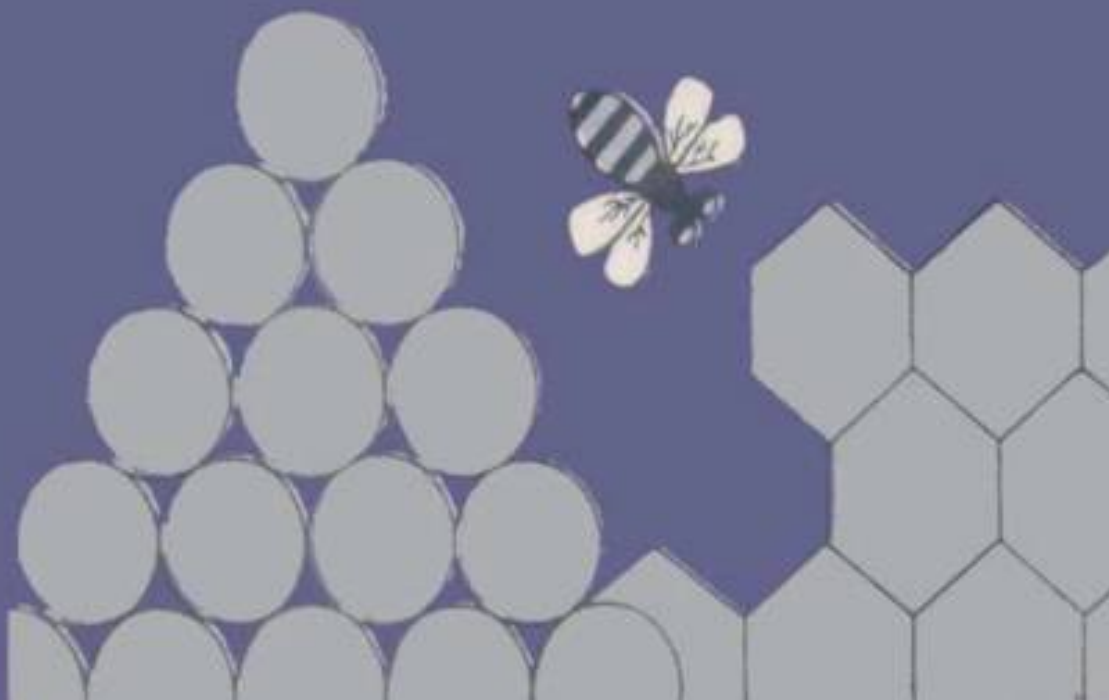


Física para todos Libro 2

LD Landau, A. I. Kitaigorodski

# MOLECULAS

Editorial Mir Moscú



## Prólogo a lo cuarta edición rusa

Este libro lleva el título de «Moléculas», lo integran, sin someterse a cambio alguno, muchos capítulos de la segunda parte de la anterior publicación de la «Física para todos» perteneciente a la pluma de L. D. Landau y A. I. Kitaigorodski.

En su mayor parte el libro está dedicado a los diversos aspectos de la teoría acerca de la estructura de la materia. Sin embargo, por ahora, el átomo se presenta aquí tal como lo percibía Demócrito, o sea, como una partícula indivisible. Se sobreentiende que en el libro se abordan también los problemas relacionados con el movimiento de las moléculas. Ello se debe al hecho de que forman la base de la concepción moderna de los fenómenos térmicos. Y, por supuesto, tampoco se dejan al soslayo los problemas concernientes a las transiciones de fase.

En los años transcurridos desde la publicación de las ediciones anteriores de la «Física para todos» se ampararon enormemente nuestros conocimientos sobre la estructura de las moléculas, así como sobre su interacción mutua. Se tendieron muchos puentes entre los problemas de la estructura molecular de la materia y sus propiedades. Esta circunstancia me impulsó a incluir en este libro nuevo, material bastante considerable por su volumen.

Mi opinión es que ya hace mucho ha llegado el momento de introducir en los libros de texto comúnmente adoptados datos generales acerca de las moléculas más complejas que las de oxígeno, nitrógeno y de dióxido de carbono.

Hasta la fecha, en la mayoría de los cursos de física los autores no consideran necesario dirigir la conversación a las combinaciones más complicadas de átomos. ¡Mientras tanto, las macromoléculas han ocupado una posición firme en nuestra vida cotidiana en forma de diversos materiales sintéticos! Se ha creado la biología molecular que explica los fenómenos de la vida en el lenguaje de las moléculas de las proteínas y de los ácidos nucleicos.

De la misma manera, injustamente, se suele hacer caso omiso de las cuestiones referentes a las reacciones químicas. Entre tanto, no se debe olvidar que se trata del proceso físico de colisión de las moléculas acompañada con su reestructuración. Cuánto más fácil es explicar al oyente o al lector la esencia de las reacciones nucleares, si conoce el comportamiento completamente análogo de las moléculas.

Al reelaborar el libro resultó racional trasladar algunos apartados de la anterior «Física para todos» en los fascículos posteriores.

En particular, consideramos posible limitarnos a dedicar tan sólo unas pocas palabras al sonido en el capítulo sobre la mecánica molecular.

Del mismo modo nos pareció conveniente postergar la conversación acerca del movimiento ondulatorio hasta el examen de los fenómenos electromagnéticos.

En su conjunto, los cuatro fascículos de la nueva edición de la «Física para todos» («Cuerpos físicos». «Moléculas», «Electrones», «Fotones y núcleos») abarcarán la exposición de los fundamentos de física.

A. I. Kitaigorodski

Abril de 1978

## Capítulo 1

### Los ladrillos del universo

#### **Contenido:**

- *Elementos*
- *Átomos y moléculas*
- *¿Qué es el calor?*
- *La energía se conserva siempre*
- *Caloría*
- *Un poco de historia*

#### **Elementos**

¿De qué se compone el mundo que nos rodea? Las primeras respuestas a esta pregunta que han llegado hasta nosotros, nacieron en la Grecia Antigua más de 25 siglos atrás. A primera vista, las respuestas de Tales de Mileto, que afirmaba que todo se componía de agua; de Anaxímedes, que decía que el mundo se había constituido del aire; o de Heráclito, según el cual, todo se componía de fuego, parecen demasiado extrañas y tendríamos que gastar mucho papel en explicar al lector cuál era la lógica de los sabios de la antigüedad.

Lo absurdo de semejantes explicaciones obligó a los posteriores griegos «amantes de la sabiduría» (así se traduce la palabra «filósofo»), a aumentar el número de bases primarias, o como decían en el mundo antiguo, de elementos. Empédocles afirmaba que había cuatro elementos: la tierra, el aire, el agua y el fuego. Aristóteles hizo correcciones terminantes (que dominaron mucho tiempo) en esta doctrina.

Según él, todos los cuerpos se componían de una misma substancia, pero ésta podía poseer diversas propiedades. Estos elementos-propiedades no substanciales eran cuatro: el frío, el calor, la humedad y la esterilidad.

Uniéndose dos a dos y siendo atribuidos a la substancia, los elementos-propiedades de Aristóteles formaban los elementos de Empédocles. Así, la substancia seca y fría proporcionaba la tierra; la seca y caliente, el fuego; la húmeda y fría, el agua y, por fin, la húmeda y caliente, el aire.

En vista de que era difícil contestar a una serie de preguntas, los filósofos de la antigüedad añadieron a los cuatro elementos-propiedades la «divina quinta esencia». Esto es algo así como un Dios-cocinero que cuece conjuntamente los elementos-propiedades de diversa especie. Naturalmente que, alegando a Dios, era fácil dar explicación a cualquier duda.

Durante mucho tiempo, casi hasta el siglo XVIII, había pocos que se atrevían a dudar y hacer preguntas. La doctrina de Aristóteles fue reconocida por la iglesia y dudar de su justeza era herejía.

Sin embargo, surgían vacilaciones. Estas las creó la alquimia.

En tiempos remotos, en cuyas profundidades podemos penetrar leyendo los manuscritos antiguos, el hombre sabía que todos los cuerpos que nos rodean eran capaces de convertirse en otros. La combustión, la calcinación, la fundición de los metales, todos estos fenómenos eran bien conocidos.

Parecía que esto no contradecía la doctrina de Aristóteles. Con cualquier transformación cambiaba, como si dijéramos,

«la dosis» de los elementos. Si todo el mundo se componía solamente de cuatro elementos, las posibilidades de transformación de los cuerpos tenían que ser muy grandes. Solamente había que hallar el secreto para lograr, que de cualquier cuerpo se pudiese obtener otro cualquiera.

¡Qué atrayente era el problema de hacer oro, o de hallar la singular y extraordinaria «piedra filosofal», a cuyo poseedor proporcionaría riqueza, poder y juventud eterna! La ciencia sobre la preparación del oro, de la piedra filosofal, la transformación de cualquier cuerpo en otro, los árabes antiguos la llamaron alquimia.

El trabajo de los hombres que se dedicaron a la resolución de este problema duró siglos. Los alquimistas no aprendieron a hacer oro, no hallaron la piedra filosofal, pero, sin embargo, acumularon muchos valiosos datos sobre la transformación de los cuerpos. Estos datos sirvieron, al fin y al cabo, de pena de muerte para los alquimistas. En el siglo XVII, para muchos quedó claro, que el número de las sustancias principales, de los elementos, era incomparablemente mayor, que cuatro. El mercurio, el plomo, el azufre, el oro, el antimonio, resultaron ser sustancias que no se descomponían, ya no se podía decir que estas sustancias se componían de elementos. Hubo que, por el contrario, tomarlos como elementos del mundo.

En 1668, en Inglaterra vio la luz el libro de R. Boyle «El químico escéptico o las dudas y paradojas con respecto a los elementos de los alquimistas». Aquí encontramos una definición completamente nueva del elemento. Esto ya no es el elemento misterioso, inaccesible, de los alquimistas. Ahora, el elemento es una sustancia, parte integrante del cuerpo.

Esto corresponde a la definición moderna del concepto de elemento.

La lista de los elementos de Boyle no era muy grande. A la lista verdadera agregó Boyle también el fuego. Las ideas sobre los elementos-propiedades se mantuvieron también después de él. Incluso en la lista del célebre sabio francés Lavoisier (1743-1704), que se le considera fundador de la química, junto con los elementos reales, figuran elementos sin peso: el fluido calórico y la substancia luminosa.

En la primera mitad del siglo XVIII se conocían 15 elementos y a fin de siglo se número aumentó hasta 35. Claro que, entre ellos, sólo había 23 reales, los demás eran elementos que no existían o que resultaron ser compuestos, como la sosa y la potasa cáusticas.

Para la mitad del siglo XIX, en los tratados de química ya se describían más de 50 substancias que no se descomponían. La ley periódica del célebre químico ruso Mendeléev abrió nuevos horizontes para la investigación consciente de los elementos no descubiertos. Aquí es prematuro hablar de esta ley. Digamos solamente que Mendeléev, con su ley, determinó el modo de buscar los elementos todavía desconocidos.

A comienzos del siglo XX ya habían sido descubiertos casi todos los elementos que se encuentran en la naturaleza.

### **Átomos y moléculas**

Cerca de 2000 años atrás, en la Roma de la antigüedad, se escribió un poema original. Su autor era el poeta romano Lucrecio Car. El poema se llamaba «Sobre la naturaleza de las cosas».



En su obra poética, Lucrecio explicaba con versos muy sonoros las ideas sobre el mundo del filósofo griego de la antigüedad, Demócrito.

¿Qué ideas eran éstas? Era la doctrina sobre las partículas pequeñas, invisibles, de las que se componía el mundo. Observando diversos fenómenos, Demócrito procuraba dar su explicación.

He aquí, por ejemplo, el agua. Al calentarla mucho, ésta se convierte en un vapor invisible y se disipa. ¿Cómo se puede explicar esto? Claro que esta propiedad del agua está ligada con su constitución interna.

O bien, por ejemplo, ¿por qué percibimos a distancia los aromas de las flores?

Pensando sobre preguntas semejantes, Demócrito llegó a convencerse de que a nosotros sólo nos parece que los cuerpos son continuos, pero que en realidad, éstos se componen de partículas pequeñísimas. Las partículas de diversos cuerpos tienen distinta forma, pero éstas son tan pequeñas, que es imposible verlas. Por eso es por lo que cualquier cuerpo nos parece continuo.

A estas diminutas partículas, que son ya indivisibles, de las cuales se compone el agua y todos los demás cuerpos, Demócrito las llamó «átomos».

Las ideas admirables de los sabios griegos de la antigüedad, nacidas 24 siglos atrás, fueron más tarde olvidadas durante mucho tiempo. Más de mil años reinó, sin rivalidad en el mundo de la sabiduría, la falsa doctrina de Aristóteles.

Afirmando que todas las sustancias podían mutuamente convertirse en otras, Aristóteles negaba categóricamente la

existencia de los átomos. Cualquier cuerpo se puede dividir indefinidamente, enseñaba Aristóteles.

En el año 1647, el sabio francés Pierre Gassendi publicó un libro en el que resueltamente negaba la doctrina de Aristóteles y afirmaba que todas las sustancias del mundo se componían de partículas indivisibles, de átomos. Los átomos se diferenciaban entre sí por su forma, magnitud y peso.

Apoyando la doctrina de los atomistas antiguos, Gassendi la desarrolló más. Explicaba cómo podían aparecer y cómo se creaban en el mundo millones de cuerpos de la naturaleza. Para esto, decía él, no es necesaria una gran cantidad de átomos diversos. El átomo es lo mismo que el material de construcción de las casas. Con tres especies diversas de materiales, con ladrillos, tablas y vigas, se puede construir un gran número de casas diferentes. Del mismo modo, la naturaleza, con unas cuantas decenas de átomos diferentes podía crear miles de cuerpos de diversas especies. Además, en cada cuerpo, los átomos se unen en pequeños grupos; a estos grupos, Gassendi los llamaba «moléculas», o sea, «masas pequeñas» (de la palabra latina «moles», que quiere decir masa).

Las moléculas de diversos cuerpos se distinguen unas de otras por el número y la especie («la calidad») de los átomos que la integran. Es fácil comprender que con unas cuantas decenas de átomos distintos se forman una gran cantidad de diversas combinaciones, dando, como resultado, las moléculas. Es por esto, por lo que es tan grande la variedad de cuerpos que nos rodean.

En muchas cosas, el punto de vista de Gassendi era erróneo. Así, éste suponía que existían átomos especiales para el calor, el frío, el gusto y el olor. Como todos los sabios de entonces, él no pudo librarse por completo de la influencia de Aristóteles y reconocía sus elementos irreales.

En las obras del célebre enciclopedista M. Lomonósov — fundador de la ciencia en Rusia—, se encuentran las siguientes ideas, que mucho más tarde se comprobaron en los experimentos.

Lomonósov escribía que la molécula podía ser homogénea y heterogénea. En el primer caso, en la molécula se agrupaban átomos homogéneos. En el segundo, la molécula se componía de átomos que eran distintos unos de otros. Si un cuerpo estaba formado por moléculas homogéneas, había que suponer que era simple. Por el contrario, si el cuerpo estaba formado por moléculas constituidas de diferentes átomos. Lomonósov lo llamaba mixto.

Ahora ya sabemos bien que es, precisamente, ésta la composición de los diferentes cuerpos de la naturaleza. En efecto, tomemos, por ejemplo, el gas de oxígeno; cada molécula de éste contiene dos átomos iguales de oxígeno. Esta es una molécula de una sustancia simple. Si los átomos que forman las moléculas son distintos, resulta una unión «mixta», una unión química compuesta. Las moléculas de ésta se componen de los átomos de aquellos elementos químicos que forman parte de esta composición.

Se puede decir también de otro modo; toda sustancia simple se compone de átomos de un mismo elemento químico; una sustancia compuesta contiene átomos de dos y más elementos.

Una serie de sabios argumentaron lógicamente la existencia del átomo. Quien realmente introdujo en la ciencia el átomo y lo hizo objeto de investigación, fue el sabio inglés Dalton. Este demostró que existen leyes químicas que se pueden explicar naturalmente empleando sólo los conocimientos del átomo.

Después de Dalton, los átomos se introdujeron resueltamente en la ciencia. Sin embargo, durante mucho tiempo hubo sabios que aún «no creían en los átomos», Ya a fines del siglo pasado uno de ellos escribía que, dentro de unas cuantas decenas de años, los átomos «se encontrarán solamente en el polvo de las bibliotecas».

Ahora, semejantes razonamientos causan risa. Ya conocemos ahora tantos detalles sobre la «vida» de los átomos, que dudar en su existencia es lo mismo que poner en duda la realidad del mar Negro.

Los pesos relativos de los átomos fueron determinados por los químicos. En primer lugar, por unidad de peso atómico se tomó el peso del átomo de hidrógeno. Resultó que, aproximadamente, el peso atómico del nitrógeno era igual a 14, el del oxígeno, a 16, y el del cloro, a 35,5. Como las composiciones de oxígeno son las más difundidas, ulteriormente se hizo otra elección diferente de la unidad relativa del peso atómico, según la cual, al oxígeno se le atribuía el peso de 16,000. El peso atómico del hidrógeno resultó ser, en esta escala, de 1,008.

Actualmente se ha decidido tomar por base no el oxígeno y no el hidrógeno, sino el isótopo de carbono  $^{12}\text{C}$ . Después de medir la masa de este átomo empleando el método cuya descripción breve se inserta en el Libro I, cuando

hacemos la exposición del sistema SI, dividimos esta masa por doce. El número obtenido se denomina unidad atómica de masa. Hoy en día el número que goza de mayor confianza es el siguiente:

$$m_A = (1,66043 \pm 0,00031) \times 10^{-24} \text{ g}$$

Ahora podemos recurrir a la imaginación del lector dándole la posibilidad de percibir la pequeñez de este guarismo. Fíjese que usted exigirá que cada hombre en el globo terráqueo le entregue mil millones de moléculas. ¿Qué cantidad de sustancia se acumulara de esta forma? Varias millo-nésimas partes de gramo.

O bien, otra comparación: el globo terrestre es tantas veces más pesado que una manzana, ¿cuántas veces una manzana es más pesada que el átomo de hidrógeno?

La magnitud recíproca de  $m_A$  se llama número de Avogadro:

$$N_A = 1 / m_A = 6,0220943 \times 10^{23}$$

Este número grandísimo tiene el significado siguiente. Tomemos una cantidad de substancia de modo que el número de gramos sea igual al peso relativo  $M$  del átomo o de la molécula. Los químicos llaman a esta cantidad, 1. átomo-gramo o 1 molécula-gramo (frecuentemente, para abreviar, en vez, de «molécula-gramo», se dice «mol»). A pesar de que  $m_A$  en el sistema SI se refiere al átomo de carbono  $^{12}\text{C}$  prácticamente, los  $N_A$  de cualesquiera de los átomos o moléculas tienen una masa igual a la masa relativa del átomo o de la molécula expresada en gramos.

Con la introducción del «mol» en calidad de unidad independiente, el número de Avogadro dejó de ser un número abstracto. En las unidades SI tiene la dimensión de  $\text{mol}^{-1}$ .

### ¿Qué es el calor?

¿En qué se diferencia un cuerpo caliente de uno frío? Hasta comienzos del siglo XIX, a esta pregunta contestaban así: el cuerpo caliente contiene más fluido calórico que el frío. Del mismo modo que la sopa está más salada si contiene más sal. Y ¿qué, es el fluido calórico? La respuesta era la siguiente: «El fluido calórico es la materia del calor, es el fuego elemental». Misterioso e incomprensible.

Además de la teoría del fluido calórico, hacía mucho que existía otra opinión sobre la naturaleza de la substancia. Ésta la defendían brillantemente muchos sabios célebres de los siglos XVI y XVIII.

Francisco Bacon, en su libro «Novun organum», escribía: «El mismo calor es, en su esencia, movimiento. El calor consiste en el movimiento variable de las partes ínfimas del cuerpo».

Roberto Hooke, en su libro «Micrografía», afirmaba que: «El calor es el movimiento continuo de las partes del cuerpo. No existe un cuerpo, cuyas partículas estén en reposo». Manifestaciones muy claras de este tipo hallamos en el trabajo de Lomonósov (año 1745). «Reflexiones sobre la causa de calor y del frío». En esta obra se niega la existencia del calórico y se dice que «el calor consiste en el movimiento interior de las partículas de la materia».

Al fin del siglo XVIII, Rumford decía de una manera muy clara: «El cuerpo es tanto más caliente, cuanto más intensa-

mente se mueven las partículas de que se compone, del mismo modo que la campana suena más fuerte, cuanto más fuertes sean las oscilaciones».

Estas admirables conjeturas, que eran muy avanzadas para aquel tiempo, sirvieron de base para nuestras ideas modernas sobre la naturaleza del calor.

A veces, suele haber días silenciosos, tranquilos, claros. Las hojas están quietas en los árboles, ni siquiera una ligera ondulación altera la superficie del agua. Todo alrededor se mantiene en una inmovilidad rigurosa y solemne. El mundo visible está en reposo. Pero, ¿qué es lo que ocurre en el mundo de los átomos y moléculas?

La física de nuestros días puede decir mucho sobre esto. Cualesquiera que sean las condiciones, nunca se termina el movimiento invisible de las partículas constituyentes del mundo.

¿Por qué no vemos todos estos movimientos? Las partículas se mueven y el cuerpo está en reposo, ¿cómo puede ser esto?

¿Han tenido la ocasión de observar un enjambre de mosquitos cuando no hay viento?, el enjambre parece que está suspendido en el aire. Pero dentro de él hay una vida intensa. Cientos de insectos tiran hacia la derecha, pero en ese mismo momento, otros tantos se lanzan hacia la izquierda. Todo el enjambre se mantiene en el mismo sitio y no cambia de forma.

Los movimientos invisibles de los átomos y moléculas son de igual carácter caótico y desordenado. Si algunas moléculas se escapan del volumen, otras ocupan el lugar de ellas y como los nuevos huéspedes no se diferencian en na-