

# ESPECTROS

## UNA APROXIMACION EXPERIMENTAL AL ESTUDIO MECANICO DEL ATOMO Y DE LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

### INTRODUCCION

Esta publicación es el resultado del esfuerzo didáctico por hacer más fácilmente comprensible a mis alumnos, estudiantes de primer curso de Ciencias en la Escuela de Magisterio, el modelo mecanocuántico del átomo.

La Física de las partículas elementales avanza vertiginosamente y está a punto de dar luz en el aún oscuro mundo del núcleo. Ya no pueden mantenerse concepciones tan simplistas como la estructura puramente corpuscular o mecanicista del átomo y sus componentes. La Ciencia del futuro avanza sobre los presupuestos de la Mecánica Cuántica Ondulatoria. Y los espectros, fue y sigue siendo, la fuente experimental para descifrar la estructura de la materia. El reto está en el profesor, en su empeño por crear una metodología adecuada. Y en este empeño me han ayudado un grupo de alumnos. Joan Amengual, M.<sup>a</sup> José Aragón, Bárbara Gallardo, José M.<sup>a</sup> Navarro, José Moya, Emilio Núñez, Alejandro Ruiz, Alicia Talens y Toni Villalonga. Todos ellos, coordinados por José M.<sup>a</sup> Navarro, desarrollaron las experiencias de cátedra y las explicaron al resto de sus compañeros.

Transcribo las impresiones que José M.<sup>a</sup> recogió de sus compañeros y que me presentó en la introducción de un trabajo sobre este tema:

...“Tuvimos la satisfacción de oír de nuestros compañeros que habíamos mantenido su interés a lo largo de toda la exposición”... “lo que nos resultó más gratificador fue comprobar que nuestro pequeño esfuerzo no había sido en vano. Los alumnos lograron comprender mejor el nuevo modelo del átomo”... “En cuanto al trabajo en equipo, fue una experiencia muy positiva”... “Fuimos nosotros, los

4 que preparamos la exposición, los pri-

meros beneficiados. Tuvimos que entenderlo bien para poder explicarlo bien”...

Los objetivos de esta exposición, basados en hechos experimentales del mundo de observación cercano, van en una doble línea.

La primera se refiere a mis alumnos y con un doble matiz:

Respecto a los contenidos, lograr una mejor comprensión del modelo mecanocuántico del átomo y del hecho experimental de los espectros.

Respecto a las actitudes, estimular el trabajo en equipo y la creatividad didáctica de estos futuros profesores.

La otra línea tiene en el horizonte a los alumnos de mis alumnos. Cierzo que los contenidos tendrán que adecuarse al nivel de los concretos alumnos. Pero pienso que, el problema del aprendizaje, no es tanto cuestión de contenidos como de crear una metodología adecuada. Aquí está el reto para quienes estamos empeñados en la tarea de la renovación didáctica.

Pensando en las escuelas, se han elegido experimentos sencillos, fácilmente comprensibles. Y se han utilizado recursos caseros, asequibles sin necesidad de recurrir a cajas comercializadas de material didáctico.

Y por qué este empeño en estudiar el átomo? La respuesta es obvia. El átomo es el sillar de la Química. Sus interacciones darán lugar a todos los fenómenos químicos y a todas las propiedades de la materia.

Pero a la estructura del átomo se ha llegado por el estudio experimental de los espectros. Por eso, esta publicación se centrará en el origen de los espectros, en la interacción de la radiación electromagnética con la materia. Porque, además, comprender bien los mecanismos de esta interacción, es presupuesto para explicar la mayor parte de los fenómenos.

Esta interacción está en la base de fenómenos tan familiares como el color que alegra nuestra vista o el placer con que tomamos el sol en la playa. Es la base de fenómenos tan utilizados como la fotografía o las células fotovoltaicas. O fenómenos tan molestos como el smog o el tener que proteger de la luz ciertos alimentos. Y, sí en la investigación la información necesaria para llegar a la estructura de la materia nos la proporcionan los espectros, en la escuela el color y las propiedades ópticas de la materia, pueden ser una pequeña pista para que el alumno llegue a distinguir diferentes tipos de enlace. Es decir, si las propiedades de la materia dependen de su estructura, aquellas propiedades fácilmente perceptibles por nuestros sentidos nos deberán informar del tipo de enlace. Este es un gran tema de investigación didáctica en el que estoy trabajando con interés.

En esta exposición se dan por supuesto los contenidos físicos y químicos necesarios. El objetivo es más bien la didáctica del aprendizaje. Solo insistiremos en aquellos fenómenos que nos acercan a la comprensión de los espectros.

(José M.<sup>a</sup> Navarro ha delineado las figuras de esta publicación).

### CONTENIDOS PREVIOS

Las propiedades de la materia: masa, carga, energía, están cuantificadas.

• Discontinuidad de la masa: *átomo*

Las leyes experimentales físicas y químicas del XIX llevan a formular la Teoría cinética. La discontinuidad de la masa era un hecho que confirmaba la existencia del átomo.

• Discontinuidad de la carga: *electrón*

Casi al tiempo, se llega a formular

la discontinuidad de la carga y el descubrimiento del electrón por experimentos de conductividad a través de disoluciones y descargas en gases.

El espectrógrafo de masas permite medir la masa y la carga del electrón, protón y neutrón, descubiertos posteriormente. Quedan identificadas las *partículas fundamentales*.

• **Discontinuidad de la energía: fotón** Unido al desarrollo de las teorías sobre la naturaleza de la luz. Einstein generalizó la hipótesis de Plank formulando que la energía radiante se propaga en cuantos de energía o fotones de valor  $E = h\nu$

¿Cómo se colocan las partículas fundamentales en el átomo?

Rutherford a partir de sus experimentos, —analiza la repulsión de las partículas alfa por láminas metálicas—, propone un modelo de átomo planetario: alrededor de un núcleo, que concentra toda la masa y la carga positiva, giran los electrones.

Y ¿Cómo se colocan los electrones alrededor del núcleo?

Esta es la respuesta que encontraremos estudiando los espectros de los átomos, resultado de su interacción con la radiación electromagnética.

## ¿QUE ES UNA ONDA?

Si volteamos una campana, oímos su típico repiqueteo. La voz de la radio y la imagen y sonido de la T. V. nos llegan desde sitios muy lejanos. Somos capaces de ver la distante luna iluminada por el aún más distante sol.

Todos los fenómenos son el resultado de interacciones. Esta situación física se propaga a través del espacio por un movimiento ondulatorio dependiente del tiempo. (fig. 1) Y la

• Onda es la trayectoria de la perturbación transmitida a través del espacio en función del tiempo.

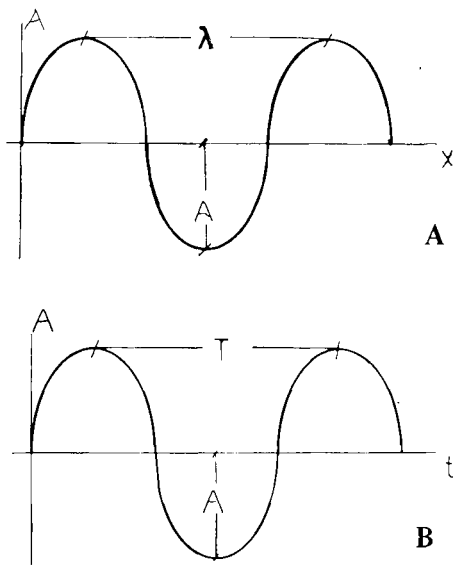


FIGURA 1. Parámetros de una onda periódica en el espacio y en el tiempo. Amplitud: A Longitud de onda:  $\lambda$  Periodo: T

bación transmitida a través del espacio en función del tiempo.

### Experimentación:

Se puede improvisar una cubeta de ondas con cualquier cubeta llena de agua e iluminada con un flexo de luz. La masa de agua se puede perturbar de diferentes maneras. Por ejemplo, tirando gotas de agua con un cuentagotas o desde una bureta.

Se puede también visualizar la transmisión de la perturbación originada por el movimiento de vaiven sobre una cuerda, o, mejor sobre un resorte.

La vibración de un diapasón mientras se oye el sonido, es fácilmente perceptible.

### ¿Qué transmite una onda?

• Las ondas no transportan materia.

Experimentación y observación:

Dejar flotar serrín o un palillo sobre el agua de la cubeta. Perturbarla, dejando caer gotas de agua sobre

ella. El palillo no se mueve de su sitio a pesar del movimiento de vaivén a que está sometido. Porque tampoco se desplazan las gotas de agua que sostienen el palillo.

• Los átomos del medio vibran alrededor de su posición de equilibrio.

Lo que se propaga no es la materia sino su estado de movimiento.

Experimentación:

Se puede visualizar este movimiento vibratorio de los átomos de forma sencilla según se indica en la figura 2. Se cuelgan de un palo unas cuantas bolas, mejor de material elástico, a una distancia periódica. El impulso dado a la primera bola se transmite a las demás originando una onda longitudinal. (fig. 2a).

Se visualiza una onda transversal sin más que unir entre sí las bolas anteriores (fig. 2 b)

## ...UNA ONDA TRANSMITE ENERGIA

Experimentación y observación:

Si concentramos la luz del sol, mediante una lupa, sobre un papel de seda negro éste se quema (fig. 3).

El agua de las piscinas está más caliente a mediodía. Tenemos sensación de calor cuando tomamos el sol. Las explosiones pueden derribar edificios o abrir túneles. Para evitar destrucciones, la bomba de neutrones reduce al máximo su onda expansiva. Las células solares funcionan al captar energía de la radiación luminosa.

Y la vida se mantiene gracias a la absorción de la energía solar por las plantas con clorofila.

## Clases de ondas

Para nuestro objetivo, nos referiremos concretamente a las ondas electromagnéticas. Por motivos didácticos 5

se puede hacer un paralelismo entre las ondas elásticas y las electromagnéticas. Sus diferencias nos permiten insistir más en las características de cada una de ellas. Y deja preparado el tema para hablar de las propiedades ópticas y sonoras de la materia. Propiedades que dependerán de la interacción de las ondas con la materia, en definitiva, de la estructura de la material.

- Ondas elásticas: se originan por una perturbación mecánica y transportan energía de tipo mecánico, a través de un medio elástico. Entre ellas está el sonido, ondas que percibimos a través del sentido del oído. La frecuencia de la onda nos da el tono del sonido.

- Ondas electromagnéticas. El origen de la perturbación es una carga en movimiento y transmite energía Electromagnética. La transmisión puede hacerse en el vacío o a través de la materia. Entre ellas está la luz visible, los colores, ondas que son capaces de impresionar nuestra retina. La frecuencia de la onda nos da el tono del color.

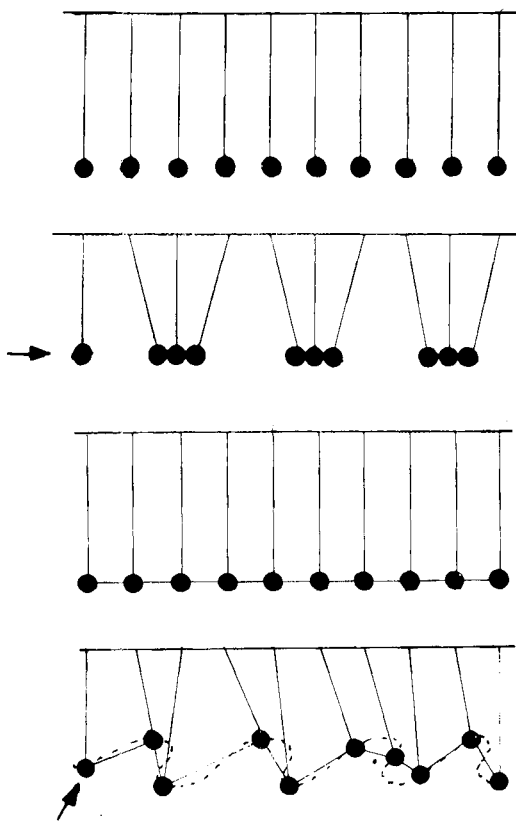


FIGURA 2. Las ondas no transportan materia. Los átomos del medio vibran alrededor de su posición de equilibrio. a Ondas longitudinales, b Ondas transversales.

### Parámetros de la onda y ecuaciones que los ligan

En la fig. 1 se señalan los parámetros de una onda periódica en el espacio y en el tiempo: longitud de onda:  $\lambda$ , amplitud: A y periodo: T.

La frecuencia  $\nu$ , es el número de longitudes de onda que se propagan en la unidad de tiempo. Está relacionada con el periodo  $\nu = \frac{1}{T}$

La velocidad  $v = \lambda\nu$  dimensiones de espacio y tiempo. La velocidad en el vacío es constante  $V=c$ . En cambio, la velocidad a través de un medio es diferente, dependiendo del medio y de la frecuencia de la luz. La relación  $c/v=n$ , es el índice de refracción del medio para una frecuencia de onda determinada.

La ecuación de Plank-Einstein  $E=h\nu$ , nos cuantifica la energía en cantidades discretas o fotones, -carácter corpuscular de la onda electromagnética-, y lleva un concepto, la frecuencia, que nos habla de fenómeno ondulatorio. Complementariedad que nos introduce en la dualidad onda-corpusculo.

- UNA ONDA ELECTROMAGNETICA QUEDA DETERMINADA POR SU ENERGIA O SU FRECUENCIA O SU LONGITUD DE ONDA, ya que todas ellas están relacionadas entre sí.

### Fenómenos que experimentan las ondas

Siguiendo nuestro objetivo, nos interesa subrayar:

- Los fenómenos que experimentan las ondas son el resultado de interacciones.

- Interacciones de las ondas entre sí produciéndose interferencia.

- Interacciones de las ondas con la materia mediante mecanismos de reflexión, refracción y absorción.

De estos fenómenos nos detendremos en la dispersión de la luz, consecuencia de su refracción y origen del espectro de la radiación electromagnética, y en la absorción de la luz por la materia, fenómeno que da lugar al espectro de una sustancia.

### Interferencia

- Cuando dos o más ondas coinciden en la misma región del espacio, interaccionan entre sí, superponiéndose y originando una nueva onda de mayor o menor amplitud. (fig. 4)

Experimentación y observación:

Este fenómeno explica que dos focos de luz puedan dar una luz más

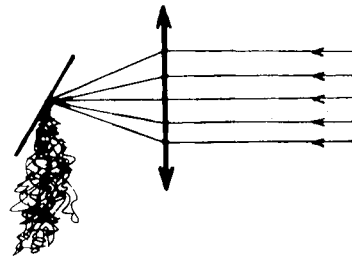


FIGURA 3. Una onda transmite energía. La lente concentra los rayos del sol sobre un papel de seda negro y lo quema.

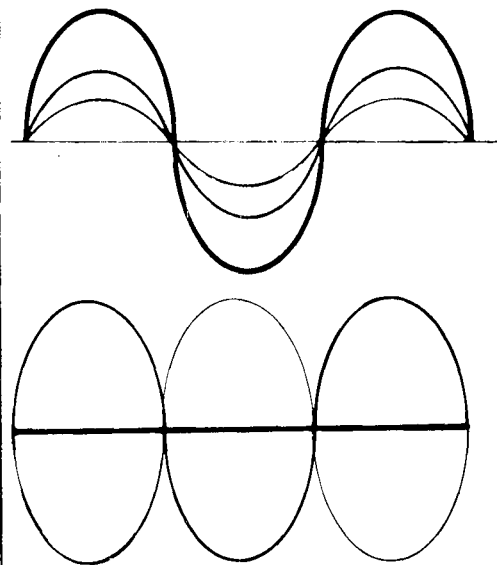


FIGURA 4. Interferencia. a Constructiva b Destructiva.

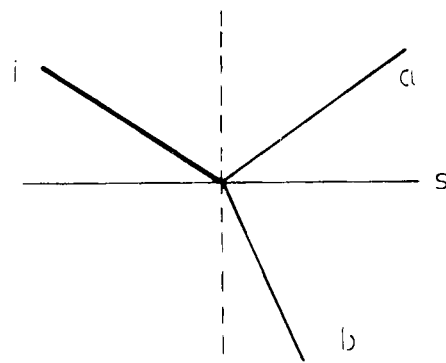


FIGURA 5. Reflexión y refracción de la luz. Rayo incidente: i, Superficie de separación: s, Rayo reflejado: a, Rayo refractado: b.

intensa o bien franjas de sombra. Y la penumbra que a veces se observa alrededor de las sombras de objetos. También las figuras de difracción se originan por interferencia.

Se originan interesantes fenómenos de interferencia haciendo sombras sobre una pared, colocando una cartulina negra, con figuras geométricas recortadas, delante de una luz producida por uno o varios focos, alejándola y acercándola a ellos.

### Reflexión y Refracción

- Cuando un rayo luminoso llega a la superficie de separación de dos medios, la energía que transporta se puede dividir en dos partes (fig. 5):
  - a. Una que se refleja, es decir, continúa propagándose en el mismo medio, sufriendo un cambio de dirección.
  - b. Otra que se refracta, es decir, penetra en el otro medio, por lo cual experimenta un cambio de velocidad, y, por ello, una modificación en su trayectoria.

Experimentos y observación:

La reflexión de la luz se visualiza sencillamente jugando a desviar los rayos de sol con un espejo.

Debido al fenómeno de refracción se observan los típicos fenómenos ópticos al introducir objetos dentro de agua o de líquidos con mayor índice de refracción que el aire.

Si colocamos verticalmente sobre la mesa una regla de plástico transparente de manera que sobre ella incidan los rayos del sol, y la hacemos girar, irán apareciendo, sobre la mesa, diferentes rayos en los que podemos distinguir fácilmente los rayos reflejados y los refractados, la dispersión de la luz blanca en sus colores, y, si la regla tiene alguna maca, incluso figuras de interferencia.

### Dispersión de la luz en sus ondas monocromáticas debido al fenómeno de la refracción.

Experimentación y observación:

En un día húmedo aparece en el cielo el arco iris. La luz del sol se descompone en sus colores al atravesar objetos de plástico transparentes como bolígrafos ó, sencillamente, a

través de un vaso medio lleno de agua.

Las irisaciones que se observan al incidir la luz del sol sobre líquidos con alto índice de refracción como aceites, también se debe al fenómeno de dispersión.

Para explicar este fenómeno conviene provocar la dispersión de la luz blanca en sus diferentes colores a través de un prisma. El foco luminoso puede ser la luz del sol (fig. 6a). Se obtiene el espectro de la luz blanca.

Explicación:

Cuando un rayo de luz atraviesa un prisma experimenta una doble refracción. Una, al pasar del aire al interior del prisma. Otra, al salir del prisma al aire. (fig. 6b). La luz blanca es un conjunto de ondas electromagnéticas, de distintas frecuencias, que se propagan conjuntamente. Como la velocidad de las ondas depende, no solo del medio sino también de su frecuencia, cada una de las ondas que componen la luz blanca se refracta, en cada una de las caras del prisma, con un ángulo distinto, cumpliendo la ley de Snell:  $n_1 \sin i = n_2 \sin r$ . En consecuencia, cada onda monocromática emerge del prisma con un ángulo distinto. (fig. 6a y 6b).

Los prismas ordinarios descomponen la luz blanca en siete colores. Pero si se consiguen medios dispersivos más potentes, se verán más colores.

- La luz blanca es una mezcla de ondas monocromáticas.
- Cada onda transporta una energía que depende de su frecuencia o de su color. Podemos extender lo que hemos visto para la luz blanca al conjunto de toda la radiación electromagnética: • La radiación electromagnética se puede dispersar en sus ondas monocromáticas componentes.

Como la radiación electromagnética puede impresionar una placa fotográfica

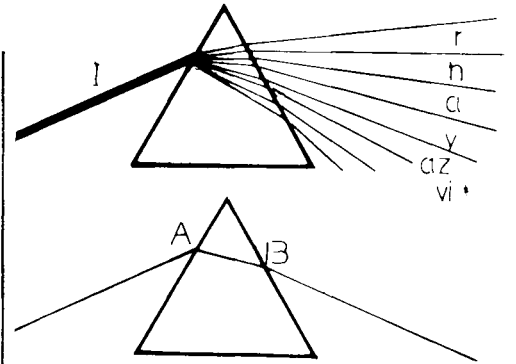


FIGURA 6. Dispersión de la luz en sus ondas monocromáticas a través de un prisma.

a Espectro de la luz blanca. Luz incidente: I. Colores rojo: r, naranja: n, amarillo: a, verde: v, azul: az, violeta: vi.  
b Doble refracción del rayo de luz en las caras A y B del prisma.

ca (es el fundamento de la fotografía), coloquemos entre la fuente de radiación y la placa un prisma. El prisma descompone la radiación en sus ondas monocromáticas componentes. Cada una de estas ondas, ya ordenadas por su frecuencia, incidirán sobre la placa impresionando una línea. Si la radiación electromagnética se compone de todas las ondas, las líneas estarán tan juntas que constituirán bandas. Similarmente a como vemos las franjas de los colores del arco iris, como bandas continuas. Así obtenemos la "huella" del espectro de la radiación electromagnética.

• ESPECTRO DE LA RADIACION ELECTROMAGNETICA ES EL CONJUNTO DE LINEAS CORRESPONDIENTES A LAS ONDAS MONOCROMATICAS ORDENADAS SEGUN SU ENERGIA O SU LONGITUD DE ONDA O SU FRECUENCIA.

Los siete colores del espectro de la luz blanca no son más que una estrecha franja o banda del espectro electromagnético total, la región visible, es decir, las ondas que portan una energía capaz de sensibilizar nuestra retina. Pero hay ondas con menor energía y otras con mayor energía que la visible.

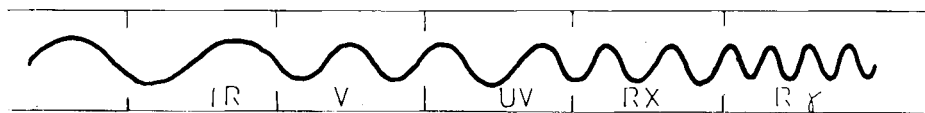


FIGURA 7. Espectro de la radiación electromagnética. Microondas, Infrarrojo: I. R. visible: V, Ultravioleta: UV, Rayos X: R. X., Rayos gamma: R.γ. Las ondas de menor energía, mayor frecuencia, tienen menor longitud de onda (no está hecho a escala).

• El espectro total de la radiación electromagnética está constituido por las siguientes zonas, ordenadas de menor a mayor energía: microondas, infrarrojo<sup>IR</sup>, visible<sup>V</sup>, ultravioleta<sup>U.V.</sup>, rayos X<sup>R.X</sup>, rayos gamma<sup>R.γ</sup> (fig. 7).

### Resonancia

Entender el fenómeno de absorción, en la interacción de la radiación electromagnética con la materia, exige conocer un concepto previo que es clave, la resonancia.

Todos los cuerpos vibrantes poseen una frecuencia natural de vibración. Por ejemplo, en el caso del péndulo, es la inversa de su periodo y depende de su longitud.

Si sobre el cuerpo vibrante actúa una fuerza impulsora, el cuerpo oscilará con la misma frecuencia que la fuerza impulsora. Se han producido oscilaciones forzadas.

Su amplitud de oscilación alcanzará un máximo cuando la frecuencia de la fuerza aplicada sea igual a la frecuencia natural del oscilador. Han entrado en resonancia.

Igualmente serán máximas la velocidad y la energía cinética de las oscilaciones. Se dice que hay resonancia en la energía.

Estas son las condiciones más favorables para transferir energía al oscilador, es decir, para que el oscilador absorba energía.

#### Experimentación y observación.

La resonancia acústica se observa muy fácilmente si se disponen de dos diapasones de la misma frecuencia. Podemos hacer variar la frecuencia de uno de los diapasones mediante un deslizador. Cuando quitamos el deslizador, ambos diapasones alcanzarán la misma frecuencia de vibración y observaremos el fenómeno de la resonancia.

Improvisemos varios péndulos colgando, de una barra, masas iguales con cuerdas de diferentes longitudes (fig. 8a). Variemos la longitud de uno de los péndulos, sin más que acortar o alargar la cuerda de suspensión, de manera que su longitud se iguale con uno u otro de los péndulos restantes. Si hacemos oscilar este péndulo, los 8 restantes péndulos se verán forzados a

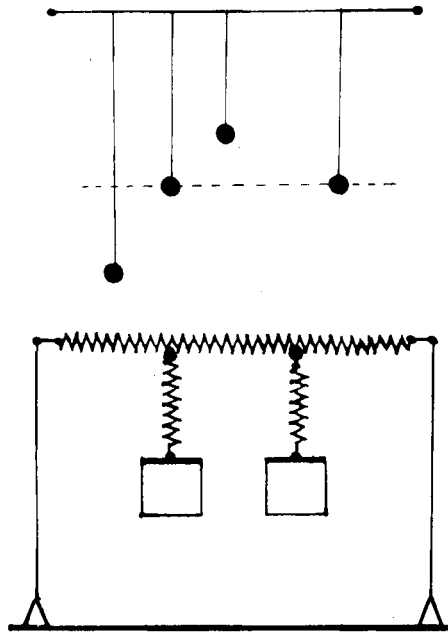


FIGURA 8. Resonancia: a Oscilaciones forzadas, b Resonancia en la Energía.

oscilar. El péndulo que alcanzará la máxima amplitud de oscilación será aquel que tenga la misma longitud que la del péndulo que les fuerza a oscilar.

Los niños pueden observar fácilmente, haciendo botar una pelota suspendida de una cuerda de goma, que la pelota alcanzará la máxima amplitud de oscilación si acompañan los impulsos de su mano a la oscilación natural de este sistema.

Igualmente, el columpio "subirá más alto" —amplitud de la oscilación—, si acompañan el ritmo con que lo "empujan" —frecuencia de la fuerza—, a la frecuencia natural de este oscilador.

La transferencia de energía se puede visualizar fácilmente con un sencillo artilugio (fig. 8b). De un muelle, sostenido horizontalmente, se suspenden, a igual distancia de sus extremos, pero distanciados entre sí, dos muelles iguales que sostienen dos pesos iguales. Hagamos oscilar uno de ellos. El otro será forzado a oscilar. Como sus frecuencias de oscilación son iguales, entrarán en resonancia y habrá trasvase de energía. Efectivamente, observaremos que, cuando uno de los osciladores se detiene, el otro está oscilando con la máxima amplitud. Y cuando este oscilador llegue a

pararse, el otro habrá alcanzado su máxima amplitud de oscilación.

La resonancia explica muchos fenómenos de la vida ordinaria. Los ruidos molestos que a veces se producen en la nevera o en el coche en marcha se explica porque se ha producido resonancia entre la frecuencia de vibración del motor y la de alguna pieza suelta que golpea. Antes de atravesar un puente los soldados deben "romper filas" para prevenir una posible resonancia que podría hundir el puente (recordemos el espectacular hundimiento del puente de Tacoma). Una pequeña piedrecita puede romper el parabrisas de un coche en movimiento. Haciendo vibrar un diapason podemos romper un vaso colocado a cierta distancia de él. Los explosivos rompen los cristales de edificios. Recordemos la infinidad de historietas en que el asesino ha producido la muerte a su víctima utilizando un fenómeno de resonancia. Por ejemplo, las ondas de un programa musical que oía la víctima entraban en resonancia con el recipiente de cristal, que contenía un gas fetal, rompiéndolo.

Cuando seleccionamos en nuestra radio una emisora, lo que estamos haciendo es sintonizar la frecuencia oscilante del circuito eléctrico receptor con la de la estación emisora. Se produce resonancia, la absorción de energía está al máximo y, por ello, es la única estación que podemos oír.

• Cuando la frecuencia de la fuerza aplicada es igual a la frecuencia natural del oscilador, la amplitud, la velocidad y la energía cinética de las oscilaciones son máximas. Se dice que hay resonancia en la energía.

• CUANDO HAY RESONANCIA EN LA ENERGÍA, LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA DE LA FUERZA APLICADA AL OSCILADOR FORZADO ESTA AL MÁXIMO. EL OSCILADOR ABSORBE ENERGÍA.

### Absorción

#### Experimentación y observación:

Volvamos a repetir la descomposición de la luz del sol a través de un prisma. Y ahora, interpongamos, entre el prisma y nuestra pantalla, filtros de diferentes colores (pueden ser papeles

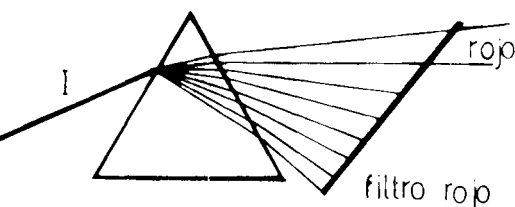


FIGURA 9. Absorción de la luz blanca incidente: I, por un filtro rojo.

de celofán). Observaremos que, según el color del filtro que interpongamos, dejaremos de ver uno o más colores. Resulta muy llamativo en el caso del filtro rojo: solo deja pasar este color. Hemos conseguido una radiación monocromática, un solo color, una sola frecuencia, una energía determinada. Las demás energías las ha absorbido el filtro (la materia) (fig. 9).

El color de una sustancia es el resultado de las energías que deja pasar, que no absorbe, y que llegan a nuestra retina. Por eso, el color depende, no solo de la sustancia, sino también de la luz con la que se ilumine. Vemos de diferente color un objeto iluminado con luz blanca que si lo iluminamos haciendo pasar la luz a través de un filtro rojo. Todos sabemos que el color de los tejidos cambia según los observemos con luz artificial en el interior de la tienda o con la luz del sol en la calle. Y no se maquilla igual quien tiene que aparecer iluminado por los focos de una sala de fiesta o de una cámara de T.V. que quien se dispone a pasear por la calle.

#### Explicación:

Cada sustancia tiene sus propias frecuencias de resonancia a las cuales absorbe energía de la radiación electromagnética.

Cuando una onda electromagnética, de cierta frecuencia, que porta una determinada energía, interactúa con la materia, que es un sistema de cargas, la onda imprime una oscilación forzada sobre el movimiento natural de las cargas. Podemos considerar los electrones en un átomo como osciladores que tienen ciertas frecuencias. Si la frecuencia de la onda que le perturba es igual a su frecuencia natural de oscilación, se produce resonancia y el electrón absorbe energía de la onda electromagnética.

Sí interactúa con la materia, no una onda, sino todo el espectro de la radiación electromagnética, los electrones absorberán las ondas que lleven una energía, una frecuencia, igual a la frecuencia natural de sus movimientos de oscilación.

Si se recoge el espectro de la radiación sobre una placa fotográfica, después de haber atravesado la materia, —una sustancia determinada—, obtendremos las frecuencias de resonancia, es decir las energías que la sustancia absorbe y que constituyen el espectro de absorción de esta sustancia. (las frecuencias de resonancia de absorción no llegan a la placa. Las líneas aparecerán como espacios no impresionados).

- Cuando la radiación electromagnética incide sobre la materia, ésta puede absorber energía.

- LAS ENERGIAS QUE ABSORBE CONSTITUYEN, ORDENADAS, SU ESPECTRO DE ABSORCIÓN.

- La materia solo absorbe determinadas energías.

- EL ESPECTRO DE ABSORCIÓN ES CARACTERÍSTICO DE CADA SUSTANCIA Y ES UN ESPECTRO DE LINEAS.

#### Emisión

La materia que absorbe energía pasa a un estado excitado y vuelve a emitirla para volver a su estado fundamental, de mínima energía. La materia puede absorber energía, no solo de la radiación electromagnética, sino de otras formas, como energía calorífica o eléctrica. Y puede emitirla en forma de energía calorífica, química, o de muchas formas más. A nosotros nos interesa seguir estudiando el proceso cuando emite energía en forma de radiación electromagnética.

#### Experimentación y observación:

Observemos el cambio de coloración que experimenta un clavo de hierro introducido en el fuego. Primero aparece rojizo, luego amarillento, y, si la temperatura es muy alta, veremos que cambia hacia el blanco. Absorbe energía calorífica y la emite en forma de radiación electromagnética en la zona del visible.

Introduzcamos una piedra caliza (carbonato cálcico), previamente humedecida con agua fuerte (ácido clorhídrico) en la llama de un mechero. El calcio emitirá su característico color rojizo.

Si introducimos un hilo de cobre (de un cable de la luz), previamente humedecido con agua fuerte, en la llama, ésta se coloreará de un intenso color azul y verde, claramente diferenciables. (fig. 10)

Los anuncios luminosos son otro ejemplo. La energía eléctrica excita la sustancia que hay dentro del tubo luminiscente y ésta emite la energía absorbida en forma de ondas electromagnéticas. Cada sustancia emite unas energías características que nosotros detectamos en forma de colores diferentes.

Sí esta radiación visible la descomponemos a través de un prisma y dejamos que impresione una placa, comprobaremos que se compone de ondas de varias frecuencias. Cada onda impresiona una línea en la placa. Hemos obtenido un espectro de líneas, el espectro de emisión de la sustancia. (fig. 11) Y las líneas corresponden a las mismas frecuencias que las de su espectro de absorción. Evidentemente, para volver a su estado fundamental, la sustancia excitada deberá emitir la misma energía que previamente había absorbido.

- LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS QUE EMITE UNA SUSTANCIA, PREVIAMENTE EXCITADA, ORDENADAS SEGUN SU FRECUENCIA, CONSTITUYEN SU ESPECTRO DE EMISION.

- EL ESPECTRO DE EMISION DE UNA SUSTANCIA ES UN ESPECTRO DE LINEAS: ESTA FORMADO SOLO POR DETERMINADAS FRECUENCIAS, DETERMINADAS ENERGIAS.

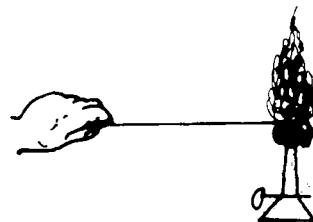


FIGURA 10. Emisión de radiación electromagnética por una sustancia excitada. 9

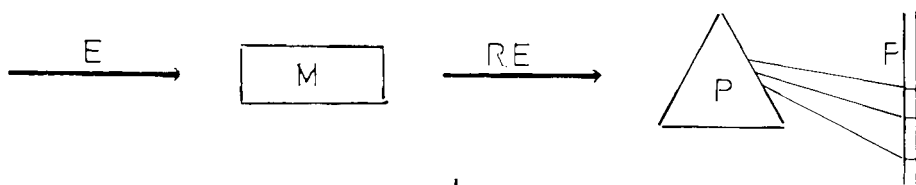


FIGURA 11. Espectro de emisión de una sustancia. La Materia: M, previamente excitada por Energía: E, emite Radiación Electromagnética: R. E. A través de un Prisma: P se descompone en sus ondas monocromáticas e inciden sobre una Placa: F dejando la "huella" de un espectro de líneas.

Sintetizando estos fenómenos de absorción y de emisión de radiación electromagnética por la materia, podemos concluir:

- EL ESPECTRO DE UNA SUSTANCIA ES EL RESULTADO DE SU INTERACCIÓN CON LA RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y ES UN ESPECTRO DE LINEAS O DISCONTINUO

- LOS ESPECTROS DE ABSORCIÓN Y DE EMISIÓN DE UNA SUSTANCIA SE COMPONEN DE LAS MISMAS LINEAS, DE LAS MISMAS FRECUENCIAS DE RESONANCIA, DE LAS MISMAS ENERGÍAS.

- CADA SUSTANCIA TIENE SU ESPECTRO CARACTERÍSTICO QUE LE DISTINGUE DE TODAS LAS DEMAS.

### Espectro del átomo de hidrógeno

Llegados a este punto, tenemos ya la clave para descubrir la estructura del átomo y de las moléculas, la estructura de la materia. El reto está en interpretar estos espectros de líneas. ¿Qué significan estas líneas?

Hemos visto que

- Cada línea representa una frecuencia de resonancia, es decir, un salto entre dos energías determinadas de la materia: la energía de un estado excitado y la energía del estado fundamental.

También hemos adelantado que

- Las frecuencias de resonancia de los espectros de la materia que caen dentro de la zona del visible, se deben a la energía que absorben y emiten los electrones al pasar de uno a otro de estos estados energéticos posibles para la materia.

Y digo que hemos adelantado, porque llegar a esta conclusión, ha

10 sido el resultado de muchísimas inves-

tigaciones, comprobaciones experimentales y teorías, que culminaron con la teoría del Bohr sobre el átomo de hidrógeno. Bohr mereció el Premio Nóbel porque logró interpretar el espectro de líneas del átomo más sencillo, el átomo del hidrógeno.

Experimentación:

Podremos ver algunas de las líneas del espectro del átomo de hidrógeno si disponemos de un tubo de descarga con gas hidrógeno, una fuente de energía y una red de difracción. En todo caso, una fotografía del espectro del átomo de hidrógeno, es fácil de encontrar en cualquier libro de Química General.

Presupuestos en que se basaba Bohr:

- Modelo planetario del átomo, de su maestro Rutherford: los electrones se mueven alrededor del núcleo.

- Teoría cuántica de Plank-Einstein:  $E=h\nu$ , que conocía por su formación científica europea.

- Espectros característicos de los elementos, –átomos–, y su interpretación dada por los espectroscopistas:

- A cada línea del espectro corresponde una determinada frecuencia o energía.

- Un mismo elemento absorbe y emite las mismas líneas en la misma región del espectro.

- Cada electrón produce una línea determinada.

Interpretación de Bohr de los espectros:

- Puesto que los espectros son característicos de cada elemento, deben tener su origen en transiciones entre distintos estados energéticos de sus átomos.

- Como los espectros son de líneas, es decir, corresponden a frecuencias determinadas, a energías determinadas, solo pueden ser posibles determinadas

energías para el átomo. Es decir, la energía está cuantizada.

- LOS ESTADOS DE ENERGÍA DEL ÁTOMO DEBEN SER DISCONTINUOS.

- Estos estados energéticos del átomo deben corresponder a diferentes modos de situarse los electrones alrededor del núcleo.

- Las líneas del espectro, las frecuencias de resonancia, deben corresponder a los saltos de los electrones entre dos niveles de energía posibles dentro del átomo (fig. 12).

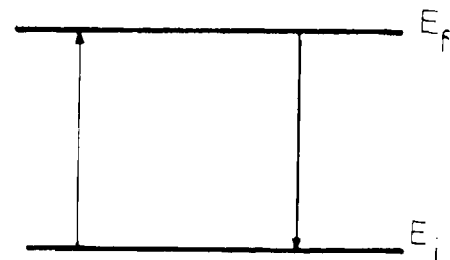


FIGURA 12. Absorción y emisión de Energía al saltar un electrón entre dos estados energéticos del átomo.

- EL ÁTOMO ABSORBE O EMITE ENERGÍA RADIANTE CUANDO EL ELECTRÓN PASA DE UNO A OTRO DE SUS ESTADOS ENERGÉTICOS POSIBLES

- Esta energía que absorbe o emite, debe ser la diferencia de energía entre el estado inicial y el final, debe corresponder a la frecuencia de la onda electromagnética absorbida o emitida, de acuerdo con la ecuación de Plank-Einstein:  $\nu = \frac{E_f - E_i}{h}$

\*\*\*  
El modelo propuesto por Bohr para el átomo de hidrógeno, es conocido por todos y se encuentra en cualquier libro de Química General.

Bohr tiene el gran mérito de criticarse a sí mismo, colaborando eficazmente en la creación de la nueva mecánica cuántica. Su gran contribución fue:

- Introducir las leyes cuánticas en el átomo, y

- A partir de los espectros, llegar a formular la DISCONTINUIDAD DE LOS NIVELES ENERGÉTICOS DEL ÁTOMO, y

- caracterizar estos niveles energéticos mediante el número cuántico: n.

Introducir el nuevo modelo del átomo, según la mecánica cuántica ondulatoria, requiere una metodología adecuada que no nos permite desarrollar la brevedad de estas páginas. Sólo subrayaremos que se basa esencialmente en estos dos conceptos:

--Discontinuidad de las propiedades de la materia; masa, carga, energía (Teoría cuántica que Bohr, con su interpretación de los espectros, comprobó experimentalmente).

--Dualidad onda-corpúsculo, doble carácter corpuscular ya implícito en la ecuación de Plank-Einstein. Y que es similar a decir, posibilidad de transformación materia-energía, ó, existencia de partículas con carácter complementario corpúsculo-onda.

La función de onda (Ecuación de Shrodinger), aplicada al electrón-onda, nos determinará su energía. Pero dibujará la órbita que, según Bohr, recorre alrededor del núcleo, por la probabilidad de encontrarlo en un espacio determinado (Consecuencia del Principio de incertidumbre).

En el nuevo lenguaje de la Mecánica Cuántica, a esta energía y a este espacio en que se mueve el electrón

se llama ORBITAL. Y, estos orbitales, soluciones de la función de onda, vienen determinados, no solo por el número cuántico, n sino también por otros dos números cuánticos.

#### Estructura de las moléculas

El espectro de una substancia formada por moléculas, es mucho más complicado. Cada molécula tiene su espectro característico. Esto significa que tiene sus propias frecuencias de resonancia a las cuales absorbe energía de la radiación electromagnética. Precisamente ésta es la clave de por qué el espectro de una molécula nos permite caracterizarla y determinar su estructura.

La explicación detallada de estos espectros requeriría otra publicación.

Por eso, solo diremos que, las frecuencias de resonancia hacen referencia a las energías correspondientes a los diferentes movimientos que pueden tener las partículas que componen la materia: moléculas, átomos, electrones. Energía debida a los movimientos posibles de traslación, rotación, vibración y electrónicos.

Los espectros son, hoy día, el material básico de la Ciencia que nos permite seguir introduciéndonos en el fascinante mundo invisible de lo microscópico y cuya estructura íntima encierra la clave de todos los fenómenos que percibimos.

#### BIBLIOGRAFIA

AGUILAR Y OTROS *Física* ed. Anaya.

ALONSO Y FINN *Física* Vol II y III. Ed. Fondo Educativo Interamericano 1976.

CATHERALL Y HOLT *Experimentos con luz y sonido*. Ed. Altea. Colecc. Tiempo libre, 1977.

CHRISTEN *Fundamentos de Química General e Inorgánica* Vol I Ed. Reverté, 1977.

CODONI Y VARIOS *Ciencias de la naturaleza* 3.º E. G. B. Ed. Narcea, 1976.

FERNANDEZ Y VARIOS *Interacciones y Sistemas* Proyecto CIB public. del IEPS, 1979.

GRAY Y HAIGHT *Principios básicos de Química* Ed. Reverté, 1976.

SKOOG Y WEST *Análisis instrumental*. Ed. Interamericana, 1975.

