

# LAS CIENCIAS FÍSICAS

## I LA RADIO-ACTIVIDAD

CONFERENCIA DADA EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE  
EL 15 DE SETIEMBRE DE 1905

---

Señor Ministro, señoras, señores:

La nieve que cubre nuestra cabeza no ha conseguido debilitar el entusiasmo que abrigamos por la difusión de los progresos de la ciencia.

Cediendo una vez más a ese impulso i al benévolo estímulo de la Universidad, bajo cuyo patrocinio van adquiriendo raíces estas lecturas, procuraremos demostrar hoy el gran adelanto que han alcanzado las diversas ramas de la Física, i señalaremos el papel que en ellas desempeña el descubrimiento trascendental de la radio-actividad de los cuerpos.

Las ciencias que constituyen la Física, aisladas primero, han concluido por acercarse i reunirse para constituir un conjunto cuyas partes dependen íntimamente unas de otras.

Si los conocimientos matemáticos son necesarios para dar al espíritu el hábito i el lenguaje de los razonamientos exactos, la Física contribuye igualmente a todas las investigaciones experimentales, con sus métodos e instrumentos de observacion, con el estudio de los diversos agentes que hace intervenir, i con las nociones que sujere sobre la constitucion de la materia.

La Física, a la cual los ingleses dan el hermoso nombre de *filosofia natural*, sirve asi de base a todas las ciencias exactas i merece atencion particular.

A fines del siglo XVIII, si dejamos aparte las cuestiones relativas a la pesantez i a la elasticidad, podemos notar ya progresos importantes en el estudio del calor, de la luz, de la electricidad i del magnetismo.

En óptica se conocian las principales leyes de la propagacion de la luz, de la reflexion sobre las superficies pulimentadas i los espejos, de la refraccion en los diferentes medios i las propiedades de los rayos coloreados que constituyen la luz blanca; se sabia construir los anteojos, los telescopios i los microscopios, que aumentan la potencia de la observacion en el estudio de los astros, i de los organismos cuya pequeñez escapa a la vista ordinaria. Tambien se conocian las leyes experimentales de los fenómenos relativos a la irizacion de las burbujas de jabon, i las singulares propiedades de las dos especies de rayos refractados en los cristales transparentes.

Respecto de la naturaleza misma de la luz, se trepidaba entre la nocion de *projectiles*, sustentada por Newton, i la hipótesis emitida por Huygens de las *ondas* o *vibraciones* de un medio especial. Si la idea de los proyectiles luminosos se prestaba malamente a la explicacion de los anillos coloreados, tampoco se podia conciliar la de las vibraciones, con la propagacion de la luz en linea recta, ni con las cualidades adquiridas por los rayos que esperimentan doble refraccion. «Para explicar cómo sucede eso, dice Huygens, nada he encontrado hasta ahora que me satisfaga.»

La electricidad parecia progresar mas lijero. Se habia re-

conocido las dos maneras diferentes de electrizar los cuerpos; las atracciones i repulsiones que se ejercen entre ellos, i la electrizacion por influencia, a distancia; fueron perfeccionadas las máquinas eléctricas; la botella de Leyde permitió condensar ese nuevo agente i exajerar los fenómenos; la analogía entre el rayo i la electricidad provocó la invencion del para-rayo e ilustró el nombre de Franklin.

Los esperimentos de Coubomb mostraron en seguida que las acciones recíprocas de los cuerpos electrizados siguen las mismas leyes que la gravitacion universal.

Lo mismo se estableció respecto del magnetismo. Si las propiedades magnéticas no se pueden transmitir fácilmente de un cuerpo a otro como en electricidad, se reconoció que era posible dar al fierro dulce, por influencia, una imantacion temporal; i que los dos polos de un iman tenian cualidades diferentes, que se repelian o se atraian segun fuesen del mismo nombre o de nombres diferentes. Despues que Coulomb hubo comprobado que esas acciones obedecian a las leyes de la atraccion universal, pudo admirarse cómo la naturaleza se complace en la sencillez de los medios!, cómo recurre a las mismas reglas en fenómenos tan diferentes!

La brújula servia, desde tiempo inmemorial, a los navegantes. Miétras que los viajes se redujeron a estensiones de mar limitadas, la desviacion del compas permaneció casi invariable; pero el descubrimiento de Colon hizo ver que la accion de la tierra sobre la aguja imantada no tiene la misma direccion jeográfica en todos los puntos del globo; que una aguja libre tiende a tomar una posicion inclinada respecto del horizonte, i que esta inclinacion varia de un lugar a otro. Los grandes viajes del fin del siglo XVIII echaron las bases de los trabajos ulteriores sobre el magnetismo terrestre.

Hai mucho ménos que decir sobre el calor. Se habian inventado los termómetros para medir los grados de temperatura, comprobado la trasmision del calor entre las partículas cercanas o entre los cuerpos en contacto o por una radiacion a distancia, para llegar siempre al equilibrio de temperaturas; se habia podido comparar las cantidades de calor ne-

cesarias para calentar igualmente un mismo peso de diferentes sustancias, o para operar ciertas trasformaciones de estado, como la fusion del hielo.

Teóricamente reinaban los fluidos, májica palabra destinada con frecuencia a velar la ignorancia i, a la par cómoda, porque se atribuía a esos fluidos, mal definidos, todas las cualidades sucesivas que exigía la interpretacion de nuevos experimentos.

Atribúyese la electricidad a dos fluidos diferentes, que obrando juntos en cantidad ilimitada en cada cuerpo, constituyen el fluido neutro.

Esos dos fluidos son susceptibles de ser separados con dificultad; pero siempre están dispuestos a juntarse para reconstituir el fluido neutro.

Tambien se atribuye el magnetismo a dos fluidos semejantes, ménos fáciles de manejar, sin embargo, porque separados en apariencia, persisten en existir simultáneamente en cantidades iguales.

Esplicase igualmente el calor por medio de un fluido calorífico de esencia inalterable, cuyos elementos se repelen, que se escurre desde los puntos más calientes hácia los puntos más frios, con una velocidad que depende de las variaciones de la temperatura i de la conductibilidad propia de los medios.

Había razon para preguntarse cómo es que todos esos fluidos que debían coexistir en las mismas particulas, con propiedades tan diferentes, podían vivir en buena armonía, i si no había llegado el momento de examinar de más cerca su consorcio.

El fluido calorífico presenta, en efecto, serias dificultades para explicar el fenómeno de la radiacion, puesto que la luz, movimiento vibratorio que nos viene del Sol, está acompañada de calor, fluido que la sigue con la misma velocidad, obediendo a las mismas leyes jenerales de propagacion; era indispensable, pues, unir la luz i el calor i renunciar para ámbos fenómenos a la idea de fluidos.

No obstante, de ese conjunto de trabajos en apariencia dis-

paratados, surgió una idea fecunda, que consistía en medir los fenómenos i en determinar sus relaciones numéricas, en vez de comprobar simplemente sus cualidades en mas o en ménos. Al mismo tiempo que Lavoisier trasforma la química por el empleo general de la balanza, que Lavoisier i Laplace comparan los calores específicos, Coulomb mide i pesa las acciones eléctricas o magnéticas.

Un eminente espíritu de nuestra época decia siempre: «cuando se puede medir aquello de que se habla i espresarlo en números, se sabe algo; si no se le puede traducir por un número, el conocimiento es pobre i no merece el nombre de ciencia.»

A fines del siglo XVIII, cuando ya los intercambios se hacian mas activos, se vivia bajo un réjimen esencialmente individualista, i la complicacion de las medidas se hizo indescifrable.

Cada pais, cada provincia, cada administracion aun, tenia su sistema particular de medidas, jérmen de dificultades en las transacciones.

No sólo las unidades de lonjitud, de superficie i de peso estaban ligadas por relaciones complicadas, sino que aun era necesario recurrir a subdivisiones por 10, 12, 16 o 32 para pasar de las unidades principales a las unidades secundarias.

Las lonjitudes se avaluaban en leguas, varas, piés, pulgadas, líneas i centésimas de pulgada o de línea; las medidas agrarias, en cuadradas, acres, fanegas; los volúmenes en arrobas, galones i cuartos; los pesos en libras, onzas i granos, sin contar los carates de los orfebres i los escrúpulos del farmacéutico.

Del esceso del mal vino la reaccion: se comprendió que lo que importaba, entónces, era que los pueblos civilizados empleasen las mismas medidas i hablasen, por decirlo así, la misma lengua, que sobre el interes de las transacciones comerciales primara el interes del espíritu humano, que exije que cada uno, sin estériles cálculos, pueda aprovechar los trabajos i documentos de los hombres de ciencia, diseminados en el mundo.

Inspirados en estos propósitos, los sabios propusieron una reforma jeneral de las medidas, tomando como punto de partida una base natural, el largo del péndulo que bate el segundo o una fracción de la circunferencia del globo, a fin de que el nuevo sistema pudiera ser adoptado por todos los pueblos.

El 8 de mayo de 1790, a indicacion de Talleyrand, la Asamblea Constituyente de Francia, acordó suplicar al Rei que «obtuviese del Parlamento de Inglaterra ponerse de acuerdo con la Asamblea Nacional para la fijacion de la unidad *natural* de las medidas i pesos, construyendo un modelo invariable para todas las medidas i para todos los pesos.»

El momento no fué favorable a un acuerdo internacional, pero no por eso se abandonó la idea. La Convencion confió a una comision de sabios el cuidado de fijar las bases del sistema métrico; fueron necesarios diez años, en medio de un réjimen de delaciones, que hirió a varios miembros de esa comision, para alcanzar el fin de los trabajos. Fué esta una obra digna de la admiracion universal i cuyo perfeccionamiento se ha afirmado en nuestros dias con la creacion de la «Oficina Internacional de Pesos i Medidas.»

De esta manera, el siglo XIX se inauguró con elementos perfeccionados i un considerable conjunto, aunque algo heterójeo, de conocimientos científicos. Veamos cómo supo hacer fructificar tan hermosa herencia.

Uno de los progresos mas lentos ha sido el orijinado por el estudio del calor, cuya utilizacion mecánica se empezó a palpar en las máquinas a vapor. De aqui resulta que la obra de Sadi Carnot «Reflexiones sobre la potencia motriz de las máquinas a fuego», fué un trabajo jenial, pero producido antes de tiempo, porque fué mal comprendido. El célebre teorema de Carnot sobre la relacion que existe entre el trabajo verificado i las temperaturas del hogar i del refrijerante, necesitaba ser completado para constituir la verdadera teoria mecánica del calor, por otra nocion, a saber: que el calor no es un fluido indestructible; que así como puede desaparecer produciendo un trabajo, tambien se le puede crear

por medio de otro trabajo mecánico. Este complemento necesario de la doctrina vino veinte años después, i la ciencia lo debe a Juan Tobías Mayer.

El fluido calorífico estaba destinado, pues, a desaparecer, i hoy no vemos en el calor sino un modo particular de movimiento.

Al mismo tiempo, el estudio de las cantidades de calor absorbidas o desenvueltas en las operaciones mecánicas permitió restablecer, sin reservas, el gran principio de la conservación de la energía cuyo precursor fué Galileo.

Los trabajos de Young i de Fresnel hicieron prevalecer, por su parte, la teoría de las ondulaciones. El rayo luminoso ha dejado de existir con su antiguo rigor geométrico; se desvía i se estiende lateralmente cuando se pretende comprimirlo entre dos orificios muy estrechos. Las luces emanadas de dos manantiales cercanos se pueden entredestruir si los desplazamientos que ellas tienden a imprimir a un mismo punto son iguales i directamente opuestos, de suerte que la luz agregada a la luz produce a veces la oscuridad. Las coloraciones de las láminas delgadas i de las láminas cristalinas, los fenómenos de reflexión i de refracción, el poder rotatorio de los cuerpos llamados activos, todo se explica por las vibraciones de un medio que llenaría los espacios vacíos del cielo, para penetrar los cuerpos ponderables experimentando modificaciones diversas.

Los descubrimientos más recientes, el análisis espectral de los manantiales de luz, los rayos químicos i caloríficos, el arrastre parcial de las ondulaciones por los cuerpos donde ellas se propagan, la determinación del movimiento de los astros según la línea de observación por la naturaleza de la luz que ellos nos envían, todas esas nuevas nociones se han adoptado a las ideas de Young i Fresnel, confirmando las más arriesgadas previsiones.

Todo hacia creer que la óptica había llegado a ser una ciencia definitiva, parcialmente vinculada al calor por un cierto número de propiedades comunes, pero como sometida a un régimen particular.

En el dominio de la electricidad los grandes descubrimientos se inauguraron en el siglo XIX i continúan asombrándonos.

El 16 Brumario del año X (Octubre 28 de 1801) leia Volta en el Instituto de Francia su primera memoria sobre la teoría del galvanismo i particularmente sobre el fluido galvánico.

Dicen las minutas del Instituto que, terminada la lectura, «el ciudadano Bonaparte propone que el Instituto dé una medalla de oro al ciudadano Volta i que se encargue a una comision el hacer en grande todos los esperimentos propios a esparcir nueva luz sobre la importante rama de la Física, de que acaba de tratar el ciudadano Volta.»

La lectura de Volta continúa en las sesiones de noviembre 12 i 22 de 1801.

El primer cónsul no debió limitar a esta recompensa las demostraciones de su entusiasmo. Dos dias despues de la comunicacion del informe, i sabiendo que los recursos de Volta se habian agotado, le hizo dar una gratificacion de 6,000 francos.

Meses mas tarde, junio 25 de 1802, escribia a Chaptal, Ministro del Interior:

«Deseo dar como estímulo una suma de 60,000 francos al que, por sus esperimentos i sus descubrimientos, haga dar a la electricidad i al magnetismo un paso comparable al que le han hecho dar a esas ciencias Franklin i Volta. Mi objetivo especial es estimular i llamar la atencion de los físicos a esta parte de la Física que es, a juicio mio, el camino de los grandes descubrimientos.»

Este profético juicio de un gran capitán merece conservarse como un precioso documento histórico. Los hechos debian justificar su prevision de una manera completa.

En tiempo de Napoleon, se habian obtenido ya algunas reacciones químicas por la accion de las chispas eléctricas, pero los fenómenos habian sido mal definidos i dificilmente regulados. La pila de Volta permitió descomponer el agua en sus elementos; Davy pudo aislar los metales alcalinos, el



potasio i el sodio, i se hicieron numerosisimas aplicaciones de la electricidad a la química.

Sin embargo, se procuraba estudiar demasiado los fenómenos producidos entre los polos de la pila, sin investigar lo que sucedia en el conductor mismo recorrido por la corriente eléctrica.

Se necesitaron veinte años para que O'Ersted, acercando ese hilo conjuntivo a una aguja imantada, percibiera que ella se desviaba de su posicion de equilibrio, como lo habria hecho bajo la accion de un iman. Parece que fué una casualidad la que puso a O'Ersted en la via de este gran descubrimiento, pero las casualidades no producen fruto sino en buenas manos, i la ciencia presenta numerosos ejemplos de importantísimos fenómenos escapados a sus primeros testigos.

Apénas anunciado el experimento de O'Ersted, Ampère se contrajo al estudio del nuevo fenómeno. Con una exquisita penetracion de espíritu, estableció las leyes de esta accion singular.

Como en todos los fenómenos naturales, la accion de la corriente sobre los imanes debia estar acompañada de una reaccion igual i contraria de los imanes sobre la corriente, que la esperiencia confirmó. Además, las corrientes debian obrar las unas sobre las otras, lo que tambien se reconoció exacto. En el curso de un solo año realizó Ampère una serie de experimentos ingeniosos i dedujo todas las consecuencias matemáticas hasta llegar a las célebres leyes del electromagnetismo i de la electrodinámica. Las memorias de Ampère constituyen un modelo incólume i han escitado tal admiracion que en Inglaterra se ha podido decir que sólo eran comparables a la obra de Newton.

Al mismo tiempo Arago i Ampère descubrian la imantacion temporal del fierro dulce por las corrientes e imaginaban la construcción del electroiman, órgano universal en las aplicaciones industriales. Con estos descubrimientos se habia hallado el lazo de union entre dos ciencias primitivamente distintas; ya los imanes no eran sino el sitio de corrientes

eléctricas alrededor de partículas i los dos fluidos magnéticos dejaban de ser necesarios.

Faltaba dar otro paso. Puesto que las corrientes imantan el fierro dulce i el acero, i que la esencia de los dos agentes parecia ser la misma, debia esperarse que los imanes fuesen capaces de producir corrientes eléctricas.

Es un hecho histórico que Ampère i otros experimentadores tuvieron delante de los ojos las corrientes inducidas, pero no las caracterizaron. Seria injusto pensar que una circunstancia fortuita pusiera a Faraday en la via del gran descubrimiento. El gran físico ingles era un espíritu concentrado, que vivia en medio de sus aparatos, siempre ocupado de sus experimentos, a veces tan raros, que sentia una especie de pudor en mantenerlos secretos ántes de obtener un resultado interesante. Las corrientes inducidas, cuya produccion hizo ver por medio de los imanes, por las corrientes, o sencillamente por la accion del magnetismo terrestre, intervienen siempre que se producen modificaciones en un sistema eléctrico o magnético, i su duracion se encuentra limitada por esas modificaciones. Esas corrientes son el principio de todas las máquinas actuales.

Faraday nos debia dar otra sorpresa, demostrando en 1848 que las acciones magnéticas, sea cual fuere su orijen, son capaces de modificar un rayo de luz que se propaga en un medio trasparente. A él se debe el descubrimiento del poder rotatorio magnético. Un trozo de vidrio colocado en la direccion de la aguja de inclinacion, adquiere bajo la influencia del magnetismo terrestre, propiedades ópticas análogas a las que posee el eje de los cristales de cuarzo.

Hé aquí, lazos de union entre la electricidad, el magnetismo i la luz, pero que necesitaron otro intervalo de veinte años para hacerse mas sólidos.

En los aparatos construidos para reproducir incesantemente corrientes inducidas, el sentido de esas corrientes es naturalmente alternado, como las oscilaciones de un péndulo, como el flujo i el reflujo del mar comparado con la corriente continua de los rios. Esos movimientos de opuestos sentidos

pueden observarse tambien en la descarga de las botellas de Leyde, que presentan alguna analogía lejana con las vibraciones de la luz.

Poniendo en juego un potente análisis matemático ha demostrado Maxwell que esta analogía bien podría ser una identidad. Las vibraciones eléctricas deben propagarse en el aire, i en los diferentes medios denominados dieléctricos, como lo hace la luz, con una velocidad definida, que diversos métodos experimentales permiten determinar. La interpretación de anteriores experimentos nos había dado ya para esas vibraciones un valor aproximado, muy cercano al de la luz; i posteriormente, trabajos más recientes han verificado la identidad absoluta de las dos velocidades.

Después de haber sacrificado los fluidos magnéticos, será pues necesario condenar los dos fluidos eléctricos, aunque no nos atrevemos a sostener todavía que la electricidad sea algo material, como parece serlo.

La constitución i las propiedades mecánicas de un solo medio podrán bastarnos para explicarnos todo, i la luz misma acantonada al principio en una especie de fortaleza irreductible se transforma en una vibración electro-magnética.

Los descubrimientos de Hertz i los trabajos de sus sucesores han hecho triunfar esta doctrina. Las vibraciones eléctricas producen rayos como la luz; esos rayos se quiebran o se difractan en los bordes de los obstáculos; se reflejan, cambian de dirección pasando de un medio a otro, se polarizan i experimentan la doble refracción en los cuerpos de estructura cristalina.

Tal es, sucintamente espuesto, i según el sabio académico Mascart, el estado en que se encontraban las ciencias físicas en la víspera de los grandes descubrimientos de que vamos a ocuparnos.

---

Después de haber conducido a la solución, si no completa aun, pero muy probable, de tantas dificultades, parece que la electricidad se complaciera en crear otras nuevas. Los rayos catódicos, los rayos X i las radiaciones de los cuerpos

activos, análogos a las sales de urano, parecen poner a la ciencia entorpecimientos insuperables. Estas sustancias singulares cuya accion eléctrica se produce sin desgaste i que emiten indefinidamente luz sin que se sepa a primera vista de qué manantial la toman, nos ponen en serias dificultades sobre el principio de la conservacion de la enerjía, que debemos considerar sin embargo como un dogma científico.

Para medir todo el camino recorrido, a raiz de estos recientes descubrimientos, retrocedamos unos quince años, a la época en que se buscaba su esplicacion en el estudio de las descargas eléctricas en los gases.

En aquella época, como lo hicimos notar en nuestra Lectura de noviembre 16 de 1897, dos escuelas se disputaban la esplicacion del fenómeno: la escuela inglesa que, aceptando la jenial hipótesis de Crookes, veia en esos fenómenos un transporte de materia o, como lo hemos dicho, un « bombardeo molecular », para servirnos de la gráfica espresion del eminente fisico ingles i, por otro lado, la escuela alemana que, prosiguiendo los trabajos de Hittorf, de Hertz i Goldstein, encontraba numerosas incompatibilidades entre la hipótesis inglesa i la realidad de los hechos. Los físicos alemanes, rechazando la hipótesis materialista, atribuian todos los fenómenos de los tubos luminosos a ondulaciones del éter. Los hermosos esperimentos de Lenard, citados en nuestra precitada lectura, habian suministrado argumentos nuevos, opuestos a la idea del transporte de la materia. Parecia, en efecto, imposible esplicar, por un desplazamiento de moléculas, los fenómenos mostrados por el hábil fisico húngaro. Esto provenia de que entónces no se sabia ver bien: nos deteníamos ante la subdivision de la materia i ante las últimas partículas cuya existencia nos habian revelado la Física i la Química. Comparando sus velocidades con las que pueden realizar nuestras mas mortíferas armas, comparábamnos las moléculas a minúsculas balas de fusil.

Estas comparaciones son frecuentes, i si ellas nos han dado en mas de una ocasion la llave de un nuevo fenómeno, tambien nos han solido desviar de su verdadera naturaleza.

En efecto, dos fenómenos de especie semejante, pero de un orden de magnitud *diferente*, suelen aparecer a nuestra pobre perspicacia como fenómenos de distinta naturaleza. Bástenos recordar cuánto nos ha costado admitir la identidad de naturaleza de las ondas luminosas i de las ondas eléctricas, i con cuánto trabajo i con cuánta lentitud han llegado a abrazar en su conjunto los mas grandes investigadores de la época actual el grandioso edificio cuyos sólidos cimientos construyó el jénio de Maxwell.

El gran descubrimiento de Roentgen, en efecto, vino a aclararlo todo, brillantemente, encontrándose que todos tenían razon. Se pudo ver que los fenómenos observados tienen a la vez por causa un desplazamiento de la materia i una oscilacion etérea; pero que son dos fenómenos distintos i de tal manera entrelazados en los esperimentos, que observábamos todos los efectos superpuestos.

Buscando la verificacion de una hipótesis enunciada por Poincaré, *segun la cual los cuerpos fosforescentes podrian quizas emitir rayos análogos a los de Roentgen*, Becquerel emprendió el estudio de las radiaciones de una sal de urano, que atravesaban los cuerpos considerados opacos.

Grande fué su sorpresa al comprobar que la radiacion no disminuye de intensidad con el tiempo, i que una porcion de ese cuerpo que jamas habia sido espuesta a la accion de la luz la emitia en igual cantidad que trozos enérgicamente insolados. Se trataba en consecuencia de un nuevo hecho, i de los mas extraordinarios, puesto que el cuerpo en cuestion, el sulfato doble de urano i de potasio i tambien el urano puro, emitian enerjía bajo una forma desconocida, designada posteriormente con el nombre de *radio-actividad*.

Becquerel hizo este descubrimiento, colocando sobre una placa fotografica envuelta en una doble hoja de papel negro grueso, un cristal de sulfato doble de urano i de potasio i entre la sal de urano i la placa, una moneda de plata. Despues de algunas horas de esposicion, la revelacion de la placa hizo aparecer la sombra producida por la moneda. Debemos ad-

vertir que esta exposición fotográfica conduce a los mismos resultados procediendo en la cámara oscura.

Poco después encontró el mismo investigador que los nuevos rayos descubiertos poseían la propiedad de descargar los cuerpos electrizados; pero la debilidad de las radiaciones le impidió comprobar otras de sus propiedades.

Al mismo tiempo, la admirable compañera del profesor Pedro Curie, la señora Sklodowska Curie i un físico alemán, el profesor Schmidt, encontraron que el torio era un poco más activo que el urano; en fin, la señora de Curie, examinando en 1897 diversos minerales, pudo comprobar que uno de entre ellos, la *pezblenda* (óxido de urano asociado al carbonato de calcio, pirita de cobre, galena, blenda, mispickel, cobalto, etc.) de Bohemia, era más radioactivo aun que todos los cuerpos conocidos hasta esa época.

Dos hipótesis asaltaron entonces a esta insigne investigadora: o el urano asociado a los cuerpos que constituyen la *pezblenda* se hace más activo por su presencia o esa especie mineral contiene un cuerpo muy radioactivo desconocido aun.

Las dos hipótesis fueron examinadas sucesivamente por el profesor Curie i su esposa, i encontraron que la segunda era la exacta.

Con este objeto empezaron por crear un método de mensura eléctrica de la actividad de los productos, que les permitió comprobar, paso a paso, las difíciles operaciones de su

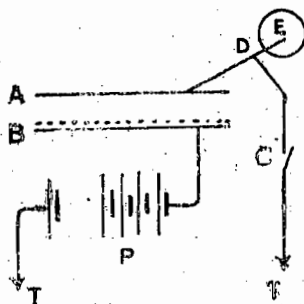
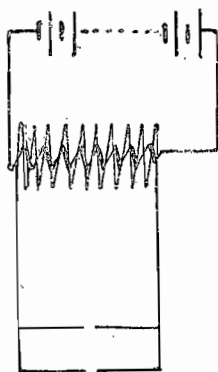


Fig. 1

extracción química i mediante el cual pudieron observar la radio-actividad creciente.

El método empleado consistía en medir la conductibilidad eléctrica adquirida por el aire bajo la acción de las sustancias radio-activas. Este método tiene la ventaja de ser rápido i de suministrar números que se pueden comparar entre sí. El aparato empleado se compone esencialmente de un condensador de platillos A B (fig. 1). La sustancia activa finamen-



(Fig. 2)

te pulverizada se extiende sobre el platillo B i hace conductor el aire entre los platillos. Para medir esta conductibilidad, se da al platillo B un potencial elevado conexasionándolo con uno de los polos de una batería de pequeños elementos cuyo otro polo se pone a tierra. Mantenido el platillo A al potencial del suelo, por el conductor C D se establece una corriente entre los dos platillos. El potencial del platillo A es indicado por un electrómetro E. Si interrumpimos en C la comunicacion con el suelo, el platillo A se carga i esta carga hace desviar el electrómetro. *La velocidad de la desviacion es proporcional a la intensidad de la corriente i puede servir para medirla.* Tal es el método preconizado por los esposos Curie.

Una de las grandes dificultades en este trabajo residía en el extraordinario desleimiento de los cuerpos hipotéticos en la pezblenda. Tratando químicamente una toneladada de mineral, del cual se haya estraído el urano, se obtienen finalmente algunos kilogramos de *bismuto* que contienen una sustancia activa, o de bario que contiene otra sustancia activa. Mediante repetidas cristalizaciones, llegaron los esposos Curie a separar trazas del producto contenido en el bismuto, al cual denominaron *polonio*, i una fraccion de gramo del cuerpo contenido en el bario que denominaron *radio*. En fin, Debierne, colaborador de Curie, separó por el mismo procedimiento un tercer cuerpo, el *actinio*.

El trabajo de Curie es una obra digna de figurar al lado de la de Kirshoff i Bunsen, a quienes debemos el análisis espectral.

Las propiedades de los nuevos cuerpos descubiertos son prodijiosas i procuraremos analizarlas aunque sea someramente.

Los esperimentos mas inmediatos hacen ver que el radio es espontáneo e indefinidamente luminoso; su luz no es intensa, pero lo suficiente para que algunos decigramos sean visibles a cierta distancia en la oscuridad. Sus radiaciones hacen brillar las sustancias fosforescentes. El radio obra con intensidad sobre las preparaciones fotográficas, i de una manera jeneral, produce acciones químicas tales como la descomposicion del agua en sus elementos, la reduccion del óxido de plomo o de manganeso de los tubos de cristal que le contienen, colorándolos de violado, etc. En fin, produce efectos fisiológicos que han provocado mas de un desagrado a los que se han sometido a su accion. Este cuerpo, en efecto, ataca los tejidos sanos de la misma manera que los organismos enfermos; parece que destruye el lúpus i tiene accion sobre el terrible cáncer.

No cabe la menor duda de que el radio es un nuevo cuerpo. Sometiendo un compuesto de radio al análisis espectral se pueden percibir entre las rayas características del bario que lo acompaña las rayas del radio, las que van aumen-

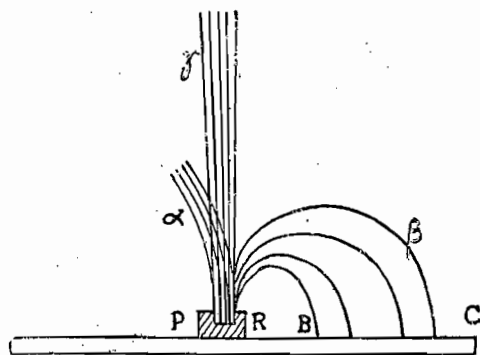


tando en intensidad a medida que el producto se concentra a la par que desaparecen las del bario.

Por otra parte, la determinación de la masa atómica efectuada por la señora Curie condujo al número 225, número mucho más elevado que el del bario i que eleva inmediatamente la masa atómica de la parte básica en una sal de bario radifero.

La acción del radio sobre las cargas eléctricas, que ha permitido perseguir las investigaciones sobre este cuerpo, se puede poner en evidencia por medio de otro experimento, relativamente sencillo.

Intercalamos un carrete de inducción en dos circuitos interrumpidos por intervalos reglados de manera que pasen por el uno i por el otro el mismo número de chispas (fig. 2). Si acercamos un fragmento de radio a uno de esos intervalos, concentrará todas las descargas i el otro no provocará ninguna. Interpretado este experimento en el sentido de las teorías modernas nos hace ver que el radio descompone el aire en esas partículas inferiores a la molécula, que constituyen el vehículo de las cargas eléctricas. La acción cesa tan pronto como se retira el radio, porque esas fracciones de moléculas,



(Fig. 3)

los *iones*, como se les denomina, se recombinan entre sí o se precipitan sobre los objetos cercanos. Siguen en una pala-

bra las líneas de fuerza eléctrica del campo en el cual se encuentran.

Las radiaciones del radio no son simples. Si se coloca, como lo han hecho los profesores Giesel, Meyer i von Schweidler una copelita P (fig. 3) conteniendo un poco de radio R sobre una placa fotográfica, i se somete su radiacion a un campo magnético intenso paralelo a la placa, la radiacion se divide en tres grupos distintos que se ha convenido en designar por las letras  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  el primero desvia débilmente hácia la izquierda, el segundo se encorva enérgicamente a la derecha entre dos límites B i C, el tercero es completamente insensible al campo magnético.

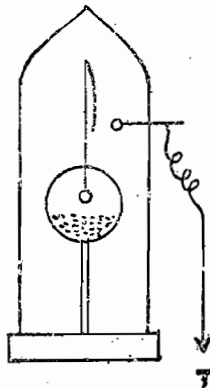
Esos rayos están dotados de un poder de penetracion diferente. Los rayos  $\alpha$  son absorbidos rápidamente, i aun en el aire no alcanzan mas allá de algunos centímetros. Ciertos rayos  $\beta$ , al contrario, son de tal manera penetrantes que despues de haber atravesado algunos milímetros de plomo, impresionan enérgicamente placas fotográficas. Esa radiacion descarga los cuerpos electrizados aun cuando el radio esté encerrado en un doble recipiente. Los rayos  $\gamma$  poseen tambien un poder de penetracion mui grande; permiten obtener radiografías exactamente como los tubos productores de rayos X.

Encontramos en las tres radiaciones distintas del radio los tres fenómenos bien caracterizados que presenta el tubo de Crookes. Los rayos  $\beta$  son idénticos, en sus propiedades a los rayos catódicos; los rayos  $\gamma$  no se distinguen de los rayos X, los rayos  $\alpha$  en fin poseen todas las propiedades de los rayos canales de Goldstein, es decir, de aquellos rayos que parecen ser aspirados por el catodo, i que lo atraviesan cuando tiene pequeñas aberturas. Las teorías establecidas para los tubos debemos pues asimilarlas inmediatamente al radio. Las dos radiaciones desviabiles en el campo magnético nos aparecerán como constituidas por partículas de materia cargada de electricidad positiva para las unas ( $\alpha$ ) negativa para las otras ( $\beta$ ) i atravesando el espacio con una

enorme velocidad. Los rayos  $\gamma$  son un fenómeno de propagación en el éter.

Esta teoría que es satisfactoria para un físico, habituado al sutil análisis de los fenómenos, quizás no es lo bastante convincente para las personas que desean pruebas más directas.

Strutt, hijo del ilustre físico lord Rayleigh, nos ha indicado un experimento muy demostrativo de los hechos espuestos. Tomemos una ampollita de vidrio bien aislada que contenga una pequeña cantidad de radio i coloquémosla en un recipiente de vidrio completamente vacío (fig. 4). La ampollita lleva una varilla de metal i una hoja de oro. Los rayos penetran-



(Fig. 4)

tes  $\beta$  cargados de electricidad negativa atraviesan la ampollita i hieren las paredes del recipiente de vidrio, a las cuales ceden sus cargas que son conducidas a la tierra. Los rayos  $\alpha$  por otra parte que en conformidad al principio de la conservación de la electricidad deben tener cargas iguales, permanecen en la ampollita a causa de su falta de penetración i cargan el sistema electroscópico. La hoja de oro es repelida, toca el conductor a tierra, se descarga i cae. Se ve producirse así un movimiento alternado, de una gran potencia de demostración.

Bajo una forma un poco diferente e involuntaria los mismos efectos han ocasionado accidentes hasta el punto que las ampollitas de vidrio con el radio han adquirido cargas eléctricas i producido chispas que han destruido el aparato.

Ha llegado el momento de plantear algunas cuestiones importantes:

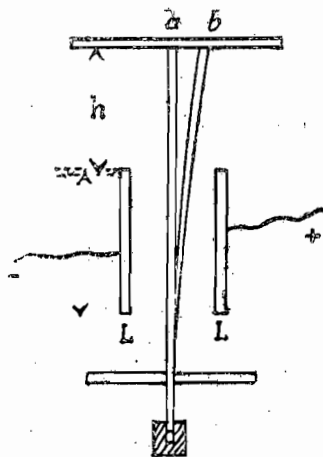
Cuál es la masa de esas partículas móviles.

Cuál es su carga.

Cuál es su velocidad.

Los esperimentos de desviacion en el campo magnético i esperimentos semejantes en un campo eléctrico, es decir en el espacio comprendido entre dos láminas conductorices paralelas LL (fig. 5) cargadas de electricidad de nombres contrarios esplican, sin dejar dudas i gracias a la teoría matemática, que no podemos desarrollar en esta lectura, los fenómeños observados.

En efecto, los rayos  $\alpha$  i los rayos  $\beta$  están constituidos por partículas que contienen cargas eléctricas, iguales a las car-



(Fig. 5.)

gas del átomo de hidrógeno en la electrólisis del agua; las masas de esas partículas para los rayos  $\alpha$  son del mismo orden de magnitud que las masas atómicas ordinarias; las

masas de las partículas  $\beta$  son aproximadamente dos mil veces mas pequeñas; en fin, las velocidades variables en las diferentes partes del haz  $\beta$  son del orden de 100,000 a 280,000 kilometros por segundo, mientras que las velocidades son mucho menores en el haz  $\alpha$ .

Estas cifras no son ménos sorprendentes que el fenómeno en sí mismo; ellas nos revelan por la vez primera, sin que intervenga ninguna accion exterior, partículas mucho mas pequeñas que el átomo de los químicos, i tambien por la vez primera velocidades de desplazamiento inmensamente superiores a las que nos es dado observar en todos los fenómenos vulgares. Una velocidad de 100,000 kilometros por segundo es cien mil veces mas grande que la de nuestros mejores proyectiles i tres mil veces superior a la de las velocidades relativas de los astros.

Prescindiendo por un momento de estos nuevos i minúsculos proyectiles, analicemos su velocidad, cuya consideracion nos abre nuevos horizontes.

Sabemos que cuando se produce en el aire una perturbacion, ella se propaga con una velocidad uniforme de unos 330 m. por segundo. Por consiguiente, si se desplazara en el aire perpendicularmente a su direccion un plano con una velocidad inferior a la que acabamos de indicar, el choque que ese plano produciria constantemente contra el aire, se disiparia como una especie de onda sonora i se debilitaria la presion hácia adelante. Pero si ese plano adquiriese una velocidad superior a la de la disipacion, el aire se condensaria contra el plano i la presion creceria mas allá de todo límite. Tal es, al ménos, la consecuencia inevitable de una teoría elemental fundada en la idea de que la velocidad del sonido en el aire, es independiente de la presion. Pero una teoría mas avanzada nos enseña que no es así.

Riemann ha demostrado que la velocidad de disipacion crece al mismo tiempo que la densidad del gas, de suerte que, sea cual fuere la velocidad del plano, siempre se produce la disipacion i el aire no se puede condensar indefinida-

mente. Esta teoría ha sido verificada experimentalmente por Pablo Vieille, inventor de la pólvora sin humo.

Una teoría análoga, relativa al desplazamiento de una masa eléctrica en el éter, nos ha conducido a aceptar que ese medio universal obra sobre el desplazamiento i que es menester tomarlo en cuenta en la expresión de la energía de movimiento de las partículas electrizadas que atraviesan el espacio con una gran velocidad.

Las teorías mecánicas nos dicen que la energía de movimiento de un cuerpo es dada por la expresión  $\frac{1}{2} m v^2$ ; pero la nueva teoría nos enseña que esta expresión es sólo aproximada i sólo prácticamente exacta para los móviles dotados de una velocidad despreciable comparada con la velocidad de la luz.

Cuando las velocidades son mas grandes, la expresión de la energía se complica i adquiere una forma tal, que la energía se hace infinita cuando la velocidad es igual a la de la luz. Volvemos a encontrar aquí el principio indicado hace un momento para un cuerpo que se desplace en el aire; pero con la diferencia de que el éter puede ser considerado como perfectamente elástico.

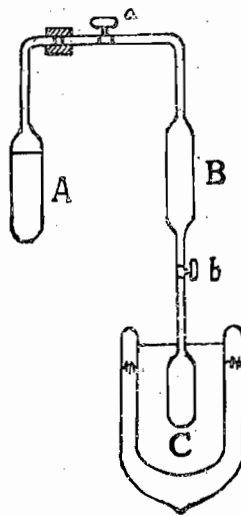
La materia que constantemente se escapa del radio, debe disminuir su masa. Seguramente así sucede, pero las partículas arrastradas son tan prodijiosamente pequeñas que ninguna pesada en la balanza podría revelarnos su partida. El profesor J. J. Thomson, que tanto ha hecho progresar la teoría de las descargas eléctricas en los gases, ha calculado que se necesitarían millones de años para que nuestros procedimientos de investigación mas exactos permitiesen comprobar esa disminución de peso.

Los profesores Curie i Laborde han calculado el valor numérico de la energía que desarrolla el radio en el conjunto de los fenómenos a que da origen.

El radio desarrolla en números redondos 100 calorías gramo por hora para un gramo de sustancia. En otros términos, fundiría en una hora mas de su peso de hielo i desarrollaría en treinta horas, aproximadamente, la cantidad de calor que

produce un gramo de gas detonante, combinándose para formar agua. Hasta hoy no se ha podido comprobar disminución alguna en el desarrollo de calor del radio.

Las manifestaciones de la energía del radio son de una especie tal, que habría sido imposible imaginarlas sin caer en la divagación, y la cantidad de esta energía sobrepasa inmensamente en magnitud a la de todas las combinaciones químicas. Pero, no es esto todo: el radio da nacimiento sucesivamente a dos sustancias dotadas de propiedades particulares: la primera es una emanación que se desarrolla, que se conduce como un gas y que es muy radioactiva; la segunda, es la radioactividad inducida, es decir, la propiedad que posee el radio de hacer radioactivos los cuerpos situados en su vecindad, *con tal de que no esté separado por ningún obstáculo material*. La emanación se desarrolla poco a poco del ra-



(Fig. 6.)

dio, sobre todo si está en disolución. Su radioactividad disminuye también poco a poco como si el gas hipotético se escapase a través del recipiente.

Esta emanación produce efectos realmente sorprendentes.

Encerremos en un tubo A (fig. 6), una disolucion de bromuro de radio, el cual desarrollará emanacion en el espacio situado encima. Hagamos el vacío en el tubo B, separado de A por la llave *a*. Las paredes del tubo B cubiertas de sulfuro de zinc producen una súbita i peculiar iluminacion en el momento de abrir la llave *a*. Si en seguida se abre la llave *b* i se sumerge la ampollita *c*, en el líquido, desaparece el brillo de B i la luz se concentra en C.

He aquí, pues, una serie de efectos realmente misteriosos.

Analícemos ahora, para descifrarlos, aunque sea someramente, las hipótesis susceptibles de explicar la existencia del radio, i hagámoslo en el dominio intangible de la conservacion de la enerjía.

La primera hipótesis consiste en admitir que el espacio está constantemente recorrido por radiaciones de una naturaleza desconocida, que atraviesan sin absorcion sensible todos los cuerpos conocidos hasta estos últimos tiempos i que por consiguiente escapan a nuestras investigaciones. Si esas radiaciones fueran absorbidas por el radio, las podria transformar en otra forma de enerjía siendo sus misteriosos efectos los que estamos observando actualmente.

La perfecta igualdad de la radiacion del radio durante el día i durante la noche, en la superficie de la tierra o en las minas profundas, ha quitado un poco de probabilidad a esta primera hipótesis.

Existe una segunda hipótesis que al principio pareció ménos probable, pero que ha ido ganando camino poco a poco. Es la hipótesis de la trasmutacion del radio en otro elemento químico.

Las trasformaciones progresivas del radio, en efecto, observadas por los esposos Curie deben a esta hipótesis un alto grado de verosimiltud, que casi se transforma en certidumbre mediante un experimento ejecutado por los ilustres físicos Ramsay i Soddy.

Habiendo encerrado emanacion de radio en un tubo, estos investigadores i habiéndola estudiado con el espectroscopio



vieron aparecer gradualmente el espectro del helio, ese cuerpo por tan largo tiempo hipotético i misterioso.

Se recordará que fué Ramsay quien por primera vez encontró el helio sobre la tierra, cuerpo de cuya existencia los químicos dudaban.

He aquí, por lo tanto, lo trasmutacion de la materia sorprendida en su realidad i no deducida como una vaga probabilidad.

Admitido este hecho, la hipótesis o la teoría toma todos los visos de una verdad inconcusa. Si no podemos producir trasmutaciones con facilidad es porque ellas exigen procedimientos infinitamente mas enérgicos que los que nosotros poseemos. Pero cuando ellas se producen por sí mismas, son susceptibles de desarrollar una energía inmensamente mas grande que la de todas las trasformaciones químicas, tales como se las ha considerado hasta hoi. El radio nos da su medida; ella es prodijiosa; pero una vez admitida la hipótesis enunciada esta cantidad de energía no debe sorprendernos.

Un fisico ingles, Wilson, ha demostrado por el cálculo que si el Sol contuviese 2 o 3 gramos de radio por tonelada, este radio bastaria para esplicar la energía que emite nuestro astro central.

La trasmutacion del radio con gran desarrollo de energía, la existencia del polonio que aun se trasforma mas rápidamente, i del actinio, demasiado escaso para que se hayan podido estudiar los efectos, en fin del torio i del urano, cuya trasformacion es mui lenta o mui limitada, nos inducen a pensar que otros cuerpos pueden experimentar los mismos cambios i desarrollar cantidades de energía considerable.

La temperatura debe ejercer una accion importante en tales trasformaciones i es natural pensar que a la temperatura de 6000° atribuida al Sol se encuentren en el estado de trasmutacion en que observamos actualmente el radio sobre la Tierra, un gran número de materias.

Si esta hipótesis fuera verdadera, veriamos crecer en enorme proporcion inmediatamente la provision de energía del

mundo; veríamos prolongarse mui léjos hácia el pasado la formacion de los soles i veríamos casi indefinidamente aumentando su período de enfriamiento.

Partiendo de estos principios pueden los astrónomos sin dificultad acordar a los jeólogos los largos períodos que necesitan para esplicar la trasformacion de los seres i de las cosas. Pero sobre todo pueden esperar los físicos para el porvenir, una muerte mas lenta del mundo que habitamos, un enfriamiento indefinidamente prolongado de esta Tierra que nos sustenta i de ese Sol cuyos rayos nos dan i conservan la vida. Los que creen i esperan en el porvenir de la humanidad agradecerán a los esposos Curie el habernos dado, descubriendo el radio, la vislumbre de una nueva esperanza.

---

#### BIBLIOGRAFIA

---

- Le radium et l'hélium*; Dewar et Curie, C. R. Academié des Sciences de Paris, 1904, CXXXVIII, 190.
- El Misterio del Radium*; A. E. Salazar, Santiago *El Mercurio*, julio 3 de 1003.
- Radioactivité*.—Hypothèse sur la nature des corps radioactifs; Note de M. Filippo Re. Academie des Sciences, 1903. CXXXVI.
- El radio*; Luis L. Zegers, Santiago, *El Mercurio*, abril de 1904.
- El radio*; Doctor Jorje Vives Bravo, *El Mercurio*, marzo 23 de 1904.
- Le Radium*, Le Matin, Professeur d'Arsonval, Paris, le 15 Décembre 1903.
- Le Radium et la radio-activité de la matitière*; doctor Georges Bohn. La Revue des idées, 15 janvier 1904.
- Les théories modernes de l'Electricité*; O Lodge, 1801.
- Recherches sur une propiété nouvelle de la malière*. Henri Becquerel, Paris, MDCCCIII.
- Le Progrès et l'inconnu*, Loewy, Paris, avril 1895.

*Recherches sur les substances radioactives*; Madame Sklodowska Curie, Paris, 1904.

*La Science et l'Hypothèse*; H. Poincaré.

*Discours de M. Mascart*, prononcé à l'inauguration du monument élevé à la mémoire de Pasteur à Paris le samedi 16 juillet 1904.

*Discours de M. Mascart*, prononcé à la Séance générale du Congrès des Sociétés Savantes à Nancy 1901.

*Ce que nous enseigne le radium*; Ch. Ed. Guillaume, junio 1904.

*Los progresos de la Electricidad i el descubrimiento del profesor Roentgen*. Luis L. Zegers, 1098.

*Sur le rayonnement de l'uranium*; H. Becquerel Congrès international de Physique, 1900.

*Les nouvelles substances radioactives et les rayons qu'elles emettent*; P. Curie et Mme. Curie, Congrès international Physique, 1900.