

ESTRUCTURA DE LA MATERIA

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Introducción

Semestre 2009-1

Rafael Moreno Esparza

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

0

¿Cómo y Porqué existe el Mundo?

- Esta es quizá la más importante de todas las preguntas que un ser humano se puede hacer.
- Es la raíz de la fe y la fantasía, del dogma y del desconcierto, de la poesía
- ¡Y claro de la búsqueda científica!
- Pero *¿se puede contestar?*
- **Probablemente no.**
- Y aunque no esperamos contestarla completamente, podemos aproximarnos a la respuesta.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

1

¿Cómo responder?

- Empleando una técnica científica para describir y discutir escenarios, estrategias y soluciones de este problema.
- Esta discusión nos permitirá iluminar aunque sea un poco nuestra comprensión del universo.
- Pero para ello debemos presentar algunos términos que nos ayudarán a comprender dicha evidencia.
- Para contestar lo anterior, es necesario discutir primero acerca de la radiación, que es el medio por el cual percibimos al universo.
- La radiación incluye a las **ondas de radio**, las **microondas**, los **rayos infrarrojos**, la **luz visible**, la **radiación ultravioleta**, los **rayos X**, y a los **rayos gama**.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

2

El espectro visible

- Al hacer pasar un haz de luz del sol por un prisma, o cuando hacemos incidir la luz en un CD, observamos un fenómeno muy llamativo, la aparición de una banda de colores.
- Estos colores, son familiares para quien haya visto un arco iris.
- Estos colores, **rojo**, **naranja**, **amarillo**, **verde**, **azul** y **violeta**, parecieran tener un número infinito de tonalidades mezclándose suavemente unos en los otros.

17/10/08

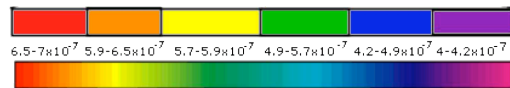
FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

3



Espectro visible

- Todos estos colores juntos, constituyen lo que conocemos como *espectro visible* o *espectro óptico*.
- Esta es la única parte del espectro que el ojo humano puede ver.
- Espectro de la luz visible y sus longitudes de onda en **metros**:



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

5

Extendiendo el espectro

- La mayor parte de la energía del universo se transporta por medio de la radiación.
- Una prueba de ello es la gran cantidad de energía que emite el sol.
- El espectro visual sin embargo, no es más que una pequeña porción del espectro electromagnético existente, el cual se extiende en ambas direcciones de los límites del arco iris.
- De esta manera, tenemos que el espectro es el conjunto de ondas electromagnéticas.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

6

Extendiendo el espectro

- Que van desde las de menor longitud de onda y por lo tanto mayor frecuencia y energía, como son los rayos cósmicos, rayos gamma, y rayos X.
- Pasando por la luz ultravioleta, luz visible (que en realidad ocupa una estrecha franja del espectro electromagnético), infrarroja.
- Hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda y menor energía como son las ondas de radio.
- En cualquier caso, cada una de las categorías son de ondas de variación de campo electromagnético.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

7

Un poco de historia

- Los estudios de ondas al principio se referían a las correspondientes al espectro visible cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 4×10^{-5} y 7.5×10^{-5} cm.
- En el año 1800, **W. Herschell**, descubrió, gracias a la elevación de la temperatura fuera de la luz visible, la zona infrarroja del espectro, al proyectar el espectro solar sobre una serie de termómetros.



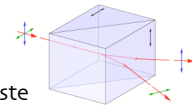
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

8

Un poco de historia

- En la misma época, **Johann Wilhelm Ritter** y **William Wollaston** descubrieron por medio del ennegrecimiento de las sales de plata la zona del ultravioleta.



- Empleando un prisma como este

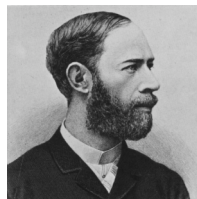
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

9

Un poco de historia

- Cuando **Heinrich Hertz** descubrió la forma de generar ondas de distinta frecuencia, el espectro electromagnético se extendió por el lado de las ondas largas hasta las ondas de radio, y por el lado de las cortas hasta enlazar el infrarrojo.
- Más tarde, en 1895, **Roentgen** descubrió los rayos X, y con el descubrimiento de la radioactividad por **Bequerel** en 1896 el espectro electromagnético se extiende hasta la radiación gamma de muy corta longitud de onda.

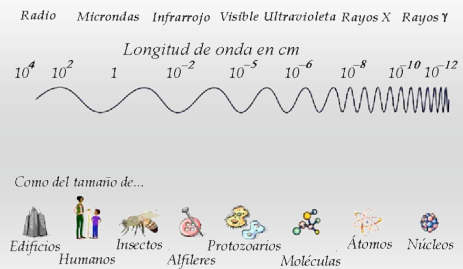


17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

10

El espectro completo

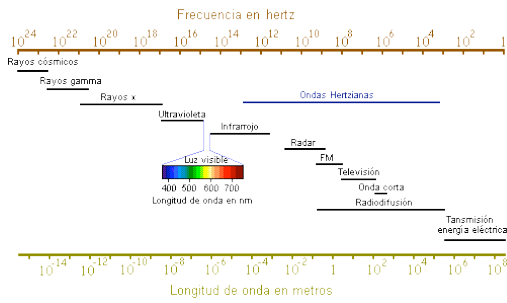


17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

11

El espectro completo

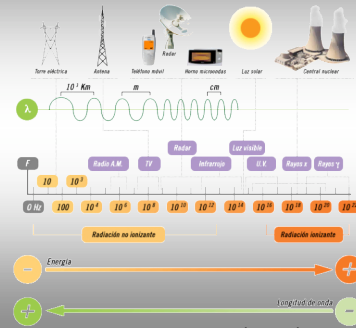


17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

12

El espectro completo



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

13

El espectro completo

NOMBRE	Longitud de onda	Frecuencia	Energía
Radio Baja Frecuencia	> 10 km	< 30 kHz	< 1.99×10^{-29} J
Radio Onda Larga	< 10 km	> 30 kHz	> 1.98×10^{-29} J
Radio Onda Media (AM)	< 650 m	> 650 kHz	> 4.31×10^{-28} J
Radio Onda corta	< 180 m	> 1.7 MHz	> 1.13×10^{-27} J
Radio Alta Frecuencia	< 10 m	> 30 MHz	> 2.05×10^{-26} J
Radio Ultra Alta Frecuencia	< 1 m	> 300 MHz	> 1.99×10^{-25} J
Microondas	< 30 cm	> 1.0 GHz	> 1.99×10^{-24} J
Infrarrojo lejano	< 1 mm	> 300 GHz	> 1.99×10^{-22} J
Infrarrojo medio	< 50 μm	> 6.00 TeraHz	> 3.98×10^{-21} J
Infrarrojo cercano	< 2.5 μm	> 120 TeraHz	> 7.95×10^{-20} J
Luz Visible	< 780 nm	> 384 TeraHz	> 2.55×10^{-19} J
Ultravioleta cercano	< 380 nm	> 789 TeraHz	> 5.23×10^{-19} J
Ultravioleta lejano	< 200 nm	> 1.5 PetaHz	> 9.93×10^{-19} J
Rayos X	< 10 nm	> 30.0 PetaHz	> 1.99×10^{-17} J
Rayos gamma	< 10 pm	> 30.0 ExaHz	> 1.99×10^{-14} J

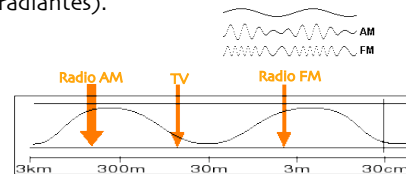
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

14

Ondas de radio

- Son las utilizadas en telecomunicaciones e incluyen las ondas de radio y televisión.
- Su frecuencia oscila desde unos pocos hasta mil millones de Hz.
- Se originan en la oscilación de la carga eléctrica en las antenas emisoras (dipolo radiantes).



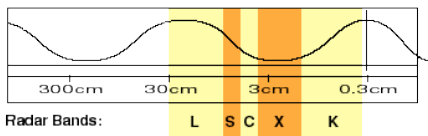
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

15

Microondas

- Se utilizan en las comunicaciones del radar o la banda UHF (*Ultra High Frequency*) y en los hornos de las cocinas.
- Su frecuencia va desde los mil millones hasta casi un billón de Hz.
- Se producen en oscilaciones dentro de un aparato llamado magnetrón.



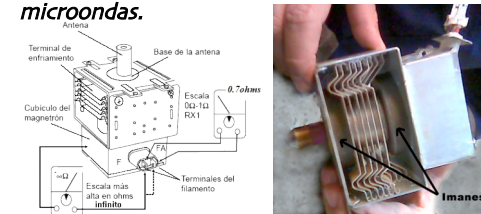
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

16

El magnetrón

- **El magnetrón es una cavidad resonante formada por dos imanes de disco en los extremos, donde los electrones emitidos por un cátodo son acelerados originando los campos electromagnéticos oscilantes con la frecuencia de microondas.**



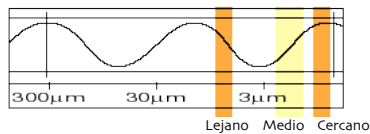
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

17

Rayos Infrarrojos

- Son emitidos por los cuerpos calientes.
- Los visores nocturnos detectan la radiación emitida por los cuerpos a una temperatura de 37 °C.
- Sus frecuencias van de 10^{11} a $4 \cdot 10^{14}$ Hz.
- Nuestra piel también detecta el calor y por lo tanto las radiaciones infrarrojas.



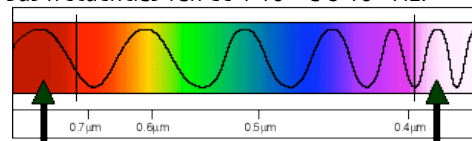
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

18

Luz Visible

- Incluye una franja estrecha de frecuencias, los humanos tenemos unos sensores para detectarla (ojos, retina, conos y bastones).
- Se originan por la aceleración de los electrones en las transiciones energéticas entre órbitas permitidas.
- Sus frecuencias van de $4 \cdot 10^{14}$ a $8 \cdot 10^{14}$ Hz.



Infrarrojo

17/10/08

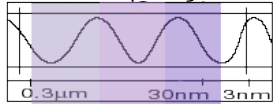
FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

Ultravioleta

19

Radiación Ultravioleta

- Va de $8 \cdot 10^{14}$ a $1 \cdot 10^{17}$ Hz.
- Tiene suficiente energía para intervenir en las reacciones químicas.
- El sol es una fuente poderosa de radiación ultravioleta que al interactuar con la atmósfera exterior la ionizan creando la ionosfera.
- Los rayos ultravioleta se emplean para esterilizar.
- Nuestra piel detecta la radiación ultravioleta y nuestro organismo fabrica melanina para protegernos de la radiación.
- La capa de ozono nos protege de la radiación UV.



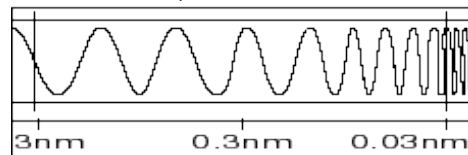
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

20

Rayos X

- Son producidos por electrones que saltan de órbitas internas en átomos pesados.
- Sus frecuencias van de $1.1 \cdot 10^{17}$ a $1.1 \cdot 10^{19}$ Hz.
- Son peligrosos para la vida: una exposición prolongada produce cáncer.
- Su contenido energético es suficiente para ionizar moléculas y átomos.



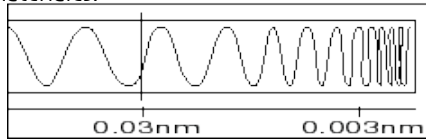
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

21

Rayos gama

- Comprenden frecuencias mayores de $1 \cdot 10^{19}$ Hz.
- Se originan en los procesos de estabilización en el núcleo del átomo después de emisiones radiactivas.
- Su radiación es muy peligrosa para los seres vivos. Por su alto contenido energético.
- Son capaces de atravesar la mayoría de los materiales.

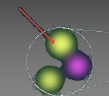
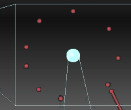
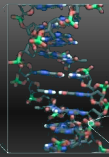
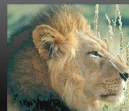


17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

22

Estructura de la materia



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

23

Fuerzas e Interacciones

- Todo lo que existe en el universo, desde un palillo hasta una galaxia, está hecho de materia que se puede descomponer en una docena de partículas elementales y que interactúan por medio de **4 fuerzas**.
- Los físicos han identificado **12 partículas elementales** y **4 interacciones** como los elementos básicos a partir de los cuales se puede construir todo el universo, incluyendo sistemas tan complejos como los seres vivos.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

24

Fuerzas e Interacciones

- Se ha podido verificar experimentalmente que en la naturaleza existen cuatro tipos de fuerzas:
 - la gravedad,
 - el electromagnetismo,
 - las fuerzas nucleares débiles
 - las fuerzas nucleares fuertes.
- Además de estas, se ha demostrado que existen 12 partículas elementales que sirven de ladrillos para la construcción del mundo material
- Cada una de las 4 interacciones básicas tiene asociada una o varias partículas portadoras de la interacción o fuerza

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

25

Fuerzas e Interacciones

- Parece ser, que estas partículas elementales no son los objetos más simples que se pueden concebir.
- Aparentemente, tienen partes y se pueden dividir en componentes más sencillos.
- Los experimentos de colisiones de partículas a muy altas energías han revelado que algunas partículas que se creían simples en realidad están compuestas.
 - (por ejemplo los **quarks** están hechos de **cuerdas** → **strings**).

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

26

Fuerzas e Interacciones

ANTIMATERIA

- Se ha observado la existencia de partículas elementales hechas de antimateria.
- Estas partículas son idénticas a sus correspondientes partículas excepto que tienen carga eléctrica (y propiedades magnéticas) de signo opuesto.
- Cuando una partícula de materia se encuentra con su correspondiente partícula de antimateria, éstas se aniquilan y su masa en reposo se convierte en energía en forma de fotones.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

27

Las partículas elementales

- Dependiendo del tipo de interacciones las partículas se clasifican según el tipo de fuerza que transportan así:

<i>Fuerza</i>	<i>Partículas portadoras</i>
Electromagnética	Fotón
Nuclear Fuerte	Gluón
Nuclear Débil	W, Z
Gravedad	(¿gravitón?)

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

28

Las partículas elementales

- Ahora bien, según el modelo estándar las partículas elementales han sido agrupadas en dos grandes familias:
 - los *quarks* y
 - los *leptones*.
- Los leptones son partículas muy ligeras que siempre interactúan por medio de la fuerza nuclear débil y si tienen carga también las afecta la interacción electromagnética
- Pero nunca se ven afectadas por la interacción nuclear fuerte.
- Ejemplos de los *leptones* son: el *electrón*, el *muón*, el *tau* y el *neutrino*.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

29

Las partículas elementales

- Por medio de experimentos de colisiones entre partículas elementales se ha podido determinar que el *protón* y el *neutrón* no son partículas simples (sin partes).
- Por el contrario, dentro del *protón* hay partes con sus propiedades individuales que se suman para formar las características visibles del protón.
- Estas partes que forman al protón se llaman *quarks*.
- Hay toda una familia de diferentes clases de *quarks*, los cuales se designan con las letras *U*, *D*, *S*, *C*, *B* y *T*.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

30

Las partículas elementales

- A continuación se presentan algunos detalles característicos de las principales partículas y familias de partículas que se encuentran en la naturaleza.
 - bosones y fermiones*
- Según la propiedad cuántica llamada espín, las partículas se clasifican en *bosones* (si tienen espín entero) o *fermiones* (si tienen espín semi-entero).
- El *electrón* es un ejemplo de un *fermión*, mientras que las portadoras de una interacción son *bosones*

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

31

Las partículas elementales

- **Quarks**
- Los **quarks** son partículas elementales, que no solamente forman al **protón**, sino a toda una serie otras partículas.
- Combinaciones de tres **quarks** forman los **bariones** (como el **protón**) y combinaciones de un **quark** y un **anti-quark** forman la familia de los **mesones**.
- Los quarks se ven afectados por la fuerza nuclear fuerte y no se encuentran libres en la naturaleza.
- Siempre están en estados ligados con otros **quarks** ya sea en un **barión** o en un **mesón**.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

32

Las partículas elementales

- **Gluón**
 - Es la portadora de la interacción nuclear fuerte
- **Gravitón**
 - Es la portadora de la interacción gravitacional
- **Electrón**
 - Descubierta en 1897 por el físico inglés **J. J. Thomson** (1856 - 1940).
 - Los **electrones** son partículas con carga eléctrica negativa que dan origen a la electricidad cuando fluyen en un conductor.
 - El **electrón** pertenece a la familia de los **leptones**.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

33

Las partículas elementales

- **Protón**
 - Es una partícula de carga eléctrica igual a la del **electrón** pero positiva y con una masa 1800 veces mayor a la del **electrón**.
 - Un **protón** está formado por tres **quarks** y se encuentra normalmente dentro de núcleos atómicos.
 - En ambientes de muy alta energía como en el Sol, los **protones** se encuentran libres.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

34

Las partículas elementales

- **Neutrón**
 - Fue descubierto por el físico inglés **James Chadwick** en 1932.
 - Se encuentra normalmente en los núcleos atómicos, como el **protón**.
 - El neutrón no tiene carga eléctrica, está hecho de tres **quarks** y no es una partícula estable.
 - Cuando se encuentra libre, fuera del núcleo, decae en un **protón**, un **positrón** y un **neutrino**.
 - La masa del **neutrón** es ligeramente mayor que la del **protón**



17/10/08

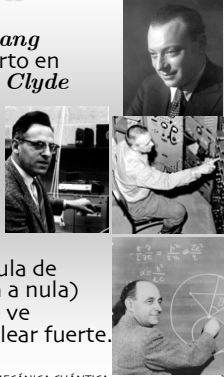
FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

35

Las partículas elementales

• Neutrino

- Fue propuesto por *Wolfgang Pauli* en 1930 y descubierto en 1956 por *Fred Reines* y *Clyde Cowan*.
- En italiano la palabra *neutrino* significa el *neutro pequeñito*, lo cual era justamente lo que el físico *Enrico Fermi* quería denotar.
- Un neutrino es una partícula de masa nula (o muy cercana a nula) que no tiene carga y no se ve afectada por la fuerza nuclear fuerte.



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

36

Las partículas elementales

• Positrón

- Es la *anti-partícula* del electrón.
- Es decir tiene la misma masa del *electrón*, pero su carga es de signo contrario (+) y cuando se encuentra con un *electrón*, se aniquila convirtiendo toda su masa en energía en forma de radiación (*fotones*).
- Fue descubierto en experimentos de rayos cósmicos por *Carl Anderson* en 1932.



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

37

Electromagnetismo

- ¿Qué es una corriente eléctrica?
- ¿Cómo se propaga la luz?
- ¿Cuál es la causa del magnetismo?
 - Todas estas preguntas están relacionadas y se responden de manera coherente con la teoría del electromagnetismo.
- El origen de todos los fenómenos electromagnéticos es:
LA CARGA ELÉCTRICA
- Que puede definirse así: es una propiedad de las partículas elementales que hace que atraerse (si tienen signos opuestos) o repelerse (si tienen signos iguales)

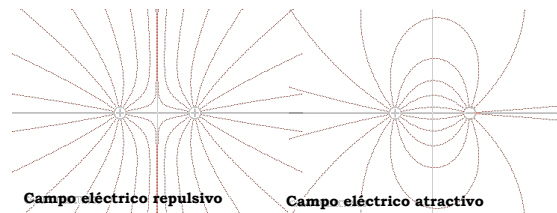
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

38

Electromagnetismo

- El Campo Eléctrico es una manera de representar la fuerza que ejerce una carga cercana a otra.



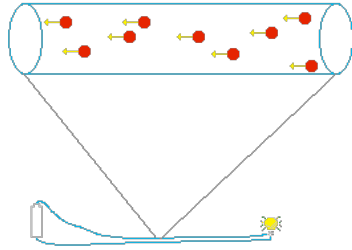
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

39

Electromagnetismo

- Las cargas en movimiento producen la corriente eléctrica



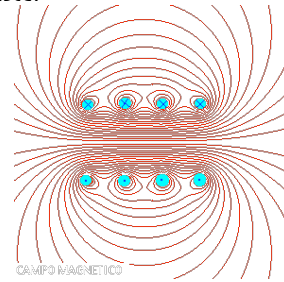
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

40

Electromagnetismo

- La corriente eléctrica genera campos magnéticos
- Así, en una bobina esperaremos ver un campo como este:



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

41

Electromagnetismo

- Las cargas aceleradas producen ondas electromagnéticas.
- Durante la propagación de la onda, el campo eléctrico (**rayas rojas**) oscila en un eje perpendicular a la dirección de propagación.
- El campo magnético (**rayas azules**) también oscila pero en dirección perpendicular al campo eléctrico

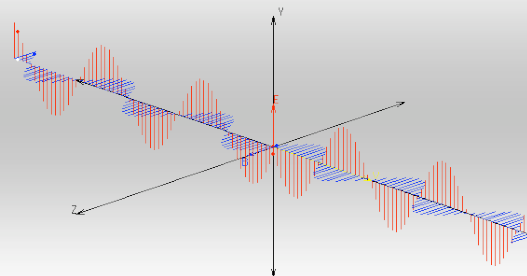
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

42

Electromagnetismo

- Propagación de una onda electromagnética:



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

43

Las partículas cargadas

- **Todos sabemos que:**
Las cargas iguales se repelen y las cargas diferentes se atraen
- **Lo que quizá no es tan conocido es:**
El comportamiento de una carga en movimiento en un campo magnético
- Así: Una partícula cargada al moverse a través de un campo magnético sentirá una fuerza **perpendicular** al plano descrito por el vector de su velocidad y el vector del campo magnético
- Esto hace que la partícula cargada en movimiento se desvíe de acuerdo a la **regla de la mano derecha**, en el caso de una carga positiva
- Una carga negativa se desviará en la dirección **opuesta**

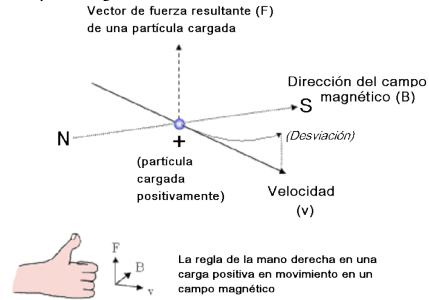
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

44

Las partículas cargadas

- Comportamiento de una carga positiva en un campo magnético



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

45

Rayos catódicos y electrones

- Una descarga eléctrica a través de un tubo evacuado produce radiación
- Esta radiación se origina en el electrodo **negativo**, el cual se conoce como **cátodo**, de manera que a esta radiación se le llama **rayos catódicos**
- **Los rayos catódicos viajan hacia o son atraídos por el electrodo positivo (ánodo)**
- Esta radiación no es visible directamente, pero se detecta gracias a la capacidad que tienen los **rayos catódicos** de hacer que algunos materiales **brillen o florezcan**
- Entre las propiedades de los **rayos catódicos** está la de viajar en línea recta

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

46

Rayos catódicos y electrones

- Pero su curso se desvía por la influencia de un **campo magnético** o uno **eléctrico**
- Una placa de metal en el trayecto de los **rayos catódicos** adquiere carga negativa
- Los **rayos catódicos** producidos por cátodos de diferentes materiales tienen las mismas propiedades
- Todas estas observaciones indicaban que la radiación de **rayos catódicos**
- Estaba compuesta de partículas cargadas **negativamente**
- A las cuales, a falta de un nombre mejor se le bautizó con el de **electrones**

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

47

Electromagnetismo

- Las ondas electromagnéticas viajan en el vacío a la velocidad de la luz y transportan energía a través del espacio.
- La cantidad de energía transportada por una onda electromagnética depende de su frecuencia (o longitud de onda)
- Entre mayor su frecuencia mayor es la energía:

$$W = h \cdot \nu$$

- donde W es la energía, h es una constante (la constante de *Planck*) y ν es la frecuencia.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

48

Electromagnetismo

- El plano de oscilación del campo eléctrico (rayas rojas en el diagrama anterior) define la dirección de polarización de la onda.
- Se dice que una fuente de luz produce luz polarizada cuando la radiación emitida viene con el campo eléctrico alineado preferentemente en una sola dirección.
- La relación que hay entre la frecuencia y la longitud de onda de la radiación electromagnética es:
- Donde C es una constante (la velocidad de la luz)

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

49

La teoría atómica

- Los Químicos hacen sus observaciones del mundo *macroscópico* y buscan comprender las propiedades de la materia al nivel *microscópico*
- Esto significa que para explicar la manera en que las sustancias reaccionan unas con otras, es necesario entender la *estructura de la materia*
- La palabra átomo se deriva de la palabra griega *ατομος* que significa indivisible.
- El primero en proponer la existencia de los átomos fue el filósofo griego *Demócrito* (460-370 A.C.) el cual creía que la materia estaba compuesta de partículas indivisibles.
- Sin embargo, esta teoría fue rechazada por *Platón* y *Aristóteles*.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

50

Las Leyes Ponderales de *Lavoisier*

- Esto hace que hasta el Siglo XVIII no se tengan más que teorías especulativas.
- Estas teorías serán destronadas cuando *Lavoisier* en 1774 presenta su trabajo cuantitativo
- Su trabajo puede sintetizarse así
 - Primero determinó los pesos de los reactivos usados en varios procesos químicos y de los productos obtenidos en estas reacciones
 - Además estudió los pesos relativos de los reactivos requeridos para producir un peso dado de un producto determinado
 - Esto es lo mismo que determinar la composición porcentual de las sustancias descomponiéndolas en sus componentes



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

51

Las Leyes Ponderales de Lavoisier

- Estas investigaciones le permitieron postular dos de las leyes más fundamentales del cambio químico:
 - **Ley de la composición constante:**
En un compuesto determinado los tipos de elementos y las proporciones en que estos se encuentran son constantes
 - **Ley de la conservación de la masa:**
La masa total de los materiales presentes en una reacción química es la misma antes y después de la reacción

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

52

Más Leyes Ponderales

- A partir de 1800 **John Dalton** usó estas leyes para derivar una tercera ley:
 - Ley de las proporciones múltiples:
Si dos elementos A y B se combinan para formar más de un compuesto, Entonces los cocientes de las masas relativas de cada elemento que se pueden combinar Y pueden representarse por un conjunto característico de números enteros y pequeños



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

53

Las Leyes Ponderales

- Oxígeno y Carbono pueden formar 2 compuestos. Si los analizamos obtenemos:
 - El primero tiene 57.1% de O y 42.9% de C,
 - El segundo tiene 72.7% de O y 27.3% de C
- Estos dos compuestos siguen la ley de proporciones múltiples
 - Las razones de sus masas son:
$$\frac{57.1 \text{ g O}}{42.9 \text{ g C}} = 1.33 \frac{\text{g O}}{\text{g C}} \quad \text{y} \quad \frac{72.7 \text{ g O}}{27.3 \text{ g C}} = 2.66 \frac{\text{g O}}{\text{g C}}$$
 - Y la relación entre estos cocientes es:

$$\frac{2.66}{1.33} = \frac{2}{1}$$

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

54

La teoría atómica de Dalton

- Los **átomos de un elemento no cambian al hacer una reacción química**, tampoco es posible crear o destruir átomos en una reacción química
- Los compuestos se forman cuando los **átomos de más de un elemento se combinan**
- Un compuesto cualquiera siempre tiene el **mismo tipo de átomos** y el **mismo número relativo de dichos átomos**
- Los átomos son los **ladrillos básicos de la materia** y son las unidades más pequeñas de los elementos.
- Un **elemento** se compone de una sola clase de átomos

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

55

La teoría atómica de Dalton

- En los compuestos de dos o más elementos los átomos de estos se combinan con arreglos definidos
- Las *Mezclas* no tienen interacciones específicas entre los elementos que se encuentran en los compuestos que las forman
- los elementos que forman una mezcla pueden tener proporciones variables
- **Los átomos son las partículas más pequeñas de un elemento que retiene las propiedades químicas de dicho elemento**

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

56

Átomos

- En 1803 *Dalton* propone que los átomos son como pelotitas pequeñísimas indivisibles e indestructibles.
- En 1815, *William Prout* se da cuenta de que la mayoría de los pesos atómicos eran casi exactamente un múltiplo del peso del hidrógeno, es decir que el peso de cada átomo era un múltiplo del peso del H.
- Sin embargo, cuando se llevaron a cabo mediciones más exactas, se encontró que en realidad las relaciones entre los pesos de los elementos no eran números enteros
- Por ejemplo el Cloro es 35.5 veces más pesado que el H.



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

57

El experimento de Thompson

- *J.J. Thompson* (en 1897) por medio de un experimento con rayos catódicos midió la proporción que existe entre la carga y la masa de una corriente de electrones, usando un aparato diseñado por él.
- Obteniendo un valor de 1.76×10^8 coulombs / g
- Dado que una corriente de partículas cargadas puede desviarse por medio de un campo eléctrico o un campo magnético.
- Entonces, se puede emplear un campo eléctrico para compensar por la desviación producida por el campo magnético.



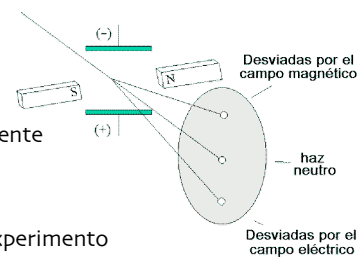
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

58

El experimento de Thompson

- De manera que el haz de electrones se comportará como si no tuviera carga
- La corriente requerida para **neutralizar** al campo magnético aplicado indica la carga del haz
- La pérdida de masa del cátodo indica la masa de la corriente de electrones



- Diagrama del experimento

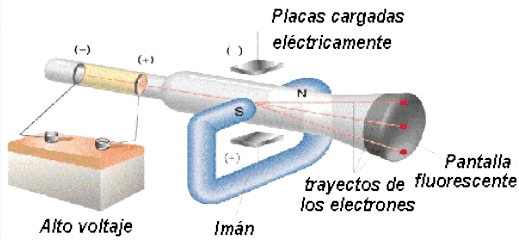
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

59

El experimento de Thompson

- Tubo de rayos catódicos y el arreglo usado en el experimento de *Thompson*



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

60

El experimento de Millikan

- Aunque *Thompson* determinó el cociente entre la **carga y la masa** del electrón, no pudo determinar la **masa del electrón**
- Sin embargo, de sus datos se puede obtener la carga de un electrón, siempre y cuando se conozca la masa de un solo electrón
- **Robert Millikan** (en 1909) pudo medir la **carga del electrón** en el experimento de *la gota de aceite*, obteniendo 1.60×10^{-19} coulomb usando esta expresión:



$$-\left(\frac{1g}{1.76 \times 10^8 \text{ coulombs}}\right) \cdot (1.60 \times 10^{-19} \text{ coulombs}) = -9.10 \times 10^{-28} g$$

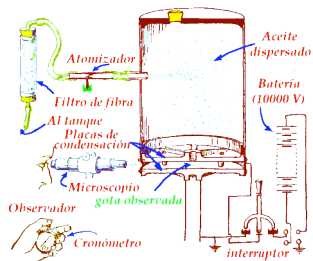
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

61

El experimento de Millikan

- Para ello emplea el siguiente experimento:



- Nótese que el valor aceptado actualmente de la **masa del electrón** es de -9.10939×10^{-28} g

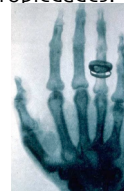
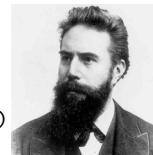
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

62

Rayos X

- **Wilhelm Röntgen** (en 1895) descubrió que cuando los **rayos catódicos** chocan contra ciertos materiales (Cu o Mo por ejemplo) se emite una radiación diferente.
- A este nuevo tipo de radiación le llamó **rayos X** y encontró que tienen las siguientes propiedades:
 - Pueden pasar a través de muchos materiales.
 - No se ven afectados por campos eléctricos o magnéticos.
 - Pueden producir una imagen en placas fotográficas igual que la luz visible.



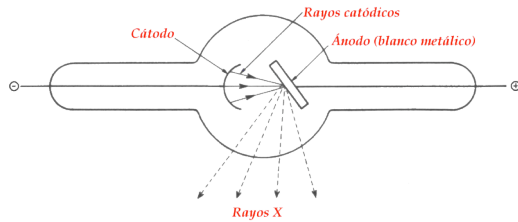
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

63

Rayos X

• Tubo de Rayos X



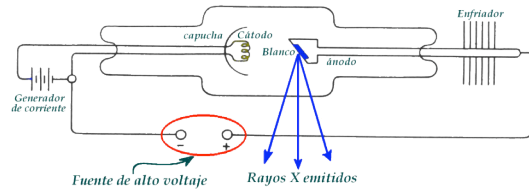
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

64

Rayos X

• Tubo de Rayos X moderno



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

65

Los experimentos de Moseley

- En 1913 **Henry Moseley** (muerto en la batalla de Gallipoli a la edad de 28 años)
- Investiga las frecuencias características de los rayos X producidos al bombardear cada elemento con rayos catódicos (electrones) de alta energía
- **Moseley** usó varios metales como blanco en sus tubos de rayos catódicos
- Notó que cuando los rayos catódicos pegaban sobre el metal y los rayos catódicos tenían suficiente energía (obtenida usando alto voltaje).



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

66

Los experimentos de Moseley

- Diferentes metales daban rayos X de diferentes **longitudes de onda** o **frecuencia** (o lo que es lo mismo de diferente energía)
- Lo que pasaba en esencia, era que los rayos catódicos acelerados por el alto voltaje (**electrones de alta energía**) sacan a los electrones internos de los átomos metálicos al golpear contra estos.
- Cuando los electrones sacados del átomo regresan a su lugar se emiten rayos X
- Como los electrones internos no están apantallados por los demás electrones, la energía requerida para sacarlos depende del número de protones que hay en el núcleo

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

67

Los experimentos de Moseley

- De esta manera la energía de los rayos X y por tanto su frecuencia y su longitud de onda, está relacionada con el número de protones del núcleo
- Resultados del experimento:



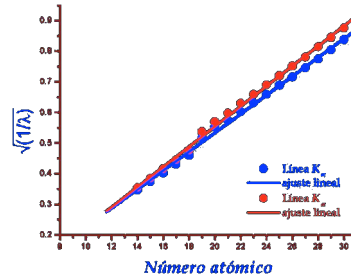
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

68

Los experimentos de Moseley

- Al graficar el número atómico vs. la raíz cuadrada del inverso de la longitud de onda obtiene esto:



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

69

Los experimentos de Moseley

- Así, observa que existe una relación matemática entre la **frecuencia de los rayos X** producidos y el **número atómico** (es decir el número de serie de cada elemento en la tabla)
- Esto quería decir que el número atómico era más un número de serie, es decir, que tiene alguna base física
- Moseley** propone que el número atómico corresponde al número de electrones en el átomo del elemento en cuestión
- Esto también significa que el número atómico es el número de cargas positivas del núcleo

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

70

Radioactividad

- Henri Becquerel** (en 1896) descubre que algunos materiales fosforescentes de uranio emiten radiación parecida a los **rayos X**
- Marie y Pierre Curie** aíslan los componentes radiactivos del Uranio y otros materiales
- Ernest Rutherford** estudia la radiación emitida por ciertas sustancias radioactivas y nota que dependiendo de la sustancia examinada existen tres clases de radiación y cada una se comporta de manera diferente



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

71

Átomos

- Para finales del S XIX se había acumulado suficiente evidencia como para pensar que el átomo mismo está compuesto de partículas menores.

Nombre	Símbolo	Carga	UMA	Gramos
electrón	e^-	-1	5.4×10^{-4}	9.11×10^{-28}
protón	p	1	1	1.67×10^{-24}
neutrón	n	0	1	1.67×10^{-24}

- Entonces es posible, tener dos átomos del mismo elemento con diferente peso atómico pero con propiedades químicas idénticas.
- A estos átomos se les llama isótopos.

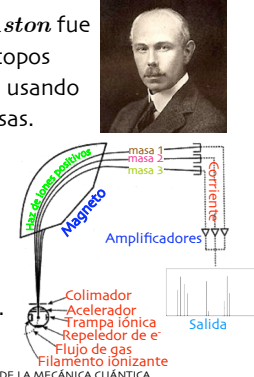
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

72

Isótopos

- En 1919 *Francis W Aston* fue capaz de separar los isótopos de diferentes elementos usando un espectrógrafo de masas.
- Este es un aparato en el que es posible separar átomos de pesos atómicos diferentes y además determinar cuánto hay de cada uno.



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

73

Átomos e isótopos

- Dado que todos los átomos están compuestos de protones, neutrones y electrones, todas las diferencias físicas y químicas entre los elementos se deben al número de las partículas subatómicas que los componen.
- Por tanto, un átomo es la pieza más pequeña de un elemento, pues al tratar de dividirlo más allá (en partículas subatómicas), destruye su identidad.
- De esta manera, serán los átomos la unidad más pequeña de un elemento que puede retener sus propiedades químicas.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

74

Isótopo, número atómico y de Masa

- *¿Cuál es el rasgo característico que distingue a un elemento de otro?*
 - Todos los átomos de un elemento tienen el mismo número de **protones** en el núcleo
 - Puesto que la carga neta de un átomo es **0**, el átomo debe tener el mismo número de **electrones**
- *¿Y los neutrones?*
 - Aunque usualmente es igual al número de **protones**, esto no ocurre siempre, y puede variar algo
 - Aquellos átomos que difieren únicamente en el número de **neutrones** que tienen, se llaman **isótopos**,
 - Los isótopos diferentes tienen masas diferentes.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

75

Isótopos: Un buen ejemplo el carbono

- Todos los átomos del carbono tienen 6 protones y 6 electrones
- El número de protones en el carbono se denota por un subíndice a la izquierda de su símbolo atómico
- A este se le llama **número atómico** y como siempre vale 6 usualmente se omite
- Otro número importante que define las características de un átomo es el **número de masa**, el cual se denota con un superíndice a la izquierda del símbolo atómico.
- Este símbolo, se refiere al isótopo de carbono que tiene 6 protones y 6 neutrones y se le conoce como **carbono 12**



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

76

Isótopos: Un buen ejemplo el carbono

- El siguiente isótopo de carbono tiene 6 protones y 7 neutrones y este isótopo se le conoce como **carbono 13** y su símbolo es:
- Este es el isótopo que se emplea en la Resonancia Magnética Nuclear para identificar sustancias orgánicas.
- Hay un tercer isótopo (aunque radioactivo) que tiene 8 neutrones y 6 protones. Se llama **carbono 14** y se usa para datación arqueológica.
- El **carbono 12** es la forma más común del carbono (98.9 % de todo el carbono).
- El **carbono 13** contribuye con el 1.1% restante
- A los átomos de un isótopo específico se le conoce como **núclidos**
- Una tabla con todos los núclidos está aquí: [TABLA](#)



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

77

La estructura atómica

- En 1803 Dalton propone que los átomos son como **pelotitas pequeñísimas indivisibles e indestructibles**
- Para 1850 se había acumulado suficiente evidencia como para pensar que el átomo mismo está compuesto de partículas menores
- ¿Como es el modelo actual...?
- Para poder hablar de este modelo y de los experimentos que mostraron que el átomo estaba compuesto de partículas todavía más pequeñas, es necesario hacer un viaje por la **física de los objetos cargados y su interacción con los campos magnéticos.**

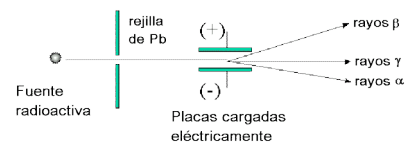
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

78

Radioactividad

- Comportamiento de los componentes de la radiación emitida por las sustancias radiactivas ante un campo eléctrico:



- Los **rayos β** son atraídos por el ánodo
- Los **rayos α** son atraídos por el cátodo
- Los **rayos γ** no se ven afectados por el campo eléctrico

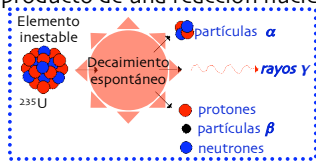
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

79

Radioactividad

- De esta manera **Rutherford** propone que los **rayos α** y los **rayos β** son partículas cargadas
- en tanto que los **rayos γ** son radiación de alta energía (similares a los **rayos X**)
- las **partículas β** son electrones rápidos (carga = -1)
- las **partículas α** son núcleos de helio (carga = +2)
- Y son el producto de una reacción nuclear



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

80

El átomo nuclear

- Entonces, a comienzo del **S XX**, estaba firmemente establecido que el electrón era una partícula fundamental
- Será entonces en este periodo que los físicos se ocuparán de encontrar modelos de los átomos, que fueran compatibles con que:
 - Tuvieran electrones
 - Fueran neutros
 - Se ajustaran a un esquema que explicara los diferentes pesos atómicos
 - Que explicara sus propiedades químicas

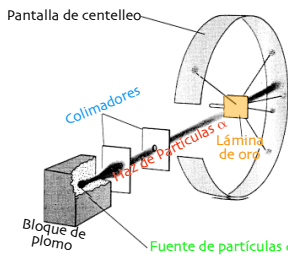
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

81

La estructura atómica

- Un poco después, **H. Geiger** y **E. Marsden** al estudiar el efecto de las **partículas α** emitidas por un material radiactivo en una hoja muy delgada de oro, con un aparato como este:



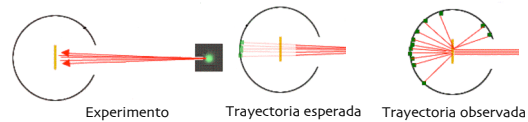
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

82

La estructura atómica

- Estos esperaban que de acuerdo al modelo de **Thomson**, que las partículas α pasaran sin problemas y que se desviarán unas cuantas.



- Los resultados observados revelaron que las **partículas α** (iones de He^{2+}) se desviaban de su curso original
- Y además que una cantidad sorprendentemente grande de estas se desviaba 90° o más.

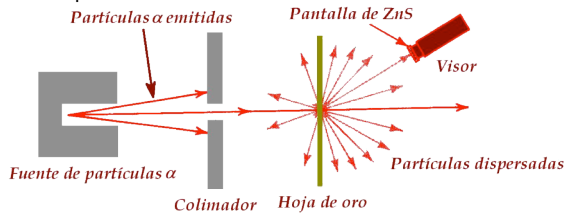
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

83

La estructura atómica

- El experimento de **Geiger y Marsden** puede esquematizarse así:



- Las **partículas α** se desvían posiblemente debido a la interacción electrostática entre estas y otro objeto masivo en el interior del átomo

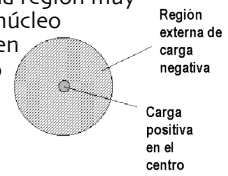
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

84

La estructura atómica

- Estos resultados eran inesperados pues el modelo de **Thomson** predecía que una desviación tan grande de las partículas era insignificamente pequeña
- Para explicar lo anterior el mismo **Rutherford** (1911), sugiere este modelo:
 - La mayor parte de la masa del átomo y toda la carga positiva reside en una región muy pequeña y densa llamada núcleo
 - La mayor parte del volumen del átomo es espacio vacío en el cual se mueven los electrones con toda la carga negativa del átomo



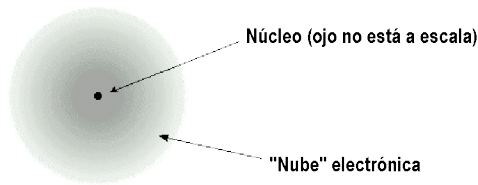
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

85

La estructura atómica

- Al comparar el tamaño del núcleo con el del átomo podríamos decir que
 - Si el núcleo fuera del tamaño de una canica,
 - Pesaría 300 toneladas
 - Y el átomo sería del tamaño del estadio Azteca



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

86

La estructura atómica

- Rutherford** (en 1919) demuestra que los protones y tienen carga positiva y están en el núcleo
- Chadwick** (en 1932) encuentra que los neutrones, son partículas neutras y que se encuentran también en el núcleo
- Aunque los físicos han identificado a la fecha una gran cantidad de partículas subatómicas,
- A los químicos generalmente únicamente les interesan las siguientes:
 - Electrones**
 - Protones**
 - Neutrones**



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

87

La estructura atómica

- **El Protón**
 - El protón tiene una carga de +1 la **carga electrónica** (o, $+1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$)
- **El Neutrón**
 - Los neutrones no tienen carga es decir son eléctricamente neutros
- **Para ser neutros todos los átomos deben tener el mismo número de electrones que de protones.**
- **El Electrón**
 - El electrón tiene una carga **negativa** que vale $-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Por conveniencia, la carga de las partículas atómicas y subatómicas se describe como un **múltiplo** de este valor (**carga electrónica**)
- Entonces a la carga del electrón nos referimos simplemente como -1.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

88

La estructura atómica

- Los protones y los neutrones residen en el núcleo del átomo, este es pequeño comparado con el tamaño del átomo.
- La mayor parte del espacio que ocupa un átomo es el lugar que ocupan los electrones moviéndose alrededor del núcleo
- Los electrones son atraídos por el núcleo pues ahí residen los protones que tienen carga positiva
- Las unidades de masa que usamos para describir a las partículas atómicas es la **unidad de masa atómica o UMA**
- Una unidad de masa atómica es igual a $1.66054 \times 10^{-24} \text{ g}$
 - **Protón = 1.0073 uma.**
 - **Neutrón = 1.0087 uma**
 - **Electrón = $5.486 \times 10^{-4} \text{ uma}$**

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

89

La estructura atómica

- De esta comparación podemos ver que:
 - Las masas del protón y del neutrón son prácticamente idénticas
 - En el núcleo reside prácticamente toda la masa del átomo
 - Los electrones aunque tienen la misma carga que los protones pero opuesta, corresponden solo al 0.05% de la masa del átomo.
- El tamaño de un átomo es tan pequeño, que el diámetro típico atómico está entre 1×10^{-10} y $5 \times 10^{-10} \text{ m}$, **una medida muy conveniente del tamaño de los átomos es el angstrom (Å) = $1 \times 10^{-10} \text{ m}$**
- **La mayoría de los átomos tienen diámetros de entre 1 y 5 Å**

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

90

La estructura atómica

- El modelo **más sencillo** que explica la ley periódica y las razones por las que los elementos estén ordenados tal como se ve en la tabla, es el de **Rutherford y Bohr**
- Este modelo dice que los electrones se mueven alrededor del núcleo en capas
- Que un electrón puede cambiar de capa siempre y cuando emita o absorba energía.
- Que los electrones ocupan (de a dos en dos) los orbitales que se encuentran en las subcapas, las cuales a su vez están en capas

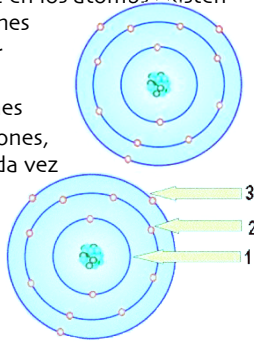
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

91

La estructura atómica

- Así, podemos pensar que en los átomos existen capas donde hay electrones
- Cada capa puede aceptar únicamente un número determinado de electrones
- Cuando añadimos electrones, estos ocuparán capas cada vez más externas
- Al cambiar de capa cambiamos de periodo



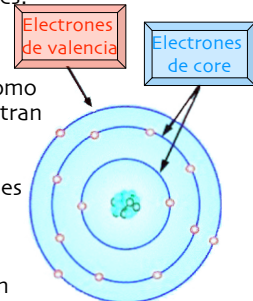
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

92

La estructura atómica

- A los electrones que se encuentran en estas capas pueden dividirse en dos clases:
 - Los electrones de Core o Kernel del átomo
 - Los electrones de valencia
- En todas las capas de un átomo excepto la última se encuentran los electrones de core o electrones inertes
- A la última capa de electrones de un átomo, se le conoce como capa de electrones de valencia, ahí se encuentran los electrones que participan en los fenómenos que nos interesan a los químicos.



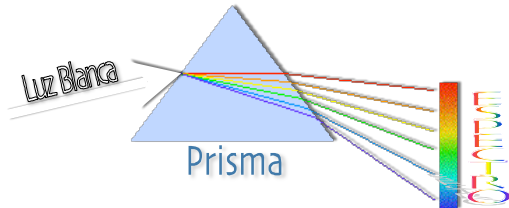
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

93

Propiedades espectroscópicas

- La luz que procede de un foco, es más o menos continua.
- Es decir que si la hacemos pasar por un prisma y la proyectamos en una pantalla, generará un espectro continuo mostrando **todas** las longitudes de onda.



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

94

Propiedades espectroscópicas

- Sin embargo si interponemos hidrógeno (o cualquier otro elemento) entre el foco y el prisma, la luz resultante **no es continua**.
- El espectro observado muestra una serie de líneas oscuras muy angostas, que se conocen como líneas espectrales donde faltan ciertos colores específicos.

Espectro de absorción del Hidrógeno



- Este patrón de líneas oscuras es característico de cada elemento.
- Y se le conoce como espectro de absorción atómica.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

95

Propiedades espectroscópicas

- Por otro lado, si calentamos ese mismo gas, empieza a brillar.
- Y si enfocamos la luz que emite, se observan únicamente líneas brillantes de ciertas longitudes de onda.

Espectro de emisión del Hidrógeno



- Este patrón de líneas brillantes, también es característico de cada elemento.
- Y se le conoce como espectro de emisión atómica

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

96

Propiedades espectroscópicas

- Entonces, tenemos que cualquier elemento en fase gas, produce dos clases de espectros.
- Ello, dependiendo de la manera que lo hagamos interactuar con la radiación electromagnética.
- Si hacemos que la luz pase por donde está el gas obtenemos el espectro de absorción.
- En cambio si la le damos suficiente energía, como para excitarlo, podremos obtener después de excitarlo el espectro de emisión.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

97

Propiedades espectroscópicas

- Así: Espectro continuo
- Espectro de emisión
- Espectro de absorción

Objeto caliente

Gas frío

Prisma

Espectro de absorción

Prisma

Espectro continuo

Espectro de emisión

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

98

Propiedades espectroscópicas

- Lo anterior puede observarse en la vida real y en el laboratorio. Para hacerlo en el laboratorio es necesario equipo como este:

Objeto caliente (emisor)

Colimador

Prisma

Cualquier sustancia fría

Objeto caliente (emisor)

Colimador

Prisma

Cualquier sustancia excitada

Colimador

Prisma

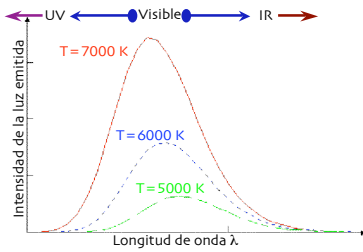
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

99

Propiedades espectroscópicas

- Si analizamos que le ocurre a un cuerpo al calentarlo nos encontraremos siempre con este comportamiento espectroscópico:



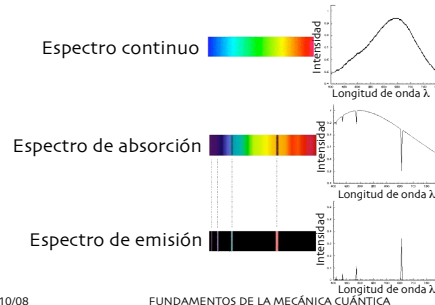
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

100

Propiedades espectroscópicas

- Cuando a la luz procedente de estos objetos se les hace pasar por una muestra de otra sustancia se obtiene esto:



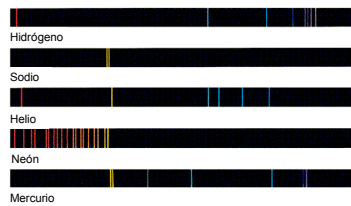
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

101

Propiedades espectroscópicas

- Así en principio cada elemento tiene un espectro de absorción y de emisión característico, como se puede ver en esta liga:
- [espectros](#)



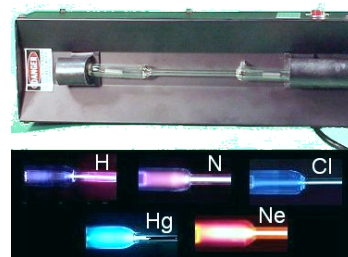
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

102

Propiedades espectroscópicas

- En particular los espectros de emisión son parte de nuestra vida cotidiana, aquí mostramos varios ejemplos:



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

103

Propiedades espectroscópicas

- **¿Pero a qué se debe este fenómeno?**
- Lo podemos atribuir a que los átomos que componen al gas, absorben la luz.
- **¿Y por qué absorben la luz?**
- Sabemos que la radiación es causada por la vibración de las cargas y la rapidez de la vibración determina la longitud de onda.
- Esto significa que, si solamente ciertas longitudes de onda pueden ser absorbidas o emitidas por el átomo, sus electrones vibran solamente a ciertas frecuencias.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

104

Modelo del átomo y espectroscopía

- Los resultados obtenidos del estudio de los espectros de líneas de los elementos no podían explicarse empleando la física clásica.
- Pues si consideramos el modelo del átomo propuesto por **Rutherford**, que era muy popular al principio del siglo XX, al electrón se le consideraba como si estuviera dando vueltas alrededor del núcleo.
- De tal manera que la fuerza centrífuga estuviera balanceada respecto a la atracción **coulómbica**.
- Entonces, un átomo así debería de ser capaz de absorber o emitir cualquier cantidad de energía.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

105

Modelo del átomo y espectroscopía

- De manera que el cambio en su energía meramente alteraría el radio de la órbita.
- Pero, se sabía que los gases absorbían o emitían energía en paquetes, es decir estaba cuantizada.
- En tanto que la luz que se producía por medio de un objeto caliente (foco), era **continua**.
- En el año de 1900, **Max Planck** demuestra que los átomos de un sólido caliente, tienen energías que son un múltiplo de una cantidad fija.
- A esta cantidad de energía le llamó **quantum** o paquete de energía.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

106

Modelo del átomo y espectroscopía

- Así, los físicos de la época se vieron forzados a considerar desechar por completo este modelo (a pesar de estar tan bien sostenido por la evidencia experimental).
- O hacerle algunas modificaciones difíciles de digerir.
- Es claro que, sería estúpido proponer que el átomo pudiera contener cualquier energía (tal como lo dicta el modelo planetario)
- Y a pesar de ello absorber o emitir energía en cantidades especiales y medidas.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

107

El modelo de Bohr

- ¿Pero entonces como es un átomo?
- Pues la alternativa era **postular** que los electrones en el átomo podían tener solamente ciertos valores de energía.
- Esto implicaba automáticamente, que el átomo podría absorber o emitir únicamente ciertas energías.
- Lo que es claro, es que al principio del siglo XX, este era un verdadero rompecabezas para los científicos.
- Una teoría o un modelo raramente se abandona por completo, a menos que no haya alternativa.
- De hecho el modelo planetario no se abandonará sino hasta que finalmente se desarrolla el modelo cuántico.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

108

El modelo de Bohr

- Afortunadamente, (**Niels Bohr**) un físico danés, sugiere un cambio al modelo muy radical.
- Este es el más simple y sensato de los modelos basado en el de **Rutherford**.
- Lo radical del modelo, reside en que **Bohr** propone que para explicar las líneas espectrales, los electrones deben seguir una regla medio **mafufa**.
- Esta regla es que sólo pueden estar en ciertas órbitas especiales y todas las otras órbitas están prohibidas.
- Por lo tanto, los electrones pueden saltar de una órbita a otra y al hacerlo vibran.
- Consecuentemente producen radiación.



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

109

El modelo de Bohr

- Entonces, **Bohr** descubrió que se podía explicar cuantitativamente el espectro del hidrógeno si se consideraba que en el átomo los electrones se movían únicamente en aquellas órbitas especiales donde el momento angular del electrón era un múltiplo de $h/2\pi$.
- Es decir que la energía del electrón estaba **cuantizada**.
- Esta propuesta tan arbitraria y **mafufa** para su tiempo, es aceptable en parte, por que consigue salvar el modelo planetario al menos por un tiempo.
- Y la evidencia experimental de la estructura en capas de los electrones puede verse en los espectros de líneas.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

110

El modelo de Bohr

- Así, en el caso del átomo de hidrógeno, la energía de cada uno de los niveles cuánticos se puede obtener usando la siguiente ecuación:

$$E = -\frac{k Z^2}{n^2}$$

- Y la diferencia de energía entre dos niveles cualquiera del átomo en cuestión usando esta:

$$E_2 - E_1 = h \nu = h Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

111

El modelo de Bohr

- De esta manera, este modelo puede racionalizar el comportamiento químico de los elementos, al arreglar a los electrones en capas.
- Es decir, al **cuantizar** las energías de los electrones en capas discretas (llamadas **K, L, M, N, O, etc.**), se pueden explicar las propiedades químicas de los elementos.
- Esta teoría además predice el número de electrones en cada una de las capas así:

$$\# \text{ de electrones} = 2n^2$$

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

112

El modelo de Bohr

- En esta tabla se muestran las ocupaciones de cada capa:

Capa	K	L	M	N	O
n	1	2	3	4	5
2n ²	2	8	18	32	50

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

113

El modelo de Bohr

- Y los niveles energéticos permitidos o estados energéticos de un átomo (usando terminología moderna) serán:

Momento angular de los estados espectroscópicos del átomo de hidrógeno	
Estado	$p = n (h / 2\pi)$, n es un entero
1s	1 (h/2π)
2s	2 (h/2π)
2p	2 (h/2π)
3s	3 (h/2π)
3p	3 (h/2π)
3d	3 (h/2π)

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

114

El modelo de Bohr

- De esta manera tenemos que cuando un átomo se encuentra en su **estado basal** y lo **excitamos** usando un haz de luz o calor, solamente ciertas de las longitudes de onda tendrán la energía suficiente para hacer que el electrón pueda pasar a otra órbita y serán esas longitudes (o frecuencias o energías) las que se absorberán .
- Y de la misma manera, cuando dejamos de excitarlo, los electrones que se pasaron a una órbita de mayor energía al regresar a su órbita original emitirán energía.

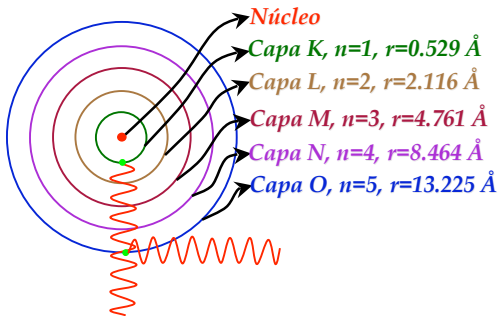
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

115

El modelo de Bohr

- Órbitas de Bohr del hidrógeno



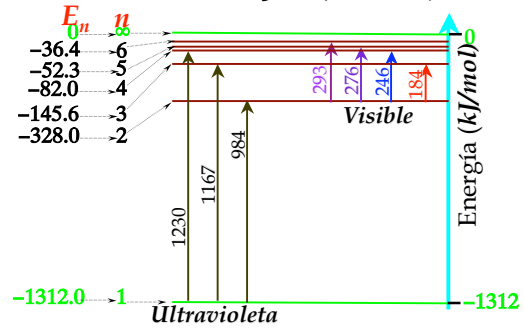
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

116

El modelo de Bohr

- Transiciones del hidrógeno (absorción):



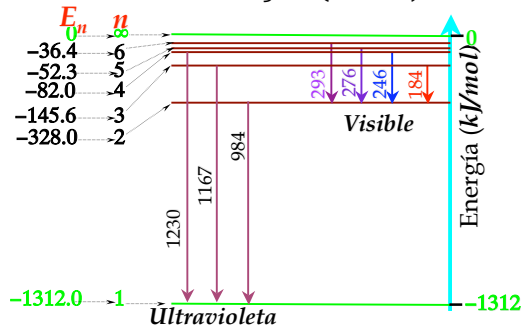
17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

117

El modelo de Bohr

- Transiciones del hidrógeno (emisión):



17/10/08

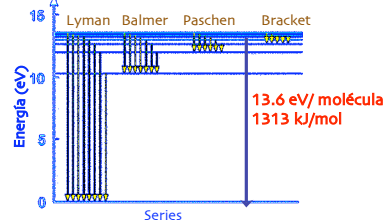
FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

118

El modelo de Bohr

- Aquí vale la pena indicar que el átomo de hidrógeno (y por cierto todos los demás también), absorben y emiten radiación a otras longitudes de onda además de las del visible.

El Hidrógeno se ioniza con energías superiores a 13.6 eV



17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

119

El modelo de Bohr

- Es interesante comentar que la propuesta de **Bohr** le abre el camino a la mecánica cuántica, independientemente del hecho de que es incorrecta casi en todos sus detalles.
- Particularmente, porque el modelo no nos da ninguna pista del origen de el enlace químico.
- Además no da ninguna base para entender por que ocurre la **cuantización** de la energía del electrón.
- Ni tampoco explica la razón por la cual un electrón no irradia energía al estar en movimiento.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

120

El modelo de Bohr

- A pesar de este funesto historial, el coraje de reconocer la necesidad de una desviación de la física clásica, le ganó a **Bohr** un lugar en la historia.
- Todavía hoy, a los **estados permitidos**, se conocen como **estados estacionarios**, tal como los bautizó **Bohr**.
- A estos **estados estacionarios**, se les caracteriza por medio del uso de los **números cuánticos**.
- Los cuales explican el patrón característico del átomo de hidrógeno.

17/10/08

FUNDAMENTOS DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

121