**Coloquio 6/7/2011**

1.Explicar por que razón la probabilidad de que se presente efecto Compton en la interacción de la radiación con la materia aumenta con la energía de la radiación. Graficar el espectro de la radiación dispersada a 90° de la dirección de incidencia y explicarlo brevemente.

2.Una partícula de masa ***m*** se encuentra en una caja de paredes rígidas de ancho ***a.*** ¿Cual será su velocidad en el estado fundamental? ¿Cual será la frecuencia asociada? Repetir para el estado con n=3. ¿Cual será la probabilidad de hallar la partícula entre x=0 y x=a/6 en cada caso?

3.Expresar analíticamente (describiendo cada uno de los factores involucrados) y representar gráficamente el número de electrones libres en un metal con energías entre ***E y E+dE (E≥0)*** para ***T=0K y T>0K.*** Analizar cuales serán los electrones que participen en la conducción eléctrica al aplicar un campo. Comparar con el modelo clásico.

4.En una muestra de Germanio dopada con Arsénico ( Grupo V ) se mide la conductividad a diferentes temperaturas: a T = 300K, $\sigma = 3.5\ \Omega^{-1}m^{-1}$; y a T = 350K, $\sigma = 267\ \Omega^{-1}m^{-1}$. Calcular:

a) El nivel de impureza donora.

b) El factor pre-exponencial $\sigma_o$ de la conductividad.

c) Representar el gráfico de $\ln\sigma$ vs. 1/T para este semiconductor en todo rango de temperaturas. Justificar.

Dato: $E_g$ (Ge) = 0.67eV

5.Una juntura PN está formada por Si dopado con NP cm-3 átomos de P y Si dopado con NA cm-3 átomos de Al. A) Explicar el origen de la formación de una zona de agotamiento en la juntura B) comparar las dimensiones de la zona de agotamiento a un lado y a otro de la juntura

Coloquio 29/06/2011

1) Un metal cuya función trabajo es 4eV, que es bombardeado con fotones de $\lambda$=0,1 nm, emite electrones en todas direcciones. A) Que tipo de fenómeno será más probable en estas condiciones: efecto fotoeléctrico o efecto Compton? Justificar la respuesta. B) Cual será la máxima cantidad de movimiento de los electrones dispersados. C) Cual sería si se bombardeara con fotones de 300 nm?

2) Un sistema de electrones a T = 0K se encuentra dentro de un prisma de lados *a, b, c* (*b = c = a/3*). La energía del sistema es $\frac{191\hbar^2\pi^2}{ma^2}$. Posteriormente, se irradia con fotones de $\frac{3\hbar^2\pi^2}{2ma^2}$ de energía.

a) Indicar la cantidad de electrones que se encuentran dentro del pozo. Justificar.
b) Hacer un diagrama de energías para el estado fundamental y el que resultará luego de irradiarlo.

3) Una pastilla de Ge ha sido dopada con $N_A$ átomos de B por $m^3$. A 200°K se han ionizado 2/3 de las impurezas. Calcular los valores de $E_F$, n, p y $N_A$. Hacer un esquema de bandas que represente esta situación donde se respete la escala de energía y se asigne valores a los niveles. Hacer una representación (para toda T) de $\ln\sigma$ vs 1/KT para este semiconductor señalando en el gráfico con un punto la conductividad a 200K y con otro la correspondiente a 600K.

*Eg=0,66eV, Ei=0,010eV, $m^*_h$ =0,28 $m_0$ y $m^*_e$ =0,86 $m_0$ son las masas efectivas de huecos y electrones.*

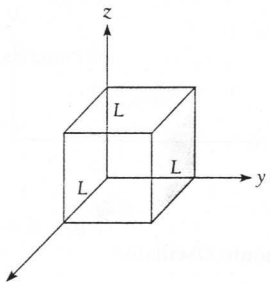
4) Una juntura PN de silicio tiene $N_A=4\ 10^{18}\ cm^{-3}$, $N_D=10^{16}\ cm^{-3}$ y un área de $2\ 10^{-3}\ cm^2$. A) Estimar el potencial de contacto y los anchos de la zona de agotamiento a cada lado de la juntura (a T ambiente) cuando se la polariza en directa con un potencial de 10 V.

*Eg=1,12eV, Nc (300°K)=2,8 $10^{19}\ cm^{-3}$ , Nv(300°K)=1,04 $10^{19}\ cm^{-3}$, $\varepsilon=12\varepsilon_0$*

**Coloquio 23/02/2011**

1B) Hallar la longitud de onda de la línea espectral que corresponde a una transición en el hidrógeno de n=6 a n=3. ¿En qué zona del espectro se encuentra?

2B) En una experiencia de efecto Compton en la cual los RX incidentes tienen una $\lambda=10^{-2}$ nm, los RX dispersados bajo cierto ángulo tienen una $\lambda=1{,}05\ 10^{-2}$ nm. Hallar el momentum (magnitud y dirección) de los electrones luego de la interacción.




3B) Una partícula está en una caja cúbica de lado L con paredes totalmente rígidas. La partícula se encuentra en su estado fundamental. A) Hallar la probabilidad de encontrar la partícula en el volumen definido por $0\le x\le L/4$, $0\le y\le L/4$ , $0\le z\le L/4$. B) Repetir para L/2 en lugar de L/4.

4B) ¿Qué sentido físico tiene la masa efectiva de los electrones en un semiconductor? ¿Qué valores puede tener la misma y qué significado tienen éstos?

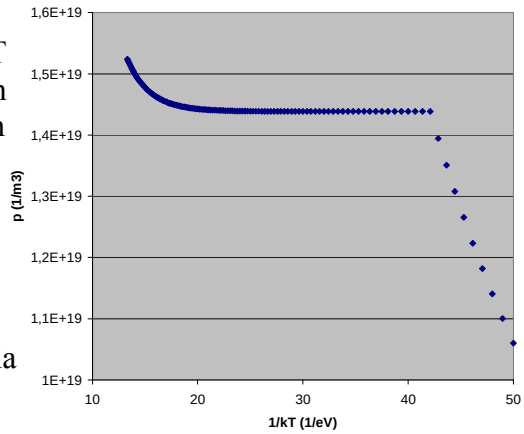
5B) Una pastilla de Si ha sido dopada con Na  átomos de B por $m^3$. A 360°K se ha ionizado la mitad de las impurezas. Calcular los valores de $E_F$, p, n y Na. Hacer un esquema de bandas que represente esta situación donde se respete la escala de energía y se asigne valores a los niveles. Hacer una representación de $\ln\sigma$ vs 1/KT para este semiconductor señalando en el gráfico el punto correspondiente a la situación anterior.
Eg=1,12eV, Ei=0,045eV, Nc (300°K)=$2{,}8\ 10^{19}\ cm^{-3}$ , Nv(300°K)=$1{,}04\ 10^{19}\ cm^{-3}$

## Coloquio 10-02-10

**1)** Sobre un gas de electrones libres inciden fotones de longitud de onda igual a 0,024 Å.
a) Dibujar el espectro de la radiación dispersada a 30° de la dirección incidente. Comparar con el espectro que hubiera obtenido de tratarse de una delgada lámina de niquel. Explicar.
**b)** Encontrar la energía cinética suministrada al electrón por un fotón que se dispersó en la dirección mencionada.
**c)** Encuentre las componentes del momentum lineal del electrón

**2)** Un electrón a una velocidad de $10^5$m/s atraviesa un escalón de energía potencial cuya altura, $E_0$, duplica la energía cinética que lo animaba, $\mathbf{E_c}$.
a) Encontrar la función de onda en todo el espacio.
b) Calcular la distancia de penetración d para la cual la magnitud de la función de onda cae e-1 de su valor respecto del borde de la barrera (x = 0).

**3)** El esquema representa la densidad de huecos como función de 1/kT en una oblea de Ge dopada con B. (Eg=0,67eV, Ei=0,012eV son respectivamente la energía del gap y la energía de ionización del B en Ge.)
a)  Explicar la forma del gráfico. Estimar p en cada región.
b) Indicar la región en la cual p= $N_A^-$. Es neutro el material a estas temperaturas?
b) Estimar la concentración de impurezas existentes
c) Representar sobre el gráfico la variación con la temperatura de la concentración de portadores si la muestra fuera intrínseca.




**4)** Un juntura PN se construye con Ge dopado con B ($N_A=10^{14}cm^{-3}$) y Ge dopado con P (Ei=0,010eV y $N_D=1{,}7\ 10^{14}cm^{-3}$) cuyas energías de ionización son aproximadamente iguales.
a) Como se origina el potencial de contacto? Haciendo las consideraciones que considere adecuadas evaluar el potencial de contacto.
b) Como se origina la zona de agotamiento? Comparar el espesor de la zona de agotamiento a ambos lados de la juntura.
c) Como influye una polarización directa sobre el ancho de la zona de agotamiento?

## Coloquio: 17 de febrero de 2010

**1)** Cierta placa metálica se ilumina con luz de una frecuencia definida. La emisión de fotoelectrones se encuentra condicionada por:
a) la intensidad de la iluminación
b) el tiempo de exposición a la luz

c) el área de la placa
d) el material de la placa?

**Justifique cada respuesta**

**2)** Indique el conjunto de números cuánticos que caracteriza cada una de las siguientes interacciones y de la expresión para la energía en cada caso si un electrón sufre dicha interacción y actua un campo magnético de módulo Bo :

**a)**

$$Ep = \begin{cases} 0 & si \quad x \in [0,a] \\ \infty & para \quad otro \quad x \end{cases}$$

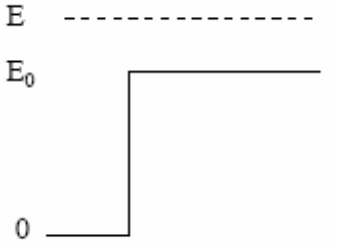
**b)**

$$Ep(r) = \frac{-e^2}{4\pi\varepsilon_o r}$$

**c)**

$$Ep = \begin{cases} 0 & si \quad x \in [0,a],\ y \in [0,b]\ z \in [0,c] \\ \infty & para \quad otros \quad (x,y,z) \end{cases}$$

**3)** Una partícula de energía E incide desde la izquierda en un campo de energía potencial como el de la figura.
**a)** Escribir la función de onda y las condiciones de contorno.
**b)** Hallar el momentum de la partícula en todo el espacio.
**c)** Hallar la frecuencia de la onda asociada.




**4)** Usar la teoría de bandas para explicar las siguientes observaciones: La mayoría de los aislantes son transparentes al espectro visible, los semiconductores son transparentes al infrarrojo, todos los metales son opacos a la luz de cualquier longitud de onda.
Visible: $\lambda \in [0{,}35\text{-}0{,}78]\mu m$ IR: $\lambda \in [0{,}78\text{-}100]\mu m$

**5)** Un material semiconductor cuya concentración intrínseca es $10^{12}$ $cm^{-3}$, se dopa con una concentración de impurezas aceptoras $N_A$ =2,236 $10^{12}$ $cm^{-3}$, a temperatura ambiente ($k_BT$ =0.025 eV). Suponiendo ionización total de las impurezas:
**a**) Determinar las concentraciones de electrones y huecos,
**b)** Calcular la posición del nivel de Fermi respecto al extremo inferior de la banda de conducción (EC) sabiendo que la anchura de la banda prohibida es $E_G$=1.2 eV.
**c)** Dibujar un esquema de los niveles energéticos más relevantes del sistema.

**Coloquio 23/02/10**

1) La función trabajo del Cu es φ=4,65eV. La energía de la primera ionización del átomo libre de cobre es 7,726eV. Explicar A) a que atribuye la diferencia entre la función trabajo y la energía de ionización del átomo de cobre B) si un haz de fotones con λ=2 ángstrom incide sobre una delgada lámina de cobre que efecto será más probable, fotoeléctrico o Compton C) Cuales serían la energía y longitud de onda de de Broglie del electrón dispersado en cada caso?
2) A) Cuales son las condiciones de contorno que deben satisfacer las soluciones de la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo? Explicar su sentido físico. B) Explicar la relación existente entre el momento magnético orbital y el impulso angular orbital del electrón de un átomo de H. C) Describir e interpretar los resultados de la experiencia de Stern-Gerlach.
3) Una pastilla de Si (Eg=1,14eV) dopada con P (Ei=0,045eV) tiene, a 300K el 90% de sus impurezas ionizadas. A) Hallar n, p, $N_D$. Hacer una gráfica de n(T), indicar en que región de la curva se encuentra la situación analizada. Explicar. B) Expresar la conductividad del semiconductor a dicha temperatura. (Dejarla en función de las

movilidades $\mu_n$ y $\mu_p$) C) Hallar $E_F$ a 600K. Ubicar n(600K) en la curva anterior. A 300K Nc=2,8.$10^{19}$$cm^{-3}$ y Nv=1,04.$10^{19}$$cm^{-3}$.

4) Se construye una juntura difundiendo impurezas donoras y aceptoras desde las caras opuestas de una pastilla de semiconductor. Su potencial de contacto es $V_C$. A) A partir de la estructura de bandas de los semiconductores, analizar cual sería el rango de temperaturas en que debe operar la juntura. B) Si la juntura se polariza en inversa con un potencial $V_0$. Hallar la expresión de la corriente a través de la juntura. C) Representar gráficamente la curva característica correspondiente. Describir lo que ocurre a medida que aumenta el valor absoluto del potencial.

**Coloquio 3/3/2010**

**1)** Un átomo de H está en el estado n=6. El átomo emite un fotón de 1090 nm. Determine la máxima magnitud del momentum angular (orbital) del electrón después de la emisión.

**2)** Supongo que se mide el momento de una cierta particula con una precision relativa $\Delta p/p = 10^{-3}$ Determine la minima incerteza en la posición de la particula si:
a) su masa es de 5x$10^{-3}$ kg y su velocidad es de 2m/s.
b) es un elctron con velocidad 1,8 x $10^{8}$cm/s.

**3)** Explica el comportamiento en función de la temperatura de un semiconductor dopado con impurezas aceptoras desde las proximidades del 0 absoluto hasta la zona intrínseca (600 K), utilizando diagramas de bandas de energía.

**4)** En una pastilla de Si dopada con P, el número de impurezas ionizadas es, a 300K, 4/5 del total de impurezas. Se dopa con B una segunda pastilla de Si y a 300K la fracción de impurezas ionizadas es igual a la de la pastilla anterior. A) Hallar la concentración de electrones en la banda de conducción de una y otra pastillas. B) Hallar $N_D$ y $N_A$. C) Si con ambas pastillas fabricamos una juntura abrupta cual será su potencial de contacto? Datos: Eg=1,12eV. Las energías de ionización de P en Si y de B en Si son aproximadamente iguales Ei=0,045eV. Las concentraciones específicas de estados a 300K son Nc=2.86x1019 cm-3 y Nv=3,10x1019 cm-3 en las bandas de conducción y de valencia respectivamente**.**

**Coloquio 30/6/2010**

**1.** Para radiación de λ=1500 Å que incide sobre una superficie de aluminio cuya función trabajo es de 4.2 eV, calcule **(a)** La energía cinética máxima de los fotoelectrones emitidos; **(b)** su longitud de onda de de Broglie; **(c)** el potencial de frenado; **(d)** la frecuencia umbral del aluminio.

**2.** La energía del electrón libre mas energético en un cubo metálico de lado a es $\frac{12\hbar^2\pi^2}{2ma^2}$ (pozo de potencial tridimensional infinito). Cual será el numero máximo de electrones libres en este sistema si estos responden a: 1.1) la estadística de Maxwell-Boltzmann? 1.2) la estadística de Fermi-Dirac?

**3.** Expresar la función de onda genérica de los electrones sometidos al potencial periódico que es consecuencia de la distribución de los iones de la red cristalina del sólido. Analizar su significado.

**4.** En una pastilla de Si dopada con P, el número de impurezas ionizadas es, a 300K, 4/5 del total de impurezas. A) Hallar la concentración de electrones en la banda de conducción, B) Hallar $N_d$, C) Hallar la conductividad a 300K. D) Representar ln(σ) vs 1/T para toda T, explicar la curva y localizar en la curva el caso calculado.

***Datos**: $E_g$=1,12eV. La energía de ionización de P en Si es Ei=0,045eV. Las concentraciones específicas de estados a 300K son $N_c$=2.86x$10^{19}$ $cm^{-3}$ y $N_v$=3,10x$10^{19}$ $cm^{-3}$ en las bandas de conducción y de valencia respectivamente. Las movilidades son $\mu_N$ (300K)~1600 $cm^2/Vs$ y $\mu_P$ (300K)~430 $cm^2/Vs$ para electrones y huecos respectivamente.*

**Coloquio 7/7/2010**

1. A) Una lámina de níquel es bombardeada con fotones de λ=0,2nm explicar cual es el efecto más probable de ésta interacción. B) La misma lámina es bombardeada con electrones acelerados con una diferencia de potencial de 40 keV, explicar cual es el efecto más probable de ésta interacción. Justificar todas las respuestas

2. Analicemos los electrones en una lámina metálica cuadrada de lado a y espesor e=a/10 con el modelo cuántico del electrón libre ¿Cuantos electrones habrá en el nivel fundamental? ¿Cual será su λ de de Broglie? ¿Cual será su frecuencia asociada? Repetir para el siguiente nivel. ¿Cual será su degeneración? La energía de Fermi es 4eV, que representa la energía de Fermi?

3. Una pastilla de silicio está dopada con fósforo cuya concentración es $10^{19}m^{-3}$. A) Hallar la energía del nivel donor y la energía de Fermi a temperatura ambiente (300K). Justificar cualquier aproximación que realice. B) Hallar la expresión de la conductividad de este semiconductor como función de T entre 0 y 300K. C) Hacer una gráfica de ln(σ) vs 1/KT para toda T dando cuenta de los parámetros característicos de la curva. Explicar el comportamiento de la conducción eléctrica en este semiconductor.

*Datos a 300K*:

**Eg=1.12eV, Nc=2.8x10$^{25}$ m$^{-3}$ , Nv= 1.04x10$^{25}$ m$^{-3}$, ni=6.68x10$^{15}$ m$^{-3}$, Ei=0,045 eV, μn=0,1600 m$^2$.V$^{-1}$.s$^{-1}$ y μp=0,043 m$^2$.V$^{-1}$.s$^{-1}$ supuestas constantes.**

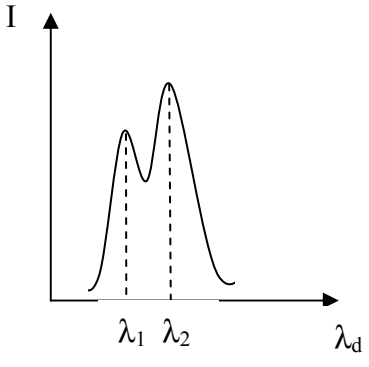
4. Con la pastilla de Si del problema anterior y otra dopada con boro se construye una juntura NP cuyo potencial de contacto es a 300K de 0,25eV. Hallar la energía de Fermi del semiconductor tipo P. Si la corriente inversa de saturación es de $10^{-13}$ A, cual será la corriente a través de la juntura si se la polariza en directa con un potencial de 100mV?

Coloquio 14/07/2010

1. Un átomo emite fotones de luz verde, $\lambda$ = 5200Å durante un intervalo $\tau = 2 \times 10^{-10}$ s. Estime la dispersión, $\Delta\lambda$, en la longitud de onda de la luz emitida.
2. Determinar los momentos magnéticos posibles en un nivel energético $n$ = 3. ¿Qué predice la teoría de Bohr?.
3. Sabiendo que la energía de Fermi para el cobre es de 7.0 eV, determinar a 1000 K la energía E a la cual la probabilidad de que un electrón de conducción ocupe este estado es *del 90%*.
4. Una muestra de Ge tipo N posee una concentración de impurezas donadoras dada por $N_D = 10^{15}$ cm$^{-3}$. Determinar la concentración de electrones y huecos a 500 K sabiendo que la concentración intrínseca viene dada por la expresión $n_i = CT^{3/2} \exp(-Eg/(2kT))$ , siendo C = 1,91 $10^{21}$ m$^{-3}$K$^{-3/2}$, Eg = 0,67 eV.
5. Una unión p-n abrupta presenta $N_A = 10^{17}$ cm$^{-3}$ en el lado $p$ y $N_D = 10^{16}$ cm$^{-3}$ en el lado $n$. A 300 K, **(a)** calcule los niveles de Fermi, dibuje el diagrama de bandas en equilibrio y halle el potencial de contacto a partir del anterior diagrama; **(b)** Calcule la anchura de la región de agotamiento y el valor del campo eléctrico en esta región.

Coloquio 21/7/2010

1) Un haz de fotones de 7keV es dispersado al interactuar con una lámina de cobre. A 90$^o$ de la dirección de incidencia se registra un espectro como el de la figura. A) Dar los valores de $\lambda_1$ y $\lambda_2$ B) Indicar que representa cada uno de estos máximos C) Dar la longitud de onda de de Broglie del electrón dispersado.




2) El efecto Zeeman se evidencia cada vez que el espectro emitido por un gas de átomos, en presencia de un campo magnético B, presenta un desdoblamiento de las líneas que se observan en el espectro emitido sin aplicar campo. A) explicar el origen del desdoblamiento B) Dar cuenta del desdoblamiento de la longitud de onda de la radiación emitida por un gas de átomos de hidrógeno en una transición 3d→2p en presencia de un campo B. Representar esta transición.

3) La densidad de electrones en Si (Eg=1,12 eV) dopado con impurezas donoras ($E_i$=0,045eV) es, a 300K, n=1,8969 $10^{18}$ cm$^{-3}$. Las concentraciones específicas de estados a 300K en las bandas de conducción y

de valencia respectivamente son $N_c=2.86x10^{19}$ $cm^{-3}$ y $N_v=3,10x10^{19}$ $cm^{-3}$. Hallar la concentración de impurezas donoras (no todas están ionizadas).

4) Con el semiconductor del problema anterior y un Si dopado tipo P se fabrica una juntura cuyo potencial de contacto es 1 V a 300K. Al polarizar la juntura en directa con 0,5 V da paso a una corriente I=26 μA. Cuanto valdrá la corriente entregada si se aplica una polarización inversa de igual magnitud? Cuanto valdrá la energia de Fermi del semiconductor tipo P?

**Coloquio 4 de agosto de 2010**

**5.** Se bombardean dos láminas metálicas con electrones acelerados a 40kVolt. Una de las láminas es de cobre y la otra es de níquel. Que efecto resultará de estas interacciones. Que características serán iguales y que permitiría diferenciar cada lámina?

**6.** Un conjunto de átomos de hidrógeno, excitados, tienen ocupado el estado con n=2. En presencia de un campo magnético B en dirección z, cuales serán las posibles orientaciones del impulso angular del electrón en el espacio.

**7.** Representar el potencial al que se encuentran sometidos los electrones como consecuencia de la distribución de los iones de la red cristalina de un sólido. Expresar la función de onda genérica que representa a dichos electrones. Cuales serán sus condiciones de contorno. Analizar su significado.

**8.** Una pastilla de Si fue dopada con Arsénico de modo tal que a temperatura ambiente el 75% de las impurezas se encuentran ionizadas. A) Hallar la densidad de electrones y de huecos. B) Hallar la conductividad del material a 300K suponiendo que la movilidad de los portadores es independiente de su concentración ($\mu_e/\mu_h$~3 es la relación entre las movilidades de electrones y huecos). Justificar cualquier aproximación que se realice.

*Datos a 300K: La concentración intrínseca es $n_i=10^{10}cm^{-3}$, la conductividad intrínseca es 3,125 $x10^{-6}$ $(\Omega cm)^{-1}$, $E_g=1,12eV$, la energía de ionización del As es $E_i=0,054eV$ y las concentraciones específicas de estados de las bandas de conducción y valencia son respectivamente $N_C=3,2x10^{19}$ $cm^{-3}$ y $N_V=1,8x10^{19}$ $cm^{-3}$.*

**1)** Se bombardean dos láminas metálicas con electrones acelerados a 40kVolt. Una de las láminas es de cobre y la otra es de níquel. Que efecto resultará de estas interacciones. Que características de cada evento serán iguales y que permitiría diferenciar cada lámina?

**2)** Se tienen 7 electrones en un pozo de paredes infinitas de lados a, b=c=a/√3. Si el sistema se encuentra en el estado fundamental:
**a)** Realice un esquema del estado del sistema. Calcular la energía total.
**b)** Se bombardea el sistema con fotones cuya energía es $4\hbar^2\pi^2/2ma^2$. Indicar la configuración final.
**c)** Se bombardea el sistema con electrones libres cuya energía es 4ħ2 π2/2ma2. Indicar el primer estado excitado del sistema.

**3)** Un sólido unidimensional tiene una constante de red (distancia interatómica) a = 0.3 nm y su última banda llena tiene una energía **electrónica** de la forma *E(k) = 5eV + 3eV cos ka*
**a)** Halle la aceleración que sufre un electrón de 6,5 eV energía cuando se aplica un campo de 2 $l0^4$ V/cm.
**b)** Halle la masa efectiva de los huecos que se pueden formar en el borde superior de la banda.

**4)** En una unión p-n abrupta de Germanio (Eg = 0.67eV) a 300K el potencial de contacto es 0.386V y la energía de Fermi del lado n es: Efn = 0.49eV
**a)** Calcular la energía de Fermi del lado p.
**b)** Obtener las concentraciones de impurezas aceptoras NA y donoras ND con las que se dopó el Germanio.
**c)** Dibuje el diagrama de bandas en equilibrio: indique niveles de Fermi y potencial de contacto.
Justifique cualquier hipótesis que haga.
**Datos**: las densidades efectivas de estados en las bandas de conducción y de valencia son respectivamente: Nc= 1.016 $10^{25}$ $m^{-3}$; Nv=5.601 $10^{25}$ $m^{-3}$ y la concentración intrínseca es ni = 1,79 $10^{19}$ $m^{-3}$.