

6º tema: El desarrollo científico del siglo XIX 2ª Parte

- El desarrollo de la física
- La astrofísica
- Las nuevas matemáticas
- La tabla de elementos y la química orgánica

2 El desarrollo de la física: introducción

En el siglo XIX se produjeron dos unificaciones entre áreas de la física:

1. Entre la corriente eléctrica y el magnetismo: las cargas en movimiento tienen efectos magnéticos y el movimiento de los imanes produce efectos eléctricos.
 - > De aquí surgió la idea de *campo*, asociado, en un primer momento a la idea de éter (asiento de las vibraciones ondulatorias de la luz).
 - > El campo tendría propiedades eléctricas y magnéticas que explicaban los fenómenos de inducción, las fuerzas electrostáticas y magnetoestáticas en términos de acciones contiguas transmitidas en ese medio.

3

El desarrollo de la física: introducción (2)

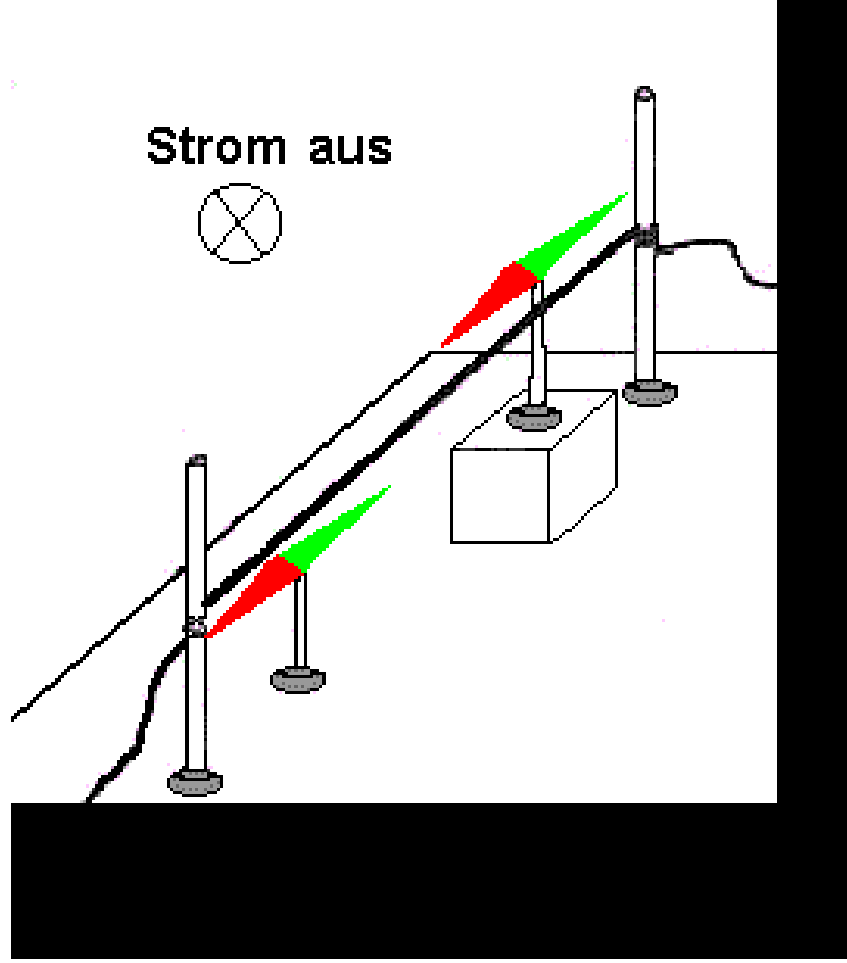
2. La segunda unificación se dio en ámbito de la naturaleza de la luz, cuando J. C. Maxwell identificó las ondas luminosas como ondas electromagnéticas.

También se produjo el desarrollo de la termodinámica:

1. A partir del estudio de los gases, desarrollado dentro del marco de la teoría del calórico.
2. Gracias a los estudios realizados en el ámbito ingenieril sobre máquinas térmicas.
3. La idea de la unidad e interconvertibilidad de las “fuerzas”, que dio lugar al principio de conservación de la energía.

4 El electromagnetismo

- El punto de partida fue el descubrimiento de realizado por H. Ch. Oersted en 1820:
- > Al acercar una aguja magnética a un alambre por el que circulaba corriente encontró que la aguja se desviaba de su alineación Norte-Sur y se ponía en dirección perpendicular al alambre cuando se situaba por encima o por debajo de éste.
 - > La magnitud del efecto dependía inversamente de la distancia y directamente de la intensidad de la corriente,
 - > Y que prácticamente no variaba si se interponían distintos materiales (a menos que fuesen magnéticos)



6

El electromagnetismo (2)

- Cuando se conoció en Francia el hallazgo de Oersted, Biot y Félix Savart determinaron la fuerza que la corriente ejercería sobre uno de los polos magnéticos:
- Esta fuerza sería perpendicular al plano determinado por el eje del alambre y la línea que une al elemento de corriente considerado con el polo magnético, y que variaba inversamente como el cuadrado de la distancia

7

El electromagnetismo (3)

Si una corriente eléctrica tiene efectos magnéticos, y en este sentido se comporta como un imán, ¿dos corrientes también reaccionan y exhiben fuerzas similares?

André-Marie Ampère demostró experimentalmente que dos hilos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de igual sentido se atraen, mientras que si son de sentido opuesto se repelen.

El objetivo de sus investigaciones era la reducción de los fenómenos magnéticos a interacciones entre corrientes eléctricas:

- > Subrayó la equivalencia entre magnetismo y corriente eléctrica.

8

El electromagnetismo (4)

En Inglaterra se llevaban a cabo investigaciones que darían lugar a diferentes respuestas.

En 1821 Faraday demostró (dándole la vuelta a los resultados de Oersted) que un hilo por el que pasaba una corriente eléctrica podía girar de manera continua alrededor de un imán: se pueden obtener efectos mecánicos de una corriente que interactúa con un imán.

Otro efecto que también podría esperarse era el de la **inducción electromagnética**: si una corriente manifestaba propiedades magnéticas, un imán podría inducir una corriente, y también una corriente podría inducir otra en un conductor próximo.

En 1831 descubrió la inducción electromagnética, que une los movimientos mecánicos y el magnetismo con la producción de corriente eléctrica: el magnetismo produce electricidad.

9

El electromagnetismo (5)

William Thomson (en 1892 Lord Kelvin) encontró en 1846 una analogía entre las fuerzas eléctricas, magnéticas y electromagnéticas:

- > Faraday suponía que las acciones se propagaban como esfuerzo a través del medio,
- > Kelvin, basándose en los trabajos sobre dinámica de los medios continuos, estableció que en el equilibrio de un sólido elástico sometido a tensión la fuerza eléctrica era análoga al desplazamiento elástico, mientras que las fuerzas magnéticas y electromagnéticas eran análogas a rotaciones en un elemento de volumen del sólido.
- > Esta analogía apuntaba hacia la elaboración de una teoría mecánica del éter y sus interacciones con la materia, cuyas características explicasen las conexiones entre fenómenos eléctricos, magnéticos y luminosos dentro de una concepción unificada.

10

El electromagnetismo (6)

Una de las figuras más destacadas en el panorama de la física decimonónica fue James C. Maxwell (1831-1879), quien en sólo 48 años de vida desarrolló una intensa vida científica.

- > Sobre la noción de líneas de fuerza que había introducido Faraday
- > y los resultados experimentales que se habían producido a lo largo del siglo

Maxwell desarrolló un conjunto de ecuaciones que rigen el comportamiento del campo electromagnético, que suponía transportaba las fuerzas eléctricas y magnéticas.

11

El electromagnetismo (7)

Lograba unificar la electricidad, el magnetismo y la óptica.

- > Las dos primeras son manifestaciones diferentes de un mismo substrato físico: el electromagnético, que se comporta como una onda.
- > La luz es en sí misma una onda electromagnética: “la luz consta de ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos”.
- > Los éteres óptico y electromagnético se fundían en uno solo.

12

El electromagnetismo (8)

Se llama longitud de onda la distancia entre las dos crestas de una onda.

En el caso de una onda de luz, esta longitud determina el color:

- > a la luz roja corresponde una longitud de onda de ocho diezmilésimas de milímetro,
- > a la luz violeta le corresponde una longitud de cuatro diezmilésimas de milímetro;
- > en el intervalo comprendido entre estas dos longitudes se encuentran todas las gamas de colores del arco iris.
- > El ojo humano sólo puede percibir un intervalo muy pequeño de ondas luminosas.
- > Más allá de la luz violeta se encuentra la llamada luz ultravioleta,
- > luego los rayos X
- > y finalmente los rayos gamma, cada uno con longitudes de onda cada vez más cortas.
- > En el otro lado, con longitudes de onda cada vez mayores que la luz roja, se encuentra la luz infrarroja, las microondas y las ondas de radio.

13

El electromagnetismo (8)

La teoría de Maxwell describía lo que era el campo, pero quedaban por explicar otros fenómenos:

- > La polarización,
- > Los mecanismos de conducción,
- > Las propiedades magnéticas de la materia,
- > Los resultados obtenidos en la óptica.

Hubo notables diferencias en las explicaciones propuestas por los científicos británicos y los alemanes.

14 El electromagnetismo (9)

Para los británicos, las moléculas de materia interaccionaban mecánicamente con el éter, dando como resultado macroscópico los fenómenos electromagnéticos.

Para los físicos alemanes, estos fenómenos surgirían de la interacción de partículas cargadas eléctricamente que constituirían los fluidos eléctricos e incluso de la mismas moléculas de la materia.

La detección de los “átomos de electricidad” vino del estudio de las descargas eléctricas en gases rarificados.

15 El electromagnetismo (10)

En 1858 J. Plücker detectó los “rayos catódicos”, rayos que, emanando del cátodo, producían en el vidrio de un tubo una luz verde que se desviaba bajo la acción de un imán.

Se interpretaron de dos maneras:

1. Como un chorro de partículas (que defendió en Gran Bretaña W. Crookes): un torrente de moléculas del gas rarificado en el tubo cargadas negativamente, que producían luz al chocar con otras moléculas o con el vidrio.
2. Como perturbaciones en el éter (defendida en Alemania por Hertz): ondas longitudinales en el éter.

16

El electromagnetismo (11)

- H. A. Lorentz en 1887 consideró que
 - > en el interior de cada molécula hay partículas cargadas,
 - > que la polarización consistía en la separación de estas partículas bajo la acción del campo eléctrico (separación que era resistida por la fuerza elástica de la molécula)
 - > También consideró que se podía separar el éter de la materia,
 - > Que la materia tenía partículas cargadas y la interacción de las mismas era de carácter electromagnético.

17

La termodinámica y la física estadística

En el siglo XIX se produjo también la unión de otras dos áreas: la mecánica y la teoría del calor

Hasta entonces todavía se creía que el calor era una sustancia material e invisible: el *calórico*, que se transfería de un cuerpo a otro.

El calórico no podía crearse ni destruirse.

Esta teoría se abandonó cuando se mostró que el calórico de hecho no se conserva.

Sir Humphry Davy realizó un experimento frotando dos bloques de hielo a temperatura ambiente bajo 0° , comprobando que los bloques se fundían.

Se comprobaba que los efectos de realizar trabajo mecánico sobre un sistema y los de agregar calor directamente, como una llama, son equivalentes:

El calor, como el trabajo, son dos fuentes de energía.

18 La termodinámica y la física estadística (2)

La termodinámica fue un logro de la segunda mitad del siglo XIX.

Las líneas que desembocaron en esta disciplina son:

1. El estudio de los gases
2. El ciclo de Carnot

19

La termodinámica y la física estadística (3)

El estudio de los gases

En 1800 John Dalton y Joseph-Louis Gay-Lussac descubrieron independientemente que, a la misma presión, los gases se expanden igualmente por el calor (cuando están sometidos al mismo incremento de la temperatura)

Difirieron con respecto a la tasa de expansión:

- > Dalton supuso que el coeficiente de expansión aumentaba con la temperatura.
- > Gay-Lussac lo supuso constante. (Confirmándose poco después).

20

La termodinámica y la física estadística (3)

En los gases se patentizaban las leyes básicas que regían el comportamiento térmico.

Esta idea se vio reforzada cuando Gay-Lussac encontró que al combinarse químicamente dos gases para formar un compuesto, los volúmenes de los reactivos y del producto guardaban entre sí una proporción numérica simple.

El ciclo de Carnot

Sadi Carnot publicó en 1824 una obra en la que señalaba que:

- > Todas las máquinas accionadas mecánicamente podían ser analizadas con todo detalle, mientras que
- > Esto no era posible con las máquinas de vapor.

Era preciso formular una teoría general de las máquinas térmicas.

Partió de una analogía con las máquinas hidráulicas.

22

La termodinámica y la física estadística (6)

- > En una máquina hidráulica la caída de agua movía una rueda de paletas,
- > En el caso de una máquina térmica, supuso que el calórico “caería” entre dos focos a diferentes temperaturas.
- > La máxima eficiencia en una máquina hidráulica se consigue cuando el agua entra sin impactar con ella y surgía sin velocidad.
- > La máxima eficiencia en una máquina térmica se conseguiría cuando el calor no fluyese innecesariamente entre el foco caliente y el frío. Esto implicaba que:
 - > Era preciso prevenir cualquier contacto entre ellos y,
 - > que bastaba con que tuviesen una diferencia de temperatura infinitesimal para que el calor fluyese entre ambos.

23

La termodinámica y la física estadística (7)

Estas condiciones eran ideales (no aplicables en la práctica).

El foco caliente representaba la caldera,

El foco frío, el condensador,

Y la potencia motriz producida por la sustancia de trabajo (el agua y el vapor en el caso de las máquinas de vapor) era independiente de la naturaleza de dicha sustancia, dependía sólo del transporte de calórico.

Esto se conoce hoy como el principio de Carnot.

24

La termodinámica y la física estadística (8)

Una consecuencia que Carnot extrajo de su estudio fue que la diferencia entre los calores específicos a presión y volumen constante era la misma para todos los gases en idénticas condiciones termodinámica (presión, volumen y temperatura).

El estudio de Carnot se basaba en la ingeniería y en la teoría del calórico (ya que suponía su conservación).

Más tarde dudó de la conservación del calórico, llegando a pensar que lo que se conservaba era el poder motriz, que cambia de forma.

Formulaba así un principio de conservación de la energía que se establecería a mediados de siglo.

25

La termodinámica y la física estadística (8)

Los principios de la termodinámica

La conservación de la energía

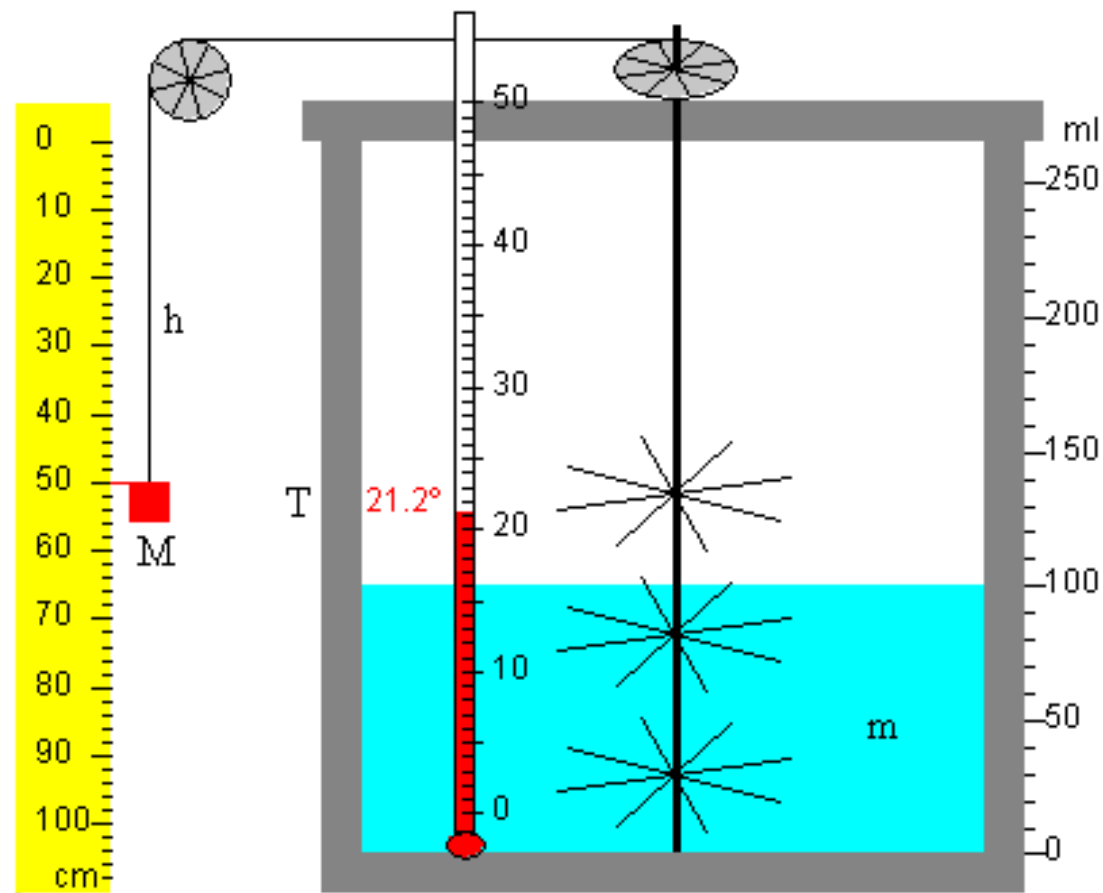
James Prescott Joule publicó en 1843 un trabajo en el que mostraba que en las máquinas eléctricas el trabajo mecánico se convertía en calor. Además determinaba experimentalmente el valor de su equivalencia.

Un recipiente aislado térmicamente contiene una cierta cantidad de agua, con un termómetro para medir su temperatura, un eje con unas paletas que se ponen en movimiento por la acción de una pesa, tal como se muestra en la figura.

26

Historia de la ciencia

Ana Cuevas 07-08



27

La termodinámica y la física estadística (9)

En 1847 Hermann von Helmholtz presentó el **principio de conservación de la energía** en términos matemáticos.

- > Partió de la imposibilidad del movimiento perpetuo,
- > Y lo formuló en términos mecánicos:

“La cantidad de trabajo obtenida cuando un sistema de cuerpos cambia de posición bajo la acción de fuerzas centrales es la misma que se necesitaría para restaurar al sistema a su estado original, independientemente del cambio seguido entre ambos estados”.

Enunció este principio como un principio de conservación de la “fuerza”.

28 La termodinámica y la física estadística (10)

Generalizó el principio a otros campos: calor, electricidad, magnetismo y electromagnetismo, química y fisiología.

Esto suponía la reducción de todos ellos a la mecánica.

- > El calor se interpretaría en términos de las fuerzas vivas del movimiento de los átomos.
- > La reducción de la electricidad y del magnetismo se seguía del carácter central de las fuerzas entre cargas o imanes.
- > El calor de las reacciones químicas podía asimilarse a una fuerza viva generada por las fuerzas de tensión en los cambios producidos desde los estados inicial y final de la reacción química.
- > En fisiología igualó el calor y el trabajo generados por el organismo a fuerzas de tensión químicas procedentes de la nutrición.

29 La termodinámica y la física estadística (11)

Lord Kelvin formuló en 1848 una escala “absoluta” de temperaturas basándose en los resultados de Carnot.

En 1849 publicaba un artículo en el que mostraba sus dudas con respecto a que el calor pudiese convertirse en trabajo.

El físico Rudolf Clausius mostró que en el caso ideal de la máxima producción de trabajo, ésta depende en exclusiva de la diferencia de temperatura entre los focos, y no de la sustancia de trabajo.

(Se suele considerar como la primera formulación del segundo principio de la termodinámica).

30 La termodinámica y la física estadística (11)

Lord Kelvin en 1852 publicó un importante trabajo titulado “On a Univesal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy”.

En el mostraba que en la naturaleza, aunque se siga cumpliendo la conservación de la energía, existe una disipación de esta que no se puede restaurar.

De este modo, el Universo está abocado a una muerte térmica cuando se degradase toda su energía.

31

La termodinámica y la física estadística (12)

En 1862 Clausius introdujo el concepto de *disgregación de un cuerpo*, para representar el grado de dispersión de sus partículas.

El calor tiende a debilitar las conexiones entre estas partículas, lo redefinió como una tendencia a la disgregación, gracias a la cual el calor realiza el trabajo.

En 1865 definió la entropía como la suma de dos integrales:

$\int dH/T$, que depende sólo de la temperatura, y representa el aumento del calor interno, y

$\int dZ$, que representa la disgregación y depende de la disposición de las partículas del cuerpo y es responsable del trabajo interno y externo.

32 La termodinámica y la física estadística (13)

Siguiendo a Kelvin aplicó ambos principios de la termodinámica al Universo,

El primero diría que “la energía del universo es constante”

El segundo que “la entropía del Universo tiende a un máximo”

La física estadística

Su propósito es la descripción de propiedades macroscópicas de sistemas formados por un número muy grande de átomos.

Surgió a partir de la teoría cinética de los gases con la intención de proporcionar una interpretación microscópica, molecular o atómica de las leyes de la termodinámica.

Objetivos:

1. Encontrar expresiones para magnitudes macroscópicas tales como presión, temperatura, energía interna o entropía en términos de propiedades microscópicas.
2. Deducir ecuaciones de estado para materiales específicos.
3. Determinar magnitudes termodinámicas que se miden experimentalmente en función de constantes microscópicas fundamentales.

34

La termodinámica y la física estadística (15)

El atomismo irrumpió en la física del XIX unido al reduccionismo mecanicista y a la teoría cinética de los gases.

Más tarde se sumaron las teorías del electrón.

La primera teoría cinética de los gases fue propuesta por Daniel Bernoulli en su *Hydrodinamica* (1738).

Se opuso al modelo newtoniano que suponía que las partículas de gas estaban en reposo o interactuando entre sí mediante fuerzas a distancia.

Propuso un modelo de corte cartesiano, y supuso que las partículas se hallan en movimiento, todas con la misma velocidad, sin fuerzas que interactuasen entre ellas.

La teoría de Bernoulli no tuvo repercusión hasta un siglo después.

35

La termodinámica y la física estadística (16)

Clausius en un artículo de 1857 abordó la teoría cinética y la naturaleza de los movimientos de las partículas últimas de los cuerpos.

Supuso que los movimientos no eran sólo traslacionales, sino también rotatorios y rotacionales (ya que las moléculas podían contener más de un átomo).

- > La presión dependería del movimiento traslacional.
- > La temperatura sería proporcional a la energía cinética de este movimiento.
- > Los otros movimientos darían cuenta de los calores específicos.
- > Los calores latentes que intervenían en los cambios de estado se explicarían por la energía que habría que aportar para vencer las fuerzas entre moléculas.

36

La termodinámica y la física estadística (17)

- > En los sólidos, las moléculas vibrarían en torno a posiciones de equilibrio.
- > En los líquidos las moléculas se hallarían más libres y no poseerían condiciones de equilibrio, teniendo un movimiento traslacional, aunque las fuerzas atractivas serían suficientemente intensas para evitar la separación.
- > En los gases esta separación sería completa.

En su modelo, Clausius optó por asignar a todas las moléculas su velocidad media: todas ellas tendían a adoptar esta velocidad con el transcurso del tiempo y repetidos choques.

37

La termodinámica y la física estadística (18)

- > La teoría se puede denominar estadística a partir de Maxwell, que en 1860 supuso que
 1. Las moléculas (que consideró perfectamente elásticas) exhibirían una *distribución* de velocidades, correspondiendo cada uno de los valores de la velocidad a una cierta probabilidad.
 2. En este trabajo también propuso el “teorema de equipartición”: la energía cinética de un sistema de partículas que colisinan entre sí debe repartirse igualmente entre todas sus partes, en promedio.

En su trabajo de 1867 “On the Dynamical Theory of Gases”

- > consideró las moléculas como centros de fuerza
- > E introdujo entre ellas fuerzas repulsivas inversamente proporcionales a la quinta potencia de la distancia

38

La termodinámica y la física estadística (19)

- A finales de 1867 Maxwell sugirió que la validez del segundo principio de la termodinámica era sólo estadística.
- La interpretación estadística del segundo principio llevó a que se plantease la “paradoja de la irreversibilidad” :
- > El segundo principio no podía ser probado mecánicamente: el crecimiento o decrecimiento de entropía dependería de las condiciones iniciales.

39 Astrofísica

Hasta este siglo, la ciencia de los astros celestes sólo podía estudiar los movimientos de los mismos.

En el siglo XIX se produjo el desarrollo de la espectroscopia, que posibilitó el estudio de la composición de estos cuerpos.

El desarrollo proviene de 1752, cuando Thomas Melvill mostró que al calentar los cuerpos sólidos y líquidos éstos emiten radiaciones cuando alcanzan una temperatura suficientemente alta.

Melvill realizó la primera observación de un espectro de emisión cuando hizo pasar por un prisma la luz emitida por una llama producida por sodio y observó un espectro continuo surcado por una serie de líneas brillantes.

40

Astrofísica (2)

En 1802 W. H. Wollaston advirtió que en el espectro de la luz que procede del Sol aparecían unas líneas oscuras .

Unos años más tarde, J. von Fraunhofer descubrió cerca de seiscientas rayas oscuras en el espectro de la luz que procede del Sol. Además, determinó la posición de trescientas veinticuatro de esas rayas.

La explicación sobre esos fenómenos tuvo que esperar algún tiempo, y vino de la mano de G. R. Kirchhoff y de R. W. Bunsen.

41

Astrofísica (3)

Bunsen estaba investigando la posibilidad de analizar sales basándose en los colores que éstas daban al arder.

Para ello empleaba un instrumento desarrollado por él denominado “mechero de Bunsen”.

Kirchhoff sugirió a Bunsen que un método muy preciso para analizar la composición de sustancias era a través del espectro que producían éstas al ser quemadas.

Empleando este método comenzaron a descubrirse sustancias que hasta ese momento no habían sido identificadas.

42

Astrofísica (4)

- En 1859 Kirchhoff realizó la siguiente observación:
- > Se sabía que las denominadas líneas D (oscuras), observadas en el espectro solar por Fraunhofer en 1814 coincidían con las líneas amarillas detectadas en las llamas que contenían sodio.
 - > Este efecto se podía observar haciendo que la luz del Sol llegase a un espectroscopio tras atravesar una llama de sodio.
 - > Si se debilitaba suficientemente la luz solar, las líneas oscuras eran sustituidas por las líneas brillantes que provenían de la llama.
 - > Kirchhoff advirtió que si la intensidad del espectro solar aumentaba por encima de un cierto límite, las líneas D se hacían todavía más oscuras al interponer la llama de sodio.

43

Astrofísica (5)

- La explicación que se le ocurrió y que pronto fue confirmada por los experimentos fue la siguiente:
- > Una sustancia capaz de emitir una cierta línea espectral posee una gran capacidad de absorber la misma línea.
 - > Por eso las líneas D –características del sodio- se hacían más oscuras cuando se interponía una llama también de sodio.
 - > Las líneas D en el espectro de una luz intensa – que no las mostraba inicialmente- podían ser producidas artificialmente por la interposición de una llama de sodio a baja temperatura.
 - > Luego, las líneas D oscuras que aparecían en el espectro solar tenían que ser debidas a que en la atmósfera del Sol existía sodio que originaba las mencionadas rayas espectrales.

44

Astrofísica (6)

- > El Sol tiene una atmósfera gaseosa, candente, que envuelve n núcleo cuya temperatura es todavía más elevada.
- > Si pudiésemos observar el espectro de esta atmósfera, notaríamos en él rayas brillantes características de los metales contenidos en ese medio,
- > Por ellas podríamos determinar la naturaleza de estos metales.
- > Pero la luz intensa emitida por el núcleo solar no permite que el espectro de la atmósfera se produzca directamente.

45 Astrofísica (7)

- > Actúa sobre él invirtiéndolo: sus rayas brillantes aparecen oscuras.
- > No vemos el espectro de la atmósfera solar, sino su imagen negativa.
- > Pero ello no impide que determinemos con igual exactitud la naturaleza de los metales contenidos en la atmósfera:
 - > Sólo hace falta tener conocimiento del espectro solar
 - > Y de los producidos por cada uno de los diferentes metales.
- > Podemos estudiar la composición de los cuerpos celestes tan sólo con analizar la luz que recibimos de ellos.

Nacía así la astrofísica.

46

Las nuevas matemáticas

Progreso incremental

En el siglo XIX se consolidó el cálculo diferencial e infinitesimal .

- > Destacan los trabajos de A. Cauchy, que elaboró una noción rigurosa de “lo infinitamente pequeño” o de “límite”.
- > Introduce la noción de *derivada*.

También se produjeron interrelaciones interesantes entre la matemática y la física.

- > J. Fourier realizó un análisis matemático de la difusión del calor.
 - > En *Teoría analítica del calor* de 1822 estudió el problema de la producción de calor bajo varias condiciones de contorno.
 - > Para ello utilizó series trigonométricas e integrales que han sido bautizadas como “series” o “integrales de Fourier”.

Progreso revolucionario

(1) Teoría de grupos

E. Galois se dio cuenta de que el problema de desarrollar una teoría general de las ecuaciones algebraicas:

- está regido en cada caso particular por un cierto grupo de sustituciones,
- en el cual se reflejan las propiedades más importantes de la ecuación algebraica considerada.

Galois es el primer matemático que profundizó en las relaciones que existen entre la idea de grupo y la de invariante.

48

Las nuevas matemáticas (3)

En 1872 F. Klein pronunció la conferencia
“Consideraciones comparativas sobre las
investigaciones geométricas modernas”

Su contenido y tesis son conocidas como “El
programa de Erlangen”.

El estudio de la geometría se reducía al de todos
los grupos de transformaciones imaginables (que
es infinito).

“Dado un conjunto de cualquier número de
dimensiones y un grupo de transformaciones
entre sus elementos, **se llama geometría** al
estudios de las propiedades de aquel conjunto
que son invariantes respecto de las
transformaciones de este grupo.”

49

Las nuevas matemáticas (4)

(2) *Geometrías no euclidianas*

La geometría que Euclides había expuesto en sus *Elementos* era la de los espacios bidimensionales o tridimensionales planos.

Contenía un postulado, el quinto, que afirmaba que “por un punto exterior a una recta sólo puede pasar una paralela a ésta”. (Ver 3ª parte del segundo tema)

Durante los siglos que siguieron a la publicación de la obra se intentó demostrar que ese postulado podía deducirse de los otros axiomas (y que, por lo tanto, era superfluo).

50 Las nuevas matemáticas (5)

Nasîr-al-Din (1201-1274) es el primer matemático medieval que pretende seriamente haber demostrado el postulado (aunque su demostración es incorrecta).

Girolamo Saccheri (1667-1733) abordó el problema negando el postulado, para llegar a una contradicción.

- > La conclusión a la que llega es asombrosa: si el postulado se supone falso, los ángulos de un triángulo no sumarán 180° ; o sumarán más, o sumarán menos.
- > En lugar de desarrollar estas posibilidades, Saccheri decide construir una geometría que prescinda de este postulado.

51

Las nuevas matemáticas (5)

En el primer tercio del siglo XIX, y casi simultáneamente, cuatro matemáticos deciden dar el paso decisivo.

Fueron:

János Bolyai (1802-1860), húngaro y oficial de ingenieros.

Nicolas Lobachevsky (1792-1856), ruso y rector de la universidad de Kazan.

Karl Friedrich Gauss (1777-1855), alemán y el matemático más notable del siglo XIX.

Bernhard Riemann (1826- 1866).

52 Las nuevas matemáticas (6)

Bolyai supuso que por un punto x exterior a una recta A pasa *más* de una paralela y que los ángulos de un triángulo suman *menos* de 180° .

Supuso que existen *dos* rectas paralelas que pasan por el punto x , y que todo ángulo de rectas comprendido entre ambas está constituido por infinitas rectas, que tampoco cortan a A . Son llamadas *ultraparalelas*.

53

Las nuevas matemáticas (7)

Lobachevsky elaboró independientemente una geometría no euclidea idéntica a la de Bolyai.

En su obra se expresa por primera vez una duda revolucionaria: *Quizá el espacio en el que vivimos no es euclideo y la suma de los ángulos de un triángulo mide menos de 180° .*

Por su parte, Gauss daba a conocer a un compañero en 1829 una geometría no euclidea idéntica a la de Lobachevsky.

54 Las nuevas matemáticas (8)

Riemann descubrió casi por azar la otra geometría posible, aquella en la que no existen las paralelas y los ángulos suman más de 180° . Además, el área S del triángulo mide:

$$S = [(\Sigma/180) - 1] \pi$$

La presentó en una disertación ante el claustro de profesores de Gotinga con el título *Sobre las hipótesis que sirven de fundamento a la Geometría*.

Introducía en un mismo esquema las tres geometrías posibles:

55 Las nuevas matemáticas (9)

1. La de Euclides,
 - > en la que sólo hay una paralela,
 - > y los ángulos de un triángulo miden 180°
2. La de Gauss-Lobachevsky-Bolyai
 - > en la que hay más de una paralela
 - > y los ángulos suman menos de 180°
3. La suya (y desarrollada independientemente por Schläfli)
 - > en la que no existen las paralelas
 - > y los ángulos suman más de 180°

56 Las nuevas matemáticas (10)

Felix Klein encontró unos pocos años después un modelo real en el que se verificaba la geometría de Riemann (también llamada geometría elíptica): **la esfera**

- > En ella, las rectas son los meridianos o círculos máximos.
- > No existen paralelas,
- > Y se verifican casi todos los restantes axiomas de Euclides.

Si se hallase alguna contradicción en la geometría de Riemann,

- > también sería contradictoria la geometría de Euclides, ya que todo teorema referido a las “rectas” en una geometría no euclidea es un teorema referente a los círculos máximos de una esfera en la geometría de Euclides.

57

Las nuevas matemáticas (11)

Para la geometría hiperbólica (geometría de Lobachevsky, Gauss y Bolyai) Beltrami en 1868 apuntó un modelo: la pseudoesfera.

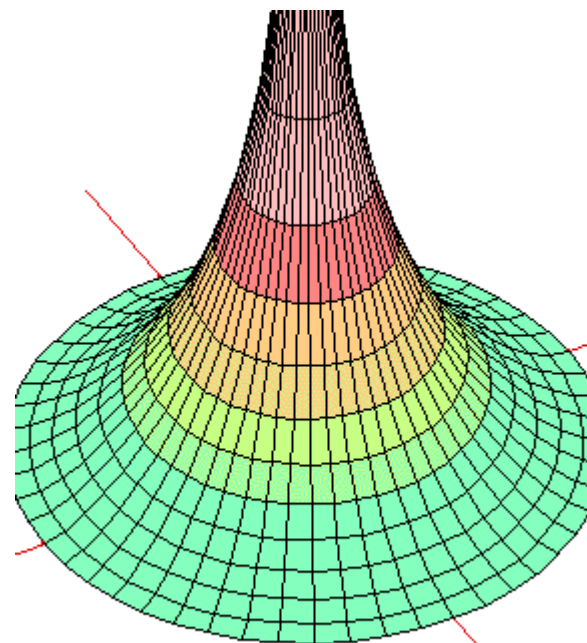
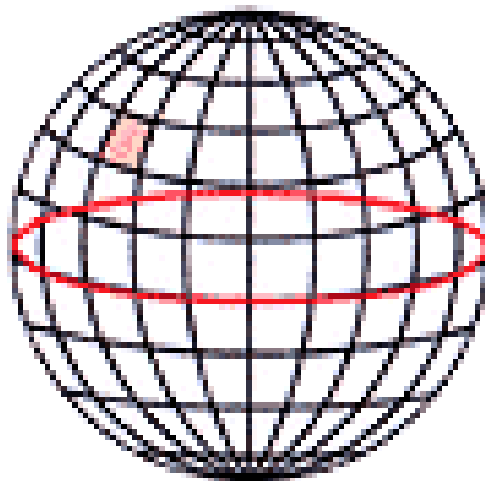
- > En ella las “rectas” son curvas geodésicas.
- > Sobre esa superficie, por todo punto pasan dos paralelas a una “recta” cualquiera y,
- > Se verifican todos los axiomas de Euclides salvo el último.

Como en el caso de la esfera, la pseudoesfera es un modelo euclideo en el que se verifican los postulados de la geometría no euclidea. La incompatibilidad en la pseudoesfera acarrearía inmediatamente una incompatibilidad en la geometría de Euclides.

58 Las nuevas matemáticas (12)

Historia de la ciencia

Ana Cuevas 07-08



The top half of a pseudo-sphere

59

Las nuevas matemáticas (13)

David Hilbert puso el broche final al construir un sistema de axiomas **independientes**, **compatibles** y **completos** sobre los que edificar las geometrías.

1. Si se niega el axioma de las paralelas, no se incurre en contradicción: es un axioma independiente.
2. Si se acepta, se obtiene la geometría de Euclides.
3. Si se rechaza, se obtienen otras geometrías.
4. Si se acepta como axioma la existencia de más de una paralela, no es necesario modificar ninguno de los demás axiomas. Un desarrollo de tal geometría nos proporcionará el modelo Gauss-Lobachevsky-Bolyai.
5. Si aceptamos como axioma la no existencia de paralelas, entonces es preciso rechazar los otros axiomas geométricos que resultan incompatibles con la hipótesis de las paralelas.

El infinito matemático

Georg Cantor a finales del siglo XIX se dio cuenta de que hay *muchos* infinitos.

Sentaba así las bases de la teoría de los conjuntos y de los números transfinitos.

Si se cuentan los elementos de dos conjuntos, poniéndolos en correspondencia uno a uno, sin repetición u omisión, se puede demostrar que:

- > Existe la misma cantidad de número pares o impares,
- > Que hay tantos puntos en un plano como en una recta.

61

Las nuevas matemáticas (15)

Descubre que existen diferentes tipos de infinitos.

Aquellos conjuntos de números que puedan ponerse en correspondencia uno a uno con los números naturales, se considerará que es numerable y tienen la misma cardinalidad que el conjunto de los naturales (\aleph_0)

Los números reales no se pueden poner en esta correspondencia. Ello se debe a que hay más números reales que enteros o naturales. La cardinalidad de este conjunto será c .

62 La química del XIX

En el siglo XIX la química se enfrenta a nuevos problemas.

- > La distinción entre átomos y moléculas
- > La sistematización de la química orgánica, la química de los compuestos del carbono.

A mediados del siglo se aceptará la hipótesis de Avogadro, que resuelve definitivamente la cuestión de los pesos moleculares.

Gracias a la pila de Volta era posible descomponer el agua en dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno, un fenómeno que se denominaría “electrólisis”.

Se explotaron técnicas electroquímicas para investigar cuales eran los elementos químicos básicos, aumentándose el número de elementos conocidos de forma sustancial.

63

La química del XIX (2)

Entre 1801 y 1828 se asilaron: el cerio, el selenio, el silicio, el circonio, el torio, el sodio, el potasio, el estroncio, el boro, el calcio, el magnesio, el cloro, el yodo y el bromo.

Se amplía notablemente el conocimiento empírico de las clases de compuestos orgánicos.

Se introduce la teoría de la valencia, que abre un fructífero periodo para la química orgánica con la exploración de las estructuras moleculares.

La química inorgánica encontrará una sistematización crucial con la introducción del sistema periódico de los elementos.

64 La química del XIX (3)

La teoría atómica y las leyes de combinación química

Además del descubrimiento de nuevos elementos químicos era preciso responder a otras dos preguntas:

1. ¿Cómo se combinan los elementos formando compuestos
2. ¿Qué se quiere decir realmente cuando se habla de elementos?

El químico francés Joseph-Louis Proust fue el principal responsable de la formulación de la “ley de las proporciones definidas” que responde en parte a la primera pregunta:

“las relaciones entre masas según las cuales dos o más elementos se combinan son fijas y no susceptibles de variación continua”.

65 La química del XIX (4)

John Dalton sugirió una respuesta para la segunda cuando propuso un atomismo químico en el que los componentes últimos de las sustancias no eran sólo las tradicionales unidades de composición de éstas, sino unidades de combinación.

En 1803 comenzó a elaborar tablas de pesos atómicos, tomando como unidad el peso de un átomo de hidrógeno (el elemento más ligero)

Se basó en las leyes ponderables que se habían formulado anteriormente.

Formuló él mismo otra ley ponderal, la de “las proporciones múltiples”:

- > si de la combinación de dos elementos pueden surgir varios compuestos, se cumple que, mientras que el peso de uno permanece constante, los pesos del otro varían según una relación numérica simple.

66 La química del XIX (5)

Le faltaba por conocer el número de átomos de cada sustancia que entran en la composición de la molécula.

No teniendo forma de solventar este problema optó por la solución de aplicar una regla de simplicidad: la combinación de elementos debería suponerse del tipo más sencillo posible:

- > Si dos elementos A y B formaban un único compuesto, entonces suponía que se unían un átomo de cada elemento (AB).
- > Si formaban dos, el más común estaría formado por un átomo de cada elemento, y el otro por dos átomos de uno de los elementos unidos a un átomo del otro (AB y AB₂).

67

La química del XIX (6)

En 1811 Amadeo Avogadro propuso que iguales volúmenes de distintos gases en las mismas condiciones de presión y temperatura tenían el mismo número de moléculas o un múltiplo entero de éste.

Las moléculas podían dividirse, estando constituidas por moléculas elementales (lo que posteriormente se nombraría como átomos).

La ausencia de distinción entre átomos y moléculas supuso un problema en la elaboración de las tablas de pesos atómicos.

La química orgánica

Los compuestos orgánicos habían sido objeto del análisis químico por destilación.

A principios del siglo XIX todavía se creía que los compuestos orgánicos no podían ser sintetizados en el laboratorio, sino sólo dentro de los reinos animal y vegetal, gracias a la acción de la fuerza vital que se creía que los animaba.

Por ello, ocupaban un lugar intermedio entre la química y la fisiología.

69 La química del XIX (8)

- > En 1828 Friedrich Wöhler sintetizó la urea, un producto orgánico componente de la orina.
- > Este acontecimiento se suele considerar como el hito que señala el nacimiento de la química orgánica y la muerte del vitalismo en fisiología.
- > Sin embargo, esta síntesis todavía era indirecta, e.d., conseguida a partir de compuestos de procedencia orgánica.
- > En 1844 A. W. H. Kolbe sí consiguió una síntesis directa del ácido acético.

70 La química del XIX (9)

- Uno de los principales desarrollos en la química orgánica se produjo en la teoría de los radicales.
- > Los radiales orgánicos se consideraron partes estables de las sustancias que retenían su identidad a través de las reacciones químicas en las que intervenían para formar compuestos de orden superior.
 - > A finales de la década de 1830 se desarrolló el método de la combustión que facilitó la búsqueda de radicales.
 - > Dumas proclamó que existían tipos de radicales y propuso una clasificación.

En 1852 E. Frankland formuló la idea de que los átomos de los elementos tenían unas capacidades definidas de combinación.

- > Denominó a esta capacidad “atomicidad”; más tarde sería llamada “valencia”

En 1858 F. A. Kekulé hizo dos contribuciones importantes:

- > Propuso la tetravalencia del átomo de carbono (la unidad de valencia era la capacidad de combinación con un átomo de hidrógeno).
- > Y la capacidad de dos átomos de carbono para combinarse entre sí.

La química orgánica pasaba a caracterizarse como la química de los compuestos del carbono.

72 La química del XIX (11)

La valencia y la idea de que los átomos de carbono se enlazaban entre sí formando una cadena dio paso a la química estructural.

- > Scott Couper fue el primero en representar los **enlaces** entre los átomos mediante una **línea**.
- > Aleksandr Butlerov fue el primero en proponer que la **disposición** de los átomos en la molécula era la causa de sus propiedades.

El siguiente paso fue la conversión de la química estructural en **estereoquímica**: la extensión del estudio de la estructura a las tres dimensiones del espacio.

73 La química del XIX (12)

La clasificación de los elementos: la tabla periódica

El acuerdo alcanzado sobre los pesos atómicos compatibles con el número de Avogadro permitió abordar la clasificación periódica de los elementos.

Entre los años 1863 y 1864 John Newlands mostró que:

- > Al ordenar los elementos en función de sus pesos atómicos de menos a mayor, cada octavo elemento tenía propiedades similares al primer elemento del grupo,
- > de modo que en la ordenación cada siete elementos separaban a otros de comportamiento similar.

Aparecía por primera vez el concepto de una periodicidad en la sucesión de pesos atómicos crecientes.

74 La química del XIX (13)

Dimitri Ivanovich Mendeleev buscó una manera de presentar los elementos y sus compuestos.

Halló que, poniéndolos en orden creciente de pesos atómicos, su valencia los caracterizaba en grupos que poseían propiedades físicas y químicas similares.

Esto le llevó a dejar espacios vacíos en la tabla que corresponderían a elementos todavía no conocidos, pero cuyas propiedades, dado su lugar en ella, podían ser predichas.

- > Este sistema le permitió corregir el peso atómico de algunos elementos (indio, berilio, y uranio).
- > Predijo con gran acierto la existencia y propiedades de nuevos elementos a partir de los espacios vacíos en ella.
- > En otros casos sus predicciones fallaron a causa del incipiente estado de conocimientos de la época.

75 La química del XIX (14)

Se produjeron dos adiciones importantes a la tabla de los elementos:

- > La de las tierras raras.
- > La de los gases inertes o nobles.
- 1. El problema de las primeras es que poseen propiedades físicas y químicas muy similares, lo que dificultaba su caracterización.
 - > Si se incorporaban a las series era preciso dejar muchos huecos libres.
 - > A partir del siglo XX se optó por agruparlas fuera de la tabla principal.
- 2. A lo largo del siglo se fueron descubriendo todos ellos.

76 La química del XIX (15)

La fisicoquímica

La configuración de la disciplina que estudia los fenómenos comunes a la física y la química se daría en la segunda mitad del siglo XIX, de la mano de tres investigadores destacados: W. Ostwald, Van't Hoff y Svante Arrhenius.

Los campos de indagación fueron:

1. La termodinámica química,
2. La aplicación de la nueva disciplina del calor a las reacciones químicas,
3. El estudio de las soluciones, vinculado a la electrólisis.

77

Los rayos X y la radiactividad

El descubrimiento de los rayos X se puede considerar como un descubrimiento accidental.

Julius Plücker en 1858-1859 estudiaba los problemas asociados a las descargas eléctricas que se producen en tubos de vidrio en los que se había hecho el vacío y en cuyo interior se colocaban,

- > un determinado gas,
- > dos electrodos (ánodo y cátodo), unidos a una batería.

Según se iba extrayendo el gas del tubo, la luminosidad que lo llenaba en un principio (y que estaba producida por la diferencia de potencial existente entre los dos electrodos) disminuía progresivamente hasta que el cátodo aparecía rodeado por una delgada “envoltura” luminosa, de color variable (dependiendo del gas que se utilizase), y separada del cátodo por un espacio oscuro.

78

Los rayos X y la radiactividad (2)

Cuando la presión del gas llegaba a una millonésima de atmósfera, el espacio oscuro invadía todo el tubo.

Sólo se observaba un pequeño círculo de luz violácea en el extremo del cátodo.

A la vez, el vidrio adquiría una intensa fosforescencia en la parte opuesta.

Cuando este fenómeno fue atribuido a la existencia dentro del tubo de radiaciones especiales emanadas directamente del cátodo recibió el nombre de *rayos catódicos*.

79

Los rayos X y la radiactividad (3)

Wilhemm Conrad Röntgen investigando en el área de los rayos catódicos encontró en 1895 una nueva radiación, los “rayos X”, ya que ignoraba su naturaleza.

Se trataba de una radiación tan penetrante que podía atravesar diversos tipos de sustancias, entre ellas las partes blandas del cuerpo humano.

La mayor parte de los físicos creyeron que eran algún tipo de radiación electromagnética.

No fue hasta 1912 con la introducción de las técnicas de difracción de rayos X que quedó claro que se trataba de ondas.

La noticia del descubrimiento de los rayos X circuló con rapidez por toda Europa.

Un científico francés, Antoine Henri Becquerel se dedicó a comprobar si los cuerpos fluorescentes (aquellos que emiten radiación cuando se les ilumina y que continúan radiando incluso después de desaparecer la fuente exterior energética) generaban rayos X.

Los primeros resultados fueron negativos.

Trabajó con sales de uranio cuya fluorescencia se había estudiado anteriormente.

Cuatro meses después del descubrimiento de los rayos X, Becquerel presentaba en una comunicación que “los rayos emitidos por sal de uranio expuesta a la luz solar impresionan –a través de una espesa envoltura de papel- una placa fotográfica.

81

Los rayos X y la radiactividad (5)

Pocos días después se recibía otra comunicación de Becquerel con resultados mucho más sorprendentes.

“El día 26 de febrero se había visto obligado a interrumpir sus experiencias con las sales de uranio debido a que estaba nublado y no salió el Sol. Como tenía la placa fotográfica protegida con una envoltura y la sal de uranio preparada, la guardó en un cajón, esperando a que al día siguiente saliese el Sol y exponerla. El tiempo no cambió en unos días y el 1 de marzo Becquerel optó por revelar la placa fotográfica, esperando encontrar imágenes débiles. Lo sorprendente es que encontró siluetas muy fuertes. Sin la intervención de la luz solar, sin ninguna fluorescencia visible, el compuesto de uranio había emitido una radiación capaz de impresionar la placa.”

Pocos días después encontró que, además de oscurecer placas fotográficas, la nueva radiación ionizaba los gases, haciéndolos conductores.

Con la ayuda del electrómetro de cuarzo piezoeléctrico desarrollado unos años antes por su marido, Marie Curie descubrió que el torio ejercía sobre una placa fotográfica el mismo efecto que el uranio.

También descubrió que la intensidad de radiactividad de los compuestos de uranio y torio era proporcional a la cantidad de estos elementos e independiente del tipo de composición química.

El 18 de julio de 1898 anunciaba junto con su marido el descubrimiento del polonio, el 11 de diciembre del radio.

83

Los rayos X y la radiactividad (7)

Otro descubrimiento científico derivado de la investigación sobre los rayos X fue la identificación de la primera partícula elemental, el **electrón**.

En 1897 Joseph J. Thomson director del laboratorio Cavendish, determinó que los rayos catódicos estaban formados por partículas cargadas, todas con la misma carga y masa, y todas idénticas, sin importar de qué material surgiesen.

En un primer momento los denominó “corpúsculos”, pero finalmente se impuso el término “electrón”.

Nacía así una rama de la física que prosperaría durante el siglo XX: la física de partículas elementales o de altas energías.

84 Preguntas del tema

1. Principales diferencias nacionales respecto a la ciencia en el siglo XIX
2. Señala los antecedentes científicos del evolucionismo darwiniano.
3. ¿Cuáles fueron los pilares de la teoría darwiniana de la evolución?
4. Explica brevemente las principales unificaciones que se produjeron en la física del XIX.
5. Las geometrías no euclidianas.
6. ¿Qué tiene de especial la propuesta de Mendeleev de la tabla periódica de los elementos químicos?