То, что мы наблюдаем, это не природа сама по себе, а природа, представленная нашему методу наблюдения.

Вернер Гейзенберг

Попугая, который произносил фразу «Но, господа, ведь это не физика», Пауль Эренфест предложил в качестве председателя на конференции по квантовой механике в Геттингене.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Введение

Сегодня многие преподаватели физики ощущают пропасть, разделяющую современное состояние науки и содержание школьного курса. С основными идеями специальной теории относительности и квантовой физики они знакомят учеников в третьей четверти, когда многие из них, как говорят, уже определились и заняты подготовкой к выпускным экзаменам. Контрольно-измерительные материалы ЕГЭ редко содержат задачи, для решения которых необходимо знать законы именно этих теорий, поэтому дети теряют интерес к изучению важнейших разделов современной физики. Не в наших силах изменить эти тенденции. Поэтому некоторые учителя предлагают свои подходы к изложению современной физики в школе, суть которых состоит в том, что классическая и квантовая физика не разделяются друг от друга, а изучаются совместно. Это соответствует современным представлениям, согласно которым классическая физика есть предельный случай квантовой и релятивистской. Для этого необходимо радикально перекроить школьный курс физики, но я убежден, что преодоление возникающих при этом трудностей вряд ли будут соизмеримо с затратами. Думаю, что более знакомым и приемлемым является путь эволюционных изменений, основанный на системном подходе при преподавании традиционного курса. Для этого необходимо систематизировать программный учебный материал в соответствии с планом изучения любой физической теории, выделить главное знание и обеспечить уроки, посвященные его изучению, необходимыми средствами обучения, применять полученные законы для объяснения явлений, находящихся в предметной области данной теории. Как никогда необходимы адекватные модели, четкие определения, красивый демонстрационный эксперимент, система задач и вопросов, развивающих ученика. Это чрезвычайно мотивирует их, увлекает, подвигает некоторых из них стать учеными. При этом они не встраивают новое знание в уже сложившуюся картину мира, а расширяют и изменяют свою картину мира!

Предлагаю Вам примерные планы моих уроков по квантовой физике – одной из фундаментальных теорий школьного курса. Квантовая физика лежит в основе окружающего нас мира: термоядерный синтез на Солнце, красный цвет углей костра, твердость стула, на котором ты сидишь, характерный желтый свет при попадании соли в пламя, и так далее. Квантовая физика лежит также в основе работы многих технологических приспособлений, которые

сформировали современное общество: это и лазеры (еще CD, DVD, оптоволоконные усилители для Интернета), и микропроцессоры (а также компьютеры, смартфоны, Интернет…), и атомные часы (и GPS…), и аппараты ядерно-магнитно-резонансного исследования и многое другое.

Убежден, что главное в уроке – его содержание: систематизированное, генерализованное, "причесанное" так, что в нем нет ни одного лишнего слова без доказательств и ни одной задачи, которая бы не развивала ученика. Считаю, что мне удалось:

- Методически верно объяснить ученикам проблему "ультрафиолетовой катастрофы" и выход из нее, который был найден М. Планком (гипотезу Планка выдвигают сами ученики).
- Ввести в школьный курс волновую модель фотоэффекта и показать, что классическая электродинамика не смогла объяснить основные закономерности фотоэффекта.
- Продемонстрировать ученикам квантовую модель фотоэффекта и с ее помощью объяснить законы фотоэффекта.
- Сделать школьный курс квантовой физики более фундаментальным путем более глубокого изучения корпускулярно-волнового дуализма, уравнения де Бройля и принципа дополнительности.
- Доказать, что свободный электрон не поглощает кванты электромагнитного излучения.
- Показать, что энергия и импульс электрона, "зажатого" в малой области пространства, квантуются.
- Установить четкие границы применимости классической механики и классической электродинамики.
- Применить квантовую физику для нахождения энергетического спектра атома водорода, для объяснения строения атома, атомного ядра и превращений элементарных частиц.
- Показать, что квантовая физика имеет дело с возможностью, а не с уверенностью, и не потому, что нам не хватает абсолютного знания, а потому, что некоторые явления природы управляются законами случая. Квантовый мир принципиально невозможно описать классическими методами.
- Познакомить учеников и с тем, что происходит на переднем фронте науки, какие открытия совершаются в физике в наши дни и что еще предстоит открыть.
- Открытия, совершенные на основе квантовой теории, – новая глава в науке!

Учитель физики НБМОУ "Гимназия № 44" А. Найдин

Оглавление

1. Введение 2-3

2. Примерные планы уроков по квантовой физике ……..4-42

3. Примерные планы уроков по атомной физике 43-77

4. Примерные планы уроков по ядерной физике 78-122

5. Элементарные частицы…….123 -139

6. Не решенные проблемы физики……140-149

7. Литература..... 150

Уроки, задачи, вопросы, творческие домашние задания.

Анатолий Найдин

г. Новокузнецк

2014 г

Солнечный свет, как и жар, состоит из мелких начальных частичек.

Лукреций Кар

Творческий разум человека… проявляет себя - загадочным образом, — совсем как те элементарные частицы, что обретают мгновенное существование в огромных циклотронах только затем, чтобы исчезнуть, подобно бесконечно малым призракам.

сэр Артур Эддингтон, 1928

Если тебя квантовая физика не испугала,

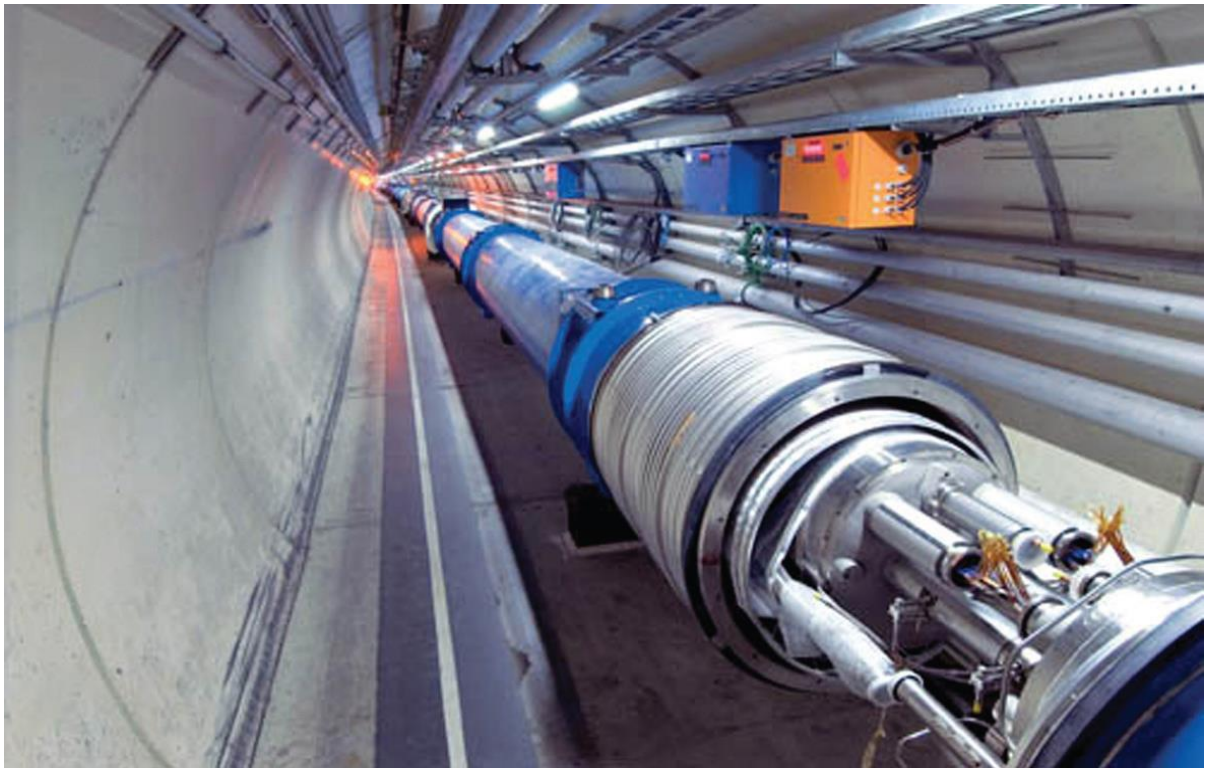
значит, ты ничего в ней не понял.

Нильс Бор

Квантовая теория дает нам поразительную иллюстрацию того факта, что мы можем полностью понять связь, хотя можем говорить о ней только в образах и притчах.

Вернер Гейзенберг.

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ



Запомни три важных понятия квантовой физики: атомы, волны, кванты! Три физические идеи - атомы, излучение, электроны - связаны между собой понятием кванта!

Квантовая физика позволила узнать многое о прошлом Вселенной, по-новому взглянуть на периодическую таблицу химических элементов Менделеева, объяснить строение материи на микроуровне, создать все современные приборы электроники и т.д. — квантовая теория кардинально изменила наше мировоззрение и представление о мире, включив в него неопределенность и удивительные парадоксы. В ядрах звёзд, где изначальный водород смешивается с другими элементами, всё также регулируется законами квантовой физикой! **Законы существовали даже до того, как образовались звезды, ибо звезды и все остальное образовалось согласно этим законам.**

Таким образом, была найдена новая формула излучения, которая довольно хорошо согласовывалась с опытом до последнего времени ...

М. Планк

Урок 1.

ЗАРОЖДЕНИЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Квантовая физика (почти всегда) связана с очень малым!

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с основными явлениями, которые не в состоянии была объяснить классическая электродинамика.

ТИП УРОКА: лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: комплект по фотоэффекту, электрометр, набор пластин из разных металлов, стеклянная и эбонитовая палочки.

ПЛАН УРОКА:

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

II. *Что общего между Дашей Новиковой и кометой Галлея? Они встречаются только один раз в 75 лет: одна – с квантовой физикой, другая – с Землей.*

«Я думаю, что смело могу утверждать: квантовую механику не понимает никто».

Ричард Фейнман

«Правда в том, что всех смущает квантовая физика».

Дэвид Уолтон.

В настоящее время огромное число приборов, используемых в повседневной жизни, основываются на законах квантовой механики, как например - лазер или сканирующий туннельный микроскоп. Хотите придумать новое модное слово? Добавьте к нему слово "квантовый". Например, квантовая улыбка, квантовая фигура, квантовое рукопожатие, квантовая ложь. Сейчас квантовая физика похожа на мутную реку с крокодилами. Таков наш уровень познания Природы. И в этой мутной воде Мироздания физики постоянно что-то отлавливают новое: кварки, глюоны, мюоны. В общем, сейчас мы ещё меньше знаем о мире, чем когда-либо.

Экспериментальные факты, объясняемые классической электродинамикой (повторение по обобщающей таблице "Электродинамика"). Существование электромагнитных волн. **Свет – электромагнитная волна.** К концу XIX в. в общественном сознании складывается убеждение, что картина мира в общих чертах уже достаточно ясно установлена наукой, что дальнейшее развитие научного знания призвано лишь уточнять контуры этой картины и раскрывать немногочисленные «белые пятна», которые остались в ней. Когда в 1889 г. будущий гениальный физик-теоретик, основоположник квантовой физики, Макс Планк решил работать в области теоретической физики, его учитель сказал ему: *«Молодой человек, зачем вы теряете свое будущее? Ведь теоретическая физика закончена. Можно только вычислять отдельные случаи. Но следует отдавать такому делу свою жизнь?»* В докладе Королевскому обществу 27 апреля 1900 года патриарх британской физики лорд Кельвин отметил только два облачка, по его словам, омрачали ясный научный небосклон. Первое облачко - это вопрос, как может Земля без трения и потери энергии двигаться через упругую среду, каковой является светоносный эфир? А второе облачко - это непреодолимые противоречия теории и опыта в вопросе об излучении «абсолютно чёрного тела».

В действительности же классическая наука XIX в. стала не венцом познания, а фундаментом нового революционного прорыва. Среди тех «частностей» мироустройства, которые к началу XX столетия все еще оставались сокрытыми, было два, как тогда казалось, маленьких «тёмных пятнышка». Прежде всего, оставалось непонятным, что же является

носителем света. Кроме того, оставался не прояснённым до конца вопрос о том, каким образом достигается равновесие между светом и веществом.

Много лет физики задавались вопросом: если свет — это волна, то что, собственно, колеблется? Свет способен преодолевать миллиарды световых лет пустого пространства, но пустое пространство — это вакуум, в нем нет никакого вещества. Так что же колеблется в вакууме? «Со времен Юнга и Френеля мы знаем, что свет - это волновое движение... Сомневаться в этих фактах больше невозможно; опровергать эти взгляды непостижимо для физика. С точки зрения рода человеческого волновая теория является очевидностью»,- писал в 1889 г. Генрих Герц.

III. В истории физики изучение теплового излучения имело решающее значение. Электромагнитная теория предсказала, что чем горячее объект, тем интенсивнее его излучение, которое еще и становится более высокочастотным. График **распределения энергии** в спектре нагретого тела. Он показывает, как зависит энергия, приходящаяся на интервал длин волн $\Delta\lambda$ в спектре, от длины волны (Рис. 1 ,а).

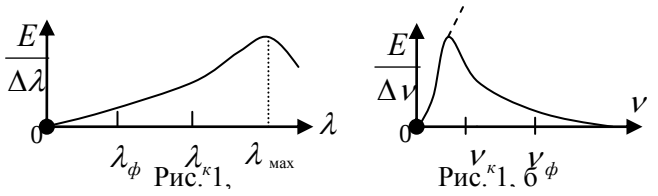


Рис.1, а Рис.1, б

На данном уроке полезно трансформировать этот график в график распределения энергии в спектре по частотам, используя соотношение между длиной волны и частотой электромагнитного излучения (Рис. 1, б). Теперь попробуем внимательно обсудить последний график. Что излучает свет в нагретом теле?

- Атомы?
- Что излучает свет в атоме?
- Колеблющиеся электроны (антенны).
- Их называют электромагнитными осцилляторами. На каких частотах "работают" электромагнитные осцилляторы в нагретом теле?
- На любых, поскольку спектр излучения нагретой вольфрамовой спирали сплошной.
- Какую энергию должны излучать работающие на больших частотах осцилляторы за некоторое время, если каждый из них "работает" непрерывно?
- Бесконечно большую энергию, поскольку интенсивность излучаемой антенной электромагнитной волны прямо пропорциональна частоте в четвертой степени: $\mathbf{I \sim \nu^4}$.

Поэтому любое тело **за время $t \approx 10^{-8}$ с** должно "сгорать, синим пламенем", остывая до абсолютного нуля! Тепло так быстро улетучивается в окружающее пространство, что все топлива, имеющегося на Земле, не хватить, чтобы вскипятить чайник!

График распределения энергии в спектре нагретого тела на больших частотах должен круто идти вверх (пунктирная линия на графике). Отсюда следует, что

равновесие между излучением и веществом невозможно и эта ситуация в физике получила название "ультрафиолетовая катастрофа".

Как объяснить **график распределения энергии** в спектре нагретого тела? Почему не наблюдается "ультрафиолетовая катастрофа"? Ответы на эти вопросы классическая физика дать не смогла. Философия - любовь к мудрости - начинается с удивления!

Уравнения классической физики оказались неспособными объяснить, почему угасающая печь не испускает желтых лучей наряду с излучением больших длин волн ...

Х. Лоренц

Гипотеза Планка (14 декабря 1900 года день рождения квантовой физики!). Планк пытался помочь электротехнической компании разработать экономичную лампу накаливания. Теории того, как светит накаленная нить лампы, не было!

Электромагнитные осцилляторы излучают энергию не непрерывно, а отдельными порциями-квантами. У осцилляторов, "работающих" на больших частотах, энергия отдельной порции велика, но излучают они эти порции очень редко.

После нескольких недель самого напряженного труда в моей жизни темнота спала, и начала вырисовываться невиданная перспектива.

Макс Планк

Это было сделано на уровне абстрактного мышления открытие дискретности там, где его меньше всего ждали.

Э. Шредингер

Подобные счастливые догадки есть удел тех, кто заслужил их тяжелой работой и глубокими размышлениями.

Х. Лоренц

... моя формула излучения до сих пор удовлетворительно оправдывалась даже при очень точных систематических измерениях.

М. Планк

Не существует ни химии, ни биологии, а существует только квантовая физика! Энергия кванта (от лат. quantum - количество)**: $\varepsilon = h\nu$. Постоянная Планка: $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.** Современное значение: **$h = 6{,}62606896(33) \cdot 10^{-34}$ Дж·с.** Постоянная Планка фигурирует во всех уравнениях и формулах квантовой механики.

Квантовая механика исследует мир очень малого! А специальная теория относительности? Энергия квантов видимого света: $\varepsilon_ф \approx 3{,}1$ эВ; $\varepsilon_к \approx 1{,}7$ эВ.

Эта маленькая порция энергии сопоставима с энергиями частиц в атомных системах.

Формула Планка точно согласуется с экспериментальными данными во всем интервале частот. «Ультрафиолетовая катастрофа» не привела к катострофе физики!

«...Планк посадил в ухо физикам блоху»,- говорил Эйнштейн. «Не может быть!» - повторяли они подобно фермеру, впервые в жизни увидевшему жирафа.

Теперь попробуем объяснить **график распределения энергии** в спектре на основе квантовых представлений. Поскольку осцилляторы излучают энергию порциями, то и поглощают ее порциями, поскольку хранить ее они не могут. В вольфрамовой спирали лампочки накаливания осцилляторы получают энергию из "общего котла", которым является энергия теплового движения атомов.

Почему осцилляторы, "работающие" на больших частотах, получают так мало энергии из "общего котла"? Для этого рассмотрим три осциллятора А, В и С, между которыми распределяется 20 единиц энергии (20 штук). Допустим, что в силу внутренних причин осциллятор А может приобретать энергию только порциями по 10 единиц, а В и С – по одной единице. Тогда с равной вероятностью возможны приведенные в таблице 1 распределения энергии между ними, следовательно, в среднем за каждое распределение А теперь получает из «общего котла» всего 3,9 единиц энергии, а В и С – по 8 единиц!

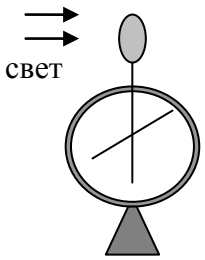
Таблица 1

А	В	С	
20	0	0	1
10	10	0	11
10	9	1	
……..			
10	0	10	
0	20	0	21
……			
0	0	20	
Ср. 3,9	8	8	

Таблица 2

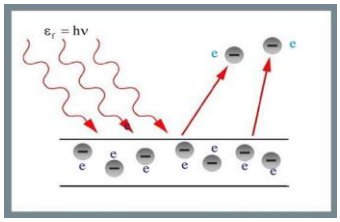
А	В	С	
20	0	0	1
0	20	0	21
0	19	1	
……			
0	0	20	
Ср.0,9	9,5	9,5	

Более того, если в силу тех же причин осциллятор (А) будет приобретать энергию порциями по 20 единиц, то с равной вероятностью возможны другие распределения энергии (Таблица 2) и теперь уже А получит всего лишь 0,9 единиц энергии, тогда как В и С по 9,5 единиц (большая часть энергии достается «инфракрасным» излучателям)! Теперь хорошо видно, что «работающие» на большой частоте осцилляторе получают меньше энергии теплового движения (крупного выигрыша можно и не дождаться!) и, следовательно, очень редко излучают, поэтому график распределения энергии в спектре на больших частотах идет вниз.



Осцилляторы, "работающие" на больших частотах, получают гораздо меньше энергии теплового движения и, следовательно, очень редко излучают.

Теперь познакомим учеников с явлением **внешнего фотоэффекта.** Почему отрицательно заряженная пластина теряет свой заряд под действием ультрафиолетовых лучей, а положительно заряженная не теряет? **Фотоэффект - явление выбивания электронов электромагнитным излучением из вещества.**



В конденсированных средах выделяют внешний (поглощение фотонов сопровождается вылетом электронов за пределы тела) и внутренний (электроны, оставаясь в теле, изменяют в нем свое энергетическое состояние) фотоэффект. Фотоэффект в газах состоит в ионизации атомов или молекул под действием излучения.

Некоторые закономерности фотоэффекта:

- Демонстрация фотоэффекта из разных металлов. Работа выхода электрона из металла ($A_{вых}$). У какого из металлов работа выхода электрона меньше (справочник)?
- Демонстрация зависимости скорости фотоэффекта от освещенности поверхности.
- Демонстрация без инерционности фотоэффекта.

- Закрываем источник ультрафиолетового излучения стеклянным светофильтром. Почему теперь не наблюдается фотоэффект?

Основные количественные закономерности фотоэффекта будут установлены на следующем уроке, но уже сейчас ученикам можно сообщить, что классическая электродинамика не смогла объяснить и это явление. *Вопрос:* Если атомы вещества – колосья, а электроны в атомах – зерна в колосьях, то с чем сравнить падающий и поглощаемый при этом свет – с налетающими волнами ветра или с градом?

IV. *Задачи:*

1. Сколько фотонов видимого света испускает в течение времени $\tau = 1$ с электрическая лампочка мощностью $P = 100$ Вт, если длина волны излучения видимого излучения $\lambda = 550$ нм, а световая отдача лампы составляет $\eta = 3{,}3\%$?
2. Найти показатель преломления среды, в которой свет с энергией кванта $4{,}4 \cdot 10^{-19}$ Дж имеет длину волны 300 нм.
3. Рубиновый лазер даёт импульс монохроматического излучения с длиной волны $\lambda = 694{,}3$ нм. Определить концентрацию фотонов в пучке излучения лазера n, если его мощность $P = 2$ мВт, а площадь поперечного сечения луча $S = 4 \cdot 10^{-4}$ м^2.

Вопросы:

1. Какие значения может принимать энергия осциллятора с точки зрения квантовых представлений?
2. Откуда осцилляторы получают энергию?
3. Если все тела излучают, то почему мы не видим в темноте? Что такое «темнота»?
4. Почему КПД лампочки накаливания всего 4-5% и она излучает очень мало ультрафиолетовых лучей? Как повысить КПД такой лампы?
5. Как работают ксеноновые лампы?
6. Почему для измерения температуры медицинским термометром требуется 10 минут, а «стряхнуть» его можно почти сразу?
7. Почему очень горячие звезды голубые?
8. Почему при нагревании металлы меняют цвет с красного на оранжевый цвет и белый?
9. Почему глаза человека не ощущают тепла и холода?
10. Какой физический смысл имеет постоянная Планка?
11. Электрические лампочки бывают мощностью 40, 60, 100 и 200 Вт. Квантуется ли мощность лампочек?

V. Введение. Упр. 11, № 3.

1. Как "работают" галогенные лампы ($T \approx 3300 – 3400$ К)?

Я не знаю, откуда я, куда иду и даже кто я.
Эрвин Шрёдингер

Как в сказках Шехерезады, в науке конец любой истории – это начало следующей.
В. Смилга. В погоне за красотой

Эксперимент – единственное средство познания, имеющееся в нашем распоряжении. Все остальное – это «поэзия» и воображение…

Макс Планк

Урок 2.

ЗАКОНЫ ФОТОЭФФЕКТА

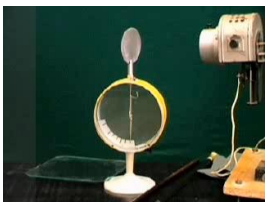
А что такого странного в квантовой механике?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с опытами Столетова по фотоэффекту и с основными закономерностями фотоэффекта.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: прибор М-1032, выпрямитель ВУП-2, комплект по фотоэффекту, метровая линейка, соединительные провода, набор светофильтров, вольтметр 0 – 250 В, вольтметр демонстрационный, ИЭПП – 1, кинофильм "Фотоэффект", проекционный аппарат ФОС - 67.

ПЛАН УРОКА:



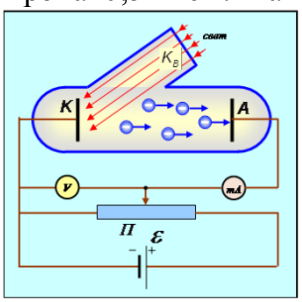
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Тепловое излучение и гипотеза Планка.

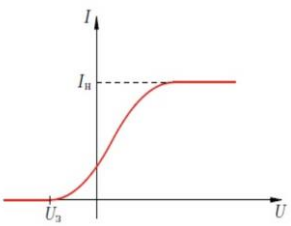
2. Явление фотоэффекта.

Задачи:

1. Точечный источник монохроматического излучения мощностью P = 100 Вт испускает волны с длиной λ = 1 мкм. Определить число фотонов N падающих за время τ = 1 с на площадь S = 1 см^2, расположенную на расстоянии R = 10 м от источника.
2. Капля воды диаметром 0,2 мм нагревается светом длиной волны 0,7 мкм, поглощая ежесекундно 10^{10} квантов света. Определите скорость нагревания капли.
3. Рентгеновское (тормозное) излучение возникает при бомбардировке быстрыми электронами металлического антикатода рентгеновской трубки. Определить длину волны коротковолновой границы спектра тормозного излучения, если, скорость электронов составляет 40% от скорости света в вакууме. Энергия покоя электрона 0,5 МэВ. Как зависит длина волны коротковолновой границы спектра тормозного излучения от напряжения (температуры катода)?



III. Устройство вакуумного фотоэлемента, его обозначение на электрических схемах. Установка для изучения законов фотоэффекта. Вольтамперные характеристики вакуумного фотоэлемента, снятые при его расположении на расстояниях 30 и 60 см от источника света. При повышении напряжения фототок увеличивается. Анода достигает большее количество



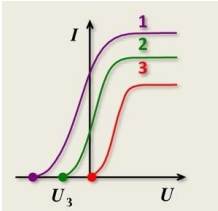
электронов, вылетающих из катода под всё большими углами к оси колбы. Обратите внимание, что фототок присутствует при нулевом напряжении!

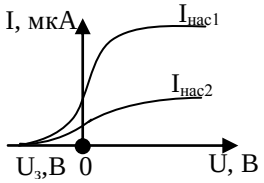
Ток насыщения $I_{нас} = Ne/t$, его зависимость от освещенности катода: $\mathbf{I_{нас} \sim E}$.

Число выбитых в единицу времени с поверхности металла фотоэлектронов прямо пропорционально его освещенности.

Установка для демонстрации второго закона фотоэффекта. Наличие тока в цепи при нулевой разности потенциалов (объяснение). Каким образом можно уменьшить силу тока в цепи до нуля? Задерживающее напряжение: $m\upsilon^2/2 = e \cdot U_з$. Определение максимальной скорости фотоэлектронов: $\upsilon_{max} = \sqrt{\frac{2eU_з}{m}}$.

Изучение зависимости $\upsilon_{мах} = f(\nu)$, используя светофильтры и измеряя задерживающее напряжение.





Показать, что максимальная скорость фотоэлектронов не зависит от освещенности металла.

Максимальная кинетическая энергия испускаемых фотоэлектронов линейно возрастает с частотой электромагнитного излучения и не зависит от освещенности металла (1906-1915 г. Милликен).

Третий закон фотоэффекта. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта - наименьшая частота света, при которой фотоэффект ещё возможен.

Вывод: Когда интенсивность света увеличивается, электроны вылетают из металла с той же самой скоростью, но при этом выбивается больше электронов. Более того, когда свет смещается по цвету в сторону красного (то есть в сторону более длинных волн), электроны вылетают из металла с меньшей скоростью независимо от интенсивности. Почему высокочастотный свет приводит к испусканию электронов металлом, а низкочастотный – нет? Почему при ярком свете испускается больше фотоэлектронов, чем при тусклом свете?

IV. Демонстрация кинофильма "Фотоэффект".

Гордиться славою своих предков не только можно, но и должно; не уважать оной есть постыдное малодушие.
А.С. Пушкин

V. § 77.

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности М. Планка.
2. Составить выражение для величины, имеющей размерность длины, используя скорость света c, массу электрона m_e и постоянную Планка h. Определите числовое значение этой величины и подумайте, что бы это значило.

Согласно этому сделанному здесь предположению, энергия пучка света, вышедшего из некоторой точки, не распределяется непрерывно во все возрастающем объеме пространства, а складывается из конечного числа локализированных в пространстве неделимых квантов энергий, поглощаемых или возникающих только целиком.

А. Эйнштейн

Урок 3.

ТЕОРИЯ ФОТОЭФФЕКТА

Каким образом в солнечных батареях фотон преобразуется в электрон?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с волновой и квантовой моделями фотоэффекта, а также объяснить все наблюдаемые закономерности фотоэффекта на основе квантовых представлений о свете.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: нитяной маятник, шарик, наклонная плоскость, штатив.

ПЛАН УРОКА:

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

$$h\nu = A_{вых} + \frac{mv^2}{2}$$

II. Опрос фундаментальный: 1. Первый закон фотоэффекта. 2. Второй закон фотоэффекта.

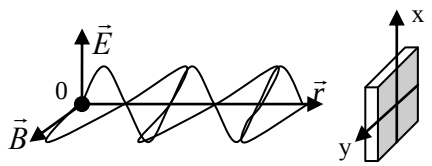
Задачи:

1. Пучок ультрафиолетовых лучей ($\lambda = 1\cdot10^{-7}$ м) передает фотоэмиссионной поверхности мощность $1\cdot10^{-3}$ Вт. Какое количество квантов падает на эту поверхность ежесекундно? Какой будет сила электрического тока с поверхности, если фотоэлектроны выбиваются 1% квантов?
2. Рентгеновская трубка, работающая под напряжением 66 кВ и силе тока 15 мА, излучает ежесекундно 10^{16} фотонов. Считая длину волны излучения равной 10^{-10} м, определите КПД (в процентах) установки.
3. Точечный источник мощностью P = 2 мВт излучает свет с длиной волны λ = 450 нм равномерно во всех направлениях. Найти концентрацию n фотонов на расстоянии r = 5 м от источника.

III. На предыдущем уроке мы экспериментально установили законы фотоэффекта:

- **Число выбитых в единицу времени с поверхности металла фотоэлектронов прямо пропорционально интенсивности света вблизи поверхности металла и, следовательно, его освещенности.**
- **Максимальная кинетическая энергия испускаемых фотоэлектронов линейно возрастает с частотой электромагнитного излучения и не зависит от освещенности металла.**
- **Для каждого вещества при определенном состоянии его поверхности существует граничная частота света, ниже которой фотоэффект не наблюдается. Эта частота и соответствующая длина волны называется красной границей фотоэффекта.**

Всякий, кто имел дело с морскими волнами, знает, что волны малой амплитуды толкают слабо, а большой - сильно. Если вы стоите в полосе прибоя, то маленькая волна не собьет вас с ног, но если амплитуда волны становятся все больше и больше, то в конце концов они окажутся достаточно велики для того, чтобы нарушить связь ваших ног с дном. Из курса школьной оптики нам хорошо известно, что распространение света – волновой процесс, о чем убедительно свидетельствуют наблюдаемые нами явления интерференции и дифракции света. Поэтому мы попытаемся объяснить основные закономерности фотоэффекта в рамках волновой модели. Согласно этой модели, свет – электромагнитная волна определенной частоты и амплитуды, в которой колебания электрического ($\vec{E}$) и магнитного ($\vec{B}$) векторов происходят синфазно во взаимно



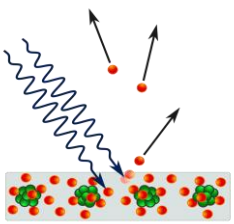
перпендикулярных плоскостях. Неподвижный наблюдатель, находящийся вблизи куска металла, будет регистрировать электрическое поле, проекция напряженности которого на ось X изменяется по гармоническому закону $E_x = E_{max} \cdot cos\omega t$. Тогда на свободные электроны в поверхностном слое металла будет действовать переменная сила $F_x = -e \cdot E_x$, под действием которой они будут двигаться с ускорением $a_x = \frac{F_x}{m} = -\frac{eE_x}{m} = -\frac{eE_{\max}}{m}\cos\omega t$.

Учитывая, что проекция ускорения есть первая производная от проекции скорости по времени $a_x = \frac{d\upsilon_x}{dt}$, определим закон изменения проекции скорости электрона со временем $\upsilon_x = \int_0^t a_x dt = -\frac{eE_{\max}}{m\omega}\sin\omega t = -\upsilon_{\max}\sin\omega t$. Амплитуда скорости фотоэлектронов $\upsilon_{\max} = \frac{eE_{\max}}{2\pi\nu m} = \frac{eE\sqrt{2}}{2\pi\nu m}$ при данной частоте электромагнитного излучения $\nu = пост$, должна быть прямо пропорциональна амплитуде напряженности электрического поля. Учитывая, что интенсивность электромагнитной волны прямо пропорциональна квадрату действующего значения напряженности электрического поля $I \sim E^2$, мы с неизбежностью должны сделать вывод о том, что максимальная скорость вырываемых светом фотоэлектронов должна возрастать с увеличением интенсивности света (освещенности поверхности металла), что противоречит эксперименту.

Следовательно, классическая электродинамика не смогла объяснить основные закономерности фотоэффекта!

Введенное Максом Планком представление о квантах света использовал Альберт Эйнштейн в предложенной им **квантовой модели фотоэффекта** (эпиграф к уроку). Согласно сделанному им предположению, энергия света распределяется по пространству дискретно, то есть состоит из квантов с энергией $\varepsilon = h \cdot \nu$ и импульсом $p = \frac{h\nu}{c}$.

Свободные электроны не могут поглощать кванты света! Если бы такой процесс произошел, то электрон бы приобрел импульс $\frac{h\nu}{c} = m\upsilon$ или $h\nu = m\upsilon \cdot c$ и энергию $h\nu = \frac{m\upsilon^2}{2} = m\upsilon\frac{\upsilon}{2}$, а его скорость превысила бы вдвое ($\upsilon = 2 \cdot c$) скорость света в вакууме, чего не может быть. В релятивистском случае (докажите самостоятельно) скорость электрона будет равна с ($\frac{h\nu}{c} = \frac{mV}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$; $h\nu = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} - mc^2$).

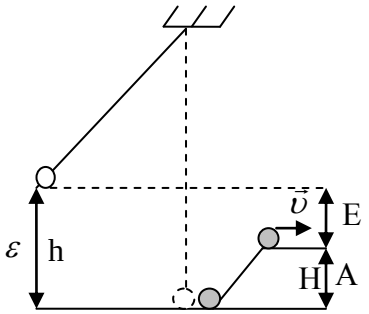


Свободные электроны не поглощают кванты света! Бывает ли у огня тень? **Когда вещество ионизировано, оно рассеивает излучение; когда вещество нейтрально, излучение проходит прямо через эти атомы!**

В свою очередь электрон в атоме может поглощать кванты света, при этом часть импульса кванта передается атому. Кроме этого каждый электрон,

покидая металл, должен совершить некоторую **работу** $A_{вых}$, характерную для данного металла. Тогда квант света с энергией $h\nu$, поглощается электроном в металле, который, приобретя эту энергию, часть ее тратит на «работу выхода», а оставшуюся часть составляет его кинетическая энергия. Каждый снаряд-квант может выбить из атома только один электрон! **Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта** приобретает вид: $h\nu = A_{выхода} + \frac{m\upsilon_{\max}^2}{2}$ и позволяет объяснить основные закономерности фотоэффекта. Сущность научного метода можно сформулировать довольно просто: он позволяет добыть такие знания о явлениях, которые можно проверить, сохранить и передать другому человеку.

Дополнительная информация: Теперь обратимся к модели. Электрон-частица и поэтому мы его будем представлять шариком определенной массы, который для удаления из металла необходимо поднять по наклонной плоскости на высоту *H*, то есть затратить энергию *m g H*, которая равна работе выхода из данного металла. Квант света тоже частица, поэтому мы его будем представлять шариком той же массы, подвешенным на нити. Поскольку квант света обладает энергией, то мы отклоним шарик от положения равновесия так, чтобы он поднялся на высоту *h*, которая пропорциональная его энергии. Если теперь отпустить шарик-квант, то при взаимодействии с шариком-электроном он передает ему всю свою энергию. Получив эту энергию, электрон часть ее потратит на преодоление взаимодействия с металлом, а оставшуюся часть будет составлять его кинетическая энергия. С помощью этой модели легко показать, что кванты большей энергии выбивают электроны большей кинетической энергии, причем максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света, так не трудно и показать зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от материала катода. При некоторой минимальной частоте света (красная граница) фотоэффект вообще прекращается, и энергия квантов переходит во внутреннюю энергию металла. Если мы соберем действующую модель и проведем с ней опыты, то обнаружим, что если даже энергия квантов больше работы выхода, то далеко не каждый электрон вырывается из металла (нецентральный удар), то есть выход электронов гораздо меньше 100%, что и наблюдается в реальном опыте. Таким образом, квантовая модель объяснила, почему максимальная скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности света, почему максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и для каждого металла существует своя "красная граница" фотоэффекта.



Зависимость фототока насыщения от интенсивности света вблизи поверхности металла. Действительно, число квантов света, падающих на поверхность металла за время *t*, можно определить по формуле $N = \frac{Pt}{h\nu} = \frac{ISt}{h\nu}$, где I - интенсивность света вблизи поверхности металла. Число выбитых из металла фотоэлектронов $N' = \eta N$, где η – КПД фотоэффекта. Тогда сила тока насыщения $I_{нас} = \frac{N'e}{t} = \frac{\eta eIS}{h\nu}$ прямо пропорциональна интенсивности света.

Вопрос: В опытах по фотоэффекту расстояние между цинковой пластиной и электрической дугой увеличили в два раза. Почему при этом фототок уменьшился в 4 раза?

Свет зернист по своей природе. Электромагнитная энергия излучается, распространяется и поглощается в виде отдельных порций-квантов и подобна не непрерывно льющейся струе, а прерывистому ряду капель.

Свет состоит из отдельных частичек, каждая из которых передает свою энергию одному - единственному электрону!

Минимальная единица денег – копейка или цент. Свет можно себе представить, как копейки в разной валюте. При больших объемах валюты теряется «квантовость» сделки, то есть ее центовое выражение, но как каждый цент - это деньги, так и каждый квант - это свет!

IV. *Задачи:*

1. Энергия квантов $6{,}4\cdot10^{-19}$ Дж, работа выхода электронов из металла $4{,}9\cdot10^{-19}$ Дж. Определить максимальную кинетическую энергию и максимальную скорость вырываемых светом электронов.
2. Работа выхода электронов из золота равна 4,59 эВ. Найти длину волны красной границы фотоэффекта для золота.
3. Чувствительность сетчатки глаза к желтому свету (λ = 600 нм) составляет $1{,}7\cdot10^{-17}$ Вт. Сколько квантов должно падать ежесекундно на сетчатку, чтобы свет был воспринят?

Вопросы:

1. Чем отличаются гипотезы М. Планка и А. Эйнштейна об электромагнитном излучении?
2. Почему красный свет даже очень большой интенсивности вообще не выбивает из цинка электроны, а вот фиолетовый, даже слабый, вызывает появление пусть небольшого числа, но очень энергичных фотоэлектронов.
3. Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 2 раза меньше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
4. Что необходимо сделать, чтобы в опытах по фотоэффекту увеличился выход электронов, и уменьшилась их максимальная кинетическая энергия?
5. Почему у разных металлов не одинакова работа выхода электронов?
6. Из цинка или из цезия электроны будут вылетать с большей скоростью при облучении их ультрафиолетовыми лучами?
7. Почему голубой фотон сильнее толкает электрон, чем красный?
8. Выход электронов при внешнем фотоэффекте составляет несколько процентов. Куда же деваются остальные кванты?
9. Почему частицы лунной пыли обладают электрическим зарядом.
10. Почему луч прожектора резко обрывается, а не ослабевает или не уходит «в бесконечность»?
11. Почему у диэлектриков поглощение света существенно слабее, чем у металлов?
12. Почему обычное стекло не пропускает ультрафиолетовые лучи, а кварцевое стекло пропускает?

V. § 78. Упр. 11, № 1,4,5.

До конца жизни я буду думать о том, что такое свет!

А. Эйнштейн

Урок 4.

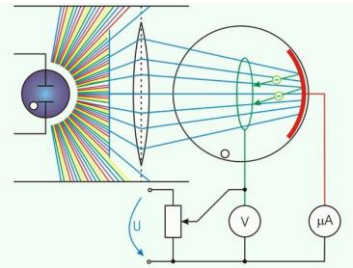
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Законы есть у мироздания, а физика их пытается обнаружить.

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников применять уравнения Планка и Эйнштейна в конкретных ситуациях.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: справочник, микрокалькулятор.



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. 2. Объяснение законов фотоэффекта на основе квантовых представлений.

Задачи:

1. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вылетающих из медного электрода, освещаемого монохроматическим светом с длиной волны 250 нм. Работа выхода электронов из меди 4,17 эВ.
2. Катод фотоэлемента освещается светом с длиной волны 500 нм. Мощность излучения, падающего на катод, 30 мВт. Ток в цепи фотоэлемента 1 мА. Найти отношение числа падающих фотонов к числу выбитых фотоэлектронов.
3. Фотон с длиной волны 500 нм вырывает с поверхности металла электрон, который описывает в однородном магнитном поле с индукцией 1 мТл окружность радиусом 1 мм. Найти в эВ работу выхода электрона из металла.
4. В явлении фотоэффекта электроны, вырываемые с поверхности металла излучением частотой $2\cdot10^{15}$ Гц, полностью задерживаются тормозящим полем при напряжении 7 В, а вырываемые излучением частотой $4\cdot10^{15}$ Гц – при напряжении 15 В. Вычислить постоянную Планка.

В 1911 г. Милликен, экспериментально проверяя уравнение Эйнштейна, определил из него значение постоянной Планка h. Она совпала с тем значением, которое· получил Планк из теории теплового излучения.

III. *Задачи:*

1. Мощность точечного монохроматического источника света 10 Вт на длине волны 500 нм. На каком максимальном расстоянии этот источник будет замечен человеком, если глаз реагирует на световой поток не менее чем 60 фотонов в секунду? Диаметр зрачка 0,5 см.

Телескоп «Хаббл» фотографирует объекты, находящиеся на расстоянии 13 миллиардов световых лет. Как ему это удается?

2. Уединенный цинковый шарик облучается ультрафиолетовым излучением с длиной волны 250 нм. До какого максимального потенциала зарядится шарик? Работа выхода электрона из цинка 3,74 эВ.

3. При исследовании вакуумного фотоэлемента оказалось, что при освещении катода светом с частотой $\nu_0 = 10^{15}$ Гц фототок с поверхности прекращался при задерживающем напряжении между катодом и анодом $U_з = 2$ В. Определить работу выхода электрона.

IV. Упр. 11, № 4 – 6. Составить обобщающую таблицу "Фотоэффект", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

Посев научный взойдет для жатвы народной.

Д.И. Менделеев

Урок 5.

ПРИМЕНЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА.

Как квантовая физика работает в повседневной жизни?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с применениями фотоэффекта. Систематизировать и обобщить знания учащихся, полученные при изучении фотоэффекта.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: полупроводниковый и вакуумный фотоэлементы, солнечная батарея, универсальное электронное реле, выпрямитель ВУП-2, вольтметр 0 – 250 В, обобщающая таблица "Фотоэффект".

ПЛАН УРОКА:

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

II. *Задачи:*

1. На металлическую пластину падает монохроматический свет с длиной волны 0,413 мкм. Поток фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла, полностью задерживается, когда разность потенциалов тормозящего электрического поля достигает 1 В. Определить работу выхода в электрон-вольтах и красную границу фотоэффекта.
2. Красная граница внутреннего фотоэффекта селенида кадмия составляет $\lambda_{гр1}$ = 0,73 мкм при абсолютном нуле температуры, тогда как красная граница внешнего фотоэффекта — $\lambda_{гр2}$ = 0,27 мкм. Определить ширину запрещенной зоны и работу выхода электрона из вещества. 1,7 эВ. 4,6 эВ
3. Фотокатод, покрытый кальцием, освещается светом с длиной волны 225 нм. Работа выхода электронов из кальция $4{,}42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Вылетевшие из катода электроны попадают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции и движутся по окружности максимального радиуса 5 мм. Вычислите модуль индукции магнитного поля.
5. Облучив катод фотоэлемента пучком мощностью P_1 и длиной волны λ_1, измерили величину тока насыщения. Затем катод фотоэлемента начали облучать светом с длиной волны λ_2. Какой должна быть мощность падающего на катод света P_2, чтобы ток насыщения достиг той же величины, что и в первом случае? Квантовый выход

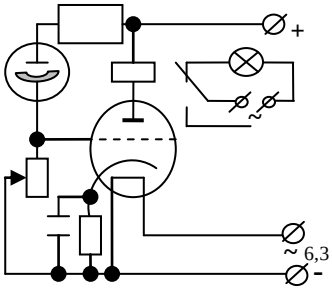
фотоэффекта, т.е. отношение числа вырванных из катода электронов к числу падающих на его поверхность фотонов, в первом случае равно η_1, а во втором случае равен η_2.

Вопросы:

1. Что общего и в чем различия между явлениями внешнего и внутреннего фотоэффекта?
2. Способствует ли нагревание металла фотоэффекту?
3. Излучение должно нагревать кристалл и тем самым увеличивать беспорядок. Так ли это?
4. Почему инфракрасные лучи даже очень большой интенсивности не могут вызвать фотоэффект?
5. Объясните, почему при увеличении интенсивности излучения энергия фотоэлектронов остается прежней, меняется лишь их число?
6. Какие свойства света убеждают нас в том, что свет – электромагнитные волны?
7. Постройте график задерживающего напряжения от частоты падающего света. Чему равен тангенс угла наклона прямой на этом графике?
8. Почему пыль на Луне периодически отрывается от ее поверхности, приобретает электрический заряд и начинает парить над поверхностью планеты?

III. Открытие фотоэффекта → закономерности фотоэффекта → теория фотоэффекта → практические применения.

Фотоэлемент – прибор, предназначенный для преобразования световых сигналов в электрические сигналы.

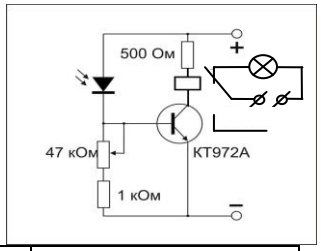


Устройство фотоэлемента (по диафильму). Типы фотоэлементов (демонстрация).

Фотореле. Электрическая схема фотореле (рисунок на доске). Основные элементы фотореле и его принцип действия. Демонстрация работы фотореле.

Полупроводниковый фотоэлемент (фотодиод) и фоторезистор (демонстрация). В чем состоит различие между внешним и внутренним фотоэффектом?

Применения фотоэлементов: схемы автоматики, фототелеграф, волоконно-оптические системы связи (расстояние между ретрансляторами 100 – 200 км). Фотоэлементы сделали возможным звуковое кино. На кинопленку стали наносить звуковую дорожку – прозрачные окошки различной площади. Свет через них достигал фотоэлемента, затем преобразовывался в электрический сигнал и подавался на громкоговоритель.



IV. Обобщающее повторение по теме "Фотоэффект".

V. § 80. Заполни таблицу:

Фото электроприбор	Устройство	Принцип действия.	Применения.	Электрическая схема.

... мне пришла мысль, что сосуществование волн и корпускул, открытое Эйнштейном для света, должно также иметь место для всех частиц материи.

де Бройль

Одно полушарие мозга думает, что свет - это частица, а другое - что волна. Когда эти полушария соединяются, на языке медиков это называется шизофрения, а на языке физиков - корпускулярно-волновой дуализм.

Цитаты преподавателей МФТИ

Урок 6.

ФОТОН. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ.

Все состоит из волн и частиц тоже!

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления о квантах света. Познакомить их с одним из важнейших свойств материи - корпускулярно-волновом дуализме.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Фотоэффект".

ПЛАН УРОКА:

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

Джозеф Томсон. Нобелевская премия 1906 года. Доказал, что электрон-это частица. Его сын, Джордж Томсон. Нобелевская премия 1937 года. Доказал, что электрон-это волна.

II. Опрос фундаментальный: 1. Фотоэлементы. 2. Фотоэффект.

Задачи:

1. Красная граница фотоэффекта рубидия 810 нм. Какую задерживающую разность потенциалов нужно приложить к фотоэлементу, чтобы задерживать электроны, испускаемые рубидием под действием ультрафиолетовых лучей с длиной волны 100 нм?
2. В двух опытах по фотоэффекту металлическая пластинка облучалась светом с длинами волн 350 нм и 540 нм соответственно. В этих опытах максимальные скорости фотоэлектронов отличались в два раза. Какова работа выхода с поверхности металла?
3. В вакууме находятся две покрытые кальцием металлические пластинки, к которым подключен конденсатор ёмкостью 8 нФ. При длительном освещении одной из пластинок светом фототок, возникший вначале, прекращается, а на конденсаторе появляется заряд 11 нКл. Работа выхода электронов из кальция $4{,}42 \cdot 10^{-19}$ Дж. Определите длину волны света, освещающего пластинку.
4. Определите фототок насыщения для фотоэлемента с цезиевым катодом. Мощность светового потока, падающего на фотоэлемент, P = 1,0 мВт. Задерживающее напряжение для этого излучения $U_з$ = 0,07 В, красная граница фотоэффекта для цезия соответствует длине волны λ_0 = 650 нм. Считайте, что каждый падающий на катод фотоэлемента фотон вызывает появление одного фотоэлектрона.

Вопросы:

1. Приведите примеры применения фотоэффекта в технике.
2. Можно ли другими способами, кроме фотоэффекта, измерить работу выхода электрона из металла?

3. При падении монохроматического света на поверхность металла наблюдается фотоэффект. Как изменится длина волны падающего света, задерживающее напряжение, длина волны «красной границы» фотоэффекта, если частоту света увеличить?
4. Поток фотонов с энергией 15 эВ выбивает из металла фотоэлектроны, максимальная кинетическая энергия которых в 2 раза больше работы выхода. Какова максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?
5. Почему приемник инфракрасных излучений на телевизоре плохо принимает эти сигналы с пульта дистанционного управления при ярком свете?
6. В опытах по фотоэффекту увеличили частоту света при неизменной мощности излучения, падающего на катод. Как изменятся результаты этого опыта?
7. Почему дважды ионизированный гелий более непрозрачен, чем однократно ионизированный гелий?
8. Как изменится вид зависимости фототока от напряжения между фотокатодом и сеткой, если число фотонов, падающих в единицу времени на фотокатод останется неизменным, а длина волны фотонов уменьшится в два раза?

III. Подведем краткий итог того, что нам уже известно о квантах света. Тепловое излучение и фотоэффект были объяснены нами на основе представлений о квантах света. Свет зернист по своей природе. Энергия кванта света $\varepsilon = h\nu$. Удобная единица энергии светового кванта 1 эВ = $1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж. Квант света переносит действие на расстояние, поэтому обладает еще и импульсом $p = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Масса кванта света равна нулю.

Фотон - квант электромагнитного излучения, частица с нулевой массой.

Безмассовые фотоны не способны взаимодействовать друг с другом: скрестите два лазерных луча, и они просто пройдут один сквозь другой. Трудно представить себе сгусток энергии без крупицы вещества! Мы живем, постоянно купаясь в море из фотонов: они исходят от Солнца, Луны и звезд; духовок, люстр и ночников; сотен теле- и радиостанций; бесчисленных сигналов сотовых телефонов. Рекорд энергии для зарегистрированного космического фотона - 100 ТэВ!

У любимого дитя много прозвищ.
Немецкая пословица

Термин "фотон" был введен Дж. Льюисом в 1925 году. Распространение фотонов и протонов во Вселенной: $n_ф$ = 500 см$^{-3}$, n_p = 1 м$^{-3}$. На один нуклон приходится не менее 20 миллиардов фотонов.

Любое поле состоит из квантов. Кванты электромагнитного поля – фотоны; звукового поля – фононы, гравитационного поля – гравитоны!

Гравитон должен быть квантом гравитационного поля без электрического и других зарядов, обладать спином 2 и двумя возможными направлениями поляризации. Предположительно, он всегда будет двигаться со скоростью света. Пока что гравитонов не обнаружили.

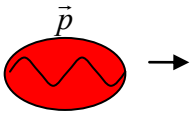
А теперь попробуем ответить на вопрос: "Что же такое свет - волновой процесс или поток частиц?" Может случиться, что волновые свойства, столь отчетливо проявляющиеся в опытах по интерференции и дифракции, присущи только интенсивному свету, когда фотоны каким-то образом взаимодействуют друг с другом при прохождении, например, через узкую

щель. Или слабый свет тоже способен дать дифракционную картину? Опыты, проведенные 80 лет назад американским студентом Джофри Тейлором, показали, что дифракционная картина на фотопластинке все равно наблюдается, даже если в любой момент времени в ящике находился только один фотон (опыт длился три месяца). Эксперименты с двумя щелями показали, что даже если пропускать фотоны через обе щели по одному за раз, то он все равно будет вести себя как волна, создавая интерференционную картину.

Вывод. Волновые свойства присущи каждому фотону в отдельности!

Свет двуедин по своей природе и как частица – фотон обладает импульсом, а как волна - имеет длину волны!

В дальнейшем на наших рисунках фотон мы будем изображать в виде эллипса небольшого размера, предполагая, что это частица. Внутри эллипса мы будем рисовать волну некоторой частоты и амплитуды, зная, что распространение такого фотона в пространстве – волновой процесс.



Таким образом, **свет зернист по своей природе, но распространение таких зерен (даже одного!) воспринимается нами как волна**. Итак, свет может в любой момент времени вести себя как частица или волна, однако демонстрировать одно из двух состояний одновременно он не может. Это странное свойство объектов микромира получило название **"корпускулярно-волновой дуализм". Триедин только Бог!**

Узнав о корпускулярно-волновом дуализме ЖЭК начал присылать сразу две платежки: за свет в виде частиц и за свет в виде волн. Митя Достоевский

Дополнительная информация. Вот, например, океанские воды уж точно ведут себя как волны, но мы-то знаем, что на самом деле они состоят из отдельных (вроде частиц) молекул! Отдельные фотоны способны вести себя и как частица, и как волна, мгновенно переключаясь из одного состояния в другое (фотон ведет себя как волна и как частица одновременно)! Интерференционная картина не исчезает при достаточно низкой интенсивности света. Внезапно открылось, что, хотя волновая природа света давно и хорошо изучена, свет, всё-таки, представляет собой поток частиц, каждая из которых в такой же мере напоминает волну, как крошечная пуля. Направив луч когерентного света на две щели, отстоящие друг от друга менее чем на длину волны, можно было убедиться, что каждый фотон проходит в конкретную щель и поглощается в конкретной точке мишени. Лишь при большой статистике хаотично разбросанные точки начинают сливаться в круги. По каким-то причинам попадание «снарядов» в некоторые места оказывалось более, а в некоторые менее вероятно.

Более того, де Бройль выдвинул гипотезу о том, что **все вещество (электроны, протоны и т.д.) обладает волновыми свойствами и уравнение распространяется на все частицы** (эпиграф).

Со страстностью, свойственной молодости, я увлекся обсуждавшимися проблемами и решил посвятить все свои силы выяснению истинной природы таинственных квантов, глубокий смысл которых еще мало кто понимал.

$$\boxed{\lambda = \frac{h}{p}}$$

Луи де Бройль

Эйнштейн в письме к М. Борну по поводу статьи де Бройля писал: «*Прочти ее. Хотя и, кажется, что писал ее сумасшедший, написана она солидно».*

Современники подшучивали: принцип дуализма позволяет де Бройлю выступать в двух обличиях – и как физику, и как литератору. В 37 лет он стал лауреатом Нобелевской премии, а еще через несколько лет стал членом Французской академии как литератор.

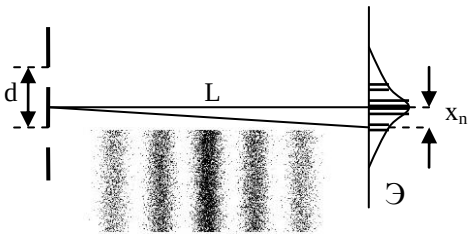
Гипотезу де Бройля блестяще подтвердили **опыты Дэвиссона и Джермера** (май 1927 г.).

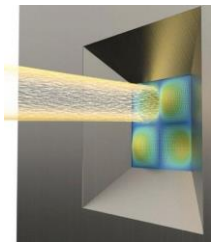
Дополнительная информация (опыты Дэвиссона и Джермера).

Некоторые исследователи, Дэвиссон и Джермер, молодой Дж. П. Томсон, приступили к выполнению опыта, за который еще несколько лет назад их бы поместили в психиатрическую больницу для наблюдения за их душевным состоянием, но они добились полного успеха.

Шредингер

Суть эксперимента состояла в том, что пучок электронов из электронной пушки определенной энергии и импульса, который можно было описать как волну длиной $\lambda = \frac{h}{p}$, направлялся на металлическую пластинку с двумя щелями, расстояние между которыми *d*. На люминесцирующем экране, расположенном на расстоянии *L* от щелей, наблюдалась интерференционная картина (следы от ударов электронов), расстояние между соседними максимумами *Δx* (даже если щели бомбардируются отдельными электронами или их античастицами - позитронами) измерялось в опыте. Электроны попадали только в область максимумов, и на экране наблюдалась картина, похожая на товарный штрих-код (интерференционный узор)! Зная это расстояние, легко определить длину волны $\lambda = \frac{d\Delta x}{L}$, которая в точности совпала с длиной волны, рассчитанной по формуле де Бройля. Как и прежде, мы не можем заранее предсказать, в какую точку пластинки попадет каждый следующий электрон. Это - случайное событие, но если мы выпустим достаточно много электронов, то получим интерференционную картину. В микромире объекты как бы «помнят» о своей волновой природе, и наоборот. Интерференционная картина на экране показывает, что каждый электрон проходит сразу через обе щели (как волна) и интерферирует сам с собой. Как он это делает, мы не знаем, а попытки узнать кончаются тем, что электрон проходит либо через одну щель, либо через другую щель, а интерференционная картина исчезает (современные варианты опыта). Электроны не хотят открывать свою волновую природу бдительному оку наблюдателей! Таким образом, было установлено, — сначала для фотонов, позже для других элементарных частиц, и совсем поздно, уже в наши дни, даже для самых крупных молекул, состоящих из тысяч атомов каждая, — что между излучениями и веществом нет разницы, и что вещество проявляет волновые свойства. **Свет и вещество одновременно могут вести себя и как волны, и как частицы.**





Летом 1926 г. Макс Борн пришел к выводу: «волны материи» - это «волны вероятности»! Но любая волна имеет еще и амплитуду? Серьезные физики мира долго спорили о том, какое свойство фотона ей соответствует и пришли к выводу, что **квадрат амплитуды волны определяет вероятность нахождения фотона в данной области пространства. Электрон можно описать как частицу определенной энергии и импульса, или как волну определенной длины. Квадрат амплитуды этой волны определяет вероятность нахождения электрона в данной области пространства.**

Согласно **принципу дополнительности**, если мы измеряем свойства квантового объекта как частицы, мы видим, что он ведет себя как частица. Если же мы измеряем его волновые свойства, для нас он ведет себя как волна. Оба представления отнюдь не противоречат друг другу - они именно **дополняют** одно другое, давая полное описание природы материи.

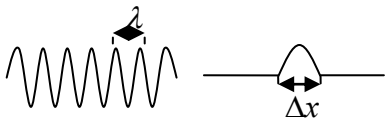
Нельзя на одном языке описать никакое сложное явление.

Н. Бор

Это **дополнительное описание** электрона, как волны, нам еще пригодится, а теперь поговорим о том, когда проявляется корпускулярная природа света и каковы границы применимости классической электродинамики.

В радиотехнике энергия фотонов мала, порядка 10^{-6} эВ, и чтобы приемник зарегистрировал сигнал, ему необходимо передавать 10^{10} фотонов в секунду. Поэтому в эксперименте регистрируется плавное изменение сигнала (волна) и применимо классическое описание. Наоборот, гамма-фотон, энергия которого порядка 10^{8} эВ, может ионизовать отдельный атом, поэтому в экспериментах с γ - квантами мы будем регистрировать отдельные частицы и классическое описание неприменимо. **Границы применимости квантовой физики не установлены. Ее необходимо применять при больших частотах электромагнитных волн.** Существует и более конкретный критерий. **Для этого необходимо составить из величин задачи, величину с размерностью действия [Дж·с]. После этого нужно сравнить эту величину с постоянной Планка. Если она много больше, то справедливо классическое решение, а если они сравнимы, то необходимо применять квантовую физику.** Например, молекулы гелия при температуре 27^0С и давлении 10^5 Па имеют среднюю кинетическую энергию $\overline{E}_к = \frac{3}{2}kT \approx 6{,}2\cdot 10^{-21}\,Дж$, среднюю квадратичную скорость 1367 м/с, средний промежуток времени между их столкновениями $t = \frac{3{,}5\cdot 10^{-9}\,м}{1367\,м/с} \approx 2{,}5\cdot 10^{-12}\,с$. Поэтому $\overline{E}_к \cdot t \approx 1{,}6\cdot 10^{-32}\,Дж\cdot с$, что на два порядка больше постоянной Планка и справедливо классическое описание. При температуре 0,01 К гелий находится в жидком состоянии, его плотность 0,15 г/см^3, средняя кинетическая энергия его атомов $2{,}07\cdot 10^{-21}$ Дж, среднюю квадратичную скорость 227 м/с, среднее расстояние между атомами порядка $3{,}5\cdot 10^{-10}$ м, действие $\overline{E}_к \cdot t \approx 0{,}9\cdot 10^{-35}\,Дж\cdot с$, что на два порядка меньше постоянной Планка и необходимо применять квантовую физику.

Дополнительный материал (квантовая неопределенность, или по каким законам живут квантовые частицы): Каждую частицу можно описать как волну определенной длины и амплитуды. На рисунках изображены две волны де Бройля. На первом рисунке (монохроматическая волна) точно известна длина волны и, следовательно, импульс частицы, но совершенно неизвестна координата частицы. На втором рисунке более точно известно положение частицы, но неизвестны ее длина волны и импульс. Когда поняли, что различные свойства частиц нельзя измерить одновременно с произвольной точностью – окончательно сформировалась квантовая физика. **Соотношения неопределенности Гейзенберга: $\Delta p \cdot \Delta x \geq \hbar/2$** (произведение неопределенностей составляет по крайней мере $\hbar/2 \approx 5\times 10^{-35}$ кг·м^2/с). Принцип неопределённости прекрасно объясняется на примере девушки: либо вы знаете, что она придёт на свидание в 19:00, но не знаете куда, либо вы знаете, что она придёт конкретно вот к этому столбу, но не знаете когда. Квантовая природа микрочастиц не позволяет с абсолютной точностью указать их местоположение и импульс!



Координата и импульс подобны фигуркам мужчины и женщины в странном барометре. Если появится одна фигурка, другая исчезает.

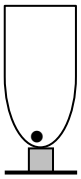
Вернер Гейзенберг

Если мы будем измерять энергию системы в течение очень долгого времени, то средняя энергия системы будет оставаться постоянной, даже если она претерпевает значительные колебания в течение коротких промежутков времени. Таким образом, мы приходим к еще одному соотношению неопределенностей, чем более точно мы хотим измерить энергию системы, тем больше времени мы должны затратить на процесс измерения: **$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$.**

Чтобы узнать местоположение частицы, нужно послать к ней квант света, который придаст ей дополнительный импульс, и её скорость станет неопределенной. Наблюдения над системой фундаментально меняют ее свойства! Помехи, вносимые процессом измерения, могут быть сделаны сколь угодно малыми, однако неопределённость остается, которая порождена особенностями квантовой природы частицы (Гейзенберг).

Если начальное состояние системы определяется с ошибкой, то со временем эта ошибка увеличивается, поэтому предсказать поведение системы сложно (горизонт прогноза).

Моделирование показывает, что квантового «эффекта бабочки» не существует! Принцип неопределенности, по-видимому, приводит к заключению, что, по крайней мере, у достаточно малых частиц вещества траектории не существует. Частица в вазе не может обладать нулевым импульсом, иначе у нее одновременно были бы известны импульс и координата. **Энергия нулевой точки** относится к минимально возможной энергии, которую может иметь квантово-механическая система, даже когда она находится в своем основном состоянии (состоянии с минимальной энергией).



Соотношения неопределенности позволяют объяснить многие явления. Например, неопределенность координаты электрона в атоме равна диаметру атома, поэтому существует неопределенность импульса электрона и его орбиты.

Истина – слишком тонкая материя, а наши инструменты слишком тупы, чтобы ими можно было прикоснуться к истине, не повредив ее. Достигнув истины, они сминают ее и отклоняются в сторону, скорее ложную, нежели истинную.

Блез Паскаль

Частицы могут одновременно находиться в двух или во «всех» возможных местах одновременно. Состояние системы определяется только тогда, когда внешний наблюдатель начинает ее наблюдать, и отличает квантовую механику от классической физики.

Дополнительная информация. Квантовая запутанность возникает, когда две или более частицы поддерживают между собой связь – то, что происходит с одной частицей, моментально оказывает влияние на другую, несмотря на расстояние между ними. Чтобы понять квантовую механику, необходимо представить, что в двух конвертах лежат по одной карте, находящиеся в суперпозиции – то есть, они обе оранжевые и синие одновременно (одна оранжево-синяя, а другая сине-оранжевая). Когда кто-то вскроет один конверт, в нём будет одна карта одного цвета, который будет определяться случайным образом. Но при вскрытии другого конверта в нём всегда будет карта другого цвета, «пугающим» образом связанная с первой.

Вернер Гейзенберг, молодой ученый, обсуждал с Нильсом Бором логические трудности новой физики. Обсуждение продолжалось долго и им казалось, что выхода нет. Бор пришел к выводу, что обсуждение надо на время прекратить, и, не предупредив молодого коллегу, уехал, устроив себе каникулы. Когда Гейзенберг узнал, что учитель его покинул, он расплакался. Итог эпизода замечателен: Бор вернулся после каникул с принципом дополнительности, а Гейзенберг в отсутствие Бора вывел соотношение неопределенности.

Дополнительный материал (квантовый компьютер): Квантовая частица ведет себя так, будто она одновременно находится в двух состояниях 0 и 1 (кубит информации). Два кубита могут одновременно находиться в состояниях (00,01,10,11), и каждый новый кубит удваивает это число. Квантовый компьютер из 300 кубитов, может хранить в себе и обрабатывать 2^{300} единиц информации. Сегодня уже есть устройства с 16 кубитами. В опытах удалось на малую долю секунды связать фотон с кубитом малой связью, что он этого влияния не почувствовал, а фотон принес на себе информацию о состоянии кубита. Все объекты во Вселенной занимаются обработкой информации. Вселенная – гигантский квантовый компьютер, история Вселенной – это история сложнейших нескончаемых вычислений, производимых этим компьютером?

IV. *Вопросы:*

1. Как объяснить закон прямолинейного распространения света на основе квантовых и на основе волновых представлений о свете?
2. Хорошее зеркало отражает около 80% падающего света. Как выяснить, происходит потеря в 20% вследствие того, что 20% фотонов не отражается, или из-за того, что у каждого отраженного фотона недостает 20% его начальной энергии?

3. При переходе света из вакуума в любую прозрачную среду, энергия фотонов не изменяется, а импульс уменьшается. Почему?
4. В чем проявляется двойственный характер света?
5. В формуле Планка $\varepsilon = h \cdot \nu$ заложена идея корпускулярно-волнового дуализма. Прокомментируйте эту мысль.
6. Как объяснить, что скорость света в любой прозрачной среде меньше чем в вакууме?
7. Почему особенно хорошо загорать высоко в горах?
8. Игра цветов на мыльном пузыре - это результат интерференции каждого фотона с самим собой. Как это объяснить?
9. Как доказать, что фотон не имеет электрического заряда?
10. Может ли фотон при каких-либо условиях замедлить свое движение в вакууме или даже остановиться?
11. Можно ли воздействовать на свет электрическим полем?
12. Формулу для частоты кванта можно записать в двух вариантах: $\nu = c/\lambda$ или $\nu = \varepsilon/h$. О чем это говорит?
13. Почему квантовая частица может преодолеть барьер, даже если его энергия недостаточна для этого (туннельный эффект)?
14. Почему жидкий гелий не может стать твердым при любом охлаждении?
15. Будет ли интерферировать пучок электронов, если на его пути поставить металлическую пластину с тремя щелями? С N щелями?
16. Чем меньше ширина барьера, тем выше вероятность того, что квантовая частица его преодолеет (соотношение неопределенности). Почему?
17. Когда свет падает на какой-либо предмет, часть света отражается. В этом случае фотон на очень короткое время контактирует с предметом. Становится ли на это очень короткое время скорость фотона равной нулю? Ускоряется ли фотон после этого?
18. Квантовая частица никогда не находится в покое. Так ли это?

Задачи:

1. При облучении металла синим светом с длиной волны 400 нм половина энергии, переданной электрону фотоном, расходуется на работу выхода. Какова максимальная длина волны, при которой может наблюдаться фотоэффект?
2. Определите наименьшую коротковолновую длину волны рентгеновского излучения при ускоряющем напряжении на трубке 50 кВ.

Рентгеновская трубка похожа на вакуумный диод (триод). Сначала накаляется катод, а затем между анодом и катодом создаётся большое напряжение от 1 до 100 кВ. Электроны с большой скоростью несутся на анод и в нём тормозятся, при этом излучая энергию. Эта энергия и есть рентгеновское излучение, спектр которого называют тормозным. При торможении электрон испустит квант с максимальной энергией, равной eU. Максимальный КПД рентгеновской трубки всего 5%, поэтому от анода требуется сильно отводить тепло. Анод усиленно охлаждают водой, маслом или воздухом, иначе он расплавится.

V. § 79. Упр. 11, № 2,7.

1. Объясните закон независимости распространения световых лучей на основе квантовых

представлений. Всегда ли он справедлив?

2. Утверждают, что квантовое измерение отличается от классического тем, что в ходе измерения реальность не просто выявляется, но создается (свойства измеряемой системы, которые обнаруживаются при измерении, не существовали до измерения). Так ли это?
3. Из-за принципа неопределенности механическую энергию частицы невозможно разделить на кинетическую и потенциальную энергию. Почему?
4. Предложите проект фотонной ракеты.
5. Плотность потока видимого излучения звезды первой величины на поверхности Земли $1{,}6\cdot10^{-9}$ Вт/м^2. Можно ли объяснить "мерцание" звезд флуктуациями числа фотонов, попадающих в глаз наблюдателя? Почему тогда мерцание планет слабее или вовсе отсутствует?
6. Оценить угол, на который отклоняется фотон вследствие гравитационного взаимодействия, проходя у поверхности Солнца.

И это чудо, что, несмотря на поразительную сложность мира, мы можем обнаруживать в его явлениях определенную закономерность.

Э. Шредингер

УРОК 7.

СЛЕДСТВИЯ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ

Квантовая физика дискретна!

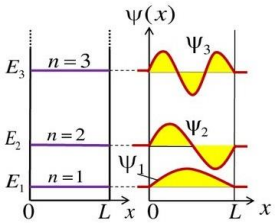
ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников применять законы квантовой физики в конкретных ситуациях.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Фотоэффект", обобщающая таблица.

ПЛАН УРОКА:

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



II. Опрос фундаментальный: 1. Фотон. 2. Корпускулярно-волновой дуализм.

Задачи:

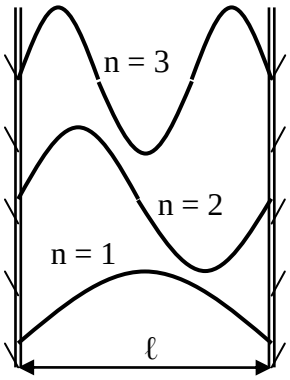
1. Летящая со скоростью 0,8 с нейтральная частица распадается на два фотона. Фотоны движутся в противоположных направлениях. Каково отношение частот этих фотонов?
2. Если допустить, что неопределенность координаты движущейся частицы равна ½ длины волны де Бройля, то какова будет относительная ошибка измерения его скорости? 16%
3. Определите максимальную скорость υ_{max} фотоэлектронов, вырываемых с поверхности металла с работой выхода $A_{вых}$ = 4,54 эВ излучением с длиной волны λ = 2,7 пм. 0,85 с = 255 Мм/с
4. Параллельный пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов 25 В, падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, расстояние между которыми 50 мкм. Определить расстояние между соседними максимумами интерференционной картины на экране, расположенном на расстоянии 100 см от щелей.

5. Излучение аргонового лазера с длиной волны 500 нм сфокусировано на плоском фотокатоде в пятно диаметром 0,1 мм. Работа выхода фотокатода 2 эВ. На анод, расположенный на расстоянии 30 мм от катода, подано ускоряющее напряжение 4 кВ. Найти диаметр пятна фотоэлектронов на аноде. Анод считать плоским и параллельным поверхности катода.

Вопросы:

1. Является ли фотон материальным объектом, ведь его масса равна нулю?
2. Как изменяется энергия и импульс фотона при его переходе из вакуума в воду?
3. Почему при отражении света от плоского зеркала «угол падения равен углу отражения»?
4. Почему фотоны в перекрещивающихся световых пусках не взаимодействуют друг с другом?
5. Почему невозможна аннигиляция электронно-позитронной пары с образованием одного фотона (рождение пары из одного фотона)?
6. Почему первые опыты по дифракции проводились с электронами, а не, например, с протонами?
7. В чем отличие дифракционных картин, создаваемых фотонами и электронами?
8. Может ли свет рассеиваться на свете?
9. При комнатной температуре средняя кинетическая энергия электронного газа в меди порядка $6 \cdot 10^{-21}$ Дж, средний промежуток времени, в течение которого электрон движется без соударения, около $2 \cdot 10^{-14}$ с. Это квантовый газ?
10. Фотоны не имеют массы. Означает ли это, что они не обладают объемом и весом?
11. Каким образом свет может одновременно быть волной и потоком частиц?

III. Сегодня на уроке мы рассмотрим одно из следствий квантовой физики, имеющее очень важный прикладной характер. Мы изучим случай одномерного движения микрочастицы внутри потенциальной ямы длины l с бесконечными стенками. Нам точно известно, что частица массы m находится где-то, между стенками и имеет какую-то скорость, однако о местонахождении частицы ее импульсе и энергии нам ничего неизвестно.



Попробуем тогда извлечь **дополнительную** информацию о частице, рассматривая ее как волну длиной λ и некоторой амплитуды. Ясно, что за границами ямы вероятность обнаружения частицы равна нулю, поэтому на краях ямы амплитуда волны должна обратиться в нуль (квадрат амплитуды волны определяет вероятность нахождения частицы в

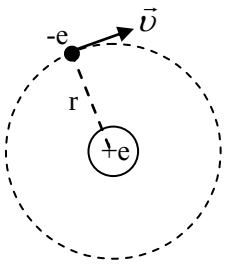
данной области пространства). Волны такого типа нам известны и называются стоячими волнами. С учетом граничных условий в пространстве между стенками могут существовать только такие стационарные состояния, чтобы на длине l укладывалось целое число полуволн $n = \frac{2l}{\lambda_n}$, где n - номер стационарного состояния. Пользуясь уравнением де Бройля $p_n = \frac{h}{\lambda_n}$, относящемуся к ядру квантовой физики, мы получим выражение для импульса: $p_n = \frac{h}{2l} n$ и для энергии частицы: $E_n = \frac{m\upsilon_n^2}{2} = \frac{p_n^2}{2m} = \frac{h^2}{8ml^2} n^2$. **Дополнительное** описание позволило нам извлечь неожиданную информацию о частице. Оказалось, что ее импульс может принимать только дискретные значения, кратные величине $\frac{h}{2l}$. Дискретные значения принимает и энергия частицы. Если в основном состоянии ее энергия $E_1 = \frac{h^2}{8ml^2}$, то во втором стационарном состоянии (первое возбужденное состояние) уже $E_2 = \frac{h^2}{8ml^2} \cdot 4 = 4 \cdot E_1$, в третьем (второе возбужденное) $E_3 = 9 \cdot E_1$, в n-ом $E_n = n^2 \cdot E_1$.

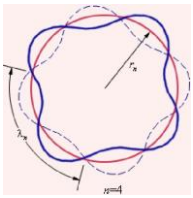
Импульс и энергия электронов увеличиваются при уменьшении объема, который они занимают! Это препятствует сжатию, например, белого карлика.

Дополнительная информация. Энергия и импульс микрочастицы, "зажатой" в малой области пространства, квантуются. Лампочки тоже бывают мощностью только 40, 60 и 100 ватт, а не, скажем, 93 ватта! Энергия частицы возрастает ввиду определенной локализации ее в пространстве, и чем сильнее такая локализация, тем больше энергия. Очень большое количество энергии в очень маленькой области искривляет пространство настолько сильно, что оно схлопывается в черную дыру, подобно коллапсирующей звезде (пена).

Вопрос: Какую энергию должен иметь фотон, чтобы заставить электрон совершить переход из основного состояния в первое возбужденное, если размеры ящика 0,8 нм?

Примером частицы, "зажатой" в малой области пространства, может быть электрон в атоме водорода, который вращается вокруг протона с некоторой скоростью. Электрон обладает некоторым импульсом, следовательно, его можно рассматривать как волну некоторой длины $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m\upsilon}$. Тогда возможны только такие стационарные состояния, в которых на длине орбиты электрона укладывается целое число длин волн (почему?) $n = \frac{2\pi \cdot r_n}{\lambda_n} = \frac{2\pi \cdot r_n m\upsilon_n}{n}$, где n - номер стационарного состояния. Из последнего выражения легко получить правило квантования орбит Бора: $m\upsilon_n r_n = n\frac{h}{2\pi} = n\hbar$. **Возможны только такие орбиты, момент количества движения электрона на которых принимает значения, кратные величине ħ = 1,06·10^{-34} Дж·с.** Орбита электрона - место, где амплитуда «электронной» стоячей волны





максимальна. И оставаться на ней он может сколь угодно долго, поскольку здесь нет никакого изменения скорости, а значит, и излучения. Квантование углового момента заложило основу современного обращения со всеми симметриями квантовой механики! Французский физик-теоретик Луи де Бройль был убежден, что движение электрона будет устойчивым тогда - и только тогда - когда на длине орбиты укладывается целое число «волн электрона». Если это действительно так, то проблемы устойчивости атома не существует, ибо в стационарном состоянии он подобен струне, колеблющейся в вакууме без трения.
Когда проверяют целостность хрустальной или фарфоровой чашки, по ней слегка ударяют палочкой. Хорошая чашка издает долгоживущий мелодичный звук (на длине окружности укладывается целое число длин волн). А треснутая чашка отзывается коротким тупым стуком (нарушение условия периодичности и быстрое затухание звука).

Выведем теперь формулы для определения радиусов орбит электрона в атоме водорода и энергий его стационарных состояний. Силой, заставляющей электрон двигаться по круговой орбите вокруг ядра, является кулоновская сила. Поэтому $m\left(\frac{\upsilon^2}{r}\right)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$ или $\frac{m^2\upsilon^2r^2}{m}=\frac{re^2}{4\pi\varepsilon_0}$. С учетом правила квантования орбит, последнее выражение легко переписать $\frac{n^2\hbar^2}{m}=\frac{e^2r_n}{4\pi\varepsilon_0}$, откуда следует формула для расчета радиусов орбит электрона в атоме водорода $r_n=\frac{4\pi\varepsilon_0\hbar^2}{me^2}n^2$. Подставив в формулу $n = 1$, мы определим радиус первой орбиты $r_1 = 0{,}5\cdot10^{-8}$ см, что хорошо согласуется со справочными данными о размерах атома водорода. Во втором стационарном состоянии (первое возбужденное состояние) $r_2=4\cdot r_1$, радиус n - *ой* орбиты электрона $r_n = n^2\cdot r_1$. Движущийся по орбите электрон обладает кинетической и потенциальной энергией, а его полная энергия $E=\frac{m\upsilon^2}{2}-\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r}=-\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$ (связанное состояние). Кинетическая энергия составляет половину потенциальной энергии с противоположным знаком и равна полной энергии также с противоположным знаком. Классическая картина электрона, обращающегося вокруг протона в атоме водорода, полностью копирует картину обращения Луны вокруг Земли.

Энергия электрона в атоме зависит от удаленности его орбиты от положительно заряженного ядра. Поскольку радиус орбиты электрона квантуется, то энергию электрона в этих состояниях легко определить по формуле:

$$E_n=-\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_n}=-\frac{me^4}{8\pi\varepsilon_0(4\pi\varepsilon_0\hbar^2n^2)}=-\frac{me^4}{32\pi^2\varepsilon_0^2\hbar^2n^2}.$$

Подставляя в формулу $n = 1$, определим энергию основного состояния атома водорода $E_1 = -13{,}6$ *эВ*, подставляя $n = 2$ – энергию первого возбужденного состояния E_2 = - 13,6 эВ/4 = - 3,4 эВ, подставляя n - энергию (n -1) возбужденного состояния: $E_n=-\frac{13{,}6эВ}{n^2}$. Энергетические состояния подобны лестнице. Вы можете стоять на одной ступени или подняться на следующую, более высокую ступень. Однако невозможно стоять на полпути между двумя ступенями. Эти дискретные, или квантованные, значения энергии часто называют энергетическими уровнями. В отличие от обычных лестниц интервалы между энергетическими уровнями, как правило, не одинаковы.

Поразительно, что, применив дополнительное описание к электрону в атоме водорода, мы обнаружили, что энергию и импульс электрона квантуются, а законы механики Ньютона не дают исчерпывающей информации об его поведении в атоме. Эту информацию дают законы

квантовой физики, а, **законы механики Ньютона нельзя применять для описания движения микрочастиц, вынужденных находиться в малых областях пространства.**

Дополнительная информация (фононы): Атомы в кристаллических решетках не находятся в покое - они совершают постоянные колебания. Такие колебания удобно описывать с помощью волн, причем наибольшей энергией будут обладать упругие волны низких частот, квантами которых являются фононы.

Дополнительная информация (почему атом прочный). В природе атомы сталкиваются миллионы раз в секунду, но это не вредит им. Чем объяснить прочность всей системы? Можно сказать, атом - пустота, в которой с бешеной скоростью вращаются электроны. При этом, такой "пустой" атом предстаёт как очень твёрдая частица. На самом деле, на субатомном уровне скорость частицы возрастает тем больше, чем больше ограничивается пространство, в котором она движется. Так что чем ближе электрон притягивается к ядру, тем быстрее он движется и тем больше отталкивается от него. Скорость движения настолько велика, что "со стороны" атом "выглядит твердым", как выглядят диском лопасти вращающегося вентилятора. Поскольку размеры ядра чрезвычайно малы даже в сравнении с атомом, эти элементарные частицы носятся со скоростями, близкими к скорости света.

IV. *Задачи:*

1. Если бы электрон был заключен в области столь малой, как атомное ядро (10^{-14} м), то какова была бы его минимально возможная энергия? Во сколько раз она превышает энергию покоя электрона?
2. Чему равна разность энергии электрона на 5 и 2 энергетическом уровне в бесконечно глубоком потенциальном ящике шириной 3 нм? 0,87 эВ

Вопросы:

1. Отражение от однородной пленки зависит от её толщины и показателя преломления. Почему?
2. Как же свет проходит через космическое пространство, где нет ни воды, ни воздуха?
3. Квантовая механика утверждает, что потенциальная энергия частицы не может быть равной нулю. Почему?
4. В каком месте потенциальной ямы шириной d наибольшая вероятность обнаружить электрон, обладающий минимальной энергией?
5. В результате излучения масса Солнца постепенно уменьшается. Как влияет это обстоятельство на расстояние планет от Солнца?
6. Для чего продавец, выдавая покупателю хрустальную посуду, легко постукивает по ней стеклянной палочкой или карандашом?
7. Каково основное преимущество электронных и рентгеновских микроскопов?

V. Конспект

1. Составить обобщающую таблицу "Уравнение де Бройля", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
2. Почему при подсвечивании колбы с подкрашенной водой, вода становится непрозрачной?
3. Найти радиус позитрония в состоянии с наименьшей энергией.

Малое время жизни системы затрудняет работу с позитронием, хотя она и возможна в случае, если обе частицы имеют минимальную энергию. С помощью относительно мощного лазерного пучка ученые "остановили" частицы и перевести систему в состояние с

минимальной энергией. Почему время жизни позитрония увеличилось?

4. Если вызванное наблюдением возмущение объекта пренебрежимо мало, то объект большой. Если этим возмущением пренебрегать нельзя, то объект маленький. Размер объекта зависит от самого объекта и вашего измерительного метода. Так ли это? Размер объекта абсолютен или относителен?
5. С точки зрения квантовой электродинамики радиопередатчик жонглирует электронами и стряхивает с них фотоны, а радиоприемник их ловит. Так ли это?
6. Фотон может быть в двух формах одновременно. А это значит, что самые маленькие части Вселенной ведут себя непредсказуемо. Так ли это?
7. Объясните утверждение: *"Сознание разделяет состояния квантового мира на классические альтернативы, осознаваемые независимо друг от друга"*.
8. Предложите опыт, с помощью которого можно "подглядеть", через какую из двух щелей проходит электрон. Будет ли при этом наблюдаться интерференция?
9. Какова глубина той потенциальной ямы, в которой мы живем?
10. Для электронов в ящике энергия всегда увеличивается с ростом волнового числа. Почему для электронов в кристалле это не всегда так?

Эффект Комптона – игра в бильярд фотонами и электронами.

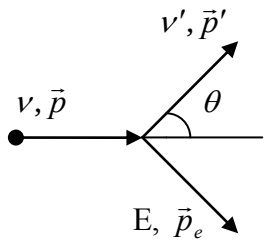
Макс Борн

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ (ЭФФЕКТ КОМПТОНА)

Уже в ранних экспериментах было выяснено, что при рассеянии рентгеновских лучей веществом в составе вторичного излучения имеются рентгеновские лучи, обладающие меньшей проникающей способностью. Эти вторичные рентгеновские лучи обладают следующими свойствами:

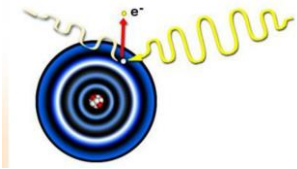
1. В рассеянном излучении присутствуют две длины волны: первоначальная λ и дополнительная λ′, которые близки по значению.
2. Длина волны λ′ всегда больше λ.
3. Значение λ′ зависит от угла рассеяния θ и не зависит от природы рассеивающего вещества.

В 1923 г. А. Комптон высказал смелую идею, что рентгеновские лучи представляют собой поток фотонов, обладающих кроме энергии определенным импульсом, и что акт рассеяния представляет собой упругое столкновение между фотоном и электроном. Если фотон имеет импульс, то при столкновении с электроном суммарный импульс должен сохраняться, что в опыте так или иначе должно проявляться.



$$h\nu + mc^2 = h\nu' + mc^2 + E_k = h\nu' + E$$

$$\vec{p} = \vec{p}' + \vec{p}_e \rightarrow \vec{p} - \vec{p}' = \vec{p}_e$$



Возведем в квадрат первое и второе уравнение, после чего первое разделим на c^2.

$\frac{(h\nu - mc^2 - h\nu')^2}{c^2} = \frac{E^2}{c^2}$; $\quad p^2 - 2p \cdot p' \cdot \cos\theta + p'^2 = p^2{}_e$. Вычтя из первого второе и учтя:

$$\frac{E^2}{c^2} - p^2{}_e = m^2 \cdot c^2, p = \frac{h\nu}{c}, p' = \frac{h\nu'}{c}, \nu' = \frac{\nu}{1 + (\frac{h\nu}{mc^2}) \cdot (1 - \cos\theta)}, \boxed{\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta)}.$$

Эффект Комптона – блестящее подтверждение квантовой теории. После опыта Комптона уже нельзя было сомневаться в том, что в природе реально существуют световые кванты. Фотоны несут энергию и импульс. Они являются основными носителями электромагнитной энергии и могут передавать ее при взаимодействии с другими частицами!

Но дело не в одном здравом рассудке. Крайне важно еще хорошее применение его.

Декарт

Обратный эффект Комптона. В этом процессе не фотон (гамма-квант) передаёт энергию электрону, а наоборот. Разумеется, электрон должен обладать немалой энергией (к примеру, это могут быть электроны в пучке ускорителя). При этом происходит любопытное явление, излучение, например, лазерный луч ультрафиолетового или даже видимого диапазона может смещаться в область рентгеновского (а при должном старании и гамма-излучения). Так, можно создавать достаточно узкие пучки электромагнитного излучения с, что не менее важно, очень точным значением их энергии.

Объясните следующие особенности рассеяния света веществом:

- независимость величины смещения $\Delta\lambda$ от природы рассеивающего вещества;
- увеличение интенсивности смещенной компоненты рассеянного излучения с уменьшением атомного номера вещества, а также с ростом угла рассеяния.

Задачи:

1. Гамма-лучи с длиной волны $0{,}710 \cdot 10^{-10}$ м рассеиваются тонкой алюминиевой фольгой. Рассеянное излучение наблюдается под углом 60^0 к направлению пучка. Какую длину волны вы ожидаете обнаружить?
2. Фотон с длиной волны 1 пм рассеялся на электроне под углом 90°. Какую долю своей энергии фотон передал электрону?
3. Гамма-лучи с длиной волны $0{,}04 \cdot 10^{-10}$ м рассеиваются графитом. Определите импульс фотона, рассеянного под углом 30^0 и кинетическую энергию электрона отдачи.

Вопросы:

1. После солнечных вспышек ионосфера, поглощая солнечное рентгеновское излучение, нагревается и раздувается. Почему?
2. Рентгеновский фотон рассеивается на свободном электроне. Как при этом изменяется его длина волны?
3. Почему частота рассеянного свободными электронами излучения всегда меньше частоты падающего излучения?
4. Почему при больших интенсивностях падающего света красная граница фотоэффекта может исчезать?
5. Если зарегистрировать отраженное рентгеновское излучение, то кожа будет выглядеть светлой, а металл и остальное пространство будет черным. Почему?

Всему присуща своя красота, но не каждому она видна.

Конфуций

Все, что мы знаем о реальности, исходит из опыта и завершается им.

А. Эйнштейн

УРОК 8.

ДАВЛЕНИЕ СВЕТА

Солнечные паруса вместо ветра используют давление солнечного света.

ЦЕЛЬ УРОКА: Объяснить давление света на основе волновых и квантовых представлений о свете.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Давление света", радиометр Крукса, проекционный аппарат ФОС-67, обобщающая таблица "Давление света".

ПЛАН УРОКА:

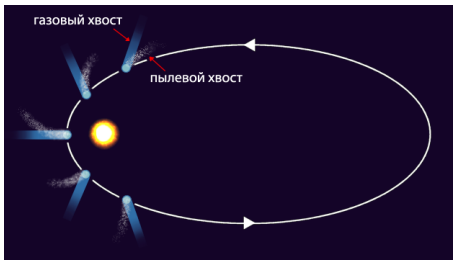
1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Объяснение
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Корпускулярно-волновой дуализм. 2. Частица в одномерной потенциальной яме.

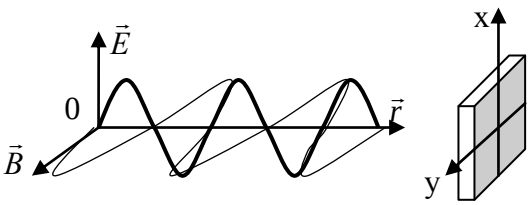
Задачи:

1. Найти длину волны λ электрона, ускоренного из состояния покоя разностью потенциалов 3 МВ.
2. Под каким напряжением работает рентгеновская трубка, если самые "жесткие" лучи в рентгеновском спектре этой трубки имеют частоту 10^{19} Гц?
3. Спутник Земли массой m =10 кг обращается в верхних слоях атмосферы. Определить, насколько изменится скорость спутника за один оборот, если сила сопротивления его движению составляет $F_{сопр} = 5 \cdot 10^{-11}$ Н. 0,25 м/с
4. Частица, двигавшаяся первоначально со скоростью v = 0,8 с, распадается на два фотона. Найдите минимальный угол разлёта этих фотонов.
5. Параллельный поток электронов падает нормально на диафрагму с узкой прямоугольной щелью шириной 1 мкм. Определите скорость этих электронов, если на экране, отстоящем от щели на расстояние 50 см, ширина центрального максимума равна 0,36 мм.
6. Время жизни электрона на втором энергетическом уровне атома водорода составляет около 10^{-9} с. Оценить ширину второго энергетического уровня (то есть неопределённость его энергии). Сравнить его со значением энергии второго энергетического уровня атома водорода.

III. Научные факты, указывающие на существование давления света: образование "лакун" вокруг звезд, отклонение кометных хвостов в противоположную от Солнца сторону (Кеплер, 1619 г), сокращение времени жизни искусственных спутников Земли, препятствие гравитационному сжатию звезд, раскручивание и разрушение астероидов. В 1862 году Джеймс Максвелл (1831-1879) предположил, что свет как электромагнитное излучение обладает свойствами импульса и, следовательно, оказывает давление на любую поверхность, с которой контактирует. Экспериментально это было подтверждено лишь в 1900 году Петром Лебедевым.



Объяснение давления света на основе волновых представлений: смещение электронов под действием электрического вектора волны → действие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу (правило "левой руки") → сила давления света. Формула для давления света, полученная на основе волновых представлений: **p = u (1 +ρ)**, где u – объемная плотность энергии, а ρ – коэффициент отражения света. Объяснение природы электромагнитного взаимодействия на основе волновых представлений о свете.



В среде, в которой распространяется волна, появляется в направлении ее распространения давящая сила, которая во всякой точке численно равна количеству находящейся там энергии, отнесенной к единице объема.

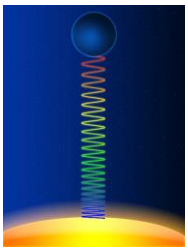
Джеймс Клерк Максвелл

Объяснение давления света на основе квантовых представлений. Формула для давления света, полученная на основе квантовых представлений о свете: p = $nh\nu(1+\rho)$, где n – концентрация фотонов. $p = u(1+\rho)$ *или* $p = \frac{I}{c}(1+\rho)$.

Масса звезды не может превышать несколько сотен солнечных масс — иначе она будет разорвана давлением собственного света!

Дополнительная информация. Объяснение природы электромагнитного взаимодействия на основе квантовых представлений о свете. Закон сохранения энергии и импульса запрещает поглощение фотона свободным электроном, однако, из-за неопределенности энергии, на короткое время электрон может излучить фотон и поглотить его снова. Электрон окружен оболочкой фотонов, которые образуют его электрическое и магнитное поле. Чем дальше от электрона, тем меньше энергия и импульс этих фотонов, поэтому электрическое поле убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. **Фотоны – переносчики электромагнитного взаимодействия.** Фотонные ракеты.

Дополнительный материал: Если импульс фотона для наблюдателя, который неподвижен по отношению к источнику света $\frac{h\nu_0}{c}$, то для наблюдателя, который движется по направлению к источнику фотонов со скоростью V, импульс фотона равен: $\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu_0}{c} + mV = \frac{h\nu_0}{c} + \frac{h\nu_0}{c^2}V \to \nu = \nu_0(1+\frac{V}{c})$. У фотона нет массы покоя, а использование этого понятия в других случаях ведет к парадоксам! Красное смещение. Расширение Вселенной. Если направить лазерный луч снизу вверх от Земли, то энергия луча наверху будет меньше, чем внизу! Теперь представьте себе, что излучающая свет звезда еще и крайне компактна. В таком случае свет может потерять столько энергии, что обратится вспять и вернется на поверхность звезды (черная дыра). Энергия фотонов, испущенных с поверхности нейтронной звезды, уменьшается почти в два раза. Почему? Если у поверхности звезды свет делает, например, 50 колебаний в единицу времени, то на удалении – только 25. Почему? Это говорит о том, что единица времени на поверхности нейтронной звезды в два раза больше, чем в далеком космосе (время течет в два раза медленнее).



Факт. Случай с Р. Вудом. Вуд проехал на красный свет светофора и попытался объяснить свою ошибку эффектом Доплера, за что был оштрафован полицейским за превышение скорости. С какой скоростью ехал Вуд?

Немножко юмора:

- Назовите самый простой способ наблюдать оптический эффект Доплера.

- Ну, когда машина едет в вашу сторону она светит желтым или белым светом, а когда уезжает от вас, то красным.

Опыты Лебедева. Демонстрация с радиометром Крукса. Радиометрические силы. Как удалось П.Н. Лебедеву измерить давление света. Демонстрация кинофильма.

С каждым днем я влюбляюсь в физику все более и более. Скоро, кажется, я утрачу образ человеческий. Я уже теперь перестал понимать, как можно существовать без физики. Коллоквиум, который мне еще так недавно казался не симпатичнее апокалипсического зверя, теперь обратился в истинное наслаждение.

П.Н Лебедев

Из письма В. Томсона к Темирязеву: "*Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавая его световое давление, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами".*

IV. *Задачи:*

1. В рамках Международного года космоса планируется осуществить гонки "космических парусников" к Луне. Определите размер отражающего

солнечного паруса, который необходим для разгона космического аппарата массой 500 кг с ускорением $\alpha = 10^{-4}$ g. Форма паруса квадратная, коэффициент отражения 100%. Значение солнечной постоянной принять равным 1,36 кВт/м^2.

Солнечные паруса позволяют двигаться вперед без затрат энергии и легко маневрировать, но у них малая грузоподъемность и ускорение. 21 мая 2010 года японское агентство по исследованию воздушного пространства осуществило запуск космического аппарата «на солнечной тяге». Парус изготовлен из полиамида и способен выдержать перепады температур и радиацию; его толщина составляет 0,0075 мм, а размер по диагонали – 20 м. Через полгода он должен достичь Венеры. Другой из проектов предлагает запустить к Проксиме Центавра крошечные корабли (массой около одного грамма), которые будут разгоняться за счет солнечного ветра и достигнут звезды в течение двадцати лет.

2. Кусочек металлической фольги массой 1 мг освещается лазерным импульсом мощностью 15 Вт и длительностью 0,5 с. Свет падает нормально к плоскости фольги и полностью отражается в обратном направлении. Определить скорость, приобретенную фольгой в результате действия света.
3. Определите давление света на стенки электрической лампочки мощностью 150 Вт, если стенки лампочки отражают 15% падающего света. Считайте лампочку сферой радиуса 4 см.

Вопросы:

1. Почему звезды имеют некие предельные массы?
2. Как объяснить световое давление на основе представлений о свете как об электромагнитной волне?
2. Луч гелий-неонового лазера (λ = 0,633 мкм) направляют сначала на красную, а затем на зеленую бумагу. Какая из бумаг испытывает большее давление?
3. Есть ли фотоны в темной комнате?
4. Свет падает на плоскую пластинку под некоторым углом. В каком направлении будет отталкиваться пластинка, если ее поверхность: а) полностью поглощает свет; б) зеркально отражает свет?
5. Как световое давление ориентирует относительно Солнца однородный космический челнок сферической формы, одна половина которого зеркальная, а другая черная?
6. На чем основана корпускулярная трактовка эффекта Доплера?
7. На небе мириады звёзд, и если направить на него ночью цифровую камеру, то на каждый пиксел придётся немало. Почему же небо кажется нам чёрным?
8. Известно, что существует солнечный ветер. Луна вращается вокруг Земли по орбите. Почему Луну не «сдует» с орбиты?

Свет рассеивается в основном на электронах в веществе, которые передают его давление протонам и другим массивным частицам.

9. Приведите примеры проявления квантово-механических закономерностей в макромире (тепловое излучение, фотоэффект, сверхпроводимость).

10. Не является ли проект «солнечный парус» примером получения полезной работы за счет охлаждения одного тела, что противоречит второму закону термодинамики?

V. § 81.

1. Оцените силу давления света настольной лампы на стол.
2. Предложите проект изменения орбиты астероида (покраска светоотражающей краской, бомбардировка разогнанной до большой скорости болванкой).
3. Почему частицы малых размеров должны выдуваться излучением Солнца на периферию солнечной системы? Оцените размеры этих частиц.
4. Определите световое давление в центре атомной бомбы в момент ее взрыва, предполагая, что излучение – равновесное, температура внутри бомбы 10^6 К, плотность вещества 20 г/см^3.

Вся жизнь – это великая цепь, природу которой можно понять из отдельного ее звена.

Артур Конан Дойл

Урок 9.

ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕТА

Куда исчезают фотоны, когда гаснет свет?

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с химическим действием света, как одним из проявлений взаимодействия света с веществом.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: фотопленка, негатив и позитив, бумага для термопечати, обобщающая таблица "Химическое действие света".

ПЛАН УРОКА:

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

II. Опрос фундаментальный: Давление света (по обобщающей таблице).

Задачи:

1. Мощность светового потока (λ = 500 нм), падающего нормально на черную поверхность площадью 1 дм^2, равна 100 Вт. Сколько фотонов падает ежесекундно на эту поверхность? Какое давление они создают?
2. Свет с длиной волны λ = 600 нм нормально падает на зеркальную поверхность и производит на нее давление 4 мкПа. Определить число фотонов, падающих за 10 с на 1 мм^2 этой поверхности.
3. На полупрозрачное зеркало площадью 100 см^2, находящееся на орбите искусственного спутника Земли, падают по нормали солнечные лучи. При этом зеркало отражает 30% и пропускает 20% энергии падающего света, а остальную энергию поглощает. Найти силу, действующую на зеркало со стороны света. Расстояние от Земли до Солнца $1{,}5\cdot10^{11}$ м, мощность излучения Солнца составляет $3{,}83\cdot10^{26}$ Вт.

Если на пути у частичек света возникают преграды, то волей-неволей все фотоны разобьются

три группы. Первая группа - это фотоны, которым удалось обогнуть или обойти преграду. Вторая группа это фотоны, которые ударились о преграду и рикошетом отлетели в сторону. Третья группа – это все фотоны, которые были поглощены атомами предмета.

4. Метеорит диаметром 1,2 мм находится на земной орбите. Во сколько раз сила его притяжения к Солнцу больше силы светового давления, если плотность вещества метеорита 7 г/см^3 и он поглощает все падающее на него излучение?
5. Солнечная постоянная $1{,}36 \cdot 10^3$ Вт/м^2. Вычислить максимальное давление солнечного излучения на Землю и Луну, если средний коэффициент отражения (альбедо) земной поверхности 0,4, а лунной - 0,09.

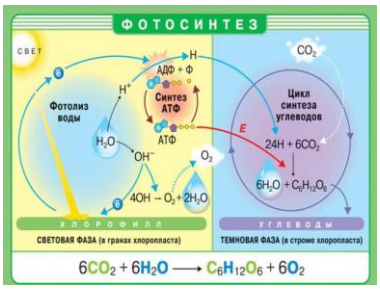
Дополнительная информация: Влияние давления солнечного света на движение спутников определяется «парусностью» спутника — соотношением между поверхностью спутника и его массой. Это объясняется тем, что с уменьшением размеров поверхность уменьшается пропорционально квадрату размера, а масса — пропорционально кубу его, т. е. быстрее. По этой причине, например, давление солнечного света даже выметает из Солнечной системы мелкие метеорные частицы.

Дополнительная информация: Конкурс проектов по обезвреживанию астероида Апофиз – 99942 (2009 год, сближение с Землей до 30 – 40 тыс. км) выиграла студентка из США, предложившая обмотать астероид пленкой майлар, обладающей высокой отражающей способностью. Световое давление, по ее расчетам, способно изменить траекторию астероида и предотвратить его столкновение с Землей.

Вопросы:

1. Какие доводы у вас есть к тому, что электромагнитная волна обладает импульсом?
2. Лазерный луч красного света направляется поочередно на красное и зеленое стекла. Какое стекло будет испытывать большее давление?
3. Как изменится вид формулы для светового давления, если лучи будут падать под некоторым углом к поверхности?
4. Почему летним днем лучше носить белую одежду?
5. Как зависит сила давления, оказываемая солнечным светом на какое-либо тело, от расстояния между этим телом и Солнцем?
6. Как предметы отражают свет?
7. Фотон с частотой ν падает на зеркальную поверхность под углом α. Какой импульс получает поверхность при отражении от неё фотона?
8. В каких явлениях проявляются корпускулярные свойства света?
9. Монохроматический свет, какого цвета – красного или фиолетового – оказывает при одинаковой интенсивности потока фотонов большее давление на поверхность тела?
10. Предложите проект разгона межзвездного космического корабля с «солнечным парусом».
11. Свет создает давление (имеет вес), но не имеет массы. Так ли это?
12. Может ли какое-нибудь тело покоится в поле тяготения Земли?
13. Если поставить горящую свечу возле стены и включить освещение, то тень отбрасывает только тело свечи и фитиль, а тень от пламени практически не видна, хотя само пламя мы хорошо видим. Почему?

Дополнительная информация: Из квантовой теории света следует, что фотон неспособен дробиться: он взаимодействует с электроном металла, выбивая его из пластинки; как целое он взаимодействует и со светочувствительным веществом фотографической пленки, вызывая ее помутнение в определенной точке и т.д. В этом смысле фотон ведет себя подобно частице, т.е. проявляет корпускулярные свойства. Однако фотон обладает и волновыми свойствами: это проявляется в волновом характере распространения света, в способности фотона к интерференции и дифракции. Фотон отличается от частицы в классическом понимании этого термина тем, что его точное положение в пространстве, так и точное положение любой волны, не может быть указано. Но он отличается и от «классической» волны - неспособностью делиться на части.



III. Поглощение молекулами вещества квантов света. Расщепление молекул. **Химическое действие света.** Примеры: выгорание тканей на Солнце, загар, взрыв гремучего газа. Образование хлор водорода:

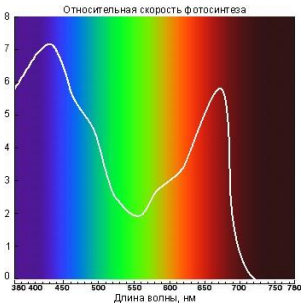
$$Cl_2 \xrightarrow{h\nu} 2\dot{Cl}; \dot{Cl} + H_2 = HCl + \dot{H}; \dot{H} + Cl_2 = HCl + \dot{Cl}.$$

Один поглощенный световой квант вызывает образование в среднем 10^6 молекул HCl (сообщение ученика о цепных реакциях).

Фотосинтез - процесс образования органических веществ из углекислого газа и воды на свету при участии фотосинтетических пигментов. Какие преобразования энергии происходят при фотосинтезе?

Физика не только может, но и должна глубоко вторгаться в биологию, как своими средствами исследования, так и свойственными ей теоретическими представлениями.

Лев Арцимович



Зеленый цвет листьев. Посмотреть на зеленые деревья через светофильтр, поглощающий зеленые (синие) лучи (эксперимент). Мы увидим ту часть спектра (красные лучи), которую поглощает зеленый лист. Каждый листик растения служит поддерживающей структурой для слоев клеток, богатых хлорофиллом, каждая из которых представляет собой миниатюрную молекулярную фабрику, преобразующую солнечный свет и углекислый газ в сахар и кислород. Химическая суть процесса **фотосинтеза** предельно проста: молекула воды (H_2O) соединяется с молекулой углекислого газа (CO_2), освобождая при этом молекулу кислорода (O_2) и образуя «строительный блок» CH_2O многих органических соединений. Для этого необходимо самое меньшее 8 квантов красного цвета, поэтому истинное уравнение фотосинтеза имеет вид: $CO_2 + H_2O + 8h\nu \rightarrow CH_2O + O_2$. Листья растений сами производят органические вещества, служащие для них питанием. Искусственный лист (получение водорода и кислорода под действием света). Жизнь на Земле. Эволюция жизни. Брожение и фотосинтез.

Химическое действие света лежит в основе фотографии. **Фотография** (светопись - техника рисования светом) - **получение и сохранение изображения при помощи светочувствительного материала или светочувствительной матрицы в фотокамере.**

Существует **дополнительность** методов науки и искусства в процессе познания мира!

Скрытое изображение. $AgBr \xrightarrow{h\nu} Ag + Br.$ Проявление (растворяется бром). **Закрепление** (растворяются непрореагировавшие молекулы бромида серебра). Получение **позитивного** изображения. Применение фотографии (выступление ученика – фотографа).

Фотохромные стекла и их применение: $AgCl \xrightarrow{h\nu} Ag + Cl.$

Оксид титана применяется в солнцезащитных кремах - он практически не прозрачен для ультрафиолета. То, что оксид титана поглощает ультрафиолетовое излучение, позволяет использовать его как фотокатализатор. Поглотив квант ультрафиолетового излучения,

фотокатализатор, испускает фотоэлектроны, которые способствуют формированию свободных радикалов, которые, например, могут расщеплять воду на кислород и водород.

Сомнение доставляет мне не меньшее наслаждение, чем знание.

Данте Алигьери

Фотохимический смог: $NO_2 \xrightarrow{h\nu} NO + O; \nu > 7{,}5 \cdot 10^{15}\,Гц; O + O_2 + N_2 \rightarrow O_3 + N_2$. В результате образуются химически активные частицы (O_3, O, OH), которые дают начало сложным химическим процессам с углеводородами и появлению канцерогенных веществ. Ион воды: H_3O^+, HO^-. **Бактерицидное облучение.** Серьезной проблемой для обычного бактерицидного ультрафиолетового излучения GUV с длиной волны 254 нм является прямое воздействие на людей, которое может привести к потенциально болезненным реакциям типа солнечного ожога на коже и роговице. Следовательно, использовать GUV можно либо в пустых помещениях, либо необходимо создавать сложные системы, нивелирующие прямое воздействие на людей.

IV. *Задачи:*

1. Фотосинтез в зеленых листьях растений происходит при поглощении красного света длиной волны 680 нм. Вычислите энергию соответствующих фотонов. Объясните зеленый цвет листьев.
2. Специальные активированные фотоплёнки характеризуются энергией диссоциации молекул около E = 1,3 эВ. Будет ли такая фотоплёнка работать в инфракрасном диапазоне излучений с длиной волны λ = 800 нм? Какова граница фотохимической реакции?
3. Для уничтожения микробов в операционном помещении используют бактерицидные лампы. Вычислите энергию кванта такой лампы, если длина его волны 0,25 мкм. Почему видимый свет не оказывает бактерицидного действия?

В физиотерапевтических кабинетах поликлиник при горении кварцевых ламп ощущается запах озона. Чем это объясняется?

4. Луч лазера мощностью P = 50 Вт падает нормально на поверхность пластинки, которая отражает k = 50% и пропускает α = 30% падающей энергии. Остальная часть энергии поглощается. Определить силу светового давления на пластинку.

Вопросы:

1. Почему большинство пластиковых пакетов хорошо выдерживают облучение светом бытовых электроламп, но разрушаются под действием солнечного света?
2. Какие превращения энергии происходят при фотосинтезе?
3. Почему мы видим разные цвета?
4. Почему присутствие в сосуде инертного газа уменьшает скорость протекания реакции образования хлороводорода?
5. В межзвездной среде обилие свободных радикалов. Почему?
6. Почему осенью листья деревьев начинают желтеть, вянут и опадают?

7. Почему в стратосфере почти не содержится водяного пара, но имеется большое количество озона?
8. Роберт Вуд первым сделал снимки в инфракрасном и ультрафиолетовом свете. Как?
9. Почему лекарственные средства рекомендуют хранить в защищенном от света месте? Почему перекись водорода сохраняют в склянках из желтого стекла?
10. Скорость образования хлороводорода при фотохимической реакции пропорциональна интенсивности излучения. Почему?
11. Назовите перечисленные ниже явления:

- почернение фотоэмульсии под действием света;
- испускания электронов с поверхности вещества под действием света;
- свечение некоторых веществ в темноте;
- излучения нагретого твёрдого тела.

12. Почему и как размеры сосуда влияют на скорость протекания реакции образования хлороводорода (воды из гремучего газа $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$)?
13. Объясните, почему растения хорошо развиваются при облучении светом видимого и ультрафиолетового диапазонов, но плохо растут при облучении светом инфракрасного диапазона?
14. На Земле водород существует в молекулярном виде, в межзвезном пространстве – в основном в атомарном. Почему?

V. § 82.

1. Какой мощности электролампу надо повесить в комнате, чтобы в нее нельзя было войти? Исследовать влияние светового давления, теплового излучения и других поражающих факторов.
2. Почему дыхание воздухом при значительной концентрации в нем озона, вредно для организмов?
3. Как выглядели бы растения на планете у голубой звезды; у красного гиганта?
4. Частицы оксида цинка и диоксида титана, входящие в состав солнцезащитного крема, предохраняют кожу от ультрафиолетового излучения, но сами становятся активными веществами (свободные радикалы). Почему?
5. При введении в пищу радиоактивных атомов железа было установлено, что свободный кислород, выделяемый при фотосинтезе, первоначально входил в состав воды, а не углекислого газа. Как это установили?
6. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с законами квантовой физики.
7. Утверждают, что квантово-механические эффекты играют важную роль в эволюции всего живого на Земле, в том числе и в процессах, протекающих в головном мозге человека?! Какие у вас есть основания сомневаться в этом?

Радостное и вдохновляющее чувство испытываешь, видя проблему изложенной кратко и живо во всем ее развитии и во всех ее связях.

А. Эйнштейн

Урок 10. ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ

14 декабря 1900 года был заложен фундамент великой квантовой теории.

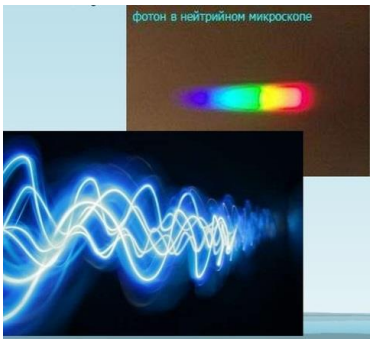
ЦЕЛЬ УРОКА: Обобщить и систематизировать знания учащихся по квантовой физике. Обратить внимание на границы применимости данной теории.

ТИП УРОКА: повторительный.

ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающая таблица "Квантовая физика", электрометр, цинковая и медная пластины, осветитель «Фотон».

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Обобщающее повторение
3. Самостоятельная работа
4. Подведение итогов
5. Задание на дом



II. Повторение квантовой теории с заполнением обобщающей таблицы.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

I. ОСНОВАНИЕ

1. Наблюдения: нет "ультрафиолетовой катастрофы", образование кометных хвостов.
2. Эксперименты: распределение энергии в спектре нагретого тела, опыты по фотоэффекту, законы фотоэффекта.
3. Основные понятия: квант (фотон), корпускулярно-волновой дуализм.
4. Идеализированный объект: модель фотоэффекта.

II. ЯДРО ТЕОРИИ

1. Постулаты: частицы нагретого тела излучают энергию не непрерывно, а отдельными порциями-квантами.
2. Законы: $p = \frac{h}{\lambda}$, соотношение неопределенности $\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$.
3. Константы: h = $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

III. СЛЕДСТВИЯ

1. Формулы-следствия: $h\nu = A + \frac{m\upsilon^2}{2}$, $E_n = \frac{h^2 n^2}{8ml^2}$, $P = u(1+\rho)$.
2. Экспериментальная проверка: эффект Комптона.
3. Границы применимости: применять при больших частотах электромагнитных волн и для описания движения микрочастиц в малых и ограниченных областях пространства.
4. Практические применения: Объяснение явлений сверхпроводимости, сверхтекучести, ферромагнетизма, фотосинтеза, химического действия света. Фотоэлементы, фотореле, электронный микроскоп, строение атома и атомного ядра.

III. Самостоятельная классификация предложений по структурным элементам теории. Пользуясь структурной схемой изучения физической теории, укажите, к каким элементам этой схемы можно отнести приведенные ниже утверждения:

1. С помощью законов квантовой теории удалось объяснить явление сверхпроводимости и многие другие явления.
2. Постоянная Планка имеет размерность действия и равна $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

3. Для объяснения закономерностей теплового излучения М. Планк предположил, что атомы поглощают и излучают энергию отдельными порциями-квантами.
4. Формула Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид: $h\nu = A_{вых} + \frac{m\upsilon^2{}_{мах}}{2}$.
5. В 1922 году А. Комптон показал, что рассеяние рентгеновских лучей свободными электронами происходит по законам упругого столкновения двух частиц.
6. Законы квантовой теории составляют фундамент изучения строения вещества.
7. Фотон – квант электромагнитного излучения, частица с нулевой массой покоя.
8. В опытах А.Г. Столетова по фотоэффекту было установлено, что максимальная скорость фотоэлектронов зависит от материала катода и частоты света.
9. Абсолютно черным называется тело, полностью поглощающее падающее на него излучение.
10. Связь между волновыми и корпускулярными свойствами частиц устанавливается формулой $\lambda = \frac{h}{p}$.

IV. *Вопрос:* Как изменится вольт - амперная характеристика фотоэлемента, если: а) не меняя длину волны падающего света, увеличить освещенность фотоэлемента; б) не меняя освещенности, увеличить длину волны падающего света; в) использовать фотоэлемент с другим материалом катода; г) увеличить расстояние между источником света и фотоэлементом?

Подведение итогов урока. На последующих уроках попробуем применить квантовую физику для описания движения микрочастиц в атоме и в атомном ядре.

Недостатки теории Бора.

- Теория Бора отвергает описание атома на основе классической физики, так как постулирует наличие стационарных состояний и правило квантования. С другой стороны, для записи уравнения движения электрона по круговой орбите используются классические законы: второй закон Ньютона и закон Кулона.
- Не смогла объяснить спектр атома гелия, не говоря уже о более сложных атомах.
- Даже в самом атоме водорода, дав выражения для частот спектральных линий, модель Бора не объясняла различие в их интенсивностях.
- Оставался неясным механизм образования молекулы водорода из двух атомов.

Несмотря на свои недостатки, теория Бора стала важнейшим этапом развития физики микромира.

V. Подготовка к проверочной работе.

1. Составить обобщающую таблицу по квантовой физике, используя рисунки, чертежи и текстовый материал.

Если у человека при первом знакомстве с квантовой физикой голова не идет кругом, то он не понимает в ней ничего.

Н. Бор

Урок 10.

ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА (ТЕСТ)

Экзаменующийся, отвечая на билет по квантовой физике, говорит:
- Профессор! Я только что знал, что такое квантовая физика, но забыл.
- Я немедленно поставлю вам пятерку, как только вы вспомните, ведь до сих пор никто не знает, что это такое.

Из студенческого юмора

Никакой транспорт не будет попутным, если не знаешь, куда идти.

Эдгар Аллан По

Если вам кажется, что вы понимаете квантовую физику, то вы не понимаете квантовую физику.

Р. Фейнман

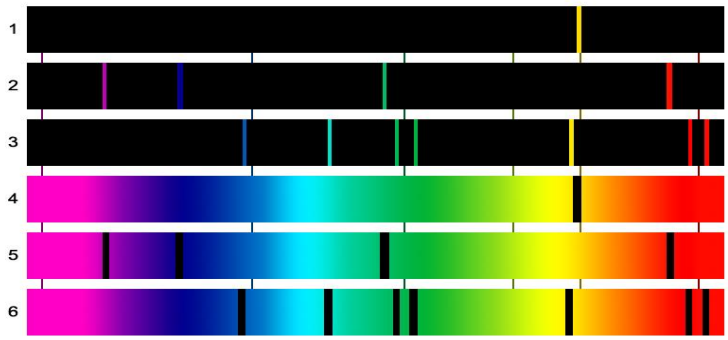
Чем дальше эксперимент от теории, тем ближе он к Нобелевской премии.

Ф. Жолио - Кюри

Весь зримый мир - лишь еле различимый штрих в необъятном лоне природы.

Б. Паскаль

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО АТОМНОЙ ФИЗИКЕ



Спектры испускания: 1 - натрия; 2 - водорода; 3 - гелия.
Спектры поглощения: 4 - натрия; 5 - водорода; 6 - гелия.

Спектры не просто красивы, они еще и содержат бездну информации об объекте, излучающем свет, в том числе о его температуре и составе. Химические элементы выдают себя уникальной последовательностью светлых и темных полос, рассекающих спектр. К величайшему восторгу и изумлению ученых, химические сигнатуры Солнца оказались точно такими же, как и у лабораторных веществ.

Н. Д. Тайсон

Из идеи движения электронов, подобно движению планет, возникла атомная физика.

М. Планк

С помощью законов механики не составит труда найти скорость тела, брошенного горизонтально, ускорение и даже вычислить место приземления. Но если мы попытаемся применить те же законы к атомам и элементарным частицам, чьи размеры гораздо меньше тех, которые человек способен изучать с помощью оптических микроскопов, нас ждёт разочарование. Результат получится абсолютно нереальный, расходящийся с наблюдаемыми явлениями. Сейчас всем известно, что классическая механика является предельным случаем квантовой с одной стороны и теории относительности – с другой. Последние две наиболее точно описывают реальность, в то время как первая считается лишь удобным частным случаем.

В качестве девиза для своего баронского герба Резерфорд выбрал цитату из Лукреция: Primordia Quaerere Rerum, что в переводе с латинского: «Искать первопричины вещей».

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.

В.Я. Брюсов

Урок 12. 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". Высоковольтный 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-повторение по зачетным папкам "Квантовая физика".

III. Какие теории мы изучали (механика, электродинамика, квантовая физика)? Попробуем применить основные идеи этих теорий к объяснению строения атома. 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 $= -Ze$, где $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

В пределах 10^{-29} см электрон представляет собой правильную сферу (размер неизвестен). У электронов так мало свойств (заряд, масса, спин - это все), что в квантовой механике они неразличимы.

- Атомы нейтральны (в состав атома входит положительный заряд). Положительный заряд атома: $q_+ = Z$ эл. зарядов $= Ze$.
- 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 (демонстрация электролюминесценции газа).
- Молекула - система атомов.

- Атомы одного и того же химического элемента тождественны.

Модель атома У. Томсона (лорд Кельвин, 1901 г.); ее недостатки. Атом излучает свет только одной частоты? Нет! Спектр должен быть сплошным! Поэтому газосветная водородная лампа должна излучать белый свет, но она дает излучение только определенных частот! Демонстрация электролюминесценции водорода. **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 α - 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.

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

Нильс Бор

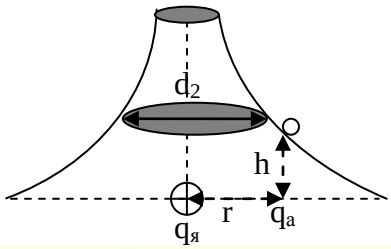
Результаты экспериментов. Фольга отражала альфа-частицы, и они отклонялись в среднем на 2–3°. Но некоторые частицы вели себя странно. Они отклонялись на 90°, а иногда и больше, даже отскакивали назад (в среднем 1 из 50000), словно атомы тонкой фольги служили для них преградой.

Угол отклонения,^{0}	5	15	30	60	75	105	120	135	150	180
Число частиц	8289900	120570	7800	477	211	70	52	43	33	12

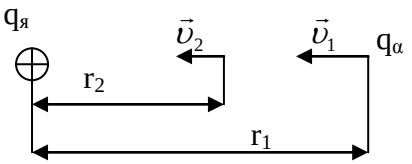
Это было одно из самых невероятных событий, которое когда-либо случалось со мной в жизни. Это было почти так же невероятно, как если бы выстрелили 15-дюймовым снарядом в лист папиросной бумаги, а снаряд вернулся бы назад и попал в вас.

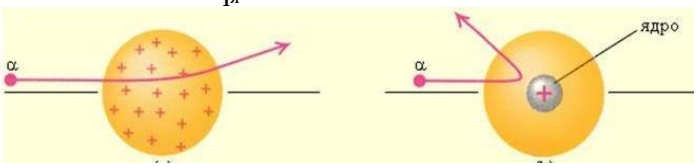
Э. Резерфорд

Объяснение результатов эксперимента. Использование модели "Потенциальный холм" при объяснении и демонстрации. Лобовое соударение.



$h \sim 1/r \rightarrow E_n \sim 1/r$





$$E_{K1} = \frac{m_\alpha \upsilon_1^2}{2}, E_{П1} = \frac{q_я \cdot q_\alpha}{4\pi\varepsilon_0 R_1}.$$

$$E_{K2} = \frac{m_\alpha \upsilon_2^2}{2}, E_{П2} = \frac{q_я \cdot q_\alpha}{4\pi\varepsilon_0 R_2}.$$

Дополнительная информация. Резерфорд попросил одного из своих студентов переоборудовать установку таким образом, чтобы можно имелось 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°! При распределении по всему объему положительный заряд не может создать сильное электрическое поле (оно убывает до нуля по мере приближения к центру шара), способное отбросить альфа частицы назад! В «атоме Томсона» таких напряженностей быть не может!

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

Э. Резерфорд

Расстояние минимального сближения (ядро неподвижно): $R_{мин} = \dfrac{q_я \cdot q_a}{4\pi\varepsilon_0 E_К}$

Планетарная модель атома. 7 марта 1911 г. Манчестерское философское общество услышало доклад Резерфорда «Рассеяние α- и β-лучей и строение атома». **Размеры атомного ядра и атома:** $d_я = 10^{-13}$ см; $d_a = 10^{-8}$ см. Во сколько раз размеры ядра меньше размеров атома?

Дополнительная информация. 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!

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: $m_я = m_A - Zm_e$.

Сложные атомы. Символическое обозначение атомов: ${}^{A}_{Z}X$. Примеры: ${}^{4}_{2}He$.

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

Дополнительная информация. Один из друзей Резерфорда сказал ему однажды: *«Счастливый 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.

IV. *Задачи:*

1. Во сколько раз ближе может подойти α - частица данной энергии к центру ядра алюминия, чем к центру ядра атома золота?
2. Какова скорость α - частиц с кинетической энергией 7,68 МэВ?

Вопросы:

1. Почему в опытах по рассеянию альфа-частиц атомами электроны, входящие в состав атома, не оказывали заметного влияния?
2. Сколько слоев атомов пролетела α - 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. Почему модель атома Томсона не смогла объяснить опыты по рассеянию α-частиц?
5. Как изменилась бы картина рассеяния, полученная Резерфордом, если бы вместо α-частиц он использовал в качестве снарядов протоны, имеющие такую же скорость?
6. Каким образом модель атома Томсона (Кельвина):
   - предсказывала размеры атомов;
   - объясняла периодический закон;
   - объясняла излучение и поглощение света атомами;
   - объясняла тождественность атомов одного и того же химического элемента;
   - объясняла устойчивость атома?

V. § 93. Вопросы 1,2 к § 98.

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.

Исходным пунктом для меня ... была устойчивость материи, которая, с точки зрения прежней физики, предстает подлинным чудом.

Нильс Бор

Урок 13.

ПОСТУЛАТЫ БОРА

Откуда берётся свет?

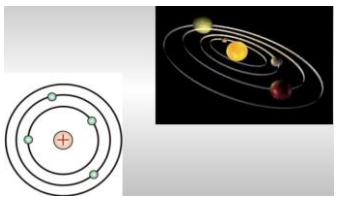
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с моделью атома Резерфорда-Бора. Дать представление о квантовании уровней энергии атома.

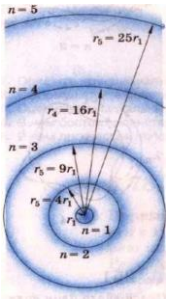
ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: электродинамическая модель "Строение атома".

ПЛАН УРОКА.

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





II. Опрос фундаментальный: 1. Опыт Резерфорда. 2. Планетарная модель атома.

Задачи:

1. α-частица, кинетическая энергия которой 10^{-12} Дж, рассеивается ядром золота. Чему равно наименьшее возможное расстояние между ними при их сближении? Как близко к ядру подойдет протон с той же энергией?

2. В модели атома Томсона предполагалось, что положительный заряд q, равный по модулю заряду электрона, равномерно распределен внутри шара радиусом R. Чему будет равен период колебаний (внутри шара, вдоль его диаметра) электрона, помещенного в такой шар? Масса электрона *m*.

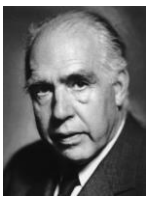
III. Применение законов классической физики к атомной системе. **Планетарная модель атома.** Если бы электрон и ядро покоились, то через 10^{-16} с электрон упал бы на ядро. Следовательно, для устойчивости атома необходимо, чтобы внутри атома существовало непрерывное движение.

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).

Земля, двигаясь вокруг Солнца, тоже излучает гравитационные волну, но никакого влияния этого излучения на орбиту Земли не наблюдается. Почему?

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

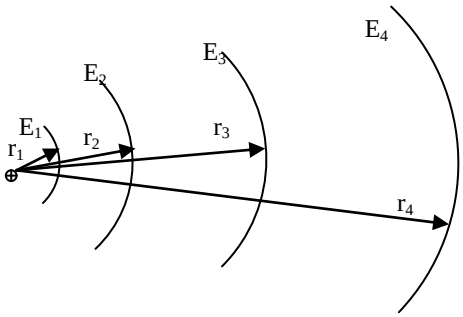


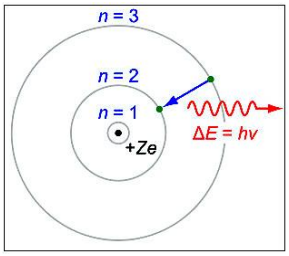
Прекрасно, что мы встретились с парадоксом. Теперь можно надеяться на продвижение вперед.
Нильс Бор

Как Бор "спас" планетарную модель атома? 28 февраля 1913 года Нильс Бор предложил планетарную модель строения атома. (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 состояние в другое происходит при излучении или поглощении кванта с энергией hν.

Излучение	Поглощение
$E_2 - E_1 = h\nu_{21}$	$E_1 + h\nu_{12} = E_2$
$E_3 - E_1 = h\nu_{31}$	$E_1 + h\nu_{13} = E_3$

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

…… $\qquad$ ……

$\boxed{E_m - E_n = h\nu_{mn}}$ $\qquad$ $\nu_{mn} = \nu_{nm}$ $\qquad$ $\boxed{E_n + h\nu_{nm} = E_m}$

Атом поглощает кванты тех же частот, каких излучает. Основное и возбужденные состояния. Фотоны могут быть поглощены и сгенерированы!

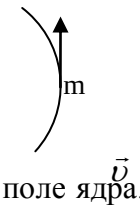
Определенный атом может принять или излучить энергию только определенных порций и ни толикой больше или меньше (**постулат квантового мира**)! Если бы электрон в атоме водорода мог занимать любую из множества орбит, водород при различных обстоятельствах проявлял бы различные свойства, однако атомы одного 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! Электроны, на самом деле, не вращаются вокруг ядра, как планеты вокруг Солнца. Их описывают как облачко вероятности, окружающее ядро. Это понятие в физике называется "электронным облаком" или орбиталью. Как велико "стремление" атомов к тождественности?

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! Квантовые скачки с одной орбиты на другую – единственный способ у электрона обнаружить свое присутствие, а между ними он вообще не в «месте». Вся квантовая механика – это теория таких переходов (превращений) начального состояния в конечное состояние, а между ними все, что может!

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.

Дополнительная информация. Окружающий нас мир также движется скачками, исчезая в одной точке пространства и появляясь в другой его точке. Физический мир – это единый океан энергии, который возникает и спустя миллисекунды исчезает, пульсируя снова и снова. Минимальное расстояние между двумя точками пространства – длина Планка ($\ell_п$), а минимальное время нахождения в каждом состоянии – время Планка ($t_П$). Максимальная скорость $c = \frac{\ell_П}{t_П}$. Почему быстроногий Ахиллес догонит черепаху? Почему летящее копье поразит грудь война?



Объяснение постулатов Бора на основе представлений об электроне, "зажатом" в поле ядра. Электрон в атоме находится между двумя «стенками»: одна — ядро, роль другой выполняет сила электрического притяжения между ядром и электроном, не позволяющая электрону улететь. Из последнего условия можно определить радиусы стационарных орбит электрона:

$$p = m\upsilon \to \lambda = \frac{h}{p} \to n = \frac{2\pi \cdot r}{\lambda}.$$

IV. *Задачи:*

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.
2. Оцените напряженность электрического поля, в котором атом водорода быстро ионизуется.

Вопросы:

1. В чем заключались противоречия между моделью атома Резерфорда и классической физикой?
2. Известно, что атомы одного и того же химического элемента тождественны. Как объясняет этот факт классическая физика; квантовая физика?
3. При каком условии электрон в атоме не излучает энергию, а при каком – излучает?
4. Во сколько раз изменится момент импульса электрона при его переходе с третьей боровской орбиты на первую? 3
5. Почему один человек не может пройти сквозь другого человека?
6. Откуда электрон берет энергию, чтобы вечно вращаться вокруг ядра?
7. Почему все вещество не собирается в точку?
8. Почему орбиты электрона в атоме изначально квантуются?
9. Правда ли, что электроны не вращаются вокруг ядра, а находятся на стационарных орбитах?

V. § 94. Вопросы 3,4 к § 98.

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности Нильса Бора.
2. Каковы были бы размеры атома водорода в основном состоянии, если бы они определялись только гравитацией, а не взаимодействием между электрическими зарядами?

Величайшим достижением человеческого гения является то, что человек может понять вещи, которые он уже не может вообразить.

Л.Д. Ландау

Урок 14. ИЗЛУЧЕНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА АТОМАМИ ВОДОРОДА.

Может ли фотон «умереть»?

ЦЕЛЬ УРОКА: При помощи постулатов Бора объяснить происхождение линейчатого спектра.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Излучение и поглощение энергии атомами".

ПЛАН УРОКА:

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

II. Опрос фундаментальный: 1. Первый постулат Бора. 2. Второй постулат Бора.

Задачи:

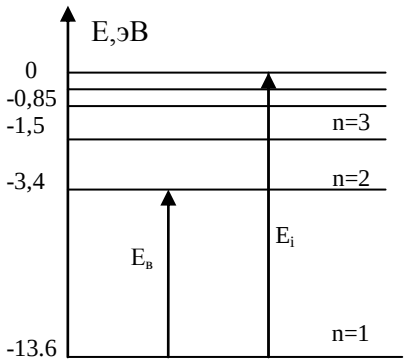
1. Энергии двух последовательных (соседних) возбужденных состояний в водородоподобном атоме равны -64 эВ и -36 эВ. Найти энергию основного состояния электрона в этом атоме.
2. Если в атоме водорода заменить электрон отрицательным μ-мезоном, образуется система, которая называется мезоатомом. Пользуясь теорией Бора, найти радиус мезоатома в состоянии с наименьшей энергией. Заряд мезона равен заряду электрона. Масса μ-мезона $m_\mu = 1{,}88\cdot10^{-28}$ кг. А если заменить τ–лептоном? Масса τ–лептона $(3{,}16754\pm0.00021)\times10^{-27}$ кг.

Вопросы:

1. Как с помощью модели атома Резерфорда - Бора объяснить: устойчивость атома, тождественность атомов, излучение света?
2. Если бы электрон в атоме водорода покоился, то, через какое время он бы упал на ядро?
3. Чем модель атома Бора отличается от модели атома Резерфорда?
4. Что находится между орбитами электронов в атоме?
5. Почему орбита электрона на рисунках изображается в виде электронного облака?
6. Почему размеры тяжелых многоэлектронных атомов практически такие же, что и у атома водорода?
7. Упадут ли электроны на ядра атомов при приближении температуры тела к абсолютному нулю?
8. Почему топливо (уголь, нефть) не воспламеняется при комнатной температуре (температура воспламенения угля около 350^0С)?
9. Как решает электрон, с какого уровня и на какой он должен перейти?
10. Некоторые представляют атом, как небольшое облачко тумана, вокруг которого то вспыхивают, то гаснут огоньки, словно бы от бенгальского огня. Что это за огоньки?

III. Формула для определения радиусов стационарных орбит электрона в атоме водорода: $r_n = 4\pi\varepsilon_0\hbar^2 n^2/(me^2)$. $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot10^{-12}$ Ф/м, $m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ кг, $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл. Радиусы стационарных орбит: $r_1 = 0{,}53\cdot10^{-8}$ см, $r_2 = 4\,r_1$, $r_n = n^2\,r_1$. Согласуются ли эти результаты с опытными фактами?

Энергетические уровни атома водорода: $E_n = -\dfrac{me^4}{2(4\pi\varepsilon_0)^2 n^2\hbar^2} = -\dfrac{13{,}6эВ}{n^2}, n = 1,2,3,...$



Построение диаграммы энергетических уровней атома водорода. **Энергия возбуждения атома ($E_в$) - минимальная энергия, необходимая для перевода атома из основного в первое возбужденное состояние.**

Энергия возбуждения атома водорода 10,2 эВ. Согласуется ли это значение с опытными данными? Да! Пучок

электронов меньшей энергии, проходящий через газ, не вызывает его свечения. Законы есть у мироздания, а физика их пытается обнаружить.

Энергия ионизации (E_i) равна минимальной работе, затрачиваемой на удаление внешнего электрона из атома, находящегося в основном состоянии. Энергия ионизации атома водорода 13,6 эВ!

При комнатной температуре водород без электрона не встречается!

Как можно перевести атом в возбужденное состояние? Тепловое излучение, **электролюминесценция**, **фотолюминесценция** (демонстрация), катодолюминесценция, **хемилюминесценция, сонолюминесценция, триболюминесценция.**

Электролюминесценция − возникает при пропускании электрического тока через газы (определённые типы люминофоров). Водород в так называемой водородной лампе разогревается сильным электрическим разрядом.

Катодолюминесценция − вызвана облучением светящегося вещества быстрыми электронами (катодными лучами);

Фотолюминесценция − свечение под действием света (видимого и ультрафиолетового диапазона электромагнитных волн). Она, в свою очередь, делится на: флуоресценцию (время жизни $10^{-9} - 10^{-6}$ с); фосфоресценцию ($10^{-3} - 10$ с);

Сонолюминесценция − люминесценция, вызванная звуком высокой частоты;

Триболюминесценция - испускание света при дроблении, трении и растрескивании материала, когда электрические заряды разделяются и снова соединяются. Возникающий при этом электрический разряд ионизирует близлежащий воздух, инициируя вспышки света.

Радиолюминесценция − при возбуждении вещества ионизирующим излучением;

Хемилюминесценция − свечение, использующее энергию химических реакций. Люди воспользовались природной люминесценцией и создали **химические источники света** - устройства, генерирующие свет при протекании химической реакции. Они широко применяются в качестве автономных источников света при различных аварийно-спасательных, дорожных работах, в туризме и спелеологии, в подводном плавании, для подачи сигналов, вообще в качестве различного рода резервных осветителей.

Биолюминесценция – свечение белков под действием ультрафиолетового света (Нобелевская премия по физике 2008 года). Ген, производящий эти белки, удалось внедрить в ген картофеля (и обезьяны!). Известно несколько биологических функций биолюминесценции: привлечение добычи, коммуникация и привлечение брачных партнёров, определение свой/чужой, привлечение в ночное время насекомых - переносчиков спор, отпугивание хищника, отвлечение врага, маскировка на фоне естественных источников света. Продолжительность свечения варьируется от долей секунды до часов.

Определить **возможные частоты** излучаемого света при переходе атома водорода из одного возбужденного состояния в другое:

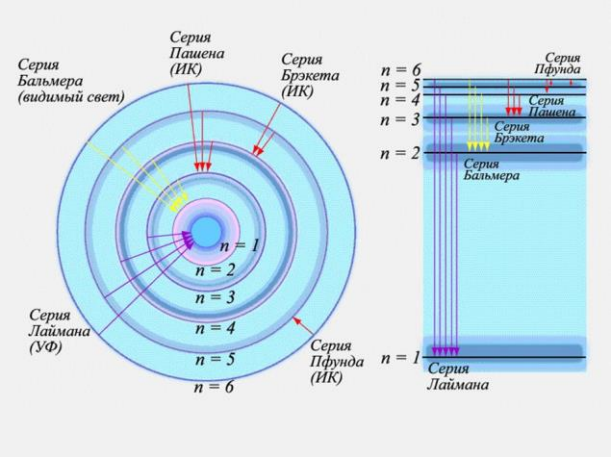
$$E_m - E_n = h\nu_{mn} = 13{,}6 эВ\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right). \quad \nu_{mn} = \frac{E_m - E_n}{h}.$$

Спектр атома водорода. Серия Бальмера: $\nu_{32} = 0{,}457 \cdot 10^{15}$ Гц = 656 нм, это диапазон красного цвета (770-620 нм); $\nu_{42} = 0{,}617 \cdot 10^{15}$ Гц = 486 нм, голубой цвет; $\nu_{52} = 0{,}695 \cdot 10^{15}$ Гц = 434 нм, фиолетовый цвет; $\nu_{62} = 0{,}731 \cdot 10^{15}$ Гц = 410 нм, фиолетовый цвет; $\nu_{72} = 0{,}755 \cdot 10^{15}$ Гц = 397 нм - ультрафиолет.

Дополнительная информация. Свет водородной лампы, пройдя через призму, дает спектр, состоящий из отдельных линий. Простые квантовые системы, такие как атом водорода, обладают частотами, находящимися в достаточно простых отношениях друг к другу. Беспорядочный набор линий в спектре распался на серии. Стремление осмыслить структуру спектра и в самом деле напоминало попытки почти вслепую расшифровать незнакомый текст. Необходимо было найти ключ к шифру. Это сделал Нильс Бор в 1913 г.

Как только я увидел формулу Бальмера, мне все сразу же стало ясно.

Нильс Бор



Задача: Используя диаграмму энергетических уровней атома, объясните тот факт, что положение линии в спектре излучения атома совпадает с положением линии в спектре поглощения света этим атомом. Укажите стрелками, при каких переходах атом водорода излучает: а) инфракрасные лучи; б) ультрафиолетовые лучи; в) видимый свет. Согласуются ли ваши выводы с экспериментальными данными? Демонстрация свечения газоразрядной водородной трубки (красно-фиолетовое свечение). Испускание и поглощение света можно интерпретировать как рождение и уничтожение фотонов.

Дополнительный материал: Объяснение явления фотолюминесценции (демонстрация): экран люминесцентный, набор по фотолюминесценции, осветитель для теневого проецирования, светофильтры. Направив на люминесцентный экран световой поток от осветителя, наблюдаем его свечение зеленым светом. Какая компонента белого света вызывает свечение люминофора? Опыты со светофильтрами. Какой участок спектра вызывает люминесценцию? Почему? Почему не вызывает свечения красный свет значительно большей интенсивности? Аналогичные опыты с набором по фотолюминесценции. В наружном скелете скорпионов есть пигменты, поглощающие невидимый для человеческого глаза ультрафиолетовый свет и испускающие за счет этого свет, который мы можем видеть.

Постулаты Бора подобны кисти и краскам, которые сами по себе еще не составляют картины, но с их помощью можно ее создать.

Гейзенберг

IV. Демонстрация кинофильма.

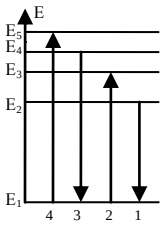
Задачи:

1. Какой самый длинноволновой фотон может ионизовать атом водорода в основном состоянии? К какому диапазону его можно отнести?
2. Какую частоту должен иметь фотон, чтобы перевести атом водорода из основного состояния в третье возбужденное? Будет ли это "видимый" фотон?
3. Каков номер возбужденного состояния, в которое переходит атом водорода из нормального состояния при поглощении фотона, энергия которого составляет 8/9 энергии ионизации атома водорода?
4. Излучение с длиной волны λ = 2500 нм падает на газообразный водород. Каковы квантовые числа n состояний, из которых это излучение может ионизировать газ? ≈ 5,37. Поэтому n > 6.
5. Найдите отношение минимальной частоты фотона в серии Бальмера к максимальной частоте фотона в серии Пашена.
6. Первоначально неподвижный атом водорода испустил фотон с длиной волны λ = 121,5 нм. Какую скорость приобрёл атом водорода?
7. Атом водорода, находящийся в основном состоянии, поглотил фотон с энергией 15 эВ. С какой скоростью электрон покинул атом?

8. Атом водорода поглощает фотон, вследствие чего электрон, находившийся на второй боровской орбите, вылетает из атома со скоростью $\upsilon = 6 \cdot 10^5$ м/с. Определите энергию поглощенного фотона.

Вопросы:

1. Может ли атом водорода поглотить фотон, энергия которого превосходит энергию связи атома?
2. Как получить атомы размером с грейпфрут?
3. Каково отличие ионизованного атома от возбужденного атома?
4. Куда исчезают фотоны после выключения света в комнате?
5. Сколько квантов с разной энергией могут излучить атомы водорода, если они находятся в третьем возбужденном состоянии?
6. Как долго может находиться атом в возбужденном состоянии?
7. Фотохромные стекла легированы галоидом серебра, молекулы которого возбуждаются под действием ультрафиолетовых лучей и начинают поглощать видимый свет. Почему?
8. Пользуясь моделью атома Резерфорда - Бора, объясните происхождение спектра водорода.
9. Фотон с энергией ε = 12,12 эВ, поглощенный атомом водорода, находящимся в основанном состоянии, переводит атом в возбужденное состояние. Определите главное квантовое число этого состояния.
10. Почему свойства различных веществ неодинаковы?
11. В каком случае атом (электрон) будет испытывать неупругое отражение от стенки?
12. Почему атом водорода не излучает рентгеновские лучи?
13. Почему нагревание увеличивает скорость протекания химических реакций?
14. Маркерные чернила выступают в качестве детектора ультрафиолетового света. Почему?
15. Можно ли ионизировать атом водорода фотонами с энергией меньше 13,6 эВ?
16. На рисунке изображена диаграмма энергетических уровней атома. Какой цифрой обозначен переход, который соответствует поглощению фотона с наименьшей энергией?

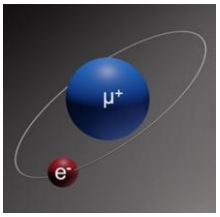


17. Назовите перечисленные ниже явления:
    - Свечение экрана телевизора;
    - Свечение газа в неоновой трубке;
    - Свечение спирали лампы накаливания;
    - Свечение некоторых бактерий, насекомых, светлячков, глубоководных рыб;
    - Свечение некоторых веществ под действием падающего на них света.
18. К какому виду люминесценции следует отнести полярные сияния?
19. Чем биолюминесценция грибов-гнилушек отличается от свечения животных?

20. Почему электрон может поглотить фотон при определенных условиях, а фотон не может?
21. Когда фотон взаимодействует с веществом, он может передать ему свою энергию, а также создать новые фотоны. Приведите примеры.
22. Атомы газообразного водорода находятся в состоянии с n = 5. Сколько всего линий будет в спектре излучения этого газа? 10

V.

1. Совпадает ли частота вращения электрона по орбите и частота излучаемого им кванта?
2. Запишите формулу для определения радиуса орбиты и полной энергии водородоподобного атома.
3. Пока вещество Вселенной находилось в плазменном состоянии (380000 лет после Большого Взрыва), она была непрозрачной, а затем наступили «темные века». Почему?
4. Кинетическая энергия электрона в основном состоянии атома водорода приблизительно равна 10 эВ. Оцените минимальные линейные размеры атома водорода, используя соотношение неопределенности Гейзенберга.
5. Вычислить радиус n = 1000 орбиты электрона в атоме водорода и частоту электромагнитного излучения, испускаемого при переходе с тысяча первой круговой орбиты на тысячную. Пояснить, почему атомы водорода в таких состояниях обычно не наблюдаются.
6. Благодаря чему М.В. Ломоносову удалось наблюдать свечение ртутных паров в откачанной трубке с парами ртути при резком ее встряхивании?
7. Атомы цезия начинают флуоресцировать при естественной резонансной частоте 9192631770 Гц. Зная число полных периодов колебаний генератора, можно определить время (атомные часы). Так ли это?
8. Почему протонные полярные сияния более размыты, чем электронные полярные сияния?
9. Рыб можно, например, делить на костных и хрящевых, а можно на съедобных и несьедобных. А на какие виды можно разделить источники света?
10. Почему атмосфера Земли является источником ультрафиолетового излучения?
11. Найдите частоту обращения электрона в атоме водорода на первой орбите. Определите эквивалентную силу тока. Рассчитайте магнитную индукцию в центре такой круговой траектории. Как направлен вектор магнитной индукции?
12. Каков диаметр основного состояния мезоатома водорода?
13. Электроны в магнитном поле движутся по циклотронным орбитам. Их энергия и импульс квантуются. Докажите это.
14. Какова энергия основного состояния мезоатома водорода?



15. Сегодня вы сами можете легко поэкспериментировать с триболюминесценцией, разбивая в темной комнате кристаллы сахара или твердые леденцы на его основе. Ароматизирующее масло (метилсалицилат) в леденцах поглощает ультрафиолетовое излучение, возникающее при разрушении кристаллов сахара, и вновь испускает его в виде голубого света.
16. Если в темноте сдирать ленту скотча, то также можно заметить испускание света за счет триболюминесценции. Интересно, что сдирание такой ленты в вакууме приводит к рентгеновскому излучению, достаточно интенсивному, чтобы получить рентгеновский снимок пальца.
17. Под действием ультразвуковой волны микропузырьки газа в жидкости сжимаются и расширяются в такт ультразвуковым колебаниям, и их радиус меняется от двух-трех до нескольких десятков микрон. Почему? Относительное изменение объема газа может быть очень большим (до 10^5), причем сжатие газа происходит гораздо быстрее, чем расширение. Почему? В это время газ сильно нагревается до температуры порядка 10^6

К, тогда и возникает излучение света (сонолюминесценция). Почему?

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

Н. Бор

Урок 15.

ТИПЫ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ.

Почему небо синее, а закат красный? Почему небо не фиолетовое?

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. Энергетические уровни атома водорода. 2. Спектр излучения и спектр поглощения водорода.

Задачи:

1. Покоящийся атом излучает фотон с энергией $16{,}32\cdot10^{-19}$ Дж в результате перехода электрона из возбужденного состояния в основное. Атом в результате отдачи начинает двигаться в противоположном направлении с кинетической энергией $8{,}81\cdot10^{-27}$ Дж. Найдите массу атома.
2. Атом железа ионизовали до такой степени, что вокруг ядра остался только один электрон. Определите энергию излучения этого атома при переходе электрона из первого возбужденного в основное состояние.
3. Атом водорода поглотил квант света с длиной волны $\lambda = 8\cdot10^{-8}$ м. При этом произошла ионизация атома. С какой скоростью двигался вдали от ядра вырванный электрон? Кинетической энергией иона водорода пренебречь.
4. Электрон, обладающий вдали от покоящегося протона скоростью $1{,}875\cdot10^{6}$ м/с, захватывается этим протоном, и образуется возбужденный атом водорода. Определите длину волны фотона, который испускается при переходе атома в стационарное состояние.
5. Какие спектральные линии появятся в спектре атомарного водорода при облучении его ультрафиолетовым светом с длиной волны больше 100 нм? Появятся все линии спектра излучения водорода одновременно?!

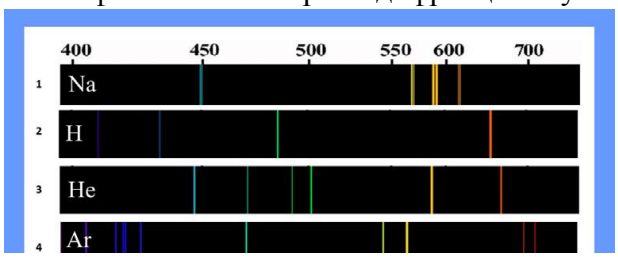
Вопросы:

1. Возможен ли захват свободным протоном электрона без излучения?
2. Почему интенсивность спектральных линий неодинакова?
3. Известно, что светящийся след падающего метеорита по мере приближения к Земле становится ярче, однако в верхних слоях атмосферы он сохраняется значительно дольше, чем у Земли. Почему?
4. Почему плазма непрозрачна, а электролит прозрачен?
5. Почему нельзя найти точку в возбужденном атоме, из которой вылетает фотон?
6. Почему далекая молния кажется красновато-желтой, а близкая – голубой?
7. Почему атомы водорода могут поглощать любые фотоны, длина волны которых меньше 365 нм?
8. Как можно объяснить тот факт, что все линии спектра излучения появляются одновременно?
9. Почему свет в среде движется с меньшей скоростью, чем в вакууме?
10. Почему кривые распределения энергии в спектре нагретого тела, снятые при разных температурах, нигде не пересекаются?
11. Почему по-разному светятся одинаково нагретые тела, например, кусок железа и кусок кварца?
12. Почему днем при ярком солнечном свете на больших глубинах в морях и океанах темно?
13. Покажите, что с возрастанием главного квантового числа n разность энергий двух соседних уровней стремиться к нулю и справедливо классическое описание.

III. 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.**

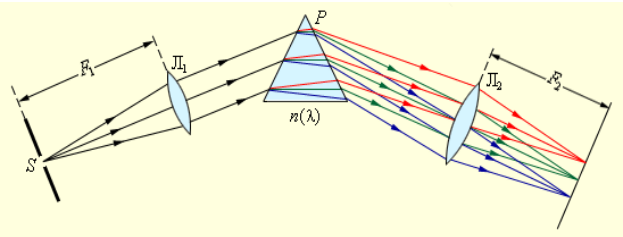
Неизвестно, как обернулась бы история атома, если бы физики не изобрели дифракционную решетку. Благодаря этому прибору в спектроскопии достигнуты точности измерений, удивительные даже для физики. Уже в начале века удавалось разделить две линии в видимом спектре, если их длины волн отличались друг от друга хотя бы на 10^{-3} Å.



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).

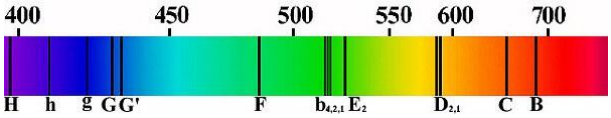
Дополнительная информация: В 1860 году Бунзен методом спектрального анализа открыл новый элемент – цезий! За последующие полвека лет методом спектрального анализа были открыты 25 новых элементов! При столкновении нейтронных звёзд в 2017 голу оптические телескопы зарегистрировали спектры золота, платины 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 большего числа объектов, то спектр становится полосатым или непрерывным.



Спектры поглощения.

Демонстрация спектра поглощения паров натрия. Почему возникает спектр поглощения?

Когда вы заходите в комнату и включаете лампу, она тут же заполняется светом, а точнее наполняется триллионами фотонов, которые помогают нам видеть все, что находится в ней. Но куда девается свет, когда вы выключаете лампу? Что происходит с фотонами в комнате? Они куда-то исчезают или просто перестают существовать? Нет! Они поглощаются! Все это - испускание фотонов лампой, их поглощение и излучение вновь другими объектами -

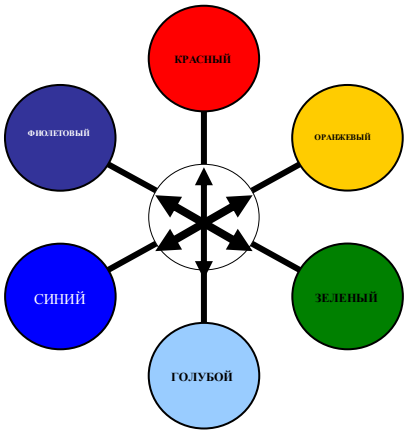
происходит примерно за одну миллионную секунды, а комната заполняется еще большим числом инфракрасных фотонов. Таким образом, комната остается освещенной столько, сколько работает лампа. Когда, например, Солнце светит в окно, фотоны не проходят сквозь него. Они поглощаются атомами в стекле - и затем заново испускаются несколько раз, прежде чем оказаться на другой стороне с высокой, но не стопроцентной вероятностью. 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. У металлов и металлических стекол ширина запрещенной зоны равна нулю, поэтому излучение любой длины волны будет поглощаться и рассеиваться. У полупроводников и халькогенидных стекол ширина запрещенной зоны мала, поэтому они прозрачны для инфракрасных лучей, но рассеивают видимый свет.

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.

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

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

М. Волошин, «Путями Каина



Почему предметы нагреваются, когда на них падает свет? «Проглотив» фотон, атом также приобретает его энергию и импульс. При излучении фотона атом энергию отдает, а импульс вновь приобретает. Это приводит к тому, что увеличивается кинетическая энергия атома и внутренняя энергия поглощающего свет вещества.

Дополнительный материал: Закон, по которому плотность потока фотонов в веществе убывает с координатой, имеет вид: $N(x) = N_0e^{-\alpha x}$, где $\alpha = \alpha(\nu)$ - коэффициент поглощения, который зависит от материала и частоты излучения (закон Бугера). Светофильтры (показатель поглощения зависит от частоты). Зависимость степени поглощения света светофильтром от его толщины (демонстрация). Когда толщина стекла растет, доля пропускаемого света падает по геометрической прогрессии (пример с зеленым светофильтром, который при некоторой толщине ослабляет зеленые лучи в три раза, а красные только в два раза). Раскаленная нить накала электрической лампы имеет красный оттенок, если смотреть на нее через матовую поверхность плафона. Объясните это явление.

"Цветовой круг" для поглощения света. **Дополнительный материал (цвета тел):** Каждое вещество в мире имеет три основных показателя, влияющих на цвет: это коэффициент отражения, коэффициент пропускания и коэффициент поглощения. Если, например, тело хорошо пропускает красный, а отражает лучше всего зелёный, то на просвет зелёное тело будет казаться красным. Так ведёт себя хлорофилл, если его растворить в спирте.

Воздушная синева рождается от телесной плотности освещенного воздуха, находящегося между верхним мраком и землей.

Леонардо да Винчи

Почему небо голубое? Вероятность рассеяния квантов большей частоты выше. Почему? Взаимодействие фотона с атомом длится ≈ 10^{-18} с, при этом неопределенность в его энергии $\Delta E \approx 20$ эВ. При столкновении молекулы газа с фотонами солнечных лучей на один вторичный квант красного цвета приходится восемь квантов синего. Почему? Почему небо не фиолетовое, хотя фиолетовый свет рассеивается молекулами воздуха сильнее, чем синий?
На Луне небо темное, так как там царит почти полный вакуум и ничто не препятствует прохождению световых волн. Почему меняется белый свет при прохождении через цветной фильтр? Почему в противотуманных фарах используются желтые светофильтры? Влияние пыли на прозрачность атмосферы (ядерная зима). Почему на закате солнце кажется более красным, чем при восходе?

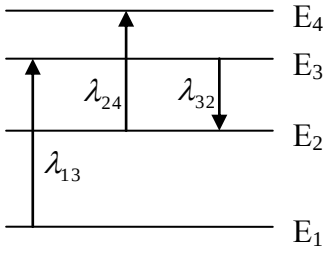
Дополнительный материал: На спутниковых снимках Земли океаны имеют явно выраженный голубоватый цвет. Световые волны, исходящие от Солнца, представляют собой сочетание волн разной длины, в котором присутствуют все цвета радуги. Но вода может поглощать (рассеивать) свет, причем какие-то цвета она поглощает гораздо интенсивнее, чем другие. Первым отфильтровывается красный цвет: достаточно буквально нескольких метров воды, чтобы свет полностью избавился от красной составляющей. Еще несколько десятков метров понадобится для того, чтобы лишить свет желтой и зеленой составляющих. Хуже всего поглощается голубой цвет — он может проникать на огромную глубину. И к тому времени, когда отразившийся свет выберется на поверхность океана, в нем в основном останется голубая составляющая.

Пороговая длина волны, на которой начинается поглощение ультрафиолетового излучения льдом, равна 0,17 мкм. В пересчете на энергию это соответствует 7,3 эВ.

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. Электромагнитная сила способна пересечь Вселенную. Так ли это?

IV. *Задачи:*

1. Чему равна разность энергий в электрон-вольтах между двумя соседними линиями в спектре натрия: $\lambda_1 = 5{,}896 \cdot 10^{-7}$ м и $\lambda_2 = 5{,}890 \cdot 10^{-7}$ м.
2. На рисунке изображены энергетические уровни атома и указаны длины волн фотонов, излучаемых и поглощаемых при переходах с одного уровня на другой. Экспериментально установлено, что минимальная длина волны для фотонов, излучаемых при переходах между этими уровнями, равна $\lambda_0 = 250$ нм. Какова величина λ_{13}, если $\lambda_{32} = 545$ нм, $\lambda_{24} = 400$ нм?



3. Атом водорода, находящийся в основном состоянии, переводят в возбужденное состояние. При переходе из возбужденного состояния в основное в спектре атома последовательно наблюдают два кванта с длинами волн $\lambda_1 = 1876$ нм и $\lambda_2 = 103$ нм. На каком энергетическом уровне находился атом в возбужденном состоянии?
4. Если эффективная высота атмосферы Земли 8 км, то какой толщины слой атмосферы проходят лучи Солнца на закате или восходе?

Вопросы:

1. Почему стекло прозрачно для видимого света и непрозрачно для ультрафиолетовых лучей?
2. Почему по мере подъема звезды над горизонтом она становится ярче?
3. Как быстро определить, что находится в небольшом сосуде - хлористый натрий или хлористый стронций?
4. Почему глаз человека может смотреть на Солнце, когда оно у горизонта, и не может, когда оно в зените?
5. Почему днем Луна белая, а ночью желтая?
6. Отчего сигналы опасности подают красным светом, хотя глаз наиболее чувствителен к желто-зеленому свету?
7. Почему в момент полного солнечного затмения все темные линии в спектре Солнца вспыхивают ярким светом?
8. Почему дорожные знаки делают не на белом, а на жёлтом фоне?
9. Чем обусловлено уширение спектральных линий в спектрах звезд?
10. Почему цвет поверхности моря практически непредсказуем?
11. Почему, когда ночью едешь в направлении расположенного вдали города, над ним видно грязно-оранжевое свечение?
12. Почему светлые облака издалека кажутся розовыми?
13. Почему виднеющийся на горизонте лес или далекие горы кажутся в голубоватой дымке?
14. Почему участки на фотографиях туманности Ориона, где много пыли, имеют явный голубой оттенок?
15. Почему цветное стекло имеет «на просвет» разный цвет в зависимости от толщины?
16. Почему днем на небе не видны звезды, а на Луне они видны днем?
17. Почему вода обладает способностью эффективно преобразовывать энергию электромагнитных волн в тепло (интенсивность красной составляющей солнечного света на глубине 1 м ослабляется более чем в 10 раз)?
18. Почему атмосфера в течение дня сама служит источником света?
19. Почему пламя свечи всегда заостряется кверху?
20. Почему Земли из космоса кажется голубой?
21. Почему нельзя увидеть дно кастрюли через слой молока?
22. Почему кристаллы кремния (ΔE = 1.1 эВ) и германия (ΔE = 0.72 эВ) непрозрачны для видимого света, а кристалл GaP (ΔE = 2,3 эВ) на "просвет" красно-оранжевый?
23. Отчего самые глубокие водоросли имеют красный цвет?
24. Почему в мелких местах морская вода имеет зелёный цвет?
25. Существует ли тень от пламени? Почему?
26. Почему металлы непрозрачны, а тонкая фольга металла пропускает свет

(тонкая золотая фольга на "просвет" зеленоватая)?

27. Почему во время полного солнечного затмения над горизонтом вспыхивает розовое заревое кольцо?
28. *"Закат из золотого стал как медь.*
Покрылись облака зеленой ржою …"

Прокомментируйте этот отрывок из стихотворения Н. Гумилева.

Дополнительный материал: Кубик аэрогеля (SiO_2 – 0,2%, воздух – 99,8%) со стороной 2 см имеет массу 24 мг. Свойства аэрогеля:

- Рассеивает свет, поэтому в отраженном свете он голубой, а в проходящем – желтый.
- Теплоизолятор (в пять раз лучше, чем стекловата).
- Имеет очень большую площадь поверхности (кубик со стороной 2 см имеет площадь поверхности 12000 $м^2$).
- Хорошо поглощает тяжелые металлы и другие примеси.
- Очень хрупкий.

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. Можно ли создать внешнее электрическое поле, способное ионизировать атом водорода? Практически осуществимые напряженности полей лежат в пределах 10^7 - 10^8 В/м.
3. Почему вероятность отражения фотона от тщательно отполированного и находящегося в сверхпроводящем состоянии ниобиевого зеркала во много раз выше вероятности его поглощения?
4. 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.
5. Предложите проект измерителя поглощения света светофильтром.
6. Можно ли накалить до "белого каления" стеклянную трубку? Проверьте это на опыте.
7. Справедлива ли поговорка: «Небо красно к вечеру — моряку бояться нечего; небо красно поутру — моряку не по нутру»?
8. 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 16.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: «НАБЛЮДЕНИЕ СПЛОШНОГО И ЛИНЕЙЧАТОГО СПЕКТРОВ».

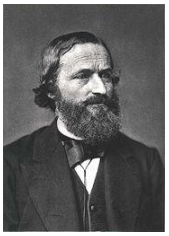
Линейчатый спектр - следствие процессов внутри атома!

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 ЛГ-209 (сообщить учащимся, что в трубке смесь двух газов).

Исторический факт. 19 августа 1868 года француз Пьер Жансен, находясь во время полного солнечного затмения в индийском городе Гунтур, впервые исследовал хромосферу Солнца. За время наблюдения солнечной короны ему удалось откалибровать спектроскоп так, что в дальнейшем спектр короны можно было бы наблюдать и в обычные дни. На следующий же день вместе с уже известным водородом Жансен обнаружил неизвестную ранее яркую жёлтую линию (с длиной волны 588 нм). Так был открыт гелий. Впрочем, название он получит два года спустя, а ещё спустя четверть века англичанин Уильям Рамзай обнаружит гелий уже в земных условиях (Нобелевская премия по химии 1904 г.).

Интересный факт. Человеческий глаз не видит УФ-излучение, так как роговица и глазная линза его поглощает. Но люди, у которых глазная линза удалена при снятии катаракты, могут видеть излучение в диапазоне длины 300-350 нм.

IV. Подведение итогов. Выводы.

V. § 81. Вопрос 3 к § 86.

1. Почему между разными цветами линейчатого спектра нет плавных переходов?
2. Почему ближние горы кажутся более темными, чем дальние, которые зачастую кажутся голубоватыми?
3. Какие источники света - синие, зеленые или красные – должны быть менее заметны с большой высоты, например, из кабины самолета?
4. Какие изменения произошли бы в мире, если бы постоянная Планка "внезапно" увеличилась в 10 раз?

Со времени знаменитой попытки Дж. Дж. Томсона истолковать периодическую систему на основании исследования устойчивости различных электронных конфигураций идея о разделении атомов на группы сделалась исходным пунктом и более новых воззрений...

Э. Резерфорд

Урок.

ОПЫТЫ ФРАНКА-ГЕРЦА. РАЗВИТИЕ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ.

Чем знаменит атом Шредингера!

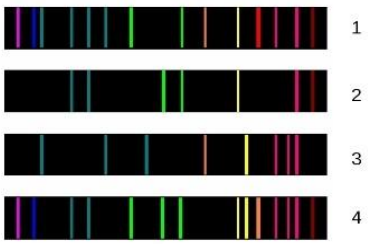
ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся об атоме.

ТИП УРОКА: лекция.

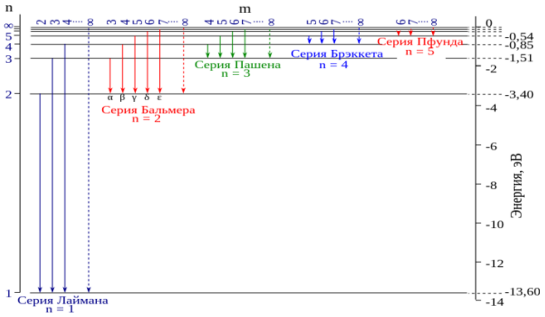
ОБОРУДОВАНИЕ: модель "Строение атома".

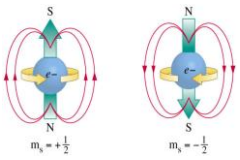
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. Ответы на вопросы
4. Задание на дом



II. После того как в общих чертах было открыто строение атома и предложена его «планетарная» модель, ученые столкнулись с множеством парадоксов, для объяснения которых появился целый раздел физики — квантовая механика. Квантовая физика является теоретическим фундаментом атомной физики. **Опыты Франка-Герца** - как одно из решающих подтверждений квантовой физики. Схема экспериментальной установки. Результаты эксперимента. Опыты дали прямое подтверждение тому, что внутренняя энергия атома квантуется и поэтому может изменяться лишь дискретно, т.е. определенными порциями. Дальнейшее развитие квантовой теории. Теория Бора правильно объясняет линейчатый спектр лишь атома водорода. Однако уже при попытке объяснить строение атома гелия теория Бора терпит неудачу. А дальше сценарий внешне очень напоминает историю с моделью Птолемея, теорией Кеплера... Пришлось подправить боровскую модель атома. В 1915 году Арнольд Зоммерфельд добавляет к круговым орбитам электронов эллиптические стационарные орбиты. Условие квантования орбит (на длине орбиты должно укладываться целое число длин волн): $2\pi \cdot r_n / \lambda_n = n \rightarrow m\upsilon_n r_n = n\hbar$, где n – главное квантовое число (порядковый номер орбиты электрона). Степень вытянутости орбиты электрона (эллиптические орбиты), ℓ - орбитальное квантовое число: ℓ = {0, 1, 2 ... (n – 1)}. Число вытянутых орбит во внешнем магнитном поле (Альфред Ланде, 1925 г.): m = {0, ± 1, …, ±ℓ}. В атомах орбиты электронов лежат в разных плоскостях. **Спин электрона** (Самюэл Гаудсмит и Джордж Уленбек, 1925 г). **Спин** - квантовая характеристика, которую можно понимать как магнитный момент (врожденный - точно так же, как масса или заряд). Спин определяет коллективное поведение частиц. Все известные частицы во Вселенной можно разделить на две группы: частицы со спином 1/2, из которых состоит вещество во Вселенной (фермионы), и частицы с целым спином (бозоны) 0, 1 и 2, которые создают силы, действующие между частицами вещества. **Принцип Паули: в одном и том же квантовом состоянии может находиться не более одной частицы с полуцелым спином**. На каждой орбите вокруг ядра их помещается не больше, чем там имеется «парковочных мест на многоярусной крытой стоянке», а после того, как все места на орбите заняты, следующий электрон ищет себе место на более высокой орбите.





Вопрос о том, почему все электроны атома в основном состоянии не собираются на самых его близких к ядру оболочках, уже был выделен Бором в качестве фундаментальной проблемы... классическая механика никаких объяснений этого явления дать не смогла.

Вольфганг Паули, 1945

Именно Паули якобы так отозвался о работе своего коллеги: «Эта статья не верна, более того - она даже не ошибочна».

Многоэлектронные атомы. Последовательность заполнения электронных оболочек: s-электроны, p-электроны, d-электроны, f-электроны. Объяснение с помощью электродинамической модели "Строение атома": атом гелия, атом лития, атом неона, атом кислорода, атом натрия. Сколько электронов у атома урана? Как они распределены по электронным орбитам? **Принцип Паули.** Почему в состоянии с n = 1 находится 2 электрона? Число электронов, размещенных в состоянии n равно $N = 2 \cdot n^2$. В состоянии с n = 2 находится 8 электронов (имеют одинаковую энергию), которые распределены по четырем орбитам (одна круговая и три эллиптические). Распределение электронов: на круговой орбите S - электроны, а на эллиптических p - электроны. В состоянии с n = 3 находится 18 электронов: ℓ = {0,1,2}, m = {0;-1,0,1;-2,-1,0,1,2}. Например, в атоме азота ($1s^2 2s^2 2p^3$) семь электронов, два из которых заполняют *s*–оболочку первого слоя, два заполняют *s*–оболочку второго слоя, и три электрона находятся в незаполненой *p*-оболочке второго слоя.

В атоме не может быть двух или более эквивалентных электронов, у которых все квантовые числа совпадают. Если электрон находится в состоянии с определенными значениями всех квантовых чисел, то это состояние занято. В. Паули

Принцип запрета Паули объясняет твердость вещества и причину, по которой два объекта не могут занимать одно и то же место. По этой причине мы не проваливаемся сквозь пол, а **нейтронные звезды** сопротивляются сжатию под действием тяготения собственных, невероятно больших масс. Благодаря принципу запрета Паули относительно небольшое количество стабильных атомов (около сотни) даёт почти бесконечное многообразие молекул, а также состоящих из них объектов, включая и живых существ. Без этого принципа все атомы были бы похожи друг на друга и на атом водорода – простейший из них, и кроме звёзд, чёрных дыр газа и пыли в такой вселенной ничего другого просто не было. Нейтронных звёзд и карликов разных мастей появиться бы не могло – они все под воздействием гравитации сколлапсировали бы в чёрные дыры.

Молекулы. *"... молекулы - не что иное, как атомы, удерживаемые вместе поделенными электронами, т.е. электронными связями". Сцент - Дъердьи*

Ионная и ковалентная связь. Как выявить структуру молекулы? Это определение точек кипения и плавления, измерение спектров поглощения и отражения волн различных длин, элементный и спектральный анализы (определение продуктов горения и их спектров) и многие другие. В наши дни наиболее популярными являются ЯМР-спектроскопия, масс-спектрометрия и рентгенокристаллография.

Полученное волновое уравнение для электрона оказалось очень удачным. Это привело к правильным значениям спина и магнитного момента. Это было довольно неожиданно.

Поль Дирак

Дальнейшее развитие квантовой теории. П. Дирак (движение частиц с полуцелым спином при около световых скоростях). Позитрон. Э. Ферми применил квантовую физику к электромагнитному полю. **Квантовая теория объяснила устойчивость атома, тождественность атомов одного и того же элемента, излучение и поглощение света** (линейчатые спектры). Она **не противоречит классической физике**, а лишь дополняет её на микроскопических масштабах. Квантовая механика описывает основные свойства и поведение атомов, ионов, молекул, конденсированных сред, и других систем с электронно-ядерным строением.

III. *Вопросы:*

1. Какие из приведенных ниже в таблице квантовых чисел, определяющих состояние электрона в атоме, действительно «разрешены»?
2. Почему природа наложила на инертные газы обет химического безбрачия?
3. Как изменился бы наш мир, если бы не выполнялся принцип запрета Паули?
4. Электронная конфигурация атома, находящегося в нормальном состоянии, имеет вид: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$. Какой это атом?

Дополнительная информация: После лекции Бора в Америке вперед вышел один студент и спросил: *«Неужели действительно были такие ослы, которые думали, что электрон движется по орбите?».*

Обобщающее повторение по таблицам "Атом" и "Молекула".

Дополнительная информация: Факт одновременного рождения двух электронов очень тесно связывает их между собой, и они обязательно будут иметь противоположные спины (спутанное состояние) где бы они не находились (хоть за сотни километров друг от друга). Если мы установим направление спина одного из этих двух электронов, то информация об этом передается другому электрону мгновенно и направление его спина будет противоположным (экспериментальный факт).

IV. Конспект

1. Почему твердое тело сопротивляется сжатию, несмотря на то, что большая часть атома пуста?
2. Почему вещество непроницаемо и как это объясняет принцип Паули?

3. Почему спектр рентгеновского излучения сплошной? Почему сплошной спектр рентгеновского излучения ограничен определенной максимальной частотой?
4. Почему мы не можем выразить всю сложность периодической таблицы Менделеева музыкальным произведением?
5. Существуют два типа людей и частиц, «мальчики» и «девочки». Мальчики одеты в брюки, на которые уходит 1 метр полотна. Это — целый спин. Такие частицы—мальчики называются бозоны. Девочки одеты в юбки, на которые уходит 0,5 метра полотна. Это — полуцелый спин, а частицы—девочки — фермионы. Ведут они себя по—разному. Пользуясь этой аналогией, попробуйте объяснить явление сверхпроводимости и принцип запрета Паули.

Тускла на свету, но как факел
Кристалла живая свеча
Пылает во мраке ...
Во мраке - начало любого луча.
Мигель де Унамуно

Урок 17. ВЫНУЖДЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СВЕТА. ЛАЗЕРЫ.

Чем отличается горящая спичка от лазера?

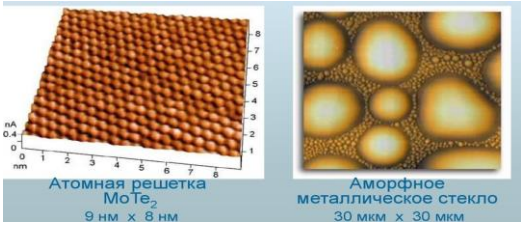
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с устройством и принципом действия оптических квантовых генераторов.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Квантовые генераторы", лазер.

ПЛАН УРОКА:

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



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

Задачи:

1. Известны частоты, излучаемые при переходах атома из одного стационарного состояния в другое состояние: $\nu_{31} = 6\cdot10^{14}$ Гц, $\nu_{42} = 5\cdot10^{14}$ Гц, $\nu_{32} = 3\cdot10^{14}$ Гц. Какова частота (энергия) фотона, излучаемого при переходе с четвертого на первый энергетический уровень?
2. При переходе атома водорода со второго энергетического уровня на первый испускается фотон. Этот фотон попадает на поверхность фотокатода и выбивает фотоэлектрон. Определить максимально возможную скорость фотоэлектрона. Красной границе фотоэффекта для материала поверхности фотокатода соответствует частота света, $\nu_{кр} = 6\cdot10^{14}$ Гц.
3. Энергия связи молекулы LiF равна ε = 4,3 эВ. Какова молярная теплота Q образования этого вещества? $Q = \varepsilon N_A \approx 4 \cdot 10^5$ Дж/моль.
4. При введении обыкновенной поваренной соли в пламя газовой горелки последнее приобретает характерную желтую окраску от излучения атомов натрия, имеющего длину волны 589 нм. Знаменитая желтая линия D в спектре натрия на самом деле состоит из двух

очень близко расположенных линий: D_1 = 5895,9236 Å и D_2 = 5889,9504 Å. Это излучение сопровождает обратные переходы электронов с первого возбужденного в основное состояние. а) Каков этот уровень в эВ, считая от основного состояния? б) Какова была бы температура одноатомного газа, молекулы которого обладали бы такой же средней кинетической энергией? в) Средняя температура пламени 2100 К. Почему некоторые из атомов могут возбуждаться?

Вопросы:

1. Почему скорость света в веществе меньше чем в вакууме?
2. Почему задолго до восхода Солнца начинается рассвет?

Такая иллюзия называется атмосферной рефракцией.

3. Почему Солнце на закате (восходе) кажется красным?

Интенсивность рассеянного атмосферой света очень резко убывает с увеличением длины волны. Зависимость $I \sim \frac{1}{\lambda^4}$ называется законом рассеяния Рэлея. Вечером, когда Солнце совсем невысоко над горизонтом, его лучи проходят в атмосфере гораздо больший путь, нежели днём.

4. Почему океан на подводных съёмках мы видим в оттенках синего цвета?
5. Почему на глубину порядка двухсот метров уже не проникает никакой видимый свет?
6. Почему опасность солнечного ожога в утренние и вечерние часы практически нулевая?

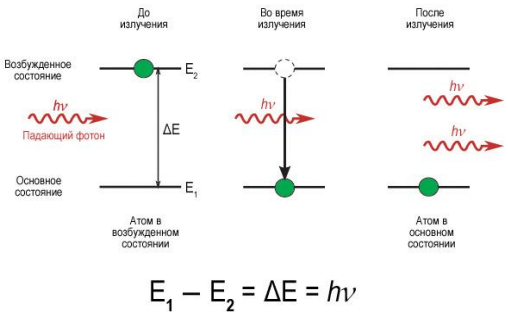
Эффективная толщина атмосферы составляет порядка 100 км, радиус Земли — около 6400 км. Тогда в зените солнечные лучи пройдут в атмосфере около 100 км, а на закате — около 1100 км, что в 11 раз больше!

7. Сколько всего спектральных линий в серии Бальмера?
8. Останавливается ли на короткое время фотон при отражении от зеркала?
9. На основании чего можно было бы утверждать, что в холодном газе, окружающем Солнце, присутствует железо?
10. Если осветить мощной электрической лампой горящую свечу, то на экране появится не только тень от свечи, но и от пламени. Почему?
11. Каким образом можно увеличить дальность оптической связи?
12. Почему спектральные линии спонтанного излучения имеют некоторую ширину (естественное уширение, столкновения, эффект Доплера)?
13. Два источника света имеют идентичные спектры, только спектральные линии у первого ярче и шире, чем у второго. Почему?
14. Почему алмаз прозрачен для видимого света? Как вы объясните существование голубых алмазов?
15. Тернистый путь фотонов из центра Солнца к его поверхности, занимает почти миллион лет. Почему так долго?
16. Почему почва, бумага, дерево, песок кажутся более темными, если они смочены?
17. Один из основных методов определения химического состава органических молекул - анализ спектров поглощения в инфракрасной области. Почему?

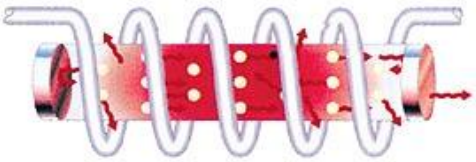
18. Почему зимой снег розово-желтый?
19. При столкновении с тяжелыми атомами электроны испускают как тормозное, так и характеристическое излучение, спектр которого определяется материалом анода. Почему?
20. Что произойдет с солнечным спектром во время наблюдения полного солнечного затмения?
21. Сейфертовские галактики имеют очень яркое ядро, спектр которого содержит широкие эмиссионные линии водорода, гелия, азота и кислорода. С чем связано расширение линий?
22. Почему внизу на фоне деревьев дым костра кажется синим, однако над верхушками деревьев (на фоне светлого неба) он выглядит желтовато-красным?
23. Почему спектр люминесцентной лампы является комбинацией линейчатого и непрерывного спектра?

Что такое лазер или мазер,
На какой они возникли базе?
Л. Мартынов

III. Лазер — устройство, преобразующее энергию накачки в когерентное электромагнитное излучение оптического диапазона частот. Квантовый характер излучения и поглощения света атомами. Спектры излучения и поглощения. Энергия, излучаемая и поглощаемая веществом при спонтанных переходах. Плотность заполнения уровней. Предсказание возможности индуцированного излучения света веществом (излучение возбужденных атомов вещества под действием падающего на них света). Усиление света при индуцированном излучении. Цепная реакция. Квантовый генератор (трехуровневая система).



Устройство и принцип действия рубинового лазера (Теодор Мейман, 16 мая 1960 года). Лазер состоит из кристалла рубина, содержащего атомы, имеющие одно возбужденное состояние, в котором задерживаются атомы. Одно из зеркал сделано таким образом, что малая доля света проходит через него (лазерный луч). Для запуска лазера в работу атомы возбуждаются либо вспышкой света, либо электрическим током. Длина волны рубинового лазера в вакууме 694 нм. Это свойство лазерного излучения называется монохроматичностью (от греч. «один цвет»).



Устройство и принцип действия гелиево-неонового лазера (зарисовать энергетические уровни по кадрам диафильма), декабрь 1960 года. Для накачки научились использовать не только свет, но и электричество, газ, химические и даже ядерные реакции!

Дополнительный материал (лазеры): Квантовый генератор (четырехуровневая система). В межзвездной среде создаются благоприятные условия для инверсии заселенности уровней атомов и молекул. В эксимерной молекуле благородного газа один из атомов находится в возбужденном состоянии. Такая молекула распадается за время нескольких наносекунд, излучая квант света. Газ из таких молекул представляет готовую активную среду для лазера. Наиболее высокими удельными параметрами характеризуются лазеры, работающие на ArF,

XeCl и т.д. Полупроводниковые лазеры имеют очень высокий КПД преобразования электрической энергии в когерентное излучение, который практически равен 100%. Они способны работать в непрерывном режиме. Большинство полупроводниковых лазеров являются лазерными диодами с накачкой электрическим током, и с контактом между n-типа и p-типа полупроводниковыми материалами. Другими особенностями полупроводниковых лазеров являются: высокая эффективность преобразования электрической энергии в энергию когерентного излучения (30—50%); также – возможность перестройки длины волны излучения и наличие значительного количества полупроводников, которые непрерывно перекрывают интервал длин волн от 0,32 до 32 мкм.

Применения лазера:

- **Дальномеры и точные прицелы** (доказательства дрейфа континентов, измерение расстояния от Земли до Луны с точностью до сантиметров, точность попадания в цель менее 1 м).
- **Применение лазеров для связи.** Демонстрация импульсной передачи (сообщение учащегося). Световой сигнал лазера может "нести на себе" одновременно двести телевизионных передач или тысячу телефонных разговоров. Волоконная оптика. Волоконно-оптические линии связи положили начало современному интернету. В новой системе используется оборудование, позволяющее лазерному излучению разной частоты проходить через одно и то же оптоволокно. Технология спектрального уплотнения каналов позволяет использовать до 80 разных частот одновременно.
- **Медицина и биология** (использование лазера для хирургических операций (лазерный скальпель), создание малых отверстий в мышце сердца, генная инженерия), лечение глазных болезней, ускорение химических реакций при отбеливании зубов.
- **Промышленность** (резка, сверление и сварка, изготовление наноструктур).
- **В космонавтике** с помощью лазеров осуществляется стыковка космических аппаратов.
- **Лазерный принтер.** Лазерные ДВД – диски.
- **Голография** (сообщение ученика).

- **Лазер в военном деле** (лазерная пушка в космосе поражает топливные баки ракет на расстоянии до 400 км), лазерная локация, лазерная связь. Лазер - это идеальное оружие направленной энергии: тоненький, как ниточка, но исключительно интенсивный световой пучок, который можно с большой точностью нацелить на цель. В списке необходимых приобретений для арсенала космических войн лазер занимает одну из первых строчек.
- **Лазеры ультракоротких импульсов** (импульсная мощность 10^{15} Вт, интенсивность 10^{21} Вт/см^2, изучение сверхбыстрых процессов). Десятипетаваттные лазеры уже существуют, а китайские ученые планируют построить 100-петаваттный лазер под названием «Станция экстремального света», а значит, скоро нас ждут новые открытия.
- **Лазерный термоядерный синтез.**
- **Оптические часы** с точностью 10^{-17} с (Если бы такие часы были запущены в момент Большого Взрыва, то сейчас расхождение их показаний не превышало бы 10 с).
- **Эталоны времени и длины, измерение скорости света.**

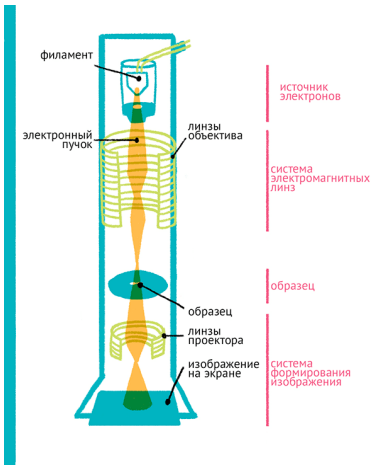
Дополнительная информация: Углеродная нанотрубка состоит примерно из $20 \cdot 10^6$ атомов и является идеальной нитью накала для нанолампочки. Будет ли излучение света такой лампочки когерентным, предстоит выяснить в эксперименте.

Дополнительная информация (атомные часы): Цезий испаряется в печи, и его возбужденные атомы сортируются магнитом, а в нем, за счет облучения в микроволновом поле, атомы переходят в основное состояние (вынужденное излучение). С помощью второго

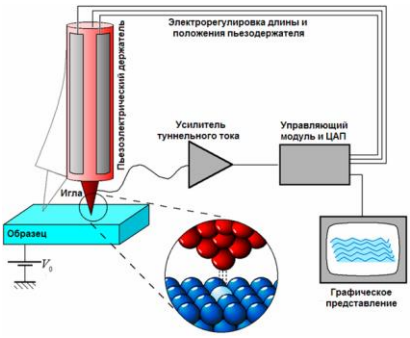
магнита эти атомы направляются в приемное устройство. Много атомов в основном состоянии получается, если частота излучения совпадает с частотой перехода 9192631770 Гц. Если атомов мало, то приборы автоматически подстраивают частоту микроволнового излучения (кварцевого генератор) к частоте перехода. Для точной работы навигационной спутниковой системы GPS, в каждый из спутников встроены атомные часы.

Дополнительная информация: Помещенный в охлажденную до сверхнизкой температуры ловушку ион алюминия, облучается светом лазера. Индуцированное светом лазера излучение остается постоянным в течение длительного времени, а атомные часы, построенные на этой основе, ошиблись бы на 5 с за время жизни Вселенной.

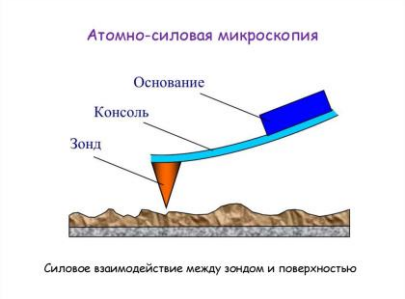
Дополнительная информация: Электронный микроскоп - прибор, позволяющий получать изображение объектов с максимальным увеличением до 10^6 раз, благодаря использованию, в отличие от оптического микроскопа, вместо светового потока, пучка электронов с энергиями 200 эВ - 400 кэВ и более. Длина волны де Бройля обычного электрона в сотни тысяч раз меньше, чем обычная длина световой волны. А чем короче длина волны, тем большую степень детализации она может предоставить, поэтому микроскоп, в котором используется электронный луч, дает гораздо лучшее разрешение.



Сканирующий микроскоп. Когда тончайшее заряженное металлическое острие подводится к противоположно заряженному металлическому образцу на дистанцию, равную нескольким межатомным расстояниям, электроны начинают свободно проходить через зазор (туннельный эффект). Величина туннельного тока сильно зависит от величины зазора. Компьютер изменяет положение зонда, чтобы поддерживать постоянный ток. По мере того как зонд проводится над поверхностью, по изменениям высоты зонда определяется ее рельеф. Последовательно проводя иглой зонда над всей поверхностью, мы можем получить картину ее бугров и впадин. Такая техника позволяет достичь разрешающей способности до 0,01 нанометра и этого вполне достаточно, чтобы различить отдельные атомы, которые показываются как пики.



1986 году был изобретен **атомно-силовой микроскопа, или АСМ.** Принцип действия этого прибора такой же, как и у СТМ, но по поверхности образца проводится не поток туннелирующих частиц, а само острие зонда. Зонд устанавливается на конце упругой консоли, которая называется кантилевером и изгибается вверх-вниз под воздействием неровностей изучаемой поверхности. Отклонения зонда регистрируются лазерным лучом, направленным на кантилевер, — когда он изгибается, меняется угол отражения луча, который можно измерить при помощи светового датчика. Данные подаются на компьютер, и на их основе он строит рельефную карту поверхности, выводя ее на дисплей.



IV. *Задачи:*

1. Космический корабль, находящийся в состоянии покоя относительно некоторой ИСО, проводит сеанс связи с Землей, направляя в ее сторону лазерный луч. На какое расстояние от первоначального положения сместится корабль к окончанию сеанса связи, если мощность лазерного луча 60 Вт, масса корабля 10 т, продолжительность сеанса 1 ч? Влиянием всех небесных тел пренебречь.

2. Маленькое зеркало массой 0,2 г висит на невесомой и нерастяжимой нитке длиной 2 м. Перпендикулярно плоскости зеркала в его центр направлен луч лазера, работающего в импульсном режиме. Длительность импульса 8 мкс, средняя мощность импульса 0,2 МВт, а частота импульсов 6 кГц. Зеркало при этом отклонено от положения равновесия на некоторый угол. Найти амплитуду колебаний маятника после того, как лазер выключили.
3. Какую скорость могут приобрести электроны в электрическом поле лазерного пучка? Амплитуда напряженности поля равна 10^{11} В/м, частота $3 \cdot 10^{15}$ $с^{-1}$.
4. Цилиндр диаметром 1 мм и высотой 0,09 мм с зеркально-отражающими торцами висит в воздухе под действием лазерного излучения, направленного вертикально снизу в торец цилиндра. Найдите необходимую мощность излучения. Плотность вещества, из которого сделали цилиндр, равна $1{,}2 \cdot 10^3$ кг/м^3.
5. Лазерный усилитель представляет собой кювету, заполненную усиливающей свет средой (среда обладает инверсной заселенностью). На вход лазерного усилителя падает лазерное излучение мощностью 1 кВт, Мощность лазерного излучения на выходе из усилителя оказывается равной 10 МВт. Найти силу, которую нужно прикладывать к усилителю, чтобы удерживать его в неподвижном положении.

Вопросы:

1. Луч гелий-неонового лазера (λ= 0,633 мкм) направляется попеременно на красное стекло и на зеленое стекло. Какое из стекол испытывает большее давление? Стекла прозрачные.
2. Как измерить толщину человеческого волоса с помощью лазера?
3. Почему параллельные лучи лазеров не притягиваются друг к другу?
4. Если бы могли существовать метастабильные уровни со временем жизни несколько месяцев, то можно было бы запасать тепло летом и отдавать его зимой. Так ли это?
5. Как будет вести себя частица из диэлектрика в неоднородном электрическом поле (лазерный пинцет)?
6. Лазер излучает свет высоко монохроматический и когерентный. Является ли он поляризованным?
7. Почему лазерное излучение не может рассеиваться в обратном направлении в газах, а от твердых тел оно рассеивается?
8. Почему атомы инертных газов в возбужденном состоянии могут вступать в химические реакции?
9. Если светящийся красный светодиод погрузить в жидкий азот, то его свет превращается в зеленый. Почему?
10. Почему одни предметы свет пропускают лучше, а другие предметы хуже?
11. Что вы теперь знаете о лазере?

12. Почему для существования огня нужно топливо, а также кислород и тепло?
13. Можно ли с помощью лазера уменьшить скорость атома?
14. Чем отличается поведение электрона в лазерном луче от поведения буя на волнах?
15. Если уподобить излучение света атомом прыжку спортсмена с вышки в воду, то, как на основе этой аналогии объяснить излучение света лампой накаливания; лазером?

Дополнительная информация. Приборы МРТ (магнитно-резонансная томография) работают, измеряя радиоволны, испускаемые молекулами воды в теле человека. Прежде всего, на организм воздействуют сильным магнитным полем (до 7 тесла). Ядро водорода, входящее в состав молекулы воды, состоит из одного протона, который имеет спин и меняет свою пространственную ориентацию в мощном магнитном поле. Если поместить протон во внешнее магнитное поле, то его спин будет либо направлен по направлению магнитного поля, либо противоположно, причём во втором случае его энергия будет выше. При воздействии на исследуемую область электромагнитным излучением определённой частоты часть протонов поменяют направление спина, а потом вернутся в исходное положение, излучая при этом полученный импульс радиоволн. Системой сбора данных томографа эти импульсы регистрируются.

V. § 98.

1. Оцените расходимость лазерного луча.
2. Погасив в комнате свет и направив на пламя спички свет светодиода (лазера), вы заметите, что освещенность пятна на стене изменяется. Почему?
3. Чем кошек так привлекает свет лазера?
4. Как по доплеровскому расширению, связанному с разбросом орбитальных скоростей частиц, вращающихся вокруг черной дыры, можно оценить по порядку величины ее массу?
5. При работе газоразрядного лазера со стеклянной оболочкой активного элемента наблюдается боковой свет. Не противоречит ли это высокой направленности света лазера?
6. Современные лазеры способны сжимать квадриллионы ватт световой энергии в пятно размером меньше толщины человеческого волоса. Оценить интенсивность излучения такого лазера?
7. Почему для передачи информации по оптическому волокну используют излучение инфракрасного лазера с длиной волны 1,55 мкм?
8. Почему лазерные пучки света не подчиняются принципу Гюйгенса-Френеля? Почему сбоку луч не виден?
9. Почему среднее время жизни возбужденного атома, находящегося в ловушке между двумя сверхпроводящими зеркалами, уменьшается в сотни раз?
10. Определите, насколько увеличится скорость звездолета после одного лазерного импульса, если для его создания аннигилирует горючее, масса которого составляет 10^{-8} массы звездолета. Какую относительную скорость приобрели бы два звездолета, если бы на них были установлены идеальные зеркала и луч лазера, многократно отражаясь от них, "расталкивал" бы звездолеты?
11. Один из типов не летального оружия, разрабатываемого в лабораториях мира, основан на следующем принципе. Короткий импульс мощного лазера (фтороводородного) быстро разогревает до испарения вещество на поверхности тела и создает ударную волну, сбивающую человека с ног. Приняв энергию лазера в импульсе вспышки 300 Дж, а длительность вспышки 3 мкс, оцените силу толчка ударной волны. Считайте, что практически вся энергия вспышки расходуется на испарение, а удельная теплота испарения вещества порядка 1 МДж/кг.

Молниевидный брызнет луч.
Ф. Тютчев

Дополнительная информация: Если лазерный световой импульс распространяется в квантовом усилителе, то его скорость становится в несколько раз больше скорости света, однако при этом информация не переносится!

Я знаю, как устроен атом!

Э. Резерфорд

Урок 18.

ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО ТЕМЕ "АТОМ".

Что вы теперь знаете об атоме?

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся по атомной физике.
ТИП УРОКА: повторительно-обобщающий.
ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающая таблица "Атом".
ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Фронтальное повторение
3. Самостоятельная работа
4. Задание на дом

II. Заполнение обобщающей таблицы: Атом.

1.	Общая характеристика объекта.	Атом - наименьшая часть химического элемента, носитель его свойств.
2.	Условия образования или возникновения.	Рождение Вселенной, вспышки сверхновых звезд, ядерные реакции.
4.	Из каких объектов состоит?	Из ядра и электронов (опыт Резерфорда).
5.	Основные физические свойства объекта.	Ионизируется, поляризуется в электрических и магнитных полях, излучает и поглощает свет.
6.	Основные количественные характеристики.	Масса, заряд ядра и электронной оболочки, энергия ионизации и энергия возбуждения, спектр излучения и поглощения.
7.	Модель объекта.	Натянутая струна (электрон - "зажатый" в поле ядра).
8.	Основные уравнения.	$E_2 - E_1 = h\nu_{21}$; $E_1 + h\nu_{12} = E_2$.
9.	Возможные состояния объекта.	Положительный и отрицательный ион, основное состояние, возбужденное состояние.
10.	Явления, которые могут происходить с объектом.	Объединение в молекулы, излучение и поглощение света.
11.	Практические применения.	Объяснение периодического закона, квантовый генератор, современные источники света.

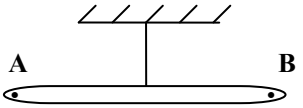
III. Самостоятельная работа по зачетным папкам.

IV. Конспект

1. Ночью над расположенными вдали городами наблюдается грязно-оранжевое свечение. Чем это обусловлено?
2. Почему атмосфера Земли, особенно у полюсов, является источником γ - лучей?
3. Электроны, постоянно меняя свое расположение в атоме и их поведение сродни большой стае птиц, в которой при синхронном движении нет какой-либо четкой границы. Все, что мы можем видеть при таком движении, представляет собой хаотично изменяющуюся неопределенную форму. Танцуя внутри атома, электроны могут получать и отдавать поступающую извне энергию. Именно поэтому свет не способен проникнуть сквозь стену, так как электроны атомов стены попросту забирают энергию света, отдавая ее спустя небольшой промежуток времени. Как это понимать?
5. Электроны в магнитном поле движутся по циклотронным орбитам. Их энергия и импульс квантуются. Чем сильнее магнитное поле, тем на более высокие орбиты «забираются» электроны и тем больше электронов на каждом уровне. Так ли это?
6. Почему небо голубое? Энергия возбуждения атомов атмосферы порядка 20 эВ, энергия

квантов видимого света порядка 1,5 – 3 эВ, поэтому атмосфера не может поглощать и рассеивать кванты видимого света. Однако время взаимодействия фотона с атомом ≈ 10^{-18} с, неопределенность в его энергии больше 20 эВ, поэтому атмосфера будет поглощать кванты видимого света и рассеивать их тем сильнее, чем меньше их длина волны.

7. Квантовая физика изучает квантовые объекты и квантовые явления. Приведите примеры.
8. Ученые в белых халатах держали этот фотон в маленьком атоме цинка и выпускали только в особых случаях. Есть ли смысл в этом предложении?
9. Сравните электрон в атоме с канарейкой в клетке, которая спрыгивает с верхней жёрдочки на более низкую, издавая при этом краткую трель. Высота звука этой песни будет зависеть от расстояния между жёрдочками.
10. Стержень из оптического волокна (световод) закреплен на оси вращения; на каждом из концов стержня находится шарик, внутри которого заключен атом. Если возбужден атом слева, то его энергия (масса) больше и в поле тяжести стержень будет поворачиваться (часть этой работы можно использовать). После этого атом излучает фотон (переходит в основное состояние), который, двигаясь по световоду, поглощается другим атомом и переводит его в возбужденное состояние. Это вызовет нарушение равновесия и новый поворот. Будет ли этот двигатель "вечным"?



11. Почему цвет облаков может изменяться от белого до черного цвета?
12. Почему цвет воды в океане меняется от голубого, как чистое небо, до серого — цвета неба, сплошь покрытого облаками?
13. К наблюдателю поступает рассеянный солнечный свет от многих молекул воздуха. Поскольку в среднем для каждой молекулы можно найти такую «молекулу-партнера», гасящую свет в направлении наблюдателя, свет к нему приходить не будет. Почему же днем небо яркое?

Не по слухам, а лишь на основании опыта!

Девиз школы «виртуозов» Роберта Бойля

Урок 19.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 7

Атом пуст, а предметы из атомов твердые на ощупь! Почему?

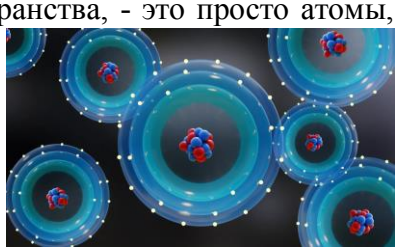
Тонкость природы во много раз превосходит тонкость наших рассуждений.
Френсис Бэкон

Почему атомы — величайшее чудо Вселенной.

"Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,
Множество маленьких тел в пустоте, ты увидишь, мелькая,
Мечутся взад и вперёд в лучистом сиянии света;
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и битвах,
В схватки бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя,
Или сходясь, или врозь беспрерывно опять разлетаясь.
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно
Первоначала вещей в пустоте необъятной мятутся.
Так о великих вещах помогают составить понятье
Малые вещи, пути намечая для их постиженья.
Кроме того, потому обратить тебе надо вниманье
На суматоху в телах, мелькающих в солнечном свете,
Что из неё познаёшь ты материи также движенья,
Происходящие в ней потаённо и скрыто от взора."
Тит Лукреций Кар, "О природе вещей". Книга Вторая ст.114-128

Один из самых удивительных фактов нашего существования был впервые постулирован более 2000 лет назад Демокритом. На каком-то уровне каждая часть нашей материальной реальности может быть сведена к ряду крошечных неделимых компонентов-атомов,

сохраняющих свои важные индивидуальные характеристики, которые позволяют им собираться воедино и создавать все, что мы видим, знаем, встречаем и переживаем. Атом настолько мал, что если подсчитать общее количество атомов, содержащихся в одном человеческом теле, то получится около 10^{28}. Это более чем в миллион раз больше, чем количество звёзд во всей видимой Вселенной. Несмотря на малость, именно атом лежит в основе всего известного нам вещества во Вселенной - от обычного газообразного водорода до человека, планет, звёзд и т.д. Все вещество в нашей Вселенной - твёрдое, жидкое или газообразное - состоит из атомов. Даже плазма, возникающая в условиях очень высоких энергий или в разреженных глубинах межгалактического пространства, - это просто атомы, лишённые одного или нескольких электронов. Атомы сами по себе очень простые образования, но даже при таких простых свойствах они могут собираться в сложные комбинации, которые просто поражают воображение. Правда буквально слово «неделимый» не совсем применимо к атомам, поскольку они состоят из протонов, нейтронов и электронов. Любая попытка «разделить» атом дальше приводит к потере его сущности - того факта, что он является определённым, конкретным элементом таблицы Менделеева, главное в которой – это периодичность химических свойств. Поведение атомов поистине удивительно. Рассмотрим следующие факты:



- Они состоят из небольшого массивного положительно заряженного ядра, вокруг которого вращается большое мало массивное рассеянное облако отрицательно заряженных электронов.
- При приближении друг к другу атомы поляризуются и притягиваются, в результате чего они либо обмениваются электронами (ковалентно), либо один атом отбирает у другого один или несколько электронов (ионно).
- Когда несколько атомов связываются друг с другом, они могут образовывать молекулы (ковалентно) или соли (ионно), которые могут быть как простыми, состоящими всего из двух атомов, так и сложными, состоящими из нескольких миллионов атомов. Связанные состояния атомов, которые складываются в почти бесчисленное множество конфигураций, могут взаимодействовать друг с другом самыми разнообразными способами. Соедините вместе большое количество аминокислот - и вы получите белок, способный выполнять ряд важных биохимических функций. Добавьте к белку ион - и вы получите фермент, способный изменять структуру связей в различных молекулах.

Существует два ключа к пониманию того, как взаимодействуют атомы.

- Каждый атом состоит из электрически заряженных компонентов - положительно заряженного ядра и ряда отрицательно заряженных электронов. Даже когда заряды статичны, они создают электрические поля, а когда заряды находятся в движении, они создают магнитные поля. В результате каждый существующий атом может стать электрически поляризованным при попадании в электрическое поле или проявить свою намагниченность при воздействии магнитного поля.
- Электроны, вращающиеся вокруг атома, будут занимать самый низкий доступный энергетический уровень. Поскольку электрон может находиться только на определенных расстояниях от атомного ядра, он может занимать определённый набор значений энергии, диктуемый правилами квантовой механики. Распределения вероятности нахождения электронов в зависимости от энергетического уровня также определяются правилами квантовой механики и подчиняются определённому распределению вероятности, которое однозначно вычисляется для каждого типа атомов с любым произвольным числом связанных с ними электронов. Это позволяет понять, как взаимодействуют атомы друг с другом и даже предсказать свойства молекул и их взаимодействие с другими молекулами.

Линии оптоволоконной связи

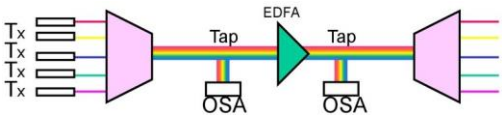
Еще сотни лет назад моряки определяли свое местоположение в море по частоте вспышек на маяках. Каждый маяк имел свою «зарезервированную» частоту, примерно как сейчас в телевидением или радио. Даже ночью в тяжелых погодных условиях можно было точно понять, к какому конкретно порту приближается корабль.

В 1961 году Элиас Снитцер опубликовал теоретическое описание одномодового волокна. Он предположил, что можно:

- направить ИК лазер через очень тонкий прозрачный канал из стекловолокна, диаметр которого сопоставим с длиной волны (в современных системах — 9 мкм при длине волны 1,55 мкм).
- поместить все в «отражающую» оболочку из более толстого стекла с меньшим показателем преломления (опять же, в современных кабелях речь обычно идет о диаметре в 125 мкм).

В результате свет будет испытывать полное внутреннее отражение на границе раздела двух сред с разными показателями преломления — все как в классической оптике. Потери из-за рассеивания будут меньше, а значит, сигнал можно будет передать на большее расстояние. Идеально на роль проводника света с точки зрения прозрачности и чистоты подходит плавленый кварц, он же — кварцевое стекло. Легирование кварца оксидом германия значительно снижает затухание сигнала. Дальнейшие исследования показали, что чем меньше частота колебаний в ИК спектре, тем проще фотонам проскочить сквозь узлы в атомной решетке материала. С появлением гетеролазеров на основе арсенида галлия-индия (InGaAs) в 80-х годах получилось создать излучение с длиной волны 1300 нм и еще уменьшить затухание. Оптоволоконная связь начала распространяться по миру. Кабели начали прокладывать под водой и поняли, что про старые-добрые медные кабели для телекоммуникации можно забыть. Первый трансатлантический кабель с применением оптоволокна проложили в 1988 году. Он позволял передавать поток данных со скорость 280 Мбит/с, что соответствовало 40000 телефонных линий. И передача сигнала в нем была возможна при помощи электронных повторителей — они ставились через каждые 40 км и усиливали сигнал на величину затухания. Стоимость прокладки кабеля составила 330 миллионов долларов. Это очень дорого!

Почему бы не попробовать усилить свет светом? Для этого передаваемый сигнал попадает на участок кабеля длиной около 3 метров, сердцевина которого легирована эрбием. При «накачке» эрбия полупроводниковым лазером с длиной волны 980 нм или 1480 нм его атомы переходят в возбужденное состояние и излучают дополнительные фотоны, которые значительно усиливают основной сигнал примерно 1000 раз (технология EDFA)! Атомы эрбия дают приемлемый коэффициент усиления для длин волн в диапазоне от 1530 до 1570 нм. Это достаточно широкая полоса, чтобы в одномодовом волокне можно было принять несколько сигналов, каждый из которых имеет свою, гораздо более узкую полосу длин волн (скажем, с шагом в 0,8 нм получится 50 каналов, а с шагом 0,4 нм уже 100 каналов).



Влияние технологии EDFA было колоссальным — ведь появилась возможность передачи огромного потока данных на тысячи километров без дополнительных усилений, а также разделять их на отдельные полосы разной длины волны. Это увеличило пропускную способность на несколько порядков. По сути, именно из-за EDFA прямо сейчас миллионы людей одновременно имеют широкополосный доступ в интернет.

- *Если вы ученый, квантовый физик и не можете в двух словах объяснить пятилетнему ребенку, чем вы занимаетесь, — вы шарлатан.*
- *Себя легче всего одурачить. Здесь надо быть очень внимательным.*
- *Вовсе не обязательно быть ответственным за тот мир, в котором живешь.*

Фейнман

В осеннем лесу, на развилке дорог,
Стоял я, задумавшись, у поворота;
Пути было два, и мир был широк,
Однако я раздвоиться не мог,
И надо было решаться на что-то.
Роберт Фрост в стихотворении «Другая дорога»

Каждый атом твоего тела произошёл от взорвавшейся звезды. И, возможно, атомы твоей левой руки принадлежали другой звезде, не той, из которой атомы правой. Это самая поэтичная вещь, которую я знаю о физике: мы все сделаны из звёздной пыли. Вас бы здесь не было, если бы звёзды не взорвались, потому что химические элементы — углерод, азот, кислород, железо, всё, что нужно для зарождения эволюции и для жизни, не были созданы в начале времён. Они были созданы в ядерных топках звёзд, и, чтобы превратиться в ваши тела, звёзды должны были взорваться. Так что забудьте про Иисуса. Звёзды погибли, чтобы вы сегодня были здесь.

Lawrence M. Krauss, теоретический физик и космолог.

Есть семь чудес?! Не правда то,
Весь мир, чем вам не чудо?
Как создан он, и создал кто?
И взялся он откуда?
Автор неизвестен

Я до сих пор изумляюсь, когда смотрю на ядерный реактор.

Нильс Бор

Как только базовые знания получены, любая попытка помешать их применению на практике будет столь же тщетной, как и попытка остановить вращение Земли вокруг Солнца.

Энрико Ферми

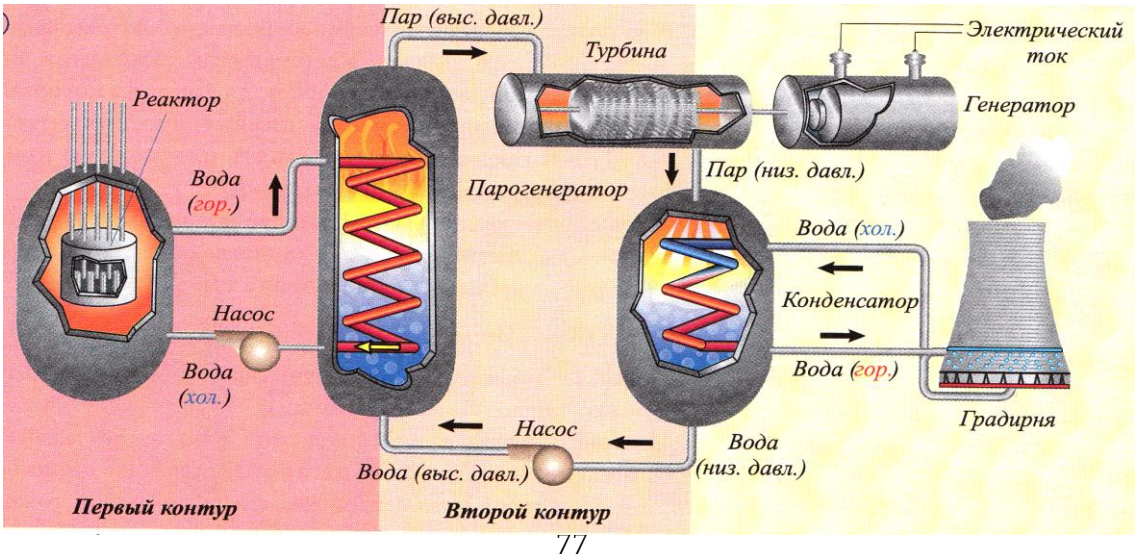
О том поразмысли, что ждет впереди;
Цель, выбрав благую, к ней прямо иди.

Фирдоуси

Сможем ли мы выжить в эпоху развития технологий?

Джон фон Нейман (1955)

ПРИМЕРНЫЕ ПЛАНЫ УРОКОВ ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ



Поразительно! Только подумать, что все эти данные были у меня в руках, а я ни о чем не догадался!

А. К. Доиль. Записки о Шерлоке Холмсе

Урок 20.

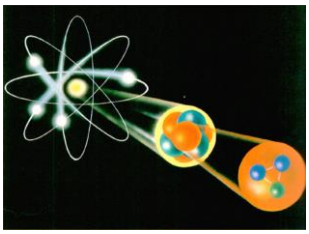
СОСТАВ ЯДРА АТОМА

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. Лекция
3. Демонстрация кинофрагмента
4. Закрепление
5. Задание на дом

II. Ядерная физика - раздел физики, посвященный изучению структуры атомного ядра, процессов радиоактивного распада и механизма ядерных реакций.

Что было известно об атомном ядре к 1932 году?

- Размеры атомных ядер ~ 10^{-12} – 10^{-13} см. Радиус ядра: $R \approx 1{,}3 \cdot \sqrt[3]{A} \cdot 10^{-15}$ *м.*
- Электрический заряд ядер. Заряд ядра в единицах элементарного заряда равен порядковому номеру элемента в периодической таблице. $q_я$ = Z эл. зарядов = $Z \cdot e$. $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
- Массы ядер. Масса ядра чуть меньше массы атома: $m_я = m_a - Zm_e$. Обычно массы атомов даны в атомных единицах массы (а.е.м.). 1 а.е.м. = (1/12) m_{oc} = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг или 931,5 МэВ/c^2. **Массовое число (А) - округленная до целого числа масса атома в атомных единицах массы**.
- Форма атомных ядер ("размазанность" и деформации).
- Ядра могут распадаться.
- Ядро атома водорода - протон (р) или (^1_1H): m_p = 1,00728 а.е.м.; q_p = 1 эл. заряд = e; спин (собственный момент количества движения): $s = \frac{1}{2}\hbar$.

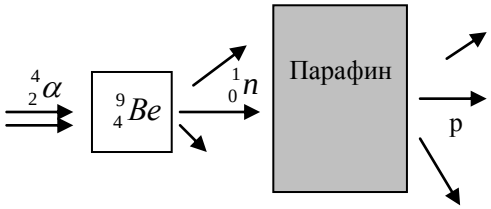
Протон бессмертен, если не встретит антипротон!

- Кроме протона физикам был известен и электрон: $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг $\approx$ 0,00054 а.е.м.; q_e = - 1 эл. заряд = - e, $s = \frac{1}{2}\hbar$. 29 апреля 1897 года английский физик Джозеф Томсон сообщил коллегам об открытии им электрона.

Символическое обозначение атомных ядер: $^A_Z X$. Примеры: ^4_2He, ^2_1H, ^9_4Be.

Состав ядра атома. **Протонно-электронная гипотеза строения ядра** (в то время были

известны только электрон и протон). Состав ядра атома лития $^{6}_{3}Li$ на основе этой модели (рисунок на доске). Спин ядра полуцелый, но в опытах было установлено, что он целый! Почему электроны не могут находиться внутри атомного ядра?



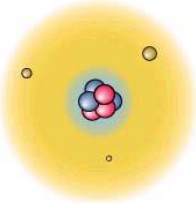
Открытие нейтрона. Опыты Чедвика и их интерпретация: $^{4}_{2}\alpha + ^{9}_{4}Be \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n$.

Эти экспериментальные результаты очень трудно объяснить на основании гипотезы, что излучение бериллия представляет собой $^{9}_{4}Be$ квантовое излучение, но они непосредственно вытекают из предположения, что излучение состоит из частиц, которые имеют массу, приблизительно равную массе протона, но не имеют заряда.

Чедвик

Нейтрон (n), от лат. neuter - ни тот, ни другой: m_n =1,00866 а.е.м., q_n = 0, s = $\frac{1}{2}\hbar$.

Протонно-нейтронная модель ядра. Состав ядра атома азота на основе этой модели: $^{6}_{3}Li$. **Зарядовое число (Z) равно числу протонов, входящих в состав ядра:** совпадает с порядковым номером элемента в периодической таблице. **Все свойства атома определяет всего одна величина: количество протонов в ядре!** За счет этого образуется уникальный набор связей с другими атомами, и открывается почти неограниченный набор возможностей для типов молекул, ионов, солей и более крупных структур, которые он может образовывать. При этом каждый элемент имеет свой уникальный набор свойств: твердость; цвет; температуры плавления и кипения; плотность; проводимость; электроотрицательность; энергия ионизации.



Строение атомных ядер: $^{3}_{2}He$, $^{7}_{3}Li$, $^{9}_{4}Be$. Каков состав ядра $^{235}_{92}U$? 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. Если бы **не нейтрон**, то существовал бы только водород!

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}H равна 1,0078250 а.е.м, масса тяжелого изотопа водорода - дейтерия ^{2}H равна 2,0141018, а масса гелия ^{4}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.

$^{35}_{17}Cl$ – 75%; $^{37}_{17}Cl$ – 25%; $A_{ср} = \frac{A_1\% + A_2\%}{100\%}$. После открытия изотопов стали различать «простой элемент» и «смешанный элемент». Почему?

Другие примеры с изотопами урана и водорода:

$^{238}_{92}U$ - 99,3%	$^{1}_{1}H$ = 99,985%
$^{235}_{92}U$ - 0,7%	$^{2}_{1}H$ (дейтерий) = 0,015% (1932 год, Гарольд Юри)
$^{234}_{92}U$ - 0,006%	$^{3}_{1}H$ – тритий (содержание незначительно)

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

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.

III. Демонстрация кинофрагмента.

IV. *Задачи:* 1. Вычислить плотность вещества, из которого состоит ядро $^{4}_{2}He$, считая его радиус равным 10^{-13} см.

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.

2. Молярная масса газообразного молекулярного водорода 3 г/моль из-за значительного количества в газе атомов дейтерия. Определите долю этих атомов.

V. § 93-94. Вопросы 5,6 к § 94.

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

Урок 21.

ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ. ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР.

Почему протоны в ядре не разлетаются в стороны?

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить учеников рассчитывать энергию связи атомных ядер.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофильм "Силы природы", кинофильм "Ядерные реакции".

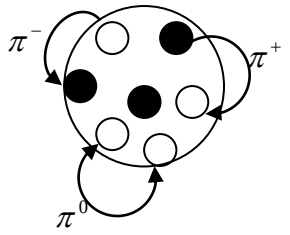
ПЛАН УРОКА:

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

II. Опрос фундаментальный: 1. Что было известно об атомном ядре к 1932 году? 2. Открытие нейтрона. 3. Протонно-нейтронная модель ядра.

Задачи:

1. Чем отличаются по составу ядро легкого изотопа гелия от ядра сверхтяжелого изотопа водорода?
2. Вычислите отношение силы электростатического отталкивания к силе гравитационного притяжения двух протонов в ядре.



III. Состав атомного ядра на примере $^{7}_{3}Li$. Почему ядро устойчиво? Ядерные силы (сильное взаимодействие). π-мезоны – кванты ядерного поля. Обменный характер ядерных сил. Нуклон всегда окружён своеобразной «мезонной шубой», т.е. облаком постоянно испускаемых и поглощаемых π-мезонов, распространяясь на расстояния порядка 2,5 пм.

Пи-мезоны (пионы).	Заряд	Масса
$\pi+$	1 эл. заряд	273,1 m_e= 139,6 МэВ
π^0	0	264,1 m_e= 135 МэВ
π^-	- 1 эл. заряд	273,1 m_e= 139,6 МэВ

Свойства ядерных сил:

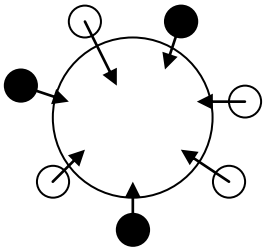
- **Короткодействующие ~ 10^{-13}см.**
- **Обладают зарядовой независимостью.**
- **Самые мощные из известных сил природы.**

- **Возникают между адронами.**

Ядро - пульсирующий сгусток мимолетных частиц.

«Физики могут объяснить даже то, что невозможно представить». Л. Ландау

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

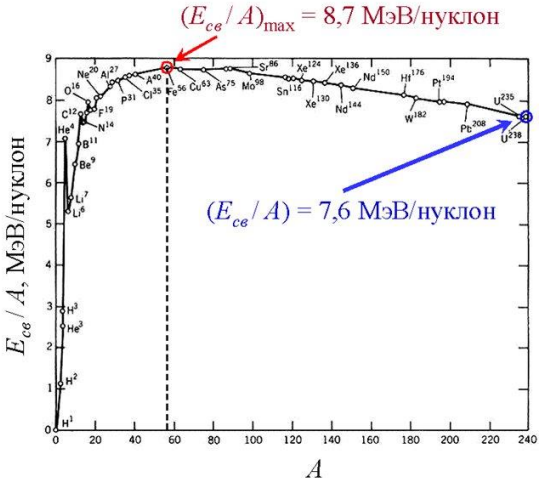


Мысленное разделение ядра лития на нуклоны. Что мы имеем? Что произойдет, если частицы опять сблизить? γ-кванты. Что мы будем иметь? Дефект массы: $\Delta m = m_л - m_п$. Энергия γ - квантов: $E = \Delta m \cdot c^2$. Какую энергию необходимо затратить для разделения ядра на нуклоны? $E_{св} = \Delta m \cdot c^2$.

Поскольку в справочниках дана атомная масса, то $\Delta m = Z\, m_p + N\, m_n - (m_a - Z\, m_e)$. Устойчивы только те ядра, у которых $\Delta m > 0$.

Вопрос: Почему при слиянии ядер из отдельных нуклонов «арифметика не работает»? **Удельная энергия связи:** $E_{уд} = E_{св}/A$. Обсуждение графика. Показать, что график дает возможность грубо оценить энергию связи ядра атома.

Сильное взаимодействие можно интерпретировать как уничтожение одних частиц и рождение других. Сильное взаимодействие возникает между нейтронами, протонами и некоторыми другими частицами, общее название которых - адроны.



IV. *Задачи:*

1. Вычислить энергию связи ядра $^{16}_{8}O$ в МэВ.
2. Найдите энергию связи ядра, которое имеет одинаковое число протонов и нейтронов и радиус, который в 1,5 раза меньше радиуса ядра Aℓ -27.

Вопросы:

1. Каким образом открытие нейтрона позволило объяснить наличие изотопов?
2. Поясните смысл выражения: «Ядерные силы обладают зарядовой независимостью».
3. Что вам известно о тяжелой воде?

Что же меняет лишний нейтрон? На удивление, это изменение почти не влияет на химические свойства атома. Однако если бы вы решились добавить протон, вы бы столкнулись с настоящей магией. Атом дейтерия стал бы изотопом атома гелия!

4. Есть ли ограничение на количество протонов и нейтронов в ядре?
5. Дефект массы ядра N - 15 равен 0,12396 а.е.м.. Найдите массу ядра (атома).
6. Атомные массы химических элементов в таблице Менделеева иногда сильно отличаются от целых чисел. Почему?
7. Почему не могут существовать ядра атомов, содержащие произвольное количество протонов и нейтронов, например, $^{7}_{2}He$?

8. Если в атоме энергия связи электрона порядка 10 эВ, то в ядре энергия связи нуклона порядка нескольких МэВ. Почему?

V. §§ 95-96. Упр.13, № 4,5.

1. В 1815 году Вильям Проут 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. Используя соотношение неопределенности для энергии и времени, оцените массу пиона.
3. Из десятков тысяч возможных наборов протонов и нейтронов только около 250 стабильны, но почему именно они?
4. Во сколько раз радиус ядра U - 238 больше радиуса ядра He – 3?
5. Вообразите мир без сильного взаимодействия. Чем еще интересен этот мир?

Хоть простота приятней людям,
Но сложное доступней им.
Б. Пастернак

Урок 22.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Благодаря сильному ядерному взаимодействию "работает" водородная бомба!

ЦЕЛЬ УРОКА: Сформировать у учеников представление о способах определения энергии связи атомных ядер.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: микрокалькулятор, справочник.

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Ядерные силы. 2. Энергия связи атомных ядер.

Задачи:

1. Вычислите полную и удельную энергию связи ядра $^{6}_{3}Li$. При дефекте массы 1 а.е.м. энергия связи ядра 931,5 МэВ.
2. Поглощается или выделяется энергия при образовании ядра атома дейтерия $^{2}_{1}H$ из покоившихся протона и нейтрона?
3. Сколько энергии надо затратить, чтобы разделить молекулу водорода H_2 на два свободных протона и два свободных электрона?
4. Равны ли между собой энергия связи нуклона в ядре и удельная энергия связи ядра? Ответьте на этот вопрос, проведя мысленные опыты с ядром $^{4}_{2}He$.

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. Как с помощью соотношения неопределенности оценить энергию связи нуклонов в ядре?
4. Почему не бывает атомных ядер, состоящих только из двух протонов или только из двух нейтронов?

5. Почему одна двенадцатая часть массы атома углерода больше одной шестнадцатой части массы атома кислорода?
6. Почему ядра тяжелых элементов распадаются, ведь чем больше нуклонов в ядре, тем больше должны быть ядерные силы?
7. Чему равна энергия связи ядра атома водорода?
8. Почему атомные веса химических элементов даже приблизительно не являются кратными атомному весу водорода, ведь массы протона и нейтрона примерно одинаковые, а массой электронов по сравнению с ними можно пренебречь?
9. Можно ли рассматривать нейтронную звезду, как ядро химического элемента с очень большим порядковым номером?

III. *Задачи:*

1. Энергия связи ядра трития $^{3}_{1}H$ равна 8,5 МэВ. Определите: а) дефект масс этого ядра; б) массу ядра.
2. Докажите, что ядро $^{8}_{4}Be$ нестабильно и распадается на две α - частицы (по этой причине во Вселенной малое процентное содержание тяжелых элементов). M_{Be} = 8,00531 а.е.м.
3. Пользуясь графиком удельной энергии связи, определите энергию связи ядра дейтерия, железа, урана.

IV. §§ 94-96 (повторение).

Слово "атом" не должно нас смущать - оно нам знакомо с давних времен; о неделимости атома не думает в настоящее время ни один физик.

Л. Больцман

Урок 23. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

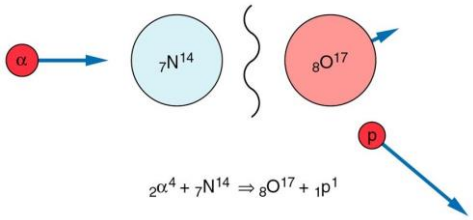
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с условиями протекания ядерных реакций, методами расчета выделения энергии.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: справочник, микрокалькулятор.

ПЛАН УРОКА:

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



II. Опрос фундаментальный: 1. Энергия связи атомных ядер. 2. Удельная энергия связи.

Задачи:

1. Стабильно ли ядро $^{12}_{6}C$ относительно распада на три α - частицы?
2. Какое ядро может образоваться при соединении двух ядер $^{12}_{6}C$ и какая энергия выделится при этом?

Вопросы:

1. Как установить, какой из изотопов стабильнее?
2. Что требует большей энергии: отрыв от атома нейтрона, электрона или протона?

3. Удельная энергия связи зависит от массового числа. Значит ли это, что у изобар энергии связи одинаковы?
4. Между нуклонами действуют ядерные силы, почему тогда все ядра не слились в одно большое ядро?
5. Как с помощью соотношения неопределенности оценить массу пиона, переносящего сильное взаимодействие?

III. Ядерные реакции - превращения атомных ядер при взаимодействии с частицами, в том числе с фотонами или друг с другом.

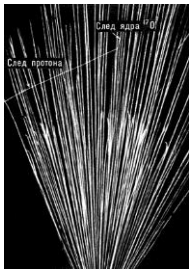
Состав окружающего нас сегодня материального мира представляет собой продукт ядерных реакций, происходящих на протяжении истории Вселенной.

Условия протекания ядерных реакций. Для протекания ядерной реакции необходимо сближение частиц до 10^{-13} см. Ускорители протонов (70 ГэВ).

Теватрон способен придавать протонам энергию, превышающую их энергию покоя в 1000 раз, БАК - в 7000 раз. Ускорители электронов (преодоление экранирующего влияния электронных оболочек атома). Бомбардировка мишени пучком ускоренных частиц. Какие из частиц являются лучшими снарядами для исследования атомных ядер?

Что конкретно произойдет с ядром, зависит от энергии налетающей частицы и энергии связи нуклонов:

- Частица может быть захвачена ядром атома и, вызвать ядерную реакцию.
- Частица может расщепить ядро на фрагменты.
- Частица может отскочить от ядра при упругом ударе.



Ядерные реакции подчиняются законам сохранения электрического заряда, энергии, импульса.

Примеры ядерных реакций:

Бомбардируя атомы азота альфа-частицами, Резерфорд обнаружил, что столкновение может выбивать протон из ядра атома азота, а альфа-частица при этом сливается с тем, что осталось, образуя кислород.

$\alpha + {}^{14}_{7}N = {}^{17}_{8}O + p$. Лучше так: ${}^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N = {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$. Почему лучше?

Еще пример ядерной реакции: ${}^{2}_{1}H + {}^{9}_{4}Be = {}^{10}_{5}B + {}^{1}_{0}n$.

Любая ядерная реакция – это разрушение одних ядер и образование других ядер. При разрушении ядра энергия затрачивается, при образовании нового ядра энергия выделяется. В общем случае эти энергии не равны друг другу, поэтому **ядерные реакции могут протекать с выделением или поглощением энергии.** Эта энергия в 10^6 раз больше, чем при химической реакции!

Расчет выделения энергии на примере ядерной реакции:

${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + n + 17{,}59$ МэВ.

Такие ядерные реакции называются реакциями синтеза!

Ядерные реакции деления на примере реакции:

$n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{139}_{56}Ba + {}^{95}_{36}Kr + 2n + 200$ МэВ.

Реакции распада на примере реакции: ${}^{8}_{4}Be \rightarrow 2 \cdot {}^{4}_{2}He$. Ядро не стабильное!

Сокращенная запись уравнения ядерной реакции. Например, реакцию $n + {}^{14}_{7}N \rightarrow {}^{14}_{6}C + p$ записывают в виде: ${}^{14}_{7}N\ (n, p)\ {}^{14}_{6}C$.

Каждый раз, когда происходит ядерная реакция, будь то синтез или деление, если масса продуктов реакции меньше массы частиц, в ней участвовавших, $E = mc^2$ говорит о том, сколько энергии будет высвобождено в этой реакции.

Пороговая энергия ядерной реакции – минимальная энергия налетающей частицы, при которой происходит данная реакция.

IV. *Задачи:*

1. Определить энергетический выход реакции, которую осуществил в 1919 г. Резерфорд. Он бомбардировал α-частицами азот: ${}^{4}_{2}He + {}^{14}_{7}N = {}^{17}_{8}O + {}^{1}_{1}H$. Поглощается или выделяется энергия в этой реакции? Масса атома азота m_1 = 14,003074 а.е.м., атома гелия m_2 = 4,002603 а.е.м., атома кислорода m_3 = 16,999133 а.е.м., атома водорода m_4 = 1,007825 а.е.м.
2. Одной из наиболее известных реакций термоядерного синтеза является реакция слияния дейтерия и трития: ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + n$. Какая энергия выделяется в этой реакции? Энергия связи дейтерия 2,228 МэВ, трития - 8,483 МэВ, гелия 28,294 МэВ.

   Решение: В данной реакции происходит разделение ядер дейтерия и трития на составляющие их частицы, на что затрачивается энергия их связи, после чего образуется ядро гелия и теперь энергия выделяется. Тогда энергетический выход данной ядерной реакции E = 28,294 МэВ – (2,228 МэВ + 8,483 МэВ) = 17,583 МэВ.
3. Определите энергию связи нейтрона в ядре изотопа ${}^{14}Ne$, если энергии связи ядер изотопов ${}^{14}Ne$ и ${}^{13}Ne$ равны соответственно 104,66 МэВ и 94,10 МэВ.
4. Образовавшееся в результате ядерной реакции неподвижное ядро ${}^{40}_{19}K$ испускает γ - квант с энергией 9,4 кэВ. Определите кинетическую энергию ядра после испускания γ - кванта.

Установленное Эйнштейном соотношение является основанием для дальнейших, значительно более важных выводов. Радиоактивная отслойка является с этой точки зрения одной из возможностей получения из материи огромных запасов энергии, техническое использование таких запасов энергии в принципе не представляется невыполнимым, и совсем недавно Резерфорд получил, по-видимому, подобные количества энергии, - правда, в микроскопическом масштабе, когда ему удалось разложить азот путем радиоактивного расщепления. Но не нужно предаваться иллюзии, будто техническая добыча указанной здесь энергии является вопросом непосредственного будущего, и что этим будет достигнуто обесценивание угля; с другой стороны, нельзя возражать и против того, что тут раскрывается одна из серьезнейших технических проблем.

1918 г, В. Нернст

V. §§ 97. Упр.13, № 6.

Прибавь еще один оттенок к радуге...

Шекспир

Урок 24.

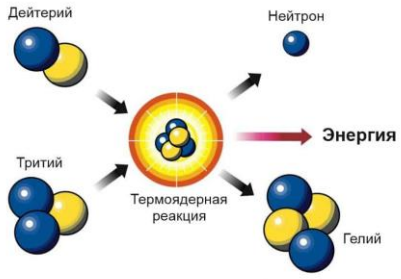
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

Химические элементы рождаются по-разному!

ЦЕЛЬ УРОКА: Научить рассчитывать энергетический выход ядерной реакции.

ТИП УРОКА: решение задач.

ОБОРУДОВАНИЕ: справочник, микрокалькулятор.



ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Опрос
3. Решение задач
4. Задание на дом

II. Опрос фундаментальный: 1. Ядерные реакции.

Задачи:

1. Определить, какой суммарной кинетической энергией должны обладать ядра дейтерия, чтобы сблизиться до расстояния г = $2\cdot10^{-15}$ м, на котором ядерные силы преобладают над кулоновскими силами. 0,72 МэВ
2. Какую группу нуклонов нужно отделить от $^{6}_{3}Li$, чтобы получить $^{4}_{2}He$? Какую энергию нужно затратить, чтобы отделить эти нуклоны как единое целое? Какова энергия связи α - частицы в ядре $^{6}_{3}Li$?
3. Определить энергию реакции $^{1}_{1}H + ^{7}_{3}Li \rightarrow 2\cdot\ ^{4}_{2}He$, если известно, что энергия связи на один нуклон в ядрах $^{7}_{3}Li$ и $^{4}_{2}He$ равны соответственно 5,60 и 7,06 МэВ.
4. При захвате нейтрона ядром лития происходит ядерная реакция $n + ^{6}_{3}Li \rightarrow ^{3}_{1}H + ^{4}_{2}He$, в которой выделяется 4,8 МэВ энергии. Найдите распределение энергии между продуктами реакции. Считайте кинетическую энергию исходных частиц пренебрежимо малой.

Вопросы:

1. Нейтроны легко проходят через блок свинца, но задерживаются в таком же объеме парафина, воды или другого соединения, в состав которого входят атомы водорода. Чем это объяснить?
2. Почему α-частицы, испускаемые радиоактивными препаратами, не могут вызвать ядерные реакции в тяжелых элементах, хотя они вызывают их в легких?

III. *Задачи:*

1. Определить энергетический выход реакции $^{1}_{1}H + ^{15}_{7}N = ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$, если масса атома азота m_1 = 15,0001089 а.е.м., водорода m_2 = 1,0078250 а.е.м., углерода m_3 = 12,0000000 а.е.м., гелия m_4 = 4,0026033 а.е.м.
2. Какую наименьшую энергию нужно затратить, чтобы «оторвать» один нейтрон от ядра азота $^{14}_{7}N$?
3. Вычислить энергию, необходимую для разделения ядра ^{20}Ne на две α – частицы и ядро ^{12}C, если известно, что энергия связи на один нуклон в ядрах Ne^{20}, ^{4}He и ^{12}C равна соответственно 8,03 МэВ, 7,07 МэВ и 7,68 МэВ.
4. Какая энергия (в МэВ) могла бы выделить при слиянии двух α-частиц и нейтрона в ядро атома бериллия $^{9}_{4}Be$? Удельные энергии связи: W_{Be} = 6,46 МэВ/нуклон, W_{α}= 7,07 МэВ/нуклон.

Энергию связи атомного ядра можно рассчитать, мысленно проведя ядерную реакцию деления ядра на протоны и нейтроны!

IV. §§ 96, 97

...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 25.

ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

Почему жидкий радон ярко светится голубым светом?

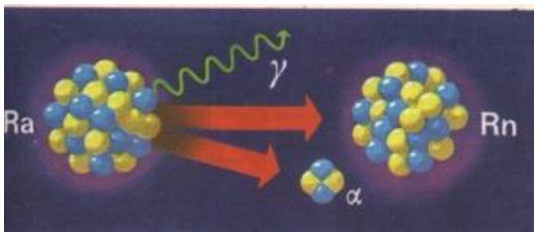
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с явлением естественной радиоактивности. Расширить их представления о свойствах атомного ядра.

ТИП УРОКА: урок-лекция.

ОБОРУДОВАНИЕ: кинофрагмент "Свойства радиоактивных излучений".

ПЛАН УРОКА:

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



II. *Задача:*

1. Определить энергетический выход реакции $^{1}_{1}H + ^{15}_{7}N = ^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He$, если энергия связи у ядер азота $E_{св1}$ = 115,494 МэВ, углерода $E_{св3}$ = 92,163 МэВ, гелия $E_{св4}$ = 28,296 МэВ.

Вопросы:

1. Каков состав ядра атома тория; радона?
2. Какова энергия связи ядра атома тория (использовать график зависимости удельной энергии связи от массового числа)?
3. Почему выделение внутриядерной энергии возможно, как при реакциях деления тяжелых ядер, так и при синтезе легких ядер?
4. Ядро некоторого элемента при бомбардировке нейтронами поглощает нейтрон, после чего из него вылетает α - частица. Как рассчитать кинетическую энергию продуктов этой ядерной реакции?
5. В чем различие атомной массы элемента и массового числа?

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.

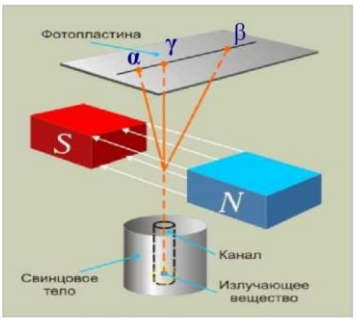
Классическая физика объяснить явление радиоактивности не смогла. 26 декабря 1898 года во Французской медицинской академии Пьер и Мария Кюри сделали первое сообщение об открытии радия. Работы супругов Кюри. Выделение радия и полония из урановой руды (за 4 года переработав тонны руды химическим способом, выделили 0,1 г радия). 20 апреля 1902 г - день получения супругами Марией и Пьером Кюри чистого радия. Уровень облучения от одного

грамма радия примерно такой же, как от тонны чистого урана. За год 1 г радия выделяет свыше 1 млн. кал, то есть энергию, которая освобождается при сгорании 170 г угля.
Полоний чрезвычайно токсичен, радиотоксичен и канцерогенен и если он попадает в организм, то он смертелен даже в ничтожно малых дозах.

Если что-то светится как радий, греет как радий и убивает как радий, то это радий.
Мария Складовская Кюри

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 γ - лучи, а Резерфорд в 1909 году выяснил, что α - 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 (α β и γ) радиоактивного излучения; их свойства.

α - компонента: скорость ~ 20000 км/с; масса ~ 4 а.е.м.; заряд 2е.

β^- – компонента: скорость ~ $3\cdot10^8$ м/с; масса $9{,}1\cdot10^{-31}$ кг; заряд = – е.

γ-компонента. Демонстрация диапозитива (уровни энергии ядра). В 1910 году английский физик Уильям Генри Брэгг доказал, что гамма-лучи представляют собой электромагнитные волны очень малой длины (меньше 10^{-11}м).

Все радиоактивные излучения обладают:

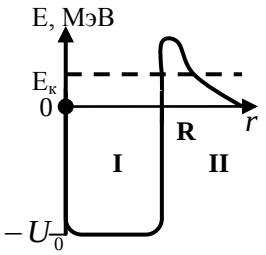
- **химическим (биологическим) действием;**
- **вызывают ионизацию газов (воздух);**
- **поглощаются веществом;**
- **вызывают флуоресцентное свечение ряда веществ.**

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 (альфа-частицы - это ядра гелия-4). В 1901 году английский физик Эрнест Резерфорд и его коллега Фредерик Содди обнаружили, что торий испускает альфа-частицы и

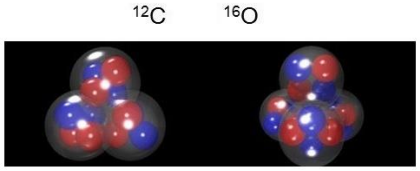
постепенно преобразуется в химический элемент радий (уменьшение радиоактивности изотопа тория $^{230}_{90}Th$ при обдувании образца). Внутриядерные превращения радиоактивных элементов. Содди назвал этот процесс трансмутацией. Все это очень смахивало на утверждение алхимиков о возможности превращения 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: $^{238}_{92}U \to \alpha + ^{234}_{90}Th + 4{,}2\,М\text{эВ} \to ^{A}_{Z}X \to \alpha + ^{A-4}_{Z-2}Y$

Дополнительный материал. Альфа-распад происходит по следующему сценарию. Сначала протоны и нейтроны объединяются в альфа-частицу внутри ядра (многие устойчивые ядра, например ^{12}C или ^{16}O, как бы формируются из альфа-частиц), но не могут покинуть его из-за высокого потенциального барьера, который создают ядерные и кулоновские силы. "Испарение" α - частиц (устойчивых комбинаций) из ядра атома происходит редко, при достаточной энергии α - частиц. В силу неопределенности энергии такое событие может произойти с очень маленькой вероятностью (туннельный эффект). Для α - частицы с кинетической энергией $E_к$, первоначально находившейся в тяжелом атомном ядре с Z > 82 (область I на диаграмме), потенциальная энергия её взаимодействия с оставшимся ядром изображена на рисунке. Например, для ядра урана разность между высотой барьера и энергией α-частиц равна порядка 12 МэВ. Аналогия со сжатой пружиной (ядерные силы) и растянутой пружиной (кулоновские силы). При распаде растянутая пружина рвется (частица приобретает кинетическую энергию), а сжатая пружина сжимается ещё сильнее (увеличивается удельная энергия связи). Как только частица окажется за пределами барьера, она отталкивается от ядра и улетает - происходит распад. Период полураспада ядра теллура-104 на ядро олова-100 и альфа частицу составил примерно 18 наносекунд. Корпускулярные свойства α - частиц (импульс, масса, заряд) особенно хорошо заметны вне ядра, например при движении их в камере Вильсона. Внутри ядра преобладают (то есть более заметны) волновые свойства α - частиц: частота и длина волны.



Дополнительный материал (туннельный эффект). Если на частицу будет действовать сила тяготения, электрическая сила или ядерная сила (потенциальная яма) и энергия частицы недостаточна для преодоления энергетического барьера, то в силу неопределенности энергии частица может с малой вероятностью буквально проскочить непреодолимое препятствие и оказаться по ту сторону любого барьера. Благодаря туннелированию работают многие знакомые нам электронные устройства, например, флешки. Информация в этих полупроводниковых носителях хранится с помощью заряженных частиц в объёме оксида кремния. Если необходимо стереть файлы, то единственным эффективным способом является туннелирование зарядов из флешки во внешнюю цепь.

Электронный бета-распад: $^{234}_{91}Pa \to \beta^- + ^{234}_{92}U + \tilde{\nu} + Q \to ^{A}_{Z}X \to \beta^- + ^{A}_{Z+1}Y + \tilde{\nu}.$

Дополнительный материал. При распаде одного и того же ядра электроны имеют различные энергии от нуля до некоторого максимального значения энергии (спектр электронов непрерывный и имеет верхнюю границу), которое определяется разностью энергетических состояний начального и конечного ядра (нарушение закона сохранения 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». *Непрерывный бета-спектр будет понятен нам только в том случае, если предположить, что во время бета-распада наряду с электроном образуется и нейтрон таким образом, что сумма энергий нейтрона и электрона является постоянной.*

В. Паули

«Недостающая энергия» привела к открытию мельчайшей, практически невидимой частицы! 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). При β – распаде нейтрон в ядре превращается в протон: **n → p + e⁻** $+\tilde{\nu}_e$ (1948 г). β - распад можно интерпретировать как уничтожение одних частиц в ядре атома и рождение других. Нейтрино практически свободно проносятся повсюду, принося с собой информацию из недр звезд и из недоступных уголков Вселенной. Хотя нейтрино обладают массой, она настолько бесконечно мала, что высокоэнергетические нейтрино движутся со скоростью, практически неотличимой от скорости света в вакууме.

2 сентября 2017 года станция IceCube зарегистрировала нейтрино с энергией порядка 300 триллионов электрон-вольт (нейтрино, проходя через воду и двигаясь быстрее скорости света, создает световую ударную волну). Для сравнения, протоны на Большом адронном коллайдере в Женеве достигают энергией в 6,5 триллиона электрон-вольт.

Позитронный бета-распад:

$${}^{22}_{11}Na \to \beta^+ + {}^{22}_{10}Ne + \nu + Q \to {}^{A}_{Z}X \to \beta^+ + {}_{Z-1}^{A}A + \nu.$$

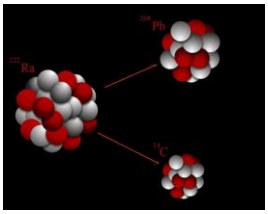
Гамма-распад: ${}^{A}_{Z}X \to \gamma + {}^{A}_{Z}X$. Ядро не распадается!

Согласно квантовой теории, любое атомное ядро должно обладать дискретной структурой энергетических состояний (уровней).

Радиоактивный распад - самопроизвольная ядерная реакция.

$${}^{238}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{234}_{90}Th \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{91}Pa \xrightarrow{\beta^-} {}^{234}_{92}U \xrightarrow{\alpha} {}^{230}_{90}Th \xrightarrow{\alpha} {}^{226}_{88}Ra \xrightarrow{\alpha} {}^{222}_{86}Rn \xrightarrow{\alpha} {}^{218}_{84}Po \to \ldots \to {}^{206}_{82}Pb$$

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. В последнее время популярность стали приобретать некие медальоны, заряженные скалярной энергией. Часть из них оказались избыточно радиоактивны, поскольку содержат урановое стекло или торий.



Кластерные распады происходят очень редко и насчитывают чуть более двух десятков ядер (с минимальным массовым числом 208) и характеризуются самопроизвольным испусканием более тяжёлых, чем альфа-частица ядер, начиная от углерода и заканчивая серой.

Радиоактивность - способность некоторых атомных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием частиц и электромагнитного излучения. 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.

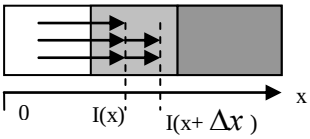
"Происходящие события можно проиллюстрировать на нашем примере с богачом. Атом М - это богатый купец, который при жизни не расстается с деньгами (с энергией). Но по завершению он передает свое состояние

сыновьям N и при условии, что они выделят для общества некую малую часть, меньшую одной тысячной всего имущества (энергии или массы)".

А. Эйнштейн

Дополнительная информация: Ослабление пучков частиц (нейтронов, γ - квантов, β - частиц) в плоских мишенях. Если I(x) - поток частиц на глубине x, а I(x + Δx) - на глубине (x + Δx), то $I(x) - I(x+\Delta x) = \mu I(x)\Delta x$ и $\frac{\Delta I}{\Delta x} = -\mu \cdot I(x)$. Тогда $\int_{I_o}^{I} \frac{dI}{I} = \int_{0}^{x} -\mu dx$ и

$\boxed{I = I_0 e^{-\mu \cdot x}}$. Если ввести понятие слоя половинного ослабления I(d) = $I_0/2$,



то $\mu d = \ln 2$ и $I(x) = I_0 2^{-\frac{x}{d}}$. В воздухе пробег α-частиц равен нескольким сантиметрам, β - частиц от 0,1 до 20 метров в зависимости от начальной энергии частицы. Число е круче, чем π! Вопрос в том, кто открыл число е?

Дополнительная информация. В начале XX века радий считался полезным продуктом и его добавляли буквально везде: хлеб, шоколад, питьевая вода, зубная паста, пудры и кремы для лица. Все были уверены, что та только улучшает здоровье. В США тогда даже продавался в качестве тоника весьма радиоактивный напиток. Сегодня ученые полагают, что он привел к смерти очень многих. К личным вещам Марии Кюри нельзя прикасаться ещё 1500 лет. «Мать современной физики» и сама была радиоактивна настолько, что похоронена в гробу с защитой из свинца.

III. *Задачи:*

1. Сколько α и β распадов должно произойти, чтобы ядро $^{234}_{92}U$ превратилось в $^{206}_{82}Pb$? Распад каждого отдельного атома происходит мгновенно.
2. Элемент атомной батареи представляет собой конденсатор, на одну из пластин которого нанесен радиоактивный препарат, испускающий α- частицы со скоростью $2{,}2 \cdot 10^6$ м/с. Определите ЭДС этого элемента.

В качестве топлива в атомных автомобилях используют радиоактивный металл торий, 1 г которого заменяет 30000 л бензина.

3. Определите максимальную кинетическую энергию β^+ - частиц, вылетающих при распаде $^{11}_{6}C$ в $^{11}_{5}B$. Какова максимальная энергия нейтрино? Какова его минимальная энергия? $m_{C^{11}_6}$ = 11, 01143 а.е.м. $m_{B^{11}_5}$ =11,00930 а.е.м.

Вопросы:

1. Почему в опытах Резерфорда (1903 г.) радиусы траектории α - частиц в сотни раз превышали радиусы траекторий β - частиц в опыте Беккереля (1899 г.)?
2. В ядро какого элемента превращается ядро изотопа тория $^{234}_{90}Th$, если оно претерпевает три последовательных α - распада?
3. В результате какого радиоактивного распада ядро $^{22}_{11}Na$ превращается в ядро магний-22?
4. Почему распадаются ядра радиоактивных элементов?
5. Почему α-частицы вылетают из ядра, несмотря на действие внутриядерных сил?
6. Чем объяснить тот факт, что испускаемые α-частицы имеют одинаковую энергию?

7. Радиоактивность можно измерить по напряженности электрического поля, которое это вещество создает в окружающем пространстве. Почему?
8. Одним из методов урановой разведки стало измерение потоков гелия, восходящих из глубинных пластов Земли. Почему?
9. Почему радий в чистом виде получить практически невозможно?
10. Почему α - частицы, испускаемые радиоактивными препаратами, не могут вызвать ядерных реакций в тяжелых элементах?
11. Почему при α - распаде одинаковых ядер энергии α - частиц одинаковы, а при β - распаде одинаковых ядер энергии β - частиц различны?

IV. §§ 89-91. Упр. 13, №1.

1. Чистый радон светится из-за радиоактивности. Как это объяснить?
2. Предложите идею толщиномера и уровнемера с использованием радиоактивного изотопа.

Там вдумчивые взгляды
Ведут неверный мост
Сквозь созидания и распады
От атомов до звезд.
Э. Верхари

Урок 26. 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. Заданы исходные и конечные элементы двух радиоактивных семейств: 1) $^{232}_{90}Th \rightarrow ^{208}_{82}Pb$; 2) $^{241}_{95}Am \rightarrow ^{209}_{83}Bi$. Сколько α- и β-превращений произошло в каждом семействе?
2. Изотоп нептуния $^{237}_{93}Np$ – родоначальник радиоактивного ряда, включающего в себя 11 ядерных реакций. На каком изотопе висмута $_{83}Bi$ он заканчивается и сколько α- и β-превращений включает?
3. Изотоп $^{218}_{84}Po$ может распадаться с испусканием либо α - частицы, либо β - частицы. Какая энергия выделяется в каждом из этих случаев?

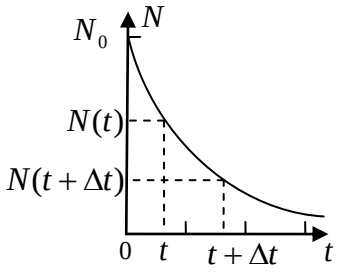
$M_{Po} = 218{,}008969$ а.е.м., $M_{Pb} = 213{,}99980$ а.е.м., $M_{At} = 218{,}008554$ а.е.м.

Вопросы:

1. Почему вылетающие из ядра при β - распаде электроны могут иметь разные энергии?
2. Возможна ли реакция распада: $p \rightarrow n + e^{+} + \nu_e$?
3. Ядро свинца $^{205}_{82}Pb$ может быть получено в результате α-распада полония Po или β-распада таллия Tℓ. Записать уравнения соответствующих ядерных реакций.
4. Почему Пьер Кюри обнаружил электрическое поле вокруг образца уранинита (соединение урана)?
5. Предположим, вас угощают тремя радиоактивными печеньями: одно из них является источником α - излучения, другое – β - излучения, а третье – γ - излучения. Одно из печений необходимо съесть, другое держать в руке, а третье – положить в карман. Как надо поступить, чтобы минимизировать действие радиации?
6. Возраст Земли – несколько миллиардов лет, а период полураспада радия – 1620 лет. Почему же на Земле ещё сохранился радий?
7. Почему бета – распад следует считать нуклонным, а не внутриядерным процессом, как альфа – распад?

8. Впишите недостающую частицу или ядро: а) $^{45}_{20}Ca \rightarrow ? + e^{-} + \tilde{\nu}$; б) $^{58}_{29}Cu \rightarrow ? + \gamma$. в) $^{46}_{24}Cr \rightarrow ^{46}_{23}Y + ?$.

III. Период полураспада (T) - промежуток времени, в течение которого распадается половина из наличного числа атомов данного радиоактивного элемента. Примеры: $T^{238}_{92}U = 4{,}5 \cdot 10^{9}$ лет, $T^{235}_{92}U = 710 \cdot 10^{6}$ лет (доля в природном уране 0,72%), $T^{234}_{92}U = 270 \cdot 10^{3}$ лет, $T^{226}_{88}Ra = 1620$ лет. У различных изотопов время полураспада варьируется от миллиардных долей секунды до миллиардов лет. Период полураспада не может быть изменен никакими внешними воздействиями!



Вывод закона радиоактивного распада с демонстрацией на магнитной доске и одновременное построение графика. Резерфорд в качестве рисунка для полагающегося ему герба барона, выбрал изображение кривой распада.

Основная $N = N_0 \cdot 2^{-\left(\frac{t}{T}\right)}$ и полезная формулы $\lg \frac{N}{N_0} = -\frac{t}{T} \lg 2$. Статистический характер закона радиоактивного распада. Сегодня мы понимаем, что просто невозможно предсказать, когда же именно конкретный атом постигнет распад! Распад чем-то напоминает процесс жарки кукурузы при изготовлении поп-корна: зерна отпадают от «початка» по одному, в совершенно непредсказуемом порядке, пока не отвалятся все. Демонстрация с бросанием монет и построение графика распада.

Понятие об активности радиоактивного элемента. Если в момент времени t образец содержит N(t) радиоактивных атомов, то в момент времени t + Δt их останется N(t+Δt).

Активность препарата: A = $\lim \frac{N(t)-N(t+\Delta t)}{\Delta t} = -N', A = \lambda N$; $\frac{dN}{dt} = -\lambda N \to N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$.

Число распадающихся в заданный промежуток времени ядер радиоактивного элемента пропорционально общему числу ядер соответствующего радиоактивного элемента.

Сравнивая две формулы, где N - принимает только целые значения, получим $\lambda = \ell n2/T$.

Для того чтобы понять, насколько стремителен экспоненциальный рост, представьте себе бактерию, которая делится надвое каждые 30 минут. Если ее развитию ничто не препятствует, тогда всего через несколько недель единственная бактерия породит колонию, масса которой сопоставима с массой планеты Земля.

При создании специальных условий скорость распада можно изменить?! Несколько групп исследователей говорят, что в феврале она выше, чем в августе?! Может ли быть такое?

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

Определение возраста образца (радиоуглеродный метод): Изотоп $^{14}_{6}C$ (T = 5730 лет) непрерывно образуется в верхних слоях атмосферы под действием нейтронов вторичного космического излучения: $^{14}_{7}N + n \to {}^{14}_{6}C + p$ (из-за постоянства потока нейтронов устанавливается динамическое равновесие и концентрация $^{14}_{6}C$ остается неизменной: 15 β-распадов на 1 г углерода: $^{14}_{6}C \xrightarrow{\beta^-} {}^{14}_{7}N.$). После смерти организма концентрация $^{14}_{6}C$ снижается. Почему? Этот метод помогает раскрывать тайны природы. Без него современная наука не смогла бы узнать, как функционируют и взаимодействуют земные сферы, в какое время жили разные животные, когда родился ты, дружок, и почему ты такой жирный.

Дополнительная информация: В 1957 году чета Ионссонов продала свой дом и переехала в Рейкьявик. Спустя неделю стариков арестовали за преднамеренное убийство. С помощью радиоуглеродного метода удалось установить, что убийство совершено в 1350 году?!

IV. *Задачи:*

1. Имелось некоторое количество радиоактивного радона. Количество радона уменьшилось в 8 раз за 11 ,4 дня. Каков период полураспада радона?
2. Изотоп водорода $^{3}_{1}H$ (тритий) имеет период полураспада 12,33 года. Его можно использовать для датировки предметов, возраст которых не превышает 100 лет. Тритий образуется в верхних слоях атмосферы и переносится на Землю с дождем. Определите возраст бутылки вина, если активность трития в нем составляет 1/10 активности в молодом вине.
3. Образец руды содержит уран и свинец Pb-206. Считая, что образец содержит 0,85 г изотопа Pb-206 на каждый грамм изотопа U-238, определите возраст данного образца руды.
4. Вода одного из радиево-радоновых источников Мацесты имеет объёмную активность 2,2 ГБк/л. Активность обусловлена наличием в воде изотопов Ra-226 и Rn-222, испускающих α-частицы со средней энергией 5,2 МэВ. Какую дозу излучения получит человек массой 65 кг в течение часа, если выпьет один литр этой воды? 0,10 Гр
5. Количество радиоактивного изотопа углерода $^{14}_{6}C$ в старом куске дерева составляет 0,312 массы этого изотопа в живых растениях. Определите возраст этого куска дерева, если период полураспада изотопа $^{14}_{6}C$ равен 5570 годам?

V. § 92, Упр. 13, № 2-3.

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.
3. Предложите проект γ - лазера.

Дополнительные задачи:

1. Возраст археологических образцов можно определить по содержанию в них радиоактивного углерода $^{14}_{6}C$, период полураспада которого 5730 лет. Радиоактивность атмосферного углерода 0,255 Бк на грамм углерода (удельная активность). Найдите возраст находки, у которой 100 мг углерода дают 35 распадов в час.
2. Площадь поверхности озера, покрываемая одной кувшинкой, каждый день увеличивается вдвое. Через десять дней вся поверхность озера оказывается, покрыта ею. За сколько дней покроют все озеро две волшебные кувшинки?
3. Известно, что радий массой 1 г за время 1 с дает $3{,}7 \cdot 10^{10}$ ядер гелия. Каково будет давление гелия, образующегося в герметичной ампуле вместимостью 1 см^3, в которой в течение года находилось 100 мг радия? Температура ампулы 15^{0}С.

В микромир бы мне пробраться,
В мир незримых величин,
В край, где корни коренятся
Всех последствий и причин;
В царство малых измерений
Вникнуть, где на миллион
Действенных микромгновений
Миг обычный расщеплен.
Вадим Шефнер

Урок 27. МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Водяной пар становится видимым, когда он конденсируется в мелкие капельки воды.

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников со способами регистрации радиоактивных излучений.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: счетчик Гейгера, выпрямитель ВУП-2, громкоговоритель, электросчетчик "Кварц", камера Вильсона. Диафильм "Трековые приборы в ядерной физике", кинофрагмент "Обнаружение радиоактивных излучений".

ПЛАН УРОКА:

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

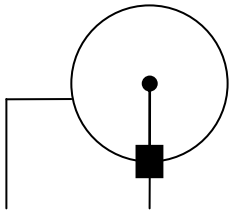
II. Опрос фундаментальный: Закон радиоактивного распада.

Задачи:

1. Какая доля радиоактивных ядер распадается через интервал времени, равный половине периода полураспада? 29%
2. Сколько β-частиц испускает в течение одного часа $1 \cdot 10^{-9}$ кг изотопа ^{24}Na,

период полураспада которого равен 15 ч?

3. В некоторый момент времени счетчик радиоактивного излучения, расположенный вблизи препарата F^{18}, зафиксировал 100 отсчетов в секунду. Через 20 мин показание уменьшилось до 87 отсчетов в секунду. Определите период полураспада радиоактивного изотопа.
4. Сколько дней нужно выдержать сыр, прежде чем употреблять его в пищу, если он произведен из молока, загрязненного радиоактивным изотопом I-131? Начальная активность превышает допустимую в 1000 раз. 80 суток
5. Найти массу и объем радона при нормальных условиях, если его активность 1 Ки.
6. Каков период *T* полураспада изотопа, если сутки распадается в среднем 900 атомов из 1000? 750 атомов из 1000? 1 атом из 1000?
7. Представим себе, что у нас имеется источник тока на основе радиоактивного изотопа кальций-45. Оцените максимальную выходную мощность такой «атомной» батарейки, если период полураспада ^{45}Ca 164 дня, а масса изотопа на момент наших измерений составляет 1 г. Известно, что электроны вылетают из изотопа с максимальной энергией 254 кэВ.



8. В начальный момент колония бактерий растет со скоростью, пропорциональной числу наличных бактерий. Написать дифференциальное уравнение, выражающее это соотношение. Как изменяется количество бактерий с течением времени?

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. Нагретый атомарный углерод $^{11}_{6}C$ излучает свет. Этот изотоп испытывает β^{+}- распад с периодом полураспада 0,34 ч. Как изменится спектр излучения газа через 1 ч?
4. Как определить возраст породы, изучая образец урановой руды?
5. Как определяют возраст льда в Антарктиде (содержание Kr-81 с периодом полураспада около 230000 лет в пузырьках воздуха)?
6. Зачем в люминофор, которым покрывают стрелки и шкалы приборов, добавляют немного солей радия?
7. К 10 мг радиоактивного Ca-45 добавили 30 мг нерадиоактивного изотопа Ca-40. На сколько изменилась активность радиоактивного источника?
8. Какая доля радиоактивных ядер распадется через 100 с, если период полураспада радиоактивного вещества 20 с? 97%

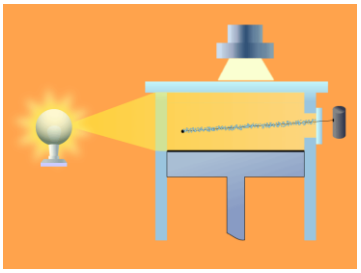
III. Ионизирующее и фотохимическое действие частиц, как основа различных методов их обнаружения.

Счетчик Гейгера 1908 г (пример с машиной на откосе и летящей пулей). Устройство счетчика (рисунок на доске). Счетчик заполняют обычно аргоном при пониженном давлении. Принцип действия. Демонстрация. Параллельно с громкоговорителем включить электросчетчик. Какие частицы может регистрировать счетчик? Можно ли измерить радиоактивность своего тела? Примерно тогда же Резерфорд создал простейший сцинтилляционный счетчик – покрытый сернистым цинком экран, который под ударами альфа-частиц испускал слабые вспышки света.

Сцинтилляционный счетчик и полупроводниковый счетчик. Спинтарископ.

Теперь я верю в существование атомов.

Max

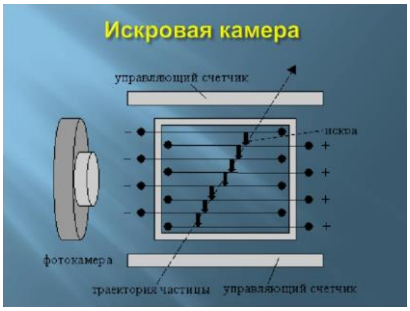


Камера Вильсона 1911 г (разработана для измерений в метеорологии). *Герой мифа о Золотом руне Язон засеял по приказанию царя Колхиды Ээта драконовыми зубами поле Ареса. Язона спасла хитрость, когда семена проросли вооруженными войнами. Он бросил камень и, войны перебили друг друга.*

Ионы те же «камни», на которых начинается конденсация молекул насыщенного пара. Вот почему после росы в воздухе нет пыли и очень мало ионов. Демонстрация с камерой Вильсона. Вдоль трека α - частицы образуется $3\cdot 10^5$ капелек тумана. По сравнению с α – частицами, β - частицы образуют более тонкие следы (около 50 ионов на 1 см длины). Можно ли с помощью камеры Вильсона зарегистрировать нейтрон? Для полной обрисовки трека странной частицы со временем жизни порядка 10^{-8} с необходима камера в сотни метров длиной. **Электрон - частица**, и в этом нетрудно убедиться, наблюдая его след в камере Вильсона.

Метод толстослойных фотоэмульсий (конец 1940 годов). Используемые для ядерной фотографии эмульсии содержат больше бромистого серебра (его концентрация 82% и выше), причем с малыми размерами монокристаллов (0,2 -0,4 мкм), эмульсионный слой делают толстым (400 - 600 мкм и даже 1-2 мм) без подложки, что дает возможность складывать эти слои в большие стопки. Если обычные стекла облучать, а потом поместить в кислоту, то на поверхности в местах попадания "проявляются" красивые звездные узоры.

Пузырьковая камера (1952 г, Д. Глазер). Цикл приготовления перегретой жидкости занимает около секунды. Движение частиц в магнитных полях. Как определить направление движения частицы; знак заряда частицы по виду трека? Чем отличаются треки электрона и альфа-частицы?



Искровые камеры (конец 1950 годов). Искровые камеры в тысячи раз опередили пузырьковые камеры и по скорости, и по числу детектируемых частиц. В 1970 годах их сменили более совершенные аналоги – пропорциональные много проводные камеры и дрейфовые камеры. Появились полупроводниковые детекторы – кремневые, германиевые. Кремневый детектор (микроскоп) состоит из разделенных узкими промежутками параллельных полос кремния шириной около 100 мкм. Пролетающая заряженная частица оставляет за собой трек из ионизованных атомов, который фиксируют электронные приборы. Удалось зарегистрировать В – мезоны (время жизни порядка 10^{-13} с), которые распадаются, пролетев всего 300 мкм. 10

сентября 2008 года в 11 ч 15 мин по московскому времени был осуществлен запуск Большого адронного коллайдера, крупнейшего в мире ускорителя частиц. Чтобы зарегистрировать все рожденные в столкновениях частицы, потребовались детекторы – слоеные цилиндры (один из них имеет длину 46 м, диаметр 25 м и массу 40 т).

Эффект Черенкова. Движение в среде релятивистской заряженной частицы со скоростью, превышающей скорость света в этой среде, сопровождается эмиссией черенковского излучения. Детекторы, регистрирующие черенковское излучение, широко используются в физике высоких энергий для регистрации релятивистских частиц и определения их скоростей и направлений движения.

Дополнительная информация: Космические лучи открыл в 1912 году австрийский физик Виктор Гесс. Естественный радиоактивный фон был причиной ионизации газов, но ионизация должна уменьшаться с удалением от поверхности Земли. Ответ получился противоположный. Основной компонентой космических лучей оказались протоны с энергией 10^{13} – 10^{20} эВ и даже выше (в 10^6 раз больше, чем будет получена в Большом адронном коллайдере). Сталкиваясь с ядрами атомов атмосферы, космические частицы распадаются на множество других частиц. Одна прилетевшая частица большой энергии порождает целый ливень площадью до нескольких квадратных километров. Эти лучи в 10% случаев являются причиной сбоев в работе компьютерной техники и бортовых компьютеров на самолетах и спутниках. В частности, какой бы защищенной ни была МКС, уровень радиации на ней в 100 раз выше, чем на Земле.

Чтобы не умереть в космосе, надо выбрать один из двух путей: либо мы создаем от космического излучения непроницаемую защиту, либо перемещаемся в космосе на субсветовых скоростях (чтобы не успеть умереть). ДНК астронавта хоть и разрушается под воздействие радиации, но медленно и не необратимо. Очень много зависит от конкретного человека: его веса, роста, пола, возраста, группы крови. Не исключено что лишь избранные, специально отобранные люди смогут летать к звездам. Хорошая идея - внедрить в конструкцию ракеты магниты большой мощности. В теории, это создаст приемлемые условия для существования, но не факт что само поле не нанесет вред астронавтам. Специалисты NASA даже рассматривали возможность создания постоянного электромагнитного купола над лунной базой (которую тоже еще надо создать).

IV. Демонстрация кинофрагмента.

Задача: Ионизационная камера, имеющая объем 250 см^3, в течение 10 минут давала ток насыщения 30 нА. Какую дозу гамма-излучения получил воздух в камере? Плотность воздуха 1,29 кг/м^3. 0,837 Зв.

V. § 88

1. Чему, по вашему мнению, равен «период полураспада» населения, проживающего в данной местности. Как он зависит от качества жизни? Остается ли постоянной постоянная распада?
2. Находясь в космосе, космонавты сообщали о том, что, когда глаза адаптировались к темноте, они видели вспышки света в виде точек, звезд или двойных звезд, а иногда вспышки заполняли большую часть поля зрения. Какова природа этих вспышек?

Если человек горит жаждой познания и проверяет свои рассуждения, сопоставляя их с данными опыта, каждый ученик будет признавать в нем брата по духу независимо от того, насколько малы знания этого человека.

К.С. Пирс

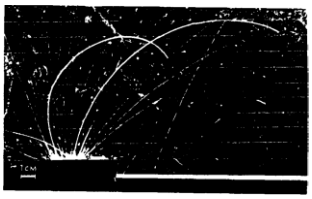
Урок 28.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №: «ИЗУЧЕНИЕ ТРЕКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ГОТОВЫМ ФОТОГРАФИЯМ».

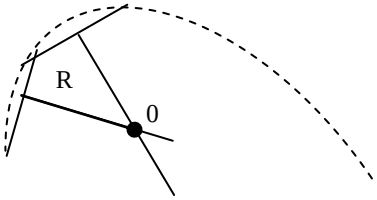
«Сказать оно, конечно, все можно, а ты, поди, демонстрируй»,- любил повторять Менделеев.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Научить учеников определять характеристики частиц по фотографиям их треков.

ТИП УРОКА: лабораторная работа.
ОБОРУДОВАНИЕ: фотографии треков, транспортир, калька, линейка.
ПЛАН УРОКА:



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



II. По треку частицы можно определить его кривизну. По известному радиусу кривизны трека можно определить энергию частицы на данном участке ее траектории по формуле: $E = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{q^2B^2R^2}{2m}$. Сравнивая треки двух частиц, имеющих одинаковые начальные скорости, можно по известным радиусам кривизны треков определить отношение заряда к массе любой из частиц, если это отношение известие для другой частицы.

$$\frac{q_1}{m_1} \cdot \frac{R_1}{R_2} = \frac{q_2}{m_2}.$$

III. Определение направления движения заряженной частицы и направления индукции магнитного поля. Определение радиуса кривизны трека. Определение энергии частицы. Определение отношения заряда частицы к ее массе.

№	Q, Кл	M, кг	B, Тл	R_1, м	R_2, м	E_1, Дж	E_2, Дж	q/m, Кл/кг
1								
2								

IV. Краткое подведение итогов.
V.

Такая разветвленная цепная реакция напоминает горную лавину, которая начинает нарастать и мощно развивается от ничтожной причины.

Н.И. Семенов

Урок 29. ДЕЛЕНИЕ ЯДЕР УРАНА. ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ.

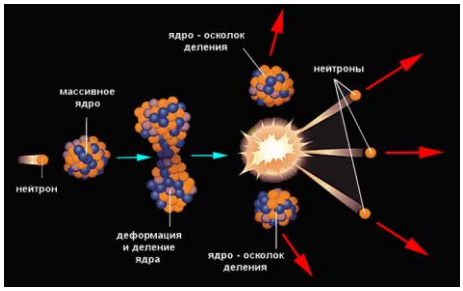
Разговор с биологами:
- Вы же видели, как делится Инфузория Туфелька?

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", кинофильм "Ядерные реакции", ч. 1.

ПЛАН УРОКА:



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

II. Опрос фундаментальный: 1. Счетчик Гейгера. 2. Трековые приборы.

Задачи:

1. Какова скорость электрона, влетающего в камеру Вильсона перпендикулярно индукции магнитного поля, если радиус трека равен 4 см, а индукция

магнитного поля 8,5 мТл?

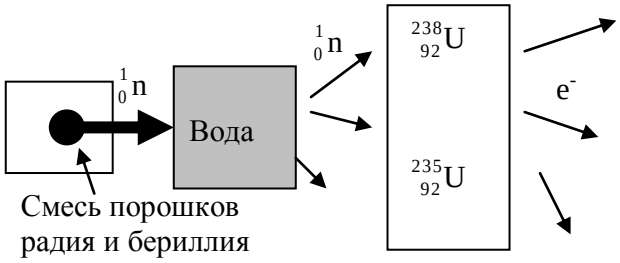
2. Электрон, кинетическая энергия которого 1,5 МэВ, движется по окружности в однородном магнитном поле с индукцией 0,02 Тл. Определите период обращения электрона. Энергия покоя электрона 0,5 МэВ.
3. Электрон образует след в камере Вильсона толщиной 10^{-6} м, если его энергия не менее 1 кВ. Чему равна относительная неопределенность скорости электрона?

Вопросы:

1. Какие физические процессы используются для регистрации ядерных реакций?
2. Почему в камере Вильсона летящий протон оставляет видимый след, а летящий нейтрон не оставляет?
3. Можно ли с помощью камеры Вильсона регистрировать незаряженные частицы?
4. Почему радиация пахнет озоном?
5. Какие изменения могут произойти в работе счетчика Гейгера, если балластный резистор заменить другим, имеющим меньшее сопротивление?

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 г/см^3 и точкой плавления 1132^{0}С. По виду он похож на серебро, по тяжести - на платину, по химическим свойствам - на вольфрам. Бомбардировка ядер атома урана медленными нейтронами.



Опыты Ферми (в качестве замедлителя нейтронов Ферми использовал воду). Нейтроны воду "любят" и охотно с ней (а именно с протонами, ядрами водорода) взаимодействуют.

Чем медленнее нейтрон двигался, тем охотнее поглощался ядрами. Причин тому две: во-первых, он не отталкивается, а притягивается ядрами, и, во-вторых, он подчиняется законам квантовой механики.

Ферми считал, что настоящий физик должен быть способен ответить на любой вопрос из любой области.

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!**

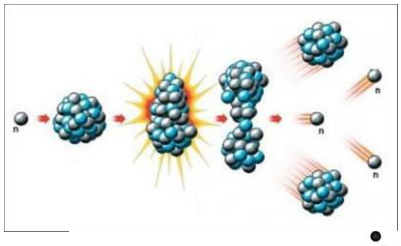
При въезде в США для проверки уровня образования нобелевского лауреата Энрико Ферми попросили найти сумму: 15 + 27 =?

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 немыслимым, и в газете было напечатано*: "Проблемы косметической физики".*

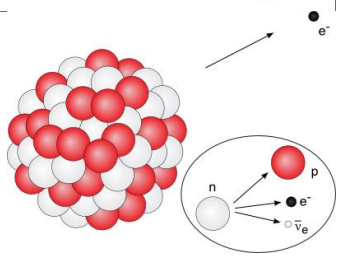
Возможные схемы деления ядра урана:



$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}Ba + {}^{89}_{36}Kr + 3{}^{1}_{0}n + 200\,\text{МэВ}.$$

$$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{140}_{54}Xe + {}^{94}_{38}Sr + 2{}^{1}_{0}n + 200\,\text{МэВ}.$$

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)**:**



$$^{140}_{54}Xe \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{55}Cs \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{56}Ba \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{57}La \xrightarrow{\beta^-} {}^{140}_{58}Ce \text{ - стабильный.}$$

$$^{94}_{38}Sr \xrightarrow{\beta^-} {}^{94}_{39}Y \xrightarrow{\beta^-} {}^{94}_{40}Zr \text{ - стабильный.}$$

На ранних этапах развития Вселенной могли образовываться ядра с экстремально большим (A > 260) массовым числом, а затем, путём бета-распада, ядра перемещались в область более устойчивых ядер.

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

Капельная модель ядра. Возбужденное ядро – эллипсоид и при пульсациях его размер превышает критический порог действия ядерных сил ($2\cdot10^{-15}$ м).

При делении одного ядра урана в среднем выделяется **200 МэВ энергии.** При полном делении всех ядер в 1 г урана-235 выделяется $2{,}3\cdot10^{4}$ кВт·ч (такая энергия выделяется при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти).

Испускание нейтронов при делении ядра. Точное число нейтронов деления 2,42 оставалось государственной тайной вплоть до 1950 г.

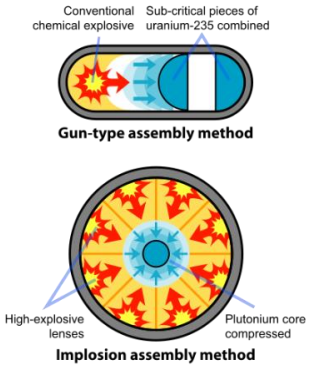
Цепная реакция. Даже горение обычного листа бумаги – химическая цепная реакция. Этот процесс инициируется с помощью горящей спички, но как только бумага разгорелась, горение продолжается самопроизвольно, за счет выделившегося тепла, и пламя разгорается все сильнее.

Коэффициент размножения нейтронов (определение) - отношение количества выделенных нейтронов в момент деления ядер к количеству нейтронов, которые выделились в предыдущий момент распада ядер.

Дополнительная информация. Аналогия с размножением человеческого общества: количество браков, удачные и неудачные браки, несчастные случаи. Факторы, определяющие величину коэффициента размножение: деление ядер урана-235 и некоторых ядер урана-238, захват нейтронов ядрами урана-238 и другими примесями, выход нейтронов из делящегося вещества наружу. U^{235}_{92}- делится под действием любых нейтронов. $^{238}_{92}U$ - "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 $N_д \sim r^3$, а число покидающих $N_п \sim r^2$, то $k \sim r$, и при радиусе куска 9 см (**критическая масса 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**. 29 августа 1949 г. на полигоне в 130 км от Семипалатинска была взорвана бомба "РДС-1", первая отечественная ядерная бомба.

Самый большой секрет атомной бомбы сообщил не шпион Фукс, а лично Трумен Сталину. О том, что ее в принципе возможно создать! Дальше все уже было дело техники!

Дополнительная информация: Чаще всего в ядерном оружии применяют не уран, а плутоний-239. Его получают в реакторах, облучая уран-238 мощными нейтронными потоками. Плутоний стоит примерно в шесть раз дороже ^{235}U, но зато при делении ядро ^{239}Pu испускает в среднем 2,895 нейтрона - больше, чем ^{235}U (2,452). К тому же вероятность деления плутония выше. Все это приводит к тому, что уединенный шар ^{239}Pu становится критичным при почти втрое меньшей массе, чем шар из урана, а главное - при меньшем радиусе, что позволяет уменьшить габариты критической сборки.



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)?

Два пути к атомному оружию:

- Отделить уран-235 от урана-238 или хотя бы резко повысить его концентрацию;
- Производить плутоний.

Атомная бомба и атомный взрыв (для создания атомной бомбы необходимо, чтобы доля урана-235 достигала 20%, в США – 90%). Для создания первых атомных бомб нужно было решить многие практические задачи:

- обработка природного урана с целью извлечения из него изотопа урана-235 высокой степени чистоты (0,9999);
- получение плутония-239 из урана-238 при мощном воздействии нейтронов;
- создание конструкции, в которой соединение отдельных блоков, имеющих размер меньше критического, в единый блок происходило бы достаточно эффективно (вся взрывная цепная реакция занимает менее 1 мкс);
- создание испытательного полигона совершенно нового типа;
- создание средств доставки бомбы к точке взрыва.

Диффузия газообразного урана через пористые перегородки (США). Закон, названный в честь шотландского ученого Томаса Грэма, утверждает, что скорость истечения газа через маленькие отверстия обратно пропорциональна квадратному корню из массы частиц газа. В установке по разделению изотопов урана (СССР) центрифуга радиусом 1 м делает 16000 об/мин. **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. Радиоактивные осадки содержат несколько типов частиц. Иногда облака бывают окрашены в красный цвет из-за всех видов оксидов азота, образующихся под действием энергии взрыва. Однако реальная опасность невидима: это отдельные радиоактивные атомы, возникающие при радиоактивном распаде плутония: от сурьмы-125 до циркония-97. Кроме того, при распаде плутония выделяются нейтроны, которые быстро нападают даже на инертные молекулы, такие как N_2, и делают их радиоактивными. С потоками воздуха эти радиоактивные частицы переносятся на многие тысячи километров, пока не осядут либо сами по себе на ничего не подозревающие города.

Нельзя допустить, чтобы люди направляли на свое собственное уничтожение те силы природы, которые они сумели открыть и покорить.

Ф. Жолио - Кюри

Мир рвался в опытах Кюри
Атомной, лопнувшею бомбой.
Андрей Белый

V. §§ 98-99. Упр. 13, № 7.

1. Ещё на заре ядерной физики было замечено, что атомные ядра, состоящие из четного числа протонов и четного числа нейтронов (чётно-чётные) гораздо более устойчивы, чем имеющие в своём составе одиночные нуклоны (особенно обоих типов). Так ли это?

Пусть будет атом рабочим, а не солдатом!
М. Блудов

Урок 30.

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Радон буквально сочится из недр нашей планеты.

ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учеников с принципом действия ядерного реактора. Дать представление о возможностях преобразования ядерной энергии в другие виды энергии; познакомить учеников с работой АЭС.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЕ: диафильм "Атомное ядро", кинофрагмент "Получение ядерной энергии".

Хороша наука – физика! Только жизнь коротка!
И.В. Курчатов

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. Сколько нейтронов будет в сотом поколении, если процесс деления начинается с 1000 нейтронов и происходит в среде с коэффициентом размножения 1,05? Во сколько раз при этом увеличивается мощность ядерного реактора?
2. Какая масса урана-235 подвергается делению при взрыве атомной бомбы с тротиловым эквивалентом 20 килотонн, если тепловой эквивалент тротила 4,1 МДж/кг?
3. Какая масса урана должна разделиться, чтобы удовлетворить годовую потребность дома в энергии, при средней мощности потребления порядка 300 Вт?

III. **Атомная энергетика** — одна из самых экологических с точки зрения выбросов углекислого газа: за 1 кВт·ч атомные электростанции выбрасывают всего 12 г CO_2. Для сравнения, у природного газа этот показатель составляет 490 г/кВт·ч, а у угля — 820 г/кВт·ч.

В среду, 2 декабря 1942 г., в 15 ч 25 мин по местному времени в Чикагском университете Энрико Ферми ввел в действие первый ядерный реактор!

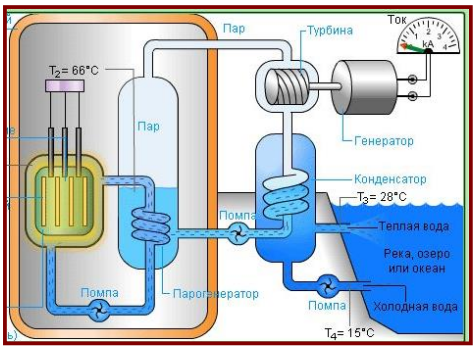
Было ясно, что Ферми открыл дверь в атомный век.
Джон Кокрофт

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.

Топливо в ядерных реакторах и управляемая реакция деления. Блок-схема реактора. Классифицировать действующие реакторы можно всего по двум

параметрам: замедлителю и теплоносителю. Основные элементы **водо-водяного реактора** (таблица).

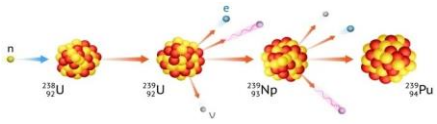


Замедлитель нейтронов и теплоноситель - вода (медленные нейтроны в 600 раз эффективнее быстрых). Самые эффективные **замедлители нейтронов**: вода, тяжелая вода (Германия), графит (США).

Ядерное топливо – обогащенный уран (2-3% урана-235) или природный уран. **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}U – 77350 кг, ^{235}U – 2630 кг, ^{234}U – 20 кг. Состав извлеченного топлива через 3 года: ^{238}U – 75400 кг, ^{235}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)**.**

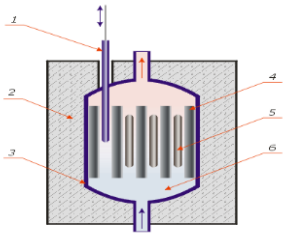


Чистый плутоний - это серебристо-серый тяжелый металл плотностью 19,82 г/см^3 и температурой плавления 640^{0}С. Открытие плутония изменило сам подход к решению урановой проблемы. Прежде всего, стало ясно, что поглощение нейтронов в уране-238 - полезный процесс, поскольку при этом образуется «ядерное 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. Плутоний-239, оказался самым подходящим для использования в бомбе. Его сейчас называют «оружейным плутонием».

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U \qquad T_{^{239}_{92}U} = 23\,мин$$

$$^{239}_{92}U \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{239}_{93}Np + \tilde{\nu} \qquad T_{^{239}_{93}Np} = 2\,дня$$

$$^{239}_{93}Np \rightarrow ^{0}_{-1}e + ^{239}_{94}Pu + \tilde{\nu} \qquad T_{^{239}_{94}Pu} = 24000\,лет$$



Реакторы на быстрых нейтронах (обогащение урана 25 - 50%); их основное преимущество (более компактны, поскольку им не нужны ни замедлители, ни отражатели нейтронов). Охлаждаются такие реакторы натрием-23, ядра которого редко взаимодействуют с быстрыми нейтронами.

Ториевая энергетика. Сам по себе торий-232 (назван в честь скандинавского Бога грома – Тора) не поддерживает цепную ядерную реакцию и не может быть материалом для атомной бомбы. Однако при облучении тория нейтронами, его атомы, захватывая эти нейтроны, распадаются с выделением значительного количества энергии. Кроме того, в результате ряда последовательных реакций с образованием промежуточных неустойчивых изотопов (торий-233 и протактиний-233 с полураспадом соответственно 22 минуты и 27 суток) из тория-232 получается уран-233, который сам по себе является хорошим ядерным топливом, подходящим для всех типов современных реакторов. Широкому использованию тория в качестве ядерного сырья препятствует его большая, по сравнению с ураном, рассеянность - торий не образует богатых месторождений, технология его извлечения из руд сложнее. Кроме того, наряду с ураном-233, образуется уран-232, который, распадаясь, даёт гамма-активные ядра изотопов висмут-212 и таллий-208, усложняющие производство ТВЭЛов.

Основные особенности АЭС: 1) Чрезвычайно высокая "теплота сгорания" ядерного

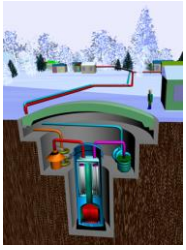
горючего; Невозможность полного сгорания топлива за одну загрузку (раз в полгода и более выгоревшее топливо заменяется новым).
Отличие АЭС: вид и обогащение топлива, по материалу замедлителя, по виду теплоносителя.
Схема теплопередачи АЭС (по кадрам диафильма).

Дополнительная информация. Атомные электростанции. На атомных электростанциях вырабатывается 11% 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. Как правило, в большинстве типов реакторов в качестве топлива применяется уран-235 или плутоний-239. Для того чтобы можно было использовать ядерное топливо в реакторе, его первоначально помещают в тепловыделяющие элементы – твэлы. Это герметичные трубки из стали или циркониевых сплавов внешним диаметром около сантиметра и длиной от нескольких десятков до сотен сантиметров, которые заполнены таблетками ядерного топлива. 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. Например, тяжёлый изотоп B-11 хорошо отражает нейтроны (нейтронное зеркало). 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 АЭС 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 энергию, которая по

проводам поступает к потребителям.

Дополнительная информация. Естественные ядерные реакторы. Процесс управляемой цепной реакции невероятно сложен, а потому все научное сообщество было ошеломлено, когда в 1972 году французский физик Франсис Перрен обнаружил, что природа соорудила под Окло в Габоне первый в мире ядерный реактор на два миллиарда лет раньше, чем люди. Этот природный реактор заработал, когда месторождение богатых ураном минералов было затоплено грунтовыми водами, которые замедлили нейтроны, испущенные ядрами урана, из-за чего они смогли взаимодействовать с другими ядрами и расщеплять их. От выделяемого тепла вода испарялась и закипала, что временно замедляло цепную реакцию. Когда окружающая порода остывала, и пар снова превращался в воду, процесс повторялся. Ученые оценили время работы этого доисторического реактора в сотни тысяч лет. За эти годы в цепной реакции деления урана должны были образоваться различные изотопы, и все они были обнаружены в Окло. В ядерных реакциях, проходивших в урановых подземных жилах, выгорело около пяти тонн урана-235.



Почему в качестве замедлителя нейтронов лучше использовать тяжелую воду, чем обычную?

Малые модульные реакторы (ММР).

IV. *Задачи:*

1. При взрыве атомной бомбы в Хиросиме выделилось порядка 10^{14} Дж энергии. Сколько атомов изотопа урана-235 разделилось при этом?
2. Сколько урана-235 нужно израсходовать для получения такого же количества энергии, которое вырабатывает крупнейшая в мире Саяно-Шушинская ГЭС за сутки? Мощность этой ГЭС P = 6,4 ГВт. КПД АЭС около η = 40%.
3. Мощность атомной силовой установки стратегического подводного ракетоносца P = 190 МВт. Ядерным топливом служит слабо обогащённая двуокись урана (25%, ^{235}U). Определить запас топлива, необходимого для автономного плавания АПЛ проекта «Акула» в течение 180 суток.
4. В обозначениях ядерных реакторов типа ВВЭР используются числа, показывающие электрическую мощность реактора. Так, реактор ВВЭР-440 имеет электрическую мощность 440 Мвт, его КПД 32%. Какое обозначение следует использовать для более мощного реактора, если его тепловая мощность увеличена в 2,2 раза, а КПД на 1%?

Дополнительная информация (получение золота). В 1947 году американские физики впервые получили золото из ртути в реакции: $^{196}_{80}Hg + n \rightarrow ^{197}_{80}Hg \rightarrow ^{197}_{79}Au + e^{+} + \nu_e$. Изотопа ртути – 196 в природе мало (для получения 34 грамм золота необходимо 50 кг ртути). Самый мощный источник нейтронов (ядерный реактор) должен облучать ртуть 4,5 года. На выделение капельки золота из ведра ртути необходимо еще затратить энергию. Цена добытого таким образом золота в сотни раз превысит его цену на мировом рынке. Получение золота из других изотопов обойдется еще дороже. В 1973 году в Калифорнии (США) был найден золотой самородок массой 108,8 кг.

В одном из экспериментов висмутовую мишень (фольгу) бомбардировали ядрами неона-10 и углерода-12, что позволило получить целый спектр изотопов золота с атомной массой от 190 (79 протонов, 111 нейтронов) до 199 (79 протонов, 120 нейтронов).

V.§ 100

1. Подготовить пятиминутное сообщение о жизни и научной деятельности И.В. Курчатова.
2. Запишите реакция бомбардировки радиоактивного изотопа Se-79 протонами, вслед за которой происходит вылет дейтрона и ядро превращается в стабильный Se-78. Можно ли так воздействовать на отходы ядерной энергетики в целях их деактивации?

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 31.

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Как обуздать энергию звёзд?

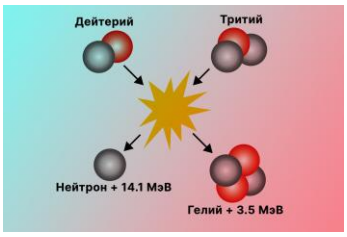
ЦЕЛЬ УРОКА: Познакомить учащихся с условиями протекания управляемых термоядерных реакций и перспективами развития ядерной энергетики России.

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:

5. Какая электрическая мощность атомной электростанции, расходующей в сутки 220 г изотопа урана-235 и имеющей КПД 25%?
6. Атомная электростанция мощностью 500 МВт, работающая на уране-235, имеет КПД 20%. Тепловая электростанция той же мощности, работающая на каменном угле, имеет КПД 75%. Определите годовой расход горючего на станциях.

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 бериллий и полоний в бериллиево-полониевом источнике нейтронов до взрыва атомной бомбы необходимо было хранить разделенными?
10. 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: ${}^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + n + 17{,}6$ МэВ.

Одноимённые заряды отталкиваются, поэтому ядра сливаться не хотят, а значит, реакции синтеза отличаются высоким порогам? Преодоление кулоновского отталкивания частиц ($T = 10 \cdot 10^6$ 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^3 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 ${}^{2}D^{6}Li$ (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: ${}^{1}_{0}n + {}^{6}_{3}Li \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{3}_{1}T$.

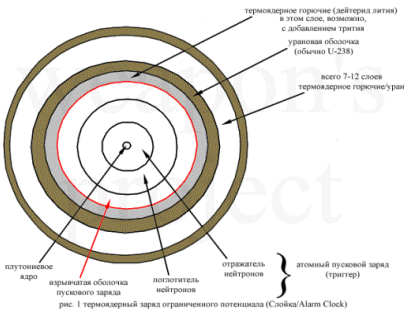


рис. 1 термоядерный заряд ограниченного потенциала (Слойка/Alarm Clock)

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

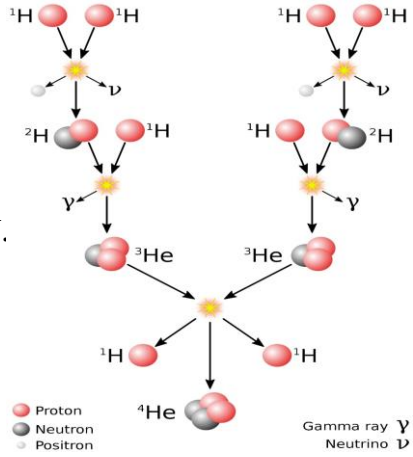
своего коллегу Роберта Оппенгеймера. Друзья радостно выпили воду, а через минуту Оппенгеймер поднес руку к счетчику. Счетчик заверещал, как белка, и все радостно засмеялись.

Если блеск тысяч солнц
Разом вспыхнет на небе,
Человек станет Смертью,
Угрозой Земле.
Бхагават - Гита

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.

Если вы считаете, что в центре звезды не достаточно жарко для синтеза, поищите место погорячее.
А. Эддингтон



Цикл ядерных превращений в недрах Солнца:

1. **Водородный цикл:**
   ${}_1^1H + {}_1^1H \to {}_1^2H + e^+ + \nu_e$; ${}_1^2H + {}_1^1H \to {}_2^3He$; $2\cdot{}_2^3He \to {}_2^4He + 2\cdot{}_1^1H$.
   Нейтрино имеют энергию 1,44 МэВ. Может так: ${}_1^1H + {}_1^1H + e^- \to {}_1^2H + \nu_e$? Благодаря слабому взаимодействию протон преобразуется в нейтрон. Солнечные нейтрино.
2. **Углеродно-азотный цикл:** ${}_6^{12}C + p \to {}_7^{13}N + \gamma$; ${}_7^{13}N \to {}_6^{13}C + e^+ + \nu_e$; ${}_6^{13}C + p \to {}_7^{14}N + \gamma$; ${}_7^{14}N + p \to {}_8^{15}O + \gamma$; ${}_8^{15}O \to {}_7^{15}N + e^+ + \nu_e$; ${}_7^{15}N + p \to {}_6^{12}C + {}_2^4He$.
   В **углеродно-азотном цикле** также образуется гелий из протонов, при этом углерод служит своеобразным катализатором. Спектр энергий нейтрино непрерывный. Цикл дает малый вклад в полную энергию, выделяемую Солнцем, но у более массивных звезд основной!
3. **Нуклеосинтез** - термоядерные реакции, ведущие к образованию ядер тяжелых элементов из легких, - продолжается на протяжении всей жизни звезды. Практически все

более тяжелые элементы образовались в результате ядерных реакций в звездах (около 2% атомного вещества). Сверхновые лишь разбрасывают его продукты, а также добавляют к ним небольшое число элементов тяжелее железа.

Дополнительная информация. Образование золота в природе - это процесс, в ходе которого свободно движущиеся нейтроны захватываются ядрами атомов железа, накапливаясь в нем. Некоторые из нейтронов могут затем терять электрон, превращаясь в протоны и образуя все более тяжелые ядра. Расчеты показывают, что такой захват должен происходить быстро — быстрее, чем распадаются нестабильные изотопы железа с повышенным количеством нейтронов. Дело в том, что количество и относительный состав тяжелых элементов, рожденных взрывом сверхновой или слиянием нейтронных звезд, могут различаться. Взрыв звезды массой в восемь раз больше солнечной создаст золото массой примерно с Луну, слияние нейтронных звезд породит золота столько, сколько весит весь Юпитер.

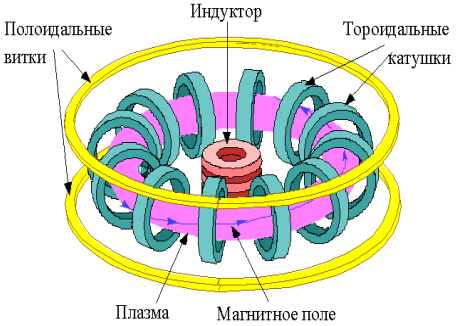
Все мы — случайно охладившиеся кусочки звездной материи,
кусочки звезд, у которых что-то не заладилось.
сэр Артур Эддингтон, 1882

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. Получение горячей плазмы: $n = 10^{15}$ см $^{-3}$, $T = 10^6$ К. В 1968 г удалось получить плазму: $n \approx 10^{13}$ см$^{-3}$; $T \approx 5 \cdot 10^6$ Кл. Токамак (токовая камера с магнитными катушками). На большом токамаке *TFTR* (США) была достигнута температура $4 \cdot 10^8$ К, время удержания плазмы до 10 с, мощность 10 МВт. В 2020 г на сверхпроводящем токамаке KSTAR в течении 20 секунд удерживали плазму температурой выше 100 миллионов градусов (время удержания плазмы растет пропорционально квадрату размеров). На китайском сверхпроводящем токамаке EAST максимальная электронная температура (средняя энергия электронов) плазмы достигла 160 миллионов градусов Цельсия. Такие параметры жгута ионизированного газа токамак удерживал 20 секунд. А при 120 миллионах градусов установка проработала 101 секунду.



Начато строительство международного реактора (ITER): объем плазмы 2000 л, мощность 500 МВт, стоимость 5 млрд. евро. Планировалось, что полностью установка вступит в строй в 2022 г, однако запуск ITER передвинули на 2039 год. 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? Внутри токамака вещество разогревается до температуры около 150 млн градусов! 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. Температура мишени будет достигать десятков миллионов градусов, при этом она сожмется в 1000 раз. К 2020 году ни один проект не смог получить достаточной мощности, чтобы хотя бы выйти в ноль по затратам энергии. И это при том, что для коммерческого успеха электростанции она должна отдавать миру в 20 раз больше энергии, чем сама пожирает.

Рентгеновские лазеры с ядерной накачкой.

Дополнительная информация. 3 декабря 2021 г в Ливерморской национальной лаборатории Лоуренса в Калифорнии удалось воспроизвести процесс ядерного синтеза и получить около 3,15 МДж энергии, что на 120% превысило использованную в лазерах энергию — 2,05 МДж. Термоядерный синтез с инерционным удержанием предполагает создание чего-то вроде крошечной звезды. Все начинается с капсулы с горючим, состоящей из дейтерия и трития - более тяжелых изотопов водорода. Эта топливная капсула помещается в полую золотую камеру размером с ластик для карандашей, называемую хольраумом. Затем 192 мощных лазерных луча попадают в хольраум, где они преобразуются в рентгеновские лучи. Эти рентгеновские лучи взрывают топливную капсулу, нагревая и сжимая ее до условий, сравнимых с условиями в центре звезды - температура превышает 100 миллионов градусов по Цельсию (180 миллионов по Фаренгейту) и давление превышает 100 миллиардов атмосфер Земли - превращая топливо капсулу в крошечный шарик плазмы.

Для меня это демонстрирует одну из самых важных ролей национальных лабораторий - нашу неустанную приверженность решению самых больших и важных научных задач и поиску решений там, где препятствия могут отговорить других.

Ким Будил, директор Ливерморской национальной лаборатории Лоуренса.

Плазма – это крайне капризная субстанция, которая очень хорошо живет, пока ее не ограничивают. Но если ограничить степени ее свободы, она всячески начинает сопротивляться внешнему вмешательству.

Л.А. Арцимович

Наиболее перспективной в отношении высвобождения ядерной энергии является реакция: ${}^{3}_{1}H + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + n + 17{,}6$ МэВ. Дейтерий присутствует в природном водороде в концентрации 0,015 % и может быть выделен в процессе переработки (электролиза) морской воды. Тритий β - радиоактивен с периодом полураспада 12 лет. Его получают в реакции: ${}^{6}_{3}Li + n \rightarrow {}^{3}_{1}H + {}^{4}_{2}He + 4{,}8$ МэВ. Для увеличения выхода нейтронов в реакторе можно использовать бериллий - 9: ${}^{9}_{4}Be + n \rightarrow 2\cdot{}^{4}_{2}He + 2\cdot n$. Эта реакция идет по типу цепной реакции. Таким образом, исходным топливом для термоядерного реактора являются литий и вода. Наиболее экологически чистая реакция: ${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + p$. Лунный грунт богат гелием – 3 (солнечный ветер).

Использование атомной энергии. Атомная энергетика России.

Прямоточный термоядерный двигатель.

IV. Демонстрация кинофрагмента "Ядерная энергия в мирных целях".

Задачи:

1. Если природный дейтерий использовать в реакции ядерного синтеза, то, сколько энергии можно получить из 1 кг воды? Сравните полученную величину с энергией, извлекаемой при сгорании 1 кг бензина (около $5\cdot10^{7}$ Дж).

Ядерная реакция между парой дейтронов почти наверняка завершается рождением ядра трития и протона или же возникновением нейтрона и ядра гелия-3, причем вероятности этих превращений примерно одинаковы (возможно, также рождение альфа-частицы и гамма-кванта, но шансы этого исхода не превышают одной десятимиллионной).

2. Покрывает ли энергия, освобождающаяся в результате слияния ядер дейтерия и трития (изотопов водорода), расходы энергии на сближение этих ядер до расстояния г = $2 \cdot 10^{-15}$

м? 0,72 МэВ<17,6 МэВ.

3. В ядерной реакции $^{2}_{1}H + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + \gamma$ образуется медленно движущаяся по сравнению со скоростью света α - частица и квант света с энергией 19,7 МэВ. Пренебрегая скоростями вступающих в реакцию ядер, найдите скорость образовавшейся α - частицы. Энергию покоя α - частицы принять равной 3730 МэВ.

Вопросы:

1. Что вы теперь знаете об атомном ядре?
2. Почему с повышением температуры плазмы она перестает нагреваться электрическим током?
3. Приведите примеры природных термоядерных реакторов.
4. Почему выделение внутриядерной энергии возможно, как при реакциях деления тяжелых ядер, так и при синтезе легких ядер?
5. Чем обусловлены верхний и нижний пороги энергии, выделяющейся при взрыве атомной бомбы?
6. Почему светимость сверхновой звезды изменяется почти по экспоненциальному закону?
7. Нейтронный пучок, взаимодействую с ураном или плутонием в атомной бомбе, генерирует гамма-излучение, которое в дальнейшем регистрируется системой ПРО. Зачем это?

Дополнительная информация (для атомщиков): Управляемый термоядерный синтез – один из немногих случаев, когда целенаправленные, титанические усилия не увенчались успехом в намеченные сроки, и даже неоднократный перенос сроков делу не помог. Топливом для термоядерного синтеза может служить дейтерий, запасов которого в морях и океанах хватит на сотни миллионов лет. В паре с ним может быть использован тритий, который нарабатывается в специальных реакторах. В отличие от существующих атомных реакторов, где расщепляются ядра плутония или урана, в случае с термоядерным синтезом нет риска неконтролируемой цепной реакции. Поскольку ядра не расщепляются, а сливаются, нет радиоактивных продуктов распада атомных ядер, требующих утилизации в быстрых ядерных реакторах или захоронения. В случае же чрезвычайной ситуации не будет многолетнего радиоактивного заражения, так как тритий, единственная радиоактивная составляющая термоядерного топлива, имеет гораздо меньший, по сравнению с топливом АЭС, период полураспада. Для термоядерного синтеза могут быть использованы элементы, близкие к гелию по атомной массе. Реакции синтеза возможны с участием лития, бора, гелия, бериллия и других. Легче всего происходит слияние изотопов водорода: дейтерия D и трития T. Ядро дейтерия – дейтрон – содержит один протон и один нейтрон. Два нейтрона и протон образуют ядро трития – тритон. Сечение и скорость протекания реакции D + T гораздо выше, чем у других кандидатов на участие в синтезе. Величина сечения реакции показывает вероятность взаимодействия элементарной частицы с атомным ядром или другой частицей и измеряется в барнах. Для реакции D + T значительно проще достичь состояния, когда выделившаяся энергия превысит затраты на процесс слияния. В результате слияния реакции D + T получается гелий с атомной массой 4 и энергией 3,5 МэВ и быстрый нейтрон с энергией 14,1 МэВ. Таким образом, нейтрон, улетая, уносит большую часть энергии (около 80% выделившейся энергии). Этот нейтрон ещё и на редкость опасен. С электронными оболочками атомов нейтроны не взаимодействуют, что позволяет им преодолевать десятки метров бетона и свинца. Попадая же в атомное ядро, нейтрон или разрушает его, или поглощается им, образуя радиоактивный изотоп. В лучшем случае, после множества рикошетов нейтрон просто распадается, превращаясь в атом водорода. Образующиеся в материале пузырьки газа приводят к зримому раздутию, потере прочности, деформации и

разрушению стальной детали. Персонал электростанции сможет укрыться от нейтронного излучения за блоками полиэтилена или бассейнами с водой, но защитить сам реактор от нейтронов не получится. Здравый смысл подсказывает, что энергетическая установка, расходующая 80% выделяющейся энергии на саморазрушение, прослужит недолго. Создание энергетической установки работающей на литии возможно уже в обозримой перспективе. Но идей по поводу того, каким образом преобразовывать выделяющуюся в активной зоне энергию в электричество, в настоящий момент нет. Совсем нет.

На сегодняшний день сформировалось два основных подхода к осуществлению управляемого термоядерного синтеза. **Первый** – квазистационарные системы, в которых плазма низкой плотности ($n \approx 10^{14}$–10^{15} частиц в кубическом сантиметре) удерживается в вакуумной камере магнитным полем от 1 до 10 секунд. К таким системам относятся токамаки, стеллараторы и линейные магнитные ловушки, которые различаются конфигурацией магнитного поля. **Второй подход** – импульсные системы инерциального термоядерного синтеза. В таких системах сверхмощные лазеры или пучки высокоэнергетических частиц (ионов, электронов) кратковременно нагревают и сжимают небольшие мишени, содержащие дейтерий и тритий, до необходимых температур и плотности. Строить такие лазеры очень дорого. Но если в итоге будет создан эффективный лазерный термоядерный реактор, многие захотят себе такой. Тогда оборудование для него начнут производить серийно, и установка подешевеет.

Критерий Лоусона представляет собой показатель энергетической безубыточности протекания термоядерных реакций. Так, в реакции дейтерия и трития образуется 17,6 МэВ энергии, более 80% которой приходится на энергию нейтрона, образованного в результате слияния атомных ядер. Плазма прозрачна для нейтрона, и он с очень малой вероятностью прореагирует с другими ядрами атомов, унеся энергию из плазмы. Тем самым, плазма охлаждается, её температура снижается, и термоядерная реакция затухает. Требуется постоянный сторонний нагрев плазмы для поддержания термоядерных реакций, чтобы компенсировать потерю энергии при очередном цикле термоядерной реакции. Чтобы затраты энергии на поддержания температуры плазмы были равны суммарной выделенной энергии в ходе термоядерных реакций, нужно произвести соответствующее количество реакций дейтерия с тритием. Так, при температуре плазмы в 110 миллионов градусов количество реакций дейтерия с тритием на 1 $см^3$ должно быть не менее 10^{14}. Тут непринципиально, за какое время произойдет нужное количество реакций: за 1 секунду или за 1 наносекунду, критерий Лоусона от этого не поменяется. Но вот удержать температуру плазмы более 100 миллионов градусов в течение 1 наносекунды, или 1 секунды – очень большая разница. В конце 1980-х годов ТОКАМАКИ вплотную приблизились к необходимому критерию Лоусона (всего в 5 раз меньше), но дальнейшее изучение плазмы вновь разбило надежды учёных на скорое освоение управляемого термоядерного синтеза. Оказалось, что даже преодолев барьер Лоусона, никакого выигрышного энергетического эффекта не получить, если продолжать вкачивать энергию в плазму. Требовалось перейти на принципиально новый уровень – самоподдержание термоядерной реакции. Такой критерий носит название «Зажигание плазмы», и для дейтерий-тритиевой реакции он в два раза больше критерия Лоусона. Лазерные комплексы для достижения УТС также не дали нужного эффекта. В начале 1990-х наибольший прогресс оставался за ТОКАМАКами, которые также упёрлись в свой потолок. И дальнейшее развитие УТС требовало кардинальных мер, а именно - строительства реакторов больших размеров. Все понимают, что подобное достижение цели в УТС не имеет никакой экономической перспективы. Это слишком дорого и сложно. Поэтому каждая из 35 стран участников проекта «ИТЭР» получает равный доступ ко всем исследованиям и технологиям строительства реактора. И поэтому термоядерный реактор строится именно для исследований и отработки параметров и алгоритмов в УТС. Реактор проектируется таким образом, чтобы гарантировать на 100% получение термоядерной реакции с энергетическим выходом в разы большим, чем

затрачивается на поддержание термоядерных реакций. Вполне может получиться так, что для экономически выгодной термоядерной энергетики нужен будет реактор с активной зоной размером с квадратный километр, и можно будет забыть о компактных термоядерных электростанциях размерами с обычный блок АЭС. Изучение плазмы на «ИТЭР» даст полное представление об оптимальной схеме реактора, которая может вообще отличаться от всех ранее известных.

V. § 101.

1. Каков КПД атомной бомбы и водородной бомбы? За расчет КПД атомной бомбы Л.Д. Ландау получил орден Ленина и Государственную премию второй степени, за водородную – звезду Героя и Государственную премию первой степени.
2. С помощью принципа неопределенности попытайтесь объяснить, почему замедление налетающих на мишень нейтронов увеличивает вероятность их «захвата»?
3. Предложите проект ядерно-импульсного двигателя для космического аппарата.
4. Предложите проект термоядерного (смесь дейтерия и гелия – 3) двигателя для космических аппаратов (для разгона до скорости 0,1 с необходимо 20000 т дейтерия и 30000 т гелия – 3).

Грубая сила, не подкрепленная мудростью, гибнет под собственной тяжестью.

Гораций

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

Станислав Лем, «Непобедимый»

Урок 32.

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. Термоядерные реакции. 2. Практическое использование термоядерной энергии.

Задачи:

1. Энергия излучения Солнца возникает вследствие цепочки ядерных реакций слияния, конечным результатом которых является превращение четырех атомов водорода в один атом гелия. Определить, сколько воды можно было бы нагреть от 0^0С до кипения за счет превращения в гелий 4 г водорода.
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? Ответ округлите до целого числа. 10

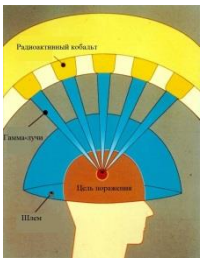
III. Изотопы. Радиоактивные изотопы. Существует несколько способов получения радиоактивных изотопов: продукты распада урана в ядерном реакторе, облучение образца, мощные ускорители. Получение: плутоний - 238, америций-241, стронций-90, тулий-170, калифорний-251 и т.д. Изотоп с самым коротким периодом полураспада Li-4, который распадается за $9 \cdot 10^{-23}$ с (выброс протона). Из-за столь малого времени жизни не все ученые признают факт существования последнего.

Калифорний даёт более 1000000 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 10 М$ за 1 грамм! Гораздо дороже ^{99}М, его цена достигает 50 М$ за 1 грамм. Полоний-209, самый дорогой из них, стоит $49 миллиардов за грамм. По всему миру проводятся исследования с целью создания практической технологии по переработке ядерных отходов.

Уже через год после открытия искусственной радиоактивности учеными было получено более пятидесяти радиоактивных изотопов. Они работали как невидимые радиостанции, которые все время посылают сигналы о своем местонахождении. Фиксировать их могли дозиметры или счетчики заряженных частиц. С помощью них можно было, например, узнать, как быстро изнашиваются стенки домны. Больше не нужно было прерывать работу печи. Достаточно заложить в стене радиоактивное вещество, и после того, как домна начала работать, проверить пробы металла из каждой плавки на радиоактивность. Если радиация в чугуне была — это был признак износа домны. С помощью изотопов считали рыбу, не вынимая ее из воды, измеряли густоту меха, проверяли, хорошо ли усваивается удобрение растением, где идет утечка газа в газопроводе, определяли влажность почвы, диагностировали гастрит, язву желудка или рак, маркировали ценные предметы искусства, ювелирные изделия, купюры или облучали картофель, чтобы он не прорастал.

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:

- Выявление факторов влияния на чугунно - и сталеварение (контроль содержания фосфора и серы).
- Контроль состояния внутренних полостей доменных печей.
- В лабораториях для изучения структуры сплавов.
- 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.

Одним из примеров применения может служить способ контроля износа поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания. Облучая поршневое кольцо нейтронами, вызывают в нем ядерные реакции и делают его радиоактивным. При работе двигателя частички материала

кольца попадают в смазочное масло. Исследуя уровень радиоактивности масла после определенного времени работы двигателя, определяют износ кольца. Радиоактивные изотопы позволяют судить о диффузии металлов, процессах в доменных печах и т. д.

Машиностроение:

- Определение степени износа движущихся частей машины.

Текстильная промышленность:

- Для снятия статического заряда (ионизация воздуха).

Строительство: Контроль плотности бетона.

Сельское хозяйство: Консервация сельхозпродуктов.

Космонавтика:

- Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГи). При распаде некоторых изотопов образуется только альфа излучение, то есть гелий. Эти атомы гелия имеют кинетическую энергию, что и обогревает термопары, которые преобразуют тепловую энергию распада плутония в электричество. Источник весом в несколько килограммов обеспечивает мощность в несколько десятков ватт в течение 10 лет бесперебойной работы. Их используются для питания автоматических маяков и автоматических метеостанций, работающих в труднодоступном районе. Их можно использовать в качестве источников тепла на арктических научных станциях. Энергетическая печка "Луноход-2" на изотопе $^{210}_{84}Po$. Впервые ядерный реактор с обогащённым до 10% топливом Уран-235 на тепловых нейтронах был выведен на орбиту ещё в 1965 году, но его КПД составил всего 1,5%. Срок службы такого реактора – всего около года.
- Радиоактивное излучение можно преобразовать в электрический заряд напрямую, при помощи полупроводниковых преобразователей (ядерные батарейки). В бета-вольтаическом преобразователе при попадании в него β-частицы с энергией в диапазоне 1–100 кэВ происходит ионизация атомов и образуется множество пар «электрон — дырка» вдоль траектории движения частицы. Ядерные батарейки подходят для маломощных систем, потребляющих мощности в диапазоне $10–10^5$ нВт, ограниченных по размерам (менее 1 см^3) и работающих длительные периоды времени (от 25 лет). В частности, их можно использовать в микроэлектронике и медицине: в кардио- и нейростимуляторах, ушных и глазных имплантатах, протезах, а также в компьютерных чипах, сигнализациях и т.д.

Нейтронно-активационный анализ - это ядерный процесс, используемый для определения концентраций элементов в образце. Метод основан на нейтронной активации и, следовательно, требуется источник нейтронов. Образец подвергается бомбардировке нейтронами, в результате чего образуются элементы, с радиоактивными изотопами, обладающими коротким периодом полураспада. Радиоактивное излучение и радиоактивный распад хорошо известны для каждого элемента. Используя эту информацию, можно изучать спектры излучения радиоактивного образца и определять в нём концентрации элементов**.**

Обезвреживая радиоактивные отходы, нужно добиваться, чтобы период полураспада содержащихся в них изотопов был как можно короче. Для этого нужно облучать отходы быстрыми нейтронами. Ядерные отходы перед захоронением можно заключать в керамические капсулы, а затем облучать. 9 октября 2022 года была проведена первая в Китае нейтронозахватная терапия (избирательное уничтожение злокачественных клеток путем накопления в них изотопа бора и последующего облучения нейтронами на пациенте). Энергия пучка составляла 2,3 МэВ, время облучения 45 минут.

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}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 $^{14}_{6}C$, 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}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}C, причем каждую минуту 15 из них распадаются. Для датировки достаточно сосчитать число распадов, которые зарегистрирует 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}C.

- Суть **уран-свинцового метода** заключается в измерении концентраций изотопов урана и подсчете того, какая его часть успела распасться. Превращения изотопов урана следующие: $^{235}U \rightarrow ^{207}Pb$, $^{238}U \rightarrow ^{206}Pb$. Они осуществляются во много стадий, но промежуточные нуклиды быстро распадаются. Для датирования уран-свинцовым методом циркон - самый подходящий минерал. В первую очередь потому, что в его кристаллическую структуру не может встраиваться свинец, тогда как уран может. Следовательно, когда циркон закристаллизовался, наличие в нем свинца говорит о распаде урана. Зная период полураспада ^{235}U и ^{238}U (0,70381 и 4,4683 млрд лет соответственно) и количество образованного ^{207}Pb и ^{206}Pb, можно определить абсолютный возраст кристаллизации минерала. Возраст самых древних пород на Земле. около 4,4 млрд лет.

Исторический факт. Как известно, Томсон (1824-1907), пользовавшийся колоссальным авторитетом в английском научном сообществе в конце XIX века, не признавал дарвиновскую теорию эволюции, а в 1903 году также отказался признать факт радиоактивного распада. Поэтому, опираясь на чистую термодинамику, Томсон в 1862 году вычислил возраст Земли, исходя из скорости остывания горных пород, и получил значение около 100 миллионов лет. В 1899 году он пересмотрел свои расчеты и счел, что реальный возраст Земли составляет 20-40 миллионов лет. Эрнест Резерфорд первым указал, что Земля должна остывать гораздо медленнее, чем по оценкам Кельвина, так как её недра постоянно подогреваются в процессе радиоактивного распада актиноидов. В 1905 году он предположил, что возраст Земли составляет не менее 500 миллионов лет.

Дополнительная информация: В ионизационных детекторах дыма имеется источник α - излучения, ионизирующий воздух между металлическими пластинами-электродами, электрическое сопротивление между которыми постоянно измеряется с помощью специальной схемы. Образующиеся в результате α - излучения ионы обеспечивают проводимость между электродами, а оказывающиеся там частицы дыма связываются с ионами и электронами, нейтрализуя их заряд и увеличивая, таким образом, сопротивление между электродами, на что реагирует электрическая схема.

Единица поглощенной дозы в Си - грей (Гр), названа в честь английского физика и радиобиолога Луи Гарольда Грея. **1 Гр - это доза, при поглощении которой 1 кг вещества получает 1 Дж энергии. 1 Гр = 1 Дж/кг.**

1 Зв (зйверт) – единица эквивалентной дозы излучения. Он равен дозе облучения в Грей для гамма-лучей и бета-лучей. Для альфа-лучей коэффициент пропорциональности между дозой облучения в Гр и дозой облучения в Зв равен 10-20, а для нейтронов 5-10. На практике используют внесистемные единицы: **1 Зв = 100 Р**.

Биологическое действие радиоактивных излучений. Воздействие радиоактивного излучения приводит к ионизации атомов, разрыву химических связей и образованию в организме свободных радикалов (H_2O^+, H_2O^-) - **ионизирующее излучение**. Лечение - "связывание" или выведение из организма свободных радикалов (минеральная вода "нафтуся" и т.д.). 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"?

...полились жесткие рентгеновские лучи, не представимые человеческому уму вздрагивающие векторы электрического и магнитного полей, или более конкретные снаряды-кванты, разрывающие и решетящие все, что попадалось 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 γ – изучения), если внутри – внутреннее облучение (наиболее опасны источники α – частиц). При облучении человека смертельной дозой γ-излучения (6 Гр, 600 Р) в организме выделяется энергия Е = 70 кг·6 Гр = 420 Дж (чайная ложка горячей воды) и за счет этой энергии ионизируется 10^{15} молекул воды в 1 $см^3$ (5 мг воды во всем организме - небольшая потеря). Образование свободных радикалов: $H_2O^- \rightarrow OH^- + H$; $H_2O^+ \rightarrow OH + H^+$, 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.

Доза в 4-8 Зв может быть смертельной, но путь к смерти будет зависеть от уровня воздействия. При таком облучении пациенты страдают рвотой, диареей, головокружением и лихорадкой. Без лечения вы могли бы умереть всего через несколько недель после облучения. При дозе **3-5 Зв** - лучевая болезнь (поражение костного мозга). Смертность около 50%, восстановительный период около полугода.

Если тело подвергнется облучению в **1 - 4 Зв**, клетки крови начнут умирать. Вы сможете восстановиться — лечение такого рода радиационного синдрома обычно включает

переливание крови и антибиотики, но также может ослабиться иммунный ответ из-за падения числа лейкоцитов, кровь не будет сворачиваться и появится анемия. Также вы заметите странные солнечные ожоги при воздействии 2 Гр ионизирующего излучения. Технически это острый радиодерматит, и его проявления включают красные пятна, шелушение кожи и иногда опухлость. Доза радиации в 0,35 Зв будет похожа на грипп — насморк и головокружение, головные боли, усталость, лихорадка.

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%. Из космоса на каждый квадратный сантиметр земной поверхности падает в среднем одна частица в секунду со средней энергией 1 ГэВ. Наибольшая энергия космических частиц достигает 10^{21} эВ. Космические лучи броско окрестили «убийцами из космоса» - считается, что они, вероятно, вносят свой губительный вклад в более чем 100 000 смертей от рака ежегодно. Общая мощность космических лучей, падающих на Землю, - 1,4 гигаватта, как у электростанции. Из них до поверхности нашей планеты доходит всего 40 Вт благодаря защитному действию земной атмосферы. На высоте полёта пассажирских авиалайнеров уровень радиации достигает 2 или 3 мкЗв/час. 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.

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. Чтобы получить радиационное отравление, нужно съесть 20 миллионов бананов, а чтобы умереть, придется съесть все 80!

Ядерные испытания в промежутке между 1950 и 1963 гг. привели почти к двукратному повышению количества углерода-14 в атмосфере, добавив более $500 \cdot 10^9$ кг? По оценкам ученых, человечество ожидает несколько миллионов дополнительных случаев рака, вызванных появлением углерода-14 в результате ядерных испытаний, среди которых 2 миллиона смертельных случаев, причем большая часть из них еще впереди.

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. Магнитное поле окружает Землю и укрывает её от естественного натиска космических лучей. Но иногда щит ослабевает и колеблется, позволяя космическим лучам проникать в атмосферу, создавая ливень частиц, которые, по мнению учёных, могут нанести вред биосфере. Каждые несколько сотен тысяч лет магнитные полюса Земли меняются местами. Северный полюс становится южным и наоборот. Между этими крупными событиями происходят более мелкие события, называемые экскурсами. Во время экскурсий полюса на некоторое время смещаются, не меняясь местами. Экскурсы ослабляют земной щит и могут длиться от нескольких тысяч до десятков тысяч лет. Когда это происходит, в атмосферу попадает больше космических лучей, создающих больше радионуклидов, которые обрушиваются на Землю. Некоторые изотопы стабильны, а некоторые радиоактивны. Период полураспада радиоактивных изотопов варьируется от 20 минут (углерод 11) до 15,7 миллиона лет (ксенон 129).

Дополнительная информация. Разные геологические модели оценивают количество урана-238 в коре и мантии в сто триллионов тонн. Плюс вчетверо больше радиоактивного тория, плюс другие долгоживущие нестабильные изотопы, прежде всего калий-40. Они претерпевают бета-распад, при котором один из нейтронов атомного ядра превращается в протон с испусканием электрона и электронного антинейтрино. Один квадратный сантиметр земной поверхности ежесекундно выбрасывает в космос 6 млн. электронных антинейтрино.

Дополнительная информация: Как защититься от радиации? Радиацией в бытовом понимании этого термина называют альфа, бета частицы и гамма-излучение. Альфа частицы останавливаются при взаимодействии с молекулами воздуха, не проникая даже через обычный лист бумаги. Бета-частицы обладают большей энергией, и для защиты от них 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. 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.

Исторический факт. Первые измерения критической массы плутония в лаборатории США. Злотин взял плутониевую сферу и начал окружать ее отражателями нейтронов. Вместо блоков карбида вольфрама он использовал полусферические оболочки из бериллия, которые обладают лучшей отражательной способностью. Вообще говоря, бериллий так хорошо отражает нейтроны – буквально играет с ними в пинг-понг, – что большинство ученых принимали исключительные меры предосторожности при обращении с полусферами. В частности, было известно, что замыкание бериллиевой оболочки вокруг сферы немедленно запускает цепную реакцию, и поэтому приходилось использовать страховку. Сначала по периметру сферы выстраивали деревянные клинья, на которые укладывали бериллиевый купол, а по мере продвижения эксперимента клинья постепенно вынимали. Так удавалось медленно опустить оболочку и достичь критической массы. Тем майским днем Злотин за две минуты подготовил эксперимент и начал раскачивать полусферу вверх и вниз. Датчик радиоактивности потрескивал, но через мгновение что-то произошло. Отвертка соскочила, и бериллиевая оболочка накрыла плутоний. Находившиеся в комнате восемь мужчин почувствовали теплую волну и увидели голубое свечение. Злотин оттолкнул полусферу рукой, и через секунду в этой руке началось легкое покалывание, а во рту появился металлический привкус. Но потом Злотин задышал ровно и почувствовал то же невероятное спокойствие: он знал, что умрет, но пока чувствовал себя нормально. Он отступил на шаг назад и просто сказал: «Ну, вот так».

Дополнительная информация: Случаи обнаружения источников повышенной радиации в металлоломе фиксируются до сих пор. Предмет, который хранился в куртке одного из сборщиков, оказался источником радиации и создавал фон 200 рентген в час. Находиться поблизости от такого объекта более часа было крайне опасно для здоровья, а за пять часов можно было набрать летальную дозу.

Радиоактивность может все! Предотвратить безумие, отсрочить старость и сделать вашу жизнь великолепной и наполненной юношеской радостью!.

доктор К. Г. Дэвис

Убеждение в том, что радиация полезна, появилось после публикации в 1903 году научной работы физика Д. Томпсона. Ученый, открывший электрон, описал в одной из статей исследование колодцев, вода в которых столетиями считалась целебной. Томпсон выяснил, что вода в них была радиоактивной из-за радона. Это инертный радиоактивный газ, распространенный в природе. После этого ученый мир решил, что радиация — это панацея от всех болезней. Один из умников вообще заявил, что она наполняет тело человека живительной энергией, способствует клеточной активности и ускоряет обмен веществ. Но использовать в качестве лекарства радон не получилось. Он быстро распадался на открытом воздухе, и для получения эффекта нужно было пить воду прямо из источника. Но не было проблемы, которую не могли бы решить ушлые

американцы. В 1912 году предприимчивые дельцы начали продавать прибор под названием «Ревигатор». Это был сосуд с радием, в который наливалась вода. Под воздействием радиоактивного элемента она заряжалась и могла использоваться для лечения разных недугов. В рекламе устройство называли «домашний источник вечного здоровья». Жертв этого дьявольского изобретения было много.

IV. Демонстрация кинофрагмента.

Задачи:

1. Средняя поглощенная доза излучения сотрудником, работающим с рентгеновской установкой, равна 7 мкГр за 1 час. Если предельная доза облучения 50 мГр/год, то опасна ли работа сотрудника в течение 200 дней в год по 6 часов в день?
2. 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.
3. В организме взрослого человека содержится примерно 140 г калия. При этом 0,0117% - радиоактивный калий-40. Если активность 1 г калия 265200 распадов в секунду, то сколько распадов происходит в теле человека каждую секунду? Обычный банан (содержащий калий) испускает позитрон каждые 75 минут!

Радиоактивный K-40 является одним из "домашних" изотопов в нашем организме, но его огромный период полураспада делает его присутствие практически неощутимым.

4. Человек получает дозу облучения D = 0,18 мГр в год за счёт распада радиоактивных изотопов калия, содержащихся в мышцах. Сколько ядер данного изотопа распадается в теле человека массой 70 кг за сутки, и какую эквивалентную дозу получает человек за это время? Начальную скорость β-частиц, испускаемых ядрами калия, принять равной $1{,}6 \cdot 10^6$ м/с. $N = 2{,}3 \cdot 10^9$; H = 0,49 мкЗв. (H=D/365)

Вопросы:

1. Чем опасно радиоактивное излучение? Расскажите о мерах защиты от него.
2. Чтобы задержать γ – 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. Зачем продукты питания облучают радиацией?
6. Один квадратный сантиметр земной поверхности ежесекундно выбрасывает в космос 6 млн. электронных антинейтрино. Почему это происходит?

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. Почему растения не болеют раком после Чернобыля или почему растительная жизнь так сопротивляется радиации и ядерной катастрофе?

5. Земля разогревается по всему объему за счет естественной радиоактивности. Эти радиоактивные процессы высвобождают энергию в виде тепла с мощностью ρ на единицу объема. Какова полная мощность производства тепловой энергии Земли? Мощность теплового потока через слой толщины dr рассчитывается по формуле $-k\cdot(dT/dr)\cdot S$, где S - площадь поверхности слоя вещества, dT - разница температур между слоями, k - константа, называемая термической проводимостью материала.
6. Вывести зависимость между расстоянием между центром Земли и температурой. Построить график зависимости T от r.

Дополнительная информация. Нейтронно-активационный метод. В веществе, облучаемом нейтронами, протекают ядерные реакции (наиболее вероятная реакция - захват нейтрона ядром с испусканием γ – кванта). Образовавшийся изотоп радиоактивен. По количеству образовавшихся изотопов можно очень точно судить о первоначальной массе вещества. Так была установлена причина смерти Наполеона, возраст антиквариата (больше примесей), получение сверхчистых металлов.

Дополнительная информация. Мария Кюри перерабатывала 8 тонн урановых минералов фактически вручную в плохо оборудованном невентилируемом сарае для получения одного грамма радия. 26 декабря 1898 г. супруги Кюри доложили о своих результатах Французской академии наук. В то время Мария и Пьер уже могли продемонстрировать слушателям препарат радия, который был в 900 раз активнее, чем равное ему по массе количество урана.

Записи супругов Кюри сохраняют радиоактивность и хранятся в защитном сейфе. Останки Марии Кюри захоронены в свинцовом гробу. Мария Кюри - первая женщина, получившая Нобелевскую премию, первый человек, получивший Нобелевскую премию дважды и единственный человек, удостоенный Нобелевской премии в двух различных науках - физике и химии. Кстати, в древние времена уран использовался для изготовления желтой посуды! Жизнь Марии Склодовской-Кюри не была богата яркими внешними событиями - она проста и строга, как чистый гармонический тон, и вся она, без остатка, отдана служению науке.

Все люди от природы стремятся к знанию. Наиболее достойны познания первоначала и причины, ибо через них и на их основе познаётся всё остальное.

Аристотель

Трудности понятий увеличивается по мере приближения их к начальным истинам в природе.

Н.И. Лобачевский

Урок 33.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ И ИХ СВОЙСТВА.

Что такое физика частиц? Может ли умереть элементарная частица?

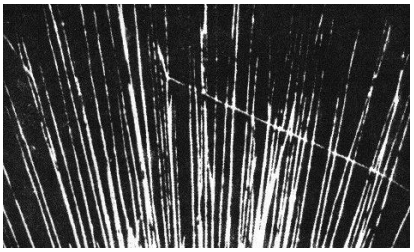
ЦЕЛЬ УРОКА: Ввести понятие "элементарная частица". Систематизировать знания учащихся об элементарных частицах.

ТИП УРОКА: комбинированный.

ОБОРУДОВАНИЙ: диапозитивы; "Электрон неисчерпаем".

ПЛАН УРОКА:

1. Вступительная часть
2. Лекция
3. ответы на вопросы
4. Задание на дом



II. Физика элементарных частиц дает нам ключ к пониманию законов, которые управляют Вселенной. В настоящее время открыто несколько сот элементарных частиц. По массе они делятся на две группы: тяжелые (адроны) и легкие частицы (лептоны). При этом сначала было теоретически предсказано, а затем экспериментально подтверждено, что каждой заряженной элементарной частице соответствует античастица, обладающая противоположным знаком заряда и

некоторыми другими квантовыми характеристиками. Нейтрон электрически нейтрален, но имеет соответствующий антинейтрон, который также электрически нейтрален, но обладает противоположным спином. Есть частицы, для которых античастицами являются они сами - это фотон (квант света) и бозон Хиггса. Одна из основных особенностей элементарных частиц — их универсальная взаимозависимость и взаимопревращаемость.

Дополнительная информация. Четыре элемента у Аристотеля (вода, воздух, огонь, земля и эфир в надлунном мире) → молекула → атом → сложное строение атома → электрон → уровни энергии атома → фотон → состав ядра атома → протоны и нейтроны → π - мезоны (переносчики сильного взаимодействия) → бета-распад $n \to p + e^- + \tilde{\nu}$ (около 5% энергии Солнца и звезд уносят нейтрино). Нейтрон способен недолго находиться вне ядра. Как только нейтрон покидает ядерную толчею, он в течение примерно 15 минут распадается на протон, электрон и крошечную частицу — антинейтрино. В декабре 1930 года австрийский физик Вольфганг Паули писал: *"Я сделал сегодня что-то ужасное. Физику-теоретику никогда не следует делать ничего подобного! Я ввел в теорию нечто, что никогда не сможет быть проверено экспериментально"*. **Нейтрино** - нейтральная фундаментальная частица с полуцелым спином, масса которой меньше миллионной доли массы электрона. **Три типа нейтрино:** $\nu_\mu + n \to p + \mu^-$, $\nu_e + n \to p + e^-$, $\nu_\tau + n \to p + \tau^-$. **Мюонное нейтрино** было экспериментально обнаружено в 1962 году (Нобелевская премия в 1988 году), **тау-нейтрино** в 2000 году. У нейтрино спин всегда направлен противоположно импульсу — такие частицы называют левовинтовыми. У антинейтрино спин смотрит в ту же сторону, что и импульс – это правовинтовые частицы. Отсюда следует, что наблюдаемые нейтрино не тождественно антинейтрино! Центральная проблема физики элементарных частиц – природа нейтрино (сколько всего различных типов нейтрино, каковы их массы, имеют ли они электромагнитные свойства). Изучение свойств нейтрино позволит понять строение Вселенной и образование в ней скоплений галактик, получить информацию о самых удаленных уголках Космоса и объяснить барионную асимметрию. В чём состоит загадка нейтрино?

Предсказание существования «положительных» электронов (Дирак) и их обнаружение в космических лучах (Андерсон). Взаимодействие γ - квантов с веществом и рождение электронно-позитронных пар. «Рождение» пар «частица – античастица» буквально из ничего – квантовое чудо. Частицы вещества и антивещества могут быть созданы непосредственно путем столкновения очень энергичных фотонов. **Аннигиляция пар:** $e^+ + e^- \to 2\gamma$. Размышляя впоследствии над собственной нерешительностью в отношении предположения о существовании новой частицы, Дирак говорил: «Мое уравнение оказалось умнее меня!»

Если для каждой частицы есть античастица, то почему вся Вселенная за 13,7 миллиарда лет прошедших после Большого взрыва еще не аннигилировала?

Другие элементарные частицы (справочник по физике, ст. 218, Табл.273). В настоящее время известно около 350 частиц, хотя для объяснения строения вещества достаточно 5 частиц (протон, электрон, нейтрон, фотон, антинейтрино, пионы). Какова роль остальных частиц? Хотя атомов, составленных из античастиц в свободном состоянии, на Земле не наблюдается, материалов, их излучающих, довольно много. Так обычный банан содержит изотоп калия с атомной массой 40. Этот изотоп радиоактивен и подвержен бета-распаду, при котором выделяются позитроны. Так что один банан излучает позитрон в среднем каждые 75 минут.

Элементарной можно назвать такую частицу, которая не имеет внутренней структуры и не может быть разделена на более мелкие частицы.

Попытки расщепить протон: $\gamma + p \to p + \pi^0$, $\gamma + p \to p + \pi^+ + \pi^-$, $\gamma + p \to p + p + \tilde{p}$.

При наличии определённого количества энергии можно спонтанно создавать новые пары частиц материи-антиматерии, если их масса покоя меньше, чем количество энергии, необходимое для их создания! Протоны и нейтроны мы считали элементарными частицами. Оказывается, они не таки уж и элементарные.

Мы тогда уверены в познании всякой вещи, когда узнаем ее первые причины, первые начала и разложим ее вплоть до элементов.

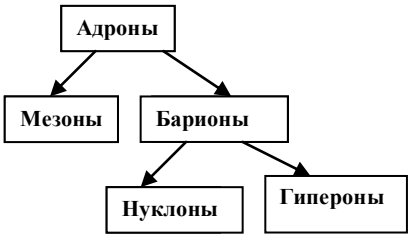
Аристотель

Этот пример показывает, что благодаря взаимопревращениям частиц оказываются бесплодными попытки разделить одни частицы, обстреливая их другими.

Новые частицы рождаются за счет энергии взаимодействующих частиц!

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, «Танцующие мастера Ву Ли»



Истинно элементарные частицы - фотон и лептоны (13 частиц). Размеры лептонов меньше 10^{-16} см. Размеры тяжелых частиц (протон, нейтрон и т.д.) порядка 10^{-13} см. **Тяжелые частицы - адроны (мезоны и барионы)**. Адрон (от греческого "хадрос[и] - массивный, сильный). **Классификация адронов.**

Наиболее важное свойство всех элементарных частиц - способность рождаться и уничтожаться при взаимодействии с другими частицами. В этом отношении они полностью эквивалентны фотонам. Примеры: $p + p \rightarrow p + n + \pi^+$, $p + p \rightarrow p + \Lambda^0 + K^+$, $p + p \rightarrow p + \Sigma^+ + K^0$, $p + p \rightarrow n + \Lambda^0 + K^+ + \pi^+$, $p + p \rightarrow p + \Xi^0 + K^+ + K^0$, $p + p \rightarrow p + p + p + \tilde{p}$.

В 1950-х годах протон всё-таки раскололи. Откуда дополнительно появились протон и антипротон? Похоже на то, будто бы внутренности протона заполнены целым морем частиц, и чем сильнее его бить, тем более липкими они становятся. Углубляясь на величину максимальной доступной нам энергии, мы всё равно не видим ограничения на плотность этих субатомных частиц внутри атомных ядер.

«Будь я в состоянии запомнить все их имена, — заметил как-то Энрико Ферми, — то стал бы не физиком, а ботаником».

Взаимодействие	Относительная интенсивность	Радиус действия	Переносчики	Источники
Сильное	1	10^{-13} см	π-мезоны, глюоны	Адроны (кварки)
Электромагнитное	10^{-2}	∞	Фотоны	Заряд
Слабое	10^{-14}	$2\cdot10^{-16}$ см	Промежуточные векторные бозоны, $W^{\pm}$,Z^0	Лептоны, кварки
Гравитационное	10^{-44}	∞	Гравитоны	Масса

Взаимные превращения частиц и подчинение этих превращений **законам сохранения импульса, момента импульса, энергии, электрического заряда, спина, барионов** (всем нуклонам и гиперонам приписывается барионное число + 1, а их античастицам – 1), **лептонов** (всем лептонам приписывается лептонное число +1, а их античастицам – 1). Лептонный заряд сохраняется порознь (для всех трёх типов лептонов) всегда и во всех взаимодействиях и это объясняет наличие некоторых процессов и отсутствие других.

Дополнительная информация. Под зарядовой симметрией понимается **сохранение суммарных зарядов, каждого по отдельности – электрического, барионного и лептонного**, в процессах взаимодействия объектов между собой.

Элементарные частицы и то, что из них собирается в массивные объекты, обладают гравитацией, зарядом, магнетизмом и т.д. - как исконно своими свойствами, подобно тому, как каждый из нас имеет свойства характера, особую внешность и привычки.

В квантовом мире, размытом вследствие принципа неопределенностей, существование носит, наоборот, очень жесткий и точный характер: все атомы одного элемента строго одинаковы в своих основных состояниях, одинаковы все кванты одного поля. Например, у всех электронов один и тот же заряд, масса, лептонное число и спин.

Взаимодействие элементарных частиц. Все известные частицы во Вселенной можно разделить на две группы: частицы со спином 1/2, из которых состоит вещество во Вселенной (фермионы), и частицы со спином 0, 1 и 2 (бозоны), которые создают силы, действующие между частицами вещества. В основе каждого природного взаимодействия лежит обмен частицами-посланниками - бозонами различных видов. Такой посланник передает взаимодействие между двумя частицами, подобно тому, как теннисный мяч передает игроку силу удара противника.

Как вся физика Вселенной помещается внутри одного атома?

Сильное взаимодействие приводит к наиболее прочной связи протонов и нейтронов в атомных ядрах, а также существует между кварками. Переносчики сильного (ядерного) взаимодействия имеют массу около 140 МэВ/c^2.

Электромагнитное взаимодействие ответственно за связь атомных электронов с ядрами и осуществляется посредством электромагнитного поля. **Фотоны** не взаимодействуют друг с другом; они взаимодействуют только с **электрическими зарядами**. Закон сохранения энергии и импульса запрещает поглощение фотона свободным электроном, однако, из-за неопределенности энергии, на короткое время электрон может излучить виртуальный фотон и поглотить его снова. Электрон окружен оболочкой виртуальных фотонов, которые образуют его электрическое и магнитное поле. Чем дальше от электрона, тем меньше энергия и импульс этих фотонов, поэтому электрическое поле убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Фотон с очень низкой энергией может существовать годы и пролететь несколько световых лет. Зона действия электрической силы безгранична! Рассеяние фотона на электроне может происходить следующим образом. Фотон порождает электронно-позитронную пару, исходный электрон аннигилирует с позитроном, порождая фотон, родившийся электрон уходит из области взаимодействия. Эти электроны в принципе неразличимы. Если в пустоте создать очень сильное электрическое поле, то из вакуума будут рождаться электронно-позитронные пары. Фотоны могут рождать другие фотоны только через рождение пар заряженных частиц или при рассеянии на заряженных частицах.

Если электромагнитные силы ослабли бы примерно на 4 %, Солнце немедленно взорвалось бы: атомы его водорода стали бы соединяться в *дипротоны* (не существующую без такой поправки разновидность гелия, не содержащего нейтронов). Если существенно усилить электромагнетизм, то стабильные атомы, например углерод и кислород, будут испытывать радиоактивный распад.

Слабое взаимодействие проявляется в сравнительно медленно протекающих процессах распада элементарных частиц, отвечает за нуклеосинтез, распад массивных элементарных частиц. Благодаря тому, что распад может сопровождаться выделением тепла, именно слабое взаимодействие делает недра Земли горячими, фактически являясь причиной сложной тектонической активности. Слабые ядерные силы заставляют протон превращаться в нейтрон в ядре с избытком протонов, или нейтрон превращается в протон в ядре с избытком нейтронов ($n \rightarrow p + W^- \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$). Оно делает возможным термоядерное горение звёзд и работу атомных электростанций. В слабом взаимодействии участвуют все фермионы, включая нейтрино, а переносят его тяжёлые **W^+, W^- и Z^0-бозоны**. Например, масса W-бозона (80360,2 ± 9,9) МэВ. Максимальное расстояние, которое способно преодолеть слабое взаимодействие, составляет всего около 1/1000 диаметра ядра. В слабом взаимодействии принимают участия все лептоны и кварки, и именно в нем проявляет себя нейтрино. Нейтрино имеет небольшую массу, не излучает фотонов и не испускает глюонов. Согласно модели Салама – Глэшоу - Вайнберга, при энергии, примерно равной 173 ГэВ,

электромагнитное и слабое взаимодействие объединяются. При более низкой энергии симметрия спонтанно, то есть случайным образом, разделяется на две разные симметрии: одна соответствует электромагнитному, а вторая — слабому взаимодействию.

Гравитационное взаимодействие. Все частицы участвуют в гравитационном взаимодействии, которое на расстоянии менее 10^{-13} см не играет практически никакой роли. Гравитационная волна – это распространяющееся возмущение пространства-времени. Как и световая волна, гравитационная имеет определенную частоту и переносит энергию. Свет состоит из фотонов - частиц, или квантов, света, а гравитационное излучение переносится квантами, называемыми гравитонами. Они подчиняются тому же соотношению между частотой и энергией, что и фотоны. Как и фотоны, они движутся со скоростью света и не имеют массы. Гравитоны реагируют не на заряды, а на массу, энергию и импульс. А поскольку они переносят энергию, то взаимодействуют и друг с другом. Мы очень мало знаем о гравитонах, которые могут объяснить, откуда берется гравитация. Будь гравитационное взаимодействие хотя бы немного сильнее, Вселенная эволюционировала бы так быстро, что на возникновение разумной жизни в ней не осталось бы времени. Альберт Эйнштейн предсказал существование гравитационных волн в 1916 году. Однако экспериментально их обнаружили совсем недавно — в 2015 году, за что в 2017-м вручили Нобелевскую премию по физике. Гравитационные волны - малые возмущения пространства-времени. Они возникают при несимметричном движении массивных тел, например, при слиянии двух черных дыр. Эти возмущения распространяются от источника со скоростью света, меняя ненадолго изменяя локальную кривизну. Кривизна определяет расстояния между объектами. То есть, гравитационные волны меняют относительно расстояние между двумя телами: «сжимает» или «расширяет» его. Открытия удалось добиться благодаря сложным детекторам. В 2017 году астрофизики стали свидетелями редкого события — столкновения двух нейтронных звёзд. За 100 секунд до столкновения нейтронные звёзды находились на расстоянии примерно 400 километров друг от друга, проходя полный круг по орбите примерно 12 раз в секунду. Чем больше сближались объекты, тем выше была их скорость, а амплитуда и частота гравитационных волн увеличивались. Всё это продолжалось до полного слияния звёзд в единый объект. Согласно теории гравитации Эйнштейна, любые две массы, вращающиеся друг вокруг друга, будут излучать энергию в виде гравитационных волн, из-за этого они будут постепенно сближаться по мере затухания их орбит. В конце концов, эти массы будут двигаться ещё быстрее, излучать гравитационные волны всё более высокой частоты и большей амплитуды, и так далее, пока не сольются воедино. Этот "фоновый гул" гравитационных сигналов присутствует на всех частотах и, что важно, создаётся всеми массами, вращающимися друг вокруг друга во Вселенной. Это справедливо для: 1) планет, вращающихся вокруг звёзд; 2) звёзд, входящих в многозвездные системы; 3) звёздных остатков и их систем; 4) звёзд и звёздных остатков, движущихся внутри галактик; 5) галактик, которые сливаются вместе; 6) сверхмассивные чёрные дыры вместе со всем, что вращается вокруг них.

Для наглядности взаимодействующие частицы можно считать «кирпичиками» мироздания, а частицы-переносчики взаимодействия – «цементом». Самое важное то, что любой атом участвует во всех четырех взаимодействиях, и все они влияют на него, вплоть до гравитации.

Стандартная модель — теория, которая описывает все известные взаимодействия, за которые отвечают элементарные частицы.

Дополнительная информация. Она не решает двух "больших загадок" Вселенной: из чего состоит темная материя — и как так случилось, что в нашей Вселенной вещество преобладает над антивеществом. Одним из вариантов ответа на этот вопрос является предположение, что кроме наблюдаемой нами части Вселенной, состоящей из вещества, есть такая же часть из антивещества. Однако обнаружить эту часть Вселенной все не удается, а скорее ее попросту нет. Другое предположение гласит, что во время формирования Вселенной имелся некий перекос - на миллиард пар частица-античастица образовывалась одна лишняя частица. Но и это предположение пока недоказуемо.

Квантовая теория поля (КТП) – это абсолютная база, незыблемый фундамент всей современной науки, современная магия и алхимия, триумф математики в описании реальности и самая успешная, точная, проверенная и перепроверенная физическая теория, дающая предсказания с невероятной точностью. КТП – это обобщение квантовой механики на случай взаимопревращения частиц при высоких энергиях и около световых скоростях.
Квантовое поле – распределение какого-то параметра в пространстве, в данном случае – энергии, или напряжённости. Если энергия в некой точке пространства нулевая – это вакуум (о тёмной энергии пока речь не идёт), если ненулевая – это уже материя. Чем выше амплитуда возмущения, т.е. чем больше в одном месте сосредоточено энергии, тем массивнее частица, как свидетельствует формула Эйнштейна $E = mc^2$.
Каждый образованный человек должен знать Стандартную модель как азбуку или таблицу умножения!

III. *Задачи:*

1. При аннигиляции медленно движущихся электрона и позитрона образуются два γ - кванта. Под каким углом друг к другу они разлетаются? Какова частота возникающего излучения?

Позитроний может абсорбировать и излучать свет только в определенных частотах, так как электрон и позитрон внутри него прыгают с одного квантового состояния к другому. Физики смогли получить облака примерно из 100 000 атомов позитрония и подвергнуть их действию микроволн, чтобы запустить переход между парой квантовых состояний. Они обнаружили, что переход осуществляется при 18,50102 ГГц.

2. Остановившийся π - мезон распался на мюон и нейтрино. Найти кинетическую энергию мюона и энергию мюонного нейтрино.

IV. §§ 105-108

1. Вообразите мир без одного из фундаментальных взаимодействий. Чем он интересен?
2. Почему атом или молекула с чётным числом электронов более устойчивы (в химическом отношении), чем с нечётным числом?
3. Почему ядерные силы не убывают с квадратом расстояния от центра ядра?
4. Заполните таблицу:

Частица	Масса покоя	Электрический заряд	Время жизни
Кварк			
Протон			
Электрон			
Пион			
Нейтрино			

Семь красок и двенадцать звуков
Творят бессмертные искусства.
И три десятка знаков – букв
Объемлют знания и чувства...
А сколько надо кирпичей
Для сотворения вещей?
английский художник Д. Филипп, 1887 г.

Во Вселенной больше не осталось тайн!
Марселен Бертло, 1885 г.

Урок 34.

КВАРКОВАЯ МОДЕЛЬ АДРОНОВ

Почему протон не разлетается на кусочки?

ЦЕЛЬ УРОКА: Развить представления учащихся об элементарных частицах.
ТИП УРОКА: комбинированный.
ОБОРУДОВАНИЕ: диапозитивы «Электрон неисчерпаем».
ПЛАН УРОКА:

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

II. Опрос фундаментальный: 1. Элементарные частицы. 2. Свойства элементарных частиц.

Задачи:

1. Определить частоту двух одинаковых γ-квантов, родившихся при аннигиляции протона и антипротона (массы частиц одинаковы), пренебрегая кинетической энергией частиц до соударения.
2. Покоившаяся нейтральная частица распалась на протон с кинетической энергией 5,3 МэВ и π^- - мезон. Найти массу этой частицы. Как она называется?
3. При распаде нейтральной частицы образовались два фотона, движущихся под углами 30° и 60° к первоначальному направлению движения частицы. Какова ее скорость?
4. Почему реакция $\nu + n \to p + e^-$ $(\tilde{\nu} + p \to n + e^+)$ идет, а реакция $\tilde{\nu} + n \to p + e^-$ $(\nu + p \to n + e^+)$ не идет?

Вопросы:

1. В чем отличие частицы и ее античастицы (электрический, барионный и лептонный заряд)?
2. Почему при аннигиляции свободного электрона и позитрона всегда возникают два фотона, а не один?
3. Стабильность электрона – следствие закона сохранения электрического заряда. Так ли это?
4. Чем отличаются нейтрино и антинейтрино, если у них все одинаково (процесс рождения)?
5. Правильно ли записаны реакции: $\pi^+ \to \mu^+ + \nu_\mu$,? $\mu^+ \to e^+ + \nu_e + \tilde{\nu}_\mu$?.
6. Какие из перечисленных реакций невозможны, и по какой причине: 1) $\mu^- \to e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\mu$; 2) $\pi^+ \to \mu^- + \tilde{\nu}_\mu$; 3) $\mu^- \to e^- + e^+ + e^-$; 4) $p + p + \pi^- \to \Sigma^+ + \pi^-$; 5) $\tau^- \to e^- + \tilde{\nu}_e + \nu_\tau$. 2,3
7. Как изменился бы наш мир, если бы электрон был нестабильной частицей?
8. Что произойдет, если электронное антинейтрино попадет в протон?
9. Чем отличается нейтрино от электрона?
10. Почему вакуум не оказывает сопротивления движению тел (отрицательное давление)?

11. Приведите примеры превращения энергии в вещество и вещества в энергию.
12. Почему энергия гравитона (кванта гравитационного поля) должна быть очень малой и по этой причине его невозможно обнаружить?
13. Если в вакууме близко друг от друга разместить две тончайших обкладки конденсатора, то даже без заряда они будут притягиваться друг к другу (эффект Казимира). Почему?

Если два корабля при сильном волнении на море сближаются бортами, то между ними тоже возникает притяжение. Почему?

III. Адроны - сильно взаимодействующие частицы (от греческого "хадрос" - массивный, сильный).

Дополнительная информация. Состав ядра атома - протоны и нейтроны (нуклоны). Зондирование нуклонов пучком электронов 1969 г. (чем больше импульс налетающей частицы, тем меньше длина волны, тем больше деталей удастся различить**).** При низких энергиях электронов они взаимодействуют с ядрами упруго, и исследователи «видят» ядро, состоящим из отдельных нуклонов. При больших энергиях электроны уже проникают вовнутрь нуклонов и становятся «видны» кварки. Такой процесс получил название глубоко-неупругого рассеяния. «Не упругость» означает, что цель поглощает некоторое количество энергии. При достаточно большой энергии цель разрушится, и возникнут новые частицы.

Другие доказательства: а) У протона есть возбужденные состояния, как у атома (резонансы); б) При взаимодействии протона с налетающим протоном рождаются мезоны, которые должны распространяться преимущественно вдоль направления движения протона, если он не имеет внутренней структуры (закон сохранения импульса), однако в поперечном направлении рождается много больше мезонов (протон состоит из движущихся частиц).

Эти опыты показали, что нуклоны состоят из трех точечных объектов. В каком-то смысле это был опыт Резерфорда, но уже на следующем уровне.

4 января 1964 г. американский физик Мюррей Гелл-Манн отправил в журнал "Physics Letters" статью под названием "Схематическая модель барионов и мезонов", в которой была предложена модель составных объектов, состоящих из новых элементарных частиц, кварков, имеющих дробный электрический заряд (статья была опубликована 1 февраля).

Идея, которая делает работу в нашей области особенно интересной, особенно в попытках усовершенствовать теорию, заключается в том, что главным критерием для выбора правильной гипотезы является критерий красоты, простоты или элегантности.

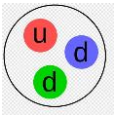
Мюррей Гелл-Манн

Новый уровень элементарности – кварки (с 1967 года имеем кварковую модель). **Кварк - частица со спином $\frac{1}{2}\hbar$ и дробным электрическим зарядом, являющаяся составным элементом адронов** (кварк – по-немецки "творог").

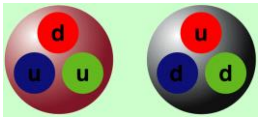
Таблица кварков:

Аромат	Название	Спин	Заряд	Масса в МэВ	Странность	Очарование
u	Верхний	$\hbar/2$	2/3 e	$2{,}01 \pm 0{,}14$	0	0
d	Нижний	-	-1/3 e	$4{,}79 \pm 0{,}16$	0	0
s	Странный	-	-1/3 e	150	-1	0
c	Очарованный	-	2/3 e	1300	0	1
b	Красивый	-	-1/3 e	5000	0	0
t	Истинный	-	2/3 e	20000	0	0

Мезоны состоят из пары кварк - антикварк (спин целый). Примеры-демонстрации на магнитной доске: $\pi^+ = u\tilde{d}$, $\pi^- = d\,\tilde{u}$, $K^+ = u\tilde{s}$, $K^0 = d\tilde{s}$, $K^- = s\tilde{u}$ (всего девять мезонов со спином равным нулю). Почему? А существуют ли мезоны со спином $\hbar$? Да! Настоящим триумфом кварковой модели явилось открытие очарованных частиц, содержащих с-кварки. Пример: $Д^+ = c\tilde{d}$ (1869 МэВ).



Барионы состоят из трех кварков (демонстрации на магнитной доске). Спин барионов полуцелый. Примеры: p = uud, n = ddu. При распаде нейтрона один d -кварк превращается в u-кварк: $d \to u + e^- + \tilde{\nu}$ $(d \to W^- + u;\ W^- \to e^- + \tilde{\nu}_e)$. Существует ли электрическое поле внутри нейтрона? **Барионы, состоящие не только из u и d кварков, называются гиперонами.** Примеры: Λ^0 = uds.

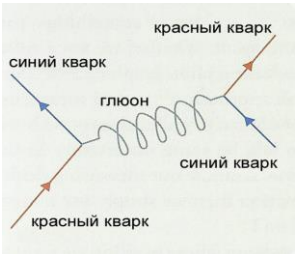


В понимании сегодняшней физики вся видимая материя образована не четырьмя элементами, предсказанными еще греками, а тремя элементарными частицами: «верхним» кварком, «нижним» кварком и электроном!

Дополнительная информация. Кварки, как и лептоны - фундаментальные фермионы. Все элементарные частицы делятся на «кирпичики материи» — фермионы и переносчики взаимодействия — бозоны. Эти классы частиц сильно отличаются друг от друга, одним из самых ярких отличий является отсутствие принципа запрета Паули у бозонов. Грубо говоря, в одной точке пространства может быть не более одного фермиона, но сколько угодно бозонов. Элементарных фермионов гораздо больше, чем элементарных бозонов. Их делят на два класса: **лептоны и кварки.** Они отличаются тем, что кварки участвуют в сильном взаимодействии, а лептоны — нет.

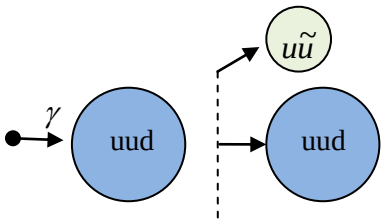
Почему существует Ω^-(sss)? Размер одного кварка примерно в тысячу раз меньше размера протона. **Цвет кварка** - это его цветовой заряд, но у кварков их три и эти заряды получили названия красный, синий и зелёный. Все три заряда вместе дают "бесцветный" кварк. Кварки и антикварки удерживаются внутри адронов **глюонным полем** (кванты поля – глюоны). **Теория взаимодействия глюонов с кварками называется квантовой хромодинамикой.** Существует 8 разновидностей глюонов (6 явно окрашенных и 2 скрыто окрашенных). **Испуская и поглощая глюоны, кварки осуществляют сильное взаимодействие между собой.** Например, красный кварк, испуская $к\tilde{ж}$ глюон, в силу сохранения цвета становится желтым, а, испуская $к\tilde{с}$ - переходит в синий цвет. Кварки, и глюоны погружены в «суп». «Супом» физики называют вакуум, в котором постоянно возникают и тут же аннигилируют пары кварк-антикварк.

$ж\tilde{ж}$	$ж\tilde{с}$	$ж\tilde{к}$
$с\tilde{ж}$	$с\tilde{с}$	$с\tilde{к}$
$к\tilde{ж}$	$к\tilde{с}$	$к\tilde{к}$

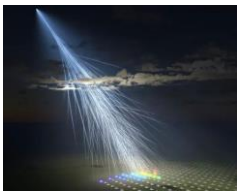


Дополнительный материал: Почему нельзя наблюдать кварки в свободном состоянии? Самым удивительным свойством взаимодействия между кварками оказалось то, что, когда они приближались друг к другу, сила притяжения между ними уменьшалась, а когда удалялись - увеличивалась. Эта особенность их поведения называется конфайнментом, что с английского дословно переводится как «заточение». Почему конфайнмент сильного взаимодействия вообще происходит - одна из знаменитых задач тысячелетия. Несмотря на то, что кварки

очень маленькие, между ними действует колоссальная сила в 150000 Н. Физики обнаружили, что внутри каждого протона в атоме давление примерно в десять раз больше, чем в самом сердце нейтронной звезды! Силы взаимодействия между кварками ведут себя, как кусок резины, который сопротивляется растяжению тем сильнее, чем больше его растягивают, при этом энергия связи кварков оказывается больше энергии, необходимой для рождения пары кварк - антикварк. Выгоднее родить мезон, чем оторвать кварк уже на расстоянии радиуса протона (10^{-13} см)!

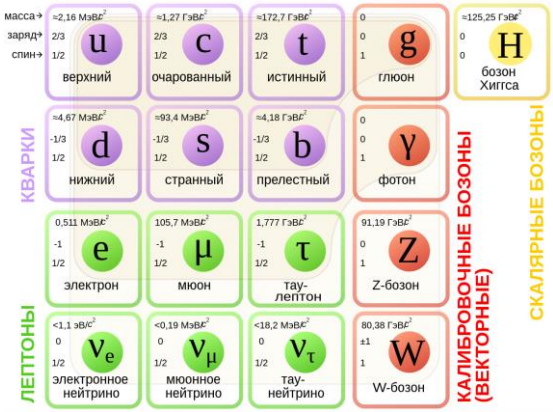


Объяснение природы сильного взаимодействия на основе квантовой хромодинамики. Именно сильное взаимодействие между кварками является источником ядерного взаимодействия между нуклонами. Протон – это не просто три кварка с глюонами. Это целое море плотных частиц и античастиц. Чем подробнее мы изучаем протон, чем больше энергии тратим на неупругие столкновения, тем больше внутренней структуры мы в нём находим. Сегодня мы знаем, что вещество не получится бесконечно делить. Если мы попытаемся вырвать кварк из протона, то в свободном виде кварк мы не получим. Мы получим еще несколько кварков, которые объединятся в какую-то частицу. Грубо говоря, когда мы будем резать буханку хлеба на две части, мы получим две целых буханки хлеба. **Адронные струи:** $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$.



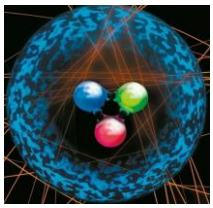
Кварки – порождение человеческого ума, необходимое для построения стройной, непротиворечивой картины Мира! Природа сотворила думающего человека, способного постичь устройство Вселенной! Остаётся открытым вопрос, из чего состоят сами кварки?

Истинно элементарные частицы - лептоны и кварки. Из них построено все вещество. Взаимодействием этих частиц обусловлено многообразие мира. Поколения частиц. Всего частиц: лептоны - 12, кварки - 12, глюоны - 8, фотон - 1, векторные бозоны – 3, бозон Хиггса – 1, гравитон (пока гипотетический**) – 1, всего = 38.**



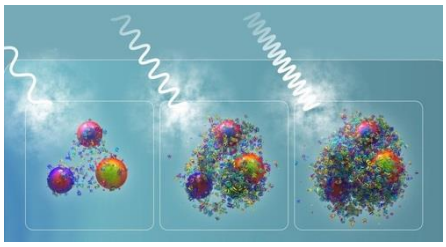
Никто не знает, почему этот список именно такой и почему элементарные частицы обладают такими свойствами. Все частицы, с которыми мы взаимодействуем, имеют высокоэнергетические, нестабильные аналоги (второе и третье поколение частиц)! Зачем природе понадобились три поколения частиц?

Дополнительная информация: Ядерное вещество плавится при превышении критической температуры и превращается в кварк-глюонную плазму (КГП). При достаточно большом давлении и температуре адроны «растворяются» друг в друге, а входящие в их состав кварки свободно гуляют по всему объему вещества. Температура такого фазового перехода значительно превышает температуру перехода в состояние обычной плазмы и достигает двух триллионов градусов (фазовый переход между кварк-глюонной плазмой и адронной материей происходит при температуре 156 МэВ). Эта температура в 120 000 раз выше, чем в недрах Солнца. Плавятся не только протоны и нейтроны, но и любые другие адроны, причем, чем частица компактнее, тем выше ее температура плавления. Проявление этого эффекта для ипсилон-мезонов было зарегистрировано детектором CMS. Это явление называется деконфайнментом, то есть процессом освобождения кварков из адронов. Кварк-глюонная плазма представляет собой идеальную жидкость, которая почти не имеет вязкости или сопротивления течению.



Дополнительная информация: БАК (Большой адронный коллайдер) позволяет вновь вызвать к жизни частицы, которых во Вселенной нет

последние 13,7 миллиардов лет, но которые могли сыграть роль в тот краткий миг, пока наличествовали. Это оказались, так называемые X-частицы, представляющие собой электрически нейтральные 4-кварковые молекулы. В ЦЕРНе 12.11.2020 впервые наблюдали **такую** частицу. Модель кварков также допускает существование экзотических адронов, состоящих из четырех (тетракварки), пяти (пентакварки) и более кварков. Ученые впервые экспериментально обнаружили адрон, состоящий из четырех очарованных кварков.



Дополнительная информация. Исследователи, работающие на БАК, представили данные о наблюдении кварковой структуры нуклонов с помощью виртуальных гамма-квантов высокой энергии, возникающих при столкновении ядер свинца в детекторе. Иллюстрация демонстрирует качественные "картинки", показывающие валентные кварки и кварк-глюонную плазму внутри нуклонов при различных значениях энергии виртуальных гамма-квантов.

Дополнительная информация. Нейтрино — это сверхлегкие частицы (их масса на 10 порядков меньше, чем у протона), образующиеся в процессе ядерных реакций. Нейтрино подразделяются на три поколения: электронные, мюонные и тау-нейтрино. Кроме этого, есть еще антинейтрино — это античастицы трех разных типов, соответствующих «обычным». В различных реакциях они появляются только вместе со своим заряженным партнёром и взаимодействуют только друг с другом (например, электронное нейтрино не может вступить во взаимодействие с тау-лептоном). Нейтрино разных поколений могут самопроизвольно превращаться друг в друга. Ученые называют это нейтринными осцилляциями. Стандартное размещение нейтринной обсерватории — в шахте или, в некоторых случаях, под водой, чтобы вышележащая толща блокировала ненужное излучение. Хорошее место для детектора — шахта в толще чистого известняка.

Изучение испускаемых Землей нейтрино может помочь нам хотя бы понять, сколько в земном веществе радиоактивных элементов и где они в основном находятся. По части последнего существуют разные версии, начиная от того, что уран с торием — атрибут нижней части земной коры, и кончая тем, что источники радиации в ходе формирования планеты «утонули» к ее центру, и там существует нечто вроде ядерного реактора, причем периодически действующего. Накопившиеся продукты распада, когда их становится достаточно много, останавливают цепную реакцию. Потом в раскаленной среде они потихоньку диффундируют наверх (они легче), освобождая место для новых порций делящегося материала, после чего процесс запускается снова. Если это так, то подобная цикличность могла бы помочь в объяснении перемен магнитной полярности Земли.

Для создания 1 мг позитронов необходимо потратить около $25 миллионов! Оценки ученых из ЦЕРН говорят о том, что для создания всего 1 грамма антивещества, вся мировая энергетика должна была бы работать на это без перерыва целый год.

Вопросы:

1. Существуют ли способы отличить мир от антимира?
2. Что вы понимаете под элементарной частицей?
3. Почему протоны и нейтроны не являются в истинном смысле элементарными частицами?
4. Что вы теперь знаете об элементарных частицах?
5. Почему протонов во Вселенной почти в 7 раз больше, чем нейтронов?
6. Чем отличаются барионы от мезонов?

7. Чем определяется время и место распада радиоактивных ядер?
8. Электрон и позитрон могут обращаться вокруг неподвижного общего центра масс до тех пор, пока не аннигилируют, испустив два фотона одинаковой энергии, двигающихся в противоположных направлениях. Почему именно в противоположных направлениях?
9. Почему в обычных условиях нейтрон неустойчив, а протон – стабилен?
10. Имеют ли мезоны цветовой заряд?
11. Могут ли кварки распадаться?
12. Почему нейтрон, не обладая зарядом, имеет собственный магнитный момент?
13. Напишите реакцию распада свободного нейтрона и назовите элементарные частицы, на которые он распадается.
14. Бывают фабрики странности, очарования, прелести? Что это за фабрики?
15. Какие частицы не имеют античастиц?
16. Чему теперь равен элементарный электрический заряд?
17. Каким образом электрон может превратиться в нейтрино, а u-кварк в d-кварк?
18. Являются ли кварки фундаментальными частицами (до 10^{-19} м)?
19. Что такое «частица Хигса» и почему ее иногда называют «частицей Бога»?
20. Если бы вещество с отрицательной массой существовало, то это нарушало бы одно или несколько энергетических условий, и оно проявляло бы некоторые странные свойства. Какие?

IV. §§ 109 – 110.

Дополнительная информация: Процесс взаимоуничтожения вещества и антивещества сейчас в повседневной практике используется в медицине для томографии (позитронно-эмиссионная томография). В этом методе используется то обстоятельство, что некоторые радиоактивные вещества, например, изотоп йода - йод-121, испускают позитроны. В теле человека он накапливается в щитовидной железе. Когда йод излучает позитроны, эти частицы сталкиваются с близкорасположенными электронами и взаимно аннигилируют, создавая гамма-лучи. Специальная камера улавливает эти лучи и создает изображение щитовидной железы. На таком изображении можно увидеть участки этого органа, не накапливающие йод, - они выглядят на скане как белые пятна.

Пустота не вполне пустота –
В ней различные есть места.
Ольга Рожанская

Дополнительная информация: В современной физике основным материальным объектом является квантовое поле. Специфика квантово-полевого понимания материи выражается и в том, что поле сохраняется даже тогда, когда частицы в нем отсутствуют. Такое состояние поля называется невозбужденным («нулевым»). **Физический вакуум** – самое низшее энергетическое состояние квантового поля. Вакуум – не пустота, а кипящее море квантовых флуктуаций. В нём постоянно что-то происходит. В физике «вакуум» обозначает своего рода сцену, на которой разворачивается физическое действие и потенциально содержит все, что может произойти на этой сцене. Когда-то сценой был эфир, но от него по разумным причинам отказались. В вакууме постоянно рождаются и аннигилируют пары виртуальных

частиц и античастиц (нулевые колебания полей). Современная физика элементарных частиц позволяет считать пространство кипящим котлом, в котором эти частицы непрерывно возникают и распадаются. Физический вакуум – активный участник процесса распространения частиц. Его особенность состоит в том, что при взаимопревращении частиц не действует закон сохранения их числа, т. е. частицы могут возникать, уничтожаться и превращаться в строгом соответствии с определенными законами сохранения (энергии, импульса, заряда и некоторых других квантовых величин). Поляризация вакуума вблизи атомного ядра приводит к сдвигу энергетических уровней электрона в атоме водорода (открыт У. Лэмбом в 1947 г). Взаимодействие заряженных частиц с вакуумом изменяет их магнит момент. Вакуум "прижимает" тела друг к другу. Этот эффект в 1948 году открыл голландский физик Хендрик Казимир. Фотон представляет собой квант электромагнитного поля. Электрон - это квант поля Дирака. Бозон Хиггса - квант поля Хиггса. Другими словами, как в любви и браке, один не может существовать без другого. Кирпичики наших теорий - и частицы, и поля. Вакуум содержит темную энергию, ответственную за ускорение расширения Вселенной.

Аристотель утверждал, что природа не терпит пустоты и оказался прав!

Дополнительная информация. Механизм Хиггса предполагает, что все элементарные частицы на самом деле не имеют массы, а их энергия покоя (масса, делённая на c^2) является той самой потенциальной энергией поля Хиггса. Фотоны и глюоны с этим полем не взаимодействуют, а остальные частицы имеют массу, пропорциональную собственной константе взаимодействия с полем Хиггса. Другими словами, поле Хиггса «замедляет» взаимодействующие с ним частицы, подобно тому, как вода или воздух замедляют свет.

Интересная аналогия. Соотношение понятий пространства-времени, информации и энергии в одной простой аналогии. Представьте себе поверхность каменистой планеты вроде Земли. Это пространство-время. Издалека она кажется гладкой, но вблизи можно увидеть разломы, горы и другие неровности. Это квантовая информация. Теперь заливаем всю планету океаном воды. Это энергия. Берём поверхность воды в качестве точки отсчёта высоты и глубины над и под уровнем моря. Это физический вакуум, то есть поле с нулевой энергией. Поверхность планеты является скалярным полем, каждой точке которого соответствует определённая высота или глубина над или под уровнем моря. Высоту в расчёт не берём, чтобы у нас не было отрицательной энергии. Просто предположим, что вся суша – это плоские равнины вровень с океаном. А вот глубина может различаться очень сильно. Точка поверхности с определённой глубиной – это частица с определённой массой. Чем глубже она находится, тем больше над ней воды, то есть энергии, которая эквивалентна массе покоя. В зависимости от конфигурации поверхности мы находим на планете болота, реки, озёра, моря и океаны. Вода течёт и заполняет эти русла по-разному. То есть квантовая информация задаёт свойства энергии, превращая её в свет, барионное вещество или какую-нибудь тёмную материю. Суша – это излучение, состоящее из фотонов с нулевой массой. В местах разломов океаническое дно может состоять из жидкой магмы – это гравитационные волны на полотне самого пространства-времени.

Проблема точного описания вакуума, по моему мнению, является основной проблемой, стоящей в настоящее время перед физиками. В самом деле, если вы не можете описать вакуум, то как можно рассчитывать на правильное описание чего-то более сложного?

Поль Дирак

Целью познания является найти такие формулы, такую простейшую систему законов, которая являлась как бы ключом ко всему многообразию природы: тогда наука создала бы для нас мир, полный огромного эстетического достоинства.

А. В. Луначарский

Матом не построить атом!
Генералам во время работы над атомной бомбой.
Яков Зельдович, (1914–1967), физик теоретик, член АН СССР.

Урок 35.

ОБОБЩАЮЩИЙ УРОК ПО ТЕМЕ "АТОМНОЕ ЯДРО. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ".

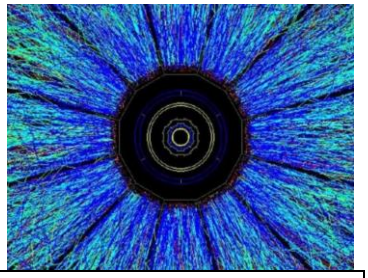
В единственном атоме на самом деле можно увидеть всю физику.

ЦЕЛЬ УРОКА: Систематизировать и обобщить знания учащихся об атомном ядре, строении и свойствах вещества.

ТИП УРОКА: повторительный.

ОБОРУДОВАНИЕ: обобщающая таблица "Атомное ядро".

ПЛАН УРОКА:



1. Вступительная часть
2. Фронтальное повторение
3. Самостоятельная работа
4. Задание на дом

II. Заполнение обобщающей таблицы "Атомное ядро".

АТОМНОЕ ЯДРО

1	Общая характеристика объекта.	Ядро - состоящая из протонов и нейтронов центральная часть атома, в которой сосредоточен положительный заряд атома и почти вся его масса.
2	Условия образования или возникновения.	Рождение Вселенной, вспышки сверхновых звезд, ядерные реакции.
3	В состав, каких объектов входит?	В состав атома.
4	Из каких объектов состоит?	Из протонов и нейтронов.
5	Основные физические свойства.	Не имеет четкой границы; имеет возбужденные состояния; способно испытывать превращения при взаимодействии с частицами.
6	Физические величины.	Заряд ядра, массовое число, энергия связи.
7	Модель ядра.	Оболочечная; капельная.
8	Основные уравнения.	$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_я$. $E_{св} = \Delta m \cdot c^2$.
9	Возможные состояния объекта.	Основное состояние, возбужденное состояния, изотопы.
10	Явления, которые с ним могут происходить.	Радиоактивный распад, ядерная реакция.
11	Практические применения.	Ядерная энергетика, термоядерный синтез, применения радиоактивных изотопов.

Дополнительная информация. Атом – это мельчайшая единица материи, всё ещё сохраняющая уникальные характеристики макроскопического мира, такие, как физические и химические свойства. И при этом это фундаментально квантовая сущность, со своими уровнями энергии, свойствами и законами сохранения. Более того, этот непримечательный атом связан со всеми четырьмя известными фундаментальными взаимодействиями. В человеческом теле содержится порядка 10^{28} атомов. Также в атомах есть электрически заряженные частицы. Протонам присущ положительный электрический заряд; нейтроны нейтральны; заряд электронов равен по величине и противоположен по знаку заряду протонов. Все протоны с нейтронами связаны в атомном ядре диаметром всего в 10^{-15} м (фемтометр), а электроны находятся в облаке в 100 000 раз большего размера. Каждый электрон находится на своём уникальном энергетическом уровне, и может переходить с

уровня на уровень только с дискретным изменением энергии. Эти электронные переходы в атоме или группе атомов уникальны: они свои для каждого атома или конфигурации из группы атомов. Обнаружив спектральные линии атома или молекулы – неважно, поглощения или испускания – можно сразу же сказать, что это за атом или молекула. Внутренние электронные переходы согласуются с уникальным набором энергетических уровней, и переходы электронов недвусмысленно свидетельствуют о типе и конфигурации атома или атомов. Атомным и молекулярным комбинациям нет числа, но конкретные комбинации этих составляющих, присущие определённому материалу, определяют его свойства. Количество электронов вокруг ядра равно количеству протонов. У каждого элемента есть свой набор свойств, среди которых: твёрдость; цвет; температура плавления и кипения; плотность; проводимость (насколько легко электронам двигаться при появлении электрического напряжения); энергия ионизации (сколько энергии требуется на выбивание электрона), а также множество других. Каждый атом с уникальным набором протонов в ядре формирует связи с другими атомами, благодаря чему число молекул, ионов, солей и более крупных структур может быть почти бесконечное количество.

Общим свойством всех атомов является наличие у них массы. И чем больше протонов и нейтронов в ядре, тем больше масса атома. И хотя это квантовые сущности, а диаметр одного атома не превышает одного ангстрема, дальность действия гравитации ничем не ограничена. Любой объект, обладающий энергией – включая и энергию покоя, придающую частицам массу. По всей Вселенной атомы и молекулы подчиняются одним и тем же правилам: законам классической и квантовой электродинамики, управляющими всеми заряженными частицами. Хотя электрическое взаимодействие работает на довольно больших расстояниях – на самом деле, как и у гравитации, у него тоже нет никаких ограничений – электрическая нейтральность атома в целом играет невероятно важную роль в понимании поведения всей Вселенной. Электромагнитное взаимодействие невероятно сильно – два протона отталкиваются с силой, в 10^{36} раз превышающей их гравитационное притяжение! Но поскольку атомы сами по себе электрически нейтральны и макроскопические объекты состоят из большого количества атомов, мы замечаем взаимодействие, если у объекта имеется электрический заряд или когда заряд перетекает с места на места, как при ударе молнии. Опускаясь на фемтометровые масштабы, сначала вы начнёте замечать влияние сильного взаимодействия. Впервые оно проявляется между разными нуклонами – протонами и нейтронами, из которых состоит любое ядро. Электрическое взаимодействие между двумя нуклонами либо отталкивает их (заряды протонов одинаковые), либо не возникает (зарядов у нейтронов нет). Но на малых расстояниях работает взаимодействие, ещё более сильное, чем электромагнитное: сильное взаимодействие, работающее между кварками через обмен глюонами. Разные протоны и нейтроны могут обмениваться парами кварков-антикварков – мезонами – это связывает их в ядре, и при подходящей конфигурации преодолевает силу электромагнитного отталкивания. В глубине атомного ядра сильное взаимодействие проявляет себя по-другому: отдельные кварки постоянно обмениваются глюонами. Кроме гравитационного заряда (массы) и электромагнитного заряда, присущего материи, есть ещё и заряд, характерный для кварков и глюонов: цветной. Они не просто всегда притягиваются, как гравитация, или обладают двумя зарядами, которые могут отталкиваться или притягиваться, как электрические. У них есть три независимых цвета – красный, зелёный и синий – и три антицвета. Встречаются они только в «бесцветной» комбинации, в которой комбинируются все три цвета (или антицвета), или же сочетаются комбинации цвет-антицвет. Отдельные фотоны и нейтроны не обладают «цветом», а содержащиеся внутри них кварки – обладают. Обмен глюонами может происходить не только внутри протона или нейтрона, но и между протонами и нейтронами, благодаря чему возникают связи внутри ядра. Удерживает протоны и нейтроны в целости обмен глюонами – в особенности, когда кварки отдаляются, и сильное взаимодействие увеличивается. Чем больше энергии вы можете передать через столкновение с субатомными частицами, тем больше кварков, антикварков и глюонов сможете увидеть. Похоже на то, будто бы внутренности протона

заполнены целым морем частиц, и чем сильнее его бить, тем более липкими они становятся. Углубляясь на величину максимальной доступной нам энергии, мы всё равно не видим ограничения на плотность этих субатомных частиц внутри атомных ядер.

Но не всякий атом способен вечно жить в стабильной конфигурации. Многие атомы испытывают радиоактивный распад – рано или поздно испускают на одну или несколько частиц, что фундаментально меняет их свойства. Второй по распространённости тип – бета-распад, при котором атом выплёвывает электрон и антиэлектронное нейтрино, а один из нейтронов ядра превращается в протон. Для этого требуется ещё одна новая сила: слабое ядерное взаимодействие. Слабый заряд, оказалось, чрезвычайно сложно измерить, поскольку слабое взаимодействие в миллионы раз слабее сильного или электромагнитного – пока вы не перейдёте на чрезвычайно малые масштабы, типа 0,1% диаметра протона. Слабое взаимодействие можно наблюдать в подходящем атоме, готовом к бета-распаду. Получается, что все четыре фундаментальных взаимодействия можно прозондировать, просто изучая атом. Чем глубже мы заглядываем в строительные кирпичики материи, тем лучше мы понимаем и природу самой Вселенной. Только допрашивая Вселенную на предмет того, каким правилам подчиняются все частицы и античастицы, и как они связываются друг с другом, мы можем разобраться в её устройстве. Для того чтобы существовала Вселенная с большим количеством типов атомов, необходимо, чтобы наша реальность обладала определённым набором свойств:

- Электрон должен быть менее массивным, чем разница масс протона и нейтрона, иначе нейтрон был бы абсолютно стабилен.
- Более того, электрон должен быть намного легче протона или нейтрона. Если бы он имел сравнимую массу, то атомы были бы не только намного меньше (вместе со всеми связанными с ними структурами, построенными из атомов), но электрон проводил бы так много времени внутри атомного ядра. Спонтанная реакция слияния протона с электроном с образованием нейтрона была бы быстрой и вероятной, а соседние атомы спонтанно сливались бы друг с другом даже в условиях комнатной температуры.
- И, наконец, уровни энергии, достигаемые в звёздах, должны быть достаточными для того, чтобы атомные ядра внутри них подверглись ядерному синтезу, но не может быть так, что всё более тяжёлые атомные ядра всегда более стабильны, иначе мы получили бы Вселенную, заполненную сверхтяжёлыми и сверхкрупными атомными ядрами.

III. Самостоятельная работа по зачетным папкам.

IV. Конспект.

1. Не прячется ли антивещество Вселенной в черных дырах?
2. $p + p = D + e^{+} + \nu_e + 0{,}42$ МэВ. Как такое может быть?
3. Опишите вымышленную ситуацию в форме рассказа, содержание которого во многих случаях находилось бы в противоречии с современными представлениями об атомном ядре и элементарных частицах.
4. Даже при самых больших энергиях (которым соответствуют самые малые длины волн) электрон, фотон и кварк остаются, насколько мы можем утверждать, точечными объектами. Это означает, что мы не можем обнаружить никакой внутренней структуры или составляющих частей электронов и кварков, равно как не можем и определить их размеры. Они так и остаются для нас бесконечно малыми точками. Так ли это?
5. Для датировки останков в последнее время часто используется оптическое датирование. Этот подход основан на наблюдении люминесценции минералов, накопивших энергию в дефектах своей кристаллической решетки. Такие дефекты медленно возникают в захороненных породах под действием ионизирующего излучения радиоактивных элементов, которые в следовых количествах встречаются повсеместно. При облучении кристаллов светом определенных длин волн дефекты начинают «проявляться» - тем сильнее, чем дольше минерал провел под землей. Объясните, в чем суть метода.

6. Составить обобщающую таблицу "Атомное ядро", используя рисунки, чертежи и текстовый материал.
7. Может ли давление внутри нейтронных звезд сжимать протоны и нейтроны в холодную кварковую материю? Возможно ли, что в этом своеобразном состоянии отдельные протоны и нейтроны перестанут существовать, а составляющие их кварки и глюоны освобождятся от своих обычных ограничений цвета и смогут двигаться почти свободно.
8. В 1980 году Ленинскую премию за открытие новой частицы разделили 96 человек!
9. Как сказал в середине прошлого века Эрнест Лоуренс, "время гениев-одиночек в науке прошло, наступает время работы больших коллективов." А сейчас можно добавить, "очень больших". Так, к примеру, выглядит титульный лист недавней статьи, за авторством исследователей, работающих на детекторе LHCb. В списке - почти 1100(!) фамилий.

Всё в мире является энергией. Энергия лежит в основе всего. Если вы настроитесь на энергетическую частоту той реальности, которую хотите создать для себя, то вы получите именно то, на что настроена ваша частота. Это - не философия. Это - физика.

Альберт Эйнштейн

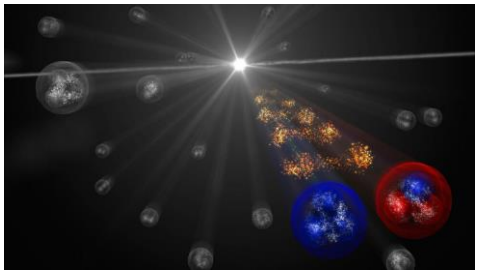
Урок 36.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №8

Был бы я такой умный, как моя жена потом!

Когда бы зримый мир был снят, как покрывало,
И ты бы механизм Вселенной увидал,
Где страшно просто все, и всех начал начало
В предельной краткости, как дифференциал, -
Какая б жгучая тоска тебя объяла
И в иллюзорный мир ты б радостно вбежал.

Александр Чижевский



Прекрасен гордый облик человека,
Стоящего на склоне века, -
Он сбросил тяжкий гнет оков,
Ему открыты тайны мирозданья.
Он погружен безмолвно в созиданье,
Могучий сын веков.
Трудясь с усердьем непреклонным,
Завоевал могущество - законом
И волю - разумом, в борьбе он стал сильней.
Природа, что была неукротимо дикой.
Простерлась ниц перед своим владыкой,
Теперь он стал хозяином над ней.

Ф. Шиллер

...миллиарды долларов уходят на строительство гигантских умных машин. Они ускоряют частицы до таких высоких энергий, что мы бессильны предположить, что может случиться при их столкновении.

Стивен Хокинг

В жизни каждого бывает важный выбор, иногда несколько важных выборов. Но есть много мелких вещей, которым мы не придаем значения. Так вот из этих мельчайших выборов и складывается наша судьба.

А.И. Солженицын

Новая научная истина торжествует не потому, что ее противники признают свою неправоту, просто ее оппоненты со временем вымирают, а подрастающее поколение знакомо с нею с самого начала.

Макс Планк

Абитуриент телеграфирует маме: «Экзамен не сдал. Подготовь папу». Спустя некоторое время получает ответ: Папа подготовлен. Подготовься сам».

Нет того, что должно было произойти,
но нежданное в жизни находит пути.
Таков итог и нашей драмы.
Еврипид “Вакханки”

Науку все глубже постигнуть стремись,
Познанием вечного жаждой томись.
Лишь первых познаний блеснет тебе свет,
Узнаешь: предела для знания нет.
Фирдоуси

Когда вы молоды, весь мир лежит у ваших ног. Перед вами раскрываются бесчисленные возможности: кем быть? В какой-то момент вы выберете один из путей, и все неопределенности захлопнулись в одно состояние (коллапс волновой функции).

В осеннем лесу, на развилке дорог,
Стоял я, задумавшись, у поворота;
Путей было два, и мир был широк,
Однако я раздвоиться не мог,
И надо было решаться на что-то.
Роберт Фрост, «Другая дорога»

И искусство, и наука, и религия стремятся направить человеческое любопытство и просветить нас, постоянно расширяя пределы познаний. Все они обещают, хотя и по-разному, помочь нам разорвать узкие рамки индивидуального опыта, проникнуть в царство совершенства и понять его. Духовность и наука – два великих подхода человечества к поиску Истины. Они дают знания о нас и о Вселенной. Они отвечают на Великие Вопросы. Духовность и наука – две стороны одной медали. Кто я? Каково мое место во Вселенной? Мир, в котором я живу, – реален ли он? Могу ли я изменить свою жизнь?

Дополнительная информация: Прежде чем начинать заниматься какой-то проблемой, необходимо абстрагироваться от всех несущественных деталей и построить модель процесса!

Науки не пытаются объяснять, вряд ли они даже стараются интерпретировать — они в основном создают модели. Под моделью понимается математическая конструкция, которая при добавлении некоторых словесных объяснений описывает изучаемый феномен. Оправданием для такой математической конструкции служит единственное обстоятельство: ожидается, что она сработает.
Джон фон Нейман

Большинство современных теорий начинали свою жизнь в виде простых моделей, придуманных учеными, размышлявшими, как еще можно решить стоящую перед ними задача. **Любая модель хороша, если она:**

1) простая (или «изящная»);
2) содержит мало произвольных или уточняющих элементов;
3) согласуется со всеми существующими наблюдениями и объясняет их;
4) дает подробные предсказания результатов будущих наблюдений, которые могут опровергнуть эту модель или доказать ее ложность, если предсказания, сделанные по этой модели, не подтверждаются.

Согласно теории струн, на самом элементарном уровне любая материя состоит из колеблющихся струн

Например, теория струн утверждает, что если бы мы могли исследовать фундаментальные частицы (электрон, мюон, кварки, нейтрино) с более высокой разрешающей способностью, мы бы обнаружили, что каждая из частиц является не точечным образованием, а состоит из крошечной одномерной петли. Внутри каждой частицы — вибрирующее, колеблющееся волокно, подобное бесконечно тонкой

резиновой ленте, которое физики называют струной. *Что вам известно об этой модели? Хороша ли эта модель?*

Чёрная Королева покачала головой:

— Вы, конечно, можете называть это чушью,

но я-то встречала чушь такую, что в сравнении с ней

эта кажется толковым словарём.

Л. Кэрролл. «Алиса в Зазеркалье»

ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ И ДОКЛАДОВ

1. Какую роль сыграли кванты для развития современной физики?
2. Как свет может быть одновременно и волной, и частицей?
3. Что дало миру открытие Марии Склодовской-Кюри?
4. Почему не всякая радиация вредна?
5. Что такое электричество и откуда берется время?
6. Квантовые точки и наночастицы с плазменным резонансом.
7. Мирная и военная сила света: что такое фотоника, и как она нас спасет?
8. Из чего сделана молния и что такое огонь?
9. Лазеры и устройства на их основе.
10. Что вы знаете о теории относительности и теории Стивена Хокинга?
11. Влияние естественных и искусственных ионизирующих электромагнитных излучений на здоровье человека.
12. Свойства электрона вполне могли быть описаны Лао Цзы за две с половиной тысячи лет до появления современной физики: «Если спросят, постоянно ли его положение, нужно сказать "нет", если спросят, меняется ли оно со временем, нужно сказать "нет". Если спросят, неподвижен ли он, нужно сказать "нет", если спросят, движется ли он, нужно сказать "нет"». Попробуйте объяснить.

Мир — это не просто набор отдельно существующих локализованных объектов, связанных внешне только пространством и временем. Что-то более глубокое, более таинственное связывает воедино ткань мироздания. Мы только-только достигли того момента в развитии физики, когда можно начать размышлять о том, что бы это могло быть.

Тим Модлин

Законы подобны паутине: слабого они затягивают, а сильный их порвет.

(Солон, Афины, VII-VI вв. до н.э.).

Ученый изучает природу не потому, что это полезно: он изучает ее потому, что это доставляет ему удовольствие, потому, что она - прекрасна. Если бы природа не была прекрасной, она не стоила бы того труда, который тратится на ее познание, и жизнь не стоила бы того труда, который нужен, чтобы ее прожить.

Анри Пуанкаре.

НЕ РЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ!!!

Через 100 лет компьютер сможет объяснить все тайны физики, но мы ничего не поймем!

Анекдот. *Если человек нарушит законы уголовного кодекса, он попадет в тюрьму. Если человек нарушит законы Божьи, он попадет в Ад. Если человек нарушит законы физики, он попадет в Швецию и получит Нобелевскую премию.*

Разгадка тайн природы и техники не менее занимательна, чем раскрытие преступлений в детективных романах. Для этого тоже нужна наблюдательность и умение мыслить логически. Любопытство, физика и невероятные эксперименты изменили наш мир! Жизнеспособная физическая концепция всегда приводит к изменениям в повседневной жизни. Уравнения электродинамики, открытые Максвеллом в XIX веке, легли в основу развития электроники в XX веке. Понимание всего этого достигается при помощи теории Максвелла. В современных исследованиях встречаются очень интересные идеи, например, идеи о том, как управлять светом при помощи специальных материалов, называемых

метаматериалами, и это продолжает быть активной сферой исследований вплоть до настоящего дня. Найти и использовать еще более экзотическую материю, которую мы пока не нашли - еще более амбициозная задача. Точно так же мы можем ожидать, что квантовая физика, открытая в XX веке, станет двигателем технологического развития в XXI веке.

Физический закон суммирует известное знание в определенной области. Его переменные определяют объекты и понятия, о которых мы говорим, не больше и не меньше. Закон не ограничивает нашего видения мира, а наоборот, расширяет его. Теперь мы готовы двигаться вперед, использовать модель в ее области применения для исцеления людей или производства смартфонов и открывать мир за пределами этой области. Но уравнения также содержат эмоциональный аспект.

- Некоторые из них привлекательны благодаря своему внешнему виду.
- Некоторые – по элегантности используемых ими концепций.
- Некоторые – своей силой и масштабом последствий.
- Некоторые – изменяют наше видение мира.
- Некоторые – заполняют наше внутреннее пространство и зажигают мечты.

На пути к единой теории. Квантовая физика определяет почти всё, что мы видим в повседневной жизни, например, цвет, эластичность и теплоёмкость вещей, таких как вода, камни, металлы, биологическая материя. В последние годы ученые заглядывают все глубже внутрь атома – чтобы узнать, как он устроен; все дальше в космос – чтобы понять, как работает Вселенная; все внимательнее присматриваются к материи и движению, чтобы научиться объяснять сложные вещи при помощи простых законов. Лучше всего им в этом помогает квантовая физика и теория относительности. Общая теория относительности и квантовая механика не могут быть справедливы одновременно. Физики изучают либо объекты малые и легкие (как атомы и их составные части), либо объекты огромные и массивные (как звезды и галактики), но не те и другие одновременно. Это означает, что им достаточно было использовать либо только квантовую механику, либо общую теорию относительности. Эти теории, например, не работают вместе, когда речь идет об описании черных дыр. Теория Эйнштейна гласит, что ядро черной дыры бесконечно плотное, в то время как квантовая физика предполагает, что такие бесконечности не могут существовать.
В момент Большого взрыва вся Вселенная была исторгнута из микроскопического ядра, по сравнению с которым песчинка весом в долю грамма выглядит исполином. Это примеры объектов, которые являются крошечными по размерам и, в то же время, невероятно массивными, и потому требуют одновременной наводки орудий, как квантовой механики, так и общей теории относительности.

Человек распят между двумя бесконечностями.
Паскаль

Развитие физики выглядит так, словно в конце концов будут найдены очень простые законы Природы — такие, какими их надеялся увидеть Платон.
В. Гейзенберг

С чего начался Большой Взрыв! Многие считают, что при переходе квантового вакуума с более высокой нулевой энергии к более низкой энергии, расширяющаяся Вселенная, наполненная энергией, присущей самому пространству, перешла в более низкое состояние, и этот переход привел к созданию всей материи, антиматерии и излучения в нашей Вселенной. Возможно даже, что в будущем нас ждет другой подобный переход, с уже другим, более холодным, Большим Взрывом. Но так ли это на самом деле?

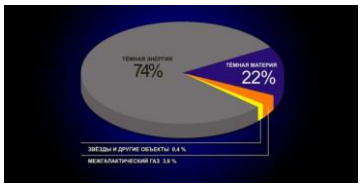
Квантовая физика является вероятностной! В квантовой физике любая элементарная частица описывается волновой функцией, которая определяет вероятность нахождения частицы в данной области пространства (где угодно во Вселенной). После того, как в эксперименте частица будет зафиксирована здесь и сейчас, волновая функция во всех остальных областях мгновенно коллапсирует. Но каким образом, ведь сигнал не может распространяться быстрее света? Именно здесь рождается загадочное свойство — квантовая

запутанность. Между Альбертом Эйнштейном и Нильсом Бором ещё в 1935 году разгорелся спор о том, приводит ли изменение состояния одной из двух взаимодействующих частиц к появлению аналогичных характеристик у второй частицы, как бы далеко та ни находилась. Как выяснилось, приводит, — это явление назвали квантовой запутанностью. Представьте себе коробку, содержащую красный и синий шарики. Вы можете взять один, не глядя сунуть в карман, а затем уехать в другой город. Затем вынуть шарик из кармана и обнаружить, что он красный. Вы сразу поймете, что в коробке остался синий шарик. Это запутанность. В квантовом мире этот эффект позволяет передавать информацию мгновенно и на большие расстояния. Поведение частиц согласовано, несмотря на то, что в пространстве они не связаны никакими силами. Эти частицы могут разлететься по разным концам Вселенной и все же вести себя в унисон. Такие частицы нарушают принцип локальности. Пространство им не помеха. Наш мир опутан сетью таких, казалось бы, мистических взаимосвязей. Такие опыты проводились с системой из двух электронов с противоположными спинами, которая обладала собственной волновой функцией. Затем электроны разводились на значительные расстояния (в 2017 года на 1200 км) и, после этого, меняли направление спина одного электрона на противоположное направление. Спин второго электрона мгновенно изменялся на противоположный (нелокальность). Квантовая физика – нелокальная!

Я всегда думал и продолжаю думать, что открытие и подтверждение нелокальности является самым поразительным открытием в физике XX в. Тим Модлин

1. Какие фундаментальные законы управляют природой квантового вакуума?
2. Каково происхождение материи, энергии и пространства-времени?

Несмотря на многочисленные достижения в области квантовой физики и теории относительности, до сих пор не существует общепризнанной теории, описывающей квантовые аспекты гравитации. Эта проблема становится особенно актуальной при рассмотрении экстремальных ситуаций, таких как начало Вселенной или внутренние области черных дыр. Для понимания этих процессов необходимо раскрыть квантовую природу гравитации. На данный момент существуют две ведущие теории, претендующие на объяснение квантовой гравитации: петлевая квантовая гравитация и теория струн. Первая предполагает, что пространство-время состоит из сети крошечных петель, в то время как вторая утверждает, что все частицы — это вибрирующие струны. Однако проверить эти теории в лабораторных условиях крайне сложно, ведь исследовать раннюю Вселенную или черные дыры невозможно. Несмотря на технические сложности, ученые во всем мире активно работают над созданием условий для подобных экспериментов. Если удастся доказать квантовую природу гравитации, это станет крупнейшим достижением современной физики. Впервые в лабораторных условиях будет создана ситуация, в которой пространство-время проявит свои квантовые свойства. Подробнее: https://www.securitylab.ru/news/551311.php



3. Что такое темная энергия?
4. Что такое темная материя?

Фриц Цвикки обнаружил, что суммарная масса видимых галактик в сверхскоплении галактик Coma совершенно недостаточна для того, чтобы удержать их внутри скопления за счёт гравитации, поскольку их скорости достигают 1000 км/с. Для снятия этого парадокса он уже тогда использовал скрытую массу, которую называл Dunkle Materie («тёмная материя» по-немецки). В 1970-е годы возникла рентгеновская астрономия, Были обнаружены огромные количества газа во всех скоплениях галактик. Газ оказался с температурой в несколько миллионов градусов. Такой горячий газ нельзя удержать в скоплениях даже с учётом его массы, он должен был бы давно испариться.

5. Существуют ли параллельные Вселенные?
6. Каким образом измерить коллапс квантовых волновых функций?
7. Может ли наука объяснить тот экстраординарный факт, что Вселенная, кажущаяся настолько странно и неэффективно

устроенной, в то же время настолько хорошо приспособлена для нашего существования в ней?

Ученым известны шесть космологических параметров, которые определяют свойства Вселенной. Будь хотя бы одно из этих чисел другим — буквально на сотую долю процента, — это могло бы исключить вероятность возникновения нашей планеты и нас вместе с ней. Например, если бы протоны оказались на 0,2 % тяжелее, они превращались бы в нейтроны, неспособные удерживать возле себя электроны, — и не было бы атомов. Напротив, если бы протоны были существенно легче, то нейтроны внутри атомов превращались бы в протоны, так что не было бы устойчивых атомов, кроме водорода. На самом деле масса протона «нуждается» в точной настройке до 33 цифры после запятой, чтобы могли существовать стабильные атомы, кроме водорода. А что произошло бы в нашей Вселенной, если бы массы элементарных частиц (которые также, скорее всего, случайны) были бы иными? Так, если бы электроны были гораздо легче, то не было бы стабильных звёзд, а если значительно тяжелее, то не могли бы существовать упорядоченные структуры, например кристаллы или молекулы ДНК. Кто-то усматривает в этом признаки особо тонкой «настройки» Вселенной, будто она создана специально для нас; кто-то критикует этот «антропный принцип», а кто-то полагает, что бесконечная вариативность этих параметров возможна в Мультивселенной.

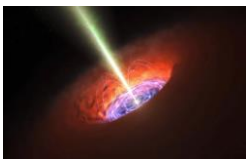
8. Верна ли теория космической инфляции, и если да, то каковы подробные детали этой стадии?
9. Почему Вселенная имела такую низкую энтропию в прошлом, приведшую в результате к различию между прошлым и будущим и второму закону термодинамики? Почему существует «стрела времени» и время течёт только вперёд?

10. Почему в наблюдаемой части Вселенной в настоящее время отсутствует термодинамическое равновесие?
11. Какова судьба Вселенной? Движется ли Вселенная по направлению к Большому замерзанию, Большому разрыву, Большому сжатию или Большому отскоку? Является ли наша Вселенная частью бесконечно повторяющейся циклической модели?
12. Существовали ли частицы — носители «магнитного заряда» в какие-либо прошлые эпохи с более высокими энергиями? Если да, то есть ли такие частицы на сегодняшний день?

Поколение	Лептоны	Кварки
1	e^-	u
1	ν_e	d
2	μ_e	c
2	ν_μ	s
3	τ^-	t
3	ν_τ	b

13. Существуют ли более трех поколений кварков и лептонов? Связано ли число поколений с размерностью пространства? Почему вообще существуют поколения?
14. Все адроны описываются одним способом: они состоят из кварков. Это наблюдают, рассеивая электрон на протоне при очень высоких энергиях. Оказывается, у протона как будто есть три центра с соответствующими зарядами. Внутри протона действительно находятся три кварка. Но по непонятной причине отдельно эти кварки мы получить не можем, мы всегда их видим только в составе адронов. Но при низких энергиях электрон рассеивается на адронах как на целом. Как переходит одно описание, при помощи практически свободных кварков, к другому — в виде адронов как связанных состояний из кварков? И почему кварки не существуют по отдельности? В этих вопросах и состоит суть проблемы конфайнмента.
15. Существует ли теория, которая могла бы объяснить наличие массы у некоторых кварков и лептонов в отдельных поколениях на основании первых принципов? Почему ровно три цвета? Почему ровно три поколения кварков? Случайно ли совпадение числа цветов и числа поколений? Случайно ли совпадение этого числа с размерностью пространства в нашем мире?
16. Откуда берётся такой разброс в массах кварков? Из чего состоят кварки? Как кварки складываются в адроны?

17. Какова природа нейтрино, какова их масса и какова их роль в эволюции Вселенной?
18. Что происходит внутри черной дыры?



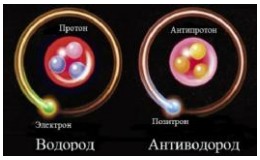
19. Существуют ли сингулярности? Сингулярность возникает, когда какое-либо свойство "вещи" бесконечно, и поэтому законы физики, как мы их знаем, нарушаются. В центре черных дыр находится точка, бесконечно крошечная и плотная (наполненная конечным количеством вещества) - точка, называемая сингулярностью. В математике сингулярности возникают постоянно - деление на ноль - один из примеров. Но как бы выглядела сингулярность? И как она взаимодействует с остальной вселенной? Что означает сказать, что у чего-то нет настоящей поверхности и оно бесконечно мало?
20. Почему безмассовые частицы без спина не существуют в природе?
21. Какой механизм отвечает за генерацию массы нейтрино? Является ли нейтрино античастицей самой себе? Или это и есть античастица, которая просто не может соединиться и аннигилировать с нормальной частицей из-за её нестабильного состояния?
22. Почему сейчас во Вселенной вещества больше, чем антивещества? Какие невидимые силы присутствовали на заре Вселенной, но исчезли в процессе эволюции?
23. Почему мюон и электрон различаются только массой и столь похожие во всех остальных отношениях?
24. Почему сохраняется ненулевой момент количества движения в низшем энергетическом состоянии? Почему спины электронов и нуклонов полуцелые?
25. Какова природа ядерных сил, которая связывает протоны и нейтроны в стабильные ядра и редкие изотопы? Какова причина соединения простых частиц в сложные ядра?
26. Существует ли теория, которая объясняет значения всех фундаментальных физических констант? Существует ли теория, которая объясняет, почему наблюдаемое пространство-время имеет 3 + 1 измерения, и поэтому законы физики таковы, как они есть?
27. Меняются ли с течением времени «фундаментальные физические константы»? Являются ли какие-нибудь частицы в стандартной модели физики элементарных частиц на самом деле состоящими из других частиц, связанных настолько сильно, что их невозможно наблюдать при современных экспериментальных энергиях? Существуют ли фундаментальные частицы, которые ещё не наблюдались, и если да, то какие они и каковы их свойства? Существуют ли ненаблюдаемые фундаментальные силы, которые предполагает теория, объясняющие другие нерешённые проблемы физики?
28. Что такое гравитация вообще? Поскольку гравитоны пока не были обнаружены, гравитация сопротивляется попыткам понять ее так, как мы понимаем другие силы - как обмен частицами.

Никто не сомневается в физической реальности гравитационных волн, включая факты о том: 1) как они возникают; 2) что они однозначно переносят энергию по всей Вселенной; 3) что они распространяются с теоретически предсказанной скоростью с — скоростью света в вакууме. Если квантовая физика верна, то дуализм волна-частица тоже должен быть реальным для гравитации. Однако, подобно тому как волны на воде состоят из частиц, мы вполне можем предположить, что гравитационные волны тоже состоят из частиц. Когда вы видите рябь на пруду, волны в океане или круги, расходящиеся от человека, прыгнувшего в бассейн, вы явно наблюдаете волнообразное явление в макроскопическом масштабе. Но микроскопически вода состоит из отдельных молекул — их огромного количества — которые взаимодействуют друг с другом. Только из их совместных движений, сложенных вместе, возникает волнообразное поведение. Гравитоны – это: 1) частицы со спином 2; 2) безмассовые; 3) распространяются со скоростью света; 4) взаимодействуют только через гравитационную силу.

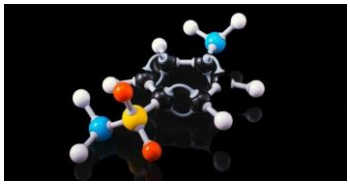
29. Какие фундаментальные частицы, силы и законы существуют в микромире на самом глубоком уровне и как эти «строительные кирпичики Вселенной» складываются в те реальные структуры, что мы наблюдаем вокруг нас?

В любой точке Вселенной атомы и молекулы подчиняются одним и тем же правилам: законам классической и квантовой электродинамики, которые управляют каждой заряженной частицей. Они действуют даже внутри самого атомного ядра, которое состоит из (заряженных) кварков и (незаряженных) глюонов.

30. Что будет происходить с химическим элементом, атомный номер которого окажется выше 137, вследствие чего $1s^1$-электрону придётся двигаться со скоростью, превышающей скорость света? Является ли «Фейнманиум» последним химическим элементом, способным существовать физически?
31. Какое самое тяжёлое из стабильных или метастабильных ядер может существовать?
32. Получение антиводорода. Свойства водорода и антиводорода должны оказаться одинаковыми, поскольку эти элементы представляют собой взаимные отражения.



33. Как на Земле появилась жизнь?
34. Почему события сохраняются в памяти? С биологической точки зрения наша память — это лишь набор взаимосвязей между картинками, запахами и звуками, который кодируется с помощью изменений в нейронах и нейронных связях, образуя энграммы, или «следы памяти».



35. Как мигрируют птицы и другие животные?
36. Зачем людям нужен сон?

Тщательно изучив аргументацию сторонников антропного принципа и обсудив ее с ними как лично, так и по переписке, я пришел к однозначному выводу о том, что этот принцип ненаучен и его влияние только негативно. Поскольку он используется для обоснования непроверяемых теорий, то может лишь разрушительно влиять на прогресс науки. Следует считать недопустимым построение любой фундаментальной теории на основе антропного принципа как примера соответствия наблюдениям.

Ли Смолин, один из создателей теории петлевой квантовой гравитации.

Я не чувствую себя чужаком во Вселенной. Чем больше я ее изучаю и чем больше узнаю о ее строении, тем больше я нахожу свидетельств того, что в каком-то смысле Вселенная заранее знала о нашем появлении.

Фримен Дайсон

Заявлять, что Вселенная должна быть такой, чтобы мы могли в ней существовать, — это трюизм. Не Вселенная должна быть такой, чтобы мы могли в ней жить, а мы должны быть такими, чтобы существовать в ней. По-моему, антропный принцип ставит проблему с ног на голову.

Фред Хойл

Утверждения, согласно которым жизнь не может существовать в отсутствие некоторых конкретных характеристик известного физического мира, для многих физиков (в том числе для меня) есть пустой звук, поскольку мы и понятия не имеем, какие разнообразнейшие формы может принимать "жизнь". Без наполнения этой идеи каким-то конкретным содержанием она, похоже, лишь использует физические параметры как входные и отказывается от возможности их предсказания.

Андреас Албрехт, один из ведущих космологов

На дверях своего дома Нильс Бор повесил подкову. Заприметив сей факт, один из его гостей спросил у учёного:

— Неужели вы, ученый-физик с мировым именем, верите, что подкова над дверью приносит удачу?

— Нет, — сказал Бор, — я, конечно, не верю. Но вы знаете, говорят, она приносит удачу даже тем, кто в это не верит.

Физика конденсированного состояния

В физике есть два принципиально разных метода. Один основан на том, чтобы разбивать материю на все более мелкие составляющие. Его цель - найти фундаментальные уравнения,

описывающие самые малые составляющие материи. Другой подход решает фактически противоположную задачу: как из простых составляющих с известными законами возникают сложные системы с новыми свойствами. Здесь главная задача - найти принципы, объясняющие коллективное поведение систем, состоящих из многих частиц.

Общие принципы, которые мы сейчас знаем, перестают работать, когда мы рассматриваем неравновесные системы. В этих системах текут большие токи, на них падает свет большой интенсивности или к ним приложен большой градиент температуры. Следующая большая задача в физике - найти универсальные законы, объясняющие неравновесную динамику сложных квантовых систем.

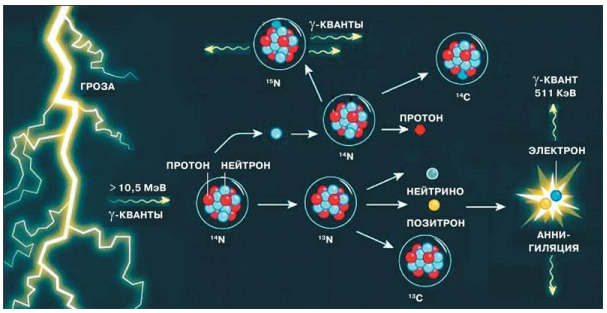
Вселенная не только более странная, чем мы думаем, она более странная, чем мы можем себе представить.
Вернер Гейзенберг.

Вы можете задаться вопросом: почему природа устроена таким образом. Возможно, можно было бы описать ситуацию, сказав, что Бог — математик очень высокого уровня, и Он использовал очень продвинутую математику при построении Вселенной.

Поль Дирак

1. **Аморфные тела.** Какова природа перехода между жидкой или твёрдой и стекловидной фазами? Какие физические процессы приводят к основным свойствам стекла?
2. **Холодный ядерный синтез.** Каково объяснение спорных докладов об избыточном тепле, излучении и трансмутациях?
3. **Управляемый ядерный синтез.**
4. **Металлический водород. Другие экзотические вещества.**
5. **Физика поверхности.**
6. **Жидкие кристаллы. Ферроэлектрики. Ферротороики. Кластеры.**
7. **Разеры, гразеры, сверхмощные лазеры.**
8. **Криогенная электронная эмиссия.** Почему в отсутствие света увеличивается эмиссия электронов фотоэлектронного умножителя при уменьшении его температуры?
9. Как рассчитать намагниченность, теплоёмкость, электропроводность и другие макровеличины, исходя из известного строения кристалла, электронных оболочек атомов в кристалле и других параметров микромира для сильномагнитных веществ.
10. **Высокотемпературная сверхпроводимость.** Каков механизм, вызывающий у некоторых материалов проявление сверхпроводимости при температурах намного выше 50 кельвинов?
11. **Когда звуковые волны создают свет? Сонолюминесценция.** Что является причиной выброса коротких вспышек света при схлопывании пузырьков жидкости, возбуждённых звуком? Проблема заключается в том, что пока не ясно, каков источник света. Теории варьируются от маленьких ядерных реакций до какого-то вида электрического разряда или даже сжатия газов внутри пузырьков. Физики измерили высокие температуры внутри этих пузырьков, порядка десятков тысяч градусов Фаренгейта, и сделали множество снимков света, которое они излучают. Но пока нет хорошего объяснения тому, как звуковые волны создают этот свет в пузырьке.
12. **Турбулентность.** Можно ли создать теоретическую модель для описания статистики турбулентного потока (в частности, для его внутренней структуры)? Превосходит ли турбулентность математическое описание, или все становится ясным, если вы подходите к ней с правильной математикой? В связи с этим природа хаоса плохо понимается.
13. **Физика атмосферы.** Физики и математики задаются вопросом: может ли погода быть всего лишь труднопредсказуемой, или она в принципе непредсказуема?
14. **Квазидвухлетний цикл.** Какова природа колебаний с периодом порядка 26 месяцев, зарождающихся в экваториальной стратосфере?

15. **Полугодовой цикл.** Какова природа колебаний с полугодовым периодом, проявляющихся, в частности, в виде загадочного эффекта «бабьего лета»?
16. **Равновесный градиент температуры.** Существующая теория турбулентного переноса тепла в атмосфере дает значение вертикального градиента температуры −9.8 К/км, в то время как наблюдения дают значение абсолютной величины этого градиента почти на 40 % меньшее.
17. **Отрицательная вязкость.** Каков физический механизм явлений с отрицательной вязкостью?
18. **Шаровая молния.** Какова природа этого явления? Является ли шаровая молния самостоятельным объектом или подпитывается энергией извне? Все ли шаровые молнии имеют одну и ту же природу или существуют разные их типы?
19. **Молния.** Почему лишь малая часть кучевого облака перед грозой электрически заряжена? Почему ступенчатый лидер молнии перемещается с паузами? Чем объясняется чередование фаз сильного и слабого тока в процессе образования молний?



Дополнительный материал: грозовой реактор (гипотеза). Рекордной стала гроза 9 января 2009 года в городе Сан Хосе дос Кампос (Бразилия) на высоте 610 м над уровнем моря, во время которой было зарегистрировано увеличение количества нейтронов в 1000 раз на протяжении более двух минут. Другой вариант объяснения появился после того, как в 1991 году космическая Комптоновская гамма-обсерватория (НАСА) случайно обнаружила интенсивные гамма - вспышки от грозовых разрядов. Грозовое гамма-излучение может быть в 1000 раз сильнее излучения, порождаемого космическими лучами в атмосфере. Но типичных электрических полей в грозовом облаке недостаточно, чтобы сообщить электронам такую скорость, при которой происходит пробой или возникает гамма-излучение. Их значения в несколько раз меньше необходимых. Дело в том, что сила торможения достаточно быстрого электрона падает с ростом его энергии. Чем выше скорость электрона, тем слабее сопротивление его движению, поэтому он ускоряется ещё больше. Такие электроны называют убегающими. Грозовые электрические поля достаточны для того, чтобы электроны, ускоряясь, набрали энергию выше пороговой энергии. Именно убегающие электроны приобретают энергию, достаточную для порождения каскада вторичных электронов при столкновении с атомами. Среди них большинство составляют медленные электроны, но попадаются и быстрые, которые в свою очередь становятся убегающими. Они порождают новый каскад электронов, в результате чего возникает экспоненциально нарастающая лавина убегающих электронов очень высокой энергии, которые при взаимодействии с воздухом испускают также тормозное гамма-излучение.

Испущенное убегающими электронами энергичное тормозное гамма-излучение порождает нейтроны в фотоядерных реакциях. Такое название получили ядерные реакции, которые происходят при поглощении гамма - квантов ядрами атомов. Если энергия, сообщённая квантом ядру, превышает энергию связи в нём нуклонов (протонов и нейтронов), то происходит распад ядра с вылетом нуклонов, в основном именно нейтронов.

Во время грозы 16 февраля 2017 года сразу после удара молнии зарегистрировали сильный гамма-всплеск, тщательный анализ которого показал, что он представляет собой последовательность из трёх всплесков разной продолжительности. Первый из них, самый короткий, длительностью менее 1 миллисекунды, был порождён собственно молнией, той самой лавиной убегающих электронов, о которой шла речь выше. Он же в результате фотоядерных реакций выбил нейтроны из атомов атмосферного азота и кислорода (^{14}N, ^{16}O), превратив их в более редкие изотопы ^{13}N и ^{15}O. Наибольшую роль здесь играет азот, как

самый распространённый газ земной атмосферы. Второй всплеск породили уже эти нейтроны, когда поглощались атомами азота ^{14}N, превращая их в изотопы ^{15}N. Это свечение продолжалось несколько десятков миллисекунд. А вот третий всплеск, длившийся уже минуту, представлял наибольший интерес. Через несколько минут нестабильные изотопы ^{13}N и ^{15}O превращаются в результате β+-распада в стабильные изотопы углерода и азота (^{13}C и ^{15}N) с испусканием нейтрино и позитрона. Позитрон тут же сталкивается со своим антиподом — электроном, и обе частицы, как и положено антиматерии при столкновении с обычной материей, аннигилируют — взаимно уничтожаются, произведя пару гамма - квантов с энергией 0,511 МэВ. Именно эти кванты и составляют третий всплеск.

Век, в котором мы живем,
Становится причиной опасений
Из-за скорости, новых изобретений
И вещей наподобие четвертого измерения.
Мы уже слегка утомлены Теорией Эйнштейна…
песня Германа Хапфилда из фильма «Касабланка»
Всё, что мы называем реальностью, состоит из вещей,
которые мы не можем назвать реальными.
Нильс Бор

Чем ярче горят костры знания, тем больше темноты видят наши пораженные глаза.
философ и этноботаник Теренс Маккенна

…Что там у Вас в физике новенького?
Из кинофильма

В 1900 году британский физик Лорд Кельвин, как говорят, заявил: *"В физике больше нет ничего нового для открытия. Все, что остается, - это все более точные измерения".*

Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас, на пороге XXI века, особенно важными и интересными? Академик В. Л. Гинзбург (1999)

1. Управляемый ядерный синтез.
2. Высокотемпературная и комнатная температурная сверхпроводимость.
3. Металлический водород. Другие экзотические вещества.
4. Двумерная электронная жидкость (аномальный эффект Холла и некоторые другие эффекты).
5. Некоторые вопросы физики твердого тела (гетероструктура в полупроводниках, переходы металл - диэлектрик, волны зарядовой и спиновой плотности, мезоскопика).
6. Фазовые переходы второго рода и родственные им. Некоторые примеры таких переходов. Охлаждение (в частности, лазерное) до сверхнизких температур. Бозе-эйнштейновская конденсация в газах.
7. Физика поверхности.
8. Жидкие кристаллы. Сегнетоэлектрики.
9. Фуллерены.
10. Поведение вещества в сверхсильных магнитных полях.
11. Нелинейная физика. Турбулентность. Солитоны. Хаос. Странные аттракторы.
12. Сверхмощные лазеры, разеры, гразеры.
13. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.
14. Спектр масс. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика.
15. Единая теория слабого и электромагнитного взаимодействия. W+ и Zo бозоны. Лептоны.
16. Великое объединение. Суперобъединение. Распад протона. Масса нейтрино. Магнитные монополи.
17. Фундаментальная длина. Взаимодействие частиц при высоких и сверхвысоких энергиях. Коллайдеры.
18. Несохранение CP-инвариантности.

19. Нелинейные явления в вакууме и в сверхсильных электромагнитных полях. Фазовые переходы в вакууме.
20. Струны. М-теория.
21. Экспериментальная проверка общей теории относительности.
22. Гравитационные волны, их детектирование.
23. Космологическая проблема. Инфляция. L-член. Связь между космологией и физикой высоких энергий.
24. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые звезды.
25. Черные дыры. Космические струны.
26. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.
27. Проблема темной материи (скрытой массы) и ее детектирования.
28. Происхождение космических лучей со сверхвысокой энергией.
29. Гамма-всплески.
30. Нейтринная физика и астрономия. Нейтринные осцилляции.

Распыленный мильоном мельчайших частиц.
В ледяном, безвоздушном, бездушном эфире,
Где ни солнца, ни звезд, ни деревьев, ни птиц,
Я вернусь – отраженьем – в потерянном мире.

Георгий Иванов

ИНТЕРЕСНЫЕ ФАКТЫ ИЗ ЖИЗНИ ОТЦОВ КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ.

1. Отец Дирака, будучи родом из Швейцарии, преподавал в Бристоле французский язык и требовал от своего среднего сына Поля говорить дома только по-французски. Будучи не в состоянии точно и полно выражать свои мысли на французском языке, Поль предпочитал молчать. Эта молчаливость осталась с ним на всю жизнь.
2. Л.Д. Ландау считал: *«Из толстых книг нельзя узнать ничего нового. Толстые книги – это кладбище, где погребены идеи прошлого».*

   Л.Д. Ландау убеждал: *«Иностранные языки необходимы. Не забывайте, что для их усвоения, не нужно особых способностей, поскольку английским языком неплохо владеют и очень тупые англичане».*

   Физик стремится сделать сложные вещи простыми,
   а поэт – простые вещи сложными.

   Лев Ландау

   Аспиранты Льва Давидовича надолго запомнили случай с Полем Дираком. В 1932 году Поль Дирак прибывает в Харьков, чтобы участвовать в конференции, организованной Ландау в УФТИ. Он выступает на семинаре с лекцией. Ландау сидит недалеко от доски, аспиранты за столом, а Дирак пишет на доске формулы и, продолжая объяснять, ходит от доски к окну и обратно. Каждый раз, когда он поворачивается спиной к Ландау, который с ним в чем-то не согласен, тот тихонько произносит: "Дирак - дурак, Дирак - дурак". Дирак поворачивается лицом - у Ландау рот закрыт и выражение совершенно невинное. Он считает, что нельзя догадаться, что это он произносит глупый стишок, но на самом деле глаза его выдают - слишком уж сияют от проделки. Наконец лектор кончил, положил мел. И вдруг (кто бы подумал, что он успел так хорошо изучить русский язык!), повернувшись к Ландау, он говорит: "Сам дурак!". Аспиранты чуть не умерли со смеху.
3. Анекдот, который рассказывал известный физик Ричард Фейнман.

   Инспектор остановил за превышение скорости машину, которой управляла девушка. Обращаясь к девушке, он сказал:

   — Мадам, скорость Вашего автомобиля только что была 60 миль в час!

   На что удивленная и раздосадованная девушка возразила:

   — Не может быть! Я еду только 7 минут, часа еще не прошло, как можно было бы успеть проехать 60 миль?

   — Мадам, я имею в виду, что если бы Вы продолжили ехать так, как сейчас, то через час смогли бы проехать эти 60 миль.

— Этого тоже не может быть. Уже через 10 миль — мой дом, и мне незачем проезжать эти 60 миль.

4. Энрико Ферми как-то раз за обедом в компании коллег-физиков поднял вопрос о том, почему мы до сих пор не нашли и не встретили никаких инопланетян. Сначала разговор шёл о участившихся свидетельств о наблюдении «летающих тарелочек», а потом учёные начали обсуждать внеземную жизнь. В какой-то момент Ферми спросил: «А где все?» Его сотрапезники рассмеялись в ответ, но затем этот вопрос стал будоражить умы многих людей. Родился т. н. «парадокс Ферми»!
5. *Однажды ехал Гейзенберг на машине. Тут его тормозит полицейский.*
   - Уважаемый, вы хоть знаете, с какой скоростью ехали?
   - Нет. Но я абсолютно точно знал, где нахожусь.
6. *Мой совет тем, кто хочет научиться исскуству «научного пророчества», - полагаться на абстрактный разум, а расшифровывать тайный язык Природы из документов Природы и фактов опыта.*

Макс Борн

7. *В вопросах науки авторитет тысячи не стоит скромных рассуждений одного человека.*

Галилей.

8. "*Квантовая теория есть таинственный орган, на котором природа играет спектральную музыку, и ритм которой управляет строением атомного ядра"*. Попробуйте обосновать это утверждение А. Зоммерфельда.

Великие уравнения современной физики - непременная часть научного знания, они могут пережить даже прекрасные древние соборы.

Стивен Вайнберг

Новости науки и техники

1. Американские ученые из Мичиганского университета построили «Зевса» — самую мощную лазерную установку Соединенных Штатов. Уже известны первые мишени этого аппарата.

«Зевс» имеет мощность $3 \cdot 10^{15}$ Ватт. Лазер планируют использовать в трех направлениях:

- Космос — можно будет на Земле создавать антиматерию и плазму для изучения физики Вселенной и работы космоса на субатомном уровне;
- Безопасность — «Зевс» способен быстро обнаруживать ядерное оружие на суднах и на земле (методы не сообщаются);
- Быт — ученые уверяют, что мощнейший лазер способен лечить людей и помогать производителям электроники в создании новых продуктов. Как именно будут реализованы данные технологии, не уточняется.

2. Энергетический остров - это инновационный проект, который предполагает создание искусственного острова в Северном море недалеко от побережья Бельгии. Этот остров будет предназначен для интеграции ветровой энергии, производимой ветряными турбинами в этом регионе, и передачи ее на сушу.

Порой очень сложно разглядеть, чему хочет научить нас

Всевышний, но это не значит, что мы не научимся!

ЛИТЕРАТУРА:

1. Л.Я. Зорина. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников. – М.: Педагогика, 1978.
2. А.П. Рымкевич, П.А. Рымкевич. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1978
3. М.Е. Тульчинский. Качественные задачи по физике в средней школе. - М.: Просвещение, 1972.

4. Д. Джанколи. Физика. - М.: Мир,1989.
5. О.Я. Савченко. Задачи по физике. Новосибирский государственный университет, 1999.
6. А.А. Найдин. Обобщающий урок по квантовой физике // Физика в школе, № 2, 1991.
7. А.А. Найдин. Расчет энерговыделения при ядерной реакции. //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 6,2009 г.
8. А.А. Найдин. Теория фотоэффекта. //ИД "Первое сентября", газета "Физика", № 3,2009 г.
9. Дж. Орир. Физика: Пер. с англ.-М.: Мир, 1981.
10. И.Е. Иродов, И.В. Савельев, О.И. Замша. Сборник задач по общей физике. – М.: Наука, 1975.
11. А.М. Прохоров и др. Физический энциклопедический словарь – М.: Советская энциклопедия, 1983.
12. Е.И. Бутиков, А.С. Кондратьев. Физика: Учебное пособие: В 3 кн. Кн.2. Электродинамика. Оптика. – М; ФИЗМАТЛИТ, 2004.
13. Мякишев Г.Я., Синяков А.З., Слободсков Б.А. Физика: Электродинамика: Учебник для 10-11 классов с углубленным изучением физики. – М.: Дрофа, 2010 г.
14. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: Наука, 1996. — Т. III. Электричество. Часть вторая. — 320 с. — 5000 экз. — ISBN 5-02-014054-6, ISBN 5-02-015090-8.
15. А.А. Найдин. Системный подход при обучении физике в школе. Новокузнецк, МАОУ ДПО ИПК 2002 г., ISBN 5-7291-0266-6.
16. Исаков А. Я. Физика. Решение задач ЕГЭ, часть 1 - 9. Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012.
17. Горлач В. В. Методы решения физических задач. – М.:ООО Юрайт, 2024.
18. К о н д р а т ь е в А. С., У з д и н В. М. Физика. Сборник задач. —М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 392 с. — ISBN 5-9221-0579-5.
19. Личный сайт Найдина Анатолия Анатольевича. https://naidin.ru