

Leopoldo Muzzioli

Las investigaciones experimentales de la física moderna



Las doctrinas del calor y de la electricidad que se desarrollaron en el «ochociento» y dieron lugar a aquellas maravillosas construcciones mentales, la termodinámica y la electrodinámica, debido a búsquedas teóricas y experimentales maravillosas, se refieren a la materia y a sus manifestaciones energéticas en su conjunto.

Pero al finalizar el siglo diecinueve se manifiestan al físico hechos nuevos, como por ejemplo, la expulsión espontánea o artificial de corpúsculos cargados de electricidad, de la materia, la producción de los rayos X por el bombardeo de la materia por parte de algunos de estos corpúsculos, etc., hechos nuevos que demostraban la existencia en la constitución de la materia de estos corpúsculos y la posibilidad de que esta fuera constituida por estos mismos corpúsculos.

El físico del «noveciento» en base a los conocimientos adquiridos sobre todo de la termodinámica y electrodinámica y como consecuencia de estos hechos nuevos sintió la necesidad de ocuparse directamente de los componentes elementales de la materia y de la acción recíproca de los variados campos eléctricos atómicos y moleculares que da lugar a la unión de los átomos en las moléculas, es decir al problema fundamental de la química.

Y de aquí surgieron como es sabido dificultades enormes, ya que al descender desde las manifestaciones energéticas del ma-

crocosmo hasta los mecanismos del microcosmo las doctrinas, de las que hice mención, en apariencia perfectas no eran si no aproximadas y válidas solo para los elementos asociados.

Además si la naturaleza de la luz, y en general de la energía radiante bajo el aspecto de su propagación ha sido objeto de profundo y concluyente estudio en el «ochociento», de modo que ya en el siglo pasado se pudo afirmar que la luz en su propagación es de naturaleza ondulatoria con ondas transversales y electromagnéticas, bien poco, y me atrevería a decir nada, se conoce al iniciarse del «noveciento» de lo que es la luz en el instante de su partida del cuerpo que la emite y en el instante en que esta llega al cuerpo que la recibe.

Luego problemas nuevos y de importancia formidable debe resolver el físico del «noveciento».

¿Cuál es la naturaleza de la energía radiante y cuál es la naturaleza de la materia en sus últimas y originarias estructuras y manifestaciones?

Como se ve claramente la herencia que la física del «ochociento» dejó a la del «noveciento» corresponde a dos problemas de importancia fundamental para el conocimiento de la naturaleza.

¿De qué instrumentos se aprovechará el físico del «noveciento» para hacer estas nuevas investigaciones?

¿Serán suficientes los instrumentos legados por el «ochociento»; como por ejemplo el termómetro, el calorímetro, el galvanómetro el electrómetro, el microscopio, el espectroscopio?

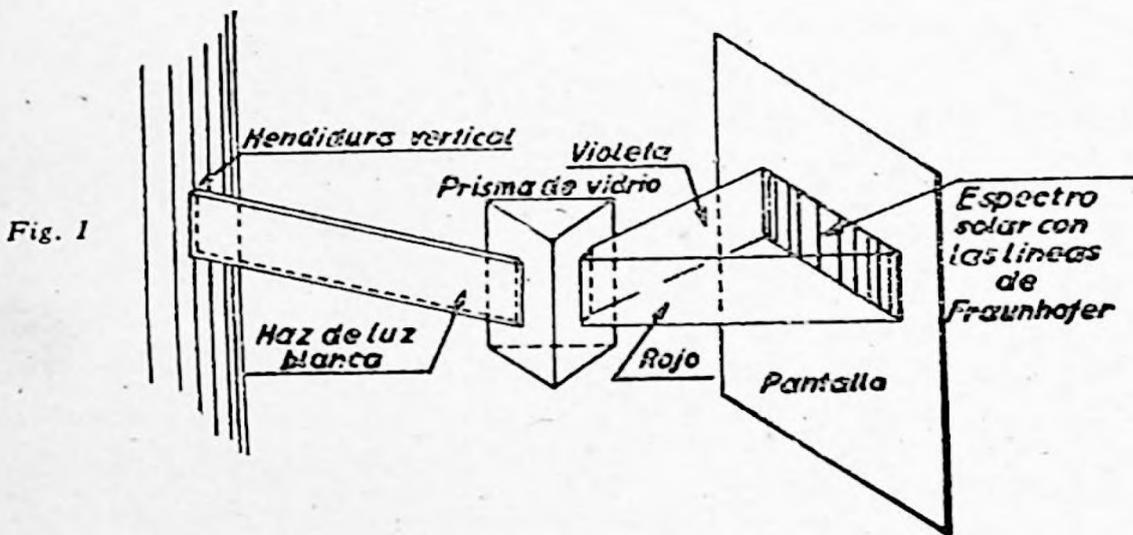
Tales instrumentos son insuficientes, el físico moderno deberá casi abandonar el termómetro y el calorímetro y deberá crear en vez otros dispositivos aptos al objeto perseguido, usufructuando de algunos de los instrumentos legados, como el galvanómetro, el electrómetro, el espectroscopio.

El primer problema que aborda el físico del «noveciento» es el de la emisión luminosa, y por esta razón el instrumento fun-

damental que usa es el espectroscopio en sus múltiples variedades.

¿Qué es en substancia un espectroscopio?

En la (Fig. 1) se ve la más sencilla disposición espectroscópica. Una estrecha abertura deja entrar, en una pieza oscura, un haz de rayos, por ejemplo solares. Este haz de luz atraviesa un pedazo de vidrio a sección triangular: el prisma.



Sobre una pantalla en vez de la imagen de la hendidura luminosa que se obtendría sin el prisma, se ve una faja diversamente coloreada de un extremo a otro. El rojo se encuentra de la parte de los rayos menos desviados, el violeta de la otra, en el medio se encuentran a continuación, el amarillo, el verde, el azul, etc.

El fenómeno es debido como se sabe al hecho que la luz solar está compuesta de luces de diversos colores y que cada color se separa de los otros por su diversa refrangibilidad en el vidrio del prisma.

Es debida a Newton la experiencia que ahora he expuesto, pero Newton y por muchos años sus sucesores, no tuvieron a su disposición sino el sol o la llama de la lámpara de aceite como fuentes de luz, en consecuencia la espectroscopia, que es en substancia la disciplina que estudia la composición de la luz emitida

por los cuerpos, no podía nacer antes que los físicos tuvieran (diría) la materia prima objeto del estudio.

Ya en el «ochociento» además de las llamas y del arco eléctrico, con el desarrollo de la técnica del vacío fué posible, la descarga eléctrica en el interior de tubos en las más variadas condiciones y el estudio del análisis espectroscópico de la luz emitida por cuerpos excitados de las maneras más diversas.

Y el análisis espectral ha dado resultados verdaderamente maravillosos.

En efecto se ha constatado que los cuerpos sólidos y líquidos incandescentes dan todos lugar a una sucesión continua de colores, que en cambio los gases y vapores excitados termicamente o por medio de la electricidad presentan una sucesión de colores discontinuo. En este último caso, si en lugar de la pantalla se coloca una placa fotográfica esta impresiona un espectro obscuro surcado de algunas rayas brillantes paralelas dispuestas diversamente una respecto de la otra y según sea la fuente luminosa que se considera.

En la (Fig. 2), se ven los espectros de *emisión* de los gases luminosos de algunos elementos, vaporizados en el arco eléctrico.

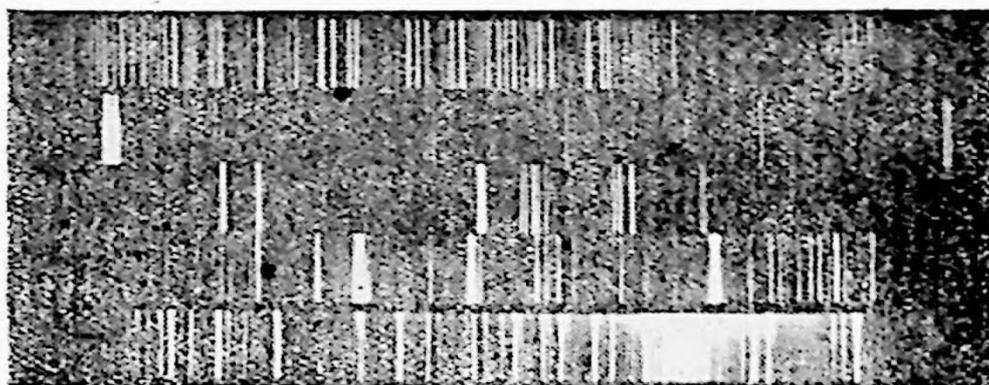


Fig. 2

Se ven las rayas luminosas en campo obscuro, características de cada elemento.

Naturalmente se trata de espectros discontinuos, porque se trata de vapores y no de cuerpos sólidos incandescentes.

La sucesión continua de colores o la serie de rayas coloreadas constituye el espectro de las radiaciones luminosas dado por las diversas fuentes, llamado «*espectro de emisión*» porque corresponde a la luz emitida por las diversas fuentes.

El espectro continuo de los cuerpos incandescentes depende sobre todo de su temperatura; su composición química tiene poca influencia, por esto el astrónomo que desde la tierra fotografía el espectro de la luz emitida por una estrella, puede deducir la temperatura de la estrella misma, como si la poseyera en su observatorio.

El espectroscopio adquiere entonces las funciones de un potente termómetro.

El espectro discontinuo de un elemento depende en parte del modo de excitación, sin embargo si la excitación permanece la misma, las sustancias simples emiten espectros diversos, que las caracterizan con extrema precisión.

Podemos entonces reconocer la naturaleza de los cuerpos que son volatilizados por la llama, en el arco, en la chispa.

Podemos distinguir por ejemplo el Litio, que excitado por una llama produce en el espectro de emisión una raya roja, del sodio que produce en cambio dos rayas amarillas.

Pequeñísimas cantidades de sustancia que no se pueden observar por los métodos químicos, son por el contrario puestas en evidencia por el espectroscopio.

El espectroscopio permite reconocer la presencia de un metal en una sustancia, basta hacer luminoso el vapor de la sustancia, y verificar si el espectro de emisión, contiene las rayas del metal que se busca; y la sensibilidad es fantástica, basta menos de un diezmillonésimo de un milígramo de sodio, para hacer aparecer la doble raya amarilla característica de este elemento.

El espectroscopio es entonces también un delicado y seguro instrumento de análisis químico.

Si delante de una fuente de luz que produce un espectro continuo, como por ejemplo el filamento de una lámpara eléc-

trica o el carbón de un arco voltaico, ponemos un vapor o un gas excitado, el espectro continuo de la fuente aparece surcado por rayas oscuras transversales.

Estas rayas oscuras se encuentran en la misma posición de las rayas luminosas que el gas o el vapor, produciría en el espectro de emisión, puesto que cada cuerpo absorbe las radiaciones luminosas que emite.

Colocando entonces delante de un cuerpo a espectro continuo, un gas o un vapor excitados, se obtiene la sucesión de los colores surcados por rayas oscuras.

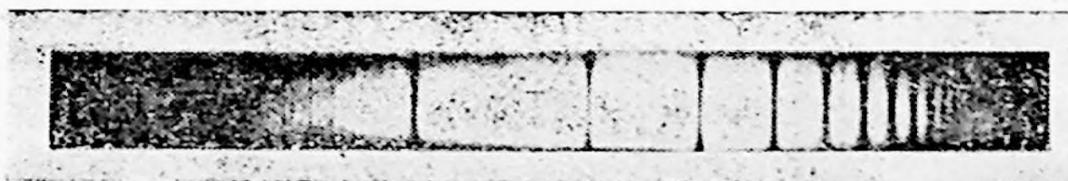
Se obtiene en otros términos lo que se llama «espectro de absorción», porque corresponde a la luz absorbida por los diferentes gases y vapores, que sirve para completar el análisis químico de dichos gases y vapores, si se quiere para mayor seguridad una confirmación del análisis obtenido con el espectro de emisión.

En la (Fig. 3), se ve el espectro de absorción del hidrógeno atómico. (Serie de Balmer).

El hidrógeno está puesto adelante de un cuerpo luminoso a espectro continuo.

Se ven las rayas oscuras de absorción, características de este elemento.

Fig. 3



Estas rayas se encuentran en la misma posición de las rayas luminosas que produciría el hidrógeno en el espectro de emisión.

Muchos cuerpos celestes son incandescentes, y rodeados perennemente por vapores y gases luminosos.

El espectro continuo de estos cuerpos celestes está surcado por numerosas rayas oscuras de absorción, que revelan al as-

trofísico la composición química de estas estrellas, como si fueran analizadas en un laboratorio de química; estas investigaciones maravillosas fueron iniciadas por el astrofísico italiano Donati y continuadas después por el Secchi.

Por ejemplo en el espectro solar, con los diferentes colores rojos, anaranjado, amarillo, verde, azul, violeta, encontramos también numerosas rayas oscuras llamadas rayas de Fraunhofer, que nos demuestran la existencia en la atmósfera incandescente del sol de los varios elementos definidos por las rayas mismas.

Muchísimos son hasta ahora los elementos comprobados, entre ellos el calcio, el fierro, el niquelio, el aluminio, la plata, el zinc, el cobre, el oxígeno, el nitrógeno, el hidrógeno y el helio, todos elementos conocidos en origen sobre la tierra excepto el helio.

El nombre mismo, tomado del griego «elios» indica el origen.

Fué en efecto durante el eclipse solar del 1868 que se evidenció la presencia de una raya que no se pudo identificar con la de ningún otro elemento conocido sobre la tierra, y sólo en el 1895 el Ramsay experimentando sobre la cleverite (un mineral de Urano de la Groenlandia) consiguió extraer un gas que presentaba en el espectro la misma raya en la misma posición de la raya del helio.

Dado que ningún otro elemento terrestre entonces conocido presentaba un espectro de idénticas características el Ramsay dedujo que se trataba de un nuevo elemento y lo llamó Cripto. Fué Crookes que reconoció la identidad entre el Cripto (terrestre) y el Helio (solar).

Así el helio pudo entrar a hacer parte del sistema de los elementos; y con el análisis expectral se pudo obtener una confirmación más de la unidad de la composición del universo.

Muchas propiedades de los átomos y de las moléculas se pueden deducir del estudio de las radiaciones luminosas. Se puede decir por ejemplo si el centro emisor es simple o ligado en

moléculas, si es neutro o si ha perdido cargas eléctricas, se puede también contar el número de las cargas eléctricas negativas elementales que él ha perdido.

Además las rayas emitidas por una fuente que se encuentra bajo poderosas fuerzas eléctricas o magnéticas son profundamente modificadas.

Por ejemplo, en la (Fig. 4), se ven las modificaciones de las rayas por efecto de un campo eléctrico: en este caso de 1,6 millones de Volts/centímetro.

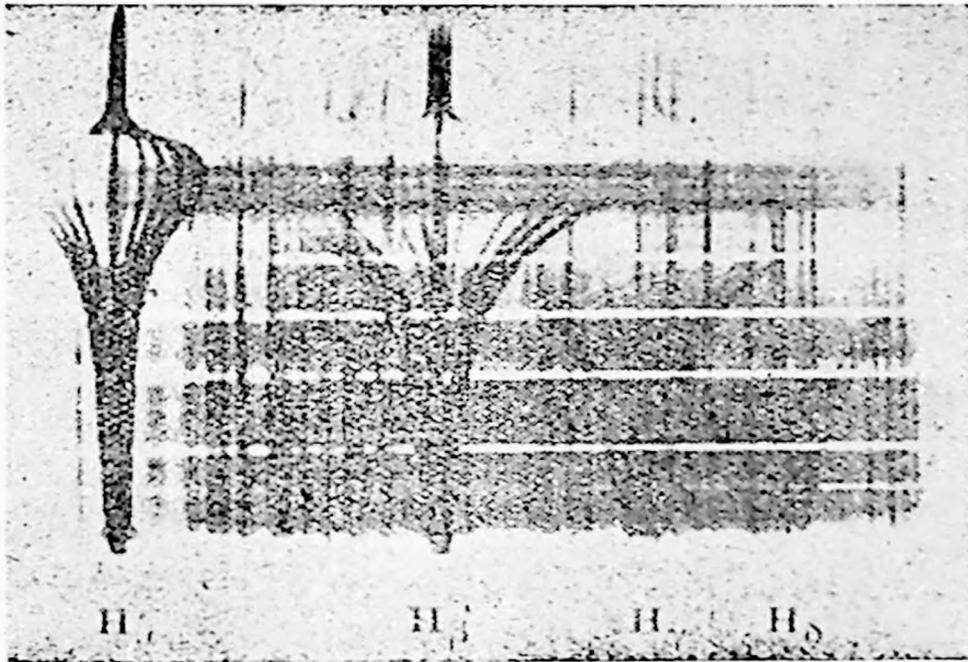


Fig. 4

Las rayas $H\alpha$ $H\beta$ $H\gamma$ $H\delta$ son las del hidrógeno. Se ve que mientras la $H\alpha$ existe también en los campos más elevados, las otras rayas cesan progresivamente de existir con el aumentar del Campo.

Entonces en base a la observación de estas modificaciones el físico puede argumentar la presencia de campos eléctricos o magnéticos, y el astrofísico pudo relevar la existencia de poderosos campos magnéticos en las manchas solares.

Con el espectroscopio podemos también saber si los centros luminosos están en reposo o en movimiento, y cuando se mueven que velocidad poseen.

El efecto del cual se hace uso en este caso es el mismo por el cual un observador o mejor un oyente, parado en un punto oye un sonido de una fuente sonora en movimiento más agudo cuando ella se acerca, y más bajo cuando ella se aleja.

Esto es lo que se llama efecto Doppler.

Una fuente luminosa en movimiento aparece diversamente coloreada por un observador parado; es decir sobre la placa fotográfica, en tal caso se registra una raya desplazada respecto a aquella que es característica de la fuente en reposo.

Del desplazamiento de esta raya se obtiene con un sencillo cálculo la velocidad de la fuente emisora.

Esto sirve para reconocer en laboratorio la velocidad de las partículas luminosas proyectadas a alta velocidad en los tubos a vacío y al astrofísico sirve para medir la velocidad con la cual se acercan o se alejan de la tierra ciertos cuerpos celestes.

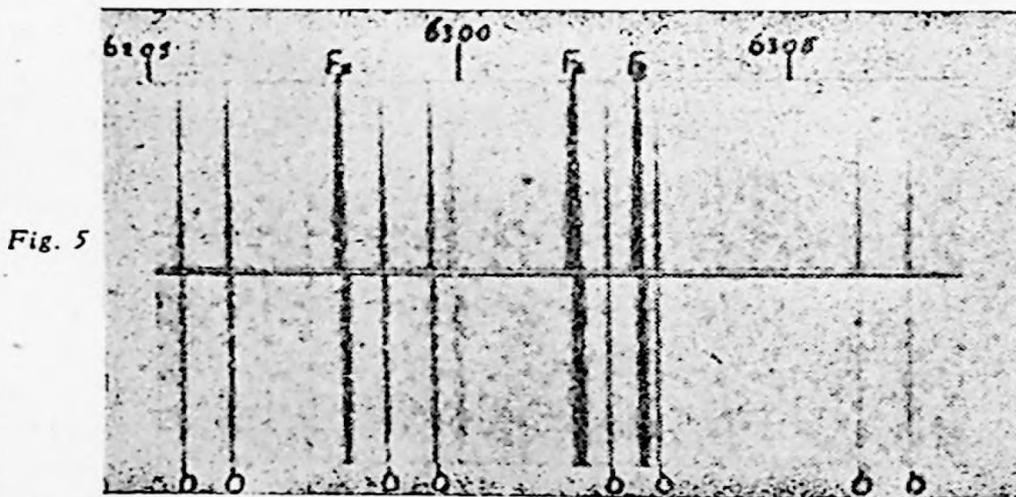


Fig. 5

Por ejemplo: los dos espectros representados en la (Fig. 5), son debidos a la luz recibida por los dos bordes del sol oriental y occidental; en un caso la fuente de luz se acerca a la tierra, por efecto de la rotación del sol, mientras en el otro se aleja, en los dos casos la luz ha atravesado la atmósfera terrestre y ciertas rayas en el espectro se deben a la absorción del oxígeno atmosférico tales rasgos quedarán en la misma posición dado que la atmósfera terrestre no se mueve respecto a la tierra.

Los dos espectros están situados uno al lado del otro de modo que las

rayas de absorción del Oxígeno terrestre se encuentren en correspondencia, y por lo tanto las longitudes de onda iguales en los dos espectros ocuparán exactamente las mismas posiciones; se observa entonces que las otras rayas no están exactamente sobrepuestas; estas últimas son debidas a la absorción de los vapores de fierro en la atmósfera solar.

La diferencia en la posición se debe al efecto Doppler del cual he hablado antes, porque las rayas espectrales resultan desplazadas hacia el violeta (correspondiente al sonido más agudo) en el caso de la luz proveniente del borde solar que se acerca; y hacia el rojo (correspondiente al sonido más bajo) en el otro caso.

La presencia de las rayas del oxígeno facilita la comparación de los dos espectros.

Las medidas astrofísicas de esta naturaleza no dependen de la distancia de la fuente de luz, por consiguiente el estado actual de la física en este campo de investigaciones se encuentra en una situación bastante rara, o sea mientras la mayor parte de las estrellas es demasiado lejana para que los movimientos transversales puedan ser observados y medidos mediante variaciones de ángulos se pueden en cambio medir con fuerte precisión los movimientos de alejamiento y acercamiento que a primera vista parecerían de mucho más difícil medida.

Se ha encontrado después que las nebulosas lejanas o por lo menos aquellas que en el estado actual de la ciencia y de la técnica telescópica y espectroscópica se han podido observar, se alejan todas de la tierra; y además cuanto mayor es su distancia, tanto mayor resulta su velocidad de alejamiento, de este hecho ha tomado origen la concepción modernísima de la «expansión del universo».

Se ha verificado además, siempre por medio del efecto Doppler que muchas estrellas se acercan y se alejan con intervalos de tiempo iguales, lo que hace suponer que cada una de ellas tiene un centro obscuro alrededor del cual gira.

Estos simples datos de las aplicaciones astrofísicas de la espectroscopia, además de ser tan sugestivos, creo que demuestran

claramente qué riqueza de informaciones nos puede dar el análisis espectroscópico de la luz proveniente de las diferentes partes del Universo.

Después de todo, nosotros tenemos conocimiento del Universo que nos rodea porque la infinidad de astros perdidos en la inmensidad del espacio, emiten radiaciones también visibles y es la luz que llega a nosotros la que nos da la posibilidad de tener, diría, la sensación del universo.

Pero la simple visión aunque nos dé una sensación maravillosa, especialmente en una bella noche de cielo estrellado, no nos da una noción diría cuantitativa, como está en grado de darnos por el contrario, aquel maravilloso aparato que es el espectroscopio.

El espectroscopio con prisma de vidrio no puede servir para las radiaciones que se extienden más allá del rojo (ultrarrojas) o para aquellas que se extienden más allá del violeta (ultravioletas) porque el vidrio no las deja pasar.

Para el estudio de estas radiaciones es necesario substituir al vidrio el salgema en el primer caso y el cuarzo en el segundo.

Además del prisma, se tiene otro medio para la dispersión de la luz, con el cual se obtienen resultados mejores: el retículo.

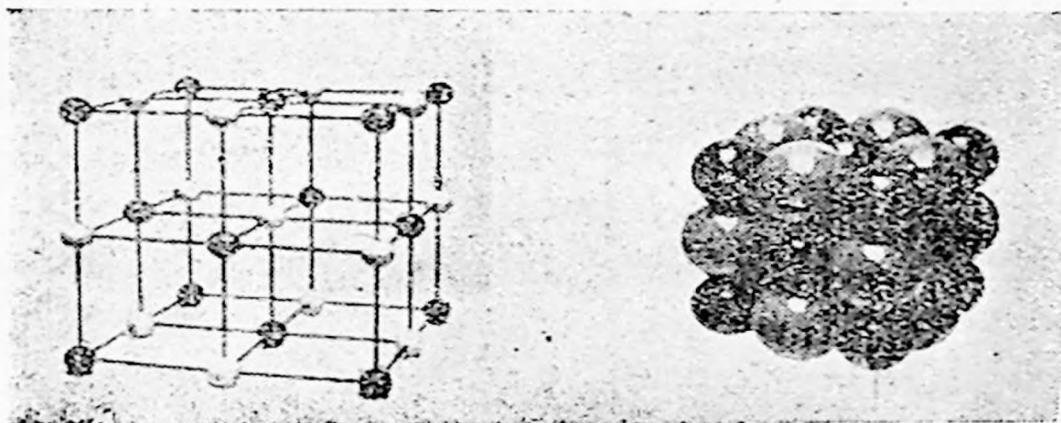
Este consiste en una superficie plana o cóncava de metal o de vidrio finamente estriada, por medio de una máquina a dividir de precisión extrema; los surcos que se tienen en un buen retículo son de 10,000 a 20,000 trazas por cm.

Con el descubrimiento de los rayos X que en la propagación son de naturaleza ondulatoria transversal electromagnética como la luz, la espectroscopia ha extendido su campo de acción.

Los rayos X descubiertos por Rongten en el año 1895, se obtienen lanzando un haz de partículas negativas (electrones) contra un bloque metálico. Ellos, como es conocido pasan con facilidad a través de la materia a causa de su elevada frecuencia y modifican el estado eléctrico de átomos y moléculas.

Pero si los rayos X fueron descubiertos en el año 1895, como he dicho, el análisis espectroscópico de estas radiaciones nació solamente en el año 1912.

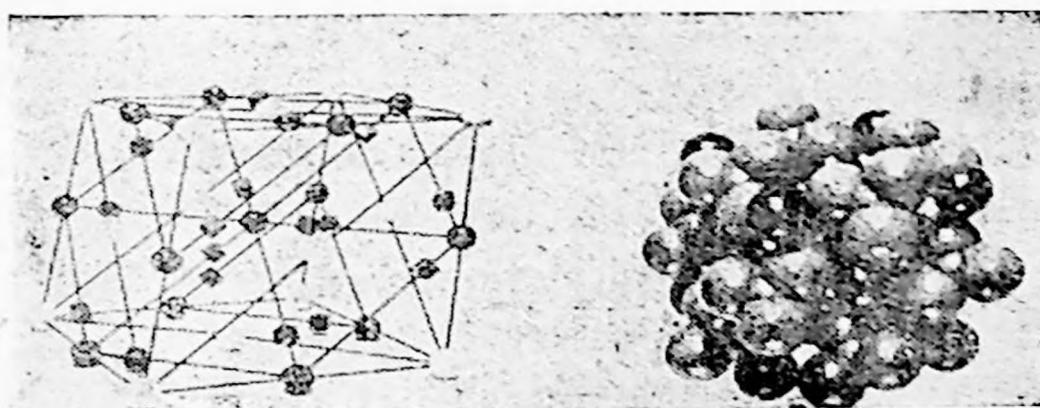
Fig. 6



En la (Fig. 6), a la izquierda se representa la estructura del Salgema (Na Cl): las bolitas blancas representan los átomos de Sodio (Na) (o Cl) las negras representan los átomos de Cloro (Cl) (o Na). Las distancias entre dos iones vecinos es de $2,81 \text{ \AA}$ es decir $2,81$ un diez millonésimo de mm .

La figura a la derecha representa el Salgema (NaCl) con esferas en contacto, para indicar la región ocupada por cada ion en la estructura cristalina. Esferas negras (Na) blancas (Cl).

Fig. 7



En la (Fig. 7), a la izquierda se representa la estructura de la Calcite (CaCO_3): bolitas blancas (Ca), negras (C), los cubitos (O).

La distancia entre los centros de los átomos de (O) y (Ca) es $2,3 \text{ \AA}$, y la entre dos átomos de (O) es de $2,55 \text{ \AA}$. La figura a la derecha indica la región ocupada por cada ion.

En efecto analizar estas radiaciones con un prisma no es posible, porque ellas no sufren la refracción; también un retículo óptico es poco apto para dispersarlas; para obtener esto se necesita un retículo que no sea trazado sobre vidrio o metal por una máquina guiada por el hombre; sino que es necesario algo más delicado y perfecto, dada la elevadísima frecuencia de los rayos X; un retículo creado por la divina mano de la naturaleza.

¿Existe tal retículo?

Fué en 1912 que el Laue hizo el maravilloso descubrimiento de la difracción de los rayos X con un cristal.

Este descubrimiento dió entre lo demás, la posibilidad de poner en relieve la naturaleza ondulatoria de los rayos X y de reconocer a los rayos X la misma naturaleza de la luz, que anteriormente no se había podido aún verificar.

El retículo entonces apto para los rayos X es un cristal.

En un cristal los átomos se disponen en los vértices de poliedros elementales.

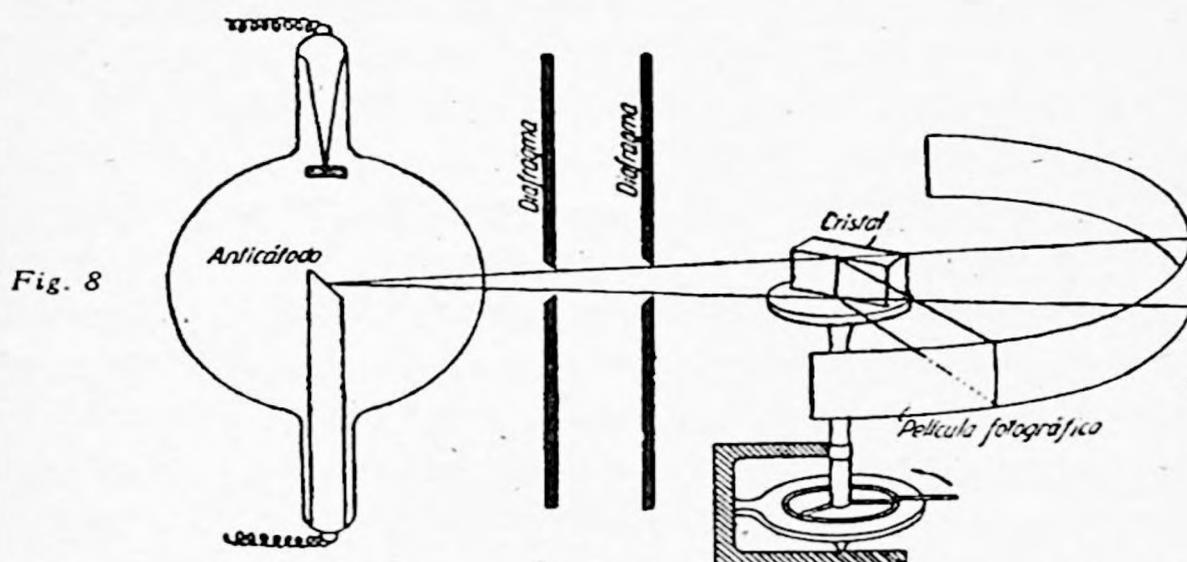
Esta disposición de los átomos en el cristal da la posibilidad al cristal de actuar en el mismo modo de los retículos de difracción fabricados artificialmente y usados para la luz.

Solamente que en el caso del retículo artificial las trazas pueden ser, como hemos dicho al máximo 20,000 por cm. o sea la distancia entre una traza y la otra puede ser al mínimo de $5/100,000$ de cm., y esta distancia no es absolutamente posible disminuirla por razones técnicas bien evidentes, en el caso en cambio del cristal la distancia se puede considerar del orden de $3/100,000,000$ de cm.

O sea, cuando un cristal es herido por los rayos X tiene la posibilidad de hacer sufrir la difracción a estos rayos, aunque de frecuencias elevadísimas, separando las diversas frecuencias.

Por esto un espectrógrafo para rayos X se puede considerar un espectrógrafo a retículo para las radiaciones luminosas, solamente que en lugar del retículo se pone el cristal.

La (Fig. 8), muestra la disposición esquemática del tubo productor de los rayos X y del espectrómetro.



El cristal está fijado a la plataforma giratoria; los rayos X llegan al cristal a través de dos hendiduras en dos diafragmas de plomo, y los rayos reflejados vienen fijados fotográficamente en una película circular.

También con los rayos X obtenemos un espectro continuo y un espectro discontinuo representado por rayas paralelas y dispuestas en modo diferente según el elemento del cual provienen. O sea, ellas caracterizan el elemento que las produce, mientras el espectro continuo depende sólo de las condiciones de excitación, esto es de la energía de las partículas usadas para bombardear a la materia.

Los espectros para rayos X son mucho más sencillos que los espectros luminosos; estos se componen de centenares y a veces de millares de rayas, en cambio los espectros para rayos X están formados por un pequeño número de rayas que se pueden agrupar en pocas series.

Sobre el espectro continuo se revelan entonces en la fotografía, rayas bien definidas que han constituido el objeto de un estudio sistemático maravilloso por parte de Moseley que ha determinado la ley que une la variación de la frecuencia de una raya dada con el variar del elemento.

Moseley ha podido entonces con este maravilloso aparato de la física del noveciento, que es el espectógrafo para rayos X, consolidar el sistema periódico de los elementos con bases teóricas y experimentales que antes de sus investigaciones podía considerarse sólo una divinación del Mendeleieff.

El espectro de los rayos X es determinado por el número atómico e inversamente, dado el espectro, se puede deducir el número atómico de un modo infalible: el espectro de los rayos X basta por sí solo para la determinación precisa de un elemento y para la determinación de su puesto en la clasificación periódica, este puesto coincide con el definido por las propiedades químicas del elemento mismo.

Hemos visto entonces que espectro óptico, o espectro de rayos X o espectro de radiaciones en general, significa una sucesión de rayas paralelas sobre una plancha fotográfica o sobre una pantalla o sobre un campo visivo de un ocular representando con su posición recíproca las diferentes frecuencias de la vibración de la radiación.

Pero el físico del noveciento no debe estudiar sólo las radiaciones: como he indicado al comienzo de esta memoria, debe también ocuparse de los corpúsculos elementales cargados de electricidad que constituyen la materia y que pueden ser extraídos de la materia y lanzados en el espacio con fuerte velocidad.

Son, en efecto, las ondas y los corpúsculos que caracterizan las investigaciones científicas modernas.

Se poseen varias disposiciones experimentales que permiten separar de la materia corpúsculos cargados de electricidad.

La descarga eléctrica que se produce en un tubo de vidrio en el cual la presión es suficientemente reducida, desprende del electrodo negativo corpúsculos cargados de electricidad negativa cuya masa es 1845 veces más pequeña de aquella del átomo de hidrógeno.

Son aquellos mismos electrones que como hemos dicho

chocando contra un obstáculo producen los rayos X. Ellos constituyen los llamados rayos negativos o catódicos.

Si el electrodo negativo del tubo descrito es perforado, mientras el tubo funciona, en la región a él retrostante, vienen proyectados átomos o moléculas del gas residuo cargados de electricidad positiva. Ellos constituyen los llamados rayos positivos o canales.

Además muchos otros procedimientos se pueden utilizar para producir los rayos catódicos (electrones más o menos veloces): Otros métodos han sido inventados para producir los rayos canales (fragmentos de materia dotados de carga eléctrica más o menos veloces).

Ciertas substancias, las radioactivas, expelen espontáneamente electrones velocísimos que constituyen los llamados rayos beta, y también átomos de helio con dos cargas positivas elementares que constituyen los llamados rayos alfa.

En los procesos, después de desintegración artificial de la materia, los átomos son descompuestos en parte y también aquí se tiene la emisión de corpúsculos cargados de electricidad.

La espectroscopia óptica y por rayos X no nos puede decir casi nada respecto de la carga, de la masa y de la velocidad de estos corpúsculos, porque ella no tiene poder sobre los cuerpos no luminosos; y los electrones por ejemplo cuando son extraídos de los átomos, pierden toda capacidad de emitir luz; la vuelven a adquirir sólo cuando vuelven sobre un átomo o molécula.

Estas partículas entonces, y en particular su carga, su masa y su velocidad, deben ser estudiadas en modo especial; el físico para estas investigaciones debe dejar el espectroscopio de los rayos luminosos y X y crear una nueva espectroscopia que sea apta para estudiar, analizar la carga, la masa, y la velocidad de los rayos corpusculares.

Ahora, en el mismo modo en el cual se registraban sobre

una plancha fotográfica las diversas frecuencias de una vibración luminosa o X, por analogía si sobre una plancha fotográfica registramos trazas lineales paralelas producidas por partículas de igual masa e igual carga eléctrica pero de diferente velocidad tendremos un *espectro de velocidad*.

Si sobre una plancha registramos trazas lineales paralelas debidas a partículas de igual velocidad, de igual carga eléctrica y masa distinta, tendremos un *espectro de masa*.

Para su registro podemos siempre recurrir a la plancha fotográfica, porque por fortuna ella es sensible tanto si es golpeada por la luz y rayos X, como si es bombardeada por partículas dotadas de energía cinética suficiente.

Pero el principio de dispersión no puede quedar lo mismo que para la luz y los rayos X, por cuanto que la refracción y la difracción no se prestan para la separación de corpúsculos.

El problema en definitiva se reduce a estudiar la disposición apta para dispersar corpúsculos que están animados por un movimiento rectilíneo y velocidad considerable, y que están dotados de carga eléctrica.

Por esto esta dispersión se obtendrá por medio de campos eléctricos y campos magnéticos.

Una partícula positiva por ejemplo, que penetre en el espacio comprendido entre dos planchas de metal, cargadas la una de electricidad positiva y la otra de electricidad negativa, es atraída por esta última plancha, y si la partícula positiva se desplace en ausencia del campo eléctrico con movimiento uniforme, recorre en el campo una trayectoria igual a aquella de un proyectil que sale del cañón de un fusil y está sujeto a la fuerza del campo gravitacional de la tierra, esto es un arco de parábola.

Ella por tanto se desvía de la línea recta sobre la cual estaba encaminada y se aparta tanto más cuanto más fuerte es la acción del campo eléctrico al cual está sometida; en igualdad de campo es tanto más desviada cuanto más pequeña es su velocidad y cuanto más pequeña es su masa.

Un haz de partículas de distinta masa, carga y velocidad idénticas, sale entonces del campo eléctrico dividido en sus componentes de distinta masa; un haz de partículas de distinta velocidad y carga, y masa idénticas, sale en cambio desde el campo eléctrico dividido en sus componentes de diferente velocidad.

Un corpúsculo positivo, que está proyectado en línea recta o lanzado sobre una curva, equivale a un conductor recorrido por corriente eléctrica en el mismo sentido del movimiento del corpúsculo y que tiene la forma de su trayectoria.

Si tal conductor «sui generis» es introducido entre los polos de un electroimán, se desvía en la dirección ortogonal a la dirección de las líneas de fuerza del campo.

Así hace también el corpúsculo positivo que atraviesa el campo magnético.

También en este caso el desplazamiento de la partícula de su trayectoria normal depende de la intensidad del campo, pero con igualdad de dicha intensidad, el desplazamiento es tanto mayor cuanto más pequeña es la velocidad de la partícula y cuanto más pequeña es su masa y más alto el valor de su carga eléctrica.

Creo haber ya preparado el terreno para comprender el principio fundamental sobre el cual se basan los espectrógrafos de velocidad y de masa.

Los espectrógrafos de velocidad y de masa están constituidos o con el solo campo eléctrico, o con el solo campo magnético, o con los dos a acción combinada.

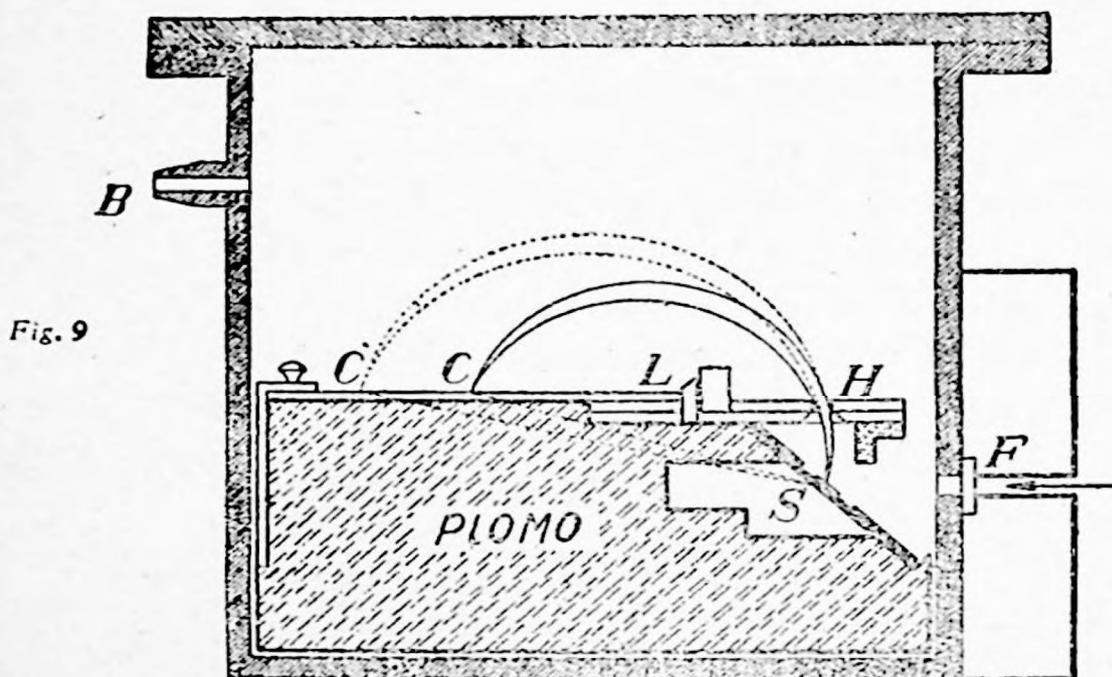
La (Fig. 9), representa la disposición de De Broglie para obtener los espectros de velocidad. A través de la abertura F, cubierta por una delgada hoja de Al entra en el interior de la caja un haz de rayos X monocromático.

Este bombardea una hoja metálica S, y esta por efecto del bombardeo, emite electrones.

Un fuerte campo magnético perpendicular al dibujo hace doblar los electrones que salen de S según arcos de circunferencia.

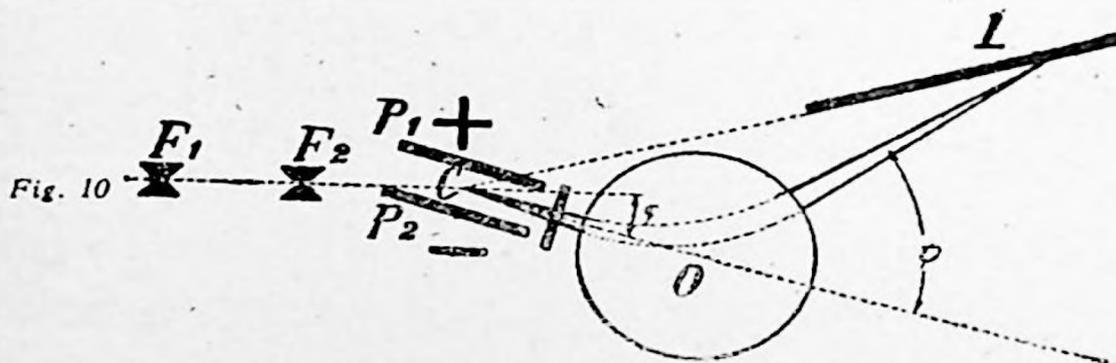
Los electrones que así pasan a través de la hendidura H, llegan a una

placa fotográfica en los puntos C o C' según su velocidad inicial. Se obtienen así sobre la placa fotográfica rayas, por medio de las cuales se puede determinar la velocidad de los electrones.



La raya C' corresponde a electrones de mayor velocidad que los correspondientes a la raya C.

La (Fig. 10) representa la disposición de Aston para obtener los espectros de masa. Los rayos positivos (materia cargada de electricidad) atraviesan las hendiduras F1 y F2 y penetran en el campo eléctrico producido por el condensador P1 -P2 y son desviados.



Son desviados también por un campo magnético de centro O en manera que (si aun tienen velocidades diferentes) (si tienen la misma masa) llegan a la placa fotográfica L en un único punto. Se obtienen así diversas rayas

sobre la placa fotográfica correspondientes a los corpúsculos de diversas masas. Por medios de estas rayas que corresponden al espectro de masa se puede determinar la masa de los varios corpúsculos.

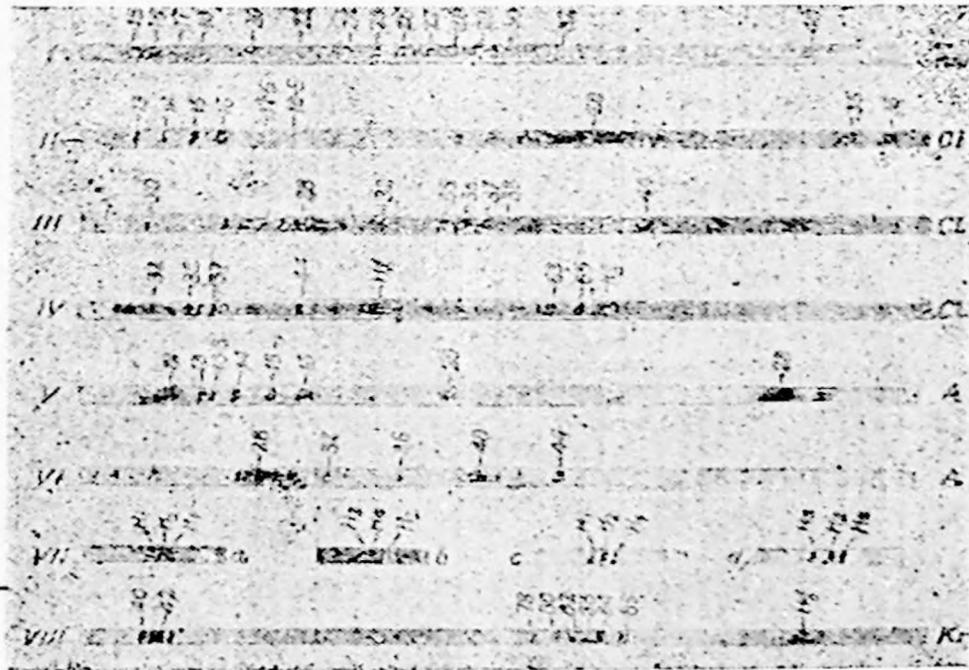
El Aston así ha demostrado que casi todos los elementos que se consideraban simples no son tales, pero resultan de la mezcla de átomos de distinto peso.

Esto se lee en los llamados espectros de masa.

El litio por ejemplo que tiene el peso, 6,94 unidades es la mezcla de dos individuos uno con peso 6 y el otro con peso 7, mezclados en diferente proporción.

Así varios experimentadores han verificado que uno sobre 4,000 átomos de hidrógeno no pesa 1 unidad, sino el doble.

Fig. 11



La (Fig. 11) representa los espectros de masas del Neon, Cloro, Argon, Kriptón, hidrógeno, Helio: los números representan las masas registradas.

El nuevo hidrógeno no hay naturalmente que confundirlo con la molécula del hidrógeno que pesa también dos unidades, porque ésta contiene dos electrones, mientras el hidrógeno

atómico de peso dos, contiene un solo electrón superficial como el otro.

Recientemente se ha confirmado la existencia también de un hidrógeno de peso tres.

La precisión además que se puede obtener con el espectrógrafo de masa es muy notable porque el peso de los nuevos átomos que pueden ser evidenciados por el espectrógrafo de masa y que como es conocido toman el nombre de isótopos, es dado con la precisión de 1 sobre 10,000.

Se ve así que el espectrógrafo que en la antigua forma ha sido un termómetro, y ha demostrado ser un delicado y seguro instrumento de análisis químico, en la nueva forma se ha vuelto en un preciso medidor de velocidad, y en una balanza de extrema sensibilidad y precisión.

Pero el físico del novecientos no se contenta con medir la masa y la velocidad de los corpúsculos que son el objeto de su estudio, quiere verlos, quiere verlos en su movimiento, ver su trayectoria, ver lo que sucede cuando uno de estos corpúsculos choca con otro.

No podemos ver los átomos al microscopio porque son demasiado pequeños; ¿cómo es posible entonces ver por ejemplo electrones en movimiento, electrones que como ya hemos dicho tienen una masa 1845 veces más pequeña que el más liviano de los átomos, que el átomo de hidrógeno?

Cuando una partícula atraviesa a gran velocidad un gas, ella provoca sobre su camino una cantidad de desastres; rompe moléculas, desprende cargas eléctricas, en una palabra «ioniza el gas».

Ahora existe un hecho muy interesante. Si sucede una disminución de presión en un recipiente que contiene aire húmedo u otro gas húmedo, el vapor de agua se condensa, y se condensa de preferencia sobre partículas de gas ionizadas.

Ahora si el gas está ionizado sólo a lo largo de una delgada

línea, la condensación tiene lugar solamente a lo largo de esta línea, y ella bajo una intensa iluminación aparecerá como un hilo blanco sobre un campo obscuro.

La (Fig. 12) representa la cámara de Wilson. En substancia se trata de un émbolo que puede moverse en el interior de un cilindro, en el cual las paredes son transparentes. Un rápido descenso de este émbolo produce las condiciones necesarias para la condensación.

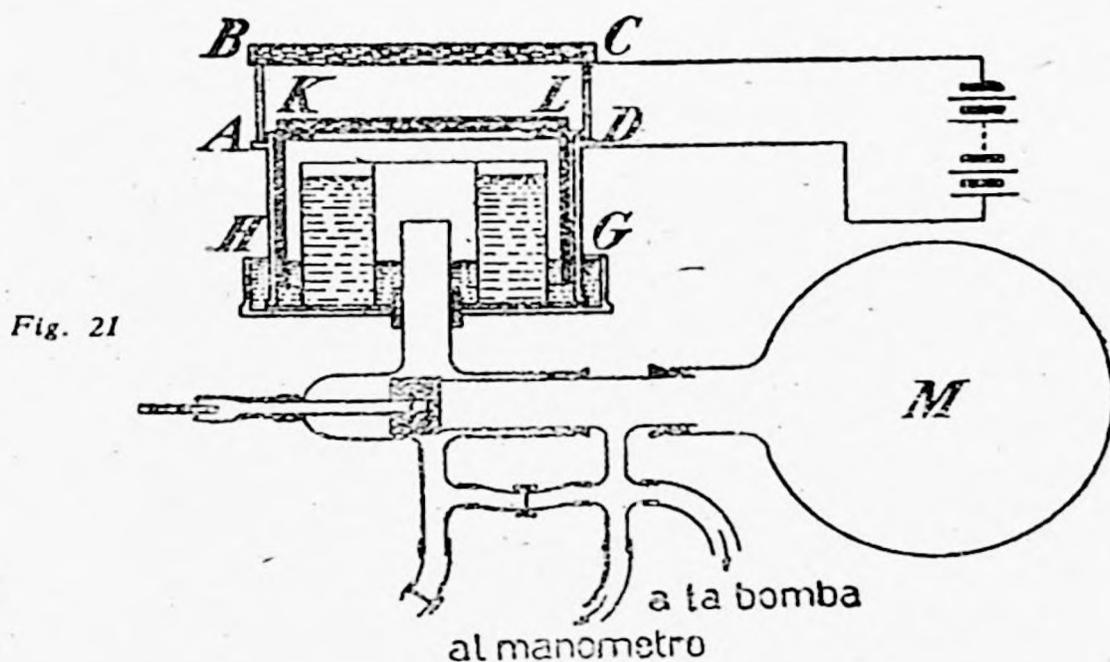


Fig. 21

A B C D es el cilindro de vidrio (cámara de condensación)
H K L G es el émbolo.

La expansión se obtiene cuando se pone en comunicación el espacio debajo del émbolo con el recipiente M en el cual la presión ha sido convenientemente reducida.

Con una máquina fotográfica se pueden así fotografiar las trazas de neblinas producidas o por partículas alfa (partículas de helio veloces) o por partículas beta (electrones rápidos) o por electrones más lentos arrancados de un cuerpo por efecto del bombardeo de radiaciones electromagnéticas; trazas de neblina que representan la trayectoria de estas partículas, en cuanto la neblina se produce como he dicho donde se ha verificado la

ionización, esto es donde el haz de las partículas mismas ha pasado.

Las trayectorias son distintas por aspecto y longitud según la masa de las partículas que ha ionizado el gas y según su velocidad inicial.

Existen relaciones precisas para deducir la velocidad y la masa de las partículas en función de la longitud de la trayectoria.

Creo oportuno añadir algunas fotografías obtenidas por medio de la Cámara de Wilson, porque me parecen muy interesantes.

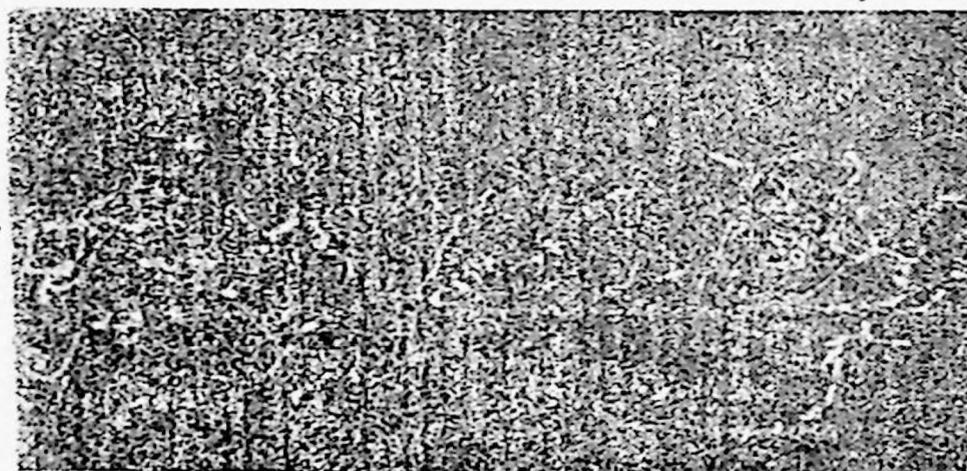


Fig. 13

La (Fig. 13) representa la ionización del aire por efecto de los rayos X: se ven las trayectorias de los electrones producidos.

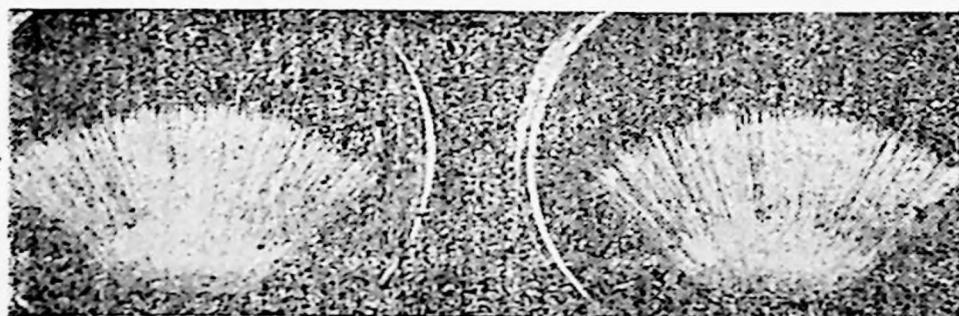
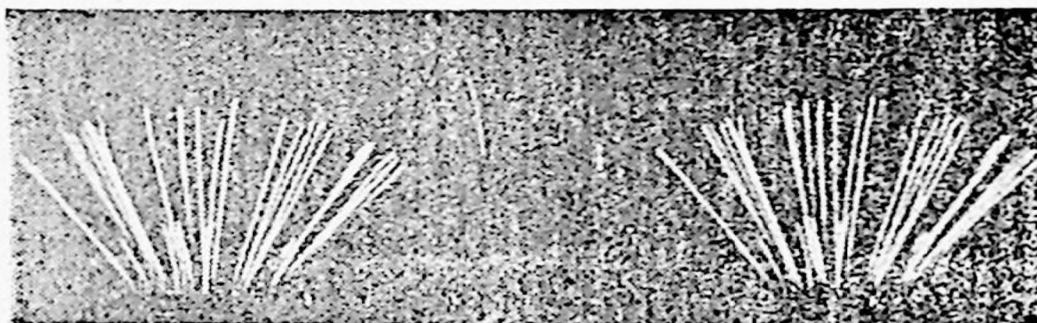


Fig. 14

La (Fig. 14) representa trayectorias de rayos (alfa) emitidos por el (Thorio B+C+C'):

Se ve un rayo de mayor longitud que los otros.

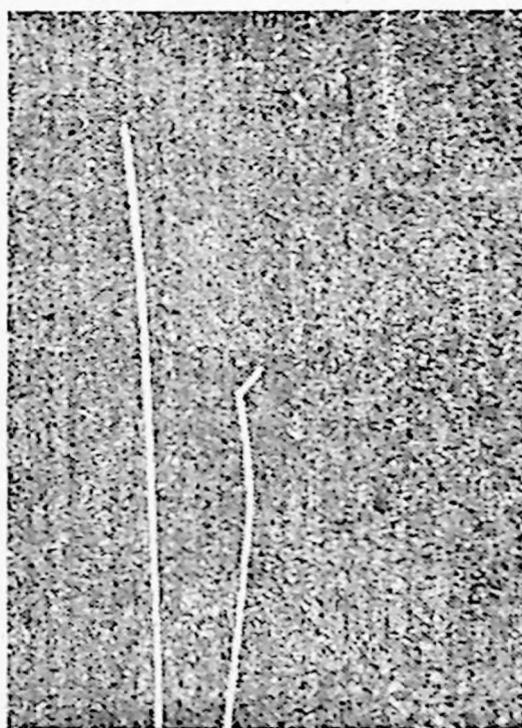
Fig. 15



La (Fig. 15) representa trayectorias de rayos (*alfa*) emitidos por el (*Thorio B+C+C'*).

Se ven dos grupos de trayectorias de longitud diferente.

Fig. 16



La (Fig. 16) representa la ampliación de una trayectoria de partícula (*alfa*) que muestra la desviación de la partícula después de un choque. Se ven también la traza del átomo que ha rebotado.

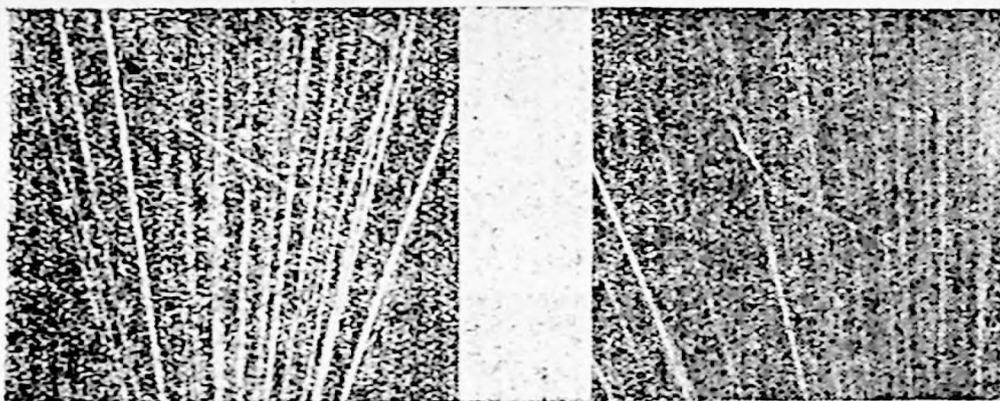


Fig. 17

La (Fig. 17) a la izquierda representa el choque elástico entre una partícula (*alfa*) y átomos de hidrógeno; y a la derecha representa el choque elástico entre una partícula (*alfa*) y átomos de nitrógeno.

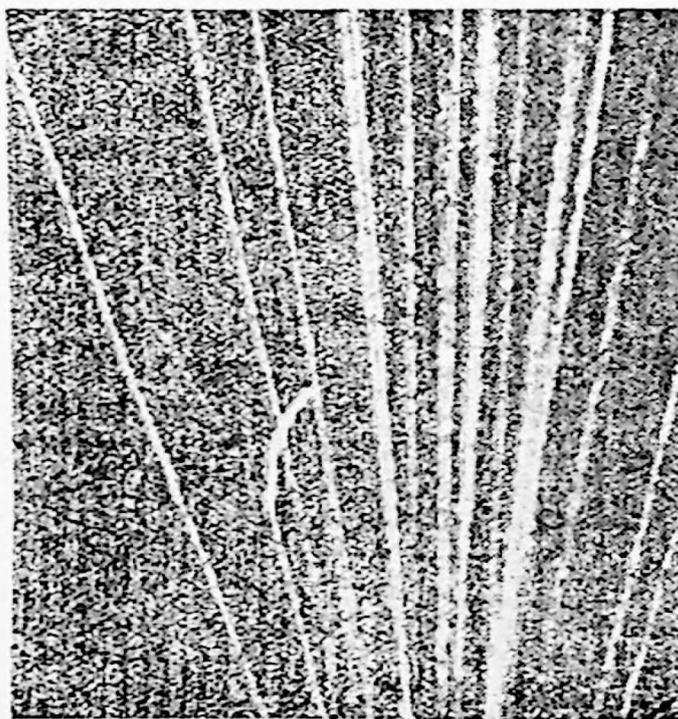


Fig. 18

La (Fig. 18) representa el choque entre una partícula (*alfa*) y un átomo de Nitrógeno con desintegración de este último. La trayectoria delgada y larga corresponde a la del proton expulsado del nitrógeno, la trayectoria breve y gruesa es del Oxígeno diecisiete.

El incontentable físico del novecientos, que especialmente por los profanos es considerado un teórico y un filósofo naturalista poco apegado a la realidad, no estima suficiente determinar experimentalmente la masa de las partículas que constituyen la materia y que salen de ella por efecto de las más variadas excitaciones, no estima suficiente determinar la velocidad, ver su trayectoria; quiere contarlas. Y le resulta.

Si las partículas en examen chocan contra una pantalla fluorescente con el microscopio se puede observar un puntito luminoso allá donde la partícula ha chocado la pantalla; pero se posee otro método mucho más usado en cuanto que permite registrar el efecto.

Si las partículas llegan al interior de un recipiente metálico que contenga un gas a presión conveniente, cada partícula que entra en el recipiente produce una ionización del gas como en la cámara de Wilson. El gas no ionizado es un mal conductor, pero apenas contenga centros cargados, se transforma en buen conductor; si entre las paredes entonces del recipiente y otro electrodo central se establece una diferencia de potencial conveniente, en el momento de la ionización se tiene una corriente eléctrica que se puede observar con un galvanómetro o también por una variación de tensión por medio de un electrómetro.

Las desviaciones de los equipajes de tales instrumentos podrán con simple artificio óptico ser registrados sobre un film que se mueve a velocidad conocida.

Las corrientes que se obtienen en las cámaras de ionización de los contadores son siempre demasiado débiles, es necesario ampliarlas con amplificadores a válvulas que se usan en la radio, entonces si a la salida del amplificador se pone un alto parlante, la corriente de ionización de la partícula que atraviesa la cámara de ionización del contador se transforma en sonido.

Si un contador de Geiger está dotado de un amplificador y altoparlante y es en presencia de un preparado radioactivo también débil, da lugar a un bien nutrido tiroteo; son los rayos

gama emitidos por el preparado que producen la ionización, y por consiguiente el sonido en el altoparlante.

Los rayos gama son la consecuencia de la desintegración de un átomo de radio.

La (Fig. 19) representa un Contador de partículas a hilo de Geiger y Müller.

Esto sirve bien para la enumeración de electrones veloces.

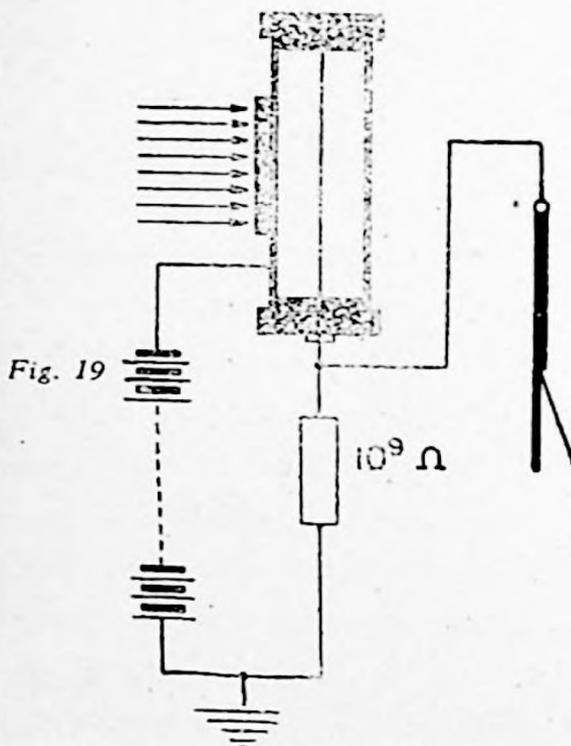
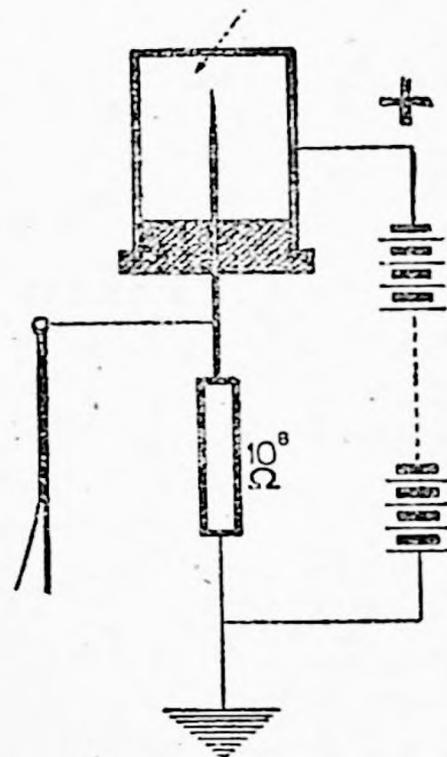


Fig. 20



La (Fig. 20) representa un Contador de partículas a punta de Geiger y Klemperer.

Esto sirve bien para la enumeración de corpúsculos materiales.

Se podría entonces decir que el ruido del altoparlante corresponde al ruido que produce un átomo cuando se rompe desintegrándose.

* * *

He buscado de exponer de un modo sencillo los instrumentos usados por el físico moderno para sus investigaciones y creo haber dado una idea del valor y de la potencia actual de la investigación física.

Los espectroscopios y los espectrógrafos para las radiaciones electromagnéticas, los espectrógrafos de velocidad y de masa, la cámara de condensación y los contadores de corpúsculos son los instrumentos que usa el físico experimental moderno para verificar lo que el Físico Teórico afirma en sus lucubraciones matemáticas.

Pero en modo especial el profano se preguntará:

¿Para qué servirán fuera del laboratorio del físico estos instrumentos? ¿Para qué servirán estas delicadas y difíciles investigaciones? ¿Qué aplicaciones prácticas podrán tener en la Técnica? Y si no tienen aplicación práctica ¿qué importancia tienen?

Entre tanto por lo que atañe al espectroscopio óptico y al espectroscopio para rayos X se puede afirmar que ellos habiendo ya servido para aquellas maravillosas investigaciones científicas de las cuales he hablado, han bajado ya de su altura especulativa, al laboratorio de Química de la fábrica, para el examen de la pureza de los productos químicos y el conocimiento de la estructura de las aleaciones metálicas.

Y además, respecto lo que se refiere al espectrógrafo de velocidad, éste en substancia, no es otra cosa que el llamado oscilógrafo a rayos catódicos del cual la electrotécnica hace uso para analizar la curva de las corrientes alternadas o pulsantes.

Al estado actual de la Técnica nada se puede decir por ahora en cambio de las eventuales aplicaciones prácticas de las cámaras a condensaciones de Wilson y de los contadores de Geiger.

¿Pero esto qué importa? ¿Es tal vez justo negar la utilidad de un aparato o de una investigación experimental si no se ve la inmediata aplicación?

¿Y Luigi Galvani el grande italiano, pensaba tal vez que sus investigaciones daban lugar por efecto del Genio de Alessandro Volta al descubrimiento de la pila y a la creación de la corriente eléctrica?

¿Y el mismo Alessandro Volta podía imaginarse que su maravilloso descubrimiento daba lugar más tarde al dinamo de

Antonio Pacinotti, al Motor de Galileo Ferraris y a la Radio de Guglielmo Marconi?

Y Oersted que acercó a una aguja imantada móvil un hilo atravesado por la corriente eléctrica y lo vió desviar, y Ampère que dedujo la ley de estas desviaciones demostrando que la disposición podía servir para indicar la corriente eléctrica, dando lugar a la idea (y no se puede llamar de otro modo) del galvanómetro, ¿podían pensar que el galvanómetro con una simple resistencia en serie se transformaba en un medidor de tensiones: el voltímetro: y con una simple resistencia en paralelo se transformaba en medidor de corrientes; el amperímetro: que bajo estas formas está puesto en los cuadros de todas las instalaciones eléctricas, en los autos, y es usado en incontables casos?

E innumerables serían los ejemplos.

La transición entre la disposición que tiene un fin especulativo y el instrumento útil en la práctica, exige a menudo mucho tiempo, pero esta transición sucede fatalmente.

Cuando la investigación científica ha alcanzado el conveniente grado de madurez, sale el técnico; el inventor genial y se puede estar seguros, que aprovecha de ella, para construir el aparato o la máquina de utilidad práctica en la vida material humana.

Luego hay que apreciar esta Física Moderna y estos últimos aparatos creados por la genialidad humana porque además de haber dado ya resultados desde el punto de vista especulativo y científico maravillosos, podrán, en un mañana tal vez no muy lejano, ofrecernos también aplicaciones prácticas inesperadas.