



UNIVERSIDAD SIMON BOLIVAR  
División de Física y Matemáticas  
Departamento de Física

# **FISICA MODERNA: BASES EXPERIMENTALES**

*Física V*  
**FS 2213**

*Problemario propuesto por:*

*Estrella Abecassis de Laredo*  
*Alfredo Bello*

*Abril 2001*



## INTRODUCCION

El curso de Física V es el último de la serie de Físicas Generales que son parte del ciclo básico de las carreras de ingeniería de la Universidad Simón Bolívar.

El curso comprende como se ve en el programa oficial adjunto, toda la física ondulatoria, ondas mecánicas, ondas sonoras, ondas electromagnéticas, interferencia y difracción. Luego se introduce la física moderna empezando con los experimentos que llevaron a sentar las bases de la física actual y los modelos que se propusieron para explicar estos experimentos.. Se adoptará el desarrollo histórico de esta fascinante etapa de descubrimientos en física que llevó a abandonar conceptos y creencias que habían sido firmemente afianzados en el Siglo XIX. El principio del siglo XX fue una época sumamente fértil para la generación de ideas, y los gigantes que fueron los protagonistas de esa revolución aún son hoy día admirados y respetados. En el transcurso del curso veremos como la ingenuidad de algunos llevó a postular principios y teorías que desafiaban el sentido común pero que eran necesarias cuando uno reducía la escala de observación a escalas atómicas y como estos nuevos conceptos tenían como casos particulares la física clásica cuando aumentábamos la escala de nuestros experimentos a dimensiones usuales en la vida diaria. Así la mecánica clásica y las leyes de Newton que seguirán siendo válidas para describir el desplazamiento de un carro, un patinador, un jet o un cohete, no se cumplen si las queremos aplicar a un electrón que se mueve en un acelerador de partículas. Entonces debemos recurrir a la mecánica relativista que se reduce a la mecánica clásica si las velocidades involucradas son mucho menores que la velocidad de la luz,  $c$ . Es de hacer notar que en esa época habían pocos experimentos que indicarán el camino a seguir. Algunos modelos o teorías fueron propuestos sin base experimental y esta vino mucho después, mientras que otros fueron enunciados debido a experimentos cuyos resultados eran inexplicables en base a los modelos existentes. Los nombres de los científicos que marcaron esa era y cuyos logros expondremos en este curso son Max Planck (1858-1947) y su explicación de la radiación del cuerpo negro, Albert Einstein (1879-1955) que explicó los experimentos de efecto fotoeléctrico, el movimiento Browniano, postuló su teoría de la Relatividad Especial y más tarde de la Relatividad General, Ernest Rutherford (1871-1937) con su modelo del átomo deducido de experimentos de difusión de partículas  $\alpha$ , Max von Laue (1879-1960) que identificó la misteriosa radiación llamada rayos x, Louis de Broglie (1892-1987) que de especialista en historia medieval pasó a la historia por su ingenua proposición de ondas materiales. Niels Bohr (1885-1962) propuso el primer modelo del átomo estable con sus órbitas electrónicas que ayudó mucho a pensar y visualizar y cuyos postulados intuitivamente propuestos fueron justificados más adelante. Hoy día, ese modelo luce primitivo frente a las teorías vigentes de Erwin Schrödinger (1887-1961), Max Born (1882-1970), Paul Dirac (1902-1984) y muchos otros gigantes de la ciencia.

Este problemario cubre los temas 6 y 7 del Programa de FS2213, hemos tratado de agrupar los problemas más representativos de cada tema y hemos indicado las respuestas. Es nuestro consejo que traten de resolver estos problemas a medida que se va viendo la teoría para que al resolverlos en clase se den cuenta de cuales eran las dificultades o los errores que cometieron. Créannos, este es el curso más fascinante de física que van Uds. a ver. Suerte y dedicación.



## OBJETIVOS

Entre los objetivos de este curso, y por ende de este problemario, que cubre los temas de Propiedades corpusculares de las ondas, Propiedades ondulatorias de las partículas, Modelos Atómicos están los siguientes:

- 1) Entender que el aspecto ondulatorio de la luz no puede explicar la radiación de cuerpo Negro.
- 2) Entender que el aspecto ondulatorio de la luz no puede explicar las observaciones realizadas al bombardear una superficie metálica con luz.
- 3) Saber explicar las hipótesis de Planck para explicar la radiancia de un cuerpo negro.
- 4) Saber escribir la ecuación de la Radiancia vs.  $\lambda$  para un cuerpo negro.
- 5) Entender porqué la teoría clásica debía ser descartada.
- 6) Entender la diferencia entre la teoría clásica y la cuántica de Planck.
- 7) Conocer los resultados principales del experimento del efecto fotoeléctrico.
- 8) Conocer los aspectos de este experimentos que contradecían la teoría clásica.
- 9) Entender las hipótesis de Einstein para el efecto fotoeléctrico.
- 10) Entender la importancia del resultado del experimento de Michelson-Morley.
- 11) Dominar el manejo de la ecuación del efecto fotoeléctrico, cuando se varía el potencial, la frecuencia y la intensidad del haz de luz incidente.
- 12) Poder discutir la generación de Rayos X como efecto inverso del efecto fotoeléctrico.
- 13) Poder escribir el cambio de longitud de onda en el efecto Compton.
- 14) Conocer las implicaciones del postulado de de Broglie a la escala de los átomos y en la vida diaria.
- 15) Ser capaz de calcular las longitudes de onda asociadas a cualquier partícula en movimiento.
- 16) Entender los primeros modelos atómicos, como por ejemplo el de Thomson.
- 17) Entender el experimento de Rutherford y como esto invalidó el modelo de Thomson.
- 18) Poder enunciar los postulados de Bohr y describir su modelo atómico.
- 19) Poder escribir las longitudes de onda de las series del Hidrógeno.
- 20) Ser capaz de deducir la expresión de los niveles de energía de átomos hidrogenoides.
- 21) Poder calcular las frecuencias de las radiaciones emitidas por átomos excitados.
- 22) Entender la importancia del experimento de Franck-Hertz para medir los niveles de energía en Hg



Estos objetivos están cubiertos por la serie de problemas propuestos a continuación sobre estos temas. Se ha tratado de proponer problemas de dificultades crecientes que ilustran los diferentes temas tratados en las clases teóricas. Muchos de estos problemas son problemas de examen en algún trimestre en el cual hemos dictado este curso. Esperamos que este problemario les ayude en el proceso de aprendizaje.

## **Unidades Temáticas del Programa de FS 2213 Cubiertas por este Problematario:**

### 1. LAS PROPIEDADES CORPUSCULARES DE LAS ONDAS

Radiación Térmica y Postulado de Planck.

Efecto fotoeléctrico

Difracción de Rayos X, Efecto Compton

### 2. PROPIEDADES ONDULATORIAS DE LAS PARTICULAS

Postulado de de Broglie.

Función de onda

Principios de incertidumbre

### 3. MODELOS ATOMICOS

Modelo de Thomson

Modelo de Rutherford

Espectros Atómicos

Modelo de Bohr

Experimento de Franck-Hertz

El Principio de Correspondencia

### 4. Sólidos

Aisladores, Semiconductores, conductores

**PROPIEDADES CORPUSCULARES DE LAS ONDAS**

1. Tenemos la función de distribución  $f(x)=C(6-x)$  para  $0 \leq x \leq 6$ , y  $f(x)=0$  para  $x>6$ .  
Dibuje la función y calcule,  $C$  y  $\langle x \rangle$ .

**Respuesta:**  $1/18, 2$

2. Demuestre que la constante de Planck tiene unidades de momento angular

**Respuesta:**  $[ML^2T^{-1}]$

3. Cual es el valor del máximo de la distribución espectral,  $\lambda_m$ , para la radiación de Cuerpo Negro a temperaturas iguales a

- a) 3K,
- b) 100K,
- c) 27 °C,
- d) 1000° C

**Respuesta:** a)  $9.66 \times 10^{-4}$  m, b)  $2.89 \times 10^{-5}$  m, c)  $9.66 \times 10^{-6}$  m, d)  $2.27 \times 10^{-6}$  m

4. a) Utilizando los resultados demostrados en clase encuentre la expresión de la constante de Stefan en función de  $h, k, c$  y calcúlela.

b) Así mismo demuestre que la ley de desplazamiento de Wien resulta directamente de la ley de radiación de Planck y calcule la constante de Wien

**Respuesta:** a)  $2\pi^5 k^4 / 15h^3 c^2$ , b)  $2.90 \times 10^{-3}$  K-m

5. Cual es la Temperatura de un cuerpo negro si su espectro tiene el máximo en

- a) 700 nm,
- b) 3 cm,
- c) 3 m?

**Respuesta:** a) 4140K, b) 0.1 K, c) 0.001 K.

6. Si la temperatura de un cuerpo se duplica ¿cómo aumenta la potencia total emitida por el cuerpo? Cómo aumenta la potencia emitida en un rango de  $10\text{Å}$  alrededor del máximo de la distribución?

**Respuesta:** 16, 32

7. Calcule la Potencia total emitida por un cuerpo negro de  $1 \text{ mm}^2$  a la temperatura de 1000 K?

**Respuesta:**  $5.67 \times 10^{-2}$  W

8. Calcule la  $\langle E \rangle$  de un fotón según la teoría de Planck.

a) si  $\lambda = 10 hc/kT$

b) si  $\lambda = 0.1 hc/kT$ . Compare con los resultados conocidos del teorema de equipartición.

**Respuesta:** a)  $0.95 kT$ , b)  $4.5 \times 10^{-4} kT$

**Propiedades Corpusculares de las Ondas**

---

9. Del sol se recibe en la tierra en incidencia normal  $1370 \text{ W/m}^2$ .
- Calcule la potencia radiada por el sol
  - Calcule la temperatura de la superficie solar si la asimilamos a un cuerpo negro

**Respuesta:** a)  $3.87 \times 10^{26} \text{ W}$ , b)  $5788 \text{ K}$

10. La temperatura de la piel humana es aproximadamente  $35^\circ\text{C}$ . ¿Cuál es la longitud de onda pico en la radiación que esta emite si suponemos que se comporta como un cuerpo negro ideal?

**Respuesta:**  $9409 \text{ nm}$

11. Una estrella brillante visible a simple vista en una noche clara, emite radiación con intensidad medida en la superficie de la tierra de  $1.6 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$  a una  $\lambda = 560 \text{ nm}$ .

- Estime el número de fotones que por segundo llegan al ojo originados por esa estrella. (Diámetro de la pupila  $6 \text{ mm}$  en visión nocturna)
- Compare con el número de fotones que arriban al ojo debido al sol durante el día si la intensidad es  $1370 \text{ W/m}^2$  a  $500 \text{ nm}$  y la pupila tiene  $1 \text{ mm}$  de diámetro.

**Respuesta:** a)  $127350$  fotones, b)  $1.08 \times 10^6$  fotones.

12. Un metal cuya función de trabajo es  $1.5 \text{ eV}$ , se encuentra  $1 \text{ m}$  de un bombillo que radia  $5 \text{ w}$ , calcule según la teoría ondulatoria el tiempo requerido para que un átomo de diámetro  $1 \text{ \AA}$ , absorba la energía necesaria para emitir un electrón.

**Respuesta:**  $19.2 \text{ s}$

13. El rango de energías cinéticas de los electrones varía entre  $0$  y  $4.0 \times 10^{-19} \text{ J}$  cuando la luz que incide tiene una frecuencia de  $1 \times 10^{15} \text{ Hz}$ .

- ¿Cuál es el potencial de corte para esta luz?
- ¿Cuál es la longitud de onda de corte para este material.

**Respuesta:** a)  $-2.5 \text{ V}$ , b)  $760 \text{ nm}$

14. Si la longitud de onda se aumenta en un experimento de efecto fotoeléctrico de  $3000$  a  $3010 \text{ \AA}$ , ¿en cuanto aumenta el potencial de corte?

**Respuesta:**  $-1.38 \times 10^{-2} \text{ V}$

15. A que tasa se emiten electrones por  $\text{m}^2$  si la luz incidente tiene una intensidad de  $3 \text{ W/m}^2$ , la función de trabajo es  $2.7 \text{ eV}$ , su longitud de onda es

- $3000 \text{ \AA}$
- $6000 \text{ \AA}$

**Respuesta:** a)  $4.5 \times 10^{18} \text{ el/s m}^2$  b)  $0$

**Propiedades Corpusculares de las Ondas**

---

16. Cuando luz de longitud de onda 300 nm incide sobre el potasio se emiten electrones cuya energía cinética máxima es 1.91 eV
- ¿Cuál es la energía de los fotones incidentes?
  - ¿Cuál es la función de trabajo del K?
  - ¿Cuál es el potencial de corte?

**Respuesta:** a) 4.14 eV, b) 2.23 eV, c) -1.91 V.

17. La máxima energía de fotoelectrones para el Al es de 2.3 eV para radiación de 200 nm y es de 0.90 eV para radiación de 261 nm. Utilice esta data para calcular la constante de Planck y la función de trabajo del Al.

**Respuesta:**  $6.6 \times 10^{-34}$  Js, 3.7 eV.

18. ¿Qué número de fotones se necesita para segundo si su frecuencia es 100 MHz y queremos detectarlos con una radio de FM cuyo umbral de detección es  $10^{-12}$  W?

**Respuesta:**  $1.51 \times 10^{13}$  /s.

19. El ojo es capaz de detectar 60 fotones, ¿cuánta energía representa esto si la longitud de onda es 550 nm?

**Respuesta:**  $2.16 \times 10^{-17}$  J.

20. Si el potencial aplicado a un tubo de rayos x es 40.000 V ¿cuál es la longitud de onda de corte del espectro continuo emitido por el tubo?

**Respuesta:** 0.31 Å..

21. En un tubo de TV se emiten Rayos X con longitud de onda de corte de 0.124 nm. ¿Cuál es la tensión aplicada al tubo? ¿Qué sucederá si se aumenta el potencial de aceleración?

**Respuesta:** 10 kV.

**PROPIEDADES ONDULATORIAS DE LAS PARTICULAS**

1. Encuentre la longitud de onda de Broglie asociada a un electrón cuya velocidad es  $10^7$  m/s.

**Respuesta:**  $7.27 \times 10^{-11}$  m

2. Calcule la longitud de onda asociada a un protón de energía cinética 1 MeV.

**Respuesta :**  $2.9 \times 10^{-14}$  m.

3. El núcleo tiene dimensiones del orden de  $10^{-14}$  m. Si queremos explorar este con

a) un electrón de longitud de onda de Broglie de  $10^{-15}$  m cual será su energía?

b) repita el cálculo en el caso de un protón.

**Respuesta:** a) 1.24 GeV, b) 1.55 GeV

4. Derive una expresión para la longitud de onda de Broglie asociada al electrón en función de la diferencia de potencial con la cual fue acelerado. Si  $V = 40$  kV, encuentre la resolución de un microscopio electrónico que use este potencial de aceleración.

**Respuesta:**  $\lambda = h/(2meV)^{1/2}$ ;  $6.13 \times 10^{-12}$  m.

5. Derive una expresión la longitud de onda de Broglie asociada a un electrón en función de su energía cinética  $K$  y de su masa en reposo. Si  $K \gg m_0 c^2$  como se compara  $\lambda$  con la de un fotón de misma energía?

**Respuesta:**  $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 e} \left[ V \left( 1 + \frac{eV}{2m_0 c^2} \right) \right]^{-1/2}}$

6. Un haz de neutrones de energía cinética 0.02 eV incide sobre una familia de planos cristalinos cuya distancia es 2.63 Å. Calcule los ángulos  $\theta$  para los cuales se observarán reflexiones de Bragg en sus distintos órdenes.

**Respuesta:**  $22.6^\circ, 50.11^\circ$ .

7. Si la velocidad de fase de una onda se expresa como  $w = (g\lambda/2\pi)^{1/2}$ , en donde  $g$  es la aceleración de la gravedad, calcule su velocidad de grupo.

**Respuesta:**  $w/2$

8. Si la velocidad de fase de unas ondas es  $(2\pi S/\lambda\rho)^{1/2}$ , donde  $S$  es la superficie del líquido y  $\rho$  la densidad, encuentre la expresión para la velocidad de grupo de un paquete de estas ondas.

**Respuesta:**  $w/2$

9. En un microscopio electrónico el potencial de aceleración de los electrones es 40 kV. Encuentre el límite del poder de resolución.

**Respuesta:**  $0.06$  Å.



10. Imagine una metra de vidrio ensartada en un hilo tenso entre 2 paredes fijas y que por consiguiente se mueve sólo en la dirección del hilo. Si las paredes están en  $+\infty$  y  $-\infty$  y la partícula en reposo:

- ¿Cuál será el resultado probable de la medición de la posición de la partícula?
- ¿Qué sucederá si vamos acercando las paredes desde el  $\infty$ ?

**Respuesta:** a) cualquier  $x$ ; b)  $\Delta p_x > 0$

11. Estime la velocidad mínima de una bola de billar ( $m = 150$  g) confinada en una mesa de 2m de largo.

**Respuesta:**  $3.3 \times 10^{-34}$  m/s.

12. Un haz de electrones monoenergéticos de momento  $p_x$  que se mueve en la dirección  $x$  pasa a través de una ranura de ancho  $a$  perpendicular al eje  $x$ . Encuentre la incertidumbre del momentum de la partícula justo después de pasar por la ranura.

**Respuesta:**  $\Delta p_y = \hbar / a$

13. Una partícula tiene una energía en reposo de 140 MeV y una vida media de 26 ns.

- ¿cuál será la incertidumbre relativa sobre la energía de la partícula?
- Si la energía en reposo fuese 765 MeV y la vida media  $4 \times 10^{-24}$  s, ¿sería la del incertidumbre relativa sobre la energía menor o mayor que en a)?

**Respuesta:** a)  $1.7 \times 10^{-16}$ ; b) 20%.

14. Cuanto tiempo se necesitará para medir la energía cinética

- de un electrón de velocidad 10m/s con una incertidumbre menor del 0.1%?
- de un insecto que vuela a la misma velocidad y cuya masa es 1 g.

**Respuesta:** a)  $10^{-3}$  s, b)  $10^{-30}$  s

15. Si el momentum de una partícula se mide con una precisión de 0.1 % cual es la incertidumbre sobre la posición de la partícula:

- si es un insecto de masa 5g y su velocidad es 5m/s
- si es un electrón que se mueve a  $3 \times 10^6$  m/s.

**Respuesta:** a)  $4 \times 10^{-30}$  m, b)  $3.8 \times 10^{-8}$  m.

16. Calcule la incertidumbre sobre la posición de un fotón,  $\lambda = 4000 \text{ \AA}$ , si su longitud de onda se conoce con una precisión de una millonésima.

**Respuesta:**  $6.4 \times 10^{-2}$  m.

17. Una línea espectral de  $4000 \text{ \AA}$  tiene un ancho de  $0.0001 \text{ \AA}$ . Cual es la vida media del átomo en este estado energético?

**Respuesta:**  $8.5 \times 10^{-9}$  s.

18. Una partícula de masa  $m$ , está localizada en una caja unidimensional de largo  $L$ . Estime el valor de la energía mínima de la partícula.

**Respuesta:**  $\hbar^2 / 2mL^2$



19. Cual será la energía cinética mínima de un neutrón en un núcleo de  $10^{-14}$  m de radio?

**Respuesta:**  $3.2 \times 10^{-14}$  J = 0.2 MeV

20. Usando la relación de incertidumbre  $\Delta p_x \Delta x > \hbar$ , demuestre que para una partícula que se mueve en una circunferencia,  $\Delta \theta \Delta L > \hbar$ , siendo  $\Delta L$  la incertidumbre sobre el momentum angular y  $\Delta \theta$  la incertidumbre en el ángulo.

**Respuesta:** Si

21. Si suponemos que  $E = m v^2 / 2$  para una partícula que se mueve en línea recta a velocidad  $v$ , demuestre que  $\Delta E \Delta t > \hbar$ .

**Respuesta:** Si



## MODELOS ATOMICOS

- Encuentre la frecuencia de rotación del electrón en el modelo clásico del átomo de H.  
**Respuesta:**  $6.53 \times 10^{15}$  Hz.
- Sea un electrón en un átomo de Thomson de carga  $+Ze$  uniformemente distribuida en una esfera de radio  $R$ . El campo eléctrico que se ejerce sobre un electrón para  $r < R$  es  $E = Zer/4\pi\epsilon_0 R^3$ . Demuestre que el electrón hace un movimiento armónico simple alrededor del centro de la esfera y calcule su frecuencia.
- Calcule en Å para el átomo de H, la longitud de onda
  - Más corta de la serie de Lyman
  - Más larga de la serie de Lyman**Respuesta:** a) 91.2 nm; b) 121.6 nm.
- Calcule la longitud de onda de la segunda línea de la serie de Paschen para el ión  $\text{He}^+$ .  
**Respuesta:** 320.5 nm
- En un ión  $\text{He}^+$ , calcule:
  - La energía de enlace del electrón en su estado de base, al núcleo
  - La diferencia de potencial con la que debemos acelerar un haz de electrones para que estos sean capaz de ionizar el ión.
  - Si ahora queremos que se emita la primera línea de la serie de Balmer cual será el potencial de aceleración del haz de electrones con el que bombardeamos los iones de  $\text{He}^+$ .**Respuesta:** a) -54.4 eV; b) +54.4 V; c) 7.56 V.
- Si un electrón está en el estado  $n = 2$  en un átomo de H cuanta será la energía necesaria para ionizar el átomo.  
**Respuesta:** +3.4 eV
- ¿Cuántas revoluciones hace un electrón en el átomo de H, en el estado  $n = 2$ , antes de caer al estado de base si su vida media es  $10^{-8}$  s?  
**Respuesta:**  $8.16 \times 10^6$  rev.
- ¿Cuántos fotones de longitudes de onda distintas pueden ser emitidos por el átomo de H si el electrón está inicialmente en un estado  $n = 5$  y finalmente en el estado de base.  
**Respuesta:** 10
- En una transición desde un estado  $n$  a un estado excitado distante de 10.19 eV del estado de base del H se emite un fotón de  $\lambda = 4890$  Å.
  - Calcule la energía del estado inicial
  - Calcule los números cuánticos que caracterizan el estado inicial y el final.**Respuesta:** a) -0.868 eV; b)  $n_i = 4$ ,  $n_f = 2$ .



10. Si en un tubo de H, electrones de energía 12.2 eV chocan con los átomos ¿Cuáles serán las longitudes de onda de las líneas emitidas?

**Respuesta:** 1era de Balmer, 1era y 2da de Lyman

11. Calcule la velocidad de retroceso de un átomo de H cuando emite un fotón al pasar de  $n = 4$  a  $n = 1$ .

**Respuesta:** 4.07 m/s

12. Calcular la corrección en la longitud de onda del fotón emitido si se toma en cuenta la energía cinética de retroceso del núcleo de H.

**Respuesta:**  $\Delta\lambda = 6 \times 10^{-6} \text{ \AA}$

13. Demuestre que en el caso de  $n \gg 1$  la frecuencia del fotón emitido en la transición entre 2 niveles adyacentes es igual a la frecuencia de rotación.

**Respuesta:**  $\nu_{rot} = \nu_{fot} = me^4/4n^3 h^3 \epsilon_0^2$

14. Si un electrón orbita alrededor de un núcleo de carga  $+Ze$ , encuentre las expresiones para

a) el radio de la órbita,

b) la velocidad,

c) la energía de los niveles. Relacione los resultados con los correspondientes para el H.

**Respuesta:** a)  $r_z = r_H Z^{-1}$ , b)  $v_z = v_H Z$ , c)  $E_z = Z^2 E_H$

15. Si comparamos las líneas emitidas por el  $\text{Li}^{2+}$  con las del H, y suponiendo todas las transiciones posibles, ¿cuál de los dos emitirá más líneas en el espectro visible?

**Respuesta:**  $\text{Li}^{2+}$

16. Calcular la relación entre las masas del Deuterio y la del H si sus línea  $H_\alpha$  tienen longitudes de onda de 6561.01  $\text{\AA}$  y 6562.80  $\text{\AA}$ . (use el resultado  $m_p/m_e = 1836$ )

**Respuesta:** 2

17. Calcule la constante de Rydberg para el  $\text{He}^+$  y halle la diferencia entre las longitudes de onda de la línea del H correspondiente a la transición  $3 \rightarrow 2$  y la línea del  $\text{He}^+$  correspondiente a la transición  $6 \rightarrow 4$ .

**Respuesta:**  $R_{He} = 4.388 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ;  $\Delta\lambda = 2.68 \text{ \AA}$

18. El positronio está formado por un positrón (carga igual a  $+e$ , y misma masa que el electrón) y un electrón que orbitan alrededor del centro de masa del sistema. Calcule

a) la constante de Rydberg,

b) el potencial de ionización,

c) los radios de las órbitas.

**Respuesta:** a)  $R_\infty/2 = 0.5485 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ ; b) 6.8 V; c) doble que para el H.



19. Si un protón captura un mesón  $\mu^-$ , cuya masa es 207 veces la masa del electrón se forma átomo mesónico. Calcule para la primera órbita de Bohr,
- el radio,
  - la energía de ionización
  - la longitud de onda de la primera transición de la Serie de Lyman.

**Respuesta:**  $2.85 \times 10^{-13}$  m; 2530 eV;  $6.53 \text{ \AA}$ .

20. Una mezcla de hidrógeno y Tritio (1 protón y 2 neutrones) se excita. Que se observará para la línea  $H_\alpha$ . Calcule la diferencia de longitudes de onda para los dos tipos de H.

**Respuesta:**  $\Delta\lambda = 2.38 \text{ \AA}$

21. Si tenemos  $^{208}\text{Pb}$  ( $Z=82$ ) mesónico, calcule
- el radio de la primera órbita de Bohr,
  - la energía del estado de base,
  - la longitud de onda emitida en la primera transición de la serie de Balmer

**Respuesta:** a)  $3.12 \times 10^{-5} \text{ \AA}$ ; b) 18.9 MeV; c)  $4.71 \times 10^{-3} \text{ \AA}$ .

**Valores de algunas constantes físicas:**

Constante de Planck , $h$ $\hbar = h/2\pi$	$h = 6.6262 \times 10^{-34}$ Js $\hbar = 1.0545 \times 10^{-34}$ Js
Velocidad de la luz en el vacío, $c$	$c = 2.9979 \times 10^8$ m/s
Permitividad del vacío, $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c$	$\epsilon_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N/A <sup>2</sup>
Constante de Boltzmann, $k$	$k = 1.3806 \times 10^{-23}$ J/K
Número de Avogadro, $N_0$	$N_0 = 6.0221 \times 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>
Carga del electrón, $e$	$e = -1.6022 \times 10^{-19}$ C
Masa del electrón, $m_e$	$m_e = 9.1094 \times 10^{-31}$ kg
Masa del protón, $m_p$	$m_m = 1.6726 \times 10^{-27}$ kg
Masa del neutrón, $m_n$	$m_n = 1.6749 \times 10^{-27}$ kg
Radio de Bohr para el H, $a_0$	$a_0 = 0.5292 \times 10^{-10}$ m = 0.5292 Å
Constante de Stefan, $\sigma$	$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8}$ W/m <sup>2</sup> -K <sup>4</sup>
Constante de Wien, $w$	$w = 2.898 \times 10^{-3}$ m-K
Constante de Rydberg, $R_\infty$	$R_\infty = 1.0974 \times 10^7$ m <sup>-1</sup>

**Alfabeto griego (minúsculas, Mayúsculas, nombre de la letra)**

$\alpha$ , A alpha	$\nu$ , N nu
$\beta$ , B beta	$\xi$ , Ξ xi
$\gamma$ , Γ gamma	o, O omicron
$\delta$ , Δ delta	$\pi$ , Π pi
$\epsilon$ , E epsilon	$\rho$ , P rho
$\zeta$ , Z zeta	$\sigma$ , Σ sigma
$\eta$ , H eta	$\tau$ , T tau
$\theta$ , Θ theta	υ, Y upsilon
$\iota$ , I iota	$\phi$ , Φ phi
$\kappa$ , K kappa	$\chi$ , X chi
$\lambda$ , Λ lambda	$\psi$ , Ψ psi
$\mu$ , M mu	$\omega$ , Ω omega.



## Expresiones Relativistas a ser usadas sin demostración

$c$  es la velocidad de la luz en el vacío:  $c = 2.9979 \times 10^8$  m/s

- Masa de una partícula en movimiento a velocidad  $V$ , cuya masa en reposo es  $m_0$ :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Si  $V \ll c \Rightarrow m \sim m_0$

- Energía total de una partícula de energía cinética  $K$  y momentum  $p$ :

$$E = mc^2 = m_0c^2 + K, \quad E = \sqrt{m_0^2c^4 + p^2c^2}$$

- Energía cinética de una partícula:

$$K = m_0c^2 \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

- Momentum de una partícula:

$$p = m_0c \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}} - 1}$$

- Energía cinética de una partícula

$$T = m_0c^2 \left[ \sqrt{\frac{1}{1 - \frac{V^2}{c^2}}} - 1 \right]$$

- Expresiones para un fotón:

- Energía:  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

- Momentum:  $E = pc$



## BIBLIOGRAFIA

- 1) Estrella Laredo y Marcello Puma, *Bases Experimentales de la Física Cuántica*, Unidad 23, Ediciones USB, Estudios Libres 1979.
- 2) Arthur Beiser, *Conceptos de Física Moderna*, McGraw-Hill 1973
- 3) Robert Eisberg and Robert Resnick, *Quantum Physics of atoms, molecules, Solids, nuclei and particles*, Wiley 1974
- 4) P. Tipler, *Foundation of Modern Physics*, Worth 1996
- 5) Robert Resnick, David Halliday. *FISICA* Parte I, CECSA 1982.
- 6) Paul M.Fishbane, Stephen Gasiorowicz and Stephen Thornton, *Physics for Scientists and Engineers*, Prentice-Hall 1996.
- 7) Raymond Serway, *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, McGraw Hill 1994.
- 8) Hugh D. Young, Roger Freedman, *University Physics*, Addison-Wesley Pub. Co. 1996.
- 9) Kenneth Krane, *Modern Physics*, Wiley 1983