UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

2.- DINÁMICA DE ELECTRONES

FÍSICA DEL ESTADO SÓLIDO II

2. Dinámica de Electrones

- Dinámica de Electrones, modelo semiclásico.
- Masa efectiva para huecos y electrones.
- Frecuencia de Ciclotrón y Efecto Hall
- Superficies de Fermi.

Efecto Hall

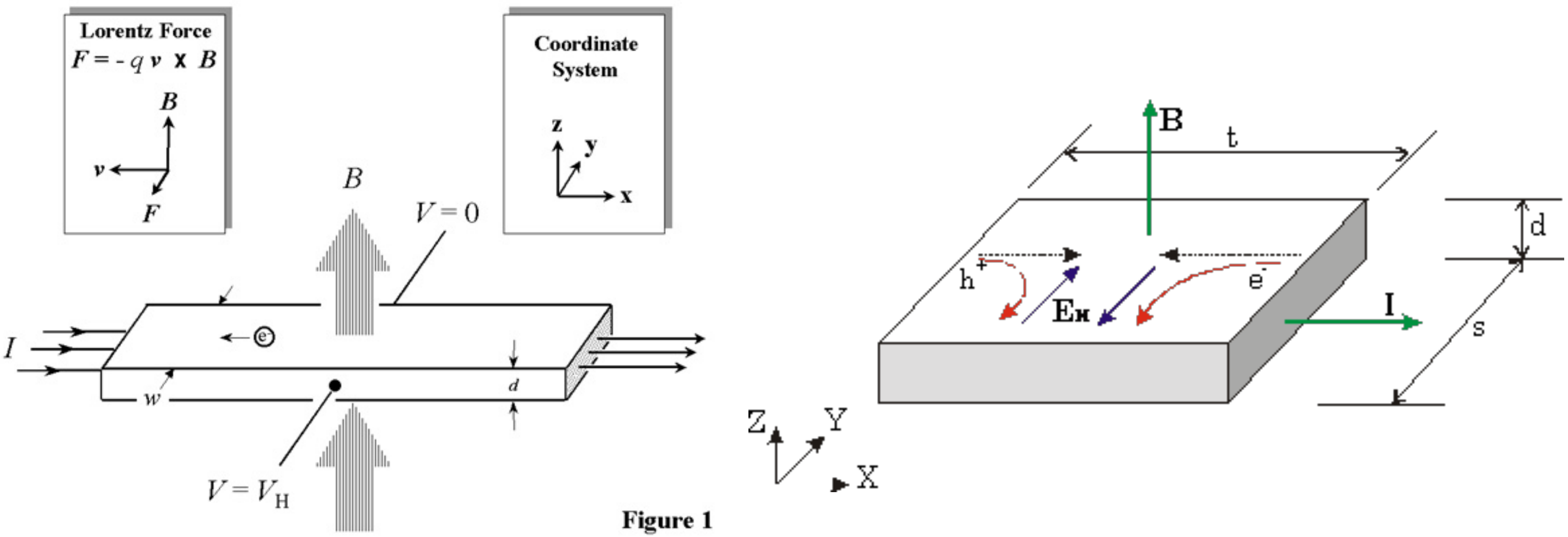


Figure 1

$$V_H = -\frac{1}{ne} jBw = R_H \, jBw \quad donde \; R_H \; es \; el \; COEFICIENTE \; HALL$$

Efecto Hall

$$V_H = -\frac{1}{ne} jBw \Rightarrow R_H = -{}^{1}/_{ne}$$

El voltaje Hall V_H es proporcional a la densidad de corriente y a la inducción del campo magnético.

Si los portadores de carga son huecos, no es difícil observar que la fuerza de Lorentz los desvía en la misma dirección que los electrones. En esta caso:

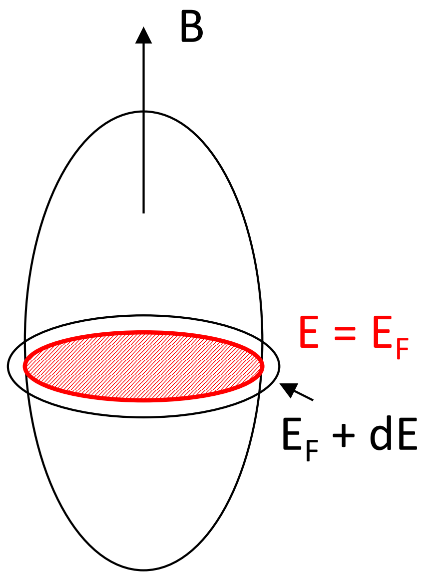
$$R_H = {}^{1}/_{pe}$$

El producto de la constante Hall por la conductividad determina la movilidad de los portadores de carga (denominada movilidad hall)

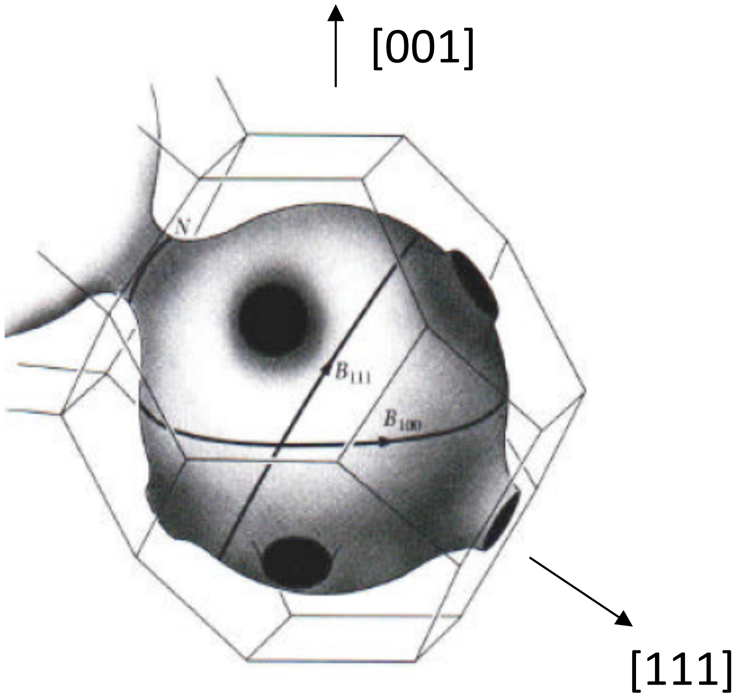
$$R_H\, \sigma = \mu_H$$

Esta movilidad difiere un poco de la determinada a partir de la conductividad. Midiendo conjuntamente el efecto Hall y la conductividad de la muestra, se puede obtener información acerca del **signo de los portadores de carga, de su concentración y movilidad.**

Electrones libres en un campo magnético



Órbita de un electrón sobre la superficie de Fermi en un sólido bajo la influencia de un campo magnético. El periodo de la órbita es proporcional a la derivada del área transversal con respecto a la energía.



Distintos tipos de órbitas en Cu

Electrones libres en un campo magnético

Puede demostrarse que la "frecuencia de ciclotrón" ω_C es proporcional al área encerrada en cada órbita.

$$\omega_c = \frac{2\pi}{\frac{\hbar^2}{eB}\frac{dA_k}{dE}}$$

Área de la órbita $\Rightarrow$ $A_k = \pi k^2$

Energía del ciclotrón $\Rightarrow$ $E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}$

$$\frac{dA_k}{dE} = \frac{d}{dE}\left(\frac{2\pi m_e}{\hbar^2}E\right) = \frac{2\pi m_e}{\hbar^2}$$

$$\omega_c = \frac{2\pi}{\frac{\hbar^2}{eB}\frac{dA_k}{dE}} = \frac{eB}{m_e}$$

$$m_e = \frac{\hbar^2}{2\pi}\frac{dA_k}{dE} = m^*$$

Para observar el efecto se debe cumplir que el periodo T sea menor que el tiempo de vida medio de los portadores.

Electrones libres en un campo magnético

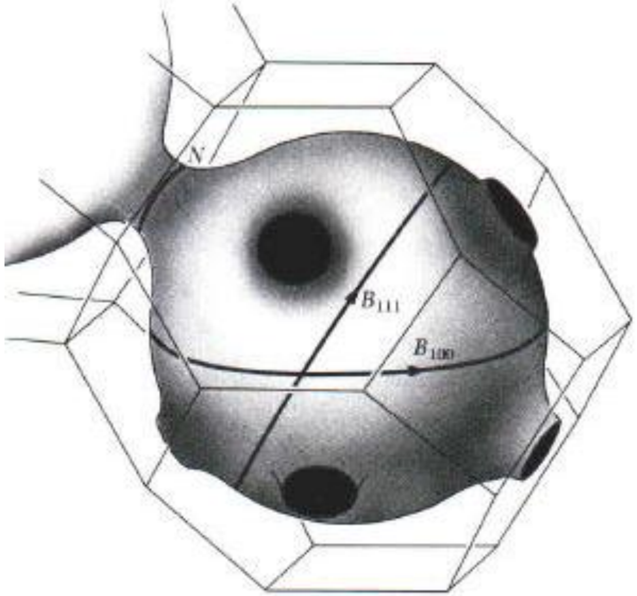
Para observar el efecto se debe cumplir que el periodo T sea menor que el tiempo de vida medio de los portadores.

Ejemplo Cu : B = 1T

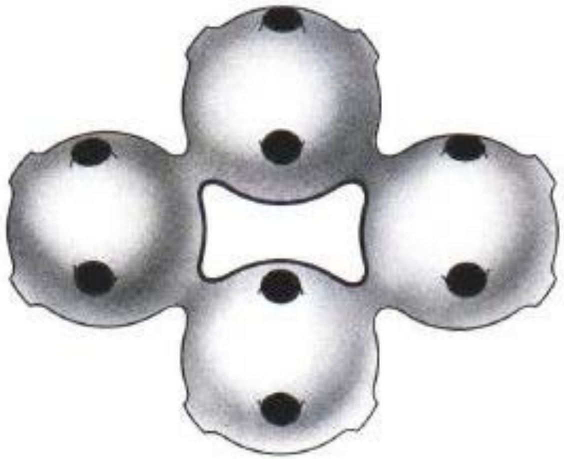
$$T = \frac{2\pi \, m_e}{eB} = 3.6 \, x \, 10^{-11} \, s$$

Para el cobre a 4k τ_{Cu} = 3 x 10^{-9} s

Electrones libres en un campo magnético



Superficie de Fermi de una red fcc y órbitas extremas en las direcciones (100) y (111)

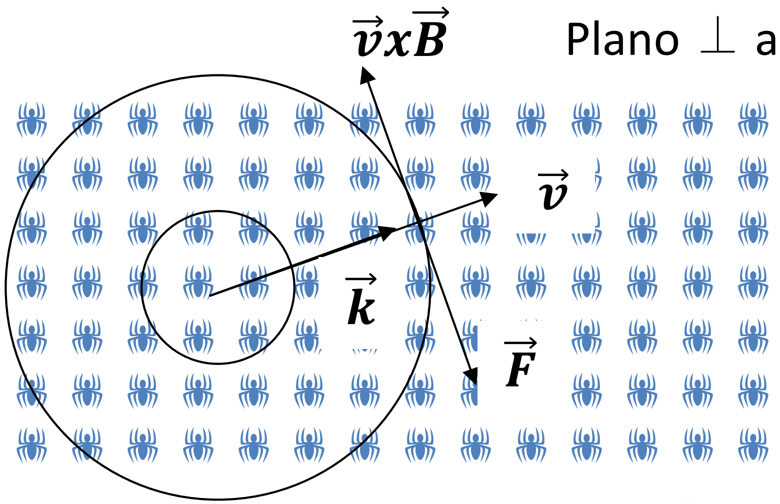


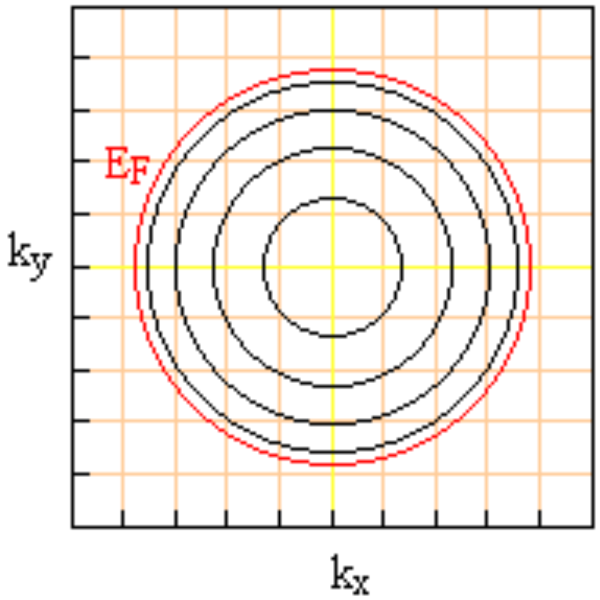
Órbita extremal en la dirección (110)

NO HAY OSCILACIONES

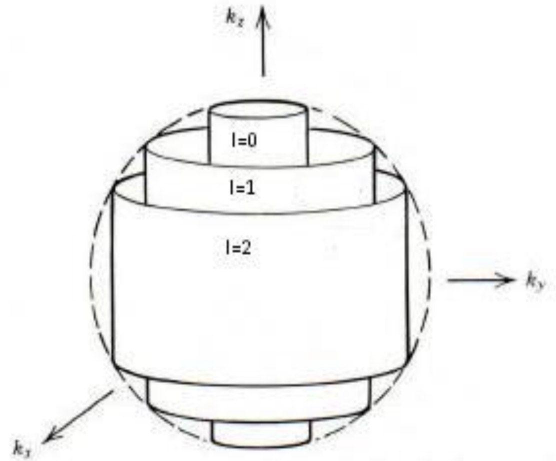
Electrones libres en un campo magnético

Plano $\perp$ al campo $\vec{B}$

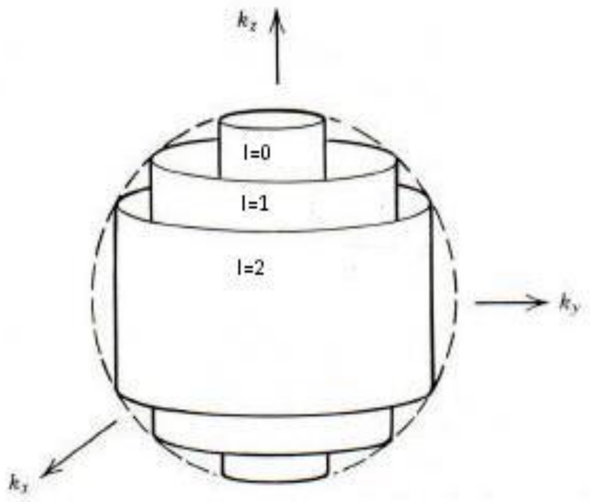




Niveles de Landau



Electrones libres en un campo magnético



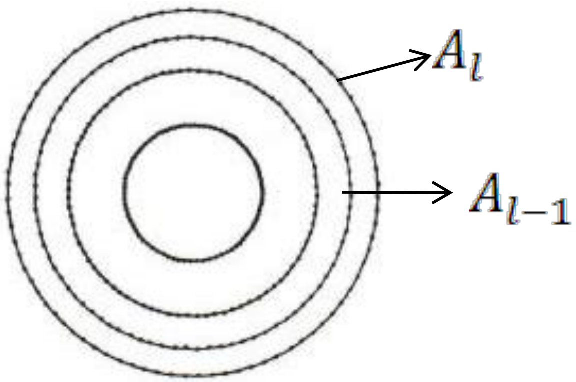
$$E = \hbar\omega_c\left(l + \frac{1}{2}\right) = \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m_e}$$

$$k_z^2 = \frac{2eB}{\hbar}\left(l + \frac{1}{2}\right)$$

$$A_l = \pi k_z^2 = \frac{2\pi eB}{\hbar}\left(l + \frac{1}{2}\right)$$

$$(A_l - A_{l-1}) = \frac{2\pi eB}{\hbar}$$

Electrones libres en un campo magnético



Variemos el campo B para conseguir que:

$A_l(B_l) = A_{l-1}(B_{l-1}) = A_k$ entonces

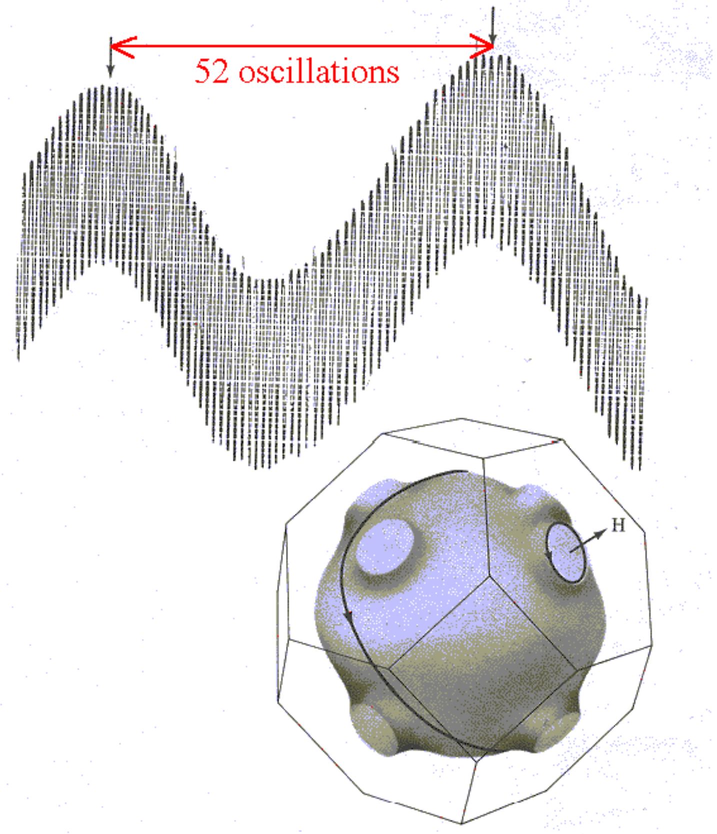
$$\frac{A_l}{B_l} = \frac{A_k}{B_l} = \frac{2\pi e}{\hbar}\left(l + \frac{1}{2}\right)$$

$$\frac{A_{l-1}}{B_{l-1}} = \frac{A_k}{B_{l-1}} = \frac{2\pi e}{\hbar}\left(l - 1 + \frac{1}{2}\right)$$

$$\left(\frac{A_k}{B_l} - \frac{A_k}{B_{l-1}}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar} \Rightarrow \Delta\left(\frac{1}{B}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar A_k}$$

A partir de las mediciones del periodo de Haas van Alphen se puede deducir las áreas extremales

Electrones libres en un campo magnético



Oscilaciones de Haas van Alphen en Plata a lo largo de la dirección (111). El eje vertical representa el momento magnético y el eje horizonal (1/B).

A partir de las oscilaciones es posible estimar el área de las dos orbitas extremales. Y a partir de estas áreas ver que la relación entre ambas áreas es de 52.