

Dr. Ing. Leopoldo Muzzioli

Ondas y Corpúsculos

(Conclusión)

Así que las acciones que se verifican entre las masas eléctricas y magnéticas según la nueva concepción, no son ya más acciones a distancia, el medio interpuesto (aun vacío de materia) tiene una importancia decisiva: en él se genera un campo que transmite las acciones.

Meditando sobre la concepción de campo se puede decir, como antes habíamos mencionado que el espacio aun vacío de materia, no puede, no debe considerarse como un ente de características solamente geométricas sino que algo mucho más substancial, algo que puede ser el soporte (séame permitida esta palabra) de campos eléctricos y magnéticos.

Por mucho tiempo, el único aspecto de los trabajos de Faraday que se tomó en consideración, fué la relación positiva de numerosas y elegantes experiencias efectuadas por él, pero el aspecto especulativo, profundo

de concepción y expresado solamente con un lenguaje descriptivo y sin forma matemática, se presentaba muy difícil para ser seguido y entendido en su significado más íntimo, así que aquel aspecto de los trabajos de Faraday más importante y genial fué despreciado por sus contemporáneos y juzgado superficialmente como impreciso y no matemático. Por ejemplo, las experiencias que expresan un campo eléctrico o magnético por medio de pequeños cristales de yeso o limaduras de hierro fueron consideradas, como ahora también en muchos casos, como experiencias pueriles; en cambio me atrevería a decir que todos, he dicho todos, los fenómenos físicos más importantes que dan lugar a la existencia y la vida del Universo residen, precisamente, en el espacio vacío; en efecto, es en el espacio vacío donde actúan y se propagan las acciones y las fuerzas que unen los componentes de los átomos, electrones superficiales y núcleos que dan lugar a la existencia y a la formación de los átomos mismos; es en el espacio vacío donde actúan y se propagan las acciones y las fuerzas que unen los átomos y que dan lugar a la formación y a la existencia de las moléculas; es en el espacio vacío donde actúan y se propagan las acciones y las fuerzas que unen las moléculas y que dan lugar a la formación de los cuerpos materiales; y la propagación misma de la energía radiante (como veremos luego) es en el espacio vacío donde se manifiesta, donde reside, donde reina: el campo es, por lo tanto, el «no materia» en un estado particular de modificación y es de

enorme importancia para la vida y la existencia del Universo.

Santiago Maxwell, en base a la concepción de campo y por medio de un análisis matemático maravilloso, dió a los fenómenos eléctricos y magnéticos y en particular al electromagnetismo de Ampère y a la inducción electromagnética de Faraday una interpretación nueva y genial que entusiasma y sorprende al mismo tiempo.

Pocas cosas en la física logran la perfección de las ecuaciones maxwellianas, su precisión, su elegancia clásica, su profundidad. Un mundo entero se encuentra encerrado en dos líneas.

Sin embargo, dado el aspecto expresamente conceptual de esta disertación, trataré de aclarar la teoría electromagnética de Maxwell sin el auxilio matemático; tendremos así la posibilidad, aunque en forma solamente conceptual, de entrever una nueva interpretación del éter cósmico que, como hemos visto, considerado desde un punto de vista material conducía a dificultades de interpretación insalvables.

Trataré, antes que nada, de exponer los fenómenos, por otra parte conocidos por todos, del electromagnetismo de Ampère y de la inducción electromagnética de Faraday en sus aspectos más oportunos, con el objeto de poder llegar a la generalización maxwelliana de estos dos fenómenos, generalización que conduce a la previsión genial de las ondas electromagnéticas.

ELECTROMAGNETISMO DE AMPERE

Si tenemos un conductor rectilíneo, en el cual circula una corriente variable se genera en el espacio también vacío de materia que lo rodea un campo magnético también variable, cuyas líneas de fuerza son circunferencias, encontrándose todos sus centros en el eje del conductor.

INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA DE FARADAY

Si tenemos, en cambio, un campo magnético variable representado, por ejemplo, por líneas de fuerza paralelas, este campo magnético genera en un conductor cerrado concadenado con él una corriente eléctrica variable que puede ser señalada por la indicación de un galvanómetro inserido en el conductor.

GENERALIZACIÓN DE MAXWELL DEL ELECTROMAGNETISMO
DE AMPÈRE

Maxwell, con una gran intuición, eliminó el conductor con corriente variable y lo sustituyó con un campo eléctrico variable, afirmando que un campo eléctrico variable representado, por ejemplo, por líneas de fuerza paralelas genera en el espacio que lo rodea un campo magnético variable concadenado con el campo eléctrico generador.

GENERALIZACIÓN DE MAXWELL DE LA INDUCCIÓN ELECTRO-
MAGNÉTICA DE FARADAY

Maxwell generalizó también el fenómeno de la inducción electromagnética eliminando aquí también el conductor, afirmando que un campo magnético variable representado, por ejemplo, por líneas de fuerzas paralelas genera en el espacio que lo rodea un campo eléctrico variable concadenado con el campo magnético generador.

En atención a la importancia de lo antedicho creemos oportuno agregar algunas consideraciones.

Hemos visto que en la generalización del electromagnetismo, Maxwell eliminó el conductor en el cual circulaba una corriente variable y lo sustituyó por un campo eléctrico variable, para fijar las ideas este campo eléctrico variable podría, por ejemplo, obtenerse por medio de un condensador plano, cuyas armaduras podrían estar unidas con un generador de tensión variable, por ejemplo un alternador. Sin embargo, ¿qué razonamientos habrán inducido a Maxwell a considerar como verdad física esta generalización del fenómeno del electromagnetismo? Según la intuición maxwelliana, cuando un generador eléctrico a tensión variable, por ejemplo, un alternador, tiene sus polos conectados con las dos armaduras de un condensador, la corriente eléctrica no se detiene sobre la superficie de las armaduras



del condensador sino que atraviesa el espacio interpuesto, es decir, se cierra a través del aislante (dieléctrico), que podría también ser el espacio vacío de materia, y este espacio interpuesto toma parte preponderante en el fenómeno. En la intuición de Maxwell esta corriente, llamada de desplazamiento, debe tener los mismos efectos magnéticos de las corrientes ordinarias que circulan en los conductores, y esto equivale, precisamente, a afirmar que cuando en el espacio vacío se obtiene una variación de campo eléctrico, dicho campo eléctrico variable se comporta como un conductor recorrido por una corriente variable; y este punto de vista debía aparecer bien extraño a los físicos de aquel tiempo acostumbrados a las concepciones clásicas de la electricidad.

Hemos visto también que en la generalización del fenómeno de la inducción electromagnética, Maxwell eliminó el conductor en el cual se generaba una corriente variable por efecto de un campo magnético variable concadenado; posiblemente Maxwell fué llevado a esta conclusión intuyendo que el conductor es de importancia casual y secundaria con respecto a la esencia íntima del fenómeno, por cuanto el fenómeno intrínseco es debido al hecho que un campo magnético variable produce un campo eléctrico también variable, cuyas líneas de fuerzas son cerradas a guisa de anillos y abrazan el campo magnético variable; la espira metálica que en el fenómeno de la inducción electromagnética es recorrida por una corriente, es de importancia casual y secunda-

ria, es solamente el indicador que sirve para verificar la creación del campo eléctrico; la corriente eléctrica que se genera en el conductor en el fenómeno de la inducción electromagnética, es debida al movimiento de los átomos de electricidad (electrones) que ya se encuentran en la materia del conductor mismo, y el movimiento de dichos átomos de electricidad es debido al campo eléctrico generado por el campo magnético variable.

En otros términos, se pasa de los fenómenos del electromagnetismo de Ampère y de la inducción electromagnética de Faraday, a la interpretación más profunda y generalizada de Maxwell, eliminando, me permitiría decir, la materia; y esta interpretación conduce a la previsión de las ondas electromagnéticas.

En efecto, si en un punto del espacio se tiene un campo eléctrico variable como consecuencia de la primera generalización de Maxwell, se generará un campo magnético también variable concadenado. Este campo magnético generado en esta forma como consecuencia de la segunda generalización de Maxwell generará un campo eléctrico concatenado, este campo eléctrico generará a su vez también un campo eléctrico variable, y así sucesivamente.

En consecuencia, si en un punto del espacio se produce un campo eléctrico variable se modifica el estado de todo el espacio que lo circunda, creándose un campo electromagnético. En un punto determinado y en un instante determinado se ten-

drá un valor determinado para el campo magnético y otro valor determinado para el campo eléctrico.

Se podría verificar que estos dos campos resultan siempre perpendiculares entre sí y perpendiculares a la dirección de la propagación.

Se puede repetir el mismo razonamiento y demostrar que se puede generar un campo electromagnético, partiendo de un campo magnético variable en vez de un campo eléctrico variable.

Además, los efectos eléctricos y magnéticos no se transmiten instantáneamente, sino que se propagan en el espacio con una velocidad determinada y finita.

En el análisis matemático del fenómeno, Maxwell dedujo también la velocidad de propagación en el espacio de las ondas electromagnéticas y encontró que esta velocidad depende de las dos constantes, electrostática y magnetostática del espacio vacío, es decir, la constante dieléctrica y la permeabilidad magnética ya conocidas experimentalmente y sustituyendo en la expresión analítica deducida estos dos datos experimentales conocidos, encontró que la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas en el espacio vacío resulta ser igual a la velocidad de la luz.

Y he aquí la grandiosa conclusión de Maxwell: la luz es un fenómeno electromagnético, las ondas luminosas no son otra cosa que un caso particular de las ondas electromagnéticas de altísima frecuencia.

Una onda luminosa, plana, monocromática está ca-

racterizada por dos vectores; el campo eléctrico y el campo magnético que vibran con la frecuencia de la onda y se propagan en la dirección de propagación. Estos dos vectores son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación y tienen la misma fase.

¡Qué transformación revolucionaria y admirable de la concepción del éter cósmico!

Hemos visto anteriormente que por efecto de los hechos experimentales conocidos: reflexión, refracción, difracción, interferencia, polarización, la luz debía considerarse de naturaleza ondulatoria y transversal; pero hemos visto también las enormes dificultades a que daba lugar esta concepción con respecto a las propiedades que debía tener el medio que debía transmitir las ondas luminosas. Este medio debía ser nada menos que de naturaleza elástico-sólida.

Se hacía necesario considerar, como dije anteriormente, una física del éter que no fuese de carácter mecánico y esta evolución debía verificarse por medio del estudio de otras categorías de fenómenos.

Esta evolución resultó efectivamente como consecuencia de la teoría electromagnética.

En la teoría electromagnética las perturbaciones alternativas no tienen más el carácter de oscilaciones mecánicas son, en cambio, modificaciones eléctricas y magnéticas del estado neutro y la unión entre una capa y otra del medio no es más de carácter elástico mecánico, sino que sustituida por la inducción mutua eléctrica y magnética.

El éter cósmico, que en su infancia con Grimaldi era un flúido extremadamente tenue, en su juventud con Fresnel era un cuerpo elástico sólido de gran rigidez; en su madurez con Maxwell es ni más ni menos que el mismo espacio vacío provisto de particulares propiedades electromagnéticas.

Sin embargo (y deseo afirmarlo en forma clara y explícita) este nuevo éter cósmico no puede, no debe considerarse el espacio vacío de materia, de características puramente geométricas, debe considerarse el espacio vacío de materia que tiene la posibilidad, la propiedad de ser el soporte de campos eléctricos y magnéticos.

El espacio vacío de materia podría considerarse «la nada» y se caería entonces en un error fundamental de interpretación, ya que la nada no podría tener en sí misma las posibilidades, las propiedades necesarias para modificarse. Después de la interpretación de Maxwell se ha dicho que hablar de éter cósmico no tendría ya ningún sentido; estoy tal vez de acuerdo con esta afirmación, pero deseo insistir que no se puede, no se debe sustituir la denominación de éter cósmico con aquella de espacio vacío o sencillamente espacio, por cuanto con estas dos denominaciones se tendría una idea puramente geométrica del espacio; es tal vez oportuno, en cambio, hablar de «espacio físico», pues en estas dos palabras se puede verdaderamente considerar englobada toda la esencia del medio apto a transmitir la luz.

Basados en todo lo que hemos expuesto, se ve que la óptica, el estudio de la luz, se ha transformado en un corolario, en un capítulo de la electrodinámica.

Pero la teoría de las ondas electromagnéticas había sido construída por Maxwell en forma puramente analítica y también desde el punto de vista conceptual, ciertamente no ilustrada en la forma simple y expresiva como por ejemplo ha sido expuesta en esta disertación, aun más, él, que era sobre todo físico teórico, no pudo llegar a su verificación experimental.

Bien pocos de entre sus contemporáneos la entendieron, y estando acostumbrados a la vieja escuela, en general fueron inducidos a afirmar que su teoría estaba construída solamente en el papel y podía a lo más tener un valor teórico matemático.

Se trata efectivamente de una teoría muy revolucionaria.

Afirmar que la luz no es más que una expresión de la electricidad y del magnetismo y establecer esta expresión con una teoría difícil y compleja, producía una transformación tan radical en la interpretación de los hechos, que naturalmente debía encontrar impugnadores.

Pero cada cambio de orientación científica necesita tiempo y se hacen necesarias verificaciones experimentales para convencer a los escépticos, tanto más que solamente cuando una teoría es confirmada por las pruebas experimentales directas, adquiere una eficiencia, una potencia de convencimiento tal como para disipar

cualquiera duda y ser la fuente de nuevos progresos y fértil de frutos inesperados.

También cuando la teoría precede a la experiencia, como en este caso de genial inspiración, adquiere vida propia y se transforma en instrumento seguro de investigación solamente cuando encuentra su confirmación en pruebas experimentales bien seguras e inextinguibles.

Y las pruebas llegaron claras, explícitas, con el descubrimiento por parte del gran físico alemán Enrique Hertz, de las ondas electromagnéticas.

No viene al caso aquí exponer los dispositivos con los cuales Hertz logró producir y propagar en el espacio ondas electromagnéticas; nos basta decir que el gran físico italiano Augusto Righi en un genial y poderoso trabajo experimental logró demostrar que las ondas electromagnéticas se comportan exactamente como las ondas luminosas. Righi, efectivamente, logró reproducir con las ondas electromagnéticas todos los fenómenos ópticos hasta entonces conocidos: reflexión, refracción, interferencia, difracción y polarización, y comprobó que las ondas electromagnéticas están guiadas por las mismas leyes que se verifican para las ondas luminosas. Los hombres de ciencia de aquel tiempo, que fueron reacios a creer en la teoría maxwelliana, la aceptaron plenamente después de todos los resultados obtenidos.

Las ondas electromagnéticas, previstas por Maxwell, descubiertas por Hertz, estudiadas por Righi, aplicadas por Marconi, eran de un largo de onda muy gran-

de: un abismo las separaba de las ondas luminosas, cuyos largos de onda, como se ha dicho, son siempre inferiores al milésimo de milímetro. También fué llenado este abismo y en este campo se puede afirmar que en pocos años, con un trabajo poderoso y admirable, los físicos experimentales superaron las predicciones más optimistas, realizando experimentalmente toda la gran familia de las ondas electromagnéticas, que desde las ondas marconianas va a las hertzianas caloríficas, luminosas hasta los rayos X y gama.

No es este el momento de exponer las investigaciones experimentales efectuadas, bástenos afirmar que después de estas investigaciones y después de los descubrimientos del efecto Faraday y del efecto Kerr sobre las acciones que los campos magnéticos y los campos eléctricos efectúan sobre la dirección de la vibración del vector luminoso, el éter es por todos considerado como un medio, cuyas propiedades están descritas por las ecuaciones maxwellianas del campo electromagnético y la óptica es considerada como un capítulo de la electrodinámica voltiana.

Por lo tanto, a fines del siglo XIX los físicos pensaron de haber interpretado plenamente la energía radiante considerándola de naturaleza ondulatoria transversal y electromagnética.

Pensaron, pero no era así, porque... ¡la ciencia no se detiene! Inexorablemente, me permito usar esta palabra, después de una conquista de valor excepcional,

la investigación de la verdad física en vez de disminuir su campo de acción, parece que aumenta sus incógnitas y son necesarios ulteriores esfuerzos y ulteriores investigaciones para poder acercarse siempre más a la verdad, para acercarse al conocimiento de la esencia de la naturaleza.

Las idealizaciones, más o menos esquemáticas que construye nuestro espíritu y que constituyen el producto de nuestras meditaciones, son susceptibles de representar ciertos aspectos de las cosas, pero contienen en su esencia limitaciones, de modo que no pueden englobar toda la riqueza y la complejidad de la realidad física de la naturaleza.

Y efectivamente, el dualismo de la energía radiante, la lucha entre las hipótesis corpuscular y ondulatoria parecía eliminado en lo que se refiere a la propagación; pero ¿cuál era la esencia de la emisión y de la absorción de la energía radiante?

* * *

Hasta el final del siglo XIX, los físicos se habían ocupado, como hemos visto, en estudiar el comportamiento de la radiación cuando dicha radiación se encuentra lejos de la fuente emisora, sin embargo, a principios del siglo XX bien poco, y me atrevería a decir nada, se sabe de lo que sucede en el momento en que la radiación parte de la materia y en el momento en que la radiación llega sobre la materia.

Con el espectroscopio y el fotómetro, en los últimos años del siglo XIX se encontraron algunos hechos experimentales referentes al espectro continuo emitido por los cuerpos incandescentes y que pueden considerarse resumidos en las leyes experimentales de Wien y de Stefan, las cuales se pueden expresar en la siguiente forma:

1.º La intensidad de la energía radiante para los diversos largos de onda del espectro continuo, no es constante y precisamente, pasando de los largos de onda más extensos a aquellos más cortos se alcanza un máximo: este máximo depende de la temperatura y no de la naturaleza del cuerpo incandescente; simultáneamente con el aumento de la temperatura el máximo se transporta hacia los largos de onda más cortos (ley de Wien).

2.º La energía total irradiada es directamente proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo incandescente (ley de Stefan).

Se hacía necesario explicar estas leyes experimentales; si la luz es considerada, en base a la teoría de Maxwell, como una propagación de ondas electromagnéticas similares a aquéllas que provienen de un oscilador de Hertz; en las fuentes luminosas deberían existir tantos pequeños osciladores similares a aquél de Hertz. Por otra parte, una carga eléctrica que vibra con movimiento armónico simple alrededor de una posición de reposo, puede representar tal oscilador; en consecuencia, es fácil imaginar que en los átomos y

moléculas de los cuerpos existan precisamente estos elementos eléctricos y que se puedan comportar de esta manera.

Así que con esta hipótesis, Rayleigh, en 1900, llegó a una expresión matemática de la intensidad de la radiación localizada en una determinada frecuencia, intensidad que resultó proporcional a la frecuencia y a la temperatura del cuerpo. Tal expresión matemática no satisface a las leyes experimentales de Wien y de Stefan.

Si se sustituye el oscilador con un rotor, es decir, con un sistema cargado que recorra con velocidad uniforme una circunferencia alrededor de un eje fijo, se llega al mismo resultado matemático. Perfeccionamientos posteriores introducidos en los razonamientos matemáticos de Rayleigh, por Wien y por otros físicos no mejoraron mayormente la situación y los físicos teóricos de ese tiempo se encontraron sometidos a una dura prueba.

Quien resolvió el problema fué Planck.

En una importantísima memoria escrita en 1902, propone una hipótesis, que se puede afirmar, que estableció una nueva era en la física.

La luz y en general la energía radiante de los átomos o de las moléculas excitadas, no es emitida en forma continua, o como diría un matemático, por infinitésimos arbitrarios, sino que la radiación es emitida solamente cuando en el interior del centro emisor se alcan-

za un valor de la energía bien determinado y finito, aunque extremadamente pequeño.

El valor de esta cantidad de energía es llamado «quantum» y está dado por el producto de una constante por la frecuencia de la radiación considerada.

Y esta constante se ha demostrado de una importancia universal; ella figura en innumerables fenómenos, hace sentir su enorme influencia a innumerables hechos físicos, por esta razón subió al rango de constante universal y en honor al gran físico que percibió claramente su importancia se llama constante universal de Planck; su valor es $6,55 \times 10^{-27}$ erg \times seg. Con esta hipótesis como fundamento y con la ayuda de razonamientos estadísticos, Planck obtuvo una expresión matemática de la intensidad de la energía emitida a una cierta frecuencia y a una cierta temperatura, que está de acuerdo en forma admirable con los datos experimentales, es decir con las leyes de Wien y de Stefan.

Se presenta ahora espontánea una pregunta: ¿Este quantum de Planck es un ente físico real o es más bien un artificio de cálculo?

Se hacen necesarios nuevos fenómenos, nuevos hechos en los cuales el quantum actúe con una individualidad propia, para ver los efectos que produce y para adquirir la confianza que este es verdaderamente un ente físico y no una hipótesis matemática.

El efecto fotoeléctrico es el primer fenómeno en el cual vemos actuar el quantum y observamos los primeros efectos.

Si bombardeamos por medio de un rayo luminoso una placa metálica, esta emite cargas negativas (electrones) y se carga, en consecuencia, con electricidad positiva. Este fenómeno que se puede verificar experimentalmente de manera muy simple, es en la actualidad utilizado prácticamente en innumerables casos; con dispositivos convenientes, las células fotoeléctricas se usan en varios campos de la técnica del siglo XX, por ejemplo el cine sonoro, la telefotografía, la televisión, etc.

Fué Einstein que en el año 1907 intuyó que en el efecto fotoeléctrico debían intervenir los quanta de Planck. Einstein trató analíticamente el fenómeno y formuló la ley que puede expresarse en la siguiente forma: En el efecto fotoeléctrico, la energía del quanta incidente sobre la materia es igual a la energía de extracción del electrón más la energía cinética adquirida por el electrón que se ha liberado de la materia.

La relación de Einstein se refiere al efecto producido por un solo quantum, separándolo así del resto de los demás quanta irradiados por la fuente emisora.

Vemos, por lo tanto, funcionar el quantum en forma independiente de aquéllos que lo acompañan, lo observamos con individualidad propia, él adquiere así una personalidad, en otros términos, se transforma en un ente físico real.

De todo lo que precede, se ha visto que el quantum puede considerarse como un gránulo de energía, pero siempre energía; sin embargo, desde el año 1922

es decir desde cuando Compton puso en evidencia un efecto, que es llamado efecto Compton, el quanta puede parangonarse a un corpúsculo: el «Fotón».

Esto significa que el quanta deberá poseer una cierta masa, y chocando contra cuerpos de sus mismas dimensiones deberá comportarse como un corpúsculo material.

Ahora bien, mediante aquel maravilloso aparato de la física del siglo XX que es la cámara Wilson, Compton logró verificar experimentalmente y ver que efectivamente un «quantum», un «fotón», cuando choca con un corpúsculo, por ejemplo un electrón, lo pone en movimiento en una determinada dirección y el «quantum» pierde así parte de su energía y se difunde bajo formas de un «quantum» más pequeño. Las direcciones del quantum incidente, del quantum difundido y del electrón de rebote están ligadas por las relaciones del paralelógramo de las cantidades de movimiento.

Y es verdaderamente admirable que todo se verifica con una precisión que no se podría esperar de una experiencia tan difícil de realizarse.

Y hemos llegado al estado actual de la ciencia en lo referente a este argumento tan apasionante.

He tratado de exponer en la forma más clara posible una rápida síntesis, que si bien haya sido intencionadamente conceptual y cualitativa, espero haya dado una idea del esfuerzo del pensamiento y de la meditación de los hombres de ciencia desde la iniciación del

estudio del argumento hasta nuestros días, para adquirir una concepción siempre más cercana a la realidad de la naturaleza de la energía radiante.

Hemos recorrido con una rápida visión las grandiosas etapas a través de las cuales el pensamiento humano ha pasado y hemos llegado al estado actual de la ciencia donde el problema, todavía lejano a su resolución, ha adquirido aspectos mucho más complejos y difíciles que al comienzo de las investigaciones.

Hemos llegado a un punto donde estamos obligados a afirmar que un gran número de fenómenos naturales verificados experimentalmente, sobre los cuales no podemos, no debemos tener ninguna duda, pueden ser interpretados solamente invocando la naturaleza corpuscular de la energía radiante; pero por otra parte existe también un gran número de fenómenos naturales verificados experimentalmente sobre los cuales no podemos, no debemos tener ninguna duda que pueden ser interpretados solamente mediante la naturaleza ondulatoria de la energía radiante.

Los tiempos de Grimaldi y de Newton están bien lejanos y todavía hemos vuelto a una concepción dualística del fenómeno luminoso en particular y de la energía radiante en general. En aquellos tiempos, de la concepción corpuscular se pasó a la concepción ondulatoria; hoy, además de las ondas debemos admitir también los corpúsculos.

¿Cómo podemos armonizar estas dos concepciones tan contradictorias, inherentes a un mismo fenómeno?

Una contribución admirable en este sentido fué dada por la genial mecánica ondulatoria de Schrödinger-De Broglie (1925), cuya interpretación física da lugar a admitir que el dualismo en la concepción de la energía radiante debe verificarse también en la concepción de la materia. ¡También la materia tiene que manifestarse a veces como corpúsculo y a veces como onda!

Esta extrapolación, tan bella como audaz, obtuvo en seguida una confirmación experimental con el descubrimiento de la difracción de los electrones; y aquí los experimentos de Davisson, Kunsmann, Thomson, Germer, Rupp y Kikuchi, hechos entre los años 1925 y 1940, han demostrado en forma inequívoca la realidad de la previsión de la mecánica ondulatoria; así que el electrón, que hasta entonces había sido considerado como un elemento puramente material y cuyos atributos eran solamente la masa, la carga y la energía cinética, debe ahora considerarse con propiedad ondulatoria y con un largo de onda asociado de un valor bien determinado y preciso dependiente de su masa, de su velocidad y de la constante universal de Planck.

Por lo tanto, no solamente la energía radiante se manifiesta a veces como onda y a veces como corpúsculo, sino que también la materia tiene la posibilidad de manifestarse bajo este doble aspecto. Parece, por lo tanto, que se puede afirmar que este dualismo no es debido a una interpretación humana de los hechos sino



que a un principio general ínsito en la naturaleza misma.

Nadie podía prever los resultados universales y de importancia trascendental logrados.

Las ondas electromagnéticas, la luz invisible, la luz visible, los rayos X, las emisiones de las sustancias radioactivas, los electrones, los átomos, vienen a tener propiedades comunes y vienen a estar unificados de un modo que nosotros todavía no logramos comprender perfectamente.

Tal vez jamás como en este momento se ha sentido y se siente la limitación de nuestra intuición para comprender, para interpretar la esencia de este dualismo que los fenómenos experimentales y las expresiones analíticas dan por cierto y verdadero.

Pero lo que por el momento puede encontrarse más allá de nuestra comprensión, puede resultar más claro en el futuro, no solamente por medio de la conquista de nuevos descubrimientos teóricos y experimentales, sino que también, y sobre todo, acostumbrando nuestra mente a las nuevas orientaciones del pensamiento científico.