

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. Ω_F (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 Вi в 1930. В дальнейшем наблюдался практически у всех чистых металлов, у ряда интерметаллических соединений и др. веществ, имеющих металлич. проводимость (MoO_2 , WO_2 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.

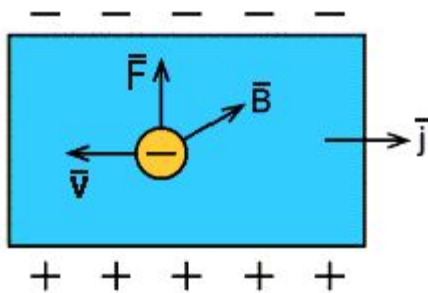
Если Ф. п. непрерывно проходит через всё пространство квазиимпульсов, она называется **открытой**. Если Ф. п. распадается на полости, каждая из которых помещается в одной элементарной ячейке пространства квазиимпульсов, она называется замкнутой, например у Li, Au, Si, Ag – открытые Ф. п., у K, Na, Rb, 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.

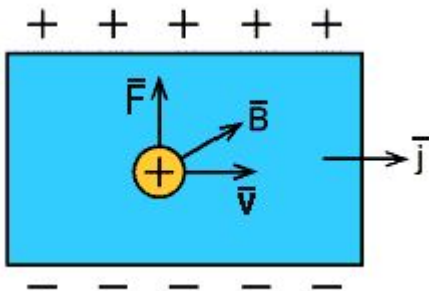
- Геометрические характеристики Ф. п. (форма, кривизна, площади сечений и т.п.) связаны с физическими свойствами металлов, что позволяет строить Ф. п. по экспериментальным данным. Например, Магнетосопротивление Геометрические характеристики Ф. п. (форма, кривизна, площади сечений и т.п.) связаны с физическими 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

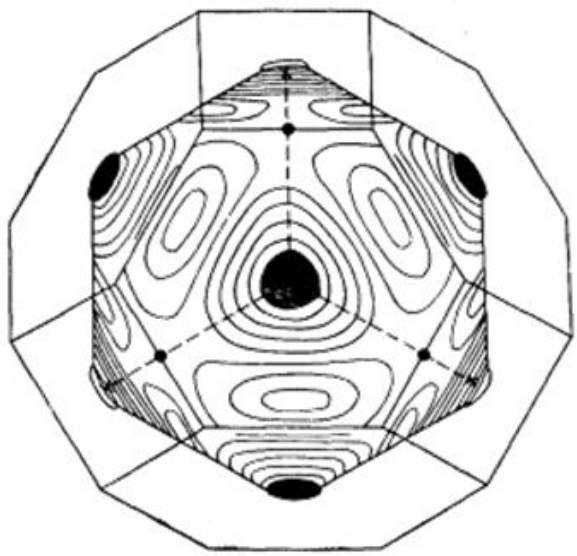


- **Эффектом Холла** называется возникновение поперечного электрического поля и разности потенциалов в проводнике или полупроводнике, по которым проходит электрический ток, при помещении их в магнитное поле, перпендикулярное к направлению тока.
- Если в магнитное поле с индукцией B поместить проводник 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

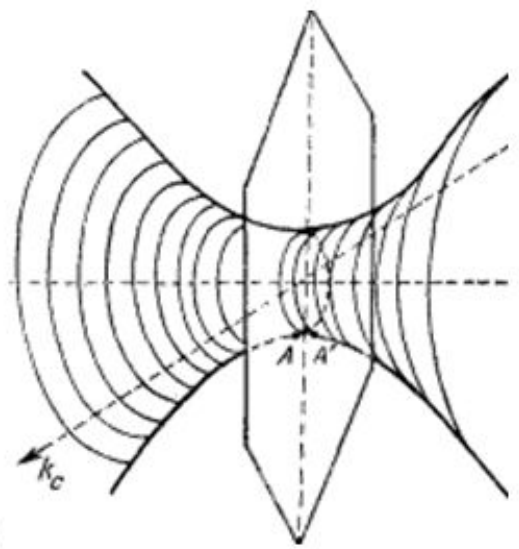
- Для большинства одноатомных металлов и многих интерметаллических соединений ф. п. уже изучены. Теоретическое построение ф. п. основано на модельных представлениях о движении валентных электронов в силовом поле ионов.

Примеры поверхности Ферми

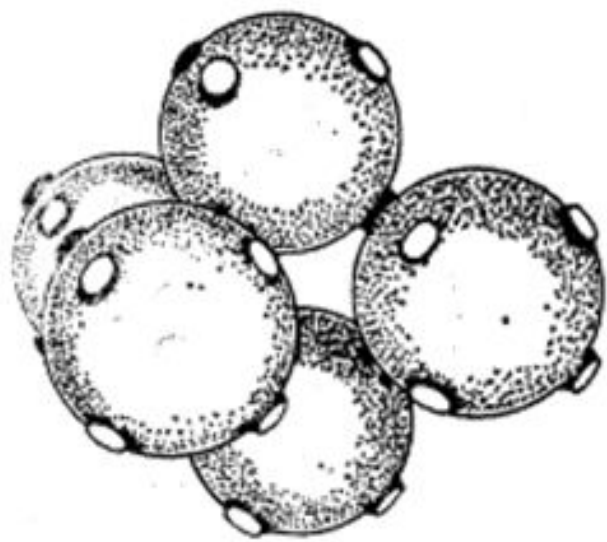
- Топология поверхности Ферми для меди, серебра и золота приблизительно одинаковая и представляет собой гофрированный сфероид, который через узкие трубки соединяется со сфероидами соседних ЗБ. На рис. *а* показан сфероид меди; на рис. *б* изображено соединение двух сфероидов в плоскости гексагональной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



a)

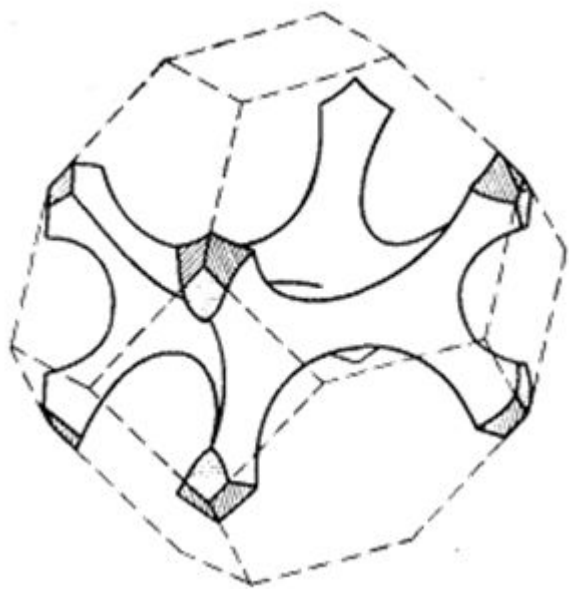


б)

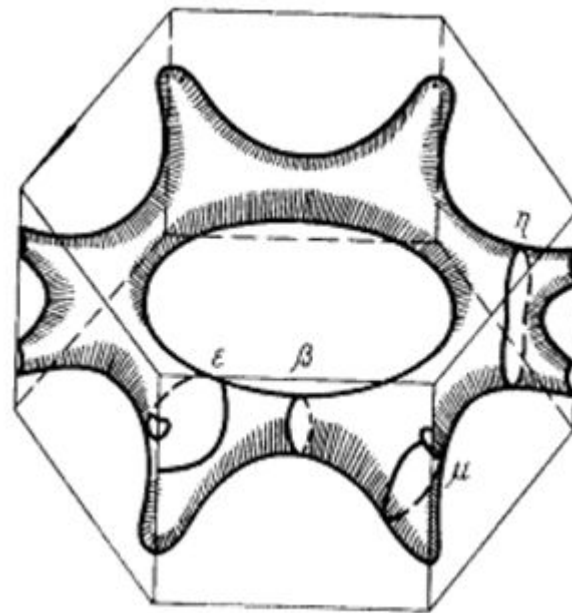


в)

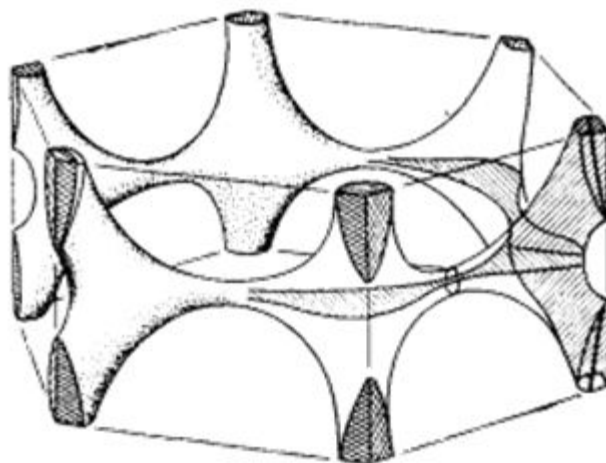
Многосвязанная ферми-поверхность дырочного типа



кальций

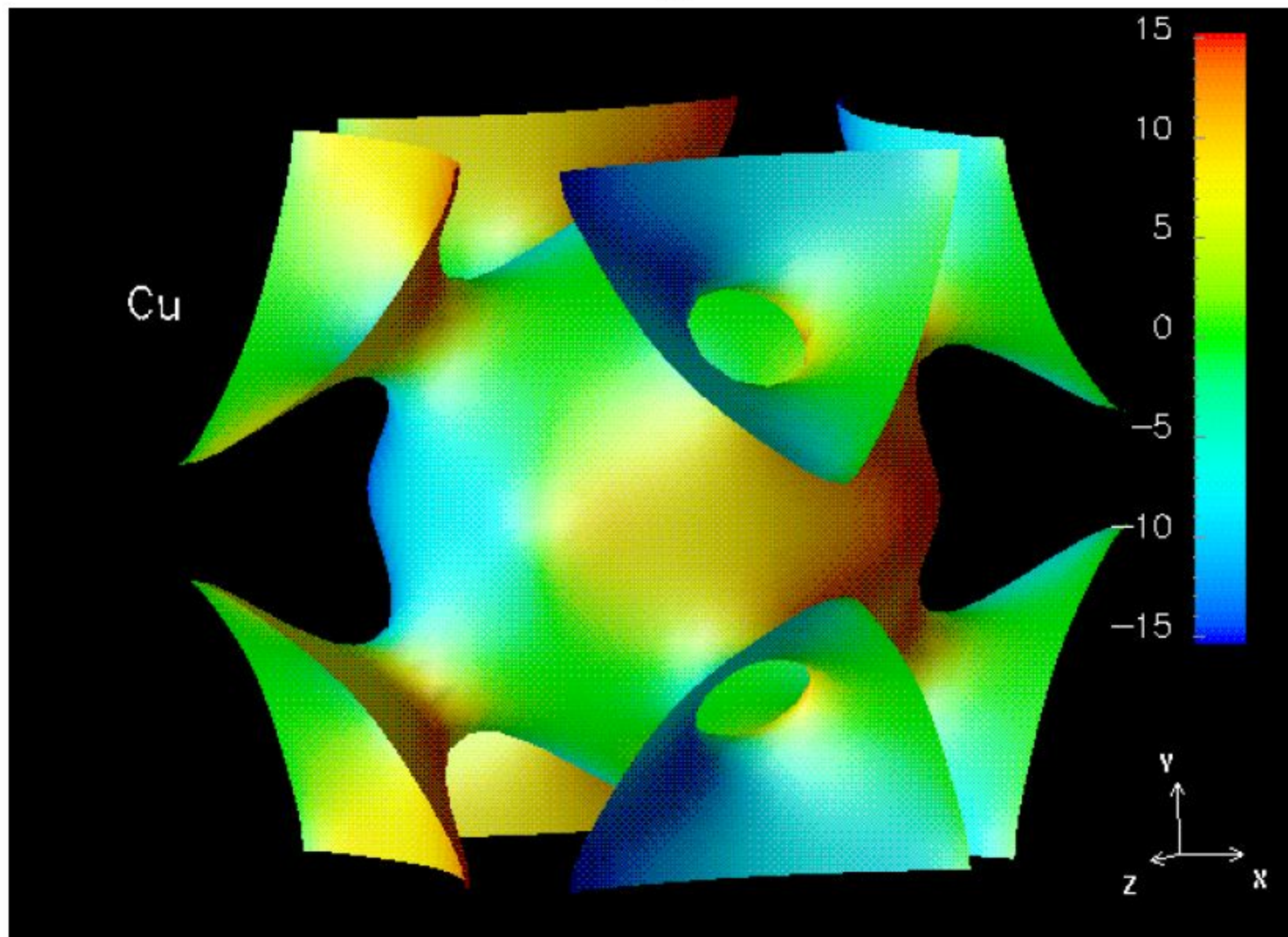


магний

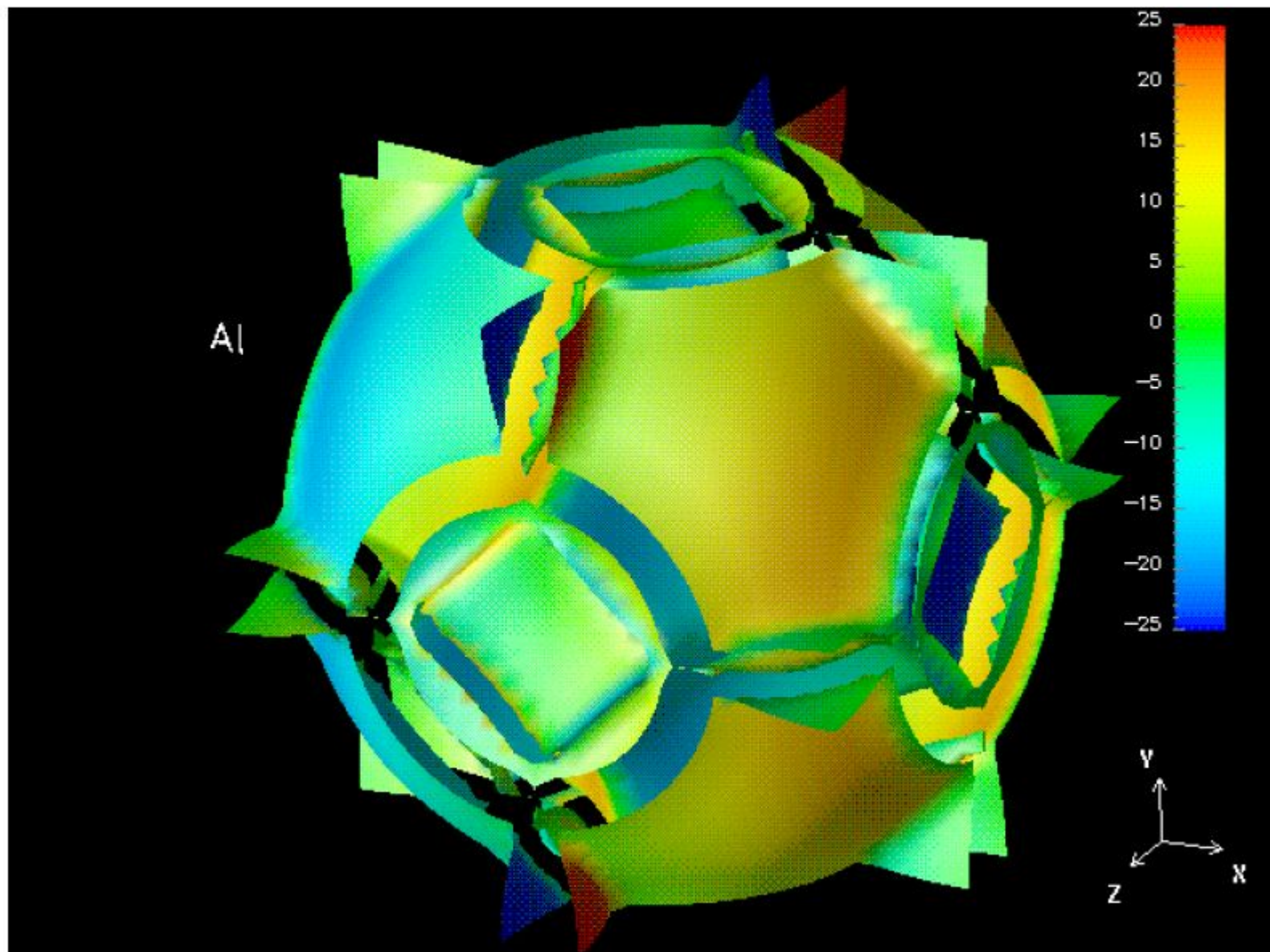


цинк

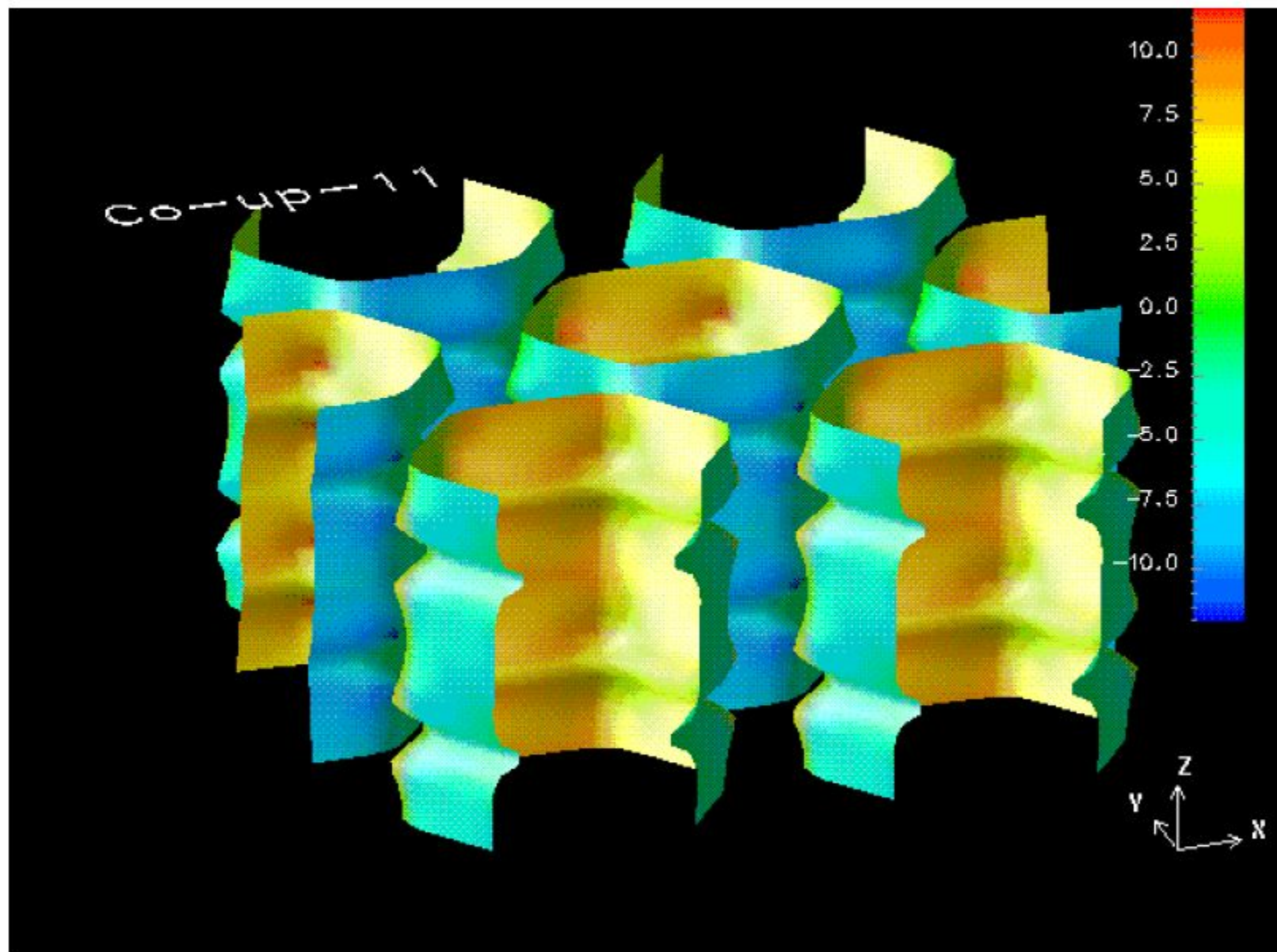
Примеры реальных поверхностей Ферми
медь



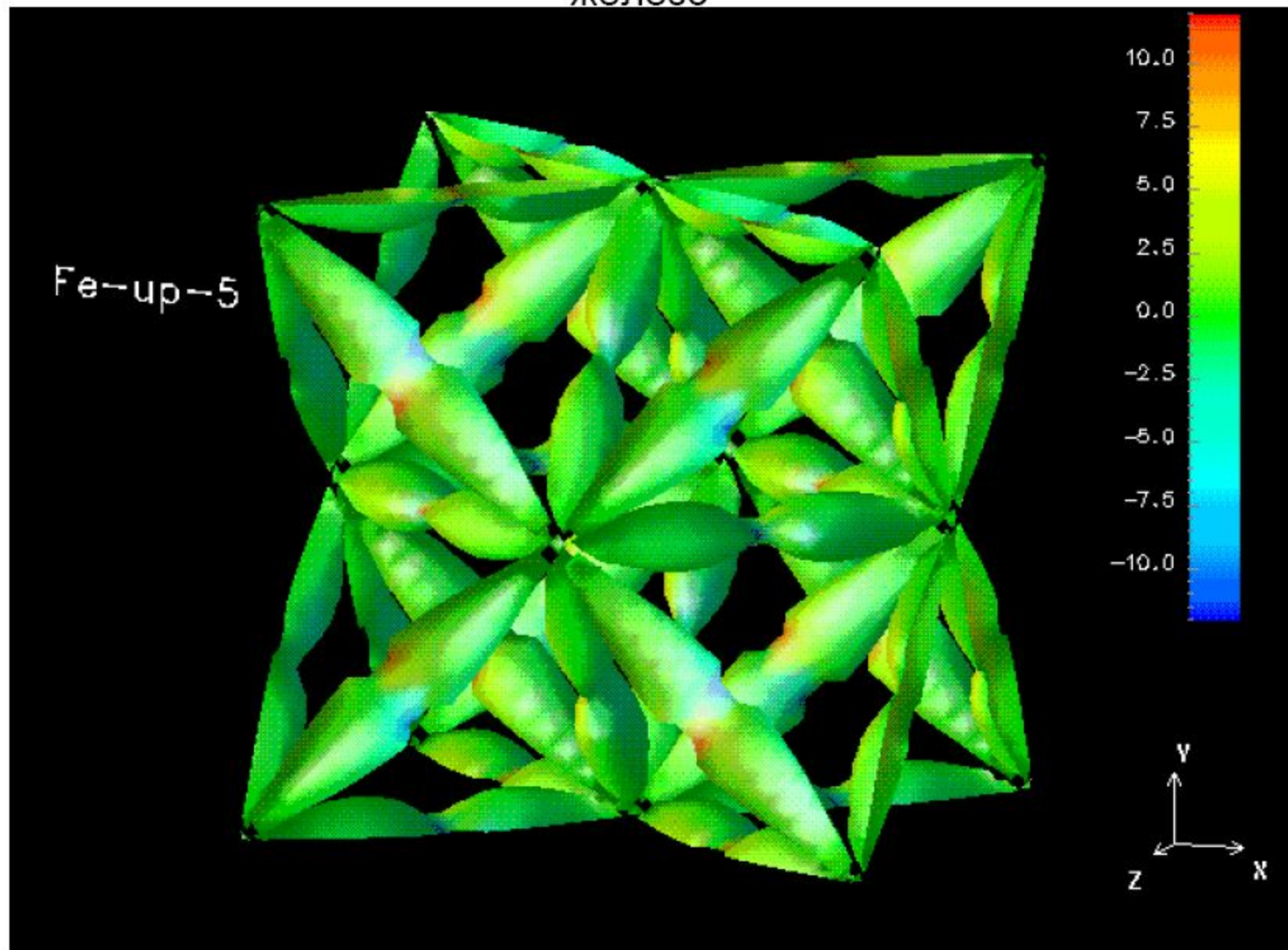
Примеры реальных поверхностей Ферми алюминий



1 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 1\AA^{-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 Ферми и щелочных металлов при ведены в таблице

Т а б л и ц а

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.