



ПОВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В СИЛЬНЫХ ПОЛЯХ

ЛЕКЦИЯ № 1

ФИЗИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ ПОВЕДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В СИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Физика твердого тела

Электрофизика

- Лекции (12 ЛК)
- Практики (8 ПР)
- Лабораторные работы

- Экзамен

ФДиП - всего 100 баллов

Посещение лекций и практик – 8 баллов

90% и более – 8 баллов

75-89% - 6 баллов

30-50% - 3 балла

2 контрольные работы – 10 баллов

2 проверочные работы – 10 баллов

(1 вопрос из материала на самостоятельное изучение)

Лабораторные работы (4 работы) – 32 балла

Индивидуальные задания (4 работы) – 20 баллов

Самостоятельная работа (4 раздела)

Зачет – 20 баллов

СТРУКТУРА КУРСА

ЛЕКЦИЯ № 1. Вводная лекция. Основные положения цели и задачи курса

- Структура курса лекций.
- Материаловедческий аспект техники и электрофизики высоких напряжений – как предмет курса.
- Газы, жидкости и твердые тела.
- Металлы, полупроводники и диэлектрики. Классификация твердых тел.
- Рекомендуемая литература.

ЛЕКЦИЯ № 2, № 3. Строение газов, жидких и твердых тел

- Краткое содержание лекции.
- Строение атомов.
- Электроотрицательность, валентность, виды и энергия межатомных связей.
- Ионная, ковалентная, металлическая и водородные связи.
- Полярные и неполярные молекулы.
- Межмолекулярные взаимодействия в газах, жидкостях и твердых телах.
- Виды межмолекулярных взаимодействий.

ЛЕКЦИЯ № 4. Структура кристаллов

- Кристаллическая решетка. Трансляция.
- Элементарная ячейка. Индексы Миллера.
- Операции симметрии. Сингония.
- Типы кристаллических решеток
- Дифракция в кристаллах. Закон Брэгга.
- Анизотропия.
- Основы рентгеноструктурного анализа. Рентгенография.

ЛЕКЦИЯ № 5, № 6. Особенности электронного строения

- Зоны Бриллюэна.
- Электроны в периодическом потенциальном поле.
- Эффективная масса электронов и дырок, разрешенные состояния, уровень Ферми.
- Электронная структура энергетических зон в атомах и соединениях.
- Распределение электронов в кристаллических и аморфных телах.

ЛЕКЦИЯ № 7. Основы зонной теории твердых тел

- Обратное пространство и решетка.
- Зоны Бриллюэна.
- Твердое тело как газ квазичастиц (фононы, электроны проводимости, плазмоны, поляроны, экситоны, магноны).
- Основы зонной теории твердых тел.

ЛЕКЦИЯ № 8. Особенности электронного строения

- Виды атомных дефектов и их локальные электронные состояния.
- Дефекты по Френкелю, Шоттки и центры их окраски.
- Распределение электронов и дырок в реальных материалах. Плотность состояний в запрещенной зоне. Линейные, плоскостные и объемные дефекты.
- Макродефекты и фазы внедрения. Атомы на поверхности.
- Рассеяние света носителями заряда. Фотопроводимость и люминисценция.
- Представления о частицах и квазичастицах – носителях энергии: электроны, ионы, фотоны, экситоны, фононы, поляроны, солитоны.

ЛЕКЦИЯ № 9. Виды материалов и свойства диэлектриков

- Структуры энергетических зон. Диэлектрики, полупроводники и проводники.
- Полимеры. Особенности, классификация, свойства.
- Сферолиты.
- Рост кристаллов и образование кристаллических зон в слитке.
- Стекла. Классификация, состав, свойства.
- Керамика. Типы, обжиг, методы получения.

ЛЕКЦИЯ № 10, № 11. Электропроводность

- Механизмы электропроводности.
- Измерения электропроводности, объемная и поверхностная электропроводность.
- Эмиссия: термоэлектронная, автоэлектронная, фотоэлектронная, электровзрывная.
- Электропроводность газов.
- Электропроводность жидкостей.
- Электропроводность твердых тел.
- Зависимость электропроводности от разных факторов.

ЛЕКЦИЯ № 12, № 13.

- Поляризация, поляризованность, диэлектрическая проницаемость.
- Пассивные и активные диэлектрики.
- Уравнение Клаузиуса-Моссоти.
- Типы и механизмы поляризаций.

ЛЕКЦИЯ № 14. Диэлектрические потери

- Связь между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью.
- Частотная зависимость диэлектрической проницаемости (ϵ).
- Зависимость ϵ температуры, давления, влажности, напряжения.
- Влияние агрегатного состояния на ϵ .
- Диэлектрические потери, угол, фактор диэлектрических потерь.
- Виды диэлектрических потерь

материалы

конструкционные

электротехнические

магнитное поле

электрическое поле

слабо-

магнитные

- ✦ диамагнетики
- ✦ парамагнетики
- ✦ антиферро-магнетики

сильно-

магнитные

- ✦ ферро-магнетики
- ✦ ферри-магнетики

- ✦ проводники
- ✦ полупроводники
- ✦ диэлектрики

Конструкционные материалы

это материалы, при использовании которых основными являются **механические свойства** и которые в электротехнических изделиях выполняют вспомогательные функции.

Электротехнические материалы

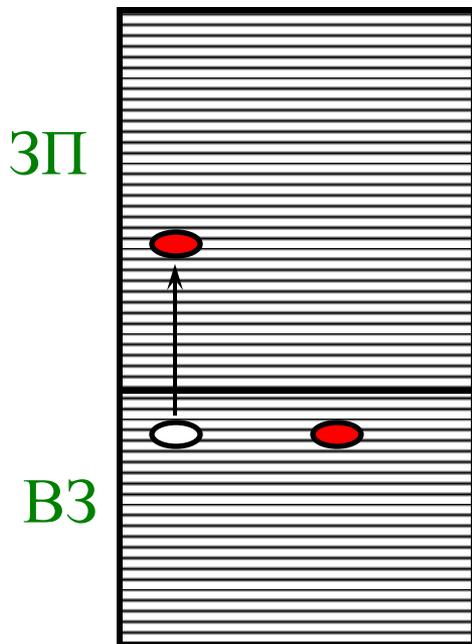
это материалы, характеризующиеся определёнными **свойствами** по отношению к **электромагнитному полю** и применяемые в технике с учётом этих свойств.

Электротехнические материалы



ЭЛЕМЕНТЫ ЗОННОЙ ТЕОРИИ

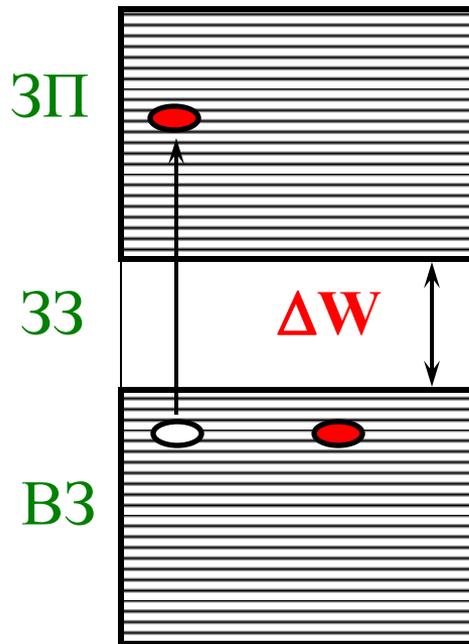
проводники



$$\Delta W = 0$$

$$\rho_V \sim 10^{-6} \div 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

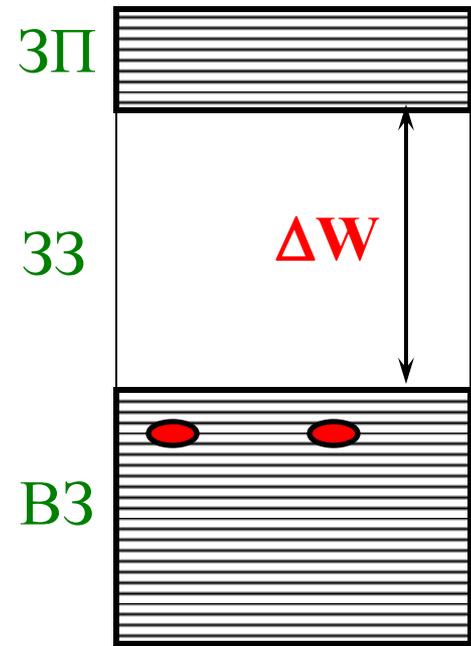
полупроводники



$$\Delta W \text{ до } 3\text{эВ}$$

$$\rho_V \sim 10^{-4} \div 10^9 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

диэлектрики



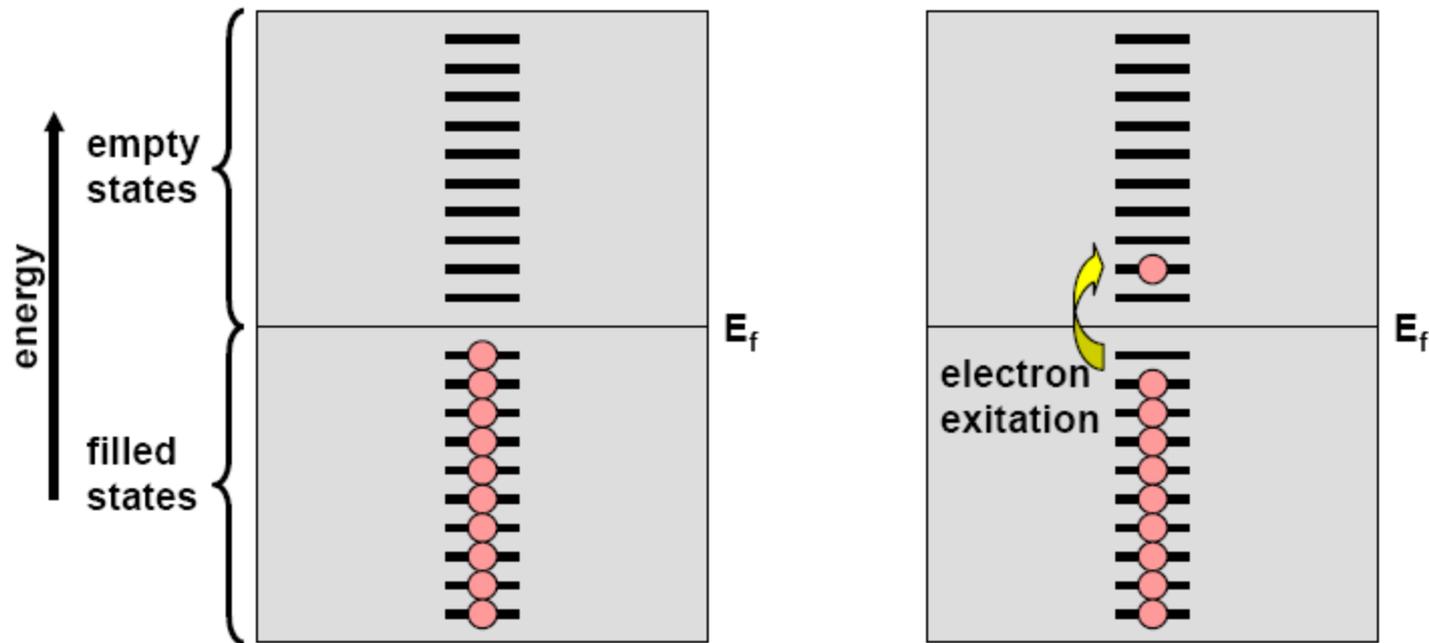
$$\Delta W \text{ выше } 3\text{эВ}$$

$$\rho_V \sim 10^5 \div 10^{17} \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Electrical Conduction

Conduction in Terms of Band and Atomic Bonding Models

metal



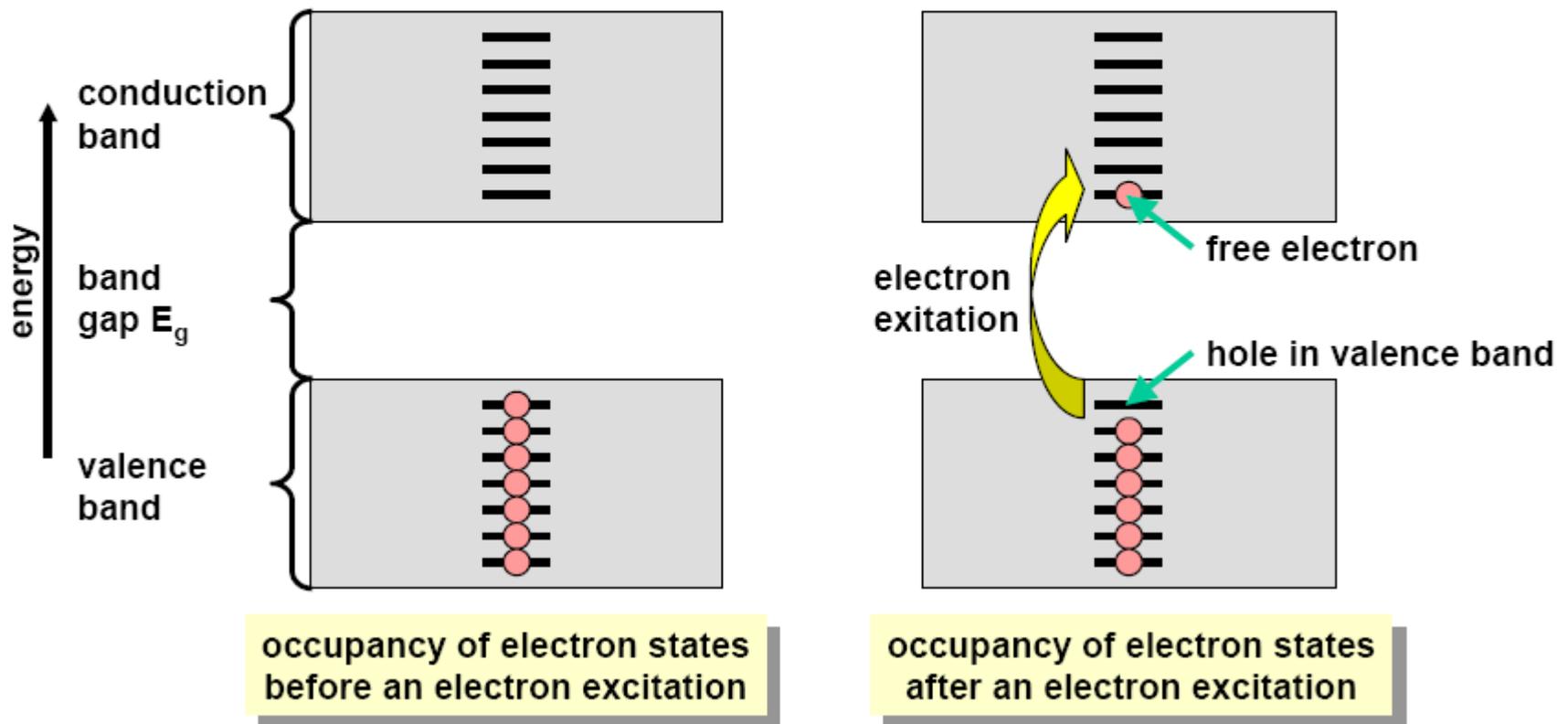
occupancy of electron states
before an electron excitation

occupancy of electron states
after an electron excitation

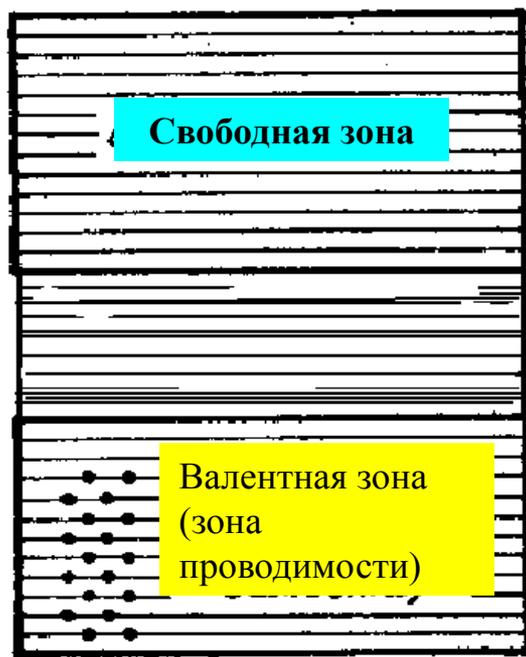
Electrical Conduction

Conduction in Terms of Band and Atomic Bonding Models

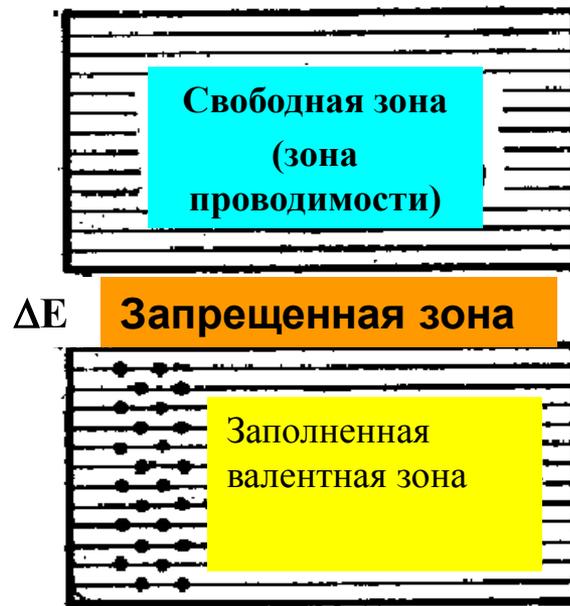
insulator or semiconductor



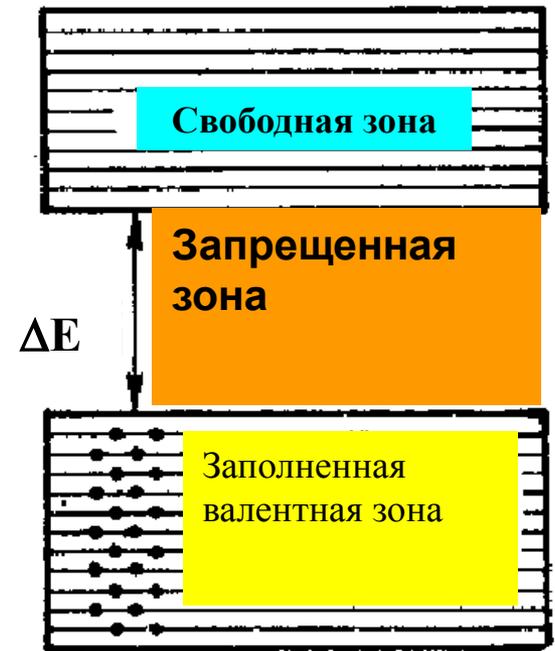
Зонная классификация твердых тел



МЕТАЛЛ



ПОЛУПРОВОДНИК



ДИЭЛЕКТРИК

В газах при нормальном давлении концентрация частиц
в газе $N \approx 10^{19}$ 1/см³ ,
в жидкости – $N \approx 10^{22}$ 1/см³ ,
в твердом теле – $N \approx 10^{23}$ 1/см³ .

(Нормальное атмосферное давление – давление на уровне моря при температуре 15 °С = 760 мм.рт.ст. (Международная стандартная атмосфера — МСА, 101.325 Па)

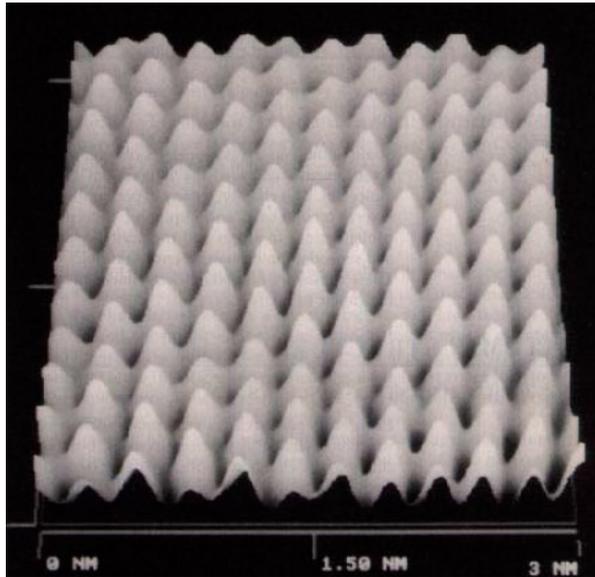
СТРОЕНИЕ АТОМА

Свойства веществ определяются:

- природой и электронным строением атомов;
- типом атомных орбиталей и характером их взаимодействия;
- типом химических связей;
- химическим, электронным и пространственным строением молекул).

СТРОЕНИЕ АТОМА

Протоны, нейтроны, электроны



Микрофотография
поверхности образца
золота.

ЯДРО=ПРОТОНЫ+НЕЙТРОНЫ=НУКЛОНЫ

$$N_p = N_n$$

Полное число протонов – атомный номер атома Z .

- Радиус молекулы $r_{\text{моп}} \sim 1-10$ нм
- Радиус атома $r_{\text{атом}} \sim 0.4 \cdot 10^{-10} - 1.5 \cdot 10^{-10}$ м
- Радиус электрона $r_e \sim 10^{-15}$ м
- Размеры ядра : $10^{-15} - 10^{-14}$ м

Субатомные частицы

Частица	Заряд		Масса:	
		Кл	кг	а.е.м.
Протон	+1	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	0		$1,67 \cdot 10^{-27}$	1,00867
Электрон	-1	$1.6 \cdot 10^{-19}$	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,000549

Атомная единица массы (обозначение **а. е. м.**) – **дальт́он** (обозначение **Da**) – углеродная единица – внесистемная единица массы, применяемая для масс молекул, атомов, атомных ядер и элементарных частиц.

Атомная единица массы выражается через массу нуклида углерода ^{12}C и равна $1/12$ массы этого нуклида.

$$1 \text{ а. е. м.} = 1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,660\,540\,2(10) \cdot 10^{-24} \text{ г}$$

1 а. е. м. в граммах численно равна обратному числу Авогадро – $1/N_A$, выраженному в моль $^{-1}$.

Моль – единица измерения количества вещества в Международной системе единиц (СИ), одна из семи основных единиц СИ.

Моль – количество вещества системы, содержащей столько же частиц (атомов, молекул, ионов, электронов), сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

Молярная масса углерода-12 равна 12 г/моль.

Углерод-12 – нуклид химического элемента углерода с атомным номером 6 и массовым числом 12.

Массовое число атомного ядра — суммарное количество протонов и нейтронов (нуклонов) в ядре.

Число Авогадро, константа Авогадро – физическая константа, численно равная количеству атомов, молекул, ионов, электронов или любых других частиц в 1 моле вещества.

$$N_A = 6,022\ 141\ 29(27) \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Моль – количество вещества, которое содержит N_A частиц атомы, молекулы, ионы) (то есть столько же, сколько атомов содержится в 12 г ^{12}C).

Состояния вещества

- **ГАЗООБРАЗНОЕ**

- **ЖИДКОЕ**

- **ТВЁРДОЕ:**
 - *монокристаллическое*
 - *поликристаллическое*
 - *аморфное (стекло)*
 - *смешанное (полимеры, ситаллы)*

ВВЕДЕНИЕ

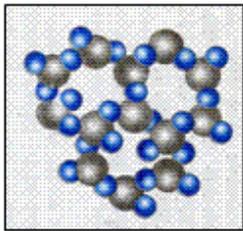
Агрегатное состояние — состояние вещества, характеризующееся определёнными качественными свойствами: способностью или неспособностью сохранять объём и форму, наличием или отсутствием дальнего и ближнего порядка и другими.

Агрегатные состояния: **твёрдое тело**, **жидкость**, **газ**, **плазма** (жидкие кристаллы, конденсат Бозе-Эйнштейна).

Изменения агрегатного состояния — это термодинамические процессы, называемые **фазовыми переходами**. Выделяют следующие их разновидности: **из твёрдого в жидкое** — **плавление**; **из жидкого в газообразное** — **испарение** и **кипение**; **из твёрдого в газообразное** — **сублимация**; **из газообразного в жидкое или твёрдое** — **конденсация**; **из жидкого в твёрдое** — **кристаллизация**. Отличительной особенностью является отсутствие резкой границы перехода к плазменному состоянию.

Агрегатное состояние вещества

твёрдое

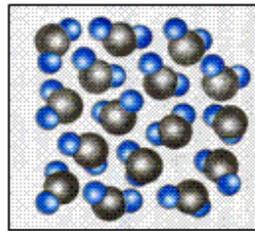


сохранение
формы
и объема

кристаллические

$t_{пл} = const$

жидкое

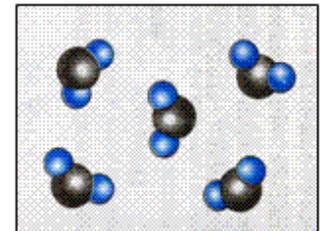


не сохранение
формы,
сохранение
объема

аморфные

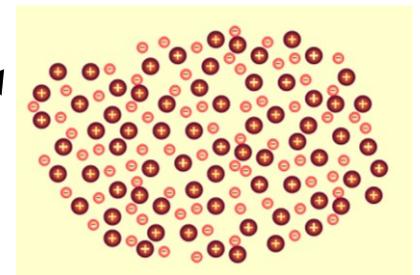
$t_{пл} \neq const$

газообразное



не сохранение
формы
и объема

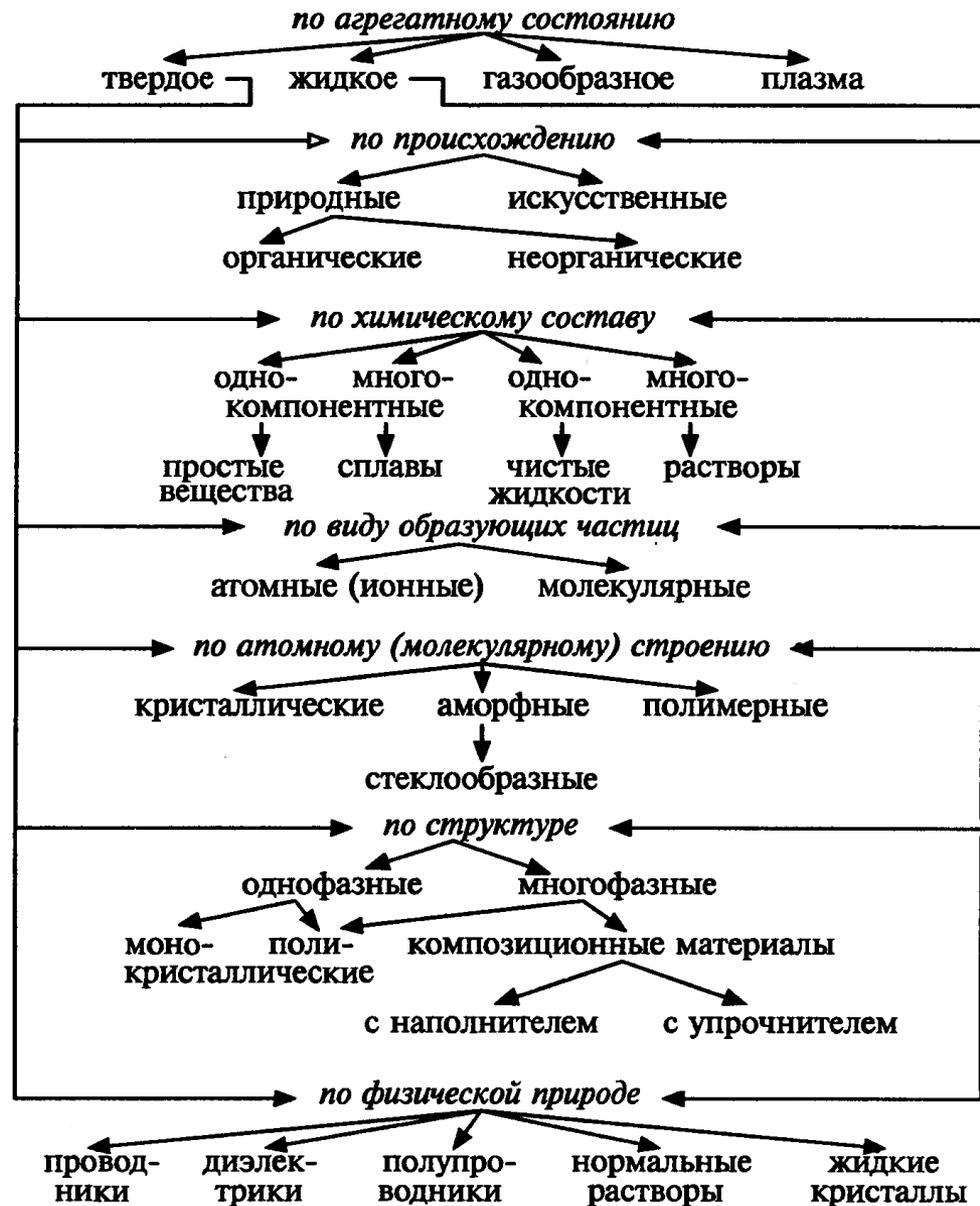
ПЛАЗМА



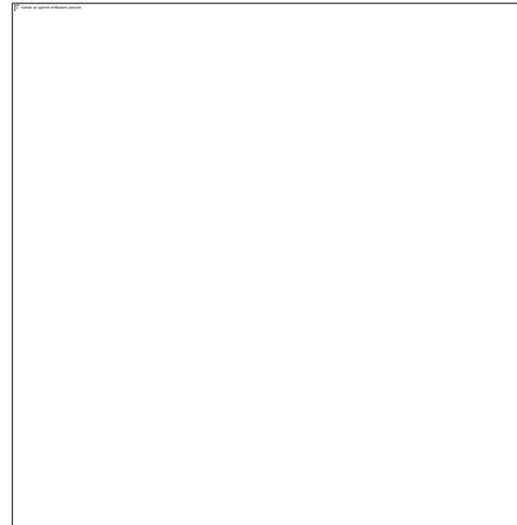
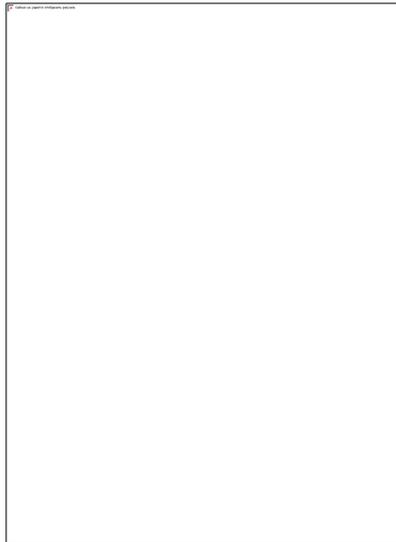
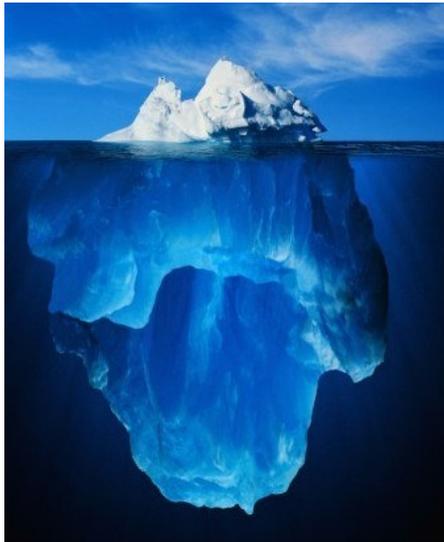
плавление
отвердевание

парообразование
испарение кипение
 $t_{ис} \neq const$ $t_{к} = const$
конденсация

Системное представление вещества:



- При постоянной температуре размеры и форма твердого тела не изменяются.
- Жидкость, растекаясь, меняет форму, но ее объем остается неизменным.
- У газа постоянными не являются ни объем, ни форма. Газ расширяется или сжимается, чтобы заполнить объем или форму занимаемого



ГАЗЫ

Газ – агрегатное состояние вещества – очень слабые связи между составляющими его частицами (молекулами, атомами или ионами) – большая подвижность частиц.

- Текучесть
- Сопротивляемость деформации
- Изотропия

- Диффузия
- Броуновское движение

Давление – P

Объем – V

Температура – T

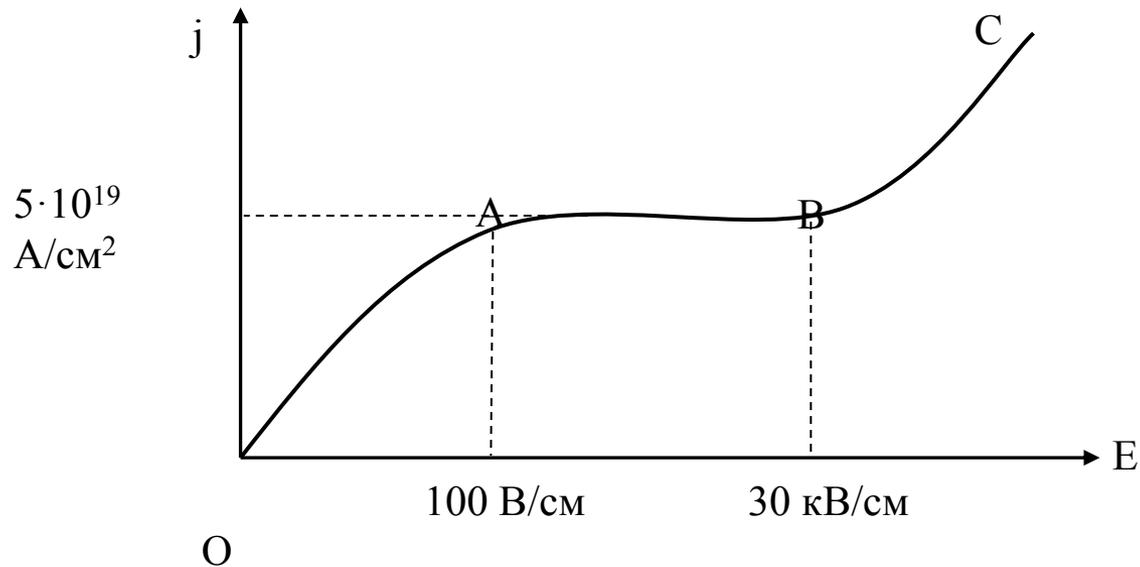
Концентрация – n



Закон Авогадро

Одинаковые объёмы любых газов при одинаковом давлении и температуре содержат одинаковое число молекул.

Электрический ток в газах



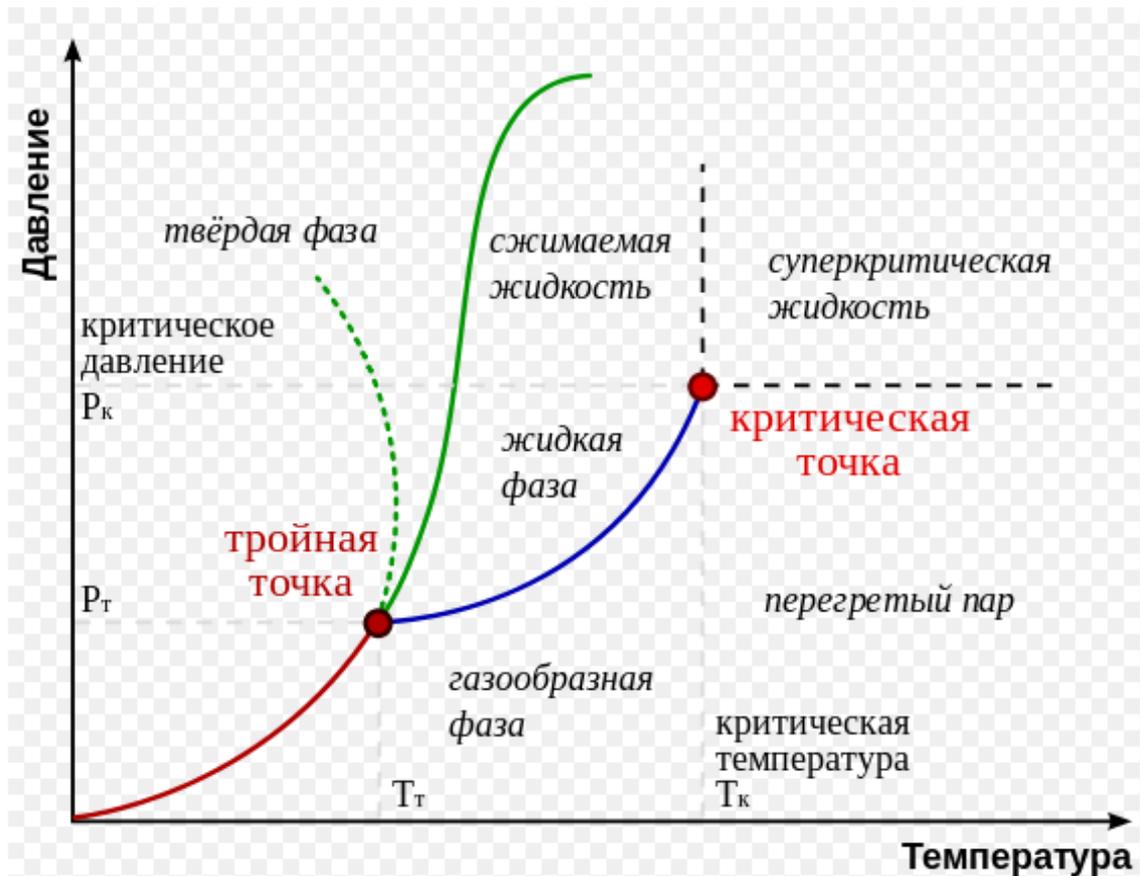
j — плотность тока, А/см²

E — напряженность электрического поля, кВ/см

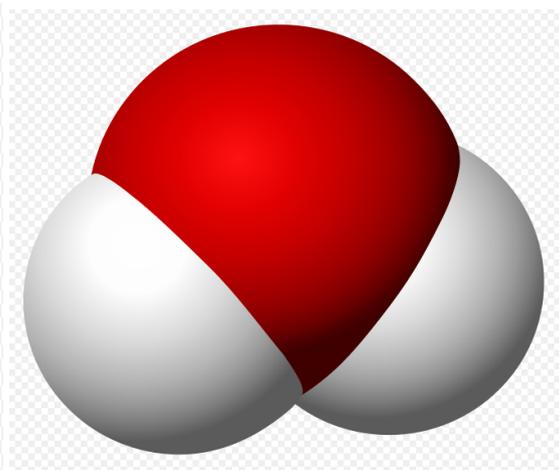
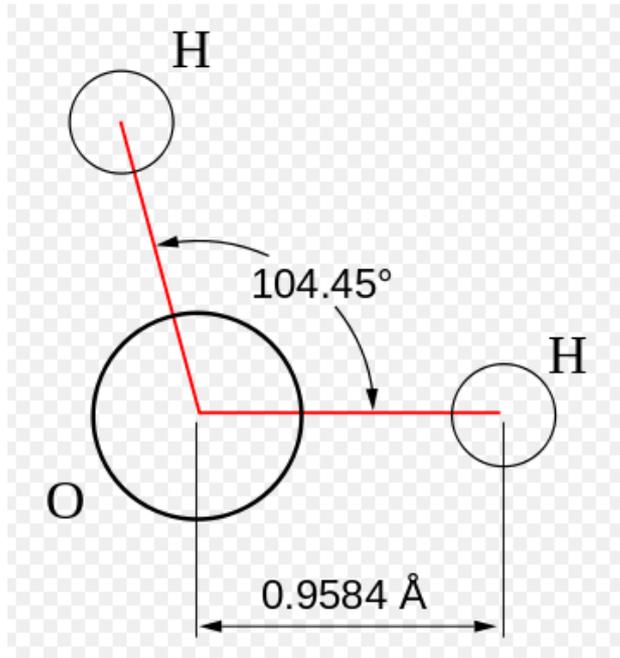
ЖИДКОСТИ

Состояние вещества, при котором оно обладает малой сжимаемостью, то есть хорошо сохраняет объём, однако не способно сохранять форму.

Концентрация частиц $n \approx 10^{22} - 10^{23} \text{ 1/см}^3$.



ВОДА



- Поликластерное строение
- Текучесть
- Сохранение объема
- Вязкость
- Образование свободной поверхности и натяжения

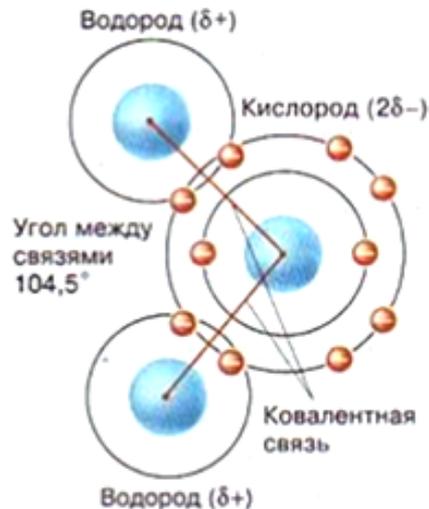
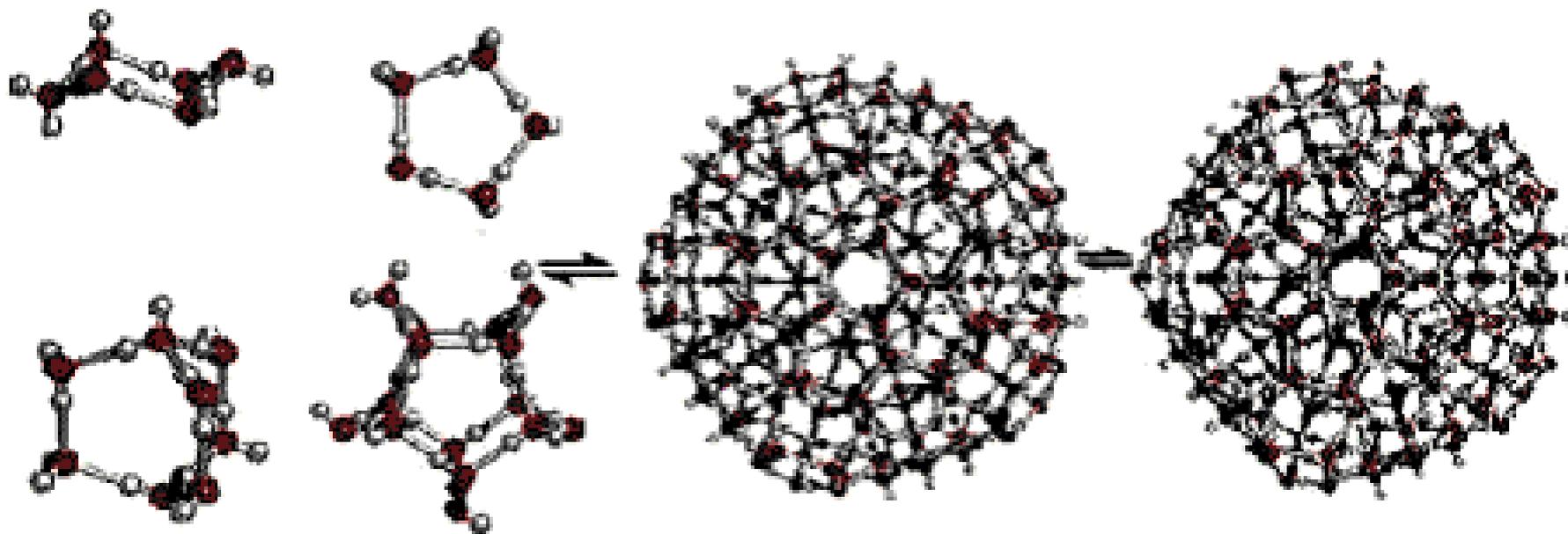


Рис. 6. Схема строения молекулы воды

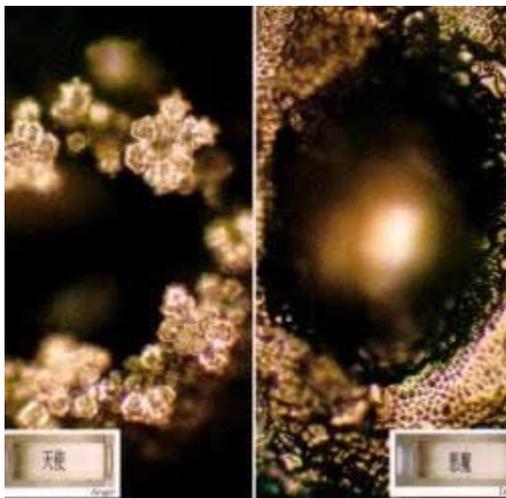


Рис. 7. Водородные связи между молекулами воды

ПОЛИКЛАСТЕРНОЕ СТРОЕНИЕ ВОДЫ



Некоторые возможные структуры кластеров воды



Слева - вода слова "Ангел", а
справа "демон"



500 человек послали
энергию любви этой воде



Кристалл воды, которому
было показано слово Иудаизм



Кристалл воды, которому было
показано слово Христианство



Кристалл воды, которому было
показано слово Буддизм



Кристалл воды, которому
показали слово Ислам

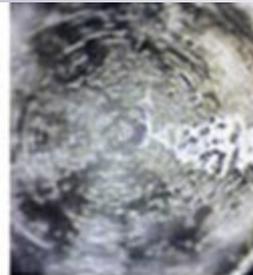
Форма кристаллов воды при различных воздействиях на неё



Лебединое озеро



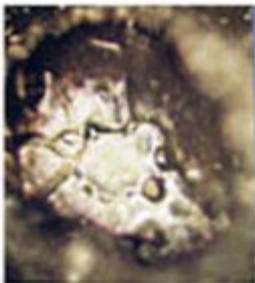
Аве Мария



Хэви - металл



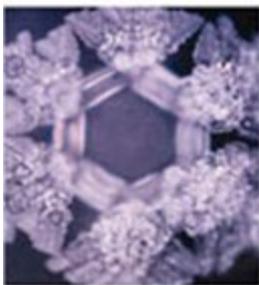
Горный источник



Водохранилище



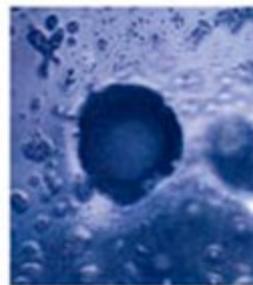
После молитвы



Солнце



Фото дельфина



Мобильный телефон

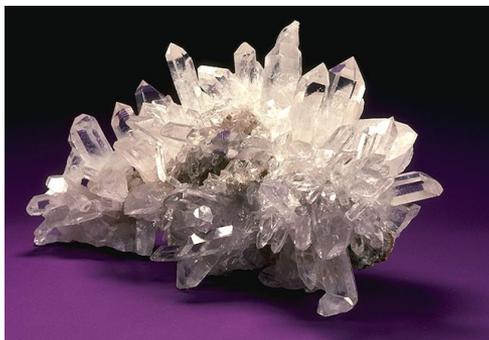


Сферическая форма капли жидкости как пример минимизации площади поверхности, что обусловлено поверхностным натяжением в жидкостях.



Водяной пар, содержащийся в воздухе, конденсируется в жидкость после соприкосновения с холодной поверхностью бутылки.





Твердые тела

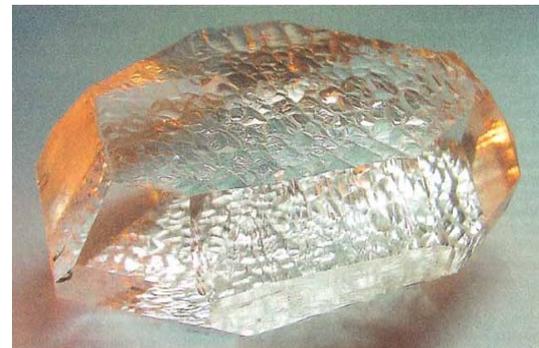
- Кристаллические
- Поликристаллические
- Аморфные



Кристаллы характеризуются пространственной периодичностью в расположении равновесных положений атомов (атомы расположены закономерно, образуя трёхмерно-периодическую пространственную укладку – **кристаллическую решетку**, имеют дальний порядок упаковки атомов).

Поликристалл — агрегат мелких кристаллов какого-либо вещества, иногда называемых из-за неправильной формы *кристаллитами* или *кристаллическими зёрнами*.

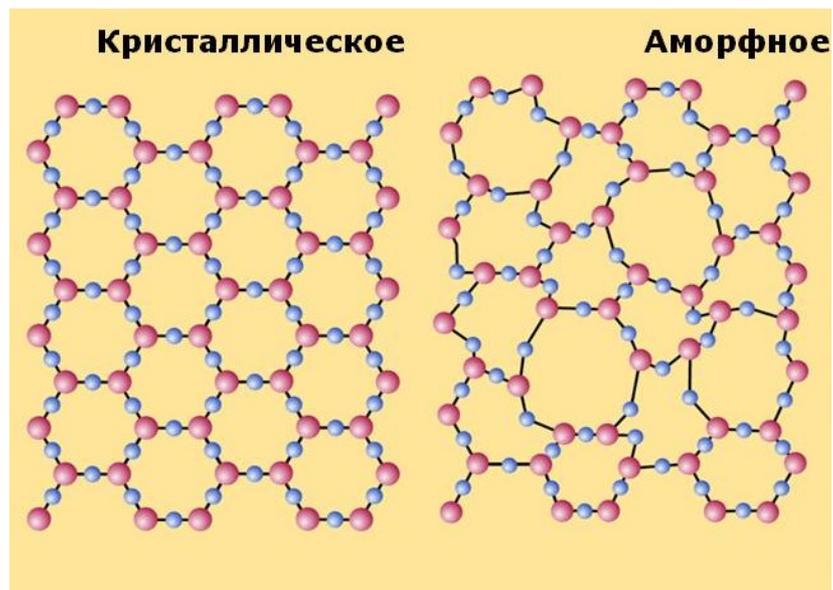
Концентрация атомов $n \approx 10^{23}$ атомов/см³.



Аморфные тела — твердые тела, атомарная структура которых имеет ближний порядок и не имеет дальний порядок, характерный для кристаллических структур.

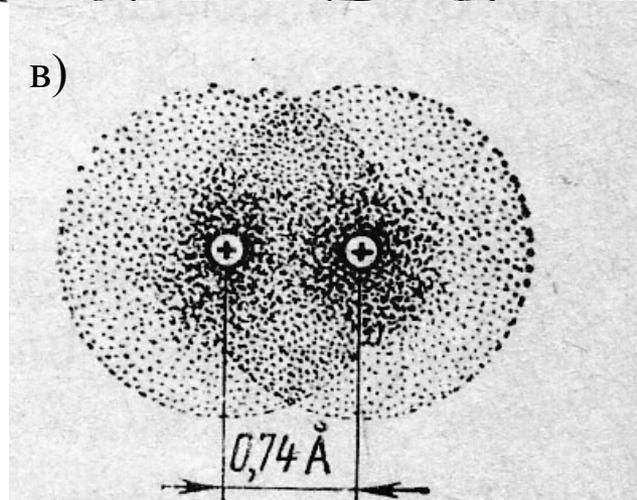
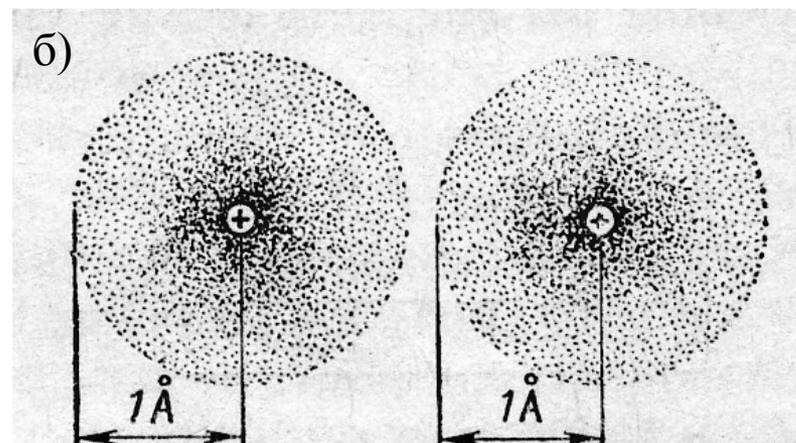
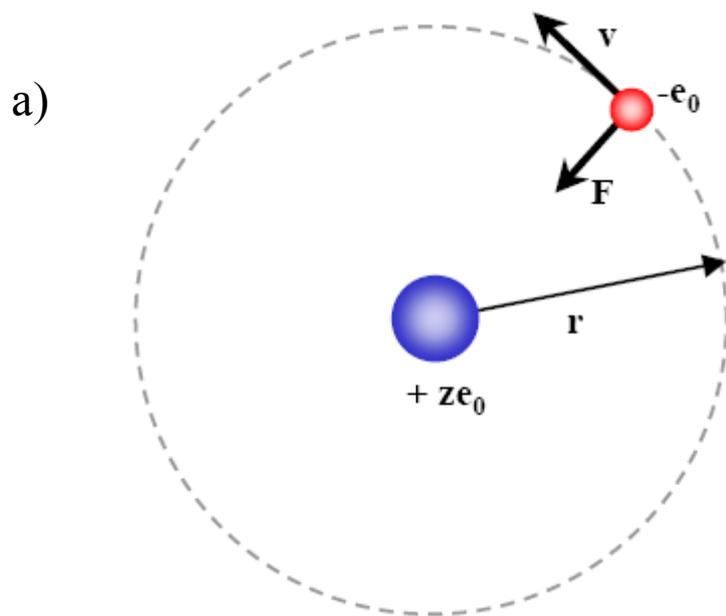


В **аморфных телах** атомы колеблются вокруг хаотически расположенных точек (имеют ближний порядок упаковки атомов).



Аморфное тело находится в **метастабильном состоянии** (состояние неустойчивого равновесия физической системы, в котором система может находиться длительное время) и с течением времени должно перейти в кристаллическое состояние, однако время кристаллизации часто столь велико, что метастабильность вовсе не проявляется.

МОДЕЛЬ АТОМА ПО ТЕОРИИ БОРА



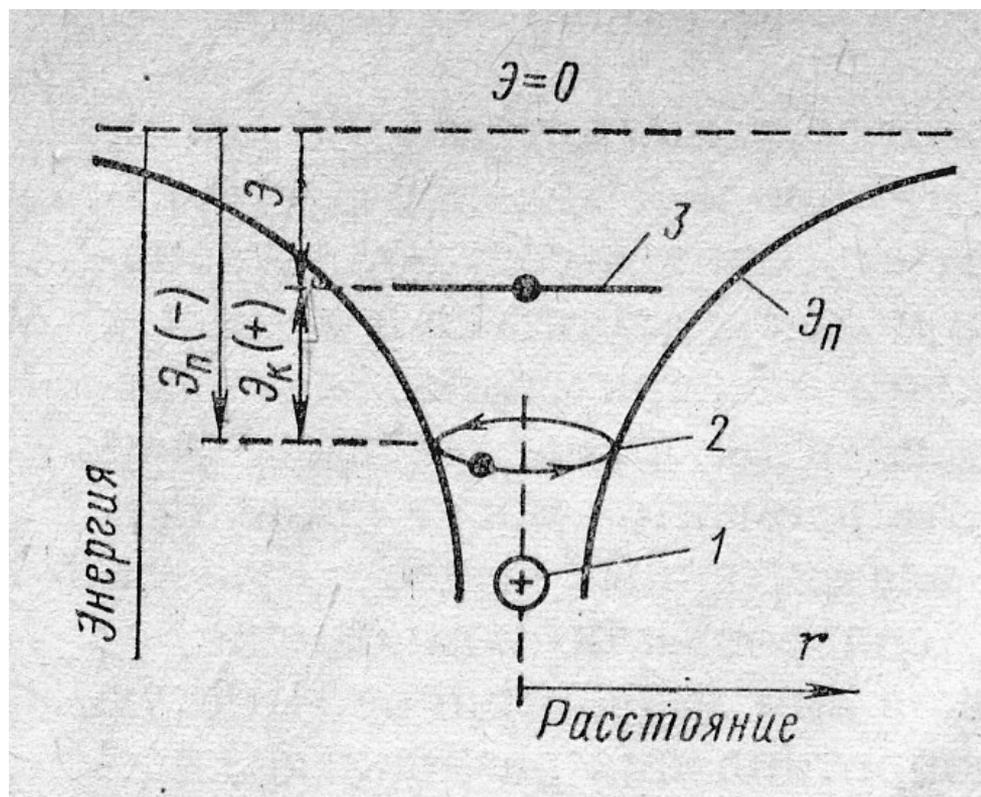
Структура атома и молекулы водорода:

а) – простейшая планетарная модель водородного атома

б) – квантовомеханическая модель электронной структуры двух уединенных атомов водорода

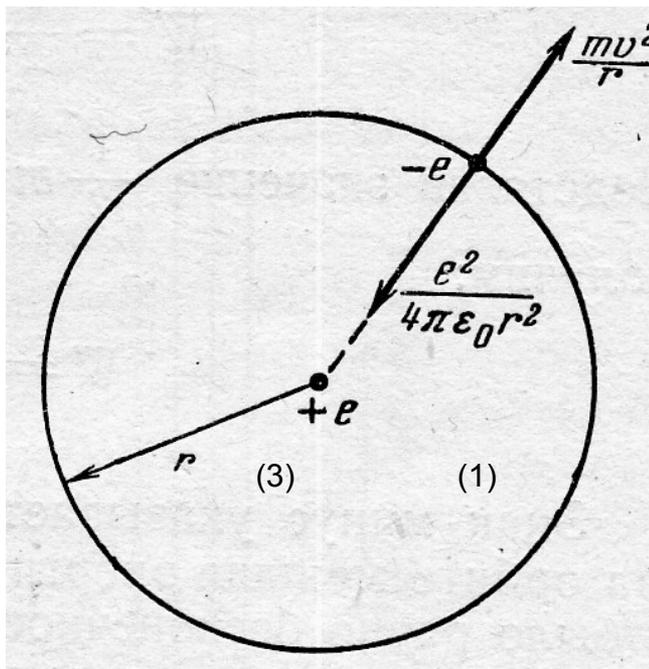
в) – то же, для молекулы водорода (точками показана плотность заряда электрона).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ЛЯ ПРОСТЕЙШЕЙ МОДЕЛИ АТОМА ВОДОРОДА



1 – ядро, 2 – орбита с электроном
(для наглядности показана с наклоном);
3 – энергетический уровень электрона

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ЛЯ ПРОСТЕЙШЕЙ МОДЕЛИ АТОМА ВОДОРОДА



Схематическое изображение сил, соответствующих круговой орбите электрона в атоме водорода

Радиус орбиты остается стабильным, если в месте нахождения электрона существует равновесие между силой кулоновского притяжения и центробежной силой:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2}; \quad (1)$$

v – скорость электрона на орбите,
 $\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м – электрическая постоянная

Полная энергия движущегося электрона равна сумме кинетической энергии и потенциальной, обусловленной кулоновским полем протона:

$$W = \frac{mv^2}{2} - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (2)$$

$$W = -\frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r}. \quad (3)$$

Квантовое условие для движения электрона

- стабильны только те орбиты, для которых момент количества движения (кратен) в целое число раз больше $\hbar/2\pi$

$$mvr = n\hbar / 2\pi \quad (n=1, 2, 3\dots).$$

- Возможные круговые орбиты электрона

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 \hbar^2}{\pi m e^2} n^2 = 5,29 \cdot 10^{-10} n_M^2$$

- Наименьший радиус орбиты электрона – 5.29 Å. Другие разрешенные радиусы орбит будут соответственно больше в 4, 9, 16 и т.д. раз.

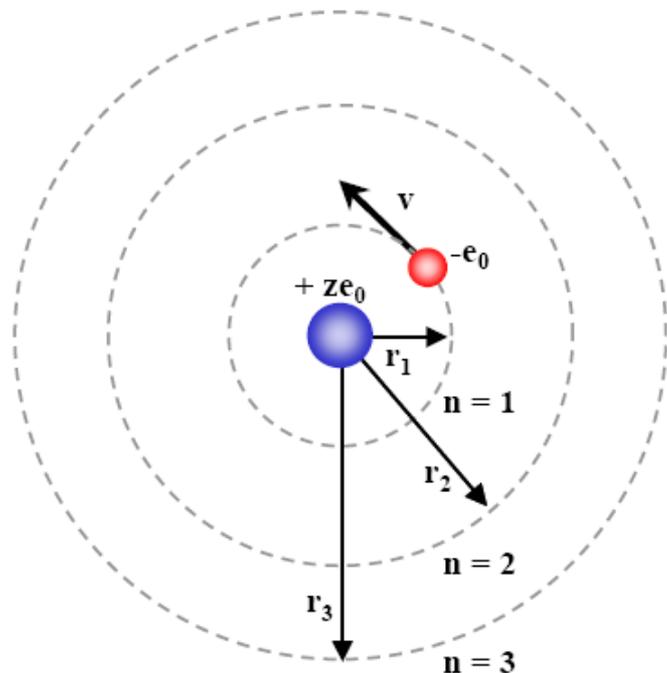
МОДЕЛЬ АТОМА ВОДОРОДА ПО ТЕОРИИ БОРА

- Электрон может обладать лишь рядом дискретных значений энергии W_n , определяемых формулой:

$$W_n = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -\frac{13,6}{n^2} \text{ эВ}$$

1 электронвольт (эВ) = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

- Наименьшая энергия связи электрона в поле протона на «основном» энергетическом уровне ($n=1$): $W_n=13,6$ эВ



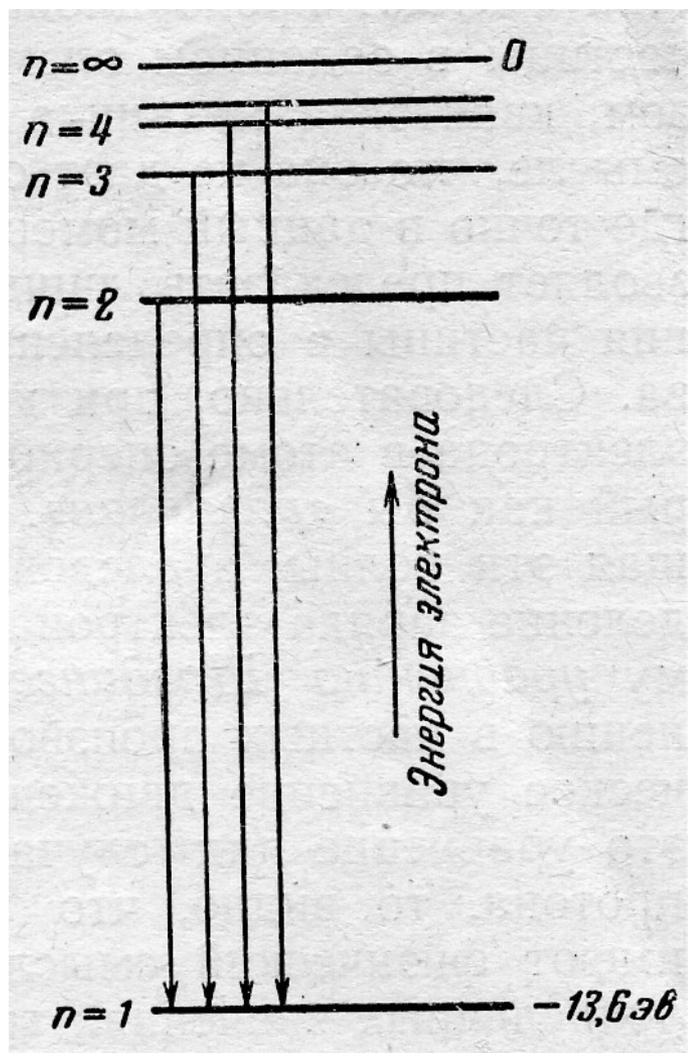
Энергия ионизации
H → H⁺ + e⁻: 13,6 эВ

$$r_n = n^2 \frac{\varepsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e_0^2}$$

$$r_n = n^2 a_0$$

$$r_1 = a_0 = \frac{\varepsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e_0^2} \approx 0,529 \text{ нм}$$

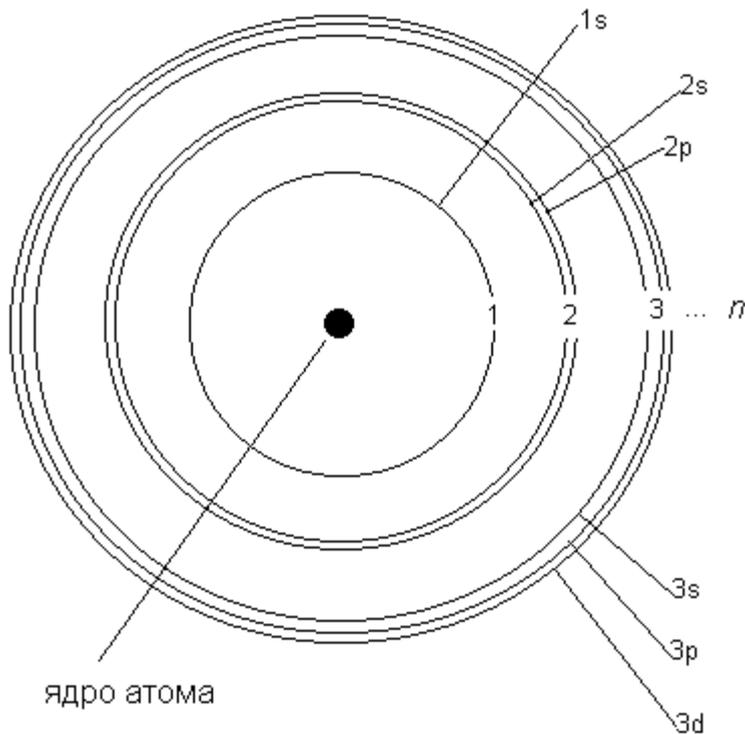
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ



Схематическое изображение энергетических уровней электрона в атоме водорода. Стрелками показаны переходы с более высоких уровней в основное состояние. Эти переходы соответствуют испусканию электромагнитного излучения.

Переход электрона из одного энергетического уровня (W_{n1}) в другой (W_{n2}) связан с испусканием или поглощением электромагнитной волны, частотой γ :

ЭЛЕКТРОННЫЕ ОРБИТЫ



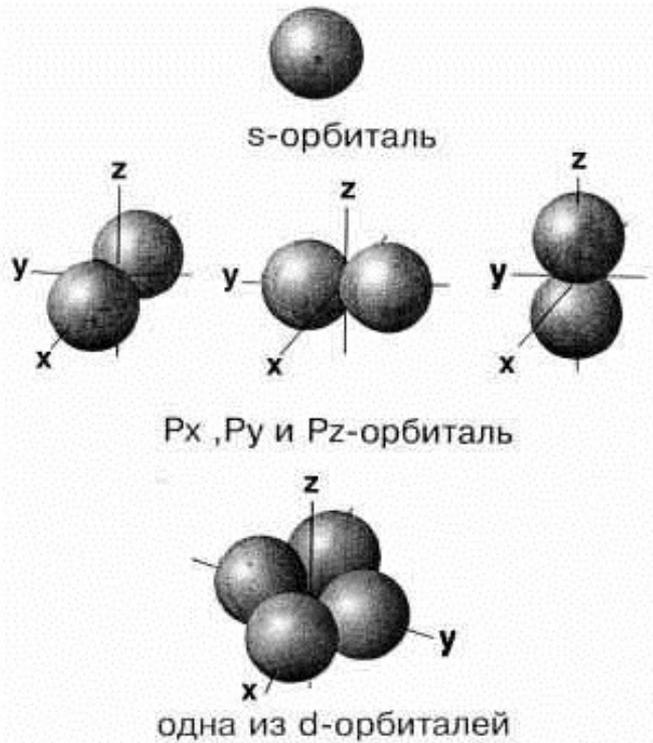
Схематичное изображение строения электронной оболочки атома в модели Бора

- Электронные орбиты в модели Бора обозначаются целыми числами $1, 2, 3, \dots, n$, начиная от ближайшей к ядру- *уровни*.
- Уровни, в свою очередь, могут состоять из близких по энергии *подуровней*
- Подуровни, в свою очередь, состоят из одинаковых по энергии *орбиталей*

ПРИНЦИП НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕЙЗЕНБЕРГА – невозможно одновременно точно определить положение микрочастицы в пространстве и его импульс

- **Атомная орбиталь** - это пространство около ядра, в котором можно обнаружить заселивший ее электрон с *вероятностью 95%*.

ФОРМЫ ОРБИТАЛЕЙ

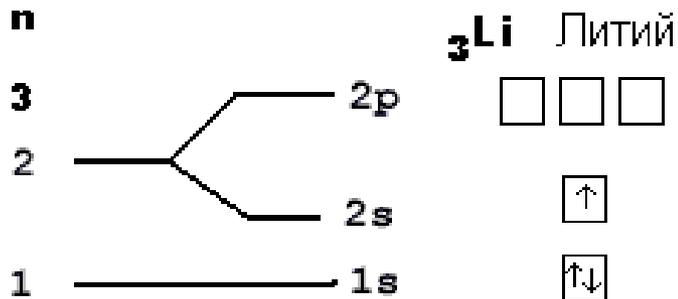
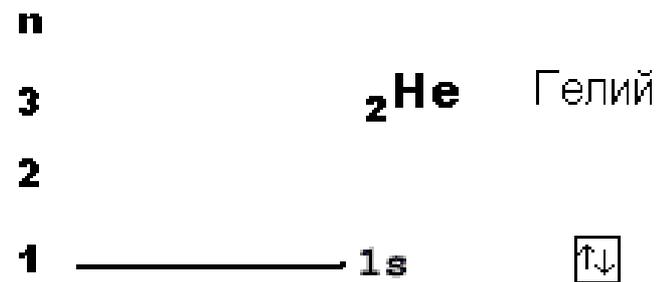
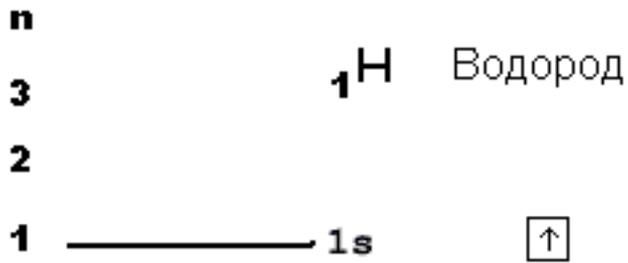


Форма в волновой модели атома "области вероятности" существования электронов: s-, p-, и d-орбитали. Ядро атома находится в точке пересечения координат.

Электронный уровень (n)	Сколько может разместиться электронов на данном уровне ($2n^2$)
1	2
2	8
3	18
4	32

Химические свойства элемента определяются электронами самого последнего (наиболее отдаленного от ядра) заселенного уровня

ОРБИТАЛЬНАЯ ДИАГРАММА



Электронная формула водорода - $1s^1$

Электронная формула гелия - $1s^2$

Электронная формула лития - $1s^2 2s^1$

- ПРИНЦИП МИНИМУМА ЭНЕРГИИ – в первую очередь заполняются более низкие, ближайшие к ядру уровни и подуровни.

ПОРЯДОК ЗАПОЛНЕНИЯ ОРБИТАЛЕЙ НА ЭЛЕКТРОННЫХ УРОВНЯХ АТОМА

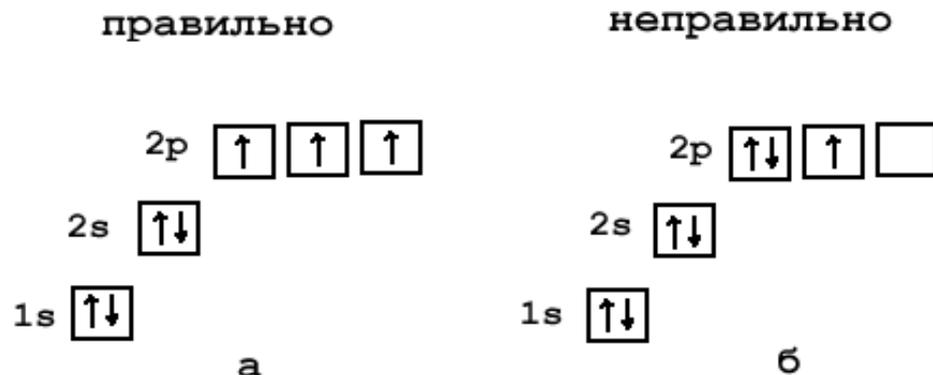


Порядок заполнения уровней и подуровней в атомах большинства элементов:

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s, 4f, 5d, 6p, 7s, 5f, 6d, ...

ПРАВИЛО ГУНДА

- При наличии орбиталей с одинаковой энергией (например, трех p -орбиталей одного подуровня) каждая орбиталь заполняется вначале **наполовину** (и поэтому на p -подуровне не может быть более трех неспаренных электронов), а затем уже полностью, с образованием **электронных пар**
- В каждой из орбиталей подслоя заполняется сначала один электрон, а только после исчерпания незаполненных орбиталей на эту орбиталь добавляется второй электрон. При этом на одной орбитали находятся два электрона с полупротивными спинами (образуют двухэлектронное облако) и, в результате, суммарный спин орбитали становится равным нулю.



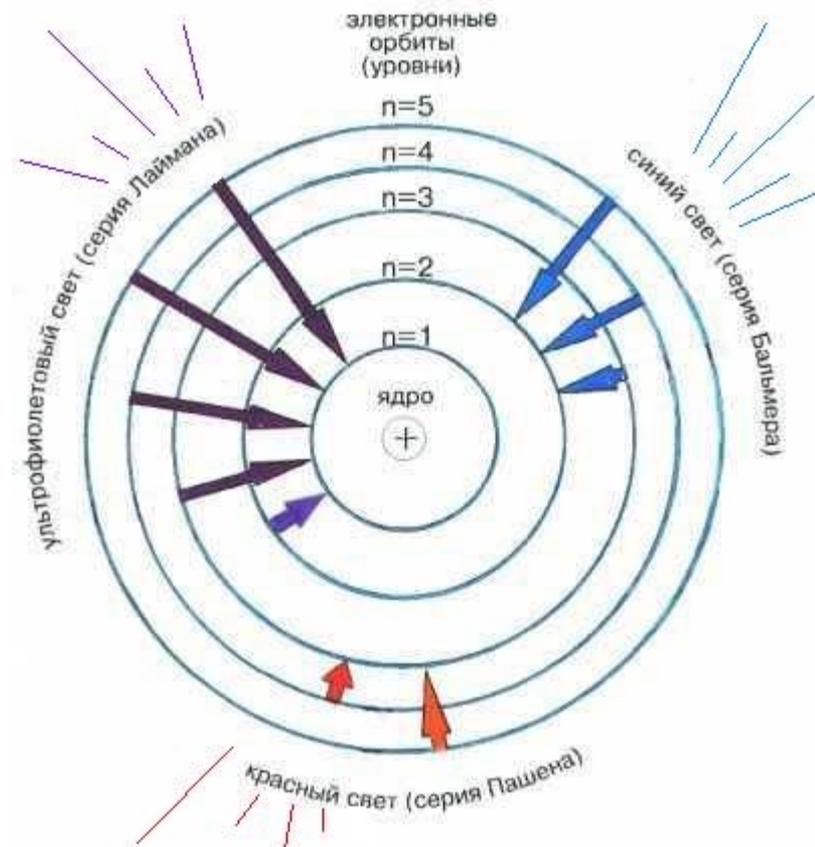
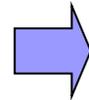
Правильная (а) и неправильная (б) орбитальная диаграмма азота. В соответствии с правилом Гунда орбитали заселяются сначала одиночными, а не спаренными электронами.

- **Внешним уровнем** атома называется самый далекий от ядра уровень, на котором еще есть электроны. Именно эта оболочка соприкасается при столкновении с внешними уровнями других атомов в химических реакциях. Например, при взаимодействии с другими атомами азот способен принять 3 дополнительных электрона на свой внешний уровень. При этом атом азота получит *завершенный*, то есть максимально заполненный внешний электронный уровень, на котором расположатся 8 электронов.
- **Завершенный** уровень энергетически выгоднее незавершенного. Поэтому атом азота должен легко реагировать с любым другим атомом, способным предоставить ему 3 дополнительных электрона для завершения его внешнего уровня.
- Каждый заполненный внешний электронный уровень благородных элементов содержит $(s^2 + p^6)$ то есть 8 электронов. Именно *заполненные* внешние электронные уровни являются причиной химической инертности благородных элементов, поскольку все другие элементы имеют частично незаполненные внешние электронные уровни.
- Атомы элементов стремятся к наиболее устойчивой электронной конфигурации. Устойчивой является электронная конфигурация с завершенным внешним электронным уровнем из $(s^2 + p^6)$, т.е. из октета электронов.

ПОСТУЛАТЫ БОРА

- В атоме существуют орбиты, находясь на которых электрон не излучает энергию. Эти орбиты называются **стационарными**.
- Излучение происходит только при перескоке электрона с одной стационарной орбиты на другую.

В модели Бора свет испускается возбужденным атомом при переходе электрона с верхних стационарных орбит (уровней) на нижние.

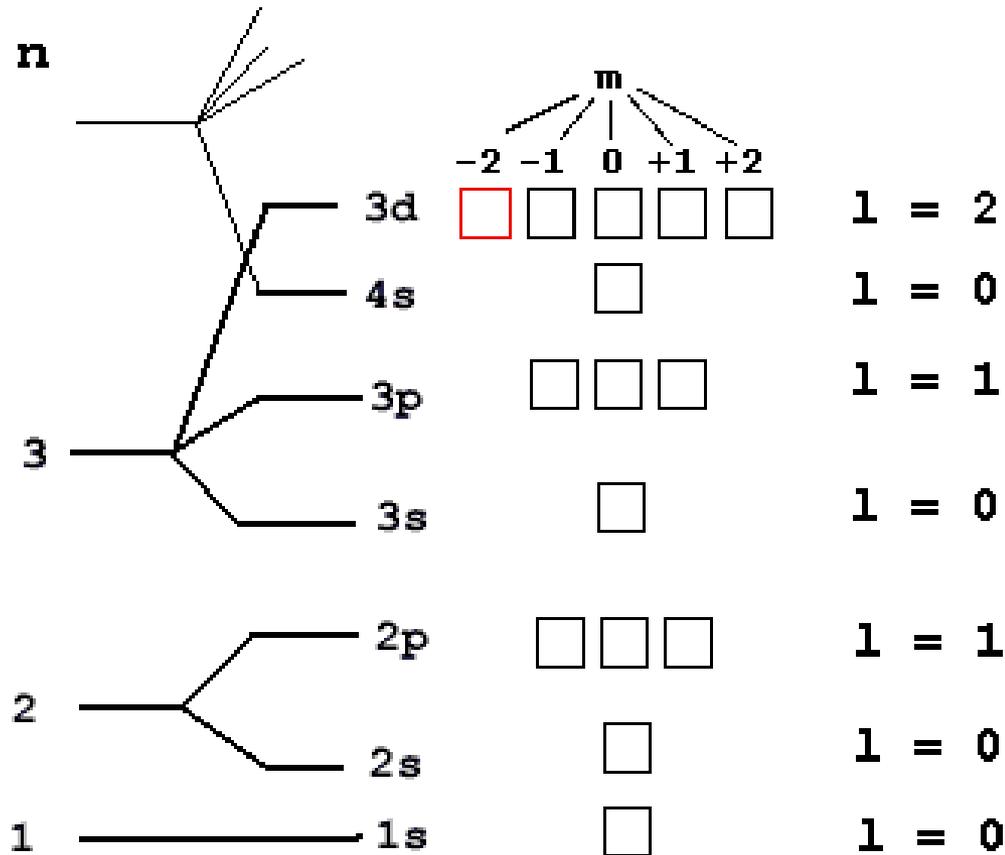


ГЛАВНЫЕ КВАНТОВЫ ЧИСЛА

Каждая атомная орбиталь (положение электрона) характеризуется набором из трех квантовых чисел: главного n , орбитального l , магнитного m_l и спинового квантового числа m_s

- **Главное квантовое число n** характеризует энергию атомной орбитали. Оно может принимать любые положительные целочисленные значения. Чем больше значение n , тем выше энергия и больше размер орбитали.
- **Орбитальное квантовое число l** характеризует энергетический подуровень. Атомные орбитали с разным орбитальными квантовыми числами различаются энергией и формой. Для каждого n разрешены целочисленные значения l от 0 до $(n-1)$. Значения $l=0, 1, 2, 3\dots$ соответствуют энергетическим подуровням s, p, d, f.
- **Магнитное квантовое число m_l** отвечает за ориентацию атомных орбиталей в пространстве относительно внешнего магнитного и электрического поля. Для каждого значения l магнитное квантовое число m_l может принимать целочисленные значения от $-l$ до $+l$ (всего $2l+1$ значений).
- **Спиновое квантовое число m_s** характеризует спин электрона (вращение заряда электрона вокруг собственной оси по и против часовой стрелки). Спиновое квантовое число может принимать только два значения $+1/2$ и $-1/2$.

ГЛАВНЫЕ КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА ДЛЯ ОПИСАНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБОЛОЧЕК АТОМОВ



ГЛАВНЫЕ КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА

q.n.	values		meaning
n	1,2,3..	K,L,M,N,...	principal quantum number
l	0,1,2...(n-1)	s,p,d,f,....	subshells of n
m_l	0,±1,±2,...(±l)	-	number of states for each subshell
m_s	±1/2	-	spin moment, oriented up or down (±1/2)

- **ПРИНЦИП ПАУЛИ** – никакие два электрона в одном атоме не могут характеризоваться одинаковым набором всех четырех квантовых чисел, то есть на каждой орбите может находиться не больше двух электронов, различающихся спинами (спаренные электроны). Максимальное количество электронов в подоболочках s, p, d, f равно соответственно 2, 6, 8, 10 и 14.

ВАЛЕНТНОСТЬ

- Внешняя электронная оболочка атома, если она не полностью заполнена, называется **валентной оболочкой**, а электроны этой оболочки называются **валентными электронами**. Число валентных электронов определяет то, как атом связывается с другими атомами посредством химической связи. Путём образования химических связей атомы стремятся заполнить свои внешние валентные оболочки.
- Элементы с одинаковым числом валентных электронов формируют группу, которая изображается в таблице в виде столбца (движение по горизонтальному ряду соответствуют заполнению валентной оболочки электронами). Элементы, находящиеся в самом правом столбце таблицы, имеют полностью заполненную электронами внешнюю оболочку, поэтому они отличаются крайне низкой химической активностью и называются инертными или благородными газами.

ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТЬ

- Электроотрицательность χ (греч. *χι*) — способность атома удерживать внешние (валентные) электроны. Она определяется степенью притяжения этих электронов к положительно заряженному ядру.
- Это свойство проявляется в химических связях как **смещение электронов связи в сторону более электроотрицательного атома.**

Электроотрицательность атомов, участвующих в образовании химической связи – один из главных факторов, который определяет не только ТИП, но и СВОЙСТВА этой связи, и тем самым влияет на характер взаимодействия между атомами при протекании химической реакции.

Электроотрицательность элементов подчиняется периодическому закону: она растет слева направо в периодах и снизу вверх в главных подгруппах Периодической системы элементов Д.И. Менделеева.

Элемент	K	Na	Li	Mg	H	S	C	I	Br	Cl	N	O	F
χ	0.8	0.9	1.0	1.2	2.1	2.5	2.5	2.5	2.8	3.0	3.0	3.5	4.0