Fundamentos de Física III
Soluciones exámenes curso 2014-2015

Samuel Gómez Fernández
ciencia@samuelgomez.es

Manuel González Gálvez
galvez29@gmail.com

26 de agosto de 2018

Contenidos

Preámbulo

Uno de los problemas a los que nos enfrentamos los estudiantes universitarios en general y de la UNED en particular es la de conseguir exámenes resueltos que nos permitan orientarnos en la titánica tarea de preparar una asignatura.

La cantidad de temario y de ejercicios que la bibliografía básica resulta ser virtualmente imposible de abarcar en un cuatrimestre teniendo así el alumno la misión de encontrar un faro que ilumine su camino en la búsqueda del modelo de examen al que se enfrentará.

Preparando esta asignatura nos dimos cuenta de que no estaban disponibles todos los exámenes resueltos, de tal manera que tomando el consejo[1] del divulgador Javier Santaolalla[2] para preparar exámenes nos lanzamos a resolver los problemas que tienes en tus manos. Sean estas páginas las estrellas que te guíen en tu viaje hacia el éxito en tus estudios.

---

[1] https://youtu.be/IRwrAMdpd18

[2] Twitter @JaSantaolalla

1. Examen 1ª semana de febrero de 2015

Ejercicio 1.1. Bacteria cuántica

Una pequeña bacteria con una masa de aproximadamente 10×10^{-14} kg está confinada entre dos paredes rígidas separadas $L = 0{,}1$ mm

a) Estime su velocidad mínima (cuántica) de desplazamiento. ¿Dado su orden de magnitud, entra el resultado dentro del ámbito clásico o cuántico? Justifique su respuesta

b) Si, en vez de ello, su velocidad es de apróximadamente 1 mm cada 100 s, estime el número cuántico de su estado. ¿Dado su orden de magnitud, entra el resultado dentro del ámbito clásico o cuántico? Justifique su respuesta.

Solución

a) Se trata de un problema de ecuación de Schrödinger aplicado a un pozo unidimensional infinito donde su velocidad mínima será su estado de mínima energía. Por una parte su estado de mínima energía es

$$E_{mín} = E_1 = \frac{h^2}{8mL^2} \tag{1}$$

Por otra parte, podemos hallar su velocidad mínima despejando la velocidad a partir de la expresión de la energía cinética $E = \frac{1}{2}mv^2$ quedando así:

$$v_{mín} = \sqrt{\frac{2E_{mín}}{m}} \tag{2}$$

Sustituyendo la ecuación 1 en la ecuación 2 obtenemos:

$$v_{mín} = \sqrt{\frac{2\frac{h^2}{8mL^2}}{m}} = \frac{h}{2mL} = \frac{h}{2 \cdot 10 \times 10^{-14} \cdot 0{,}1 \times 10^{-3}} = 3{,}313 \times 10^{-17}\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Es una velocidad muy baja debido a que la bacteria pertenece al mundo de la Física Clásica no de la Física Cuántica

b) La velocidad v indicada en el enunciado es de 1 mm cada 100 s, esto es $1\,\mathrm{\mu m \cdot s^{-1}}$ así pues buscamos su estádo energético que depende de su energía cinética.

$$E_c = E_n = \frac{1}{2}mv^2 \tag{3}$$

pero también ocurre que disponemos de otra fórmula para obtener la energía en el enésimo estado cuántico:

$$E_n = n^2 \cdot E_1 \tag{4}$$

Igualamos las ecuaciones 3 y 4 y sustituimos E_1 por la ecuación 1

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 = n^2 E_1 = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$$

De esta igualdad nos quedamos con el segundo y cuarto miembro. Finalmente despejamos n para obtener:

$$n = \frac{2mvL}{h} = \frac{2 \cdot 10 \times 10^{-14} \cdot 1 \times 10^{-6} \cdot 0{,}1 \times 10^{-3}}{h} \approx 3 \times 10^{10}$$

Se trata de un estado cuántico muy elevado, tal y como esperabamos puesto que la bacteria pertenece a la Física Clásica y no a la Física Cuántica

Ejercicio 1.2. Electrones en la plata

La resisitividad de la plata, con número atómico $A = 108$, a una temperatura igual a $273\,\mathrm{K}$ es $1{,}5 \times 10^{-8}\,\Omega\,\mathrm{m}$, su densidad es $10{,}5 \times 10^{3}\,\mathrm{kg} \cdot \mathrm{m}^{-3}$ y la energía de Fermi es $E_f = 5{,}5\,\mathrm{eV}$. Suponiendo que cada átomo contribuye en un electrón a la conducción, calcule cuánto vale el cociente entre el recorrido libre medio y el interespaciado atómico: λ/d.

Solución

Calculemos el número de átomos por metro cuadrado teniendo en cuenta que la densidad debe ser dada en gramos por metro cúbico:

$$n = \frac{N_A}{A} \cdot densidad = \frac{N_a}{108} \cdot 10{,}5 \times 10^{6} = 5{,}854 \times 10^{28}\text{átomos}$$

Ahora hallaremos la distancia entre átomos[3] $d = d_{distancia}$ mediante la fórmula $d^3_{distancia} = 1/n_{átomos}$.

$$d_{distancia} = d = \sqrt[3]{\frac{1}{n_{átomos}}} = \sqrt[3]{\frac{108}{N_A \cdot \text{densidad}}} = 2{,}5753\,\text{Å} \tag{5}$$

Finalmente debemos hallar λ y la obtenemos despejando de la fórmula de la resistencia:

$$\rho = \frac{m_e v_m}{n_e e^2 \lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{m_e v_m}{n_e e^2 \rho}$$

$$\lambda = \frac{m_e\sqrt{\frac{2E_f}{m_e}}}{n_e e^2 \rho} = \frac{\sqrt{2E_f m_e}}{n_e e^2 \rho} = 56{,}2124\,\mathrm{nm} \tag{6}$$

La relación que nos piden es $\frac{\lambda}{d_{distancia}}$ y esta se obtiene de las ecuaciones 5 y 6 quedando así:

$$\frac{\lambda}{d_{distancia}} = \frac{56{,}2123\,\mathrm{nm}}{0{,}257\,53\,\mathrm{nm}} = 218{,}2747$$

Ejercicio 1.3. Muones fugaces

La vida media de los muones en reposo (tiempo propio) es $2{,}2\,\mu\mathrm{s}$, mientras que la vida media cuando están contenidos en los rayos cósmicos se encuentra que es aproximadamente $15\,\mu\mathrm{s}$. Conteste entonces a las siguientes preguntas:

a) ¿Cuál es la velocidad de estos muones procedentes de los rayos cósmicos?

[3] Emplearemo la notación $d_{distancia}$ para no confundir con d de densidad

b) ¿Cuánta distancia recorrerán antes de desintegrarse en un sistema de referencia en el cual su velocidad de 0,6c?

c) Compare la distancia del punto anterior con la distancia que el muón "ve"mientras está viajando.

Solución

a) Para un observador en reposo la vida de un muón parece transcurrir a cámara lenta. Esta es la razón por la que el tiempo de desintegración será mayor para un observador estático. El tiempo se dilata en un factor γ. Sea $\tau_0 = 15\,\mu\text{s}$ la vida media en reposo y $\tau = 2{,}2\,\mu\text{s}$ la vida media en movimiento tenemos la relación $\tau_0 = \gamma \cdot \tau$. Desarrollando γ tenemos:

$$\tau_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

Nos piden la velocidad luego debemos despejar v quedando así:

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^2} = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{11}{75}\right)^2} = 0{,}989 \cdot c$$

que es la velocidad que pedían.

b) Cuanto más rápido se mueve mayor es el tiempo que tarda en desintegrarse para un observador externo. Para el observador en reposo el tiempo que transcurre hasta que se desintegra es

$$t_0 = \gamma t = \frac{1}{\sqrt{1 - 0{,}6^2}} \cdot 2{,}2\,\mu\text{s} = 2{,}75\,\mu\text{s}$$

Una vez calculada la dilatación temporal γ la distancia se puede obtener despejando s de la ecuación $v = \frac{s}{t}$. Así pues, en este tiempo, el muón recorre:

$$s = v \cdot t = 0{,}6 \cdot c \cdot 2{,}75\,\mu\text{s} = 495\,\text{m}$$

c) Para el muón la longitud a altas velocidades se contrae según el factor γ

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0{,}6 \cdot c}{c}\right)^2}} = \frac{5}{4}$$

Por otra parte, la expresión $l_0 = \gamma l$ relaciona la longitud en reposo l_0 y la longitud para un observador que se mueve a velocidades relativistas l. Sustituimos γ por el resultado obtenido y obtenemos:

$$l = \frac{1}{\gamma} \cdot l_0 = \frac{4}{5} \cdot 495\,\text{m} = 396\,\text{m}$$

que resulta ser $\frac{4}{5} = 0{,}8$ veces inferior a la obtenida en el apartado anterior.

2. Examen 2ª semana de febrero de 2015

Ejercicio 2.1. Bola cuántica

Una bola de 1,0 g puede rodar libremente dentro de un tubo de longitud $L =$ 1,0 cm. El tubo está tapado por ambos extremos. Si modelamos el sistema como un pozo unidimensional infinito:

a) Determine el valor del número cuántico n si damos a la bola una energía de 1,0 mJ.

b) Calcule la energía de excitación que hay que proporcionar a la bola para elevarla al siguiente nivel de energía.

c) Comente los órdenes de magnitud obtenidos en los apartados anteriores.

Solución

a) Antes de calcular el enésimo estado es necesario calcular el pimero que es el estado de mínima energía E_1

$$E_1 = \frac{h^2}{8mL^2} = \frac{h^2}{8 \cdot 10 \times 10^{-3} \cdot 10 \times 10^{-2}} = 5{,}488 \times 10^{28}\,\mathrm{J} = 3{,}4254 \times 10^{-42}\,\mathrm{eV}$$

Ahora podemos aplicar la fórmula. Despejamos la n de $E_n = n^2 E_1$ y obtenemos:

$$n = \sqrt{\frac{E_n}{E_1}} = \sqrt{\frac{10 \times 10^{-3}}{5{,}488 \times 10^{-61}}} = 4{,}2687 \times 10^{28}$$

Sin duda, se trata de un estado cuántico muy alto, como era previsible ya que la bola de la que trata el problema no es un objeto cuántico sino clásico.

b) El siguiente nivel de energía corresponderá al estado $n+1$ para calcularlo

$$\Delta E = E_{n+1} - E_n = (n+1)^2 E_1 - n^2 E_1 = E_1(n^2 + 1 + 2n - n^2)$$

Simplificamos y seguimos

$$E_1(2n+1) = E_1\left(2\sqrt{\frac{E_n}{E_1}} + 1\right) = 2\sqrt{E_n E_1} + E_1$$

Sea $E_n = 10 \times 10^{-3}$ J la energía aportada según el enunciado y E_1 el valor obtenido en el primer apartado de este ejercicio reemplazamos la expresión obtenida por los valores numéricos:

$$\Delta E = 2\sqrt{10 \times 10^{-3} \cdot 5{,}488 \times 10^{-61}} + 5{,}488 \times 10^{-61}$$

Y finalmente obtenemos la energía que habría que aportar para pasar al siguiente estado cuántico:

$$\Delta E = 4{,}6853 \times 10^{-32}\,\mathrm{J} = 2{,}93 \times 10^{-13}\,\mathrm{eV}$$

c) Se trata de estádos cuánticos muy elevados y diferencias energéticas muy bajas propias de objetos no relativistas

Ejercicio 2.2. Molécula diatómica

Suponga que una molécula diatómica tiene una energía potencial dada por:

$$U = -\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)\frac{e^2}{r} + \frac{B}{r^6}$$

con $B = 1{,}0 \times 10^{-78}$ J $\cdot$ m^6 donde r es la distancia entre los centros de los dos átomos. Determine la separación de equilibrio esperada de los dos átomos (longitud de enlace de la molécula).

Solución

En el punto de separación de equilibrio la función alcanza el valor más bajo de su energía potencial. Dicho mínimo puede ser obtenido calculando un mínimo de la gráfico. Para ello calcularemos su primera derivada y la igualaremos a cero.

Por simplificar, sea $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

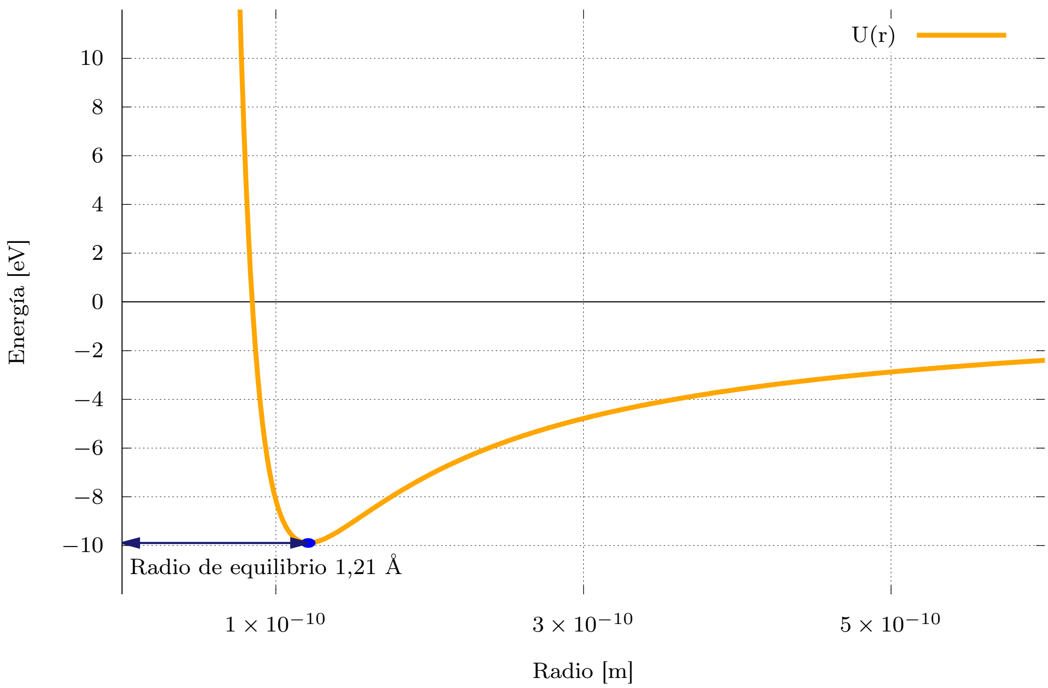
$$\frac{dU}{dr} = 0 = \frac{ke^2}{r^2} - \frac{6B}{r^7}$$

Si despejamos r obtenemos:

$$r = \sqrt[5]{\frac{6B}{ke^2}} = \sqrt[5]{\frac{6 \cdot 10^{-78}}{8{,}99 \times 10^9 e^2}} = 1{,}21 \times 10^{-10}\,\mathrm{m} = 1{,}21\,\text{Å}$$

El resultado lo podemos ver en la figura 1

Gráfico 1: Distancia entre núcleos



Ejercicio 2.3. Electrón rebelde en el núcleo

La función de onda de un electrón en un átomo de tipo hidrógeno en el estado fundamental expresada en coordenadas esféricas es:

$$\psi(r) = \frac{1}{\sqrt{\pi a^3}} e^{-r/a}$$

donde r es la coordenada radial, $a = a_0/Z$ y $a_0 \simeq 0{,}5\,\text{Å}$ es el radio de Bohr (la carga del núcleo $Z \cdot e$ y el átomo solo incluye un electrón). Si el número total de nucleones es $A = 173$ y el número atómico es $Z = 70$:

a) ¿Cuál es la probabilidad de que el electrón esté en el núcleo?

b) Exprese el resultado anterior en función del número total de nucleones A.

c) Sustituya valores y obtenga el valor numérico de esta propiedad.

Ayuda: A la hora de calcular la integral, realice una aproximación teniendo en cuenta que $R \ll a$ en el interior del núcleo (R es el radio del núcleo).

Solución

El tamaño de un núcleo atómico suele ser del orden de 10^{-15} metros, en nuestro caso partícular partícular:

$$R = r_0 \cdot A^{1/3} = 1{,}25 \times 10^{-15} \cdot 173^{1/3} = 6{,}9650 \times 10^{-15}\,\text{m} \tag{7}$$

Por otra parte, según el enunciado

$$a = \frac{a}{Z} = \frac{0{,}5 \times 10^{-10}}{70} = 7{,}1428 \times 10^{-13}\,\text{m} \tag{8}$$

Una vez obtenidos estos datos pasamos a desarrollar el problema

a) La probabilidad de que un electrón esté en el núcleo es a priori prácticamente nula. La fórmula para saber la probabilida a la que se encuentra del centro, a una distancia radial r del centro es

$$P(r) = 4\pi r^2 \mid \psi(r) \mid^2$$

Así, pues, la probabilidad de que se encuentre en algún punto comprendido entre $r = 0$ y $r = R$ donde R es el radio del núcleo puede calcularse así:

$$P = \int_0^R 4\pi r^2 \mid \psi(r) \mid^2 dr = \int_0^R 4\cancel{\pi} r^2 \frac{1}{\cancel{\pi} a^3} e^{-\frac{2}{a}r} dr = \frac{4}{a^3}\int_0^R r^2 \cdot e^{-\frac{2}{a}r} dr$$

El mundo es de los valientes Resulta tentador hacer uso de la calculadora para resolver esta integral sustituyendo con los valores obtenidos en las ecuaciones 7 y 8. En caso de proceder de esta manera obtenemos el resultado $1{,}2183 \times 10^{-6}$. No obstante, vamos a desarrollar la integral. Tenga el lector el valor suficiente como para acompañarnos bien pertrechado con una buena dosis de café si fuera necesario debido al aridez del ejercicio. Recuerde el lector que el símbolo matemático $\therefore$ significa por lo tanto.

Aplicamos la integración por partes, así pues

$$u = r^2 \therefore du = 2rdr$$
$$dv = e^{-\frac{2}{a}r} \therefore v = -\frac{a}{2}e^{-\frac{2}{a}r}$$

Obtenemos

$$-\frac{a}{2}R^2 e^{-\frac{2}{a}R} + a\int_0^R re^{-\frac{2}{a}r}dr$$

Volvemos a aplicar integración por partes una segunda vez

$$u = r \therefore du = dr$$
$$dv = e^{-\frac{2}{a}r} \therefore v = -\frac{a}{2}e^{-\frac{2}{a}r}$$

Y obtenemos

$$-\frac{a}{2}R^2 e^{-\frac{2}{a}R} + a\left(-\frac{a}{2}Re^{-\frac{2}{a}R} + \frac{a}{2}\int_0^R e^{-\frac{2}{a}r}dr\right) =$$
$$-\frac{a}{2}R^2 e^{-\frac{2}{a}R} - \frac{a^2}{2}Re^{-\frac{2}{a}R} + \frac{a^2}{2}\left(-\frac{a}{2}e^{-\frac{2}{a}R} + \frac{a}{2}e^0\right) =$$
$$-\frac{a}{2}R^2 e^{-\frac{2}{a}R} - \frac{a^2}{2}Re^{-\frac{2}{a}R} - \frac{a^3}{4}e^{-\frac{2}{a}R} + \frac{a^3}{4} =$$
$$\frac{4}{a^3}\left[e^{-\frac{2}{a}R}\left(-\frac{a}{2}R^2 - \frac{a^2}{2}R - \frac{a^3}{4}\right) + \frac{a^3}{4}\right]$$

Si sustituimos en este resultado por los valores de las ecuaciones 7 y 8 volvemos a obtener el resultado $1{,}2183 \times 10^{-6}$, como obtuvimos con la calculadora.

b) Nos piden el anterior resultado en función del número total de nucleones A, esto es, descomponer R según la fórmula $R = r_0 A^{1/3}$ quedando así

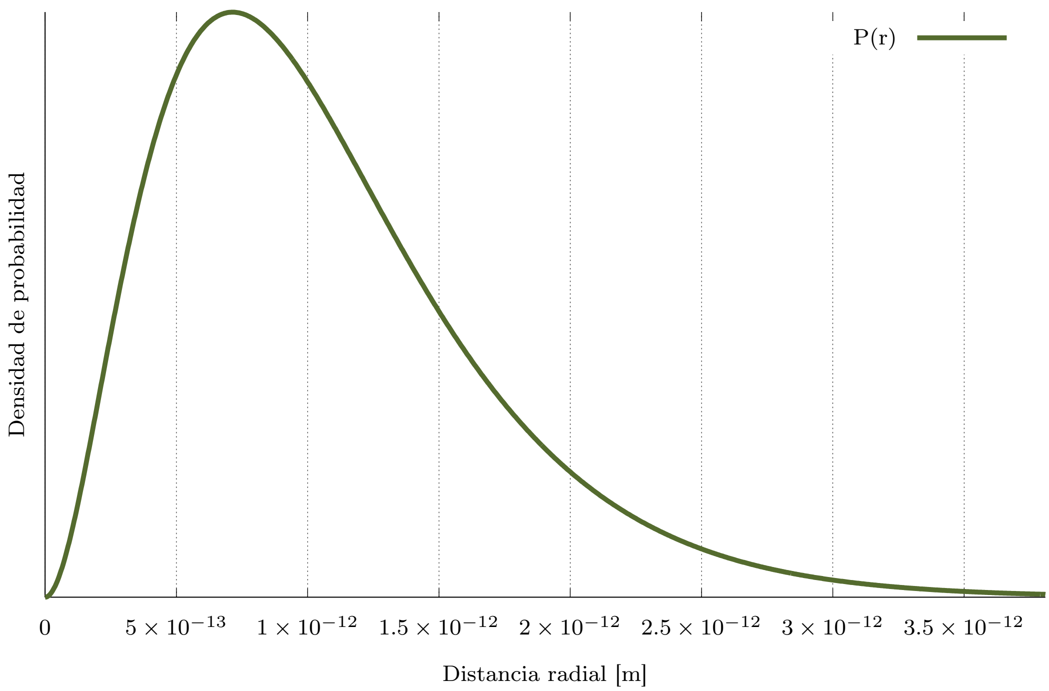
$$\frac{4}{a^3}\left[e^{-\frac{2}{a}r_0 A^{1/3}}\left(-\frac{a}{2}(r_0 A^{1/3})^2 - \frac{a^2}{2}r_0 A^{1/3} - \frac{a^3}{4}\right) + \frac{a^3}{4}\right]$$

c) En este útlimo apartado nos piden que realicemos la sustitución por valores numéricos. Recordemos que obteníamos el valor de $R = 6{,}9650 \times 10^{-15}$ m de la ecuación 7 y el de $a = 7{,}1428 \times 10^{-13}$ m de la ecuación 8, por otra parte los valores r_0 y A están indicados en el enunciado.

El resultado obtenido indica que la probabilidad de encontrar el electrón en el núcleo es infinitesimal tal y como habíamos previsto al principio. Dicho cálculo se realizó en el primer apartado del ejercicio y obtuvimos como resultado $1{,}2183 \times 10^{-6}$.

El resultado lo podemos ver en el gráfico 2

Gráfico 2: Probabilidad de encontrar el electrón en una posición concreta



3. Examen de septiembre de 2015

Ejercicio 3.1. Energía potencial de la partícula

Una partícula de masa m y energía total nula tiene una función de onda estacionaria definida por

$$\psi(x) = Axe^{-x^2/L^2}$$

A y L son constantes. Determine la energía potencial $U(x)$ de la partícula.

Solución

Usaremos la ecuación de Schrödinger independiente en el tiempo

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{d^2(x)}{dx^2} + U(x)\psi(x) = E\psi(x) \tag{9}$$

Para resolver esta ecuación debemos en primer lugar resolver la segunda derivada de $\psi(x)$

$$\frac{d\psi(x)}{dx} = Ae^{-\frac{x^2}{L^2}} - \frac{2}{L^2}Ax^2e^{-\frac{x^2}{L^2}} = Ae^{-\frac{x^2}{L^2}}\left(1 - \frac{2}{L^2}x^2\right)$$

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2} = -\frac{2}{L^2}xAe^{-\frac{x^2}{L^2}}\left(1 - \frac{2}{L^2}x^2\right) + Ae^{-\frac{x^2}{L^2}}\left(-\frac{4}{L^2}x\right) = \frac{Ae^{-\frac{x^2}{L^2}}}{L^2}x(4x^2 - 6)$$

Sustituyendo este resultado en la ecuación 9 y teniendo en cuenta que según el enunciado la energía es nula[4]

[4]Nota del autor: Por favor, si alguién descubre algún error en este ejercicio, ruego nos lo comunique para que los demás estudiantes que empleen el documento no lleguen a error

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\cdot\frac{Ae^{-\frac{x^2}{L^2}}}{L^2}x(4x^2-6)+U(x)Axe^{-\frac{x^2}{L^2}}=0$$

Finalmente simplificamos la ecuación[5] y despejamos la energía potencial $U(x)$ para obtener el resultado buscado

$$U(x)=\frac{\hbar^2}{2m}\cdot\frac{4x^2-6}{L^2}$$

Ejercicio 3.2. Electrones apantallados

Los electrónes más externos de un átomo detectan un núcleo protegido o apantallado debido a la influencia de los electrónes intermedios. La atracción del núcleo se modela entonces usando un átomo de tipo hidrógeno con número atómico efectivo Z'. Sea entonces un electrón externo del átomo de sodio que ocupa el nivel atómico 3s y cuya energía de ionización es 5,14 eV. Obtenga el valor de Z' para ese electrón del sodio.

Solución

La configuración electrónica $3s$ indica que $n=3$, pero un electrón apantallado se comporta parcialmente como si $Z=1$ es decir, como si en el núcleo solo hubiese una carga positiva. Calculamos la energía de dicho electrón apantallado en su estado fundamental

$$E_n=\frac{E_0}{n^2}=\frac{13{,}6}{3^2}=1{,}51\,\mathrm{eV}$$

Esta energía debería de ser 5,14 eV según el enunciado, es decir, su apantallamiento incrementa la energía de ionización real. Este hecho sirve para calcular la carga cuclear efectiva Z'. En primer lugar calculamos la energía que debería tener un electrón cuyo $Z=Z'$, teniendo en cuenta la relación $r_{electrón}=n^2a_0$ para poder sustituir en el segundo paso:

$$E_{ionización}=-\frac{1}{2}\frac{kZ'e^2}{r}=-\frac{1}{2}\frac{kZ'e^2}{9\cdot a_0}=\frac{Z'}{9}\cdot\frac{ke^2}{2a_0}=\frac{Z'}{9}\cdot 13{,}6\,\mathrm{eV}$$

Despejando Z' llegamos a la conclusión final

$$Z'=\frac{9\cdot E_{ionización}}{13{,}6\,\mathrm{eV}}=3{,}4$$

Ejercicio 3.3. Indio

El In (indio) como superconductor tiene una temperatura crítica $T_c=3{,}4\,\mathrm{K}$. Calcule lo siguiente:

a) El gap de energía del superconductor según la teoría BCS

b) La máxima longitud de onda del fotón que rompería el par de Cooper en el In.

[5] Basta sacar factor común y llevárselo al segundo miembro para que se anule y desaparezca de la ecuación

Solución

a) La solución para hallar el gap que nos piden es de aplicación directa. Simplemente hay que sustituir en la fórmula

$$E_g = \frac{7}{2} k_b T_c = 1{,}64 \times 10^{-22}\,\mathrm{J} = 1{,}025\,\mathrm{meV}$$

b) Para la energía obtenida en el apartado anterior debemos obtener la longitud de onda correspondiente a partir de $E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda}$

$$\lambda = \frac{hc}{1{,}64 \times 10^{-22}} = 1{,}21 \times 10^{-3}\,\mathrm{m}$$

Ejercicio 3.4. Procesos de desintegración

De los dos procesos de desintegración siguientes, decida cuál es posible y por qué (tenga en cuenta carga, número leptónico y número bariónico). Especifique a través de qué interacción se produce ese proceso.

$$\Sigma^- \to \pi^- + \eta; \qquad \Sigma^- \to \pi^- + p$$

Solución

Primer proceso	Σ^-	π^-	η	cumple
carga	-1	-1	0	sí
nº leptónico	0	0	0	sí
nº bariónico	+1	0	0	no
extrañeza	-1	0	0	no

Segundo proceso	Σ^-	π^-	p	cumple
carga	-1	-1	+1	no
nº leptónico	0	0	0	sí
nº bariónico	+1	0	+1	sí
extrañeza	-1	0	0	no

Interacción De las cuatro interacciones posibles las dos candidatas son la fuerza nuclear fuerte y la débil. Si la extrañeza se conserva será la primera de las dos, y si no se conserva será la segunda.

En este caso vemos que se trata de la fuerza nuclear débil ya que no se conserva la extrañeza en ninguno de los dos casos.