

**МГТУ им. Н.Э.Баумана**  
**Факультет Энергетического машиностроения**  
**Кафедра Э7:**  
**«Ядерные реакторы и установки»**

**ФИЗИКА ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**  
**(лекция 1 – атомная и ядерная физика)**

*Лектор:*

**ТОЧЁНЫЙ Лев Васильевич**

**09/ 02/ 2016**

**ПЛАН лекции:**

- **Введение:** цели, план, график курса
  
- **Кратко:** основы атомной и ядерной физики:
  - Атом, ядро, нуклоны,*
  - Хронология открытий*

## **1. Введение**

### **Задачи курса – изучить**

**физические основы ядерных энергетических установок, причины и взаимосвязь физических процессов в реакторе, определяющих принципы проектирования и физического обоснования инженерных решений, выбора материалов.**

**На простых моделях будут представлены и опробованы основные расчетные методики, применяемые при расчете реактора, критерии для выбора оптимальных параметров.**

**Одна из задач курса – дать основы для дальнейшего детального изучения особенностей работы реактора, воздействия ядерно-энергетических установок на персонал, на население, на экологию, а также для изучения ядерного топливного цикла**

**В основе ядерных физико-энергетических установок (и ядерных реакторов в том числе) лежат сложные физические процессы –**  
**- на уровне ядерных реакций, нуклон-ядерных взаимодействий и превращений, что (по большому счету) требует сложнейшего математического аппарата и ЭВМ.**

**Некоторые из этих ядерных процессов уже изучались в курсах физики (разделы: атомная и ядерная физика),  
*но обзор этих сведений необходим.***

1. Введение

Учебники и учебные пособия:

1. А.Н.Климов - Ядерная физика и ядерные реакторы (издания 1984 года и позднее).
2. И.Х.Ганев - Физика и расчет реактора
3. Основы теории и методы расчета ядерных реакторов, Г.Г.Бартоломей и др., под редакцией Г.А. Батя, 1982 г.
4. В. С.Окунев - Методы расчета реактора, изд. МГТУ

1. Введение (продолжение)

История создания и развития ядерной индустрии связана с открытием и детальным изучением явления радиоактивности,

открытого в ходе целенаправленного исследования строения вещества:

сначала - молекул и атомов,

а затем – ядра, и –

элементарных частиц.

**Атомизм** - учение о гетерогенном (дискретном) строении вещества: мир состоит из мельчайших элементарных частиц .

Начало – Древняя Греция (5 – 3 вв. до н.э.)- Демокрит, Эпикур (**«атом» – т.е. «неделимый»**).

С античных времен до 19 века предположения об атомном строении вещества – **гипотезы**, накопление фактов, обобщений, сведений о простых элементах (H, Fe, Cu).

В 17 в. - Р.Бойль (***«дым, - как и все тела – падает»***) положил атомистику в основу своих химических представлений и объяснил **все химические изменения соединением и разъединением атомов.**

**1803 - Дж. Дальтон** сформулировал закон кратных отношений («отношение масс двух простых веществ из сложного есть отношение масс их атомов»), ввел понятие атомного веса.

**1811 - А.Авогадро** - объяснение закона объемных отношений Ж. Гей-Люссака и ввел представление о молекуле, состоящей из атомов, как наименьшей частице вещества, способной к самостоятельному существованию;

**Закон Авогадро:** «в равных объемах любых газов при одних и тех же условиях (давление и температура) заключается одинаковое число молекул».

Т.е.: **1 кмоль** любого идеального газа при нормальных условиях

(101 325 Па = 760 мм рт.ст и температуре 0°C)

занимает объем **22,4136 м<sup>3</sup>**.

**Число Авогадро:** число молекул в одном моле

$$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23} \text{ (моль}^{-1}\text{)}$$

**Число молекул в одном см<sup>3</sup>**

$$N = (\rho \cdot N_A) / A \cdot \text{(молекул / см}^3\text{)}$$

**1860 г.** - Четкие **определения понятий атома и молекулы** (С.Каницаро – 1858) были приняты на съезде химиков в Карлсруэ:

**Молекула – наименьшая частица вещества, которая способна существовать самостоятельно и не может дробиться дальше без потери основных химических свойств данного вещества.**

**Атом – мельчайшая частица химического элемента, сохраняющая его свойства.**

**1869 г. – Дм.И.Менделеев – Периодический Закон Менделеева:**

- Периодическая зависимость химических свойств элементов от их атомного веса – от заряда атомных ядер.**
- Классификация элементов по универсальной системе.**
- Предугадывание ядерной физики – благодаря этой системе позднее открывались новые элементы (в т.ч. – искусственные), новые свойства (в т.ч. – делимость ядер).**

Конец XIX - начало XX века - **Атомная физика** -  
изучение строения и состояния атомов  
(! **Атом – не неделимый!**!)

До этого (30-е гг. 19-го века) **М.Фарадей** : электролиз, ток в растворе электролита – это упорядоченное движение заряженных частиц («**ионов**»).

Образование знаменитых научных школ: в Англии (Оксфорд, Кембридж) – **Дж.Дж.Томсон, Э.Резерфорд** (1884 -1896 г.), Франции, в Германии, позднее – в Италии, в России.

Изучение отклонений **катодных лучей** («**трубки Крукса**») - в магнитных и электрических полях.

## Конец XIX века – открытие электрона-

История: опыты с высоковольтными разрядами в стеклянной трубке.

1853 г. – А.Массон (Франция) – свечение при низком давлении.

1878 г - У.Крукс (Англия) - При большем разрежении - свечение распадается на слои или исчезает, но светятся стенки трубки (флуоресценция).

У.Крукс: свечение вызвано бомбардировкой стенок некими «катодными» лучами.

### Свойства «катодных» лучей:

- Исходят из отрицательного электрода - катода («катодные лучи»),
- Отрицательный заряд (отклонения магнитом),
- Имеют массу (вращение пропеллера)

## Конец XIX - начало XX века - Атомная физика -

1897 г. - открытие электрона (термин: «электрон»),  
измерение удельного заряда ( - 1,7588 10<sup>11</sup> Кл/кг) -

Опыт Дж.Дж. Томсона: прохождение катодных лучей  
через систему параллельных металлических пластин  
(электрическое поле), и катушек (магнитное поле).

### Выводы:

Скорость частиц ниже скорости света, есть масса.  
Отношение заряда к массе для катодных лучей не  
зависят от материала источника.

## Результаты:

□ Минимальный заряд -  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл (заряд электрона).

□ Масса электрона – 1/ 1840 от массы атома водорода.

□ Вывод: внутри атома есть электрические заряды

## Конец XIX - начало XX века - Атомная физика -

### В результате – первые модели атома:

1902 г. – первая модель строения атома (**У.Томсон = Лорд Кельвин**): «положительный заряд равномерно распределен по объему атома, а внутри этого облака - электроны, группирующиеся в устойчивые конфигурации».

1903 г. – **У.Томсон - уточнение:**

слоистая модель атома, вращение электронных «сфер», возможно – группами (т.е. концентрически расположенными кольцами).

# Рентгеновское излучение

1895 г. – опыты В.К.Рентгена с катодными лучами – свечение картона с покрытием из платино-синеродистого бария в темноте вблизи трубки.

«X» – лучи («рентгеновское излучение») – большая энергия и большая проникающая способность

$10^{15}$																			
					$10^7$		$10^6$		$10^4$		$10^4$		$10^3$	$10^2$		$10^2$	$10^{-2}$		$10^{-2}$ $10^{-4}$
<b>Частота: 300 кГц – 300 ГГц</b>						<b>300-450 ТГц</b>						<b><math>10^{15-16}</math></b>		<b><math>10^{16-20}</math></b>		<b><math>10^{20}</math> Гц</b>			
Электромагнитные волны						Инфракрасные волны						Ультрафиолетовые волны		Рентгеновские лучи		Гамма-лучи			
																<b>Ионизирующее излучение</b>			

Видимый спектр

## *Естественная радиоактивность*

**1896 г. – открытие радиоактивности (А. Беккерель) - урановая соль на закрытой фотопластинке**

***1903 г. - А.Беккерель и М.Кюри – Нобелевская премия за открытие самопроизвольного распада атомов с испусканием заряженных частиц.***

# Естественная радиоактивность

Термин: «радиоактивность».

## Выводы:

1. В природе есть нестабильные вещества, из атомов которых вылетают заряженные частицы
2. В результате - образуются новые вещества (новые элементы) 1898 г. – М.Кюри – Торий, Полоний, Радий.
3. В результате – образуются заряженные атомы (ионы) – легкие и тяжелые
4. В результате – первое воздействие радиоактивности на человека: 0,1 г Po из 1 т руды!, А.Беккерель – ожог от робирки с радием в кармане, М.Кюри – лучевой рак крови;
5. В результате – модель ядра и атома

**В результате – модель ядра и атома :**

**1911 г. – планетарная модель атома (Э. Резерфорд) – «вокруг тяжелого заряженного ядра вращаются электроны»**

Новый физический «инструмент» – **альфа-частица** – один из продуктов радиоактивного распада. Высокая скорость ( $\sim 10^7$  м/с), энергия ( $\sim 4,5 - 8$  МэВ), заряд (+2)

Э.Резерфорд – (изучение проникающей способности излучения через алюминиевые фольги) - компоненты излучения урана –

**$\alpha$ -излучение** (сильно поглощаемое),

**$\beta$ -излучение** (большая проникающая способность), и

**$\gamma$ -излучение**

П. и М.Кюри (1899 г.) - открытие **наведенной (искусственной) радиоактивности** :

**Проветрили накуренную лабораторию – показатели радиации упали.**

**Вывод: газовые потоки уносят радиоактивные частицы, предметы остаются радиоактивными.**

## Квантовая физика

1900 г. - создание квантовой теории излучения (*М. Планк*).

1913 г. - *Нильс Бор* – первая квантовая теория ядра («*постулаты Бора*»):

1. Существуют ряд стационарных состояний атома, соответствующие определенным значениям его внутренней энергии;

2. При переходе атома из одного состояния ( $E_1$ ) в другое ( $E_2$ ) - излучение с частотой

$$\nu = (E_1 - E_2) / h,$$

где  $h$  – постоянная Планка:  $h = 6,626 \cdot 10^{-24}$  Дж·с

## Элементарные частицы:

Особенности: –

- способность к взаимопревращениям (т.е. «кирпичики» мироздания - не неизменны).
- почти каждая элементарная частица (за исключением нескольких нейтральных частиц) имеет свою античастицу.

К началу 21 века открыто более 350 элементарных частиц (вместе с античастицами).

### Стабильные частицы:

Фотон,

электронное и мюонное нейтрино,

электрон,

протон

и их античастицы;

*Остальные элементарные частицы*

*самопроизвольно распадаются за время от  $\approx 10^3$  с*

## Элементарные частицы:

### Протон:

1913 г. – открытие протона (Э.Резерфорд) -



- первая искусственная ядерная реакция,  
доказательство наличия протонов в ядре

1927 г. – измерение массы протона (У.Хаустон),  
существование спина (Д.Деннисон);

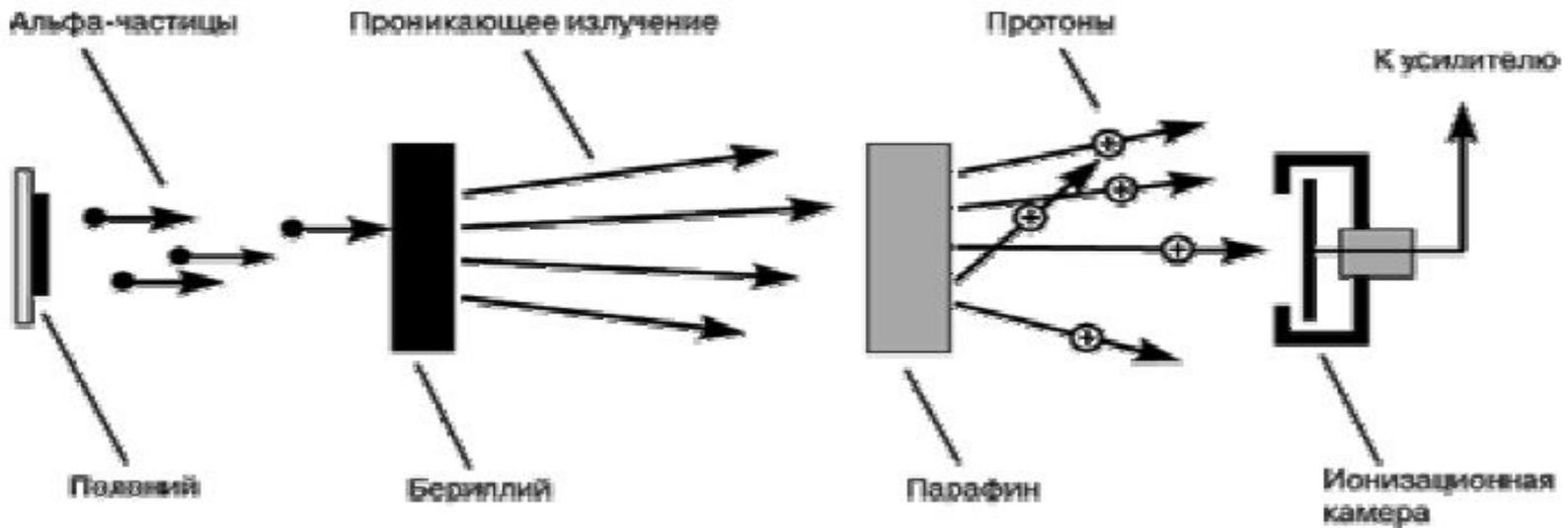
1932 г. - Дж.Чедвик: доказательство возникновения  
нейтрона,

1932 – 1935 гг. - Дж.Чедвик , Х. Юкава - измерение массы  
нейтрона;

## Нейтрон:

1921 г. – Э.Резерфорд – предсказание нейтрона

1930 г. - В.Бёте и Г.Беккер - наблюдение  
сильнопроникающего излучения:



25

1932 г. - Дж.Чедвик - доказательство возникновения  
нейтрона,  
измерение массы:

**1933 г. – гипотеза о существовании антивещества (П. Дирак)**

**1934 г. – экспериментальное доказательство аннигиляции электронов и позитронов;**

**1953 г. - современная терминология и символика - барионы, гипероны, лептоны ...**

**1963 г. – Р.Тейлор и др - гипотеза о существовании «кварков» как «кирпичиков» строения элементарных частиц, исследования кварковой структуры (Нобелевская премия 1990 г.).**

## Нейтрино:

1930 г. - В.Паули - гипотеза о существовании нейтрино

1932 г. - Э.Ферми - название «нейтрино»;  
- В.Паули – свойства нейтрино

1933 г. - Э.Ферми и Ф.Перрен – доказательство нулевой массы у нейтрино;

1942 г. – Дж.Аллен – первый косвенный опыт по доказательству существования нейтрино (регистрация ядер отдачи при испускании нейтрино при захвате орбитальных электронов);

1945 г. - Б.Понтекорво: метод детектирования нейтрино в реакции:



## Строение ядра:

1908 – 1911 гг. – Э.Резерфорд:

анализ опытов Г.Гейгера по рассеянию альфа-частиц на тонких фольгах -

- теория рассеяния альфа-частиц в веществе,
- открытие ядерного ядра,
- создание планетарной модели атома.

1911 г. – разработка квантовой модели атома (А.Гааз).

1919 – 1922 гг. – определение размеров ядер атомов;

1927 г. – экспериментальное точное измерение массы протона, моментов и спина

## Строение ядра:

**1930 г. - обнаружено существование «ядерного» (или – «сильного») типа взаимодействия – «ядерные» силы имеют малую область действия, но в этой области они в миллионы раз больше электростатических сил в атоме.**

**1932 г. - предложена нейтронно-протонная модель ядра (**В.Гейзенберг, Д.Иваненко**)**

**1933 г. – с особо высокой устойчивостью, с числом нуклонов (нейтронов или протонов): «магические ядра» **2, 8, 20, 50, 82, и 126.****

## Квантовая теория ядра:

1900 г. – **М.Планк** – квантовая теория излучения,  
постоянная Планка ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж\*с)

1905 г. - **А.Эйнштейн:**

- понятие фотона как кванта электромагнитного поля,
- модель квантового характера светового излучения
- (фотонная теория света),
- объяснение законов фотоэффекта,
- закон взаимосвязи массы и энергии.

$$E = m \cdot c^2$$

