

Физика конденсированного состояния вещества

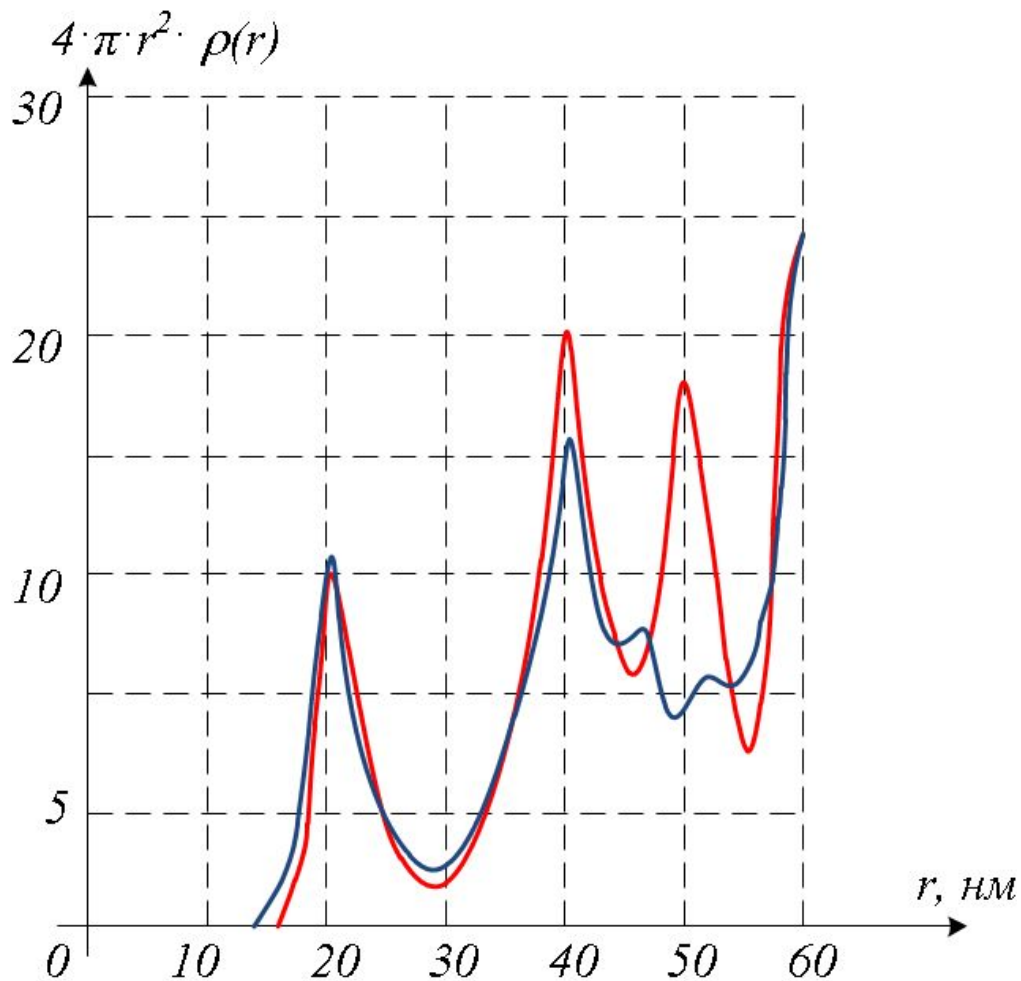
Лекция 6

Аморфные твердые тела

Твердые тела, с **неупорядоченной** внутренней структурой (некристаллические тела) называются **аморфными**.

Микрочастицам энергетически выгодно именно кристаллическое (упорядоченное) расположение. Однако при образовании твердых тел существенную роль играет еще и время перехода из одного агрегатного состояния в другое. Если это время мало, то микрочастицы не успевают занять упорядоченное положение, а твердое тело стать кристаллическим. В веществе образуется дальний порядок и твердое тело становится аморфным.

Именно **ближний порядок** в структуре вещества определяет многие свойства аморфных тел.



Радиальное распределение в аморфном (красная) и кристаллическом (синяя линия) кремнии

Результаты рассеивания рентгеновского излучения подтвердили это предположение. Максимумы означают наличие ближнего порядка у кристаллического кремния на расстоянии двух-четырех атомных радиусов. У аморфного кремния есть первые два максимума, а вот третьего уже нет. Таким образом дальний порядок у аморфного кремния **не наблюдается**.

Классификация аморфных веществ

1. В природе распространены аморфные вещества (смолы, янтарь, природные полудрагоценные камни).
2. Кроме них человеком созданы аморфные металлы, полупроводники, стекла (путем интенсивного охлаждения).
3. К аморфным веществам относят и различные полимеры.

Структура аморфных тел аналогична структуре жидкостей. В жидкости микрочастицы могут передвигаться на макроскопические расстояния, тогда как в аморфных телах они могут лишь колебаться относительно положения равновесия. Лишь при температуре абсолютного нуля их внутренняя структура становится идентичной

Неупорядоченность твердых тел

Неупорядоченность вещества подразделяется на **топологическую** и **ячеистую**.

Топологическая неупорядоченность характеризуется нарушением периодичности кристаллической решетки, т.е. нарушением расстояния между микрочастицами $r \pm l$ на величину Δl , причем $\Delta l \ll r_0$. Классическим способом получения является быстрое охлаждение с темпом 10^4 - 10^7 °/с. Так получают металлические стекла или аморфные металлы. Помимо этого способа применяют метод пластической деформации, причем как для мягких материалов (целлюлоза) так и для жестких материалов (кремний).

Ячеистый беспорядок характеризуется сохранением строгой периодичности решетки и отсутствием строгого заполнения узлов микрочастицами кристаллической решетки.

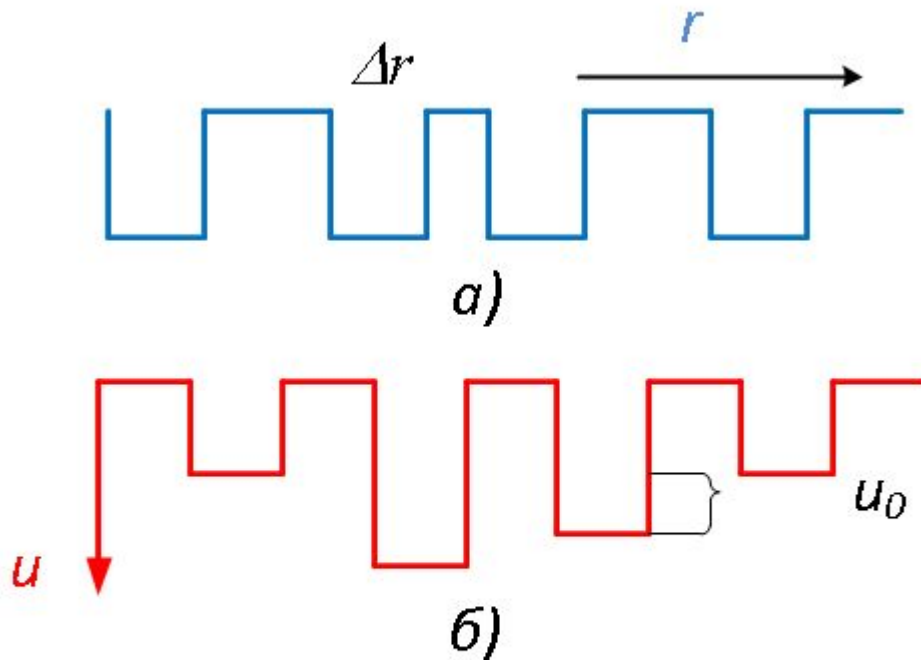
Классическим примером **ячеистого беспорядка** являются кристаллы обычного льда в замерзшей воде. Кислород связан с решеткой двумя водородными связями, однако направление этих связей весьма случайно.

Электроны в аморфных телах

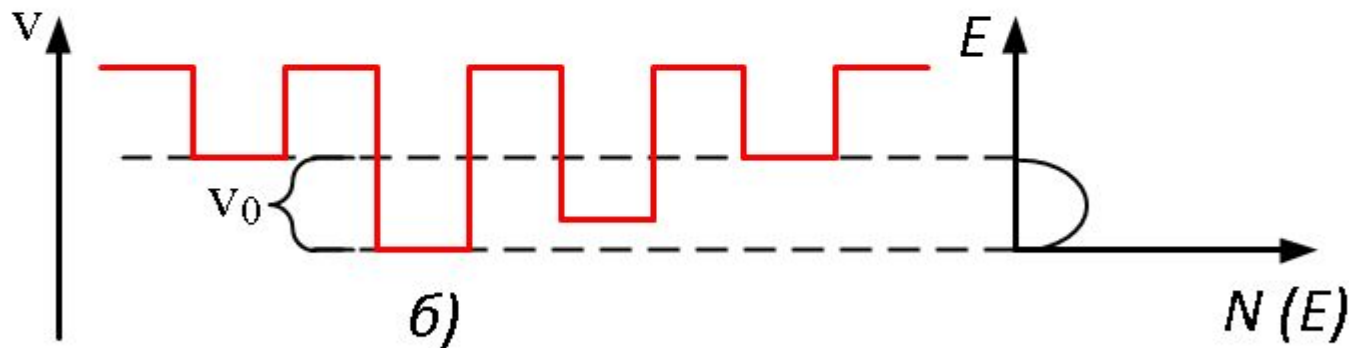
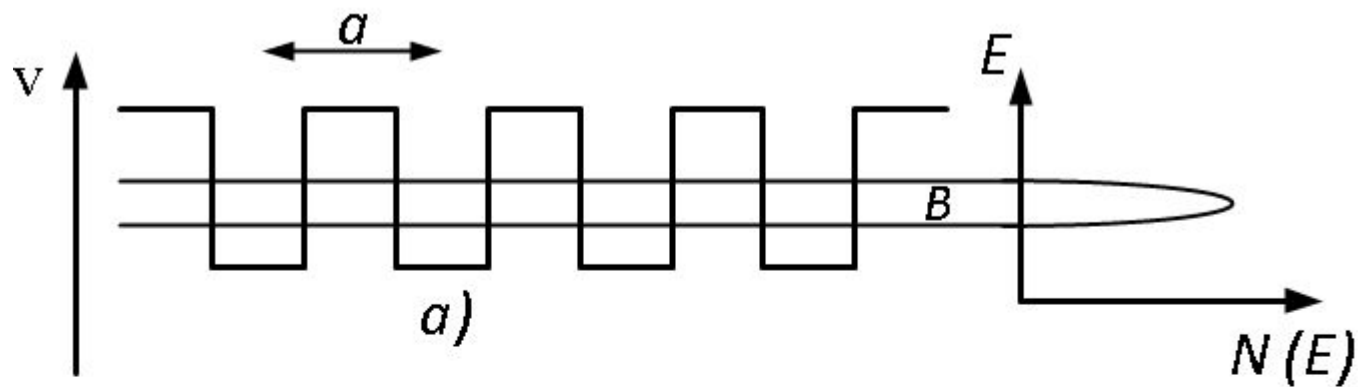
Для применения классической зонной теории кристаллического тела к аморфному веществу априорно можно представить, что его потенциал имеет один из

возможных типов, изображенных на (рис. 6.2 а, б).

Каким образом эти представления изменяют потенциальную модель кристаллического вещества?



Потенциальная энергия частиц в модели Лифшица (а) и Андерсона (б)



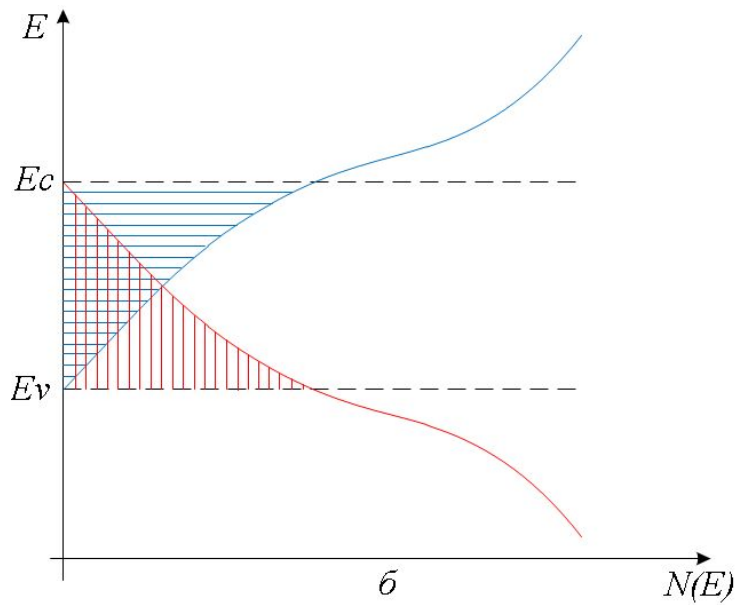
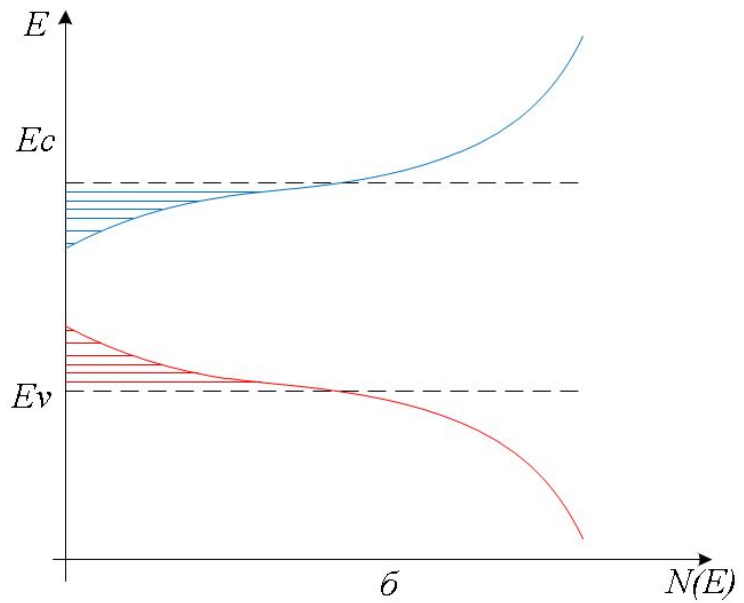
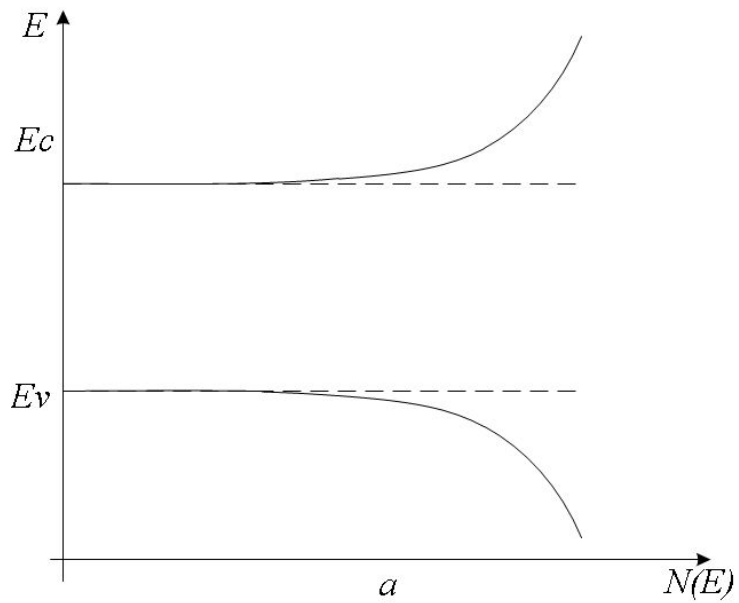
Потенциальные ямы в кристаллической
решетке и в решетке Андерсона

Определяющими являются величины Δr_i или ΔU_i .
Если каждая из них превышает некоторую
критическую величину, то все состояния электрона в
таком поенциале становятся **локализованными**.

Термин «**Локализованные состояния**» означает, что каждая волновая функция ψ_E сосредоточена в малой области пространства и экспоненциально спадает при удалении от максимума распределения.

Сами локализованные электроны это не есть что-то новое. Новым является тот факт что существует целый ансамбль состояний $N(E)$, в котором все состояния локализованы.

В дальнейшем было показано, что при определенных условиях локализованные состояния могут заполнять лишь крылья зоны, а в центре могут находиться нелокализованные состояния. E_c и E_c' - границы отделяющие локализованные и нелокализованные состояния.



Зависимость плотности электронных состояний $N(E)$ от энергии электронов E : а – кристалл; б, в – аморфное твердое тело; локализованные состояния заштрихованы

Таким образом в аморфных телах возможны два различных процесса перемещения электронов на макроскопические расстояния. Основной процесс – переход электронов по нелокализованным состояниям и, гораздо менее вероятный процесс – перемещение электронов по локализованным состояниям – *прыжковые переходы*.

Если уровень Ферми аморфного тела лежит в области нелокализованных состояний, то вещество представляет собой металл, если в области локализованных состояний – то вещество представляет собой полупроводник или диэлектрик.

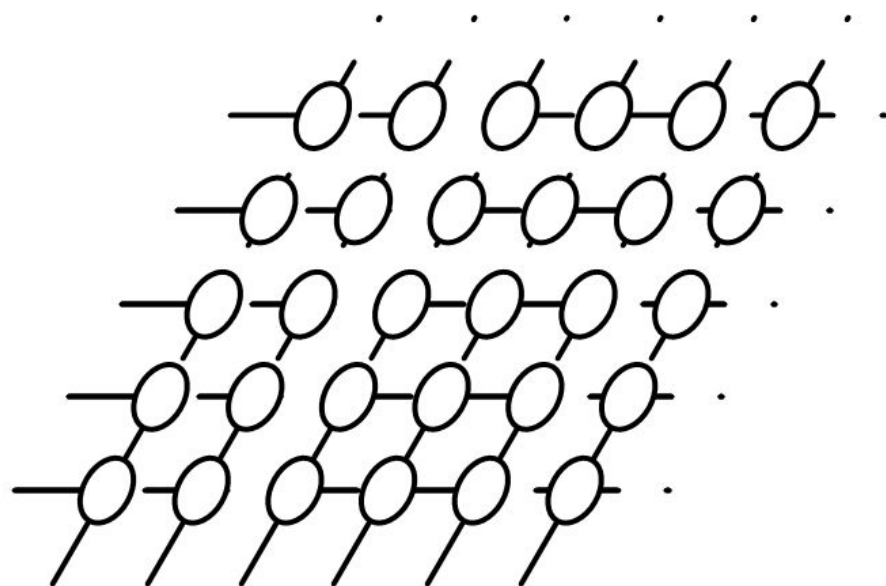
Первый тип переходов типичен для аморфных твердых тел *с тетраэдрическими связями между молекулами* – как кремний и германий.

Второй тип типичен для **халькогенидных** стекол в основе которых лежат аморфные вещества, содержащие атомы халькогенов – серы, селена, телура.

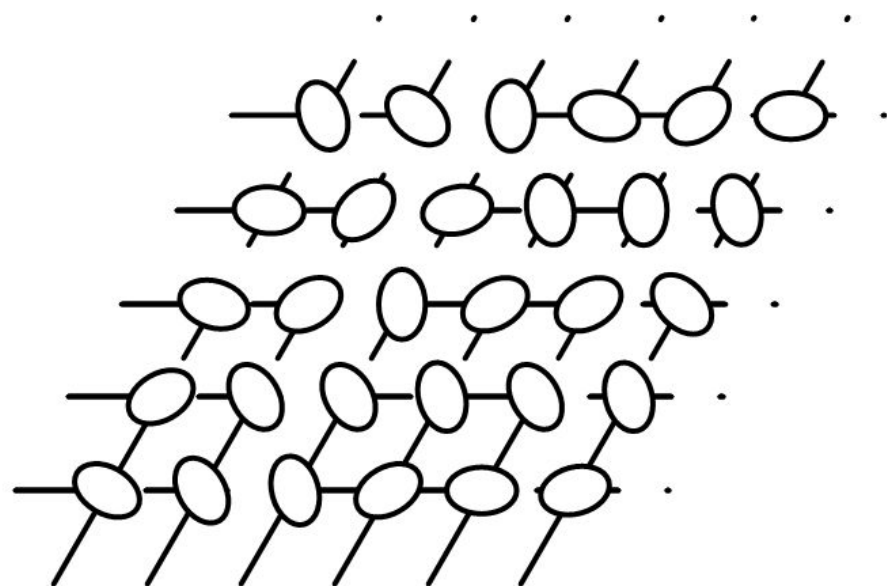
Полимеры и их свойства

Полимеры – вещества, образованные из макромолекул, которые в свою очередь образованы большим числом повторяющихся группировок, образованных из мономерных звеньев.

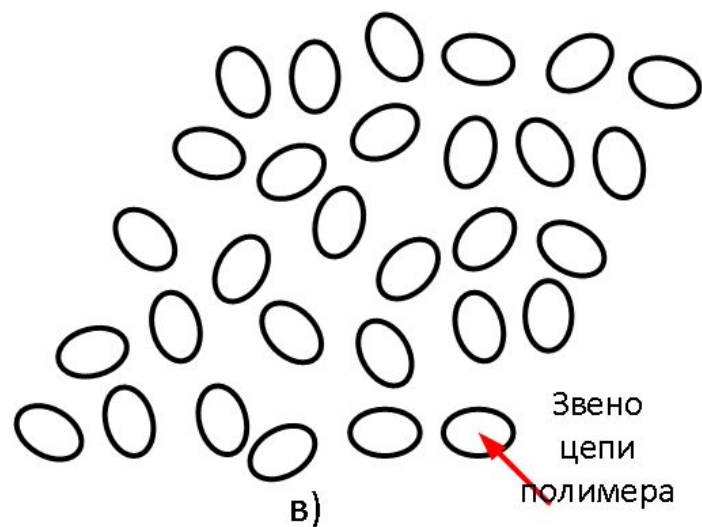
Число мономерных звеньев называется степенью **полимеризации вещества** (лежит в пределах от 10^2 до 10^4).



а)



б)



Различные упаковки цепных молекул:

а) дальний порядок для цепей и звеньев;

б) – порядок для центров звеньев и беспорядок для ориентации сечений;

в) – «жидкостное» расположение цепей (дальний порядок в расположении звеньев вдоль цепи и ближний порядок в расположении самих цепей)

Макроскопическое состояние аморфного полимерного вещества подразделяется на:

- **стеклообразное** - аналог твердого тела. Возможны колебания микрочастиц при полном отсутствии колебаний звеньев и их движении.);
- высокоэластичные. Возможны колебания звеньев как целого, что обуславливает возможность изгибания цепи полимера.
- вязкотекучие. Вещество полимера может двигаться (течь) как целое.

По происхождению полимеры разделяются на природные (белки, нуклеиновые кислоты, смолы) и синтетические (полиэтилен, полипропилен и т.д.)

Заключение

1. У аморфных тел существует проводимость при отсутствии ближнего порядка. Причем энергия активация прыжковой проводимости существенно ниже примесной проводимости у диэлектриков.
2. Аморфное вещество, характеризующееся лишь ближним порядком во взаимодействии микрочастиц, его составляющих, способно проявлять себя как металл, или как полупроводник, или как диэлектрик.