

ANTONIO CAMURRI

MATERIA Y ENERGIA Y EL  
INDETERMINISMO DEL  
MICROCOSMOS

---

PARA PODER explicar las nuevas teorías cuánticas acerca de la energía y de la materia y exponer al respecto las concepciones científicas actuales, es necesario hablar previamente sobre las crisis que sufrió el pensamiento físico y la ciencia en general en los primeros años de este siglo.

Esta crisis tuvo origen en un conjunto de fenómenos energéticos de naturaleza radiante que fueron descubiertos al comienzo del siglo y que no era posible explicar mediante la teoría ondulatoria de la radiación.

Con el objeto de seguir el desarrollo del pensamiento físico en este campo, creo necesario exponer brevemente los puntos fundamentales de estos fenómenos, poniendo de relieve las divergencias que se presentaron entre las concepciones clásicas que se tenían al respecto y los resultados experimentales.

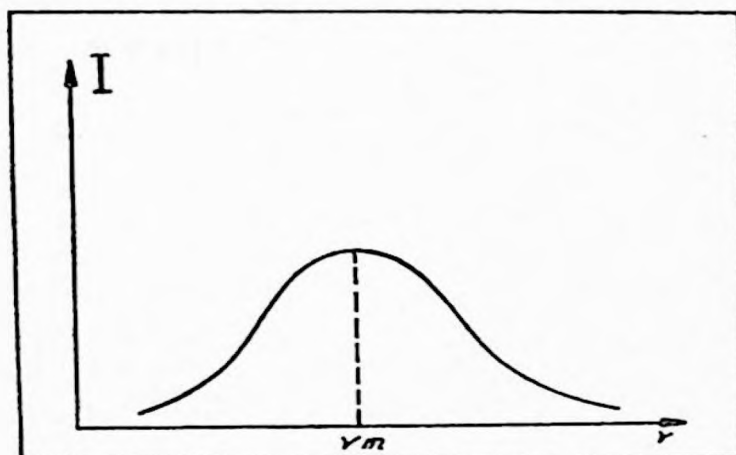
Siguiendo el orden cronológico y considerando solamente los fenómenos que tuvieron la mayor influencia en el cambio de las concepciones clásicas de la física, nos limitaremos a describir la emisión energética de la parte de un cuerpo negro, la fotoelectricidad y el efecto Compton.

Refiriéndonos a la irradiación de un cuerpo negro, la física enseña que todos los cuerpos, cuando son incandescentes, emiten luz y en general a cualquier temperatura emiten radiaciones que, para temperaturas bastante elevadas son visibles, mientras que para temperaturas bajas son invisibles.

El tipo de radiaciones emitidas depende de la naturaleza del cuerpo y de su temperatura, pero si el cuerpo es negro, la teoría demuestra y la experiencia lo verifica, que las radiaciones emitidas dependen solamente de la temperatura y no de la naturaleza del cuerpo.

Analizando mediante un espectroscopio la radiación de un cuerpo negro, se observa un espectro continuo y si se mide la intensidad  $I$  en cada punto, se obtienen diagramas en forma de campana, que se pueden ver en la Fig. 1.

Fig. 1

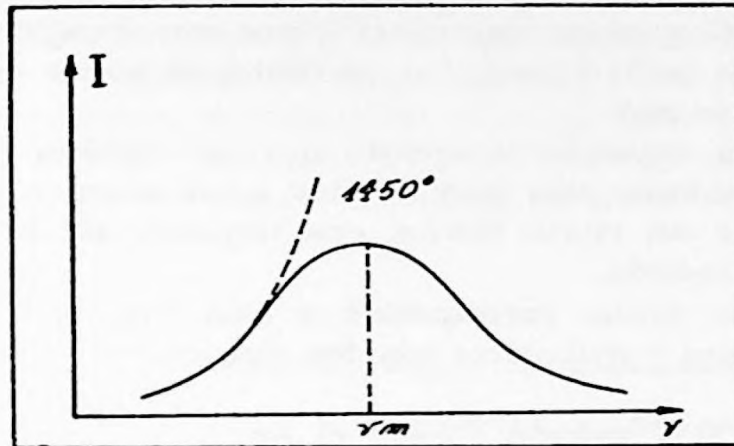


Todas estas curvas experimentales presentan un máximo de intensidad en correspondencia de una cierta frecuencia  $\nu_m$  y decrecen hacia cero, ya sea para frecuencias inferiores, como para frecuencias superiores. Ahora bien, si se calcula por vía matemática, con las fórmulas clásicas de la termodinámica y del electromagnetismo, la intensidad de la radiación se encuentra en lugar de las curvas experimentales mencionadas, curvas parabólicas, que fueron determinadas por primera vez por los físicos Rayleigh y Jeans.

En la Fig. 2 se pueden ver dos curvas, la experimental y la teórica obtenidas ambas a la temperatura absoluta de  $1.450^\circ$ . Además de la divergencia mencionada entre las curvas teóricas y experimentales, al calcular la intensidad total del espectro del cuerpo con las concepciones clásicas, se llega al resultado absurdo que su intensidad debería ser infinita.

Muchas investigaciones teóricas y experimentales se hicieron para encontrar la causa de la discrepancia entre teoría y experiencia y solamente el físico alemán Planck logró descubrirla sobre la base de una hipótesis nueva y revolucionaria de los conceptos clásicos. Él hizo la hipótesis que la energía radiante no es emitida por los cuerpos en forma continua, sino que por cantidades elementales discontinuas, denominadas fotones o quantum, a cada una de las cuales él asignó un monto energético igual al producto de la frecuencia de la radiación por una constante que fue llamada, posteriormente en su honor, constante de Planck.

Fig. 2



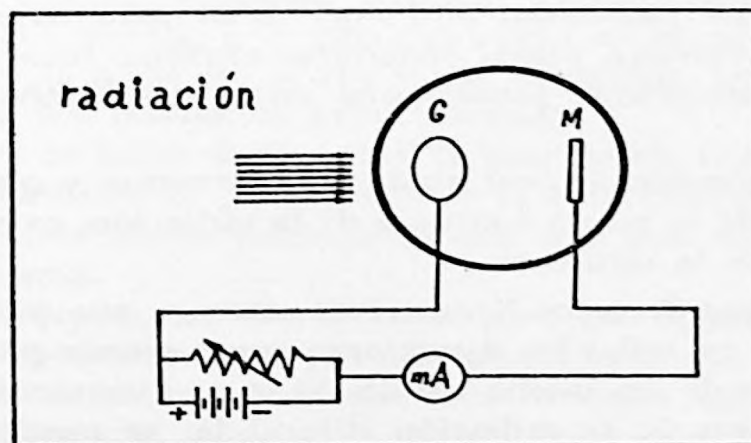
Partiendo de esta hipótesis Planck calculó la intensidad de la radiación del cuerpo negro y obtuvo una fórmula cuyos diagramas, trazados en correspondencia de distintas temperaturas coinciden perfectamente con las curvas experimentales de Fig. 1 que vimos anteriormente.

Con este resultado Planck demostraba que un cuerpo negro emite sus radiaciones de un modo discontinuo y presentaba por primera vez en la historia de la ciencia el concepto de discontinuidad de las leyes de la física, en contraste con las teorías clásicas de los fenómenos continuos.

Otro fenómeno que se puede explicar solamente mediante la concepción discontinua de la energía es el efecto fotoeléctrico.

La fotoelectricidad consiste en la propiedad que tienen ciertos cuerpos de emitir electrones, cuando son embestidos por radiaciones visibles o invisibles.

Fig. 3



La Fig. 3 demuestra claramente el fenómeno. La placa metálica M es embestida por un haz de radiaciones, que pasa a través de las mallas de la rejilla G y emite electrones. Estos son recogidos en el circuito eléctrico visible en la figura y la corriente se puede medir mediante el miliamperímetro mA.

Ahora bien, la experiencia enseña que la emisión fotoeléctrica se obtiene con radiaciones aún muy débiles, pero siempre que la frecuencia sea superior a un cierto límite, que depende de la naturaleza de la substancia embestida.

Esta frecuencia límite corresponde a una longitud de onda  $\lambda$ , de que algunos valores particulares son los siguientes:

$\lambda = 0,37$	micrón	para el Zn
" = 0,26	"	para el Fe
" = 0,50	"	para el N <sub>a</sub>
" = 0,55	"	para el K
" = 0,66	"	para el C <sub>s</sub>

Si se calcula la intensidad de la radiación que engendra el fenómeno fotoeléctrico, empleando la teoría ondulatoria, se llega a menudo al resultado que la energía de la radiación es inferior al trabajo necesario para extraer los electrones del metal M, es decir, se llega a un resultado contradictorio con la experiencia. En cambio, se explica perfectamente el fenómeno suponiendo que la radiación se propague por partículas energéticas, o sea en forma no continua, y que cada partícula posea una energía expresada por la fórmula mencionada, producto de la frecuencia por la constante de Planck.

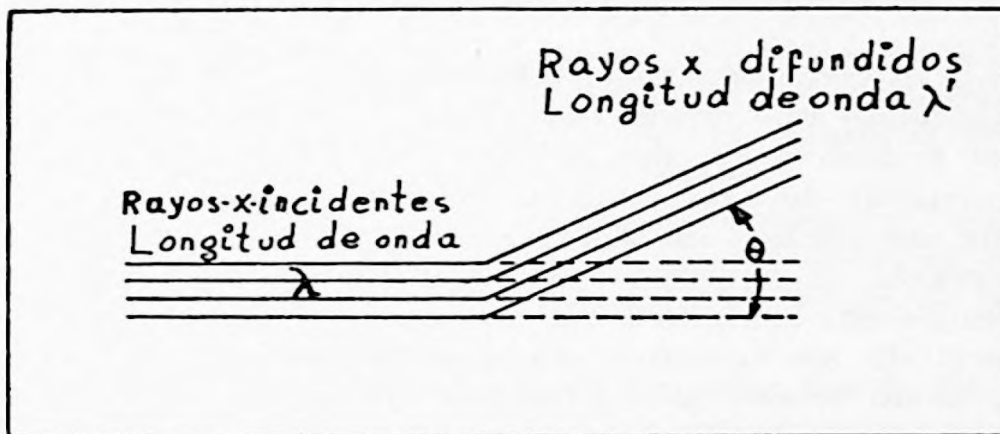
En efecto, haciendo esta hipótesis, se llega a la relación energética que la energía poseída por un fotón es igual al trabajo de extracción de un electrón más la energía cinética de salida del electrón, y esto explica como una radiación, aún muy débil pero de una frecuencia suficientemente elevada, puede engendrar el efecto fotoeléctrico porque las partículas energéticas poseen una energía suficiente para extraer los electrones.

El tercer fenómeno al cual aludí anteriormente y que no se puede explicar mediante la teoría continua de la radiación, es el efecto Compton y consiste en lo siguiente:

Cuando un haz de rayos X atraviesa materia, una parte de la radiación se difunde en todas las direcciones como sucede para la luz cuando pasa a través de un medio turbio. Si se analiza mediante un espectroscopio de rayos X la radiación difundida, se pueden observar en

las distintas direcciones variaciones de la longitud onda, con respecto a la de los rayos incidentes. La Fig. 4 permite ilustrar el fenómeno. Por medio del análisis espectral se puede observar, además, que la intensidad de las rayas difundidas son fuertes si los rayos X empleados son muy penetrantes y la sustancia difusora tiene peso atómico bajo, por ejemplo carbono, aluminio, mientras que son débiles si los rayos X son poco penetrantes y la sustancia difusora tiene peso atómico elevado, por ejemplo plata.

Fig. 4



Las teorías clásicas no permiten dar ninguna explicación del fenómeno. En efecto, aplicando las concepciones de la física clásica, se llega al resultado que la radiación difundida debería tener exactamente la misma frecuencia de la radiación incidente, lo que está en contradicción con la experiencia.

Si se supone en cambio, como ya hicimos para explicar la irradiación de un cuerpo negro y el efecto fotoeléctrico, que la radiación se propague por fotones se puede explicar perfectamente el fenómeno observado por Compton, y se encuentra con el cálculo una variación en la longitud de onda de la radiación difundida, que coincide perfectamente con los resultados experimentales.

Podemos por lo tanto decir, sobre la base de los fenómenos mencionados, que la emisión, la propagación y la absorción de la energía radiante, se efectúan no en forma continua sino con discontinuidad, es decir, por quantum.

Esta teoría corpuscular de la radiación, que hemos explicado en forma somera, fue confirmada además, posteriormente, por un conjunto de resultados experimentales que se obtuvieron en el campo de la física atómica en perfecto acuerdo con la teoría de Bohr referente a

la estructura del átomo, y basada sobre la misma concepción cuántica. Con el objeto de seguir el desarrollo del pensamiento físico en este aspecto, considero necesario mencionar ahora brevemente los puntos fundamentales de esta teoría de Bohr.

La experiencia enseña que los átomos emiten y absorben solamente radiaciones de ciertas frecuencias, por el hecho que los espectros atómicos son de rayas. En un primer tiempo se trató de explicar este hecho experimental aplicando la teoría ondulatoria de la radiación, pero no se obtuvo ningún resultado positivo, es decir, ha sido imposible construir modelos atómicos, cuya teoría explicara en forma satisfactoria los resultados experimentales que hemos mencionado anteriormente.

Solamente el físico danés Niels Bohr logró explicarlos en forma brillante, empleando una teoría cuántica del átomo que él concibió en 1913 y que le hizo merecedor del premio Nóbel.

La concepción de este físico se basa fundamentalmente sobre la hipótesis de que cuando un átomo emite o absorbe radiaciones de una cierta frecuencia, la cantidad de energía emitida o absorbida es igual al producto de esta frecuencia por la constante de Planck y, dado que la frecuencia de los espectros atómicos asume solamente valores discontinuos, como enseña la experiencia, es necesario por consiguiente suponer que la energía del átomo también varíe con discontinuidad.

Bohr llegó por este camino a la concepción que un átomo puede encontrarse solamente en ciertos estados energéticos, que él llamó "cuánticos" a cada uno de los cuales corresponde una determinada energía y cuando emite o absorbe radiaciones pasa de un estado a otro con un proceso que él llamó "salto cuántico".

El concibió, además, un modelo estructural de átomo, según el cual los niveles energéticos mencionados corresponderían al movimiento de los electrones sobre diferentes órbitas.

En condiciones normales los electrones se moverían sobre órbitas fijas y cuando el átomo emite o absorbe radiaciones, un grupo de ellos se trasladaría a otras órbitas ubicadas respectivamente más al interior o más al exterior y en este último caso podría ocurrir, en la hipótesis que la absorción sea suficientemente intensa, que algunos electrones se desprendan completamente del átomo, ionizándolo.

La teoría de Bohr fue confirmada experimentalmente y en forma brillante en varios fenómenos espectroscópicos, entre los que mencionamos las series del espectro de hidrógeno, de Lyman, de Balmer y de Paschen.

Sobre la base de los fenómenos anteriores y de las consideraciones

que hemos hecho al respecto, se puede comprender y justificar por qué la física introdujo en sus teorías las concepciones corpusculares de la energía y hasta 1925, aproximadamente, esta concepción influyó en todo el pensamiento físico.

Sin embargo, a partir de esta fecha, empezaron a presentarse dificultades, debidas en parte a descubrimientos nuevos y en parte a consideraciones teóricas que vamos ahora a explicar.

La dificultad más grave consistía en el hecho de que los fenómenos de la radiación  $\gamma$  no se podían explicar todos mediante la teoría de los fotones. Efectivamente, la fotoelectricidad, el efecto Compton y la irradiación de un cuerpo negro se pueden explicar solamente con la teoría corpuscular, como vimos anteriormente, sin embargo, hay otros fenómenos como la interferencia, la difracción y la polarización que no se pueden de ninguna manera explicar con la teoría de los fotones, sino que solamente con la concepción ondulatoria.

Otras dificultades de tipo experimental se presentaron en la interpretación de la estructura fina del espectro del hidrógeno, del efecto Zeeman anómalo y de los espectros moleculares que no se podían explicar con la teoría corpuscular.

Era por lo tanto, indispensable hacer una revisión de los conceptos fundamentales de la física y construir una nueva teoría que pudiera explicar todos los fenómenos de la radiación.

Con este objeto se hicieron numerosas investigaciones teóricas y experimentales y finalmente algunos sabios entre los cuales sobresalieron De Borglie, Schördingre, Heisenberg, Fermi, Born y Dirac, lograron construir una nueva y moderna teoría cuántica, que permite explicar todos los fenómenos de la energía radiante eliminando las dificultades teóricas y experimentales mencionadas anteriormente.

La nueva teoría se desarrolló por dos caminos completamente distintos: uno, debido principalmente a De Borglie y Schrödinger que dio origen a la mecánica ondulatoria, y el otro, debido a Heisenberg, que condujo a la mecánica de la matrices; sin embargo, a pesar de haber tenido desarrollos completamente diferentes, las mecánicas mencionadas dieron los mismos resultados y se vio que eran solamente distintos en el aspecto matemático y que representaban en cambio la misma realidad física.

Considerando el fondo conceptual de las nuevas teorías cuánticas cuyos aspectos abarcan el campo de la ciencia experimental y de la metafísica, me parece interesante exponer los puntos fundamentales de las dos mecánicas mencionadas.

La mecánica ondulatoria tiene como punto de partida algunas analogías que existen entre la óptica y el movimiento de las partículas materiales.

La primera, consiste en el hecho de que un haz de radiaciones se propaga en línea recta en un medio homogéneo, y una partícula material no sometida a fuerzas, se mueve ella también según una trayectoria rectilínea.

La segunda, se encuentra observando que un haz de radiaciones se propaga en un medio heterogéneo según una trayectoria curvilínea y una partícula material, bajo la acción de fuerzas recorre en general un camino curvilíneo. Por ejemplo, una partícula que se mueve en el campo de la gravedad recorre una trayectoria parabólica y un rayo de luz que se propaga por capas atmosféricas de distinta densidad, recorre también una trayectoria curvilínea.

La tercera analogía se basa sobre un principio moderno de la ciencia debido al físico alemán Heisenberg y conocido con el nombre de principio de indeterminismo.

Según Heisenberg, existir significa desde el punto de vista físico ser susceptible de observación con experiencias realizables, o por lo menos conceptualmente posible. Para aclarar más este concepto de Heisenberg, la física considera como entidades reales aquellas que se pueden medir con experiencias realizables o por lo menos conceptualmente posibles, significando estas últimas palabras experiencias que no se pueden realizar hoy día por falta de instrumentos adecuados, pero que se podrán realizar en el futuro con el perfeccionamiento instrumental. Para fijar mejor las ideas veamos este ejemplo: antes de la realización del microscopio electrónico no era posible ver partículas de dimensiones inferiores a un cierto límite porque los microscopios comunes empleaban ondas relativamente grandes. Sin embargo, ninguna dificultad de principio impedía concebir una experiencia hecha con un aparato ideal que, utilizando ondas muy cortas, fuera capaz de revelar corpúsculos de dimensiones inferiores a aquellas permitidas por los microscopios comunes. Una experiencia ideal de este tipo, según Heisenberg, es conceptualmente posible, mientras que, por ejemplo, la de crear energía o de hacer funcionar una máquina térmica que utilice todo el calor del combustible o carburante empleados, es conceptualmente imposible, por motivo de principios intrínsecos a la naturaleza misma, que no lo permiten.

Ahora bien, una inmediata consecuencia del principio de Heisenberg, es que el hombre no podrá nunca realizar una experiencia que le permita conocer el movimiento de un solo electrón o de otra partí-

cula elemental; en efecto, para poder revelar un electrón aislado, es necesario embestirlo con una radiación, pero ésta, como indica el efecto Compton mencionado anteriormente, produce un impulso en la partícula variando inmediatamente su velocidad. No es posible tampoco determinar su posición precisa mediante el microscopio, por la limitación del poder separador de este instrumento y si quisiéramos determinar su posición con mayor exactitud, deberíamos emplear ondas muy cortas, por ejemplo rayos X o el mismo microscopio electrónico, pero con este tipo de onda sería más intenso el efecto Compton y por consiguiente aumentaría el grado de precisión en la determinación de la posición, pero disminuiría el de la velocidad.

Se deduce por lo tanto que no es posible, por razones de principios intrínsecos a la naturaleza, observar un electrón aislado y determinar su movimiento.

Ahora bien, la tercera analogía entre la óptica y la mecánica de la partícula consiste en el hecho de que lo que sucede para un electrón, se presenta también para un fotón. En otros términos, no es posible ver fotones aislados y conocer su naturaleza intrínseca, porque todos los medios que el hombre puede emplear para estudiar estas partículas, las destruyen. Por ejemplo, un método fotoeléctrico, un proceso fotográfico, absorben fotones y por lo tanto destruyen el objetivo mismo que se quiere estudiar.

Basándose sobre las analogías mencionadas y sobre un descubrimiento que explicaremos más adelante, Schrödinger tuvo la idea de aplicar a las partículas del microcosmo las mismas leyes de la óptica y obtuvo una célebre ecuación llamada en su honor ecuación de Schrödinger, que en la mecánica ondulatoria juega el mismo papel de las leyes de Newton de la mecánica clásica.

Aplicando esta ecuación se obtuvieron resultados inesperados y se hicieron descubrimientos de mucha importancia científica y de alcance técnico.

En primer lugar deseamos hacer resaltar que, resolviendo esta ecuación se deduce espontáneamente la "cuantificación" energética, es decir, que la energía de las partículas constituyentes, la materia varía en forma discontinua.

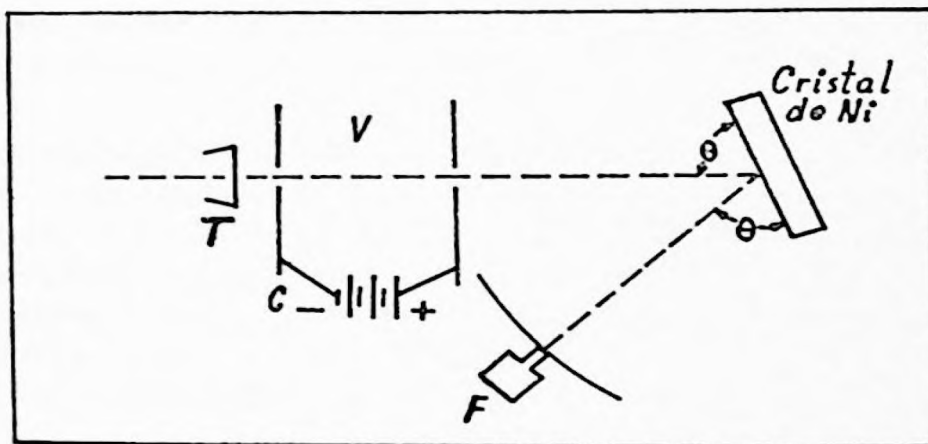
Además, todos los fenómenos mencionados, como el efecto Zeeman anómalo a los espectros moleculares, la estructura fina del hidrógeno que eran inexplicables con la teoría cuántica clásica, se pueden explicar perfectamente con la mecánica ondulatoria.

Aludimos anteriormente a un descubrimiento experimental que in-

fluyó de un modo determinante en el desarrollo de la teoría cuántica ondulatoria de Schrödinger.

Este descubrimiento, que vamos ahora a explicar, demostró que los electrones, además de tener una masa, una carga eléctrica y un campo magnético, poseen una onda, es decir, se vio experimentalmente que estas partículas se comportan en ciertos fenómenos como si fueran ondas. El descubrimiento fue hecho en 1927 por los físicos Davisson y Germer, mediante una experiencia que vamos ahora a explicar con la Fig. 5.

Fig. 5



Se observa un filamento incandescente T que emite electrones por efecto termiónico. Estos se hacen pasar a través de un condensador C con el objeto de obtener un haz electrónico que va a embestir un cristal de níquel rotante en torno de un eje perpendicular al haz mismo. Los electrones reflejados se recogen en un cilindro metálico F conectado con un electroscopio muy sensible. Haciendo girar el cristal, Davisson y Germer pudieron observar que en correspondencia de ciertos ángulos de rotación, se tenía una intensidad máxima de electrones reflejados, mientras que en correspondencia de otros ángulos, la intensidad era prácticamente nula.

Este fenómeno no puede ser explicado de ninguna manera basándose sobre la naturaleza material de los electrones, pero si se hace, en cambio, la hipótesis que estos corpúsculos tengan incorporada en su intrínseca naturaleza una onda, se puede constatar que la experiencia de Davisson y Germer satisface a la ley de difracción de Bragg de los rayos X, y siendo la difracción un fenómeno óptico que se explica solamente con la teoría ondulatoria, se deduce entonces que los electrones tienen efectivamente la propiedad de las ondas.

La experiencia de Davisson y Germer y otras análogas que se hicieron posteriormente, permitieron establecer por lo tanto que las partículas constituyentes de la materia presentan siempre el doble aspecto ondulatoria y material.

Refiriéndonos ahora a los conceptos fundamentales de la mecánica de las matrices debida a Heisenberg, vamos a ver cómo dicha mecánica se halla desarrollada sobre la base del principio de indeterminación de este físico.

Según lo que hemos dicho anteriormente sobre este principio, que afecta a los procesos elementales de la física, las entidades reales en el mundo físico son solamente aquellas que se pueden observar experimentalmente, y en el campo del microcosmos las entidades que tienen esta propiedad son las frecuencias, las intensidades de las rayas espectrales, los niveles energéticos del átomo, las masas de las partículas, mientras que otras magnitudes atómicas, como la posición de los electrones, sus velocidades y períodos de revolución, no deben ser consideradas como entidades reales, porque no ha sido nunca posible medirlas y además, según Heisenberg, ninguna experiencia futura podrá hacerlo.

En otros términos, en el campo del átomo cuyas dimensiones son del orden del centimillonésimo de centímetro, las concepciones ordinarias de espacio y tiempo y las interacciones entre las partículas que lo constituyen, no pueden regir bajo las mismas leyes que valen para el mundo macroscópico. Si se considera además el carácter ondulatorio de estas partículas, se comprende cómo los antiguos modelos atómicos y también el más reciente debido a Bohr, debían ser reemplazados por concepciones más finas, diferentes de nuestras intuiciones ordinarias y sobre todo más adherentes a la realidad física. Si queremos prever y describir cómo se manifiestan las partículas elementales de la materia, es indispensable recurrir a la imagen de las ondas y simultáneamente a aquella corpuscular, sin embargo ninguno de estos dos modelos son suficientes por sí solos para darnos una descripción completa y como consecuencia de esta doble naturaleza, se deduce que el comportamiento de estas partículas no puede depender de un determinismo riguroso, comparable con aquel que rige en los fenómenos macroscópicos.

En otros términos, en el mundo del microcosmos se presentan siempre ciertas indeterminaciones que no es posible eliminar, y por consiguiente las investigaciones que se hacen en este campo deben ser desarrolladas con procedimientos adecuados, que son los métodos estadísticos y en términos de probabilidad

Las leyes de la física macroscópica no pueden ser aplicadas a los fenómenos elementales y deben ser reemplazadas por leyes de tipo estadístico y ya hoy día el determinismo rígido de la física clásica ha sido desplazado por el caso y la probabilidad, que rigen en el mundo caleidoscópico de las partículas y de los cuántum.

Frente a esta revolución total del pensamiento tradicional de la física que parecía tan firmemente fundamentado, numerosos físicos y entre ellos algunas figuras muy eminentes de las viejas generaciones, han declarado que les era casi imposible dejar el principio del determinismo físico, opinando al respecto que tal vez en la práctica es imposible seguir el determinismo de los fenómenos elementales, pero por este motivo no se puede negar su existencia.

Sin embargo el determinismo y el principio de causalidad no ha sido aceptado por muchos otros físicos, en particular por los de las generaciones más jóvenes y entre ellas deseamos mencionar al eminente físico Von Neuman y citar algunas de sus ideas al respecto que, como se podrá apreciar, van más allá del mundo microscópico y se extienden a todos los fenómenos.

Según Von Neuman no existe ninguna experiencia en la física macroscópica que demuestre el principio de causalidad, porque el orden causal aparente del mundo macroscópico no tiene otro origen que en las leyes de los grandes números, es decir, es independiente del hecho que los procesos elementales sigan o no este principio.

Es cierto que cuerpos macroscópicamente iguales y en las mismas condiciones físicas tienen el mismo comportamiento, pero esto no tiene nada que ver con la causalidad. Estos cuerpos no son en realidad iguales, porque los factores de que depende el estado de sus átomos no coinciden casi nunca y los fenómenos observados macroscópicamente son el efecto global medio de todos estos factores.

El problema de la causalidad puede ser objeto de discusión solamente en los procesos elementales, sin embargo, en el estado actual del conocimiento todos los elementos de que podemos disponer están en contra de ella, porque la única teoría formal que está de acuerdo con la experiencia que es la mecánica cuántica, está en pleno conflicto lógico con la ley de causa y efecto.

Ahora bien, todo lo que dijimos anteriormente acerca de la indeterminación de las partículas elementales, motivó en Heisenberg la idea de representar el átomo con un medio totalmente abstracto, no susceptible de ninguna representación real y precisamente mediante una matriz, entidad matemática en que él hace intervenir como elementos constituyentes, solamente las magnitudes que se pueden obser-

var por vía experimental, es decir, las frecuencias, las intensidades de las líneas espectrales y los niveles energéticos del átomo.

Para poder resolver los múltiples problemas atómicos, este físico aplicó las operaciones matemáticas del cálculo matricial y con este procedimiento pudo obtener resultados que coinciden con los hechos experimentales y explicar además un conjunto de fenómenos que la teoría cuántica clásica no había podido hacer.

Los conceptos fundamentales de las teorías cuánticas que acabamos de mencionar, han sido tan revolucionarios, que influyeron de un modo considerable sobre el pensamiento filosófico moderno.

En efecto, las teorías físicas mencionadas, referentes al microcosmo, han cambiado fundamentalmente las concepciones de materia, de causalidad y de ley natural. En lo que concierne a la materia, el final del siglo pasado la física consideraba como verdad experimental la hipótesis de la descomposición de los cuerpos en partículas elementales, bien definidas y localizadas.

En cambio el desarrollo de la ciencia de estos últimos años ha impuesto un carácter restrictivo a la individualidad de estas partículas, en el sentido que no es posible localizarlas y definir las en el significado preciso de la palabra.

La diferencia substancial que se creía hubiese entre materia y la energía, fue eliminada cuando se descubrió que las propiedades esenciales de la materia, es decir, la discontinuidad y la cantidad de movimiento se encuentran también en la radiación y viceversa, cuando se vio que la materia posee el carácter ondulatorio de la energía radiante.

En otros términos las concepciones de corpúsculo y onda no se consideran hoy día como referentes a dos realidades distintas, sino que como dos aspectos distintos de la misma realidad física.

En lo que concierne, la ley de causa y efecto, que vale para los fenómenos macroscópicos, vimos cómo este principio fue reemplazado en la ciencia moderna por un concepto de indeterminación en el estudio de los procesos atómicos y en dichos fenómenos, el determinismo clásico queda válido solamente para las magnitudes estadísticas, que son el resultado global de los procesos físicos individuales.

Esta última concepción ha abierto nuevas perspectivas en las discusiones críticas de las leyes naturales de tipo general.

En otros términos, el hombre está pensando hoy día que el determinismo estadístico que él implantó en la ciencia, es muy probablemente el mismo principio que vale en todos los fenómenos naturales, incluyendo también los biológicos y quizás los político-económicos.

En efecto, siendo complementarios los conceptos de elemento y de sistema y perdiendo el individuo su personalidad en la medida en que se fusiona en un organismo que lo incorpora, la nueva física nos ha dado sugerencias originales y ricas de contenidos, de donde la filosofía general y la sociología pueden indudablemente sacar provecho.

Es cierto que para utilizar estos elementos es necesario ir más allá del significado preciso de los resultados que la física nos ha otorgado en forma precisa, pero es tarea de los filósofos tentar estas extrapolaciones audaces, que a menudo el espíritu positivo de los hombres de ciencia no se atreve a hacer.

La física en su estado actual ha aportado indiscutiblemente a la meditación filosófica nuevos datos y no dejará de contribuir a su desarrollo con noticias cada día mayores sobre el conocimiento del mundo material. Ella otorgará necesariamente nuevas bases para las mentes audaces, que no temen construir los sistemas generales del pensamiento y enfrentar los problemas de la Metafísica.

Pero se presenta espontánea en este momento una pregunta: ¿Podrá el pensamiento filosófico por este camino progresar verdaderamente y en forma durable?

Es lo menos que podemos esperar si pensamos que existe una última realidad, hacia la cual convergen en una incesante búsqueda de la verdad los esfuerzos de los apasionados cultores de la Ciencia y de los servidores del Espíritu.