



UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID

## 2.- DINÁMICA DE ELECTRONES

**Cartagena99**

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

FISICA DEL ESTADO SOLIDO 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.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Efecto Hall

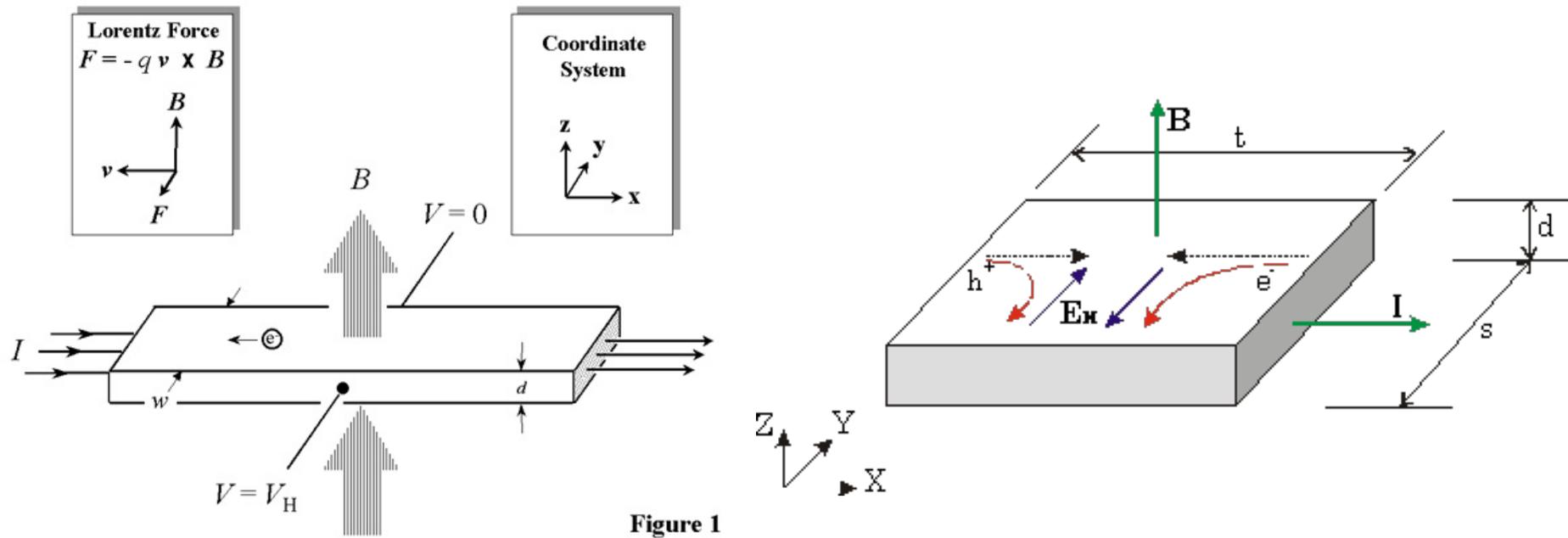


Figure 1

$$V = - \frac{1}{e n w} i B_w = D_H i B_w \text{ donde } D_H \text{ es el COEFICIENTE HALL}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORIAS TECNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVIA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# 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 este 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

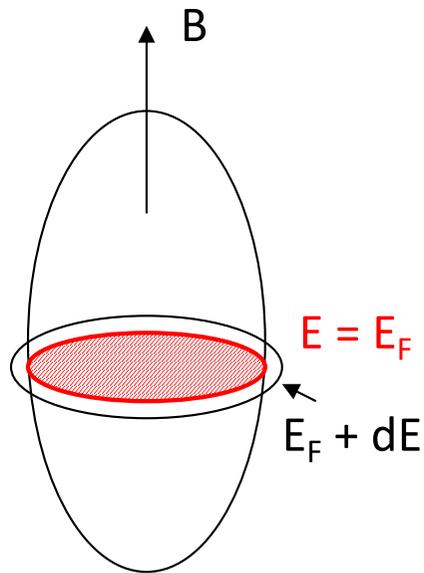
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

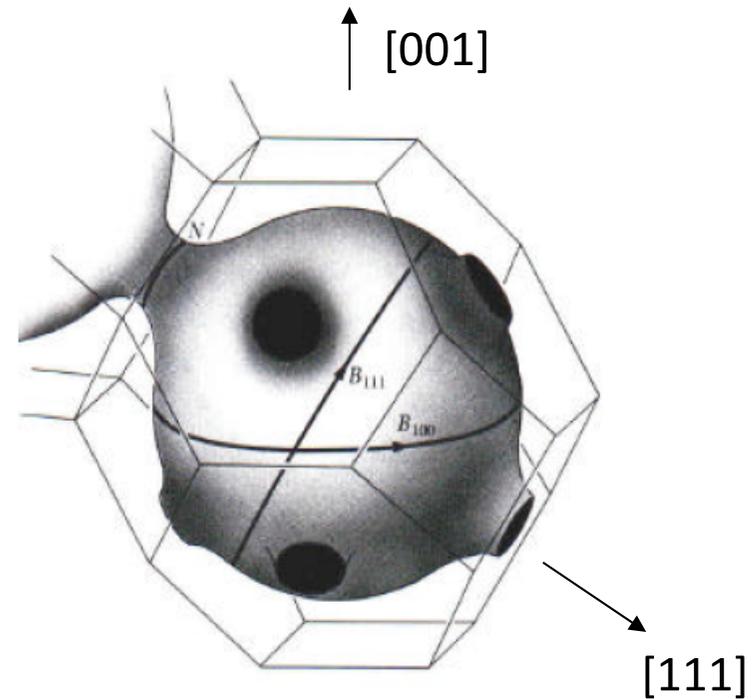
---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 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



Distintos tipos de órbitas en Cu

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Electrones libres en un campo magnético

Puede demostrarse que la “frecuencia de ciclotrón”  $\omega_c$  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  $\Rightarrow E = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}$

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

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

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

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 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 :  $B = 1\text{T}$

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

Para el cobre a 4k  $\tau_{\text{Cu}} = 3 \times 10^{-9} \text{ s}$



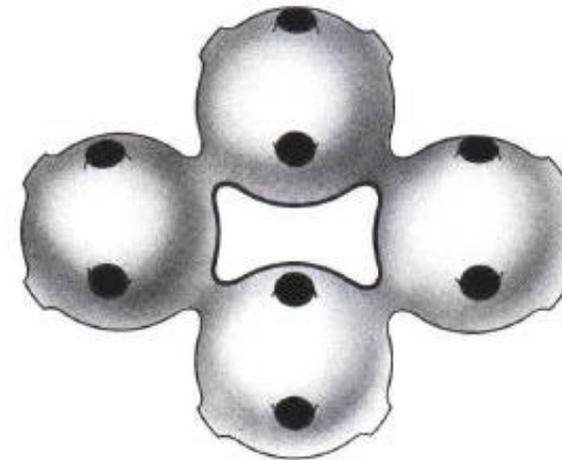
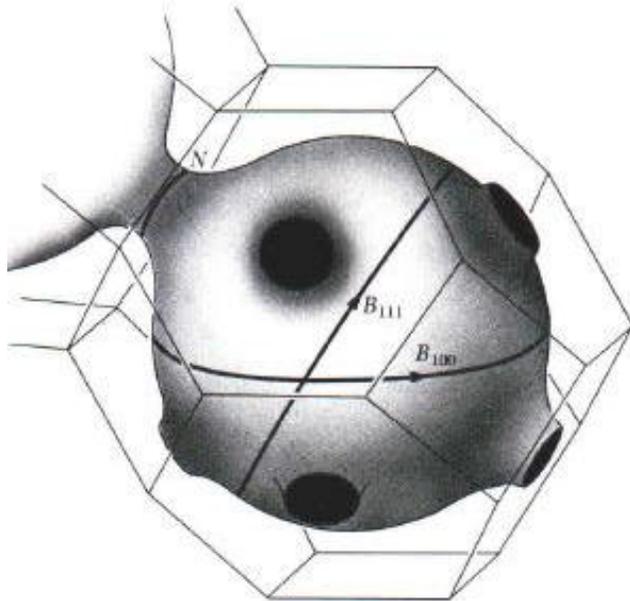
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Electrones libres en un campo magnético



Superficie de Fermi de una red fcc y  
órbitas extremas en las direcciones

Órbita extremal en la dirección (110)

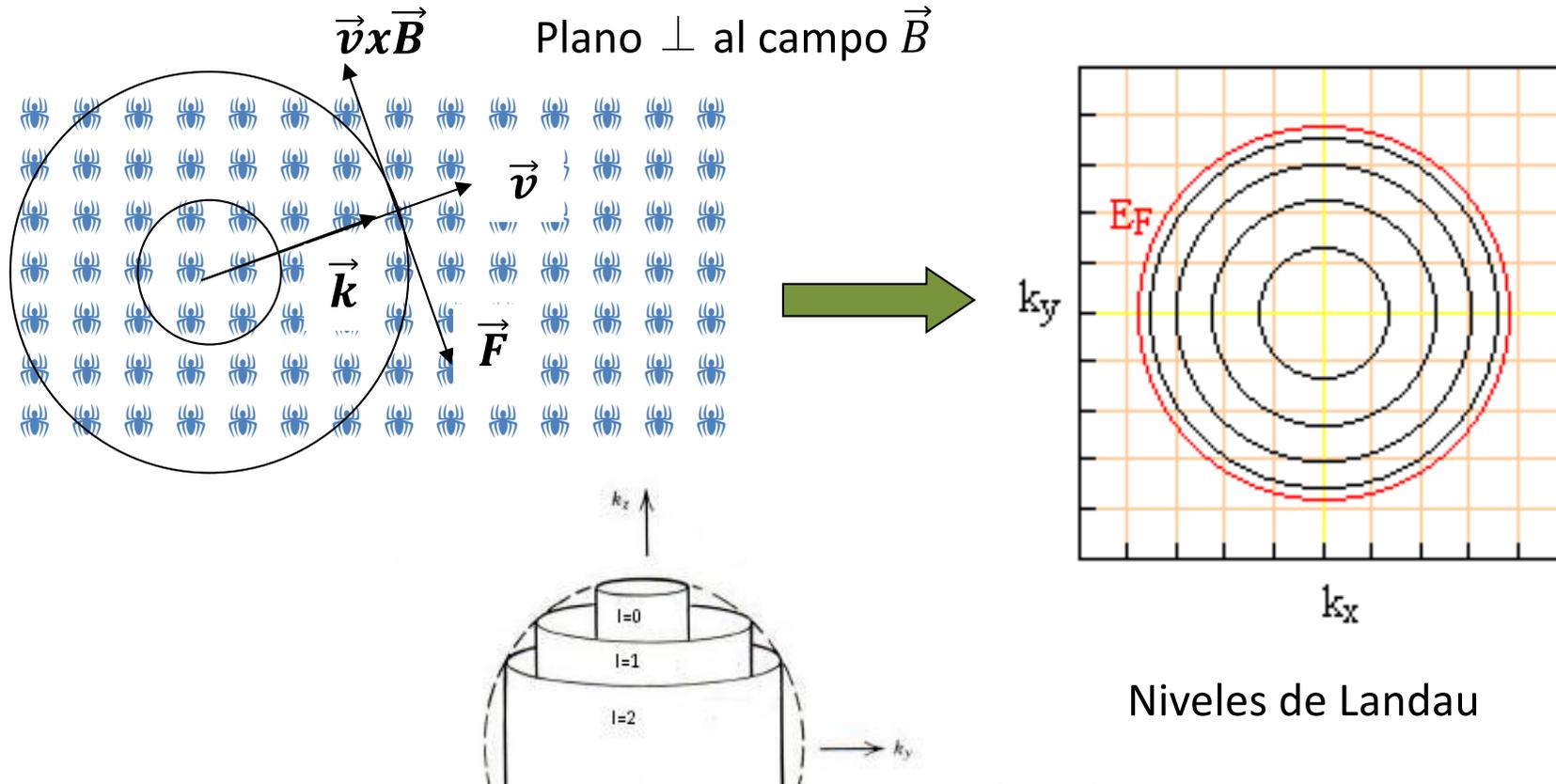
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Electrones libres en un campo magnético



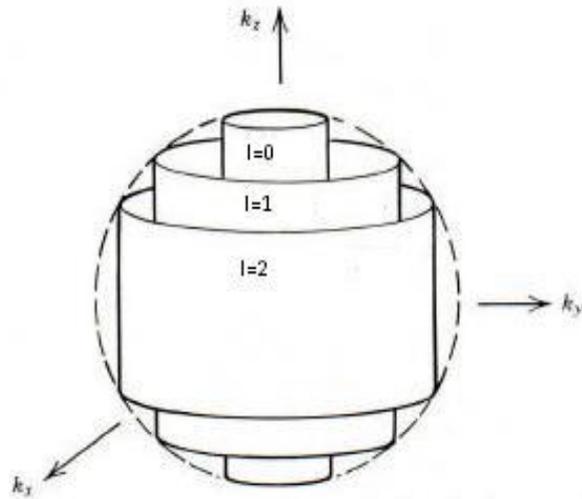
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

# Electrones libres en un campo magnético



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

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

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

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

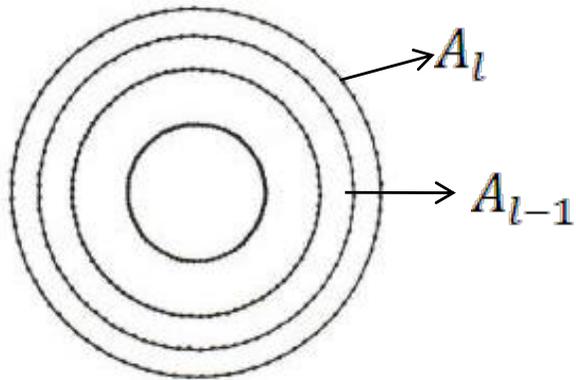
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Electrones libres en un campo magnético



Variemos el campo B para conseguir que:

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

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

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

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

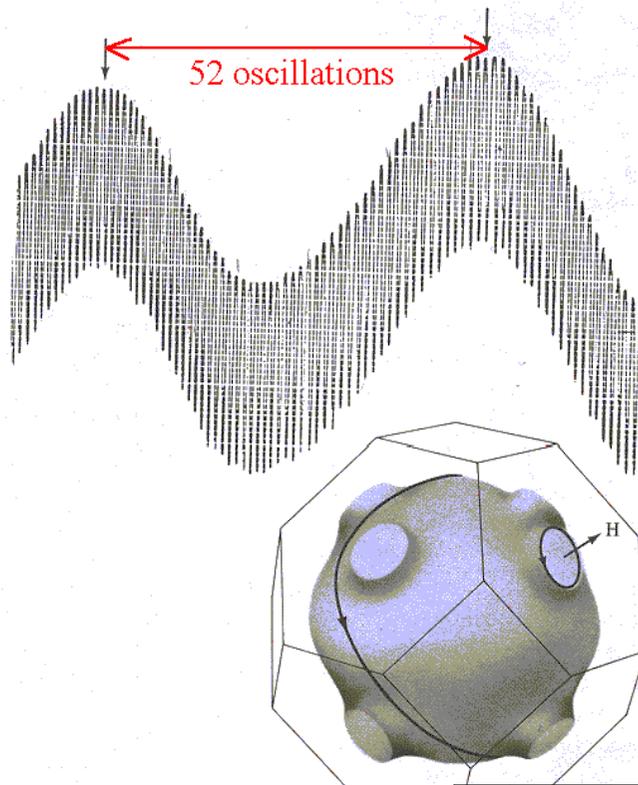
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

# 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 horizontal ( $1/B$ ).

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.

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



UNIVERSIDAD  
COMPLUTENSE  
MADRID

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70