

Líneas de Tiempo: Física y Química

Química

Introducción (Química)

La Química es el estudio de la composición, estructura y propiedades de las sustancias materiales, de sus interacciones y de los efectos producidos sobre ellas al añadir o extraer energía en cualquiera de sus formas. Desde los primeros tiempos, los seres humanos han observado la transformación de las sustancias la carne cocinándose, la madera quemándose, el hielo derritiéndose y han especulado sobre sus causas. Siguiendo la historia de esas observaciones y especulaciones, se puede reconstruir la evolución gradual de las ideas y conceptos que han culminado en la química moderna.

– 2500 a 600 a.C.

Desde los primeros tiempos, los seres humanos han observado la transformación de las sustancias la carne cocinándose, la madera quemándose, el hielo derritiéndose y han especulado sobre sus causas. Siguiendo la historia de esas observaciones y especulaciones, se puede reconstruir la evolución gradual de las ideas y conceptos que han culminado en la Química moderna.

Los primeros procesos químicos tienen su origen en las cavernas, a la altura de la Edad de Piedra , cuando el hombre comenzó a darse cuenta de que podía cocinar sus alimentos y procurarse calor con el fuego proveniente de la combustión de la madera, saciar su sed con el agua, etc. , además de dar distintas utilidades a la piedra.

En la llamada Edad de Bronce (2500 a 1000 a.C.) el hombre se dio cuenta de las ventajas que tenía el cobre sobre la piedra. Un remoto día este metal debió surgir por casualidad desde unas piedras en contacto con el fuego. Entonces el hombre primitivo, intrigado por este hecho, buscó más piedras similares para obtener así mayor cantidad de metal. Lo vertió en estado líquido y caliente en moldes de arcilla y vio nacer ante sus ojos las primeras herramientas de cobre. Un buen día, alguien arrojó al cobre caliente y fundido un misterioso polvo de color gris, y entonces surgió un metal más resistente: el bronce. También de manera fortuita, algún otro, al calentar ciertas piedras rojizas sobre carbón de leña, logró obtener un nuevo metal: el hierro, dando origen a lo que conocemos como la Edad de Hierro(900 a 500 a.C.). Esta etapa conciste básicamente en el período en que el hombre aprendió a extraer el cobre y el hierro de sus minerales.

Aquí es donde vemos nacer la Química más antigua que conocemos con el nombre de metalurgia, que es el arte de tratar los metales aplicando un conocimiento que mezcla la magia, la mística y la técnica de los pueblos antiguos.

Estos pueblos antiguos fueron los que desarrollaron alrededor de los 1500 años a. C. los primeros procesos químicos conocidos, que fueron realizados por los artesanos de Mesopotamia, Egipto y China. En estas culturas se inició también una tecnología Química primitiva, conforme los tintoreros descubrían métodos para fijar los tintes en los distintos tipos de tejidos y los alfareros aprendían a preparar barnices y más tarde a fabricar vidrio. La mayoría de esos artesanos trabajaban en los monasterios y palacios haciendo artículos de lujo. En los monasterios especialmente, los monjes tenían tiempo para especular sobre el origen de los cambios que veían en el mundo que los rodeaba. Sus teorías se basaban frecuentemente en la magia, pero también elaboraron ideas astronómicas, matemáticas y cosmológicas, que utilizaban en sus intentos de explicar algunos de los cambios que hoy se consideran químicos.

– 600 a.C. a V d.C.

Las explicaciones que solían dar los antiguos a los fenómenos naturales se basaban principalmente en especulaciones filosóficas, astrológicas y místicas. Es entonces que desde los tiempos de Tales de Mileto, unos 600 años a.C., los filósofos griegos empezaron a hacer especulaciones lógicas sobre el mundo físico, en lugar de confiar en los mitos para explicar los fenómenos. El mismo Tales pensaba que toda la materia procedía del agua, que podía solidificarse en tierra o evaporarse en aire. Sus sucesores ampliaron esta teoría en la idea de que el mundo estaba compuesto por cuatro elementos: tierra, agua, aire y fuego. Según Demócrito, esos elementos estaban compuestos por átomos, partículas diminutas que se movían en el vacío. Otros, especialmente Aristóteles, creían que los elementos formaban un medio continuo de materia y, por tanto, el vacío no podía existir. La idea atómica perdió terreno rápidamente, pero nunca fue completamente olvidada. Cuando fue revisada durante el renacimiento, formó la base de la teoría atómica moderna.

Aristóteles fue el más influyente de los filósofos griegos, y sus ideas dominaron la filosofía natural durante casi dos milenios después de su muerte, en el 323 a.C., año en el que sus teorías fueron aceptadas por los prácticos artesanos, especialmente en Alejandría y Egipto. Creía que la materia poseía cuatro cualidades: calor, frío, humedad y sequedad. Cada uno de los cuatro elementos estaba compuesto por pares de esas cualidades; por ejemplo, el fuego era caliente y seco, el agua fría y húmeda, el aire caliente y húmedo, y la tierra fría y seca. Esos elementos con sus cualidades se combinaban en diferentes proporciones para formar los componentes del planeta terrestre. Puesto que era posible cambiar las cantidades de cada cualidad en un elemento, se podía transformar un elemento en otro; así, se pensaba que era posible cambiar las sustancias materiales formadas por los elementos, por ejemplo, el plomo en oro.

Fue en base a esta idea que surgió la alquimia en el siglo I de la era cristiana. La alquimia consiste en la idea de los pensadores de que los metales de la Tierra tendían a ser cada vez más perfectos y a convertirse gradualmente en oro, y creían que podían realizar el mismo proceso más rápidamente en sus talleres, transmutando así de forma artificial los metales comunes en oro. Casi al mismo tiempo (y probablemente de forma independiente) apareció en China una alquimia similar. Aquí el objetivo también era fabricar oro, aunque no por el valor monetario del metal. Los chinos consideraban al oro como una medicina que podía conferir larga vida o incluso la inmortalidad a cualquiera que la consumiera. Al igual que los egipcios, los chinos aumentaron sus conocimientos de la Química práctica a partir de teorías incorrectas.

Se escribió un gran número de tratados sobre el arte de la transmutación que empezaba a conocerse como alquimia pero, aunque nadie consiguió hacer oro, en la búsqueda de la perfección de los metales se descubrieron muchos procesos químicos.

Entre los siglos III y V se fundaron distintas escuelas de alquimia como por ejemplo la de Zósimo en Alejandría.

– **Siglos V a XIV d.C.** (Edad Media)

Después del declive del Imperio romano, en la Europa occidental empezaron a estudiarse menos los escritos griegos, e incluso fueron bastante abandonados en el Mediterráneo oriental. Sin embargo, en el siglo VI, un grupo de cristianos conocidos como los nestorianos, cuyo idioma era el sirio, expandieron su influencia por Asia Menor. Establecieron una universidad en Edessa, Mesopotamia, y tradujeron al sirio un gran número de escritos filosóficos y médicos griegos para que pudieran ser utilizados por los estudiantes.

En los siglos VII y VIII, los conquistadores árabes expandieron la cultura islámica sobre gran parte de Asia Menor, norte de África y España. Los califas de Bagdad se convirtieron en mecenas activos de la ciencia y el saber. La traducción siria de los textos griegos fue traducida de nuevo, esta vez al árabe, y junto con el resto del saber griego volvieron a florecer las ideas y la práctica de la alquimia.

Los alquimistas árabes también estaban en contacto con China; así, a la idea del oro como metal perfecto le añadieron el concepto del oro como medicina. Se concibió un agente específico para estimular la

transmutación, la 'piedra filosofal', que se convirtió en el objeto de investigación de los alquimistas. Ahora tenían un nuevo incentivo para estudiar los procesos químicos, porque podrían conducirlos no sólo a la riqueza, sino a la salud. En el estudio de los productos y aparatos químicos se hicieron grandes progresos. Se descubrieron importantes reactivos como los álcalis cáusticos y las sales de amonio, y se mejoraron los aparatos de destilación. También se vio rápidamente la necesidad de aplicar más métodos cuantitativos, pues algunas fórmulas árabes daban instrucciones específicas sobre las cantidades de reactivos a utilizar.

En el siglo XI comenzó en Europa occidental un gran resurgimiento intelectual, estimulado en parte por los intercambios culturales entre los estudiantes árabes y cristianos en Sicilia y España. Se crearon escuelas de traductores, y sus traducciones transmitieron las ideas filosóficas y científicas al resto de los estudiantes europeos. Así, el saber de la ciencia griega pasó por las lenguas intermedias siria y árabe, fue difundido en la lengua erudita, el latín, y posteriormente se expandió por Europa. Muchos de los manuscritos leídos con más anhelo estaban relacionados con la alquimia.

Había dos tipos de manuscritos: unos eran puramente prácticos, y otros intentaban aplicar las teorías de la naturaleza de la materia a los problemas alquímicos. Entre los temas prácticos discutidos se encontraba la destilación. La fabricación de vidrio había mejorado considerablemente, sobre todo en Venecia, y fue posible construir aparatos de destilación mejores que los fabricados por los árabes para condensar los productos más volátiles de la destilación. Entre los productos más importantes obtenidos así se encontraban el alcohol y los ácidos minerales: ácido nítrico, agua regia (una mezcla de ácido nítrico y clorhídrico), ácido sulfúrico y ácido clorhídrico. Utilizando estos poderosos reactivos podían realizarse muchas reacciones nuevas. El descubrimiento por parte de los chinos de los nitratos y la pólvora llegó pronto a Occidente a través de los árabes. Al principio, los chinos utilizaban la pólvora para los fuegos artificiales, pero en Occidente se convirtió rápidamente en un elemento importante de la guerra. A finales del siglo XIII ya existía en Europa una tecnología Química bastante eficaz.

El segundo tipo de manuscritos alquímicos transmitidos por los árabes concernía a la teoría. Muchos de esos escritos revelaban un carácter místico que contribuía poco al avance de la Química, pero otros intentaban explicar la transmutación en términos físicos. Los árabes basaban sus teorías de la materia en las ideas aristotélicas, pero su pensamiento tendía a ser más específico, sobre todo en lo referente a la composición de los metales. Ellos creían que los metales consistían en azufre y mercurio, no propiamente estas sustancias que conocían muy bien, sino más bien el principio del mercurio, que confería la propiedad de fluidez a los metales, y el principio del azufre que convertía en combustibles a las sustancias y corroía a los metales. Las reacciones Químicas se explicaban en términos de cambios en las cantidades de esos principios dentro de las sustancias materiales.

– Siglos XIV a segunda mitad del s. XVII d.C. (Renacimiento)

Durante los siglos XIII y XIV, la influencia de Aristóteles sobre todas las ramas del pensamiento científico empezó a debilitarse. La observación del comportamiento de la materia arrojó dudas sobre las explicaciones relativamente simples que Aristóteles había proporcionado; estas dudas se expandieron con rapidez después de la invención (en torno al 1450) de la imprenta con tipos móviles. Después del 1500 aparecieron cada vez más trabajos académicos, así como trabajos dedicados a la tecnología. El resultado de este saber creciente se hizo más visible en el siglo XVI.

Entre los libros más influyentes que aparecieron en esa época había trabajos prácticos sobre minería y metalurgia. Esos tratados dedicaban mucho espacio a la extracción de los metales valiosos de las menas, trabajo que requería el uso de una balanza o una escala de laboratorio y el desarrollo de métodos cuantitativos. Los especialistas de otras áreas, especialmente de medicina, empezaron a reconocer la necesidad de una mayor precisión. Los médicos, algunos de los cuales eran alquimistas, necesitaban saber el peso o volumen exacto de la dosis que administraban. Así, empezaron a utilizar métodos químicos para preparar medicinas.

Esos métodos fueron promovidos enérgicamente por el excéntrico médico suizo Theophrastus von Hohenheim, conocido como Paracelso. Al crecer en una región minera, se había familiarizado con las propiedades de los metales y sus compuestos, que, según él, eran superiores a los remedios de hierbas utilizados por los médicos ortodoxos. Paracelso pasó la mayor parte de su vida disputando violentamente con los médicos de la época, y en el proceso fundó la ciencia de la iatroQuímica (uso de medicinas Químicas), precursora de la farmacología. Él y sus seguidores descubrieron muchos compuestos y reacciones Químicas. Modificó la vieja teoría del mercurio–azufre sobre la composición de los metales, añadiendo un tercer componente, la sal, la parte terrestre de todas las sustancias. Declaró que cuando la madera arde lo que se quema es azufre, lo que se evapora es mercurio y lo que se convierte en cenizas es sal. Al igual que con la teoría del azufre–mercurio, se refería a los principios, no a las sustancias materiales que responden a esos nombres. Su hincapié en el azufre combustible fue importante para el desarrollo posterior de la Química. Los iatroquímicos que seguían a Paracelso modificaron parte de sus ideas más extravagantes y combinaron las fórmulas de él con las suyas propias para preparar remedios químicos. A finales del siglo XVI, Andreas Libavius publicó su *Alchemia*, que organizaba el saber de los iatroquímicos y que se considera a menudo como el primer libro de Química.

En la primera mitad del siglo XVII empezaron a estudiar experimentalmente las reacciones Químicas, no porque fueran útiles en otras disciplinas, sino más bien por razones propias. Jan Baptista van Helmont, médico que dejó la práctica de la medicina para dedicarse al estudio de la Química, utilizó la balanza en un experimento para demostrar que una cantidad definida de arena podía ser fundida con un exceso de álcali formando vidrio soluble, y cuando este producto era tratado con ácido, regeneraba la cantidad original de arena (sílice). Ésos fueron los fundamentos de la ley de conservación de la masa. Van Helmont demostró también que en ciertas reacciones se liberaba un fluido aéreo. A esta sustancia la llamó gas. Así se demostró que existía un nuevo tipo de sustancias con propiedades físicas particulares.

En el siglo XVI, los experimentos descubrieron cómo crear un vacío, algo que Aristóteles había declarado imposible. Esto atrajo la atención sobre la antigua teoría de Demócrito, que había supuesto que los átomos se movían en un vacío. El filósofo y matemático francés René Descartes y sus seguidores desarrollaron una visión mecánica de la materia en la que el tamaño, la forma y el movimiento de las partículas diminutas explicaban todos los fenómenos observados. La mayoría de los iatroquímicos y filósofos naturales de la época suponían que los gases no tenían propiedades Químicas, de aquí que su atención se centrara en su comportamiento físico. Comenzó a desarrollarse una teoría cinético–molecular de los gases. En esta dirección fueron notables los experimentos del químico físico británico Robert Boyle, cuyos estudios sobre el 'muelle de aire' (elasticidad) condujeron a lo que se conoce como ley de Boyle, una generalización de la relación inversa entre la presión y el volumen de los gases.

Mientras muchos filósofos naturales especulaban sobre las leyes matemáticas, los primeros químicos intentaban utilizar en el laboratorio las teorías Químicas para explicar las reacciones reales que observaban. Los iatroquímicos ponían especial atención en el azufre y en las teorías de Paracelso. En la segunda mitad del siglo XVII, el médico, economista y químico alemán Johann Joachim Becher construyó un sistema químico en torno a su principio. Becher anotó que cuando la materia orgánica ardía, parecía que un material volátil salía de la sustancia. Su discípulo Georg Ernst Stahl, hizo de éste el punto central de una teoría que sobrevivió en los círculos químicos durante casi un siglo.

Stahl supuso que cuando algo ardía, su parte combustible era expulsada al aire. A esta parte la llamó flogisto, de la palabra griega *flogistós*, 'inflamable'. La oxidación de los metales era análoga a la combustión y, por tanto, suponía pérdida de flogisto. Las plantas absorbían el flogisto del aire, por lo que eran ricas en él. Al calentar las escorias (u óxidos) de los metales con carbón de leña, se les restituía el flogisto. Así dedujo que la escoria era un elemento y el metal un compuesto. Esta teoría es casi exactamente la contraria al concepto moderno de oxidación–reducción, pero implica la transformación cíclica de una sustancia (aunque fuera en sentido inverso), y podía explicar algunos de los fenómenos observados. Sin embargo, recientes estudios de la literatura Química de la época muestran que la explicación del flogisto no tuvo mucha influencia entre los

químicos hasta que fue recuperada por el químico Antoine Laurent de Lavoisier, en el último cuarto del siglo XVIII.

– Siglos XVIII a XX d.C.

En esa época, otra observación hizo avanzar la comprensión de la Química. Al estudiarse cada vez más productos químicos, los químicos observaron que ciertas sustancias combinaban más fácilmente o tenían más afinidad por un determinado producto químico que otras. Se prepararon tablas que mostraban las afinidades relativas al mezclar diferentes productos. El uso de estas tablas hizo posible predecir muchas reacciones Químicas antes de experimentarlas en el laboratorio.

Todos esos avances condujeron en el siglo XVIII al descubrimiento de nuevos metales y sus compuestos y reacciones. Comenzaron a desarrollarse métodos analíticos cualitativos y cuantitativos, dando origen a la Química analítica. Sin embargo, mientras existiera la creencia de que los gases sólo desempeñaban un papel físico, no podía reconocerse todo el alcance de la Química.

El estudio químico de los gases, generalmente llamados 'aires', empezó a adquirir importancia después de que el fisiólogo británico Stephen Hales desarrollara la cubeta o cuba neumática para recoger y medir el volumen de los gases liberados en un sistema cerrado; los gases eran recogidos sobre el agua tras ser emitidos al calentar diversos sólidos. La cuba neumática se convirtió en un mecanismo valioso para recoger y estudiar gases no contaminados por el aire ordinario. El estudio de los gases avanzó rápidamente y se alcanzó un nuevo nivel de comprensión de los distintos gases.

La interpretación inicial del papel de los gases en la Química se produjo en Edimburgo (Escocia) en 1756, cuando Joseph Black publicó sus estudios sobre las reacciones de los carbonatos de magnesio y de calcio. Al calentarlos, estos compuestos desprendían un gas y dejaban un residuo de lo que Black llamaba magnesia calcinada o cal (los óxidos). Esta última reaccionaba con el 'álcali' (carbonato de sodio) regenerando las sales originales. Así, el gas dióxido de carbono, que Black denominaba aire fijo, tomaba parte en las reacciones Químicas (estaba fijo, según sus palabras). La idea de que un gas no podía entrar en una reacción Química fue desechada, y pronto empezaron a reconocerse nuevos gases como sustancias distintas.

En la década siguiente, el físico británico Henry Cavendish aisló el 'aire inflamable' (hidrógeno). También introdujo el uso del mercurio en lugar del agua como el líquido sobre el que se recogían los gases, posibilitando la recogida de los gases solubles en agua. Esta variante fue utilizada con frecuencia por el químico y teólogo británico Joseph Priestley, quien recogió y estudió casi una docena de gases nuevos. El descubrimiento más importante de Priestley fue el oxígeno; pronto se dio cuenta de que este gas era el componente del aire ordinario responsable de la combustión, y que hacía posible la respiración animal. Sin embargo, su razonamiento fue que las sustancias combustibles ardían enérgicamente y los metales formaban escorias con más facilidad en este gas porque el gas no contenía flogisto. Por tanto, el gas aceptaba el flogisto presente en el combustible o el metal más fácilmente que el aire ordinario que ya contenía parte de flogisto. A este nuevo gas lo llamó 'aire deflogistizado' y defendió su teoría hasta el final de sus días.

Mientras tanto, la Química había hecho grandes progresos en Francia, particularmente en el laboratorio de Lavoisier. A éste le preocupaba el hecho de que los metales ganaban peso al calentarlos en presencia de aire, cuando se suponía que estaban perdiendo flogisto.

En 1774, Priestley visitó Francia y le comentó a Lavoisier su descubrimiento del aire deflogistizado. Lavoisier entendió rápidamente el significado de esta sustancia, y este hecho abrió el camino para la revolución Química que estableció la Química moderna. Lavoisier lo llamó 'oxígeno', que significa 'generador de ácidos'.

El nacimiento de la Química moderna

Lavoisier demostró con una serie de experimentos brillantes que el aire contiene un 20% de oxígeno y que la combustión es debida a la combinación de una sustancia combustible con oxígeno. Al quemar carbono se produce aire fijo (dióxido de carbono). Por tanto, el flogisto no existe. La teoría del flogisto fue sustituida rápidamente por la visión de que el oxígeno del aire combina con los elementos componentes de la sustancia combustible formando los óxidos de dichos elementos. Lavoisier utilizó la balanza de laboratorio para darle apoyo cuantitativo a su trabajo. Definió los elementos como sustancias que no pueden ser descompuestas por medios químicos, preparando el camino para la aceptación de la ley de conservación de la masa. Sustituyó el sistema antiguo de nombres químicos (basado en el uso alquímico) por la nomenclatura Química racional utilizada hoy, y ayudó a fundar el primer periódico químico. Después de morir en la guillotina en 1794, sus colegas continuaron su trabajo estableciendo la Química moderna. Un poco más tarde, el químico sueco Jöns Jakob, barón de Berzelius propuso representar los símbolos de los átomos de los elementos por la letra o par de letras iniciales de sus nombres.

A principios del siglo XIX, la precisión de la Química analítica había mejorado tanto que los químicos podían demostrar que los compuestos simples con los que trabajaban contenían cantidades fijas e invariables de sus elementos constituyentes. Sin embargo, en ciertos casos, con los mismos elementos podía formarse más de un compuesto. Por esa época, el químico y físico francés Joseph Gay-Lussac demostró que los volúmenes de los gases reaccionantes están siempre en la relación de números enteros sencillos, es decir, la ley de las proporciones múltiples (que implica la interacción de partículas discontinuas o átomos). Un paso importante en la explicación de estos hechos fue, en 1803, la teoría atómica Química del científico inglés John Dalton.

Dalton supuso que cuando se mezclaban dos elementos, el compuesto resultante contenía un átomo de cada uno. En su sistema, el agua podría tener una fórmula correspondiente a HO. Dalton asignó arbitrariamente al hidrógeno la masa atómica 1 y luego calculó la masa atómica relativa del oxígeno. Aplicando este principio a otros compuestos, calculó las masas atómicas de los elementos conocidos hasta entonces. Su teoría contenía muchos errores, pero la idea era correcta y se podía asignar un valor cuantitativo preciso a la masa de cada átomo.

Teoría molecular

La teoría de Dalton no explicaba por completo la ley de las proporciones múltiples y no distinguía entre átomos y moléculas. Así, no podía distinguir entre las posibles fórmulas del agua HO y H₂O₂, ni podía explicar por qué la densidad del vapor de agua, suponiendo que su fórmula fuera HO, era menor que la del oxígeno, suponiendo que su fórmula fuera O. El físico italiano Amedeo Avogadro encontró la solución a esos problemas en 1811. Sugirió que a una temperatura y presión dadas, el número de partículas en volúmenes iguales de gases era el mismo, e introdujo también la distinción entre átomos y moléculas. Cuando el oxígeno se combinaba con hidrógeno, un átomo doble de oxígeno (molécula en nuestros términos) se dividía, y luego cada átomo de oxígeno se combinaba con dos átomos de hidrógeno, dando la fórmula molecular de H₂O para el agua y O₂ y H₂ para las moléculas de oxígeno e hidrógeno, respectivamente.

Las ideas de Avogadro fueron ignoradas durante casi 50 años, tiempo en el que prevaleció una gran confusión en los cálculos de los químicos. En 1860 el químico italiano Stanislao Cannizzaro volvió a introducir la hipótesis de Avogadro. Por esta época, a los químicos les parecía más conveniente elegir la masa atómica del oxígeno, 16, como valor de referencia con el que relacionar las masas atómicas de los demás elementos, en lugar del valor 1 del hidrógeno, como había hecho Dalton. La masa molecular del oxígeno, 32, se usaba internacionalmente y se llamaba masa molecular del oxígeno expresada en gramos, o simplemente 1 mol de oxígeno. Los cálculos químicos se normalizaron y empezaron a escribirse fórmulas fijas.

El antiguo problema de la naturaleza de la afinidad Química permanecía sin resolver. Durante un tiempo pareció que la respuesta podría estar en el campo de la electroQuímica, descubierto recientemente. El descubrimiento en 1800 de la pila voltaica, la primera pila eléctrica real, proporcionó a los químicos una nueva herramienta que llevó al descubrimiento de metales como el sodio y el potasio. Berzelius opinaba que

las fuerzas electrostáticas positivas y negativas podían mantener unidos a los elementos, y al principio sus teorías fueron aceptadas. Cuando los químicos empezaron a preparar y estudiar nuevos compuestos y reacciones en las que las fuerzas eléctricas parecían no estar implicadas (compuestos no polares), el problema de la afinidad fue postergado por un tiempo.

Nuevos campos de la Química

En el siglo XIX, los avances más sorprendentes de la Química se produjeron en el área de la Química orgánica. La teoría estructural, que proporcionaba una imagen de cómo se mantenían los átomos juntos, no era matemática, sino que empleaba su propia lógica. Ella hizo posible la predicción y preparación de muchos compuestos nuevos, incluyendo una gran cantidad de tintes, medicinas y explosivos importantes, que dieron origen a grandes industrias Químicas, especialmente en Alemania.

Al mismo tiempo, aparecieron otras ramas de la Química. Estimulados por los avances logrados en física, algunos químicos pensaron en aplicar métodos matemáticos a su ciencia. Los estudios de la velocidad de las reacciones culminaron en el desarrollo de las teorías cinéticas, que tenían valor tanto para la industria como para la ciencia pura. El reconocimiento de que el calor era debido al movimiento a escala atómica (un fenómeno cinético), hizo abandonar la idea de que el calor era una sustancia específica (denominada calórica) e inició el estudio de la termodinámica Química. La extensión de los estudios electroquímicos llevó al químico sueco Svante August Arrhenius a postular la disociación de las sales en disolución para formar iones portadores de cargas eléctricas. Los estudios de los espectros de emisión y absorción de los elementos y compuestos empezaron a adquirir importancia tanto para los químicos como para los físicos, culminando en el desarrollo del campo de la espectroscopia. Además, comenzó una investigación fundamental sobre los coloides y la fotoQuímica. A finales del siglo XIX, todos los estudios de este tipo fueron englobados en un campo conocido como Química física.

La Química inorgánica también necesitaba organizarse. Seguían descubriéndose nuevos elementos, pero no se había descubierto ningún método de clasificación que pudiera poner orden en sus reacciones. El sistema periódico, formulado a raíz de que el químico ruso Dmitri Ivánovich Mendeléiev en 1869 y el químico alemán Julius Lothar Meyer en 1870 elaboraran independientemente la ley periódica, eliminó esta confusión e indicó dónde se encontrarían los nuevos elementos y qué propiedades tendrían.

A finales del siglo XIX, la Química, al igual que la física, parecía haber alcanzado un punto en el que no quedaba ningún campo sorprendente por desarrollar. Esta visión cambió completamente con el descubrimiento de la radiactividad. Los métodos químicos fueron utilizados para aislar nuevos elementos, como el radio, para separar nuevos tipos de sustancias conocidas como isótopos, y para sintetizar y aislar los nuevos elementos transuránicos. Los físicos consiguieron dibujar la estructura real de los átomos, que resolvía el antiguo problema de la afinidad Química y explicaba la relación entre los compuestos polares y no polares.

Otro avance importante de la Química en el siglo XX fue la fundación de la bioQuímica; empezó simplemente con el análisis de los fluidos corporales, pero pronto se desarrollaron métodos para determinar la naturaleza y función de los componentes celulares más complejos. Hacia la mitad del siglo, los bioquímicos habían aclarado el código genético y explicado la función de los genes, base de toda la vida. El campo había crecido tanto que su estudio culminó en una nueva ciencia, la biología molecular.

Investigaciones recientes en Química

Los recientes avances en biotecnología y ciencia de los materiales están ayudando a definir las fronteras de la investigación Química. En biotecnología se ha podido iniciar un esfuerzo internacional para ordenar en serie el genoma humano gracias a instrumentos analíticos sofisticados. Probablemente, el éxito de este proyecto cambiará la naturaleza de campos como la biología molecular y la medicina. La ciencia de los materiales, una combinación interdisciplinaria de física, Química e ingeniería, dirige el diseño de los materiales y mecanismos

avanzados. Ejemplos recientes son el descubrimiento de ciertos compuestos cerámicos que mantienen su superconductividad a temperaturas por debajo de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, el desarrollo de polímeros emisores de luz y la enorme diversidad de compuestos que surgieron de la investigación sobre el buckminsterfullereno.

Incluso en los campos convencionales de la investigación Química, las nuevas herramientas analíticas están suministrando detalles sin precedentes sobre los productos químicos y sus reacciones. Por ejemplo, las técnicas de láser proporcionan información instantánea de reacciones Químicas en fase gaseosa a una escala de femtosegundos (una milésima de una billonésima de segundo).

Física

Introducción (Física)

La Física es la ciencia que se ocupa de los componentes fundamentales del Universo, de las fuerzas que éstos ejercen entre sí y de los efectos de dichas fuerzas. En ocasiones la Física moderna incorpora elementos de los tres aspectos mencionados, como ocurre con las leyes de simetría y conservación de la energía, el momento, la carga o la paridad.

La Física está estrechamente relacionada con las demás ciencias naturales, y en cierto modo las engloba a todas. La química, por ejemplo, se ocupa de la interacción de los átomos para formar moléculas; gran parte de la geología moderna es en esencia un estudio de la Física de la Tierra y se conoce como geoFísica; la astronomía trata de la Física de las estrellas y del espacio exterior. Incluso los sistemas vivos están constituidos por partículas fundamentales que siguen el mismo tipo de leyes que las partículas más sencillas estudiadas tradicionalmente por los físicos.

El hincapié que la Física moderna hace en la interacción entre partículas (el llamado planteamiento microscópico) necesita muchas veces como complemento un enfoque macroscópico que se ocupe de elementos o sistemas de partículas más extensos. Este planteamiento macroscópico es indispensable en la aplicación de la Física a numerosas tecnologías modernas. Por ejemplo, la termodinámica, una rama de la Física desarrollada durante el siglo XIX, se ocupa de determinar y cuantificar las propiedades de un sistema en su conjunto, y resulta útil en otros campos de la Física; también constituye la base de las ingenierías química y mecánica. Propiedades como la temperatura, la presión o el volumen de un gas carecen de sentido para un átomo o molécula individual: estos conceptos termodinámicos sólo pueden aplicarse directamente a un sistema muy grande de estas partículas. No obstante, hay un nexo entre los enfoques microscópico y macroscópico: otra rama de la Física, conocida como mecánica estadística, explica la forma de relacionar desde un punto de vista estadístico la presión y la temperatura con el movimiento de los átomos y las moléculas.

Hasta principios del siglo XIX, era frecuente que los físicos fueran al mismo tiempo matemáticos, filósofos, químicos, biólogos o ingenieros. En la actualidad el ámbito de la Física ha crecido tanto que, con muy pocas excepciones, los físicos modernos tienen que limitar su atención a una o dos ramas de su ciencia. Una vez que se descubren y comprenden los aspectos fundamentales de un nuevo campo, éste pasa a ser de interés para los ingenieros y otros científicos. Por ejemplo, los descubrimientos del siglo XIX en electricidad y magnetismo forman hoy parte del terreno de los ingenieros eléctricos y de comunicaciones; las propiedades de la materia descubiertas a comienzos del siglo XX han encontrado aplicación en la electrónica; los descubrimientos de la Física nuclear, muchos de ellos posteriores a 1950, son la base de los trabajos de los ingenieros nucleares.

– 2700 a.C. a V d.C.

Alrededor del 2700 a.C. los chinos fabricaban imanes con magnetita y los griegos conocían las propiedades electrostáticas del ambar.

Los babilonios, los chinos, los egipcios y los mayas observaron los movimientos de los planetas y lograron predecir los eclipses, pero no consiguieron encontrar un sistema subyacente que explicara el movimiento planetario. Las especulaciones de los filósofos griegos introdujeron dos ideas fundamentales sobre los componentes del Universo, opuestas entre sí: el atomismo, propuesto por Leucipo en el siglo IV a.C., y la teoría de los elementos, formulada en el siglo anterior.

En Alejandría, el centro científico de la civilización occidental durante el periodo helenístico, hubo notables avances. Allí, el matemático e inventor griego Arquímedes diseñó con palancas y tornillos varios aparatos mecánicos prácticos y midió la densidad de objetos sólidos sumergiéndolos en un líquido. Otros científicos griegos importantes de aquella época fueron el astrónomo Aristarco de Samos, que halló la relación entre las distancias de la Tierra al Sol y de la Tierra a la Luna, el matemático, astrónomo y geógrafo Eratóstenes, que midió la circunferencia de la Tierra y elaboró un catálogo de estrellas, y el astrónomo Hiparco de Nicea, que descubrió la precesión de los equinoccios. En el siglo II d.C. el astrónomo, matemático y geógrafo Tolomeo propuso el sistema que lleva su nombre para explicar el movimiento planetario. En el sistema de Tolomeo, la Tierra está en el centro y el Sol, la Luna y las estrellas giran en torno a ella en órbitas circulares.

– Siglos V a XIV d.C.(Edad Media)

Durante la edad media se produjeron pocos avances, tanto en la Física como en las demás ciencias. Sin embargo, sabios árabes como Averroes o al-Qarashi (también conocido como Ibn al-Nafis) conservaron muchos tratados científicos de la Grecia clásica. En general, las grandes universidades medievales fundadas en Europa por las órdenes monásticas a partir del siglo XIII no supusieron un gran avance para la Física y otras ciencias experimentales. El filósofo escolástico y teólogo italiano santo Tomás de Aquino, por ejemplo, trató de demostrar que las obras de Platón y Aristóteles eran compatibles con las Sagradas Escrituras. El filósofo escolástico y científico británico Roger Bacon fue uno de los pocos filósofos que defendió el método experimental como auténtica base del conocimiento científico; también investigó en astronomía, química, óptica y diseño de máquinas.

– Siglos XIV a segunda mitad del s. XVII d.C.(Renacimiento)

La ciencia moderna surgió tras el renacimiento, en el siglo XVI y comienzos del XVII, cuando cuatro personajes sobresalientes lograron interpretar de forma muy satisfactoria el comportamiento de los cuerpos celestes. El astrónomo polaco Nicolás Copérnico, propuso un sistema heliocéntrico, en el que los planetas giran alrededor del Sol. Sin embargo, Copérnico estaba convencido de que las órbitas planetarias eran circulares, por lo que su sistema requería unas elaboraciones casi tan complicadas como el sistema de Tolomeo al que pretendía sustituir. El astrónomo danés Tycho Brahe adoptó un compromiso entre los sistemas de Copérnico y Tolomeo; según él, los planetas giraban en torno al Sol, mientras que el Sol giraba alrededor de la Tierra. Brahe era un gran observador y realizó una serie de medidas increíblemente precisas. Esto proporcionó a su ayudante Johannes Kepler los datos para atacar al sistema de Tolomeo y enunciar tres leyes que se ajustaban a una teoría heliocéntrica modificada. Galileo, que había oído hablar de la invención del telescopio, construyó uno, y en 1609 pudo confirmar el sistema heliocéntrico observando las fases del planeta Venus. También descubrió las irregularidades en la superficie de la Luna, los cuatro satélites de Júpiter más brillantes, las manchas solares y muchas estrellas de la Vía Láctea. Los intereses de Galileo no se limitaban a la astronomía: empleando planos inclinados y un reloj de agua perfeccionado ya había demostrado que los objetos tardan lo mismo en caer, independientemente de su masa (lo que invalidaba los postulados de Aristóteles), y que la velocidad de los mismos aumenta de forma uniforme con el tiempo de caída. Los descubrimientos astronómicos de Galileo y sus trabajos sobre mecánica precedieron la obra del matemático y físico británico del siglo XVII Isaac Newton, uno de los científicos más grandes de la historia.

– Siglos XVII a XX d.C.

A partir de 1665, cuando tenía 23 años, Newton desarrolló los principios de la mecánica, formuló la ley de la

gravitación universal, separó la luz blanca en sus colores constituyentes e inventó el cálculo diferencial e integral. Las contribuciones de Newton cubrieron una gama muy amplia de fenómenos naturales. Por ejemplo, demostró que tanto las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario como los descubrimientos de Galileo sobre la caída de los cuerpos se deducen de la segunda ley del movimiento (segunda ley de Newton) combinada con la ley de la gravitación. Newton también logró explicar el efecto de la Luna sobre las mareas, así como la precesión de los equinoccios.

El posterior desarrollo de la Física debe mucho a las leyes del movimiento o leyes de Newton, especialmente a la segunda, que afirma que la fuerza necesaria para acelerar un objeto es igual a su masa multiplicada por su aceleración. Si se conocen la posición y velocidad iniciales de un cuerpo, así como la fuerza aplicada, es posible calcular las posiciones y velocidades posteriores aunque la fuerza cambie con el tiempo o la posición; en esos casos es necesario aplicar el cálculo infinitesimal de Newton. La segunda ley del movimiento también contiene otro aspecto importante: todos los cuerpos tienen una propiedad intrínseca, su masa inercial, que influye en su movimiento. Cuanto mayor es esa masa, menor es la aceleración que adquiere cuando se aplica una fuerza determinada sobre el cuerpo. Hoy sabemos que esta ley es válida siempre que el cuerpo no sea extremadamente pequeño, grande o rápido. La tercera ley de Newton, que afirma que a cada fuerza de acción corresponde una fuerza de reacción igual y opuesta, podría expresarse en términos modernos como que todas las fuerzas entre partículas se producen en pares de sentido opuesto, aunque no necesariamente situados a lo largo de la línea que une las partículas.

La contribución más específica de Newton a la descripción de las fuerzas de la naturaleza fue la explicación de la fuerza de la gravedad. En la actualidad los científicos saben que sólo hay otras tres fuerzas, además de la gravedad, que originan todas las propiedades y actividades observadas en el Universo: el electromagnetismo, la llamada interacción nuclear fuerte (que mantiene unidos los protones y neutrones en los núcleos atómicos) y la interacción nuclear débil (o interacción débil) entre algunas de las partículas elementales, que explica el fenómeno de la radiactividad. La comprensión del concepto de fuerza se remonta a la ley de la gravitación universal, que reconocía que todas las partículas materiales, y los cuerpos formados por estas partículas, tienen una propiedad denominada masa gravitacional. Esta propiedad hace que dos partículas cualesquiera ejerzan entre sí una fuerza atractiva (a lo largo de la línea que las une) directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. Esta fuerza gravitatoria rige el movimiento de los planetas alrededor del Sol y de los objetos en el campo gravitatorio terrestre; también es responsable del colapso gravitacional que, según se cree, constituye el estado final del ciclo vital de las estrellas masivas y es la causa de muchos fenómenos astrofísicos.

Una de las observaciones más importantes de la Física es que la masa gravitacional de un cuerpo (que es el origen de la fuerza gravitatoria que existe entre el cuerpo y otros cuerpos) es igual a su masa inercial, la propiedad que determina el movimiento del cuerpo en respuesta a cualquier fuerza ejercida sobre él. Esta equivalencia, confirmada experimentalmente con gran precisión (se ha demostrado que, en caso de existir alguna diferencia entre ambas masas, es menor de una parte en 10¹³), lleva implícito el principio de proporcionalidad: cuando un cuerpo tiene una masa gravitacional dos veces mayor que otro, su masa inercial también es dos veces mayor. Esto explica la observación de Galileo realizada con anterioridad a la formulación de las leyes de Newton de que todos los cuerpos caen con la misma aceleración independientemente de su masa: aunque los cuerpos más pesados experimentan una fuerza gravitatoria mayor, su mayor masa inercial disminuye en un factor igual a la aceleración por unidad de fuerza, por lo que la aceleración total es la misma que en un cuerpo más ligero.

Sin embargo, el significado pleno de esta equivalencia entre las masas gravitacional e inercial no se apreció hasta que Albert Einstein enunció la teoría de la relatividad general. Einstein se dio cuenta de que esta equivalencia tenía una implicación adicional: la equivalencia de un campo gravitatorio y un sistema de referencia acelerado.

La fuerza gravitatoria es la más débil de las cuatro fuerzas de la naturaleza. Por ejemplo, la fuerza gravitatoria

entre dos protones (una de las partículas elementales más pesadas) es 1036 veces menos intensa que la fuerza electrostática entre ellos, sea cual sea la distancia que los separe. En el caso de dos protones situados en el núcleo de un átomo, la fuerza electrostática de repulsión es a su vez mucho menor que la interacción nuclear fuerte. El que la gravedad sea la fuerza dominante a escala macroscópica se debe a dos hechos: 1) según se sabe, sólo existe un tipo de masa, por lo que sólo existe un tipo de fuerza gravitacional, siempre atractiva; esto hace que las fuerzas gravitacionales de las numerosísimas partículas elementales que componen un cuerpo como la Tierra se sumen, con lo que la fuerza total resulta muy grande. 2) Las fuerzas gravitacionales actúan a cualquier distancia, disminuyendo según el cuadrado de la separación entre los cuerpos.

En cambio, las cargas eléctricas de las partículas elementales, que originan las fuerzas electrostáticas y electromagnéticas, pueden ser positivas o negativas. Las cargas iguales se repelen y las cargas opuestas se atraen. Los cuerpos formados por muchas partículas tienden a ser eléctricamente neutros, y las fuerzas eléctricas ejercidas por las partículas, aunque tienen un alcance infinito al igual que la fuerza de gravedad, se cancelan mutuamente. Por su parte, las interacciones nucleares, tanto la fuerte como la débil, tienen un alcance extremadamente corto, y apenas son apreciables a distancias mayores de una billonésima de centímetro.

A pesar de su importancia macroscópica, la fuerza de la gravedad es tan débil que un cuerpo tiene que poseer una masa enorme para que su influencia sobre otro cuerpo resulte apreciable. Por eso, la ley de la gravitación universal se dedujo de las observaciones del movimiento de los planetas mucho antes de que pudiera comprobarse de forma experimental. Esto sucedió en 1771, cuando el físico y químico británico Henry Cavendish confirmó la ley utilizando grandes esferas de plomo para atraer pequeñas masas unidas a un péndulo de torsión. A partir de esas medidas, Cavendish también dedujo la masa y la densidad de la Tierra.

En los dos siglos posteriores a Newton, aunque la mecánica se analizó, se reformuló y se aplicó a sistemas complejos, no se aportaron nuevas ideas Físicas. El matemático suizo Leonhard Euler fue el primero en formular las ecuaciones del movimiento para sólidos rígidos, mientras que Newton sólo se había ocupado de masas que se podían considerar concentradas en un punto. Diferentes físicos matemáticos, entre ellos Joseph Louis Lagrange y William Hamilton, ampliaron la segunda ley de Newton con formulaciones más complejas. A lo largo del mismo periodo, Euler, el científico Daniel Bernoulli y otros investigadores también ampliaron la mecánica newtoniana y sentaron las bases de la mecánica de fluidos.

Aunque los antiguos griegos conocían las propiedades electrostáticas del ámbar, y los chinos ya fabricaban imanes con magnetita en el 2700 a.C., los fenómenos eléctricos y magnéticos no empezaron a comprenderse hasta finales del siglo XVIII, cuando comenzaron a realizarse experimentos en estos campos. En 1785, el físico francés Charles de Coulomb confirmó por primera vez de forma experimental que las cargas eléctricas se atraen o se repelen con una intensidad inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (ley de Coulomb). Más tarde el matemático francés Siméon Denis Poisson y su colega alemán Carl Friedrich Gauss desarrollaron una potente teoría para calcular el efecto de un número indeterminado de cargas eléctricas estáticas arbitrariamente distribuidas.

Dos partículas con cargas opuestas se atraen, por lo que tienden a acelerarse una hacia la otra. Si el medio a través del cual se mueven ofrece resistencia, pueden acabar moviéndose con velocidad constante (en lugar de moverse con aceleración constante) a la vez que el medio se calienta y sufre otras alteraciones. La posibilidad de mantener una fuerza electromotriz capaz de impulsar de forma continuada partículas eléctricamente cargadas llegó con el desarrollo de la pila química en 1800, debido al físico italiano Alessandro Volta. La teoría clásica de un circuito eléctrico simple supone que los dos polos de una pila se mantienen cargados positiva y negativamente debido a las propiedades internas de la misma. Cuando los polos se conectan mediante un conductor, las partículas cargadas negativamente son repelidas por el polo negativo y atraídas por el positivo, con lo que se mueven hacia él y calientan el conductor, ya que ofrece resistencia a dicho movimiento. Al llegar al polo positivo las partículas son obligadas a desplazarse dentro de la pila hasta el polo negativo, en contra de las fuerzas que se oponen a ello según la ley de Coulomb. El físico alemán Georg

Simon Ohm descubrió la existencia de una constante de proporcionalidad sencilla entre la corriente que fluye por el circuito y la fuerza electromotriz suministrada por la pila. Esta constante es la resistencia eléctrica del circuito, R . La ley de Ohm, que afirma que la resistencia es igual a la fuerza electromotriz, o tensión, dividida entre la intensidad de corriente, no es una ley fundamental de la Física de aplicación universal, sino que describe el comportamiento de una clase limitada de materiales sólidos.

Los conceptos elementales del magnetismo, basados en la existencia de pares de polos opuestos, aparecieron en el siglo XVII y fueron desarrollados en los trabajos de Coulomb. Sin embargo, la primera conexión entre el magnetismo y la electricidad se encontró en los experimentos del físico y químico danés Hans Christian Oersted, que en 1819 descubrió que un cable conductor por el que fluía una corriente eléctrica desviaba una aguja magnética situada en sus proximidades.

A la semana de conocer el descubrimiento de Oersted, el científico francés André Marie Ampère demostró experimentalmente que dos cables por los que circula una corriente ejercen una influencia mutua igual a la de los polos de un imán. En 1831, el físico y químico británico Michael Faraday descubrió que podía inducirse el flujo de una corriente eléctrica en un conductor en forma de espira no conectado a una batería, moviendo un imán en sus proximidades o situando cerca otro conductor por el que circulara una corriente variable. La forma más fácil de enunciar la íntima relación entre la electricidad y el magnetismo, perfectamente establecida en la actualidad, es a partir de los conceptos de campo eléctrico y magnético. La intensidad, dirección y sentido del campo en cada punto mide la fuerza que actuaría sobre una carga unidad (en el caso del campo eléctrico) o una corriente unidad (en el caso del campo magnético) situadas en ese punto. Las cargas eléctricas estacionarias producen campos eléctricos; las corrientes esto es, las cargas en movimiento producen campos eléctricos y magnéticos. Un campo eléctrico también puede ser producido por un campo magnético variable, y viceversa. Los campos eléctricos ejercen fuerzas sobre las partículas cargadas por el simple hecho de tener carga, independientemente de su velocidad; los campos magnéticos sólo ejercen fuerzas sobre partículas cargadas en movimiento.

Estos hallazgos cualitativos fueron expresados en una forma matemática precisa por el físico británico James Clerk Maxwell, que desarrolló las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que llevan su nombre. Las ecuaciones de Maxwell relacionan los cambios espaciales y temporales de los campos eléctrico y magnético en un punto con las densidades de carga y de corriente en dicho punto. En principio, permiten calcular los campos en cualquier momento y lugar a partir del conocimiento de las cargas y corrientes. Un resultado inesperado que surgió al resolver las ecuaciones fue la predicción de un nuevo tipo de campo electromagnético producido por cargas eléctricas aceleradas. Este campo se propagaría por el espacio con la velocidad de la luz en forma de onda electromagnética, y su intensidad disminuiría de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente. En 1887, el físico alemán Heinrich Hertz consiguió generar físicamente esas ondas por medios eléctricos, con lo que sentó las bases para la radio, el radar, la televisión y otras formas de telecomunicaciones.

El comportamiento de los campos eléctrico y magnético en estas ondas es bastante similar al de una cuerda tensa muy larga cuyo extremo se hace oscilar rápidamente hacia arriba y hacia abajo. Cualquier punto de la cuerda se mueve hacia arriba y hacia abajo con la misma frecuencia que la fuente de las ondas situada en el extremo de la cuerda. Los puntos de la cuerda situados a diferentes distancias de la fuente alcanzan su máximo desplazamiento vertical en momentos diferentes. Cada punto de la cuerda hace lo mismo que su vecino, pero lo hace algo más tarde si está más lejos de la fuente de vibración. La velocidad con que se transmite la perturbación a lo largo de la cuerda, o la 'orden' de oscilar, se denomina velocidad de onda. Esta velocidad es función de la densidad lineal de la cuerda (masa por unidad de longitud) y de la tensión a la que esté sometida. Una fotografía instantánea de la cuerda después de llevar moviéndose cierto tiempo mostraría que los puntos que presentan el mismo desplazamiento están separados por una distancia conocida como longitud de onda, que es igual a la velocidad de onda dividida entre la frecuencia. En el caso del campo electromagnético la intensidad del campo eléctrico se puede asociar al movimiento vertical de cada punto de la cuerda, mientras que el campo magnético se comporta del mismo modo pero formando un ángulo recto con

el campo eléctrico (y con la dirección de propagación). La velocidad con que la onda electromagnética se aleja de la fuente es la velocidad de la luz.

La aparente propagación lineal de la luz se conoce desde la antigüedad, y los griegos creían que la luz estaba formada por un flujo de corpúsculos. Sin embargo, había gran confusión sobre si estos corpúsculos procedían del ojo o del objeto observado. Cualquier teoría satisfactoria de la luz debe explicar su origen y desaparición y sus cambios de velocidad y dirección al atravesar diferentes medios. En el siglo XVII, Newton ofreció respuestas parciales a estas preguntas, basadas en una teoría corpuscular; el científico británico Robert Hooke y el astrónomo, matemático y físico holandés Christiaan Huygens propusieron teorías de tipo ondulatorio. No fue posible realizar ningún experimento cuyo resultado confirmara una u otra teoría hasta que, a principios del siglo XIX, el físico y médico británico Thomas Young demostró el fenómeno de la interferencia en la luz. El físico francés Augustin Jean Fresnel apoyó decisivamente la teoría ondulatoria.

La interferencia puede observarse colocando una rendija estrecha delante de una fuente de luz, situando una doble rendija algo más lejos y observando una pantalla colocada a cierta distancia de la doble rendija. En lugar de aparecer una imagen de las rendijas uniformemente iluminada, se ve una serie de bandas oscuras y claras equidistantes. Para explicar cómo las hipotéticas partículas de luz procedentes de la misma fuente, que llegan a la pantalla a través de las dos rendijas, pueden producir distintas intensidades de luz en diferentes puntos e incluso anularse unas a otras y producir zonas oscuras habría que considerar complejas suposiciones adicionales. En cambio, las ondas de luz pueden producir fácilmente un efecto así. Si se supone, como hizo Huygens, que cada una de las dos rendijas actúa como una nueva fuente que emite luz en todas direcciones, los dos trenes de onda que llegan a la pantalla en un mismo punto pueden no estar en fase aunque lo estuvieran al salir de las rendijas (se dice que dos vibraciones están en fase en un punto determinado cuando en cada momento se encuentran en la misma etapa de la oscilación: sus máximos coinciden en un mismo momento, y lo mismo ocurre con los mínimos). Según la diferencia de recorrido entre ambos trenes en cada punto de la pantalla, puede ocurrir que un desplazamiento 'positivo' de uno de ellos coincida con uno 'negativo' del otro con lo que se producirá una zona oscura o que lleguen simultáneamente dos desplazamientos positivos, o negativos, lo que provocará un refuerzo de las intensidades, y por ende una zona brillante. En cada punto brillante, la intensidad de la luz experimenta una variación temporal a medida que las sucesivas ondas en fase van desde el máximo desplazamiento positivo hasta el máximo negativo, pasando por cero, y vuelven de nuevo al máximo desplazamiento positivo. Sin embargo, ni el ojo ni ningún instrumento clásico puede determinar este rápido 'parpadeo', que en la zona de luz visible tiene una frecuencia que va de 4×10^{14} a $7,5 \times 10^{14}$ hercios (ciclos por segundo). Aunque la frecuencia no puede medirse directamente, puede deducirse de las medidas de longitud de onda y velocidad. La longitud de onda puede determinarse midiendo la distancia entre ambas rendijas y la separación entre dos franjas brillantes adyacentes en la pantalla. Las longitudes de onda van desde 4×10^{-5} cm en la luz violeta hasta $7,5 \times 10^{-5}$ cm en la luz roja; los demás colores corresponden a longitudes de onda intermedias.

El astrónomo danés Olaus Roemer fue el primero en medir la velocidad de la luz, en 1676. Roemer observó una aparente variación temporal entre los eclipses sucesivos de los satélites de Júpiter, que atribuyó a los cambios en la distancia entre la Tierra y Júpiter (según la posición de la primera en su órbita) y las consiguientes diferencias en el tiempo empleado por la luz para llegar a la Tierra. Sus medidas coincidían bastante con las observaciones más precisas realizadas en el siglo XIX por el físico francés Armand Hippolyte Louis Fizeau y con los trabajos del físico estadounidense Albert Michelson y sus colaboradores, que se extendieron hasta el siglo XX. En la actualidad, la velocidad de la luz en el vacío se considera que es 299.792,46 km/s. En la materia, la velocidad es menor y varía con la frecuencia: este fenómeno se denomina dispersión.

Los trabajos de Maxwell aportaron resultados importantes a la comprensión de la naturaleza de la luz, al demostrar que su origen es electromagnético: una onda luminosa corresponde a campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Sus trabajos predijeron la existencia de luz no visible, y en la actualidad se sabe que las ondas o radiaciones electromagnéticas cubren todo un espectro, que empieza en los rayos gamma, con

longitudes de onda de 10–12 cm y aún menores, pasando por los rayos X, la luz visible y las microondas, hasta las ondas de radio, con longitudes de onda de hasta varios cientos de kilómetros. Maxwell también consiguió relacionar la velocidad de la luz en el vacío y en los diferentes medios con otras propiedades del espacio y la materia, de las que dependen los efectos eléctricos y magnéticos. Sin embargo, los descubrimientos de Maxwell no aportaron ningún conocimiento sobre el misterioso medio por el que se pensaba que se propagaban la luz y las ondas electromagnéticas. A partir de las experiencias con las olas, el sonido y las ondas elásticas, los científicos suponían que existía un medio similar, un 'éter luminífero', sin masa, que llenaba todo el espacio (puesto que la luz puede desplazarse a través del vacío) y actuaba como un sólido (ya que se sabía que las ondas electromagnéticas eran transversales, puesto que las oscilaciones se producen en un plano perpendicular a la dirección de propagación, y en los gases y líquidos sólo pueden propagarse ondas longitudinales, como las ondas sonoras). La búsqueda de este misterioso éter ocupó la atención de una gran parte de los físicos a lo largo de los últimos años del siglo XIX.

El problema se complicaba por un aspecto adicional. Una persona que camine a 5 km/h en un tren que se desplaza a 100 km/h tiene una velocidad aparente de 105 km/h para un observador situado en el andén. La pregunta que surgía en relación con la velocidad de la luz era la siguiente: si la luz se desplaza a unos 300.000 km/s a través del éter, ¿a qué velocidad se desplazará con respecto a un observador situado en la Tierra, puesto que la Tierra también se mueve en relación al éter? ¿Cuál es la velocidad de la Tierra con respecto al éter, indicada por sus efectos sobre las ondas luminosas? El famoso experimento de Michelson–Morley, realizado en 1887 por Michelson y por el químico estadounidense Edward Williams Morley con ayuda de un interferómetro, pretendía medir esta velocidad. Si la Tierra se desplazara a través de un éter estacionario debería observarse una diferencia en el tiempo empleado por la luz para recorrer una distancia determinada según que se desplazase de forma paralela o perpendicular al movimiento de la Tierra. El experimento era lo bastante sensible para detectar a partir de la interferencia entre dos haces de luz una diferencia extremadamente pequeña. Sin embargo, los resultados fueron negativos: esto planteó un dilema para la Física que no se resolvió hasta que Einstein formuló su teoría de la relatividad en 1905.

Termodinámica

Una rama de la Física que alcanzó pleno desarrollo en el siglo XIX fue la termodinámica. En primer lugar aclaró los conceptos de calor y temperatura, proporcionando definiciones coherentes y demostrando cómo podían relacionarse éstas con los conceptos de trabajo y energía, que hasta entonces tenían un carácter puramente mecánico.

Hasta bien entrado el siglo XIX se consideraba que el calor era un fluido sin masa, el llamado 'calórico', que estaba contenido en la materia y podía introducirse en un cuerpo o extraerse del mismo. Aunque la teoría del calórico explicaba las cuestiones básicas de termometría y calorimetría, no lograba explicar satisfactoriamente muchas observaciones realizadas a principios del siglo XIX. La primera relación cuantitativa entre el calor y otras formas de energía fue observada en 1798 por el físico y estadista estadounidense de origen inglés Benjamin Thompson, conde de Rumford, que observó que el calor producido al taladrar el ánima de un cañón era aproximadamente proporcional al trabajo empleado (en mecánica, el trabajo es el producto de la fuerza que actúa sobre un cuerpo por la distancia recorrida por el cuerpo en la dirección de esta fuerza durante su aplicación).

El concepto moderno de átomo fue propuesto por primera vez por el químico y físico británico John Dalton en 1808, a partir de sus estudios que mostraban que los elementos químicos se combinan en proporciones constantes para formar compuestos. En 1811, el físico italiano Amedeo Avogadro propuso el concepto de molécula, la partícula más pequeña de una sustancia gaseosa que puede existir en estado libre y seguir teniendo las mismas propiedades que una cantidad mayor de dicha sustancia. Este concepto no tuvo una aceptación generalizada hasta unos 50 años después, cuando sirvió de base a la teoría cinética de los gases. Esta teoría, desarrollada por Maxwell, el físico austriaco Ludwig Boltzmann y otros, permitió aplicar las leyes de la mecánica y del cálculo probabilístico al comportamiento de las moléculas individuales, lo que llevó a

deducciones estadísticas sobre las propiedades del gas en su conjunto.

Un problema importante resuelto de esta forma fue la determinación del rango de velocidades de las moléculas de un gas, y en consecuencia de la energía cinética media de las moléculas. La energía cinética de un cuerpo es $\frac{1}{2}mv^2$, donde m es la masa del cuerpo y v su velocidad. Uno de los logros de la teoría cinética fue la demostración de que la temperatura una propiedad termodinámica macroscópica que describe el conjunto del sistema está directamente relacionada con la energía cinética media de las moléculas. Otro logro consistió en identificar la entropía de un sistema con el logaritmo de la probabilidad estadística de la distribución de energías. Esto llevó a demostrar que el estado de equilibrio termodinámico de mayor probabilidad es también el estado de máxima entropía. Después de su éxito en los gases, la teoría cinética y la mecánica estadística se aplicaron a otros sistemas, algo que continúa haciéndose en la actualidad.

Primeras teorías atómicas y moleculares

La teoría atómica de Dalton y la ley de Avogadro tuvieron una influencia crucial en el desarrollo de la química, además de su importancia para la Física.

Ley de Avogadro

La ley de Avogadro, fácil de demostrar a partir de la teoría cinética, afirma que a una presión y temperatura dadas un volumen determinado de un gas siempre contiene el mismo número de moléculas, independientemente del gas de que se trate. Sin embargo, los físicos no lograron determinar con exactitud esa cifra (y por tanto averiguar la masa y tamaño de las moléculas) hasta principios del siglo XX. Después del descubrimiento del electrón, el físico estadounidense Robert Andrews Millikan determinó su carga. Esto permitió finalmente calcular con precisión el número de Avogadro, es decir, el número de partículas (átomos, moléculas, iones o cualquier otra partícula) que hay en un mol de materia.

Además de la masa del átomo interesa conocer su tamaño. A finales del siglo XIX se realizaron diversos intentos para determinar el tamaño del átomo, que sólo tuvieron un éxito parcial. En uno de estos intentos se aplicaron los resultados de la teoría cinética a los gases no ideales, es decir, gases cuyas moléculas no se comportan como puntos sino como esferas de volumen finito. Posteriores experimentos que estudiaban la forma en que los átomos dispersaban rayos X, partículas alfa y otras partículas atómicas y subatómicas permitieron medir con más precisión el tamaño de los átomos, que resultaron tener un diámetro de entre 10^{-8} y 10^{-9} cm. Sin embargo, una afirmación precisa sobre el tamaño de un átomo exige una definición explícita de lo que se entiende por tamaño, puesto que la mayoría de los átomos no son exactamente esféricos y pueden existir en diversos estados, con diferentes distancias entre el núcleo y los electrones.

Hacia 1880 la Física presentaba un panorama de calma: la mayoría de los fenómenos podían explicarse mediante la mecánica de Newton, la teoría electromagnética de Maxwell, la termodinámica y la mecánica estadística de Boltzmann. Parecía que sólo quedaban por resolver unos pocos problemas, como la determinación de las propiedades del éter y la explicación de los espectros de emisión y absorción de sólidos y gases. Sin embargo, estos fenómenos contenían las semillas de una revolución cuyo estallido se vio acelerado por una serie de asombrosos descubrimientos realizados en la última década del siglo XIX: en 1895, Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los rayos X; ese mismo año, Joseph John Thomson descubrió el electrón; en 1896, Antoine Henri Becquerel descubrió la radiactividad; entre 1887 y 1899, Heinrich Hertz, Wilhelm Hallwachs y Philipp Lenard descubrieron diversos fenómenos relacionados con el efecto fotoeléctrico. Los datos experimentales de la Física, unidos a los inquietantes resultados del experimento de Michelson–Morley y al descubrimiento de los rayos catódicos, formados por chorros de electrones, desafiaban a todas las teorías disponibles.

La Física moderna(s.XX)

Dos importantes avances producidos durante el primer tercio del siglo XX la teoría cuántica y la teoría de la relatividad explicaron estos hallazgos, llevaron a nuevos descubrimientos y cambiaron el modo de comprender la Física.

Relatividad

Para ampliar el ejemplo de velocidad relativa introducido a propósito del experimento de Michelson–Morley se pueden comparar dos situaciones. En una de ellas, una persona A avanza hacia delante con una velocidad v en un tren que se mueve a una velocidad u . La velocidad de A con respecto a un observador B situado en el andén es $V = u + v$. Si el tren está parado en la estación y A avanza hacia delante con una velocidad v mientras el observador B camina en sentido opuesto con velocidad u , la velocidad relativa de A respecto a B sería exactamente la misma que en el primer caso. En términos más generales, si dos sistemas de referencia se mueven uno respecto del otro a velocidad constante, las observaciones de cualquier fenómeno realizadas por un observador en cualquiera de los sistemas son físicamente equivalentes. Como ya se indicó, el experimento de Michelson–Morley no logró confirmar esta simple suma de velocidades en el caso de un haz de luz: dos observadores, uno de los cuales estaba en reposo y el otro avanzaba hacia una fuente de luz a velocidad u , midieron el mismo valor de la velocidad de la luz, que suele simbolizarse con la letra c .

Einstein incorporó la invariancia de c a su teoría de la relatividad. La teoría también exigió un cuidadoso replanteamiento de los conceptos de espacio y tiempo, y puso de manifiesto la imperfección de las nociones intuitivas sobre los mismos. De la teoría de Einstein se desprende que un reloj perfectamente sincronizado con otro reloj situado en reposo en relación con él se retrasará o adelantará con respecto al segundo reloj si ambos se mueven uno respecto del otro. Igualmente, dos varillas que tengan igual longitud cuando están en reposo tendrán longitudes distintas cuando una se mueva respecto a la otra. Las diferencias sólo son significativas cuando las velocidades relativas son comparables a c . El espacio y el tiempo están estrechamente ligados en un continuo de cuatro dimensiones: las tres dimensiones espaciales habituales y una cuarta dimensión temporal.

Dos consecuencias importantes de la teoría de la relatividad son la equivalencia entre masa y energía y el límite máximo a la velocidad de los objetos materiales dado por c . La mecánica relativista describe el movimiento de objetos cuyas velocidades son fracciones apreciables de c , mientras que la mecánica newtoniana sigue siendo útil para las velocidades propias de los movimientos de los objetos macroscópicos en la Tierra. En cualquier caso, ningún objeto material puede tener una velocidad igual o mayor a la velocidad de la luz.

La masa m y la energía E están ligadas por la relación $E = mc^2$. Como c es muy grande, el equivalente energético de la masa es gigantesco. La transformación de masa en energía resulta significativa en las reacciones nucleares, como las que tienen lugar en una central nuclear o en una bomba atómica, y en las estrellas, donde la liberación de cantidades ingentes de energía se ve acompañada de una pérdida significativa de masa.

La teoría original de Einstein, formulada en 1905 y conocida como teoría de la relatividad especial o restringida, se limitaba a sistemas de referencia que se mueven a velocidad constante uno respecto del otro. En 1915, Einstein generalizó su hipótesis y formuló la teoría de la relatividad general, aplicable a sistemas que experimentan una aceleración uno con respecto al otro. Esta extensión demostró que la gravitación era una consecuencia de la geometría del espacio–tiempo, y predijo la desviación de la luz al pasar cerca de un cuerpo de gran masa como una estrella, efecto que se observó por primera vez en 1919. La teoría de la relatividad general, aunque no está tan firmemente establecida como la relatividad restringida, tiene una importancia decisiva para la comprensión de la estructura del Universo y su evolución.

Teoría cuántica

El primero en resolver el dilema planteado por los espectros de emisión de los cuerpos sólidos fue el físico alemán Max Planck. Según la Física clásica, todas las moléculas de un sólido pueden vibrar, y la amplitud de sus vibraciones está directamente relacionada con la temperatura. En principio son posibles todas las energías de vibración, y la energía térmica del sólido debería de poder convertirse de forma continua en radiación electromagnética mientras se le suministre energía. Planck realizó una suposición radical al postular que un oscilador molecular sólo puede emitir ondas electromagnéticas en paquetes discretos, que llamó cuantos o fotones. Cada fotón tiene una longitud de onda y una frecuencia características y una energía E que viene dada por $E = hu$, donde u es la frecuencia de la onda luminosa y h es la denominada constante de Planck. La longitud de onda λ está relacionada con la frecuencia según la ecuación $\lambda u = c$, donde c es la velocidad de la luz. Si la frecuencia se expresa en hercios (Hz), o ciclos por segundo ($1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$), y la energía en julios, la constante de Planck es extremadamente pequeña, y vale $6,626 \times 10^{-34}$ julios·segundo. Con su teoría, Planck introdujo una dualidad onda-corpúsculo en la naturaleza de la luz, que durante un siglo había sido considerada como un fenómeno exclusivamente ondulatorio.

En 1912 el físico alemán Max von Laue y sus colaboradores demostraron que estos rayos extremadamente penetrantes, descubiertos por Roentgen, eran radiación electromagnética de longitud de onda muy corta, es decir, de frecuencia elevada. Se comprobó que el mecanismo de producción de rayos X correspondía a un fenómeno cuántico, y en 1914 el físico británico Henry Gwyn Jeffreys Moseley empleó sus espectrogramas de rayos X para demostrar que el número de protones de un átomo coincide con su número atómico, que indica su posición en la tabla periódica. La teoría fotónica de la radiación electromagnética se reforzó y desarrolló aún más cuando el físico estadounidense Arthur Holly Compton predijo y observó en 1923 el llamado efecto Compton.

En 1913 el físico británico nacido en Nueva Zelanda Ernest Rutherford comprobó que el anterior modelo atómico de Thomson, con partículas positivas y negativas uniformemente distribuidas, era insostenible. Las partículas alfa empleadas por Rutherford, muy rápidas y con carga positiva, se desviaban con claridad al atravesar una capa muy fina de materia. Para explicar este efecto era necesario un modelo atómico con un núcleo central pesado y cargado positivamente que provocara la dispersión de las partículas alfa. Rutherford sugirió que la carga positiva del átomo estaba concentrada en un núcleo estacionario de gran masa, mientras que los electrones negativos se movían en órbitas alrededor del núcleo, ligadas por la atracción eléctrica entre cargas opuestas. Sin embargo, este modelo de 'sistema solar' no podía ser estable según la teoría de Maxwell ya que, al girar, los electrones son acelerados y deberían emitir radiación electromagnética, perder energía y como consecuencia caer en el núcleo en un tiempo muy breve.

Esto exigió otra ruptura radical con la Física clásica, que corrió a cargo del físico danés Niels Bohr. Según Bohr en los átomos existían ciertas órbitas en las que los electrones giran sin emitir radiación electromagnética. Estas órbitas permitidas, los llamados estados estacionarios, están determinadas por la condición de que el momento angular J del electrón de la órbita tiene que ser un múltiplo entero positivo de la constante de Planck dividida entre 2π , es decir, $J = nh/2\pi$, donde el número cuántico n puede tomar cualquier valor entero positivo. Estas fórmulas extendieron la 'cuantización' a la dinámica, fijaron las órbitas posibles y permitieron a Bohr calcular los radios de las mismas y los niveles de energía correspondientes. En 1913, el año en que apareció el primer trabajo de Bohr sobre este tema, el modelo fue confirmado experimentalmente por el físico estadounidense nacido en Alemania James Franck y su colega alemán Gustav Hertz.

Bohr desarrolló su modelo con mucha mayor profundidad. Explicó el mecanismo por el que los átomos emiten luz y otras ondas electromagnéticas y propuso la hipótesis de que un electrón 'elevado' por una perturbación suficiente desde la órbita de menor radio y menor energía (el estado fundamental) hasta otra órbita vuelve a 'caer' al estado fundamental al poco tiempo. Esta caída está acompañada de la emisión de un único fotón con energía $E = hf$, que corresponde a la diferencia de energía entre las órbitas superior e inferior. Cada transición entre órbitas emite un fotón característico cuya longitud de onda y frecuencia están exactamente definidas; por ejemplo, en una transición directa desde la órbita de $n = 3$ hasta la de $n = 1$ se emite un solo fotón, muy distinto de los dos fotones emitidos en una transición secuencial desde la órbita de n

= 3 hasta la de $n = 2$ y a continuación desde ésta hasta la de $n = 1$. Este modelo permitió a Bohr explicar con gran precisión el espectro atómico más sencillo, el del hidrógeno, que había desafiado a la Física clásica.

Aunque el modelo de Bohr se amplió y perfeccionó, no podía explicar los fenómenos observados en átomos con más de un electrón. Ni siquiera podía explicar la intensidad de las rayas espectrales del sencillo átomo de hidrógeno. Como su capacidad de predicción de resultados experimentales era limitada, no resultaba plenamente satisfactorio para los físicos teóricos.

En unos pocos años, aproximadamente entre 1924 y 1930, se desarrolló un nuevo enfoque teórico de la dinámica para explicar el comportamiento subatómico. El nuevo planteamiento, llamado mecánica cuántica o mecánica ondulatoria, comenzó cuando el físico francés Louis de Broglie sugirió en 1924 que no sólo la radiación electromagnética, sino también la materia podía presentar una dualidad onda-corpúsculo. La longitud de onda de las llamadas ondas de materia asociadas con una partícula viene dada por la ecuación $\lambda = h/mv$, donde m es la masa de la partícula y v su velocidad. Las ondas de materia se concebían como ondas piloto que guiaban el movimiento de las partículas, una propiedad que debería llevar a que en condiciones adecuadas se produjera difracción. Ésta se confirmó en 1927 con los experimentos sobre interacciones entre electrones y cristales realizados por los físicos estadounidenses Clinton Joseph Davisson y Lester Halbert Germer y por el físico británico George Paget Thomson. Posteriormente, los alemanes Werner Heisenberg, Max Born y Ernst Pascual Jordan, y el austriaco Erwin Schrödinger dieron a la idea planteada por de Broglie una forma matemática que podía aplicarse a numerosos fenómenos físicos y a problemas que no podían tratarse con la Física clásica. Además de confirmar el postulado de Bohr sobre la cuantización de los niveles de energía de los átomos, la mecánica cuántica hace que en la actualidad podamos comprender los átomos más complejos, y también ha supuesto una importante guía en la Física nuclear. Aunque por lo general la mecánica cuántica sólo se necesita en fenómenos microscópicos (la mecánica newtoniana sigue siendo válida para sistemas macroscópicos), ciertos efectos macroscópicos como las propiedades de los sólidos cristalinos sólo pueden explicarse de forma satisfactoria a partir de los principios de la mecánica cuántica.

Desde entonces se han incorporado nuevos conceptos importantes al panorama de la mecánica cuántica, más allá de la idea de Broglie sobre la dualidad onda-corpúsculo de la materia. Uno de estos conceptos es que los electrones deben tener un cierto magnetismo permanente y por tanto un momento angular intrínseco, o espín. Después se comprobó que el espín es una propiedad fundamental de casi todas las partículas elementales. En 1925, el físico austriaco Wolfgang Pauli expuso el principio de exclusión, que afirma que en un átomo no puede haber dos electrones con el mismo conjunto de números cuánticos (hacen falta cuatro números cuánticos para especificar completamente el estado de un electrón dentro de un átomo). El principio de exclusión es vital para comprender la estructura de los elementos y de la tabla periódica. En 1927, Heisenberg postuló el principio de incertidumbre, que afirma la existencia de un límite natural a la precisión con la que pueden conocerse simultáneamente determinados pares de magnitudes Físicas asociadas a una partícula (por ejemplo, la cantidad de movimiento y la posición).

En 1928 el físico matemático británico Paul Dirac realizó una síntesis de la mecánica cuántica y la relatividad, que le llevó a predecir la existencia del positrón y culminó el desarrollo de la mecánica cuántica.

Las ideas de Bohr desempeñaron un papel muy importante para el desarrollo de un enfoque estadístico en la Física moderna. Las relaciones de causa y efecto de la mecánica newtoniana, totalmente deterministas, fueron sustituidas por predicciones de sucesos futuros basadas sólo en probabilidades estadísticas. Las propiedades ondulatorias de la materia implican que, de acuerdo con el principio de incertidumbre, el movimiento de las partículas nunca puede predecirse con una certeza absoluta, incluso aunque se conozcan por completo las fuerzas. Aunque este aspecto estadístico no es detectable en los movimientos macroscópicos, es dominante a escala molecular, atómica y subatómica.

Física nuclear

El descubrimiento de la radiactividad del mineral de uranio, llevado a cabo en 1896 por Becquerel, también facilitó la comprensión de la estructura atómica. En los años siguientes se comprobó que la radiación de los materiales radiactivos estaba formada por tres tipos de emisiones: los llamados rayos alfa, beta y gamma. Rutherford estableció que los primeros eran núcleos de átomos de helio, y Becquerel demostró que los segundos eran electrones muy rápidos. Los rayos gamma resultaron ser radiación electromagnética de muy alta frecuencia. En 1898, los físicos franceses Marie y Pierre Curie aislaron dos elementos muy radiactivos, el radio y el polonio, a partir del mineral de uranio, con lo que demostraron que las radiaciones pueden identificarse con determinados elementos. En 1903, Rutherford y el químico y físico británico Frederick Soddy demostraron que la emisión de rayos alfa o beta provoca la transmutación del núcleo del elemento emisor en un núcleo de un elemento diferente. Poco después se comprobó que los procesos radiactivos son aleatorios y sólo pueden estudiarse desde un punto de vista estadístico: no existe ningún método para indicar qué núcleo de un átomo de un material radiactivo se desintegrará en un momento dado. Estos avances, además de llevar al modelo atómico de Rutherford y Bohr, también sugerían que los rayos alfa, beta y gamma sólo podían proceder de núcleos de átomos muy pesados. En 1919, Rutherford bombardeó núcleos de nitrógeno con partículas alfa y los convirtió en núcleos de hidrógeno y oxígeno, con lo que logró la primera transmutación artificial de elementos.

Entretanto el conocimiento de la naturaleza y abundancia de los isótopos iba creciendo, debido en gran medida al desarrollo del espectrómetro de masas. Surgió un modelo atómico en el que el núcleo contenía toda la carga positiva y casi toda la masa del átomo. Los portadores de la carga nuclear fueron identificados como protones, pero sólo podía explicarse la masa del núcleo si existían otras partículas adicionales sin carga (salvo en el caso del hidrógeno, cuyo núcleo está formado sólo por un protón). En 1932, el físico británico James Chadwick descubrió el neutrón, una partícula eléctricamente neutra cuya masa es igual a $1,675 \times 10^{-27}$ kg, algo mayor que la del protón. Los núcleos atómicos resultaron pues estar formados por protones y neutrones llamados colectivamente nucleones y el número atómico del elemento corresponde al número de protones del núcleo. Por otra parte, el número másico, también denominado número isotópico, corresponde a la suma del número de protones y neutrones. Por ejemplo, todos los átomos de oxígeno (cuyo número atómico es 8) tienen ocho protones, pero los tres isótopos de oxígeno ^{16}O , ^{17}O y ^{18}O contienen respectivamente ocho, nueve y diez neutrones en su núcleo.

Las cargas eléctricas positivas se repelen, y puesto que los núcleos atómicos (salvo el del hidrógeno) tienen más de un protón, se desintegrarían a no ser por una fuerza atractiva muy intensa, la llamada interacción nuclear fuerte, que mantiene unidos los nucleones. La energía asociada con esta interacción fuerte es muy grande, millones de veces mayor que las energías características de los electrones en sus órbitas, responsables de los enlaces químicos. Por tanto, una partícula alfa (formada por dos neutrones y dos protones) tendría que superar esta intensa interacción fuerte para escapar de un núcleo radiactivo como el del uranio. El fenómeno fue explicado por los físicos estadounidenses Edward Condon, George Gamow y Ronald Wilfred Gurney, que en 1928 aplicaron la mecánica cuántica al problema de la emisión alfa y demostraron que la naturaleza estadística de los procesos nucleares permitía que las partículas alfa salieran de los núcleos radiactivos aunque su energía media fuera insuficiente para superar la interacción nuclear fuerte. La emisión beta se explicó como resultado de la desintegración de un neutrón del núcleo, que se transforma en un electrón (la partícula beta) que se expulsa rápidamente y en un protón residual. El núcleo resultante tiene un protón más que el núcleo original, por lo que su número atómico, y por tanto su posición en la tabla periódica, aumentan en una unidad. Después de una emisión alfa o beta, el núcleo suele tener un exceso de energía, del que se deshace emitiendo un fotón de rayos gamma.

En todos estos procesos se libera una gran cantidad de energía, según la ecuación de Einstein $E = mc^2$. Al finalizar el proceso, la masa total de los productos es menor que la del núcleo original: esta diferencia de masa corresponde a la energía liberada.

Avances de la Física desde 1930

La rápida expansión de la Física en las últimas décadas ha sido posible gracias a los avances fundamentales del primer tercio del siglo XX, junto con los recientes adelantos tecnológicos, sobre todo en tecnología informática, electrónica, aplicaciones de la energía nuclear y aceleradores de partículas de altas energías.

Física nuclear

En 1931 el físico estadounidense Harold Clayton Urey descubrió el isótopo del hidrógeno denominado deuterio y lo empleó para obtener agua pesada. El núcleo de deuterio o deuterón (formado por un protón y un neutrón) constituye un excelente proyectil para inducir reacciones nucleares. Los físicos franceses Irène y Frédéric Joliot–Curie produjeron el primer núcleo radiactivo artificial en 1933–1934, con lo que comenzó la producción de radioisótopos para su empleo en arqueología, biología, medicina, química y otras ciencias.

Fermi y numerosos colaboradores emprendieron una serie de experimentos para producir elementos más pesados que el uranio bombardeando éste con neutrones. Tuvieron éxito, y en la actualidad se han creado artificialmente al menos una docena de estos elementos transuránicos. A medida que continuaba su trabajo se produjo un descubrimiento aún más importante. Irène Joliot–Curie, los físicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann, la Física austriaca Lise Meitner y el físico británico Otto Robert Frisch comprobaron que algunos núcleos de uranio se dividían en dos partes, fenómeno denominado fisión nuclear. La fisión liberaba una cantidad enorme de energía debida a la pérdida de masa, además de algunos neutrones. Estos resultados sugerían la posibilidad de una reacción en cadena automantenida, algo que lograron Fermi y su grupo en 1942, cuando hicieron funcionar el primer reactor nuclear. Los avances tecnológicos fueron rápidos; la primera bomba atómica se fabricó en 1945 como resultado de un ingente programa de investigación dirigido por el físico estadounidense J. Robert Oppenheimer, y el primer reactor nuclear destinado a la producción de electricidad entró en funcionamiento en Gran Bretaña en 1956, con una potencia de 78 megavatios.

La investigación de la fuente de energía de las estrellas llevó a nuevos avances. El físico estadounidense de origen alemán Hans Bethe demostró que las estrellas obtienen su energía de una serie de reacciones nucleares que tienen lugar a temperaturas de millones de grados. En estas reacciones, cuatro núcleos de hidrógeno se convierten en un núcleo de helio, a la vez que liberan dos positrones y cantidades inmensas de energía. Este proceso de fusión nuclear se adoptó con algunas modificaciones en gran medida a partir de ideas desarrolladas por el físico estadounidense de origen húngaro Edward Teller como base de la bomba de fusión, o bomba de hidrógeno. Este arma, que se detonó por primera vez en 1952, era mucho más potente que la bomba de fisión o atómica. En la bomba de hidrógeno, una pequeña bomba de fisión aporta las altas temperaturas necesarias para desencadenar la fusión, también llamada reacción termonuclear.

Gran parte de las investigaciones actuales se dedican a la producción de un dispositivo de fusión controlada, no explosiva, que sería menos radiactivo que un reactor de fisión y proporcionaría una fuente casi ilimitada de energía. En diciembre de 1993 se logró un avance significativo en esa dirección cuando los investigadores de la Universidad de Princeton, en Estados Unidos, usaron el Reactor Experimental de Fusión Tokamak para producir una reacción de fusión controlada que proporcionó durante un breve tiempo una potencia de 5,6 megavatios. Sin embargo el reactor consumió más energía de la que produjo.

Fórmulas usadas en Física

–Velocidad: $V = e / t$

–Tiempo: $T = e / v$

–Aceleración: $A = (V_2 - V_1) / (T_2 - T_1)$

–Volumen:

-Area: $A = a \cdot a$

-Presión: $P = F / S$

-Resistencia electrica: $V = R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$

-Intensidad de corriente: $I = Q / t$

-Energía: Potencial: $E_p = m \cdot g \cdot h$

2

Cinética: $E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2$

2

-Masa: $m = p / g$

-Fuerza: $F = m \cdot a$