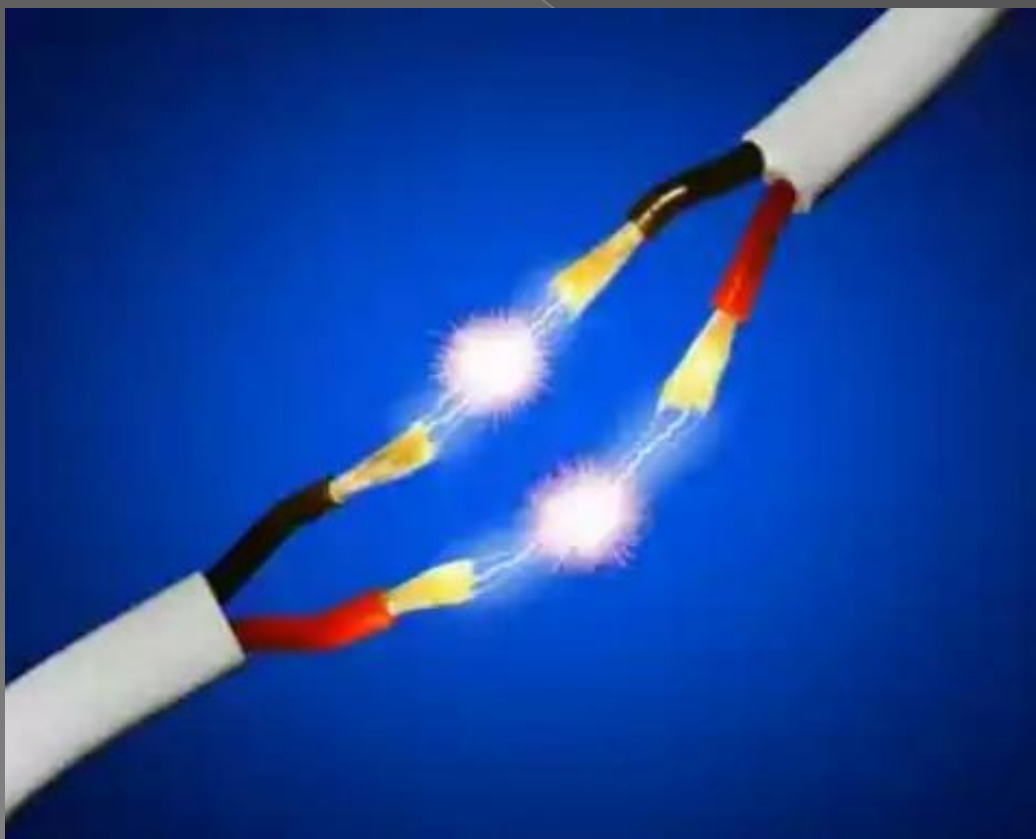


# Электропроводимость металлов



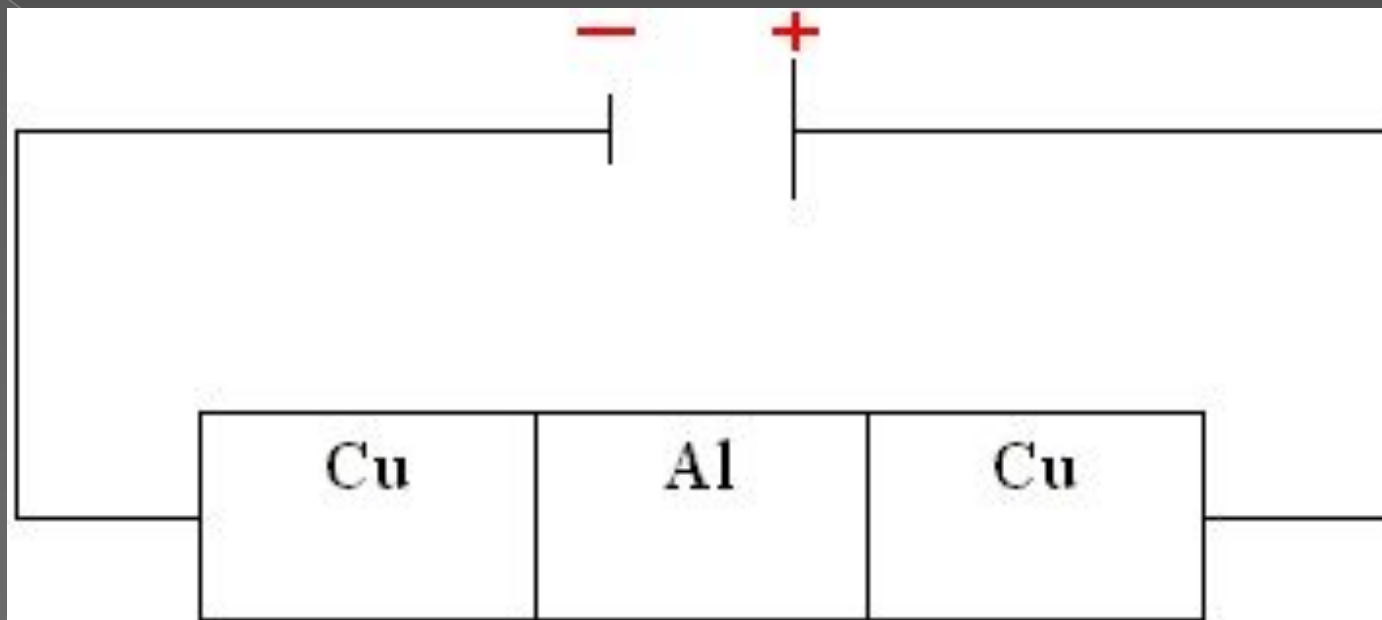
Подготовил: Асилбеков С.,  
Туранов А., Абдимоминов Ж.,  
Буйрикбаев А.  
Группа: ММГ-14-2р  
Приняла : Понаморенко Е. В.

Электрический ток в металлах – это упорядоченное движение электронов под действием электрического поля. Опыты показывают, что при протекании тока по металлическому проводнику не происходит переноса вещества, следовательно, ионы металла не принимают участия в переносе электрического заряда.



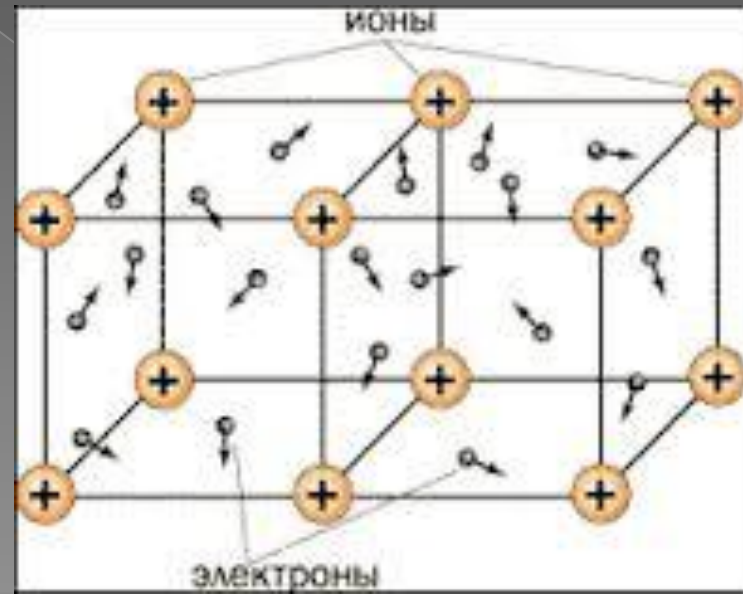
# Опыт Э.Рикке

В этих опытах электрический ток пропускали в течении года через три прижатых друг к другу, хорошо отшлифованных цилиндра - медный, алюминиевый и снова медный. Общий заряд, прошедший за это время через цилиндры, был очень велик (около  $3,5 \cdot 10^6$  Кл). После окончания было установлено, что имеются лишь незначительные следы взаимного проникновения металлов, которые не превышают результатов обычной диффузии атомов в твёрдых телах. Измерения, проведённые с высокой степенью точности, показали, что масса каждого из цилиндров осталась неизменной. Поскольку массы атомов меди и алюминия существенно отличаются друг от друга, то масса цилиндров должна была бы заметно измениться, если бы носителями заряда были ионы.



Опыт Э. Рикке

Следовательно, свободными носителями заряда в металлах являются не ионы. Огромный заряд, который прошёл через цилиндры, был перенесён, очевидно, такими частицами, которые одинаковы и в меди, и в алюминии. Как известно, такие частицы входят в состав атомов всех веществ - это электроны. Естественно предположить, что ток в металлах осуществляют именно свободные электроны.

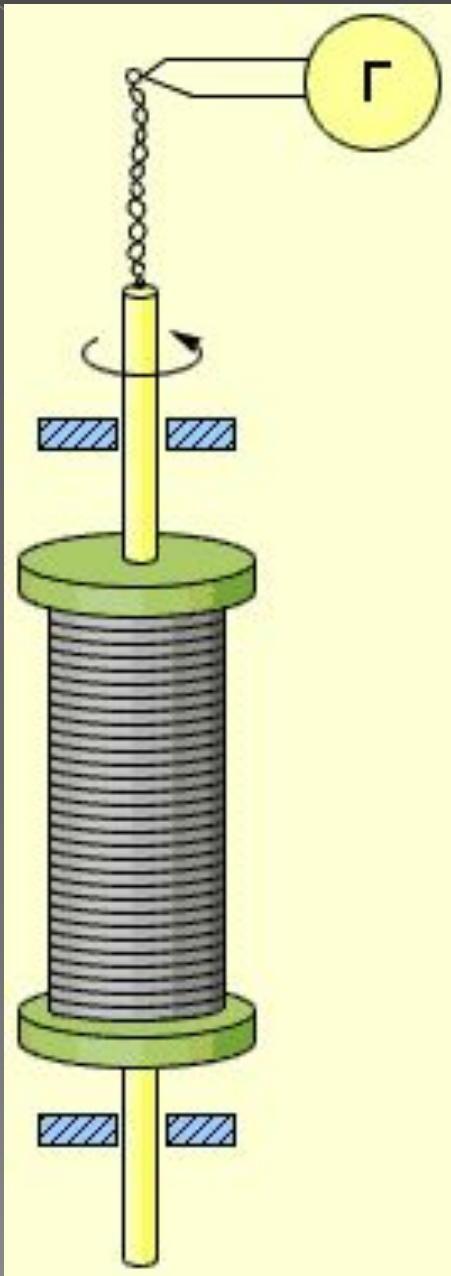


# Опыт Т.Стюарта и Р.Толмена

Катушка с большим числом витков тонкой проволоки приводилась в быстрое вращение вокруг своей оси. Концы катушки с помощью гибких проводов были присоединены к чувствительному баллистическому гальванометру. Раскрученная катушка резко тормозилась, и в цепи возникал кратковременный ток, обусловленный инерцией носителей заряда. Полный заряд, протекающий по цепи, измерялся по отбросу стрелки гальванометра.



Р. Толмен



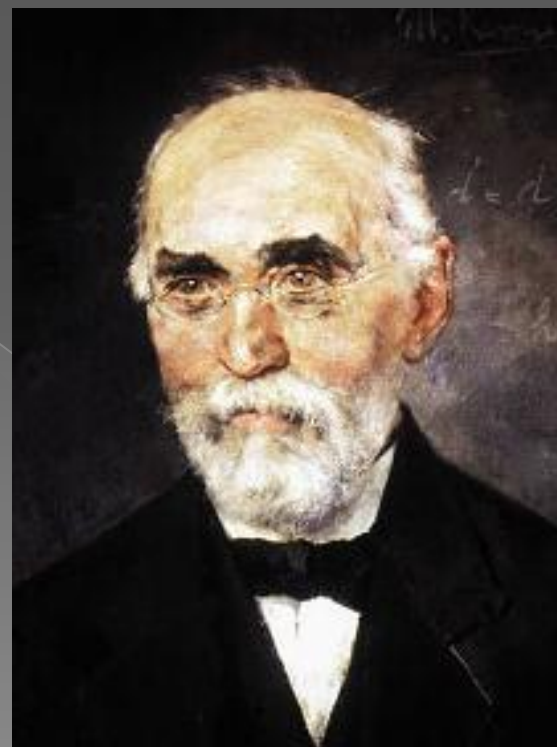
# Опыт Т.Стюарта и Р.Толмена



Т.Стюарт и Р.Толмен определили экспериментально удельный заряд частиц. Он оказался равным

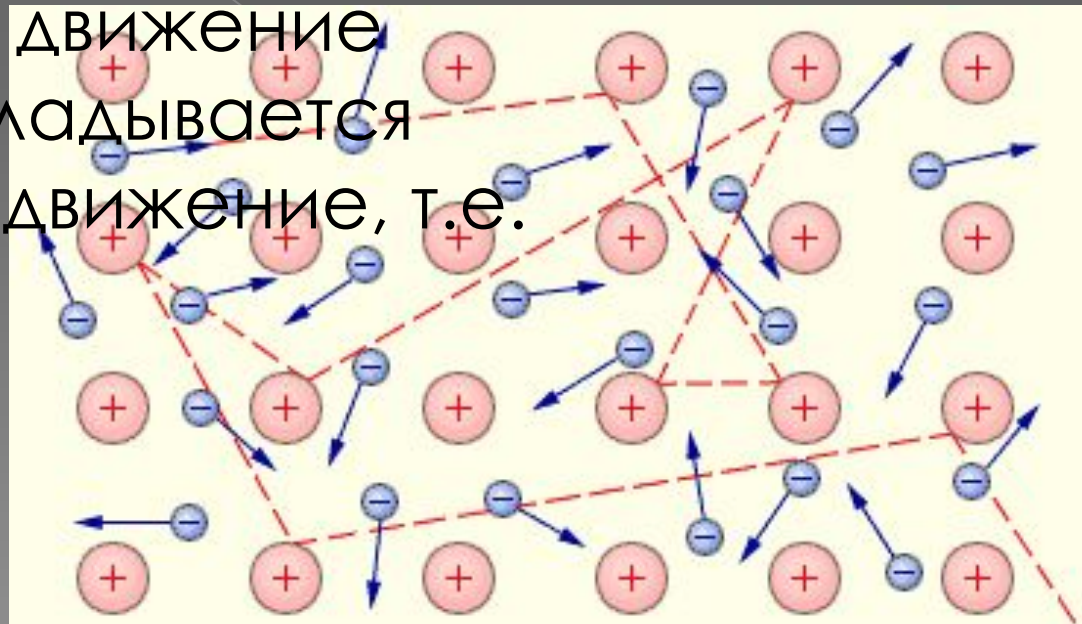
$$\frac{e}{m} = 1,75882 \cdot 10^{11} \text{ Кл / кг.}$$

В начале 20 века немецкий физик П. Друде и голландский физик Х.Лоренц создали классическую теорию электропроводности металлов.



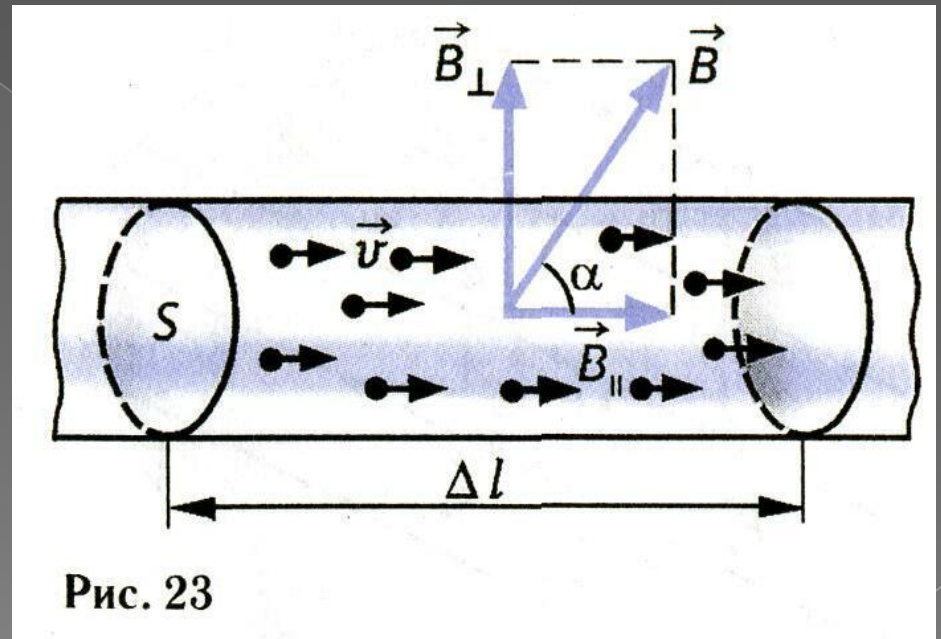
# Основные положения теории

1. Хорошая проводимость металлов объясняется наличием в них большого числа электронов.
2. Под действием внешнего электрического поля на беспорядочное движение электронов накладывается упорядоченное движение, т.е. возникает ток.



3. Сила электрического, тока идущего по  
металлическому проводнику равна:

$$I = enSv_{\text{д}}$$



4. Так как внутреннее строение у разных веществ различное, то и сопротивление тоже будет различным.
5. При увеличении хаотического движения частиц вещества происходит нагревание тела, т.е. выделение тепла.  
Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t$$

- 6. У всех металлов с увеличением температуры растёт и сопротивление.

$$\underline{R=R_0(1+at)}$$

- где  $a$  - температурный коэффициент;  $R_0$  – удельное сопротивление и сопротивление металлического проводника; и  $R$  – удельное сопротивление проводника и сопротивление проводника при температуре  $t$ .

# Сверхпроводимость

Свойство некоторых материалов обладать строго нулевым электрическим сопротивлением ниже определённой температуры. Существует множество чистых элементов, сплавов и керамик, переходящих в сверхпроводящее состояние.

# Ферми поверхность

Ферми поверхность (ФП) - изоэнергетическая поверхность в пространстве квазиимпульсов  $p$ , отделяющая область занятых электронных состояний металла от области, в которой при  $T = 0$  К электронов нет. За большинство свойств металлов ответственны электроны, расположенные на Ф. п. и в узкой области пространства квазиимпульсов (векторная величина, характеризующая состояние квазичастицы (например, подвижного электрона в периодическом поле кристаллической решётки)) вблизи неё.



Это связано с высокой концентрацией электронов проводимости в металле, плотно заполняющих уровни в зоне проводимости. Каждый металл характеризуется своей Ф. п., причём формы поверхностей разнообразны. Для «газа свободных электронов» Ф. п. – сфера. Объём, ограниченный Ф. п.  $\Omega_F$  (приходящейся на 1 элементарную ячейку в пространстве квазиимпульсов), определяется концентрацией  $n$  электронов проводимости в металле:

$$2\Omega_F/(2\pi\hbar)^3 = \underline{n.}$$

# Энергия Ферми

- При  $T=0$  К

$$E_F(0) = \frac{\hbar^2}{2m} (3\pi^2 n)^{2/3}$$

Где  $\hbar$  - постоянная Планка,

$m$  – масса электрона,

$n$  – концентрация электронов

# Энергия Ферми

- При  $T \neq 0 \text{ К}$

$$E_F \approx E_F(0) \left[ 1 - \frac{\pi^2}{12} \left( \frac{kT}{E_F(0)} \right)^2 \right]$$

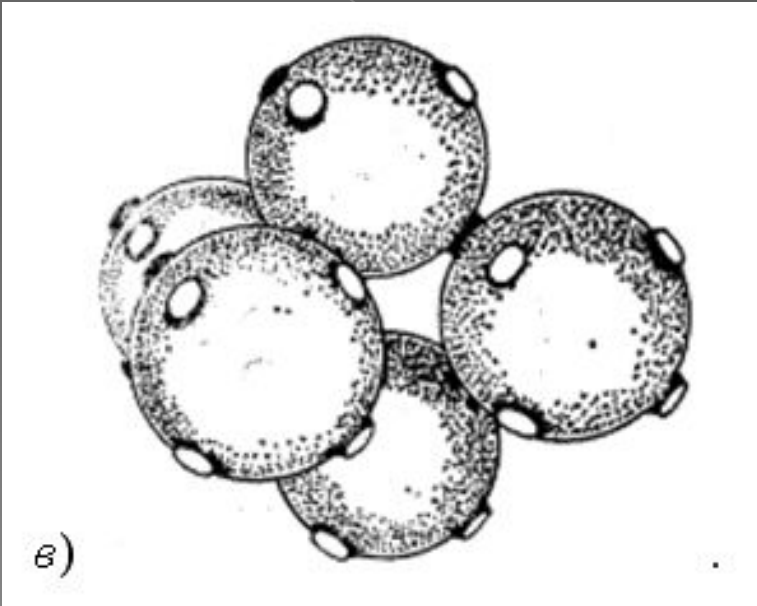
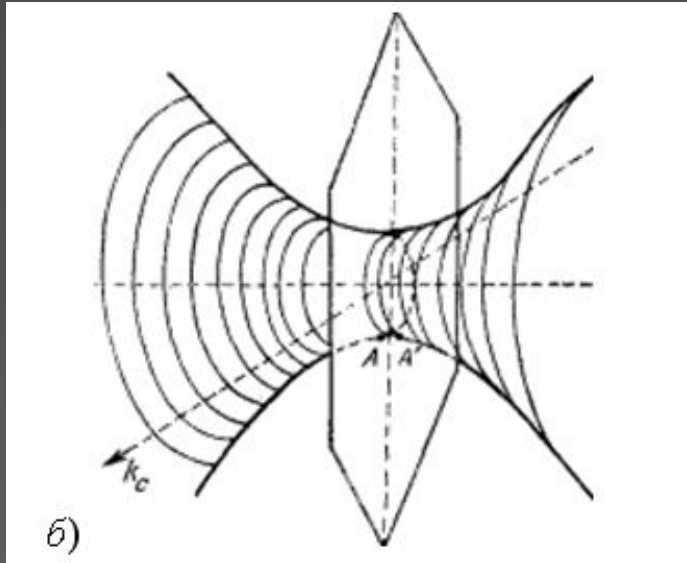
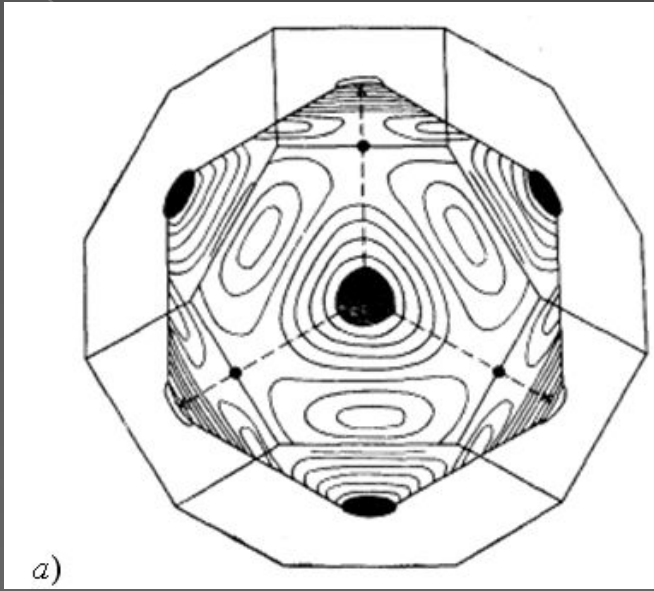
Где  $\hbar$  - постоянная Планка,

$T$  - температура

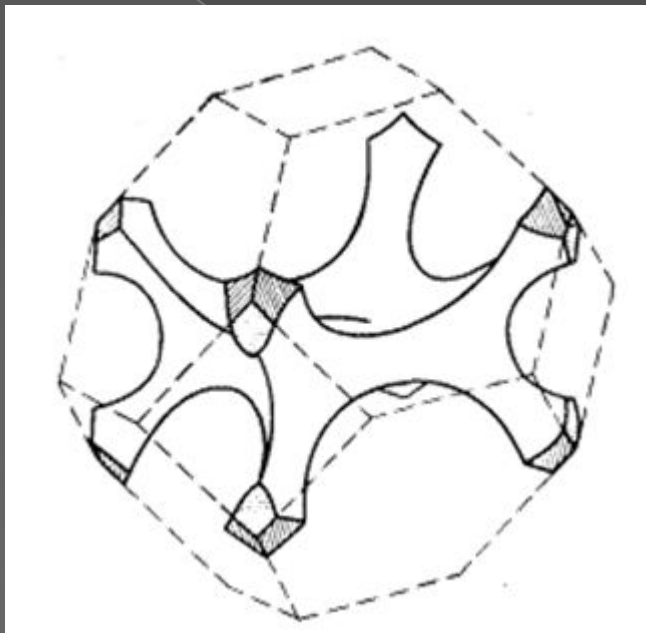
$k$  - постоянная Больцмана

# Примеры поверхности Ферми

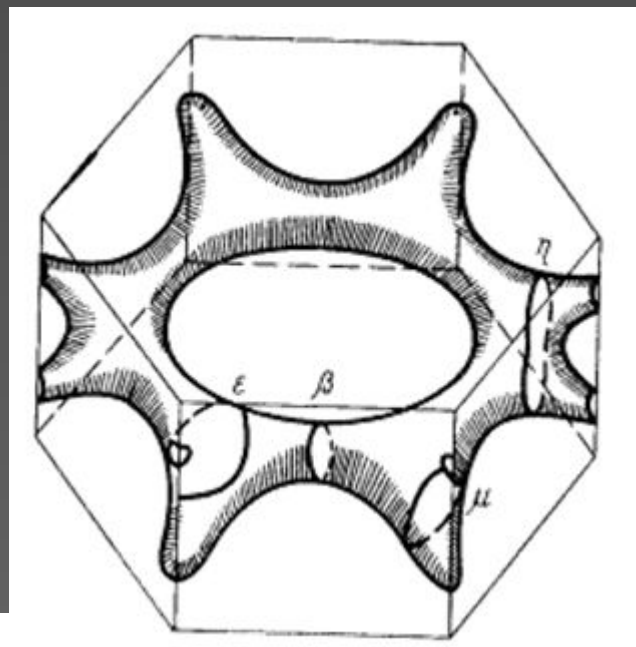
- Топология поверхности Ферми для меди, серебра и золота приблизительно одинаковая и представляет собой гофрированный сфероид, который через узкие трубки соединяется со сфероидами соседних ЗБ. На рис. **а** показан сфероид меди; на рис. **б** изображено соединение двух сфероидов в плоскости гексагональной грани, а на рис. **в** дана общая картина соединения нескольких ферми-сфероидов.



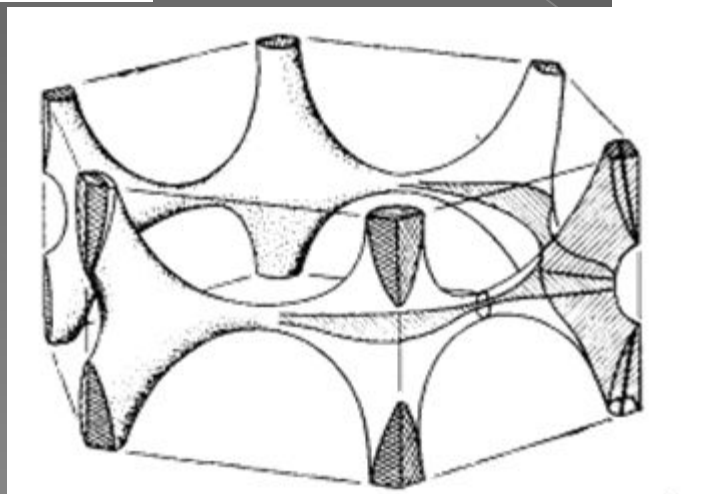
# Многосвязанная ферми-поверхность дырочного типа



кальций

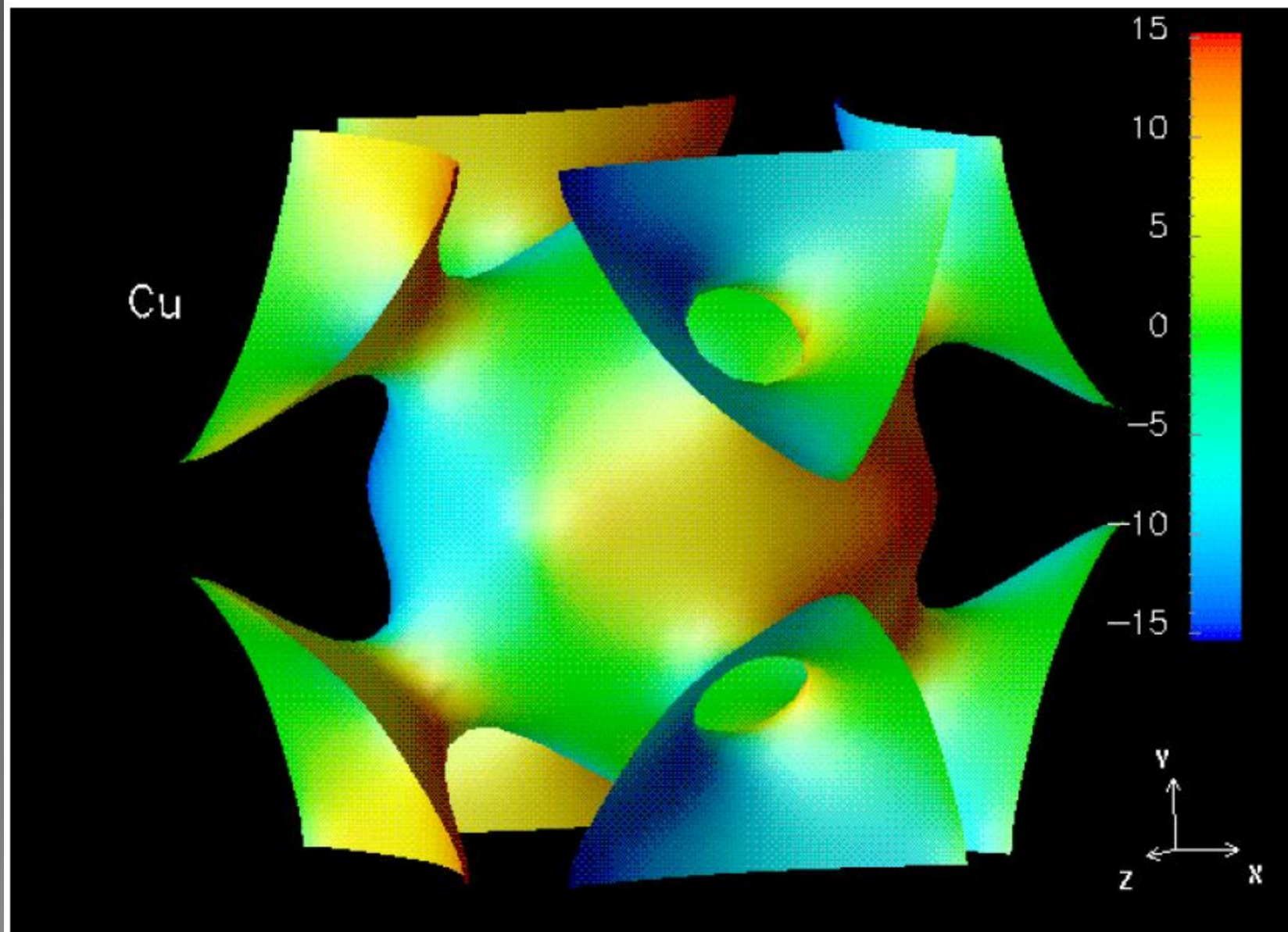


магний

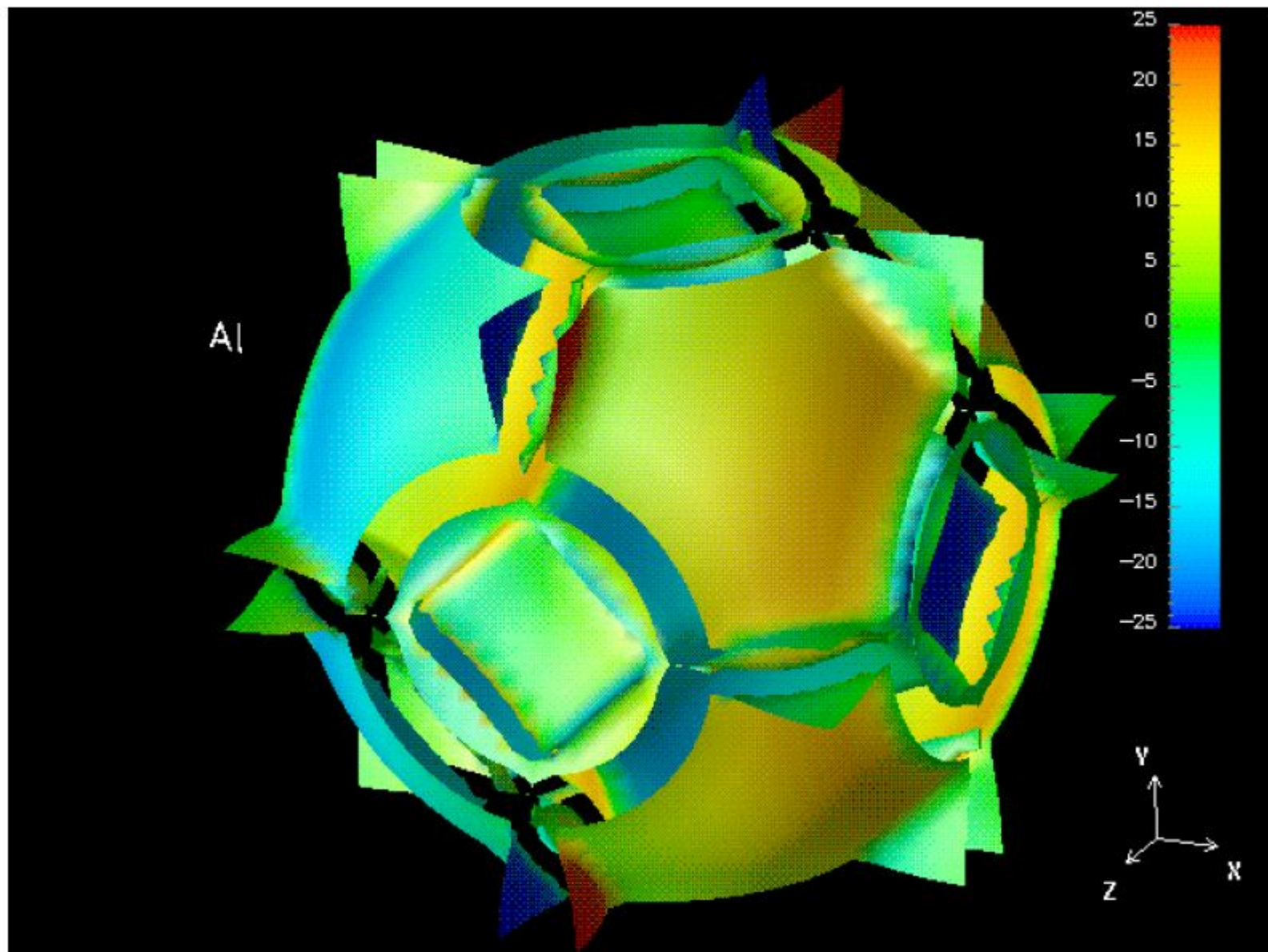


цинк

Примеры реальных поверхностей Ферми  
медь

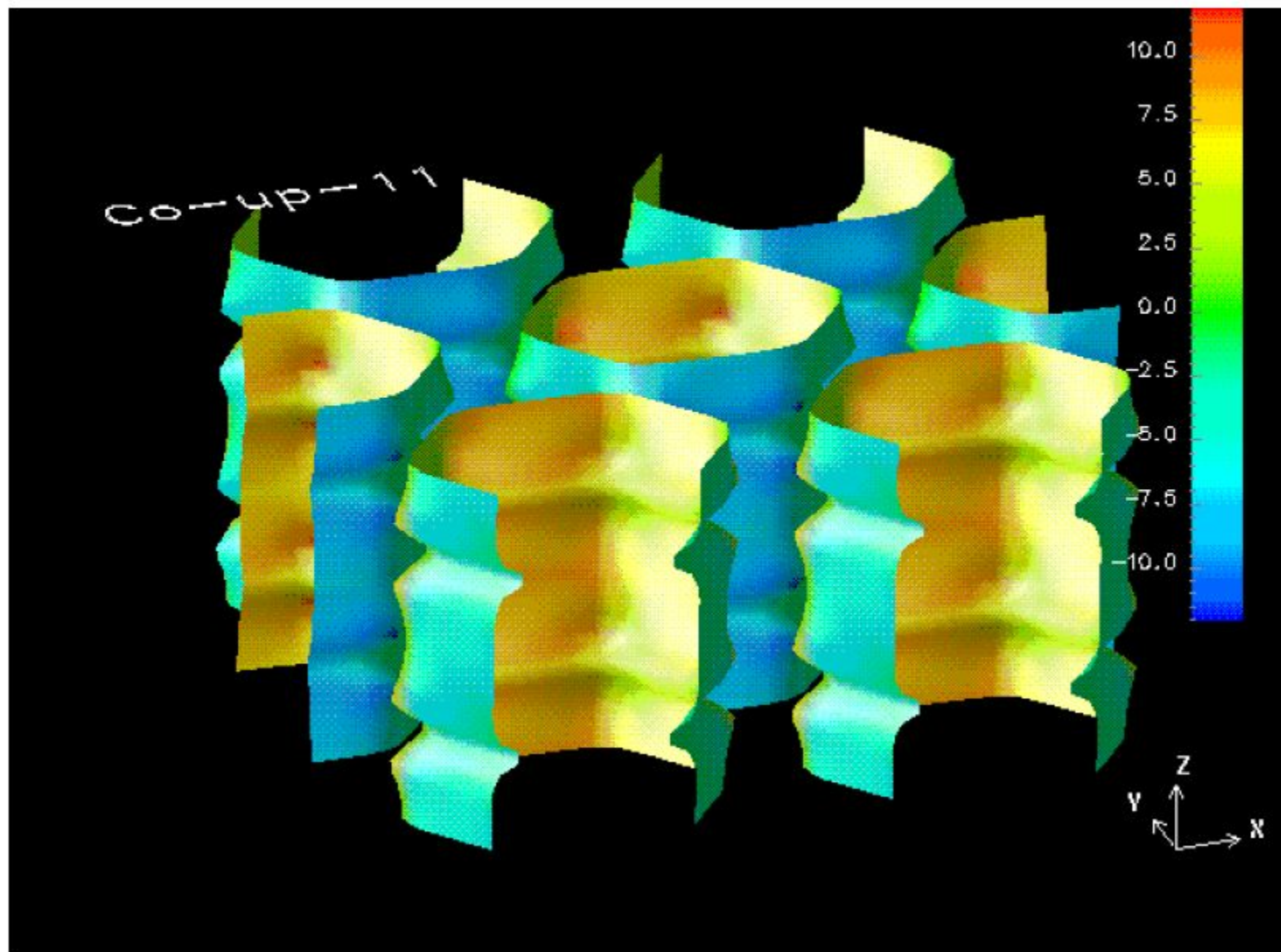


# Примеры реальных поверхностей Ферми алюминий

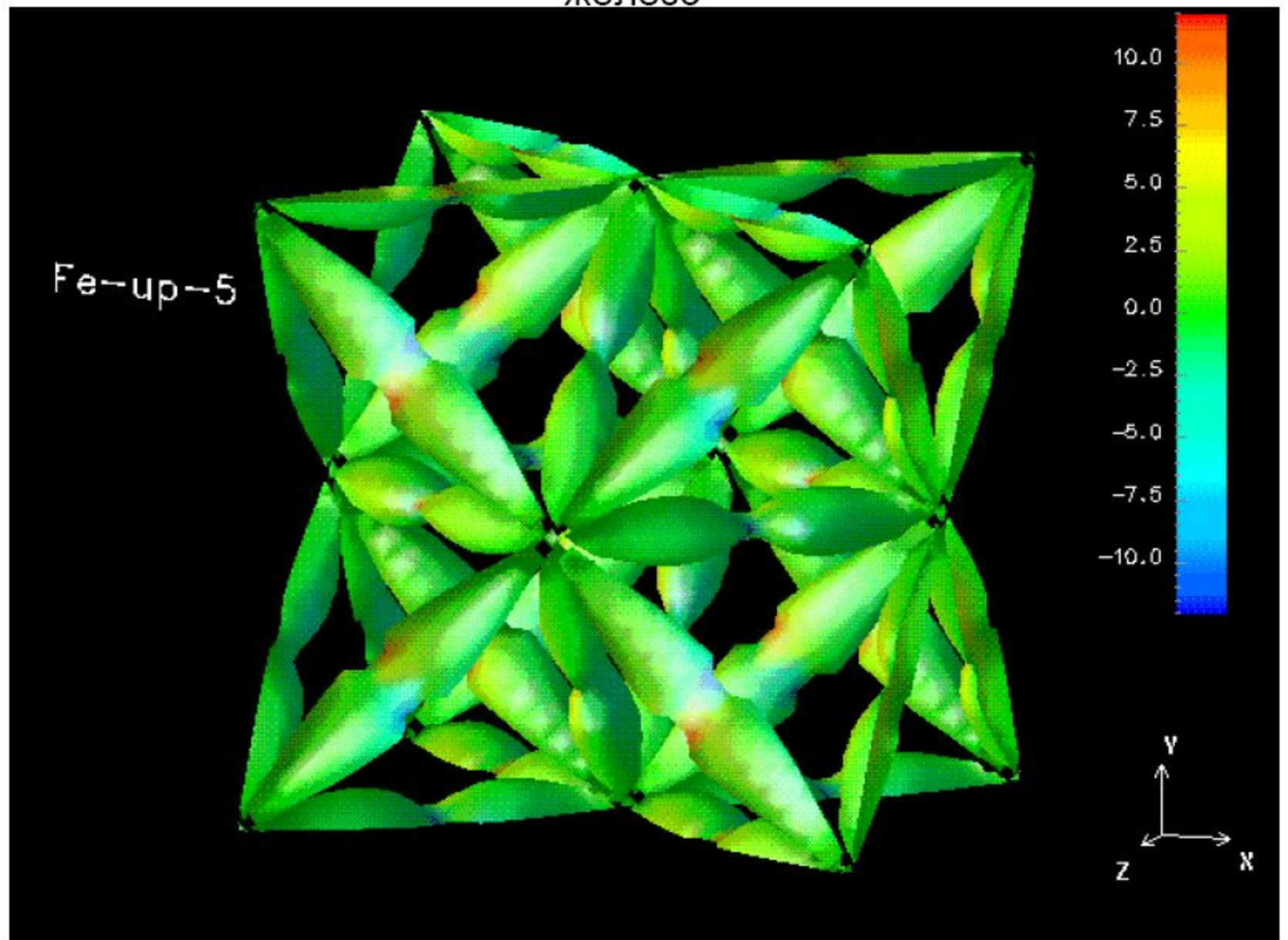




Примеры реальных поверхностей Ферми  
кобальт



Примеры реальных поверхностей Ферми  
железо



Напомним теперь несколько важных моментов. Итак:

- поверхность Ферми отделяет заполненные электронные состояния в металлах от незаполненных при абсолютном нуле температуры
- кристаллический потенциал **изменяет форму** поверхности Ферми, но **не меняет ее объема**, который определяется концентрацией электронов проводимости
- импульс электронов на поверхности Ферми  $k_F$  называют **импульсом (или радиусом) Ферми**, энергию электронов на поверхности Ферми  $\varepsilon_F$  называют **энергией Ферми**, а скорость  $v_F = \hbar k_F / m$  – **скоростью Ферми**.

Посмотрим чему равны эти величины. Имея в виду вышеприведенные замечания, будем работать в приближении свободных электронов. Очевидно, что для нахождения числа возможных значений волновых векторов в объеме  $\Omega$  обратного пространства мы должны этот объем умножить на плотность числа состояний, которое, согласно выводам в лекции 2 равно  $V/(2\pi)^3$ , где  $V$  – объем кристалла, и на 2 за счет наличия спина у электрона.