Ферми поверхность

Ферми поверхность (ФП) - изоэнергетическая поверхность в пространстве квазиимпульсов *p*, отделяющая область занятых электронных состоянии 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. **ΩF** (приходящейся на 1 элементарную ячейку в пространстве квазиимпульсов), определяется концентрацией ***n*** электронов проводимости в металле:

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

Де Хааза - ван Альфена эффект

- **ДЕ ХААЗА - ВАН АЛЬФЕНА ЭФФЕКТ** - наблюдаемая в металлах и *вырожденных полупроводниках* при низких температурах осциллирующая зависимость магн. момента *M* от внеш. магн. поля *B*. Впервые обнаружен В. де Хаазом (W. J. de Haas) и П. ван Альфеном (P. van Alphen) в Bi в 1930. В дальнейшем наблюдался практически у всех чистых металлов, у ряда *интерметаллических соединений* и др. веществ, имеющих металлич. проводимость (MoO2, WO2 и др.), а также в вырожденных полупроводниках и *двумерных проводниках*, в частности *гетероструктурах* .Д. Х.- в. А. э., как и др. *квантовые осцилляции* в магн. поле (напр., *Шубникова - де Хааза эффект)*, обусловлен квантованием движения электронов в магн. поле.

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 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

Продолжение. Поверхность Ферми.

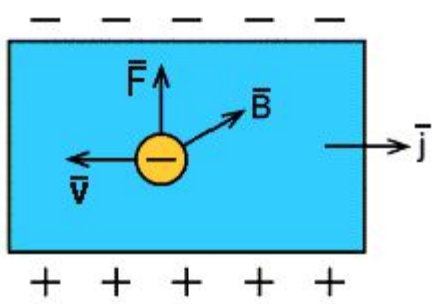
Если Ф. п. непрерывно проходит через всё пространство квазиимпульсов, она называется **открытой**. Если Ф. п. распадается на полости, каждая из которых помещается в одной элементарной ячейке пространства квазиимпульсов, она называется замкнутой, например у Li, Au, Cu, Ag – открытые Ф. п., у K, Na, Rb, Cs, In, Bi, Sb, Al – замкнутые. Иногда Ф. п. состоит из открытых и замкнутых полостей. Скорости электронов, расположенных на Ф. п.:

$U_F \approx 10^8$ *см/с,* вектор (направлен по нормали к Ф. п.

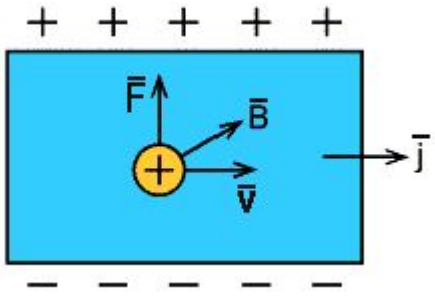
- Геометрические характеристики Ф. п. (форма, кривизна, площади сечений и т.п.) связаны с физическими свойствами металлов, что позволяет строить Ф. п. по экспериментальным данным. Например, Магнетосопротивление Геометрические характеристики Ф. п. (форма, кривизна, площади сечений и т.п.) связаны с физическими свойствами металлов, что позволяет строить Ф. п. по экспериментальным данным. Например, Магнетосопротивление металла зависит от того, открытая Ф. п. или замкнутая, а знак константы Холла (см. Холла эффект) от того, электронная она или дырочная. Период

Эффект Холла

Действие силы Лоренца на движущийся отрицательный заряд



Действие силы Лоренца на движущийся положительный заряд

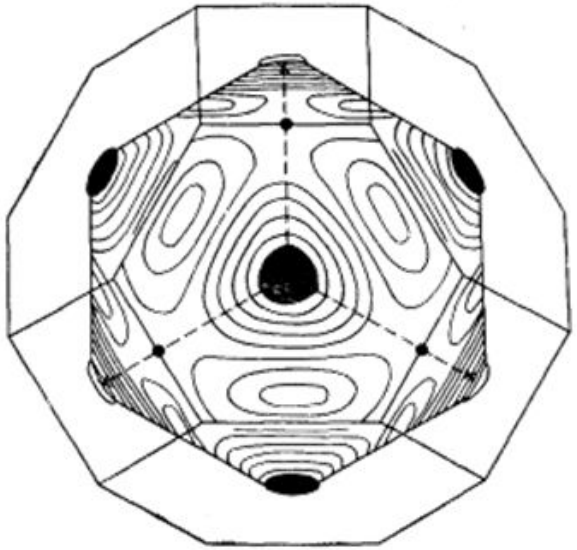


- **Эффектом Холла** называется возникновение поперечного электрического поля и разности потенциалов в проводнике или полупроводнике, по которым проходит электрический ток, при помещении их в магнитное поле, перпендикулярное к направлению тока.
- Если в магнитное поле с индукцией *B* поместить проводник или электронный полупроводник, по которому течет электрический ток плотности *j*, то на электроны, движущиеся со скоростью *v* в магнитном поле, действует сила Лоренца *F*, отклоняющая их в определенную сторону

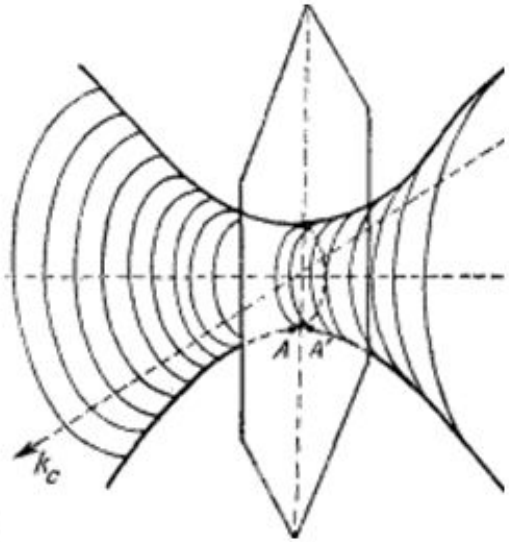
- Для большинства одноатомных металлов и многих интерметаллических соединений Ф. п. уже изучены. Теоретическое построение Ф. п. основано на модельных представлениях о движении валентных электронов в силовом поле ионов.

Примеры поверхности Ферми

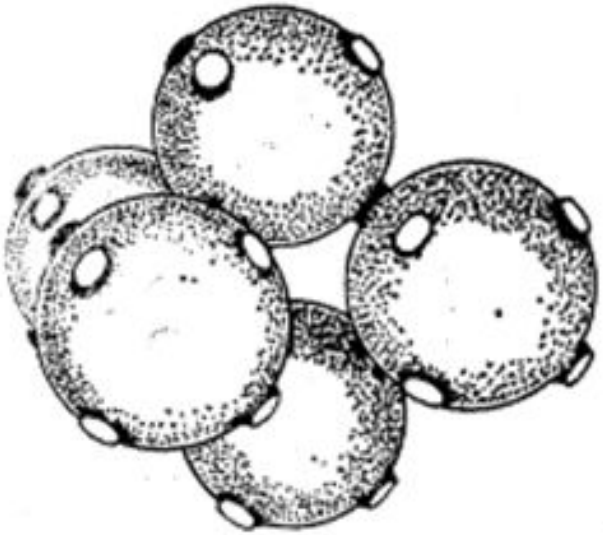
- Топология поверхности Ферми для меди, серебра и золота приблизительно одинаковая и представляет собой гофрированный сфероид, который через узкие трубки соединяется со сфероидами соседних ЗБ. На рис. *а* показан сфероид меди; на рис. *б* изображено соединение двух сфероидов в плоскости гексагональной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



а)

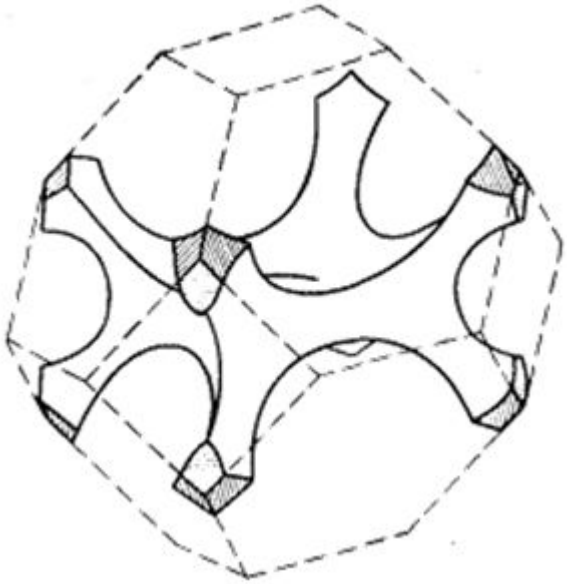


б)

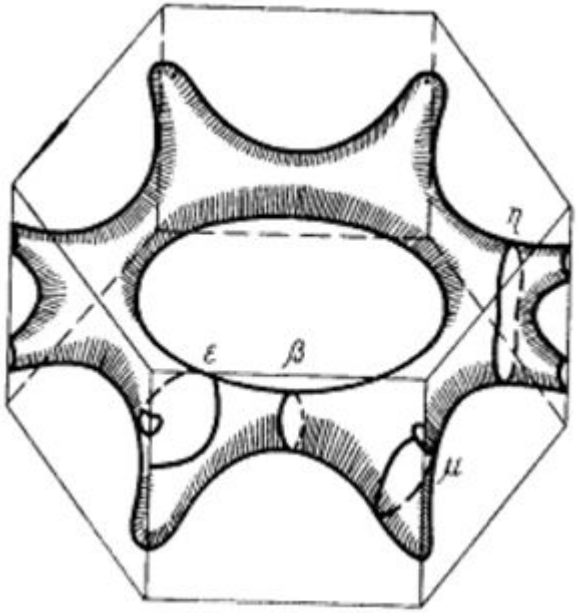


в)

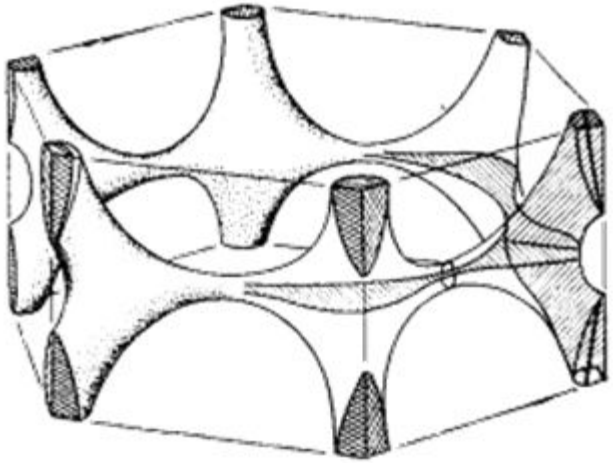
Многосвязанная ферми-поверхность дырочного типа



кальций



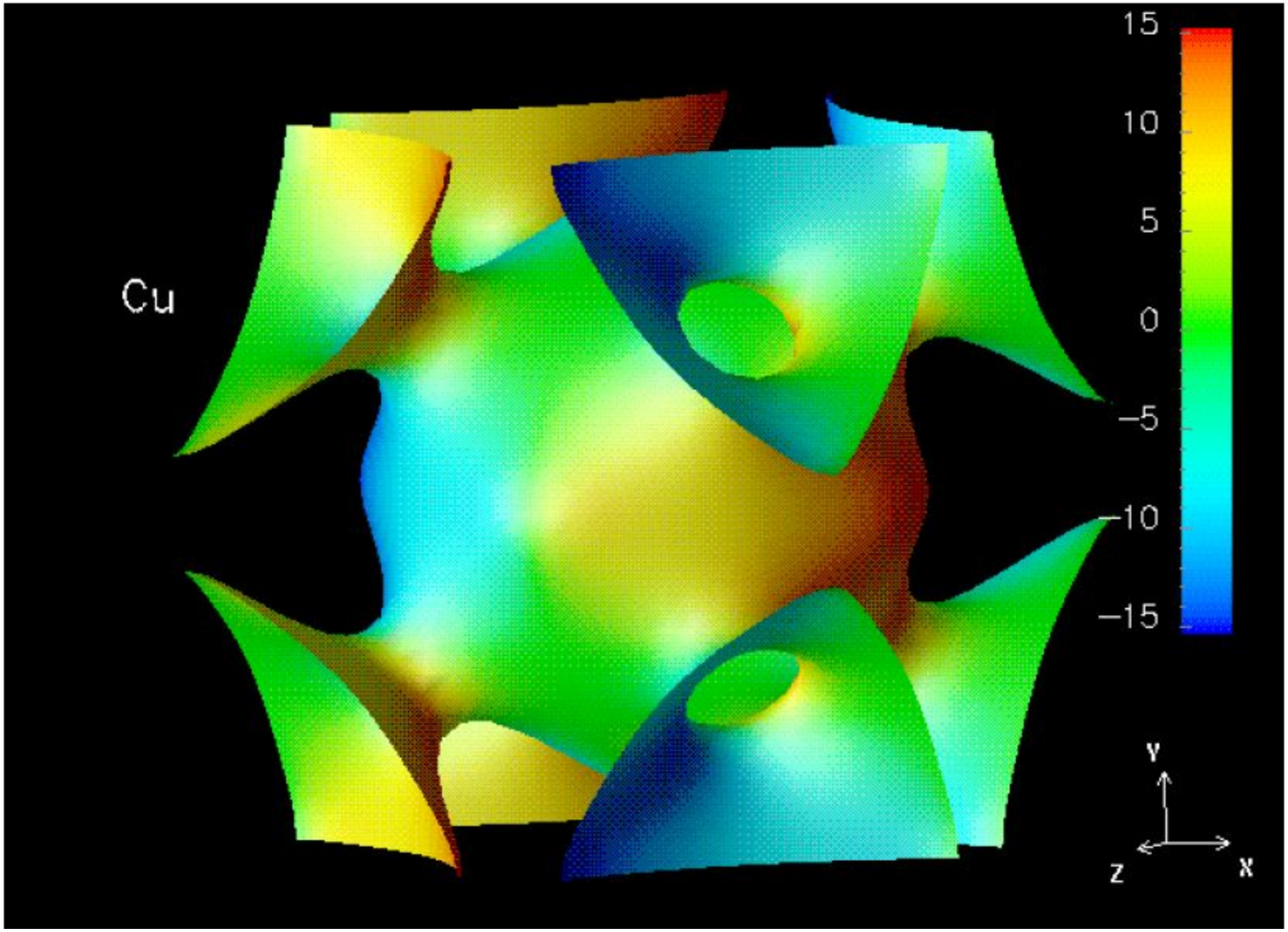
магний



цинк

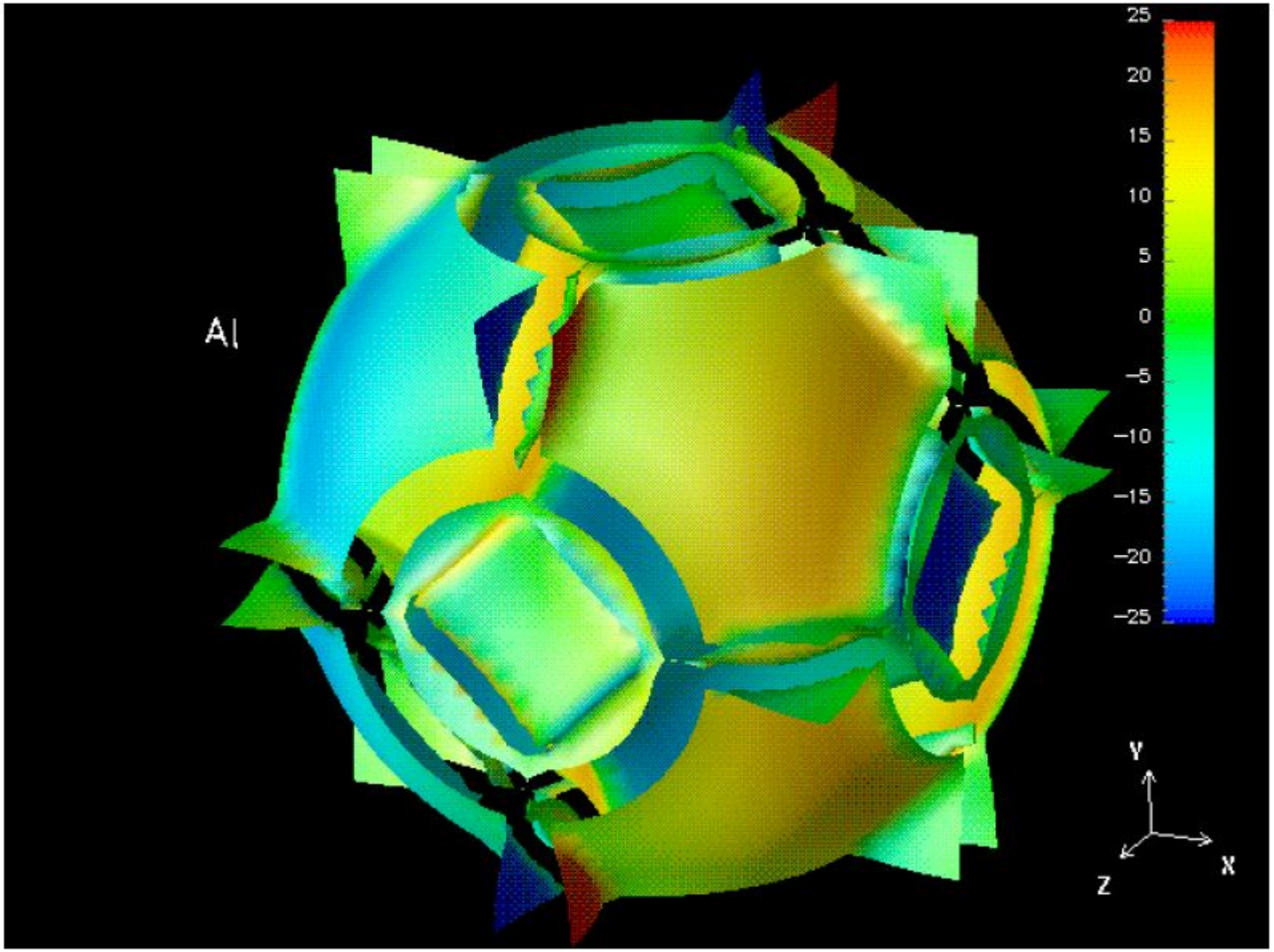
Примеры реальных поверхностей Ферми

медь



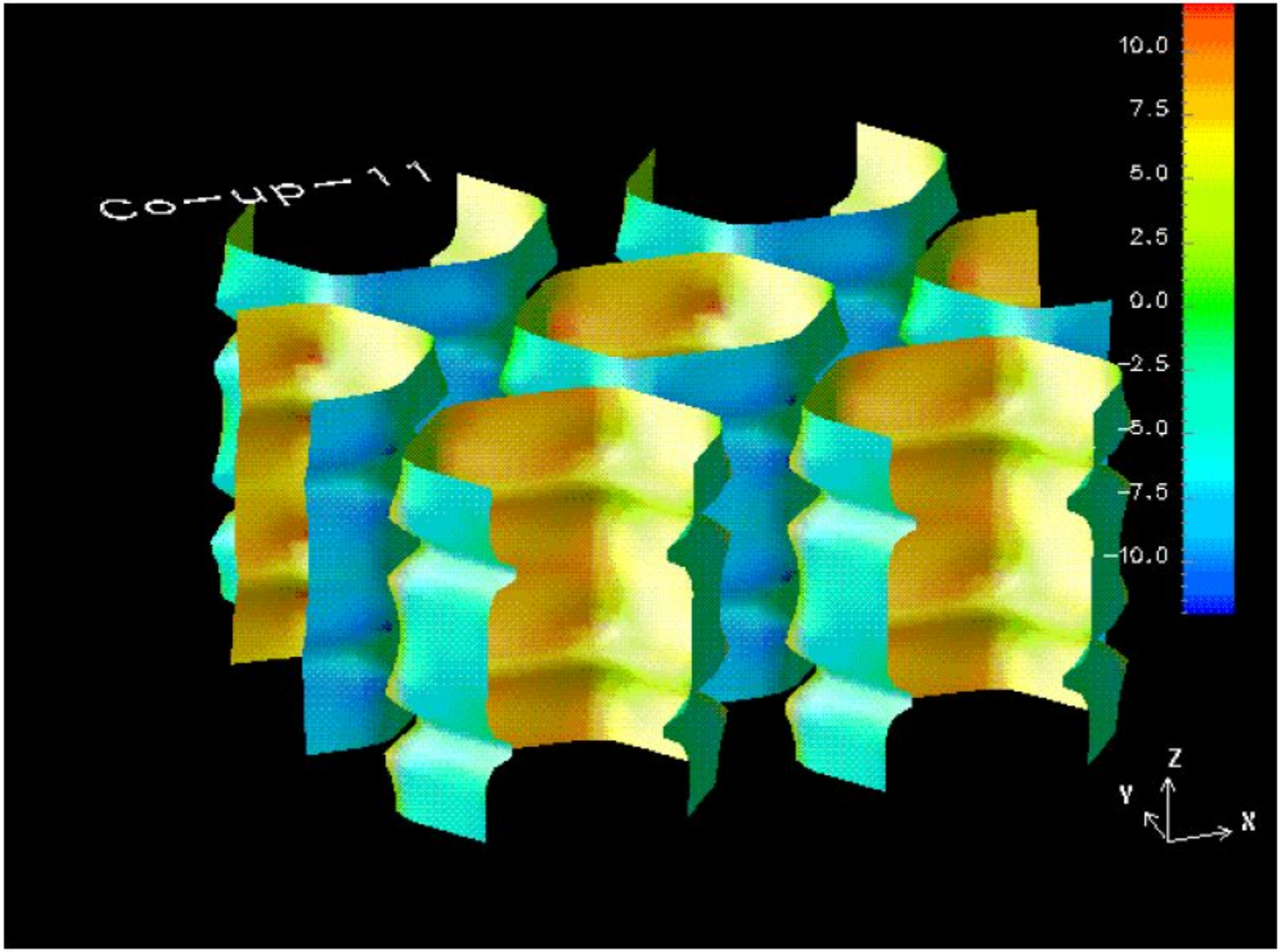
Примеры реальных поверхностей Ферми

алюминий



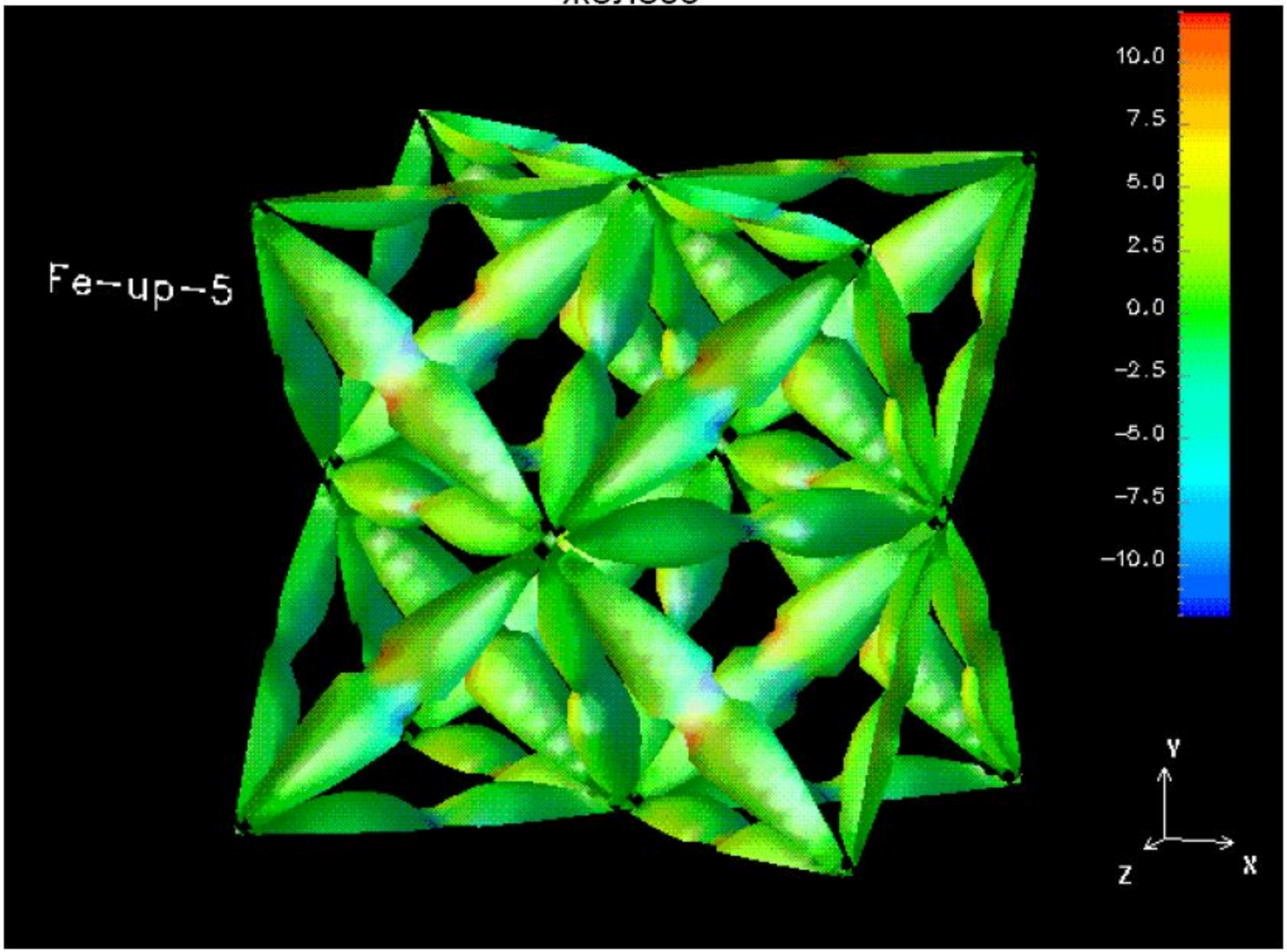
Примеры реальных поверхностей Ферми

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 ε_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 Ω 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.

k_F – импульс Ферми

Объем сферы радиусом k_F равен $4\pi k_F^3/3$. Тогда для N электронов:

$$N = \left(\frac{4\pi k_F^3}{3}\right)\cdot\left(\frac{V}{8\pi^3}\right)\cdot 2 = \frac{k_F^3}{3\pi^2}\cdot V$$

Таким образом, для концентрации электронов в кристалле $n=N/V$, которая, как известно имеет порядок 10^{22}-10^{23}см$^{-3}$ получаем, что радиус Ферми имеет значение около 1Å^{-1}.

- Небольшое отклонение поверхности Ферми от сферы количественно можно охарактеризовать величиной анизотропии поверхности

$$\frac{\Delta S}{S} = 2\,\frac{S_{max} - S_{min}}{S_{max} + S_{min}},$$

где S_{max} и S_{min}- максимальная и минимальная величины площадей сечения поверхности Ферми плоскостями, проходящими через центр зоны Бриллюэна. Для сферы, очевидно, $\Delta S/S = 0$

Экспериментально определённые значения анизотропии поверхности Ферм и щелочных металлов при ведены в таблице

Таблица

Анизотропия поверхности Ферми щелочных металлов

Металл	Na	K	Rb	Cs
$\Delta S/S$, %	0,2	0,6	0,7	1,4

- Видно, что анизотропия поверхности Ферми не превосходит 1 ,5 %. Поэтому замена реальной поверхности Ферми сферой приводит лишь к незначительной ошибке.