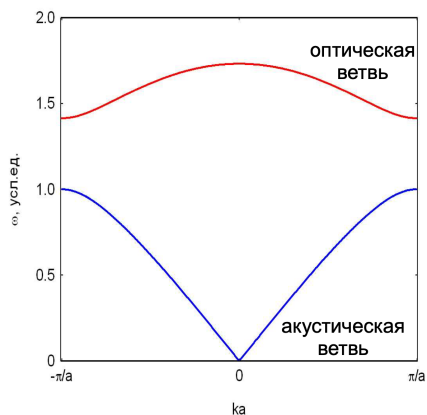


## 1 Вид спектра фоонов в одноатомной и двухатомной цепочке.



## 2 Определение векторов обратной решётки.

Если **a**, **b**, **c** — вектора трансляций обычной решётки, то вектора обратной решётки с точностью до циклической перестановки

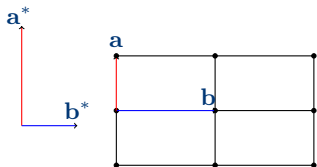
$$\mathbf{a}^* = 2\pi \frac{\mathbf{b} \times \mathbf{c}}{\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c})}.$$

## 3 Определение первой зоны Бриллюэна, графическое построение первой зоны Бриллюэна для двумерной решётки.

**Определение.** Первая зона Бриллюэна — это ячейка Вигнера-Зейца в пространстве обратной решётки.

**Определение.** Ячейка Вигнера-Зейца — многогранник, высекаемый плоскостями, проходящими через середины отрезков, соединяющих узел решётки со всеми его соседями.

Графическое построение первой зоны Бриллюэна для двумерной прямоугольной решётки



## 4 Связь границы зоны Бриллюэна с условием дифракции. Групповая скорость на границе зоны Бриллюэна.

Волна, волновой вектор которой попадает на границу зоны Бриллюэна автоматически удовлетворяет условию дифракции, следовательно групповая скорость равна нулю.

## 5 Закон Дебая (без коэффициента) и закон дю-Лонга и Пти для теплоёмкости твёрдого тела. Теплоёмкость металла (без коэффициента).

Для низких температур теплоёмкость твёрдого тела описывается законом Дебая  $C \propto T^3$ , для высоких — законом дю-Лонга и Пти  $C = 3R$ . Теплоёмкость металла (вырожденного ферми-газа) имеет вид  $C \propto \frac{T}{E_F} R$ .

## 6 Порядок величины дебаевской температуры, её связь со скоростью звука.

Порядок величины 300 К. Имеет место следующая оценка:

$$\Theta = \frac{\hbar \omega_D}{k_B} = \frac{\hbar}{k_B} k_D s \approx \frac{\hbar}{k_B} \frac{\pi}{a} s \propto s.$$

## 7 Модель Друде-Лоренца: связь проводимости со временем пробега.

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m^*},$$

где  $\sigma$  — проводимость,  $\tau$  — время свободного пробега,  $n$  — концентрация электронов,  $m^*$  — эффективная масса электрона.

## 8 Процессы, ограничивающие длину свободного пробега при низких температурах: рассеяние на дефектах и границах образца.

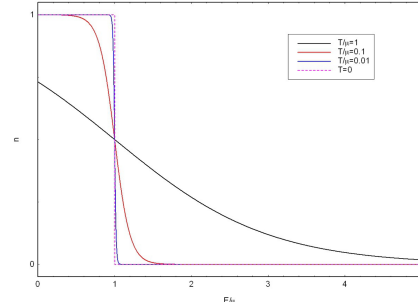
## 9 Распределение Ферми-Дирака, вырожденный электронный газ.

Функция распределения для ферми-частиц:

$$n(E) = \frac{1}{e^{\frac{E-\mu}{T}} + 1}.$$

Вырожденный ферми-газ (электроны в металле):  $T \ll \mu$ .

Функция распределения для ферми-частиц при разных значениях температуры.

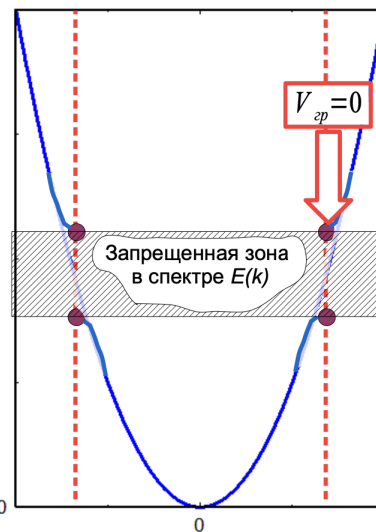


## 10 Вычисление энергии Ферми и импульса Ферми в трёхмерном случае, порядок величины для металлов.

$$k_F = \sqrt[3]{3\pi^2 n} \approx \frac{3}{a} \approx 10^{10} \frac{1}{\text{м}},$$

$$E_F = \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m}.$$

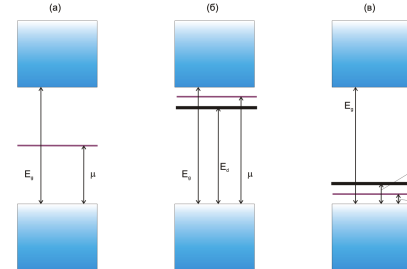
## 11 Связь проводимости с заполнением энергетических зон при $T = 0$ (в одномерной модели).



## 12 Положение химпотенциала в чистом и примесном (с единственным типом примеси) полупроводнике при $T = 0$ .

Упрощённое изображение зонной схемы полупроводника: (а) чистый полупроводник, (б) полупроводник с примесью донорного типа, (в) полупроводник с примесью акцепторного типа. — ширина запрещённой зоны, — уровень

химпотенциала, — уровни донорной и акцепторной примеси. Положение химпотенциала показано для случая. Положение минимального уровня энергии электрона в вакууме не показано.

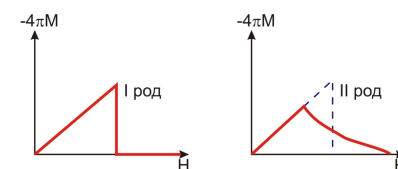


## 13 Основные экспериментальные факты о сверхпроводимости: эффект Мейсснера, критическое поле, щель в спектре.

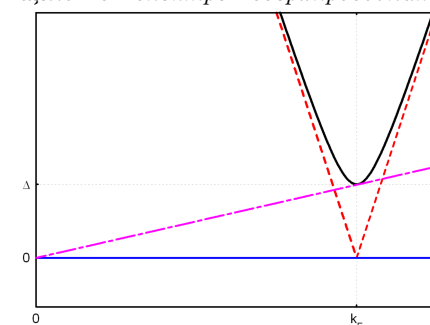
Полный эффект Мейсснера: в малых полях сверхпроводник I рода полностью выталкивает из себя магнитное поле. Частичный эффект Мейсснера: при поле выше некоторого порогового значения (но ниже поля полного разрушения сверхпроводимости) магнитное поле как-то проникает вглубь образца и намагниченность образца оказывается меньше намагниченности идеального диамагнетика.

Эффект

Мейсснера:



Спектр возбуждений в нормальном металле (пунктир) и сверхпроводнике (сплошная линия).  $\Delta$  — щель в спектре сверхпроводника.



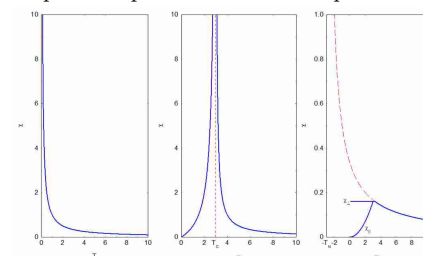
## 14 Роль обменного взаимодействия в формировании ферромагнетизма. Представление о фазовом переходе в ферромагнитное состояние.

Гамильтониан обменного взаимодействия

$$\hat{H}_{ij} = \frac{1}{2} \sum_{i,j} J_{ij} \hat{\mathbf{S}}_i \hat{\mathbf{S}}_j,$$

где сумма ведётся по соседям.

Схематическое изображение зависимости магнитной восприимчивости от температуры. Слева направо: парамагнетик (закон Кюри), ферромагнетик, антиферромагнетик. На графике для антиферромагнетика пунктиром построена кривая закона Кюри-Вейса.



Сплошная линия — зависимость намагниченности под решётки от температуры в модели молекулярного поля

