Добро пожаловать в «Физику атома и атомных явлений»!

Тема 1 Введение в дисциплину

***Цель**: Общее знакомство с физикой атома и атомных явлений и структурой дисциплины*

***1.** Цели и предмет дисциплины*

***2.** Историческая справка*

***3.** Модели атома в доквантовой теории*

***4.** Трудности классической и становление квантовой физики*

1. Цели и предмет дисциплины

Атомная физика *– раздел физики, в котором изучают строение и свойства атомов и элементарные процессы, протекающие на атомном уровне.*

Предмет атомной физики – изучение физических явлений, происходящих на атомно-молекулярном уровне, моделей строения атомов, ионов и молекул, объяснение их основных свойств (оптических, химических и т.д.) – как в отсутствие, так и при наличии внешних полей.

Целью *курса является изучение теоретических и экспериментальных основ атомной физики и их применение для решения конкретных физических задач, относящихся к данной дисциплине.*

3

Задачи атомной физики

– анализ развития атомистических и становления квантовых представлений;

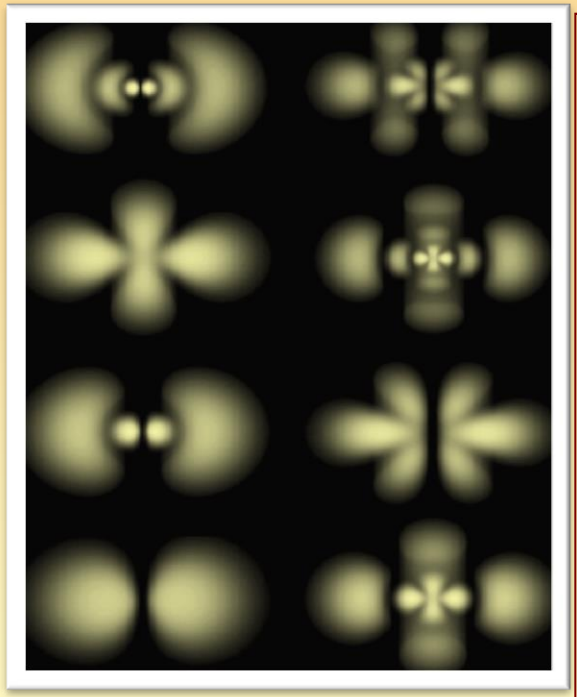
– изучение важнейших экспериментальных фактов атомной физики и их взаимосвязи;

– выявление специфики микроявлений и несостоятельности классической теории для их объяснения;

– изучение основ квантовой механики и методов решения квантово-механических задач;

– систематическое изучение и объяснение на основе квантовой теории строения и свойств атомов и молекул, их поведения во внешних полях и во взаимодействии друг с другом

Задачи атомной физики



В физике атома и атомных явлений изучают:

- ***строение атома как квантовой системы, состоящей из ядра и электронов;***
- ***структуру энергетических уровней атомов и их характеристики;***
- ***излучательные и безызлучательные квантовые переходы в атоме;***
- ***атомные столкновения;***
- ***электрические и магнитные свойства атомов и влияние на них внешних полей***

Чёткой границы между атомной физикой и другими разделами физики не существует, и в соответствии с международной классификацией, атомная физика включена в область атомной, молекулярной физики и оптики

Задачи атомной физики

Прямые

Теоретическое и экспериментальное изучение:

- строения атома как квантовой системы;
- структуры энергетических уровней атомов и их характеристик;
- излучательных и безызлучательных квантовых переходов в атоме;
- атомных столкновений;
- электрических и магнитных свойств атомов ;
- влияния внешних полей на свойства атомов;
- изучение строения и свойств молекул.

Обратные

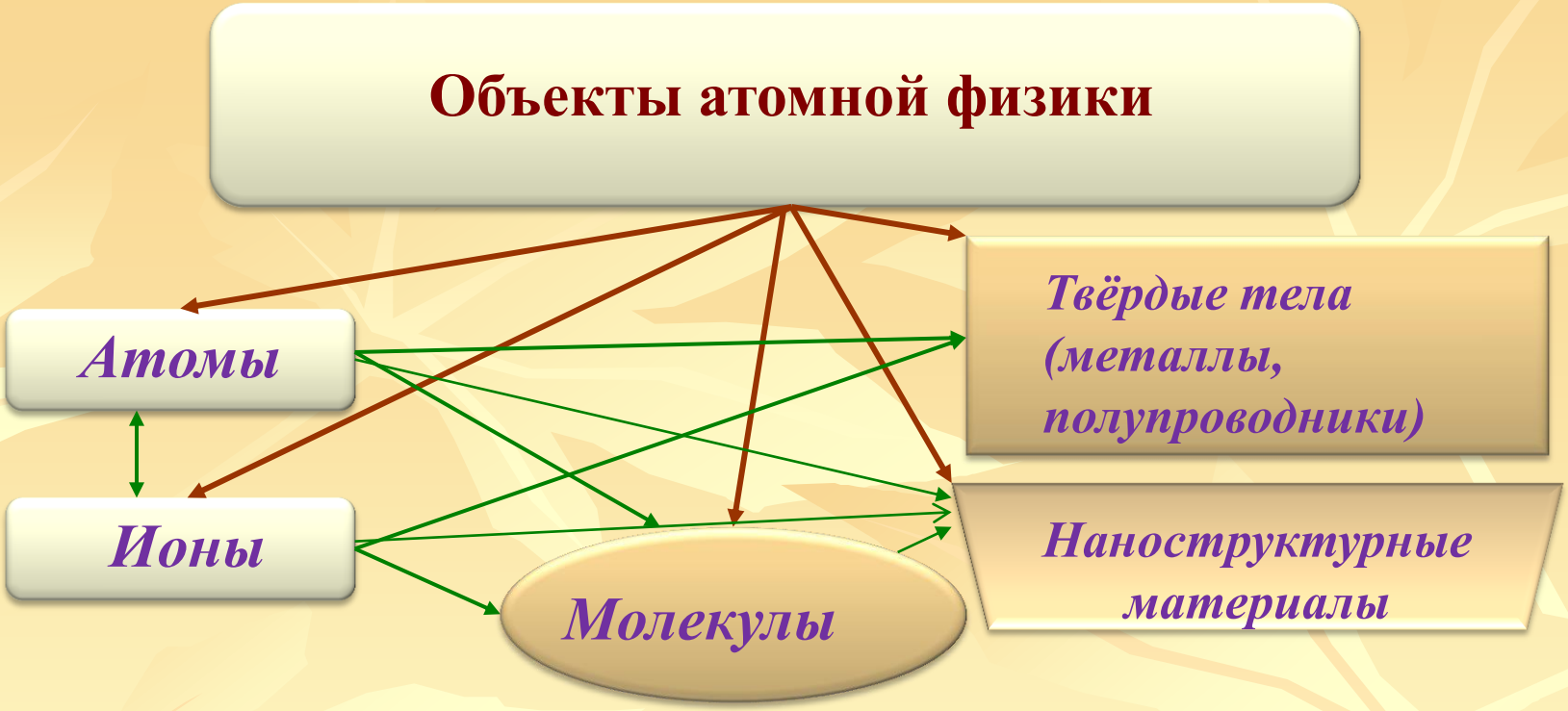
На основе экспериментальных данных о спектрах атомных систем:

-идентифицировать вещество;

- установить его структуру;

-получить информацию о наличии или отсутствии магнитных полей у космических объектов и т.п.

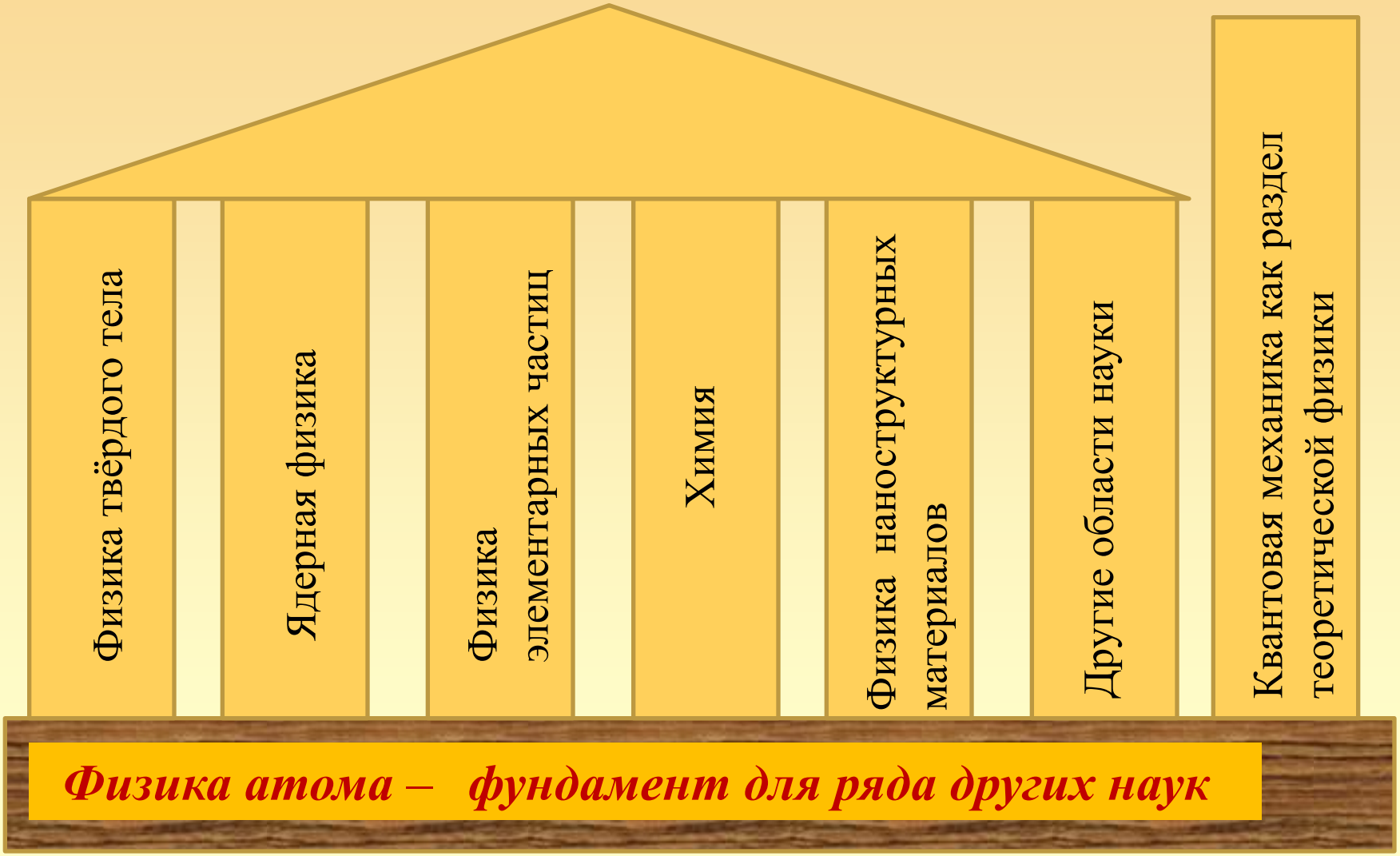
Тема 1 Введение в дисциплину



Характерные параметры типичных объектов атомной физики

Расстояния	~ 10^{-10} м (порядка размеров атома)
Энергии связи, характерные энергии элементарных процессов	порядка нескольких электрон-вольт
1 эВ = 1,6 · 10^{-19} Дж	

Тема 1 Введение в дисциплину



Полезно повторить

Занятия: лекций 58(42 + 16 УСР) практических 48, физпрактикум 56; 6 тестов; 2 КР + 1 ДКР; 2 зачета, экзамен

Основные учебные пособия:

1. **Годлевская, А.Н. Физика атома и атомных явлений : учеб. пособие / А.Н. Годлевская, В.Г. Шолох; под ред. А.А. Сокольского.** − Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. − 307 с.
2. **Годлевская, А.Н. Физика атомов и атомных явлений : практич. пособие** для студентов физич. специальностей вузов / **А.Н. Годлевская, В.Г. Шолох.** − Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2008. − 111 с.
3. **Годлевская, А.Н. Физика атомов и атомных явлений : Развитие квантовых представлений: практическое пособие** для студентов специальностей 1-31 04 01 «Физика (по направлениям) / **А. Н. Годлевская, В. Г. Шолох**; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – 48 с.
4. **Годлевская, А.Н. Физика атомов и атомных явлений : Квантовые модели и экспериментальные основы спектроскопии в атомной физике : практическое пособие** для студентов специальностей 1-31 04 01 «Физика (по направлениям) / **А. Н. Годлевская, В. Г. Шолох;** М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – 48 с.
5. **Годлевская, А.Н. Физика атомов и атомных явлений : Состояния и спектры многоэлектронных атомов и молекул : практическое пособие** для студентов специальностей 1-31 04 01 «**Физика (по направлениям)» / А. Н. Годлевская, В. Г. Шолох**; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – 41 с.

2. Историческая справка

Древний мир

Демокрит, Эпикур: «Атом – неделимая частица»

Начало XIX века

Дж. Дальтон (англ.), А. Авогадро (итал.), Я. Барцелиус (шв.): «Атом – мельчайшая частица химического элемента»

Середина XIX века

С. Канниццаро (итал.): «Атом не тождественен молекуле»

1833 – 1834 гг.

М. Фарадей (англ.): открытие законов электролиза, установление дискретности электрического заряда

1869 Д.И. Менделеев (русск.) – **Создание периодической системы элементов**

1895 К. Рентген (нем.) – Открытие рентгеновских лучей

1896 А. Беккерель (фр.) – Открытие радиоактивности

1897 Дж. Дж. Томсон (англ.) – Открытие электрона, определение его заряда и удельного заряда (с учениками)

1909 А. Милликен (амер.), А.Ф. Иоффе (Россия) – Определение удельного заряда электрона

Атом имеет сложное строение

1920 Ф. Содди, Дж. Томсон , Ф. Астон (все – англ.) – **Открытие изотопов**

Э. Резерфорд (англ.) – **1913 – Открытие ядер водорода; 1920 – ввёл понятие «протон»**

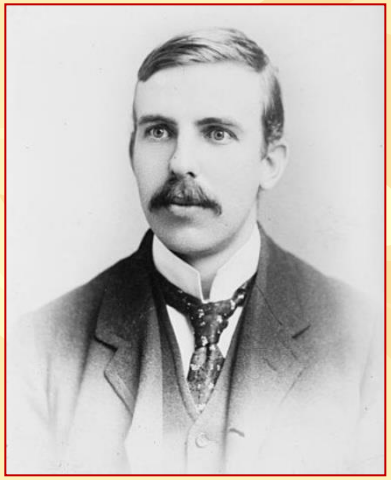
1930 Дж.Чедвик (англ.) – Открытие нейтрона

1932 В.К. Гейзенберг (нем.), **Д.Д. Иваненко** (СССР) – **Уточнение состава атомного ядра**

3. Модели атома в доквантовой теории

Дж.Дж.Томсон
(1856 - 1940)

1904
Модель Томсона



Э. Резерфорд
(1871 - 1931)

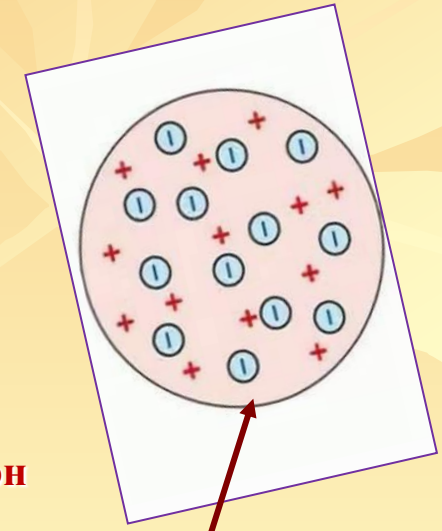
1911
Модель Резерфорда

Н. Бор
(1885 - 1962)

1913
Модель Бора

Модель атома Томсона

Джозеф Джон Томсон
1856 – 1940
Нобелевская премия
по физике, 1906

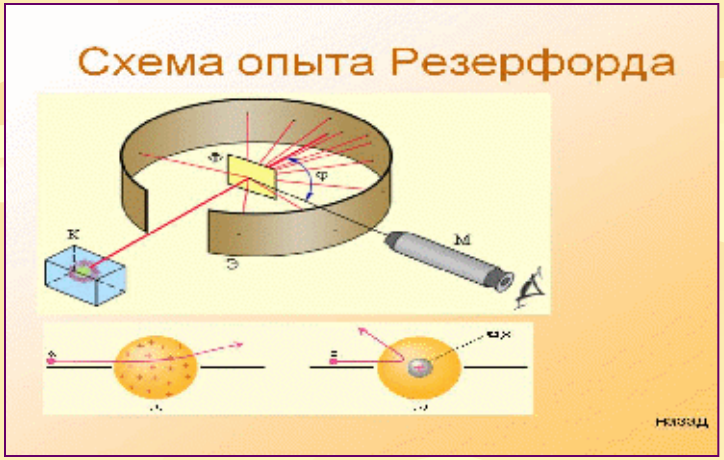


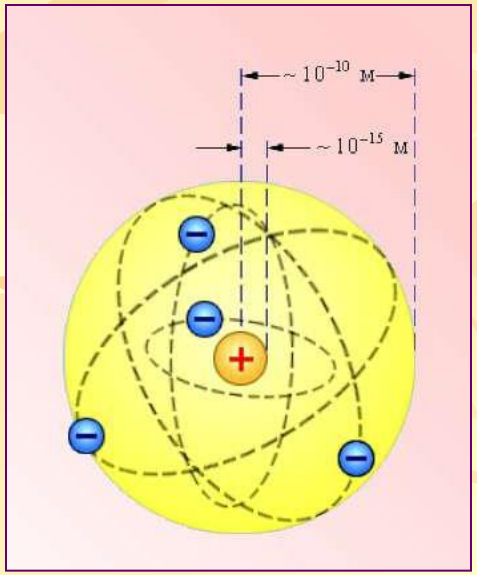
На основе модели удалось :
-оценить размер атома;
- объяснить линейчатый характер атомных спектров;
-объяснить дисперсию света

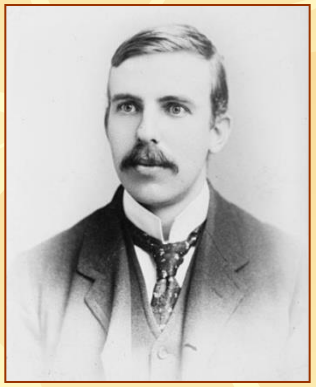
В положительно заряженной материи атома электроны колеблются около положений равновесия. Их колебания сопровождаются излучением электромагнитных волн.

Недостатки модели:
- гипотетическая;
- только качественная;
не удалось объяснить:
- закономерности в спектрах атомов и молекул;
- факт существования атома

Модель атома Резерфорда







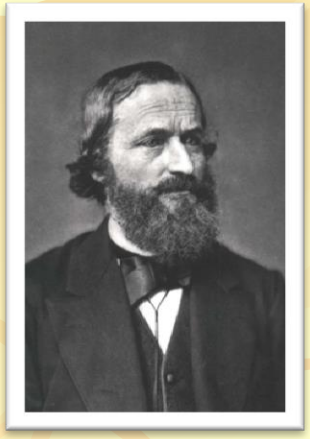
Э. Резерфорд (1871 - 1931)
Нобелевская премия по химии, 1908

На основе ядерной модели атома Резерфорда (1911):
- дано объяснение опытов Резерфорда;
- описана структура атома;
- создана модель атома Бора

Модель несостоятельна при объяснении:
- стабильности атомов;
- линейчатого характера атомарных спектров

4.Трудности классической и становление квантовой физики

Закон теплового излучения Кирхгофа (1859)



Густав Кирхгоф (Gustav Robert Kirchhoff)

1824 – 1887

$$\frac{E_\lambda}{A_\lambda} = I_\lambda = \frac{c}{8\pi} \cdot \rho_\lambda$$

Т.к. I_λ и ρ_λ не зависят от природы тела, то отношение E_λ/A_λ является универсальной функцией температуры T и длины волны излучения λ (или частоты ν)

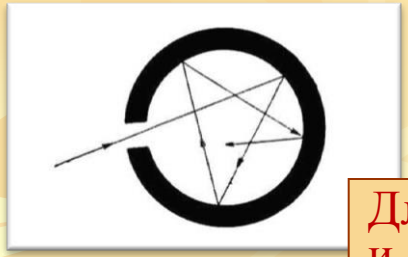
E_λ – излучательная способность тела (энергия, излучаемая с единицы площади поверхности за единицу времени);

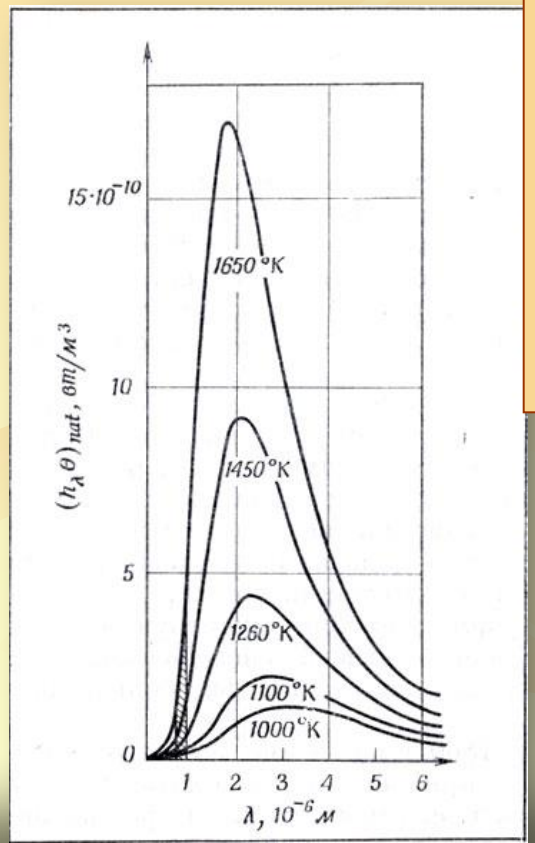
A_λ – поглощательная способность тела (доля всей падающей на тело энергии, которая остаётся внутри тела и превращается в тепло);

I_λ – поверхностная яркость тела, находящегося в равновесии с излучением;

ρ_λ – спектральная плотность равновесного излучения

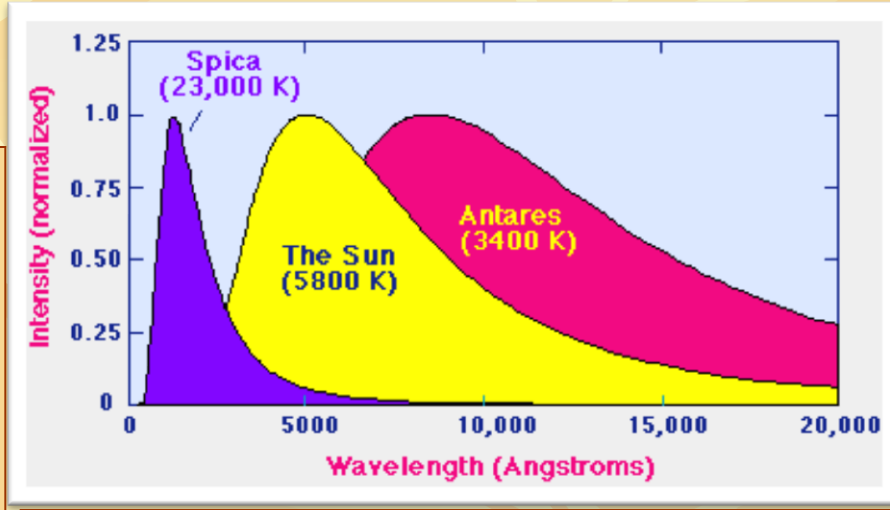
Трудности классической и становление квантовой физики





Для АЧТ $A_\lambda = 1$ и $E_\lambda = I_\lambda$.
Если в условиях равновесного излучения для АЧТ известна излучательная способность E_λ, то можно найти универсальную функцию ρ_λ

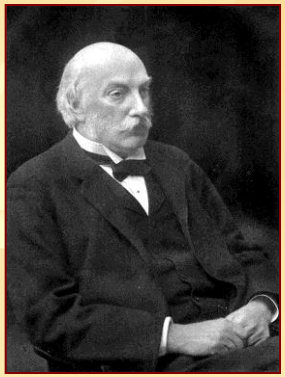
$$\rho_\lambda = \frac{8\pi}{c} E_\lambda$$



Условия, близкие к ТДР, реализуются в условиях, когда излучающее тело (например, внутренние слои звезды) окружено сильно непрозрачным слоем газа (атмосферой звезды)

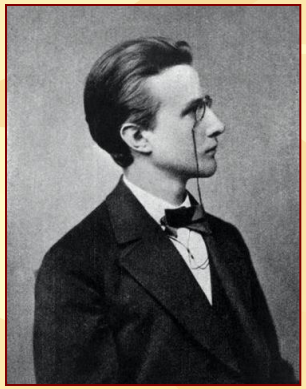
Спектр излучения АЧТ зависит только от температуры

Трудности классической и становление квантовой физики



Джон Стретт
(лорд Рэлей)
1842 – 1919

Джеймс Джинс
1877 – 1946



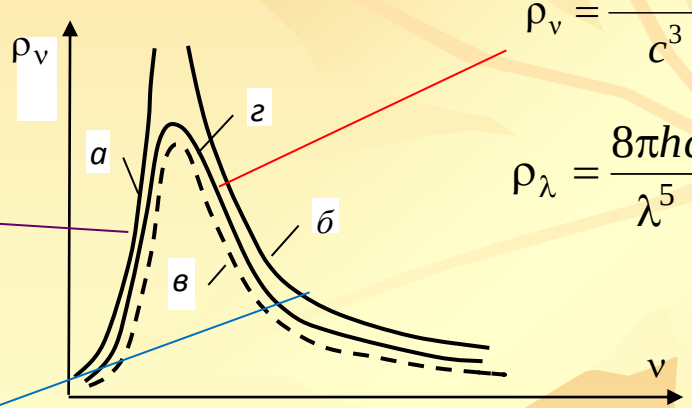
Макс Планк
1858–1947
(Нобелевская премия
по физике 1918)

$$\varepsilon = h\nu$$

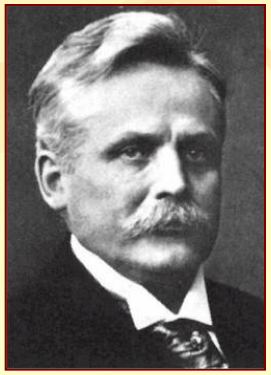
$$\rho_\nu = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3}\cdot\frac{1}{e^{h\nu/kT}-1}$$

$$\rho_\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5}\frac{1}{e^{hc/kT\lambda}-1}$$

$$\rho_\lambda d\lambda = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}d\lambda$$



$$\rho_\nu = C_1\nu^3\exp(-C_2\nu/T)$$

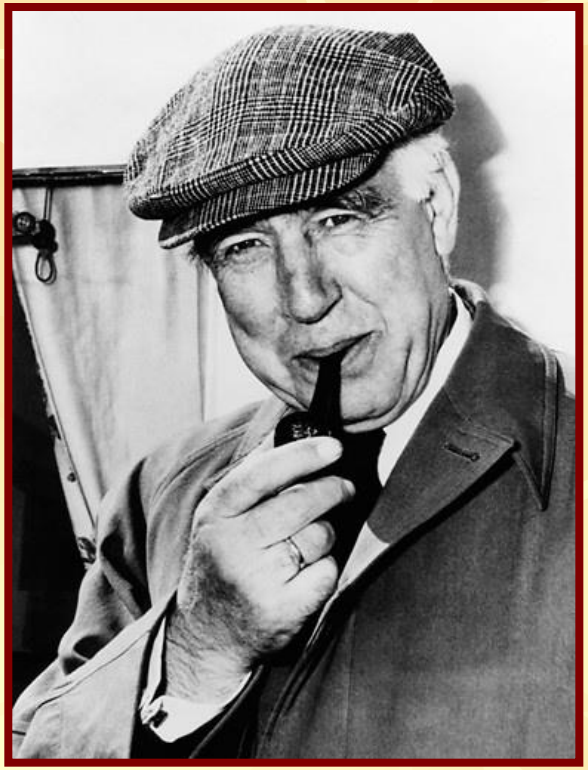


Вильгельм Вин
1864 – 1928
Нобелевская премия по
физике,1911

а – формула Рэлея – Джинса; *б* – формула Вина;
в – экспериментальное распределение;
г – формула Планка
Распределение спектральной плотности энергии равновесного излучения

Модель атома Бора

В **1913** году в «трилогии» On the Constitution of Atoms and Molecules (Part 1, 2) сформулировал квантовые постулаты и предложил теорию строения атома

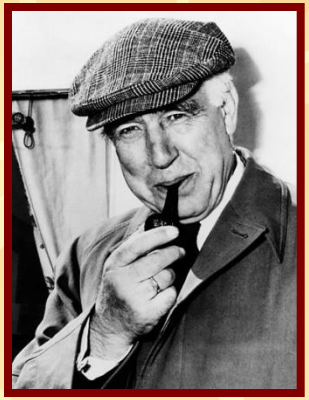


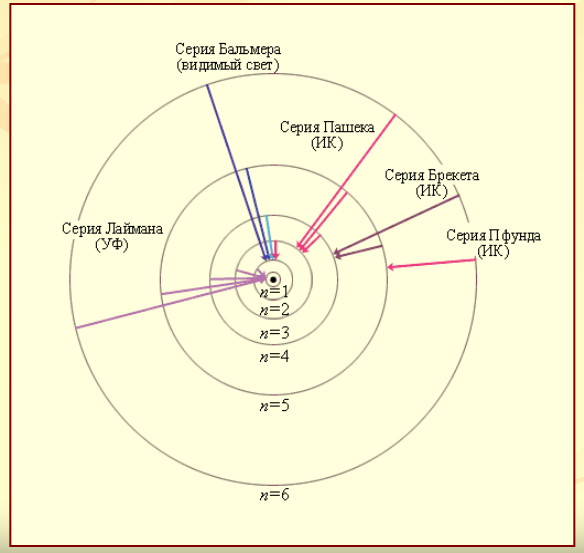
Нильс Бор (Niels Bohr)
1885–1962

1922 – Нобелевская премия по физике «за заслуги в исследовании строения атомов и испускаемого ими излучения»

Модель атома Бора

Предпосылки для её создания:
-квантовая гипотеза Планка (1900);
- фотонная теория света Эйнштейна (1905);
- обнаружение в спектре атома водорода серий Бальмера (1885), Лаймана (1906), Пашена (1909);
- ядерная модель атома Резерфорда (1911);
- квантовые постулаты Бора (1913)





• Атомы могут длительное время, не испуская и не поглощая энергии, находиться в определенных *стационарных состояниях*; соответствующие этим состояниям значения энергии E_1, E_2, E_3, … образуют *дискретный спектр*.

• Испускание или поглощение атомом электромагнитного излучения происходит при переходе атома из одного стационарного состояния в другое. Частота этого излучения равна

$$\nu = \frac{|E_n - E_k|}{h}$$

1869 Д.И. Менделеев (русск.) – **Создание периодической системы элементов**

1895 К. Рентген (нем.) – Открытие рентгеновских лучей

1896 А. Беккерель (фр.) – Открытие радиоактивности

1897 Дж. Дж. Томсон (англ.) – Открытие электрона, определение его заряда и удельного заряда (с учениками)

1909 А. Милликен (амер.), А.Ф. Иоффе (Россия) – Определение удельного заряда электрона

Атом имеет сложное строение

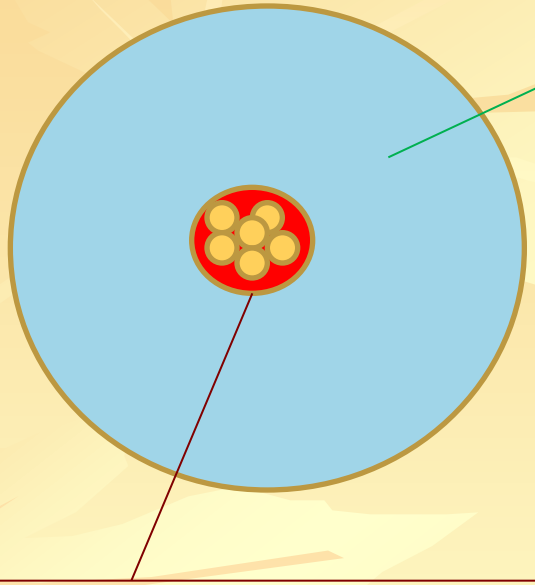
1920 Ф. Содди, Дж. Томсон , Ф. Астон (все – англ.) – **Открытие изотопов**

Э. Резерфорд (англ.) – **1913 – Открытие ядер водорода; 1920 – ввёл понятие «протон»**

1930 Дж.Чедвик (англ.) – Открытие нейтрона

1932 В.К. Гейзенберг (нем.), **Д.Д. Иваненко** (СССР) – **Уточнение состава атомного ядра**

Строение атома



Электронная оболочка состоит из электронов, движущихся в электрическом поле ядра.

Состояние электронов в атоме описывается с использованием методов квантовой механики. Изменение состояния атома может произойти, например, в результате поглощения или испускания фотона или при столкновении с другим микрообъектом.

Ядро состоит из протонов и нейтронов
(протон открыт Э. Резерфордом, 1913; нейтрон открыт Дж. Чедвиком, 1932)

Число протонов в ядре – зарядовое число Z – равно числу электронов в атоме и порядковому номеру элемента в периодической системе элементов Д.И. Менделеева.

Число нуклонов в ядре равно относительной атомной массе A химического элемента.

Элементарные структурные составляющие атома

Электрон

Стабильная элементарная частица

Электрический заряд

$q_e = -e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса покоя

$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг

Удельный заряд

$e/m = 1{,}76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг

Фермион; спиновое квантовое число

$s = ½$

Проекции спинового момента $S_z = \pm \hbar/2$

Модуль магнитного момента примерно равен магнетону Бора

$\mu_e \approx -\mu_Б \approx$

$\approx -0.579 \cdot 10^{-4}$ эВ/Тл

Имеет античастицу – позитрон (e^+)

30 апреля 1897 г. – день рождения электрона

Протон

Стабильная элементарная частица

Электрический заряд

$q_p = e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса покоя

$m_p \approx 1836 m_e \approx$

$\approx 1.67 \cdot 10^{-27}$ кг

Фермион; спиновое квантовое число

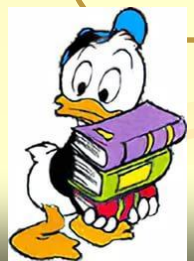
$s = ½$

Модуль магнитного

$\mu_p \approx 8{,}803 \cdot 10^{-8}$ эВ/Тл

Входит в состав ядра атома

Имеет античастицу– антипротон (p^-)



Нейтрон

Элементарная частица

Время жизни в свободном состоянии

$\tau \approx 886$ с

Электрический заряд $q_n = 0$

Масса покоя

$m_n \approx 1839 m_e \approx$

$\approx 1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг

Фермион; спиновое квантовое число

$s = ½$

Модуль магнитного

$\mu_n \approx -6.030 \cdot 10^{-8}$ эВ/Тл

Входит в состав ядра атома

Имеет античастицу– антинейтрон

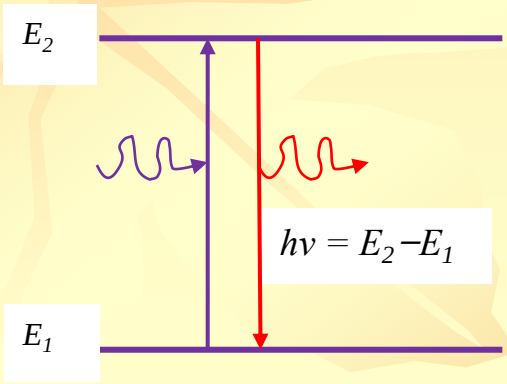
Общее название протонов и нейтронов – нуклоны

Фотон

Энергия $\varepsilon = h\nu = hc/\lambda = mc^2$

Импульс $|\vec{p}| = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} = mc$

Масса $m = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}$; **масса покоя равна нулю**



Заряд равен нулю

Спин равен $1\hbar$

Проекции спина на направление движения $\pm 1\hbar$

Ельяшевич, М.А.
От возникновения квантовых представлений до становления квантовой механики / М.А. Ельяшевич. // УФН. – 1977. – Т. 122. – Вып. 4. – С. 673 – 717.

Литература для самоподготовки

1. Годлевская, А.Н. Физика атома и атомных явлений : учеб. пособие / А.Н. Годлевская, В.Г. Шолох; под ред. А.А. Сокольского. − Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. − 07 с.
2. Сивухин , Д.В. Общий курс физики: Атомная и ядерная физика / Д.В. Сивухин. – Т. V, ч. I. – М.: Наука, 1986. – 416 с.
3. Матвеев, А.Н. Атомная физика: учеб. пособие для студентов вузов / А.Н. Матвеев. – М.: Высш. шк., 1989. – 439 с.
4. Шпольский, Э.В. Атомная физика. В 2 т. – Т.1. Введение в атомную физику / Э.В. Шпольский. – М.: Наука, 1974. – 575 с.
5. Добрецов, Л.Н. Атомная физика : учебное пособие для втузов / Л.Н. Добрецов. – М.: Физматгиз, 1960. – 348 с.
6. Ельяшевич, М.А. От возникновения квантовых представлений до становления квантовой механики / М.А. Ельяшевич. // УФН. – 1977. – Т. 122. – Вып. 4. – С. 673 – 717.

Вопросы для самопроверки

Тема 1

1.Каково место физики атома и атомных явлений среди других разделов физики?

2.Каковы объекты изучения физики атома и атомных явлений?

3.Каковы цель и задачи физики атома и атомных явлений?

4.Каковы основные исторические этапы развития представлений о структуре и свойствах атома?

5.В чем сущность моделей атома Дж. Дж. Томсона и Э. Резерфорда? Каково значение этих моделей в физике? Каковы их главные недостатки?

6.Какие основные затруднения классической физики и какие научные открытия конца XIX – начала XX века обусловили создание квантовой механики?

7.Какие представления были положены Н. Бором в основу предложенной им модели атома?

8.Каково содержание постулатов Бора?

9.Каковы основные свойства электрона, протона, нейтрона и фотона?

28

Желаю успехов в изучении физики атома и атомных явлений!