны.</li> <li>12. Как возникают сигналы, когда свет попадает на сетчатку?</li> </ol>

*Истину нельзя объяснить так, чтобы ее поняли; надо, чтобы в нее поверили.*

*Уильям Блейк*



*Надо развивать ум, читая много, а не многих авторов.*

*Марк Фабий Квинтилиан*

ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.Я. Зорина. Дидактические основы формирования системности знаний Перышкин. Физика 8 класс. - М.: Дрофа, 2010.
2. Перышкин А.В. ГДЗ по Физике за 8 класс: Сборник задач. - М.: АСТ: Астрель старшекласников. – М.: Педагогика, 1978.
3. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. - М.: Просвещение, 1972.
4. Д. Джанколи. Физика. - М.: Мир, 1989.
5. В.И. Лукашик. Сборник вопросов и задач по физике. – М.: Просвещение, 1981.
6. Н.В. Любимов, С.М. Новиков. Знакомимся с электрическими цепями. – М.: Наука, 1972.
7. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
8. А.А. Найдин. Системный подход при обучении физике в школе. Новокузнецк, МАОУ ДПО ИПК 2002 г., ISBN 5-7291-0266-6.
9. А.А. Найдин. Примерные планы уроков для 8 класса по теме «Магнитные и световые явления». – Новокузнецк, ИПК, 1997 г.
10. Физика и жизнь. Законы природы: от кухни до космоса / Элен Черски; пер. с англ. И. Веригина; [науч. ред. А. Минько]. — Москва: Манн, Иванов и Фербер, 2021. — 336 с.
11. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. <https://naidin.ru>