

# PROBLEMAS FILOSOFICOS DE LA FISICA DE LAS PARTICULAS ELEMENTALES

## WERNER KARL HEISENBERG

Heisenberg, Werner Karl. Físico alemán, nacido en Würzburg, el 5 de diciembre de 1901. Premio Nobel de Física en 1932. Estudió Física Teórica en la Universidad de Munich, donde obtuvo el grado de Doctor en 1923. En el mismo año fue ayudante de Max Born en Göttingen. De 1924 a 1927 trabajó en Copenhague con Niels Bohr. En los años 1927 a 1941 fue Profesor de Física Teórica en la Universidad de Leipzig. Director del Max Planck Institut en Berlín (1942-1945), y en 1946 Director del Max Planck Institut en Göttingen. El trabajo de Heisenberg sobre la Teoría Cuántica ha influido profundamente en el desarrollo de la Física Atómica y Nuclear. Autor de "Die Physikalischen Prinzipien der Quantentheorie" (1930), y de otras muchas obras acerca de Mecánica Cuántica, Física Atómica y Rayos Cósmicos.

(De *Encyclopaedia Britannica*, 1968, tomo 11, p. 311.)

Conferencia pronunciada en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de Madrid, el 16 de abril de 1969. Publicada en la revista de la misma Real Academia. Tomo LXIII, cuaderno 3.º.

La Física de las Partículas Elementales —como antes la Teoría Cuántica— no solamente ha puesto sobre el tapete problemas relativos a las ciencias naturales, sino que tiene tanto que ver y tan directamente con cuestiones básicas de filosofía que no se puede apenas esperar comprender la Física de las Partículas Elementales si no se procura al mismo tiempo hallar respuesta a estas cuestiones filosóficas fundamentales.

En la primera parte de esta conferencia me ocuparé de momento de un modo general del concepto “comprender”, tratando de aclarar lo que puede significar dicha palabra en el campo de la Física Atómica o en los más generales de las ciencias naturales. En la segunda parte trataré de los problemas filosóficos más especiales que se plantean ahora en la teoría de las partículas elementales. Quizá lo que pueda hacer de momento es caracterizar la problemática filosófica con tres grandes nombres que pueden representar a las tres formas de pensamiento más importantes. Por un lado está KANT, con su teoría de las antinomias y, por otro los dos filósofos griegos: DEMÓCRITO con la teoría del átomo y PLATÓN con la de las ideas. Y hasta la tercera parte de la conferencia no entraré en la decisión que el empirismo establece, es decir, trataré de la respuesta que da la física de las partículas elementales a los problemas filosóficos y de las enseñanzas que podemos sacar de este moderno desarrollo.

Empecemos con la pregunta de lo que la palabra “comprender” significa en la Física. Voy a comenzar con algunos ejemplos históricos en los que apreciarán en seguida la problemática de este concepto. En la antigüedad, TOLOMEO sentó las bases de la Astronomía que han sido válidas luego durante casi milenio y medio. Sin conocer o tener en cuenta los trabajos anteriores de HIPARCO y ARISTARCO, en los que se pensaba ya en un sistema planetario heliocéntrico, TOLOMEO desarrolló la idea de que las órbitas de los planetas pueden pensarse como formadas por ciclos y epiciclos, sentando con ello una base práctica para la astronomía que luego ha demostrado siempre su validez. Con esta representación de ciclos y epiciclos se podían prever muy bien los eclipses de sol y de luna. Se tardó milenio y medio hasta que COPÉRNICO introdujera de nuevo el sistema heliocéntrico, desarrollando por último NEWTON esa teoría del sistema planetario que desde entonces reconocemos como verdadera. Desde nuestro punto de vista actual apenas si puede decirse, por lo tanto, que en la época de TOLOMEO se hubieran comprendido los movimientos de los planetas. Diríamos más bien que hasta NEWTON no se han podido interpretar realmente di-

chos movimientos. Ven pues, inmediatamente cómo aquí la palabra “comprender” se nos ha hecho problemática.

Otro ejemplo: en el siglo XVIII se realizaron algunos experimentos importantes en relación con la teoría de la electricidad, efectuándose por parte de notables físicos y matemáticos teóricos cálculos sobre las fuerzas existentes entre cuerpos cargados eléctricamente. Pero, como diríamos ahora, todavía no habían comprendido, a pesar de ello, la esencia de los fenómenos eléctricos. Fue mucho más tarde cuando FARADAY dio al problema un giro aparentemente pequeño al no hablar ya de las fuerzas existentes entre los cuerpos, sino de las fuerzas en función de espacio y tiempo, de los campos de fuerza. Con ello se introdujo un cambio en la base del concepto, que poco después indujo a MAXWELL a formular su famosa ecuación, y que puede considerarse como la verdadera aclaración, en cuanto a concepto, del problema de la teoría de la electricidad. Probablemente podríamos decir ahora que hemos comprendido la teoría de la electricidad, pero no sabemos con seguridad si atribuir el mérito principal de tal comprensión a FARADAY o a MAXWELL.

Tras estos ejemplos que acabo de mencionar parece como si la comprensión equivaliese al conocimiento de la forma matemática definitiva de las leyes naturales en el terreno de que se trate. Pero tampoco esto es siempre así. Recordemos, por ejemplo, la hidrodinámica. Las ecuaciones hidrodinámicas ya fueron formuladas en su forma definitiva más de cien años antes por NAVIER y STOKES. Pero aún transcurrieron casi cien años hasta que se pudo comprender el movimiento normal de los líquidos, es decir, la turbulencia. Hasta hace pocos decenios no se crearon conceptos totalmente nuevos, hasta que no se introdujo la estadística en la transmisión de energía e impulso por torbellinos, no se pudo comprender finalmente la turbulencia gracias a los trabajos de KOLMOGOROV, ONSAGER y VON WEIZSÄCKER. Para dar un ejemplo más, diremos que la mecánica cuántica se ha formulado matemáticamente en los años veinte, pero la teoría de la superconductividad quedó mucho tiempo más sin ser comprendida, realmente hasta hace unos diez años, cuando se adoptaron conceptos tales como el movimiento colectivo o la degeneración del estado básico (como se dice científicamente). Ven pues, que la palabra “comprender” no está en absoluto tan desprovista de problemas como a primera vista parece.

Quizá podemos adelantar en el análisis, si nos detenemos un momento a pensar en el aspecto que, en un nuevo campo de la física, presenta el camino que va desde las primeras observaciones y conocimientos hasta la verdadera comprensión. En todo campo nuevo se emprenden primeramente ensayos experimentales, se recoge material y se procura, al aumentar el número de los hechos experimentales, poner un poco de orden en lo que sucede. Luego se comenzó a interpolar o extrapolar los resultados de los diferentes experimentos, pudiendo ya prever a base de ellos, lo que probablemente ha de esperarse de uno futuro y determinado. El paso siguiente consistirá probablemente en procurar establecer un orden conceptual en el material experimental, aplicando al mismo los conceptos ya existentes en la física de ese momento. Así, por ejemplo, cuando empezó la física de la

corteza del átomo se aplicó, naturalmente, a la misma mecánica de NEWTON, y en nuestra época se utiliza con la misma naturalidad el concepto de número cuántico a la teoría de las partículas elementales. A toda nueva partícula elemental que se descubre le volvemos a aplicar números cuánticos, lo mismo que antes a los estados estacionarios en la corteza del átomo. No podemos actuar de otro modo, porque estos conceptos son los que poseemos y, fundamentalmente, ningún otro. Pero con ello no se consigue en la mayoría de los casos un verdadero entendimiento, y por lo regular sucede que al final se da uno cuenta de que los conceptos antiguos no encajan bien del todo en las experiencias de este nuevo campo, que no se quieren adaptar a lo sucedido en la naturaleza, con lo que se termina por poner en duda los conceptos antiguos.

En casos afortunados se puede montar el llamado "experimentus crucis", o sea dirigir especialmente un experimento a un determinado problema, como por ejemplo, si tiene aún validez tal o cual concepto, o si de algún modo podría dar lugar a resultados equivocados. Un ejemplo muy conocido es quizá el ensayo de BOHRÉ y GEIGER para dilucidar la cuestión de si en el proceso elemental aislado tiene o no validez el principio de la energía, es decir, la ley de la conservación de la energía. Entonces se decidió esta cuestión en sentido positivo, pero aunque así haya sido no por eso se ha conseguido en absoluto la comprensión, ya que después de sucedido puede transcribirse de la forma siguiente:

Los físicos se acostumbran poco a poco a hablar sobre las muchas experiencias nuevas de una forma con la que pueden hacerse entender, y muy lentamente se va alejando su idioma de la terminología que la física antigua había establecido, empezando de una forma inconsciente por así decirlo, a utilizar conceptos que realmente ya no encajan para nada en la física antigua. Éste es un proceso que puede durar años; en la historia de la física ha durado ya decenios y, en determinados casos, hasta siglos. Y hasta que los físicos no han acomodado su pensamiento y su lenguaje —de esta forma medio consciente— al nuevo recinto experimental, no se consiguen formular los nuevos conceptos de un modo claro. Muchas veces, a esta formulación le sigue inmediatamente la representación matemática precisa, y de un golpe surge una nueva situación de la que ya podemos decir que ha sido comprendida.

Quiero hacer especial hincapié a este respecto en que la dificultad principal en este curioso proceso no consiste realmente en hallar los nuevos conceptos, sino en liberarse de los antiguos. Los conceptos que se emplean tienen que tener alguna relación entre sí, lógicamente han de ser consistentes. Por consiguiente, sólo se pueden introducir nuevos conceptos si se abandona el esquema antiguo en determinados puntos. Sin embargo, este desligarse de los conceptos antiguos resulta extraordinariamente difícil y exige, según las circunstancias, un cambio, no sólo de contenido, sino también de la estructura de nuestro pensamiento, cambios que, naturalmente, sólo pueden realizarse con mucha lentitud.

Si el proceso desde las primeras experiencias hasta la comprensión definitiva tiene lugar aproximadamente en esta forma, ¿qué criterio tenemos

de haber comprendido algo?, ¿qué queremos decir con la palabra "comprender" y qué grado de garantía ofrece esta comprensión? Existe a este respecto una tesis pragmática, que vamos a expresar pero sólo para volver a rechazarla a continuación. Y es que, si en un campo experimental nuevo pudiéramos prever en cada caso lo que sucedería en un experimento no demasiado complicado, ya hemos comprendido dicho campo experimental.

Este criterio me parece, sin embargo, insuficiente, y ello por varias razones. En primer lugar, existen campos experimentales en los que aunque no podamos calcular de antemano con exactitud lo que sucede, podemos afirmar, sin embargo, que los hemos comprendido de verdad. Recuerdo, por ejemplo, la química cuántica. Desgraciadamente, por la complejidad matemática de la química cuántica sólo en casos muy extremos es posible predecir con alguna exactitud el resultado de un experimento químico. A pesar de ello, y fundándonos en la teoría cuántica creemos haber comprendido lo esencial de los procesos químicos. Existe también el caso inverso: la Astronomía de *TOLOMEO* puede servir como ejemplo de que un cálculo previo muy bien hecho —como predecir la fecha y transcurso de los eclipses del sol y de la luna—, no supone que lo esencial haya sido comprendido. Por consiguiente, parece que no puede uno conformarse con el criterio pragmático de la comprensión inclinándose a poner en su lugar otro criterio que dijese aproximadamente lo siguiente: Se comprende un dominio de la ciencia cuando se han creado los conceptos adecuados y correctos para captar los resultados y fenómenos del mismo. Esta idea sigue siendo a lo sumo insatisfactoria por tener que seguir preguntándonos a continuación: ¿En qué se nota la validez de los conceptos? ¿Qué criterios existen para ello? En algunos casos se consigue, una vez formulados los conceptos, dar un esquema matemático tan delimitado, tan unitario y bello que, por así decirlo y basándose simplemente en el aspecto estético de esta matemática, apenas si puede ya dudarse de que se trate de una verdadera comprensión. Como es natural, un esquema matemático de este tipo se puede, y se debe siempre comprobar a base de experimentos, viendo si éstos confirman la exactitud de aquél. Así, por ejemplo, la teoría de la relatividad ha convencido por su gran simplicidad matemática y la belleza de la transformación de *LORENTZ*, aparte también de haber sido comprobado en todos los experimentos realizados. Pero no siempre tiene que ser así y, por ejemplo, para comprender la superconductividad no puede hablarse de una belleza matemática especial o de una confirmación muy segura a base de experimentos. En este caso ya se conocían de antemano las leyes naturales generales que intervienen en el mismo, y tampoco es posible por ahora un verdadero cálculo a fondo de sistemas tan complicados como los de cualquier metal superconductor. El paso decisivo para ello se ha dado introduciendo nuevos conceptos, como la degeneración del estado básico, el movimiento colectivo, etc., que hicieron ver de repente el problema con la sensación de haber comprendido ya lo fundamental. Quizá haya que decir que en el fondo se trata siempre de una cuestión de simplicidad. Cuando pueda describirse un campo experimental complicado con relativamente pocos conceptos sencillos y no contradictorios, de forma que se vea que lo

que se saca al aplicar tales conceptos encaja con las distintas experiencias, podrá decirse que se ha comprendido el fondo de la cuestión.

En el antiguo auditorio de POHL, en Göttingen, campeaba el lema del "Simplex sigillum veri" ("la sencillez es la característica de la verdad"). Probablemente no pueda aplicarse nada mejor como criterio para medir la adecuación.

Vuelvo a hacer hincapié, sin embargo, en que la dificultad para comprender un nuevo campo experimental reside menos en hallar conceptos nuevos y simples que en abandonar los antiguos. El abandonar, el desligarse de los conceptos viejos, es el problema principal; así, por ejemplo, la lucha que en su momento se entabló contra la teoría de la relatividad hay que atribuirla únicamente a las dificultades que se encuentran para deshacerse del anterior concepto de la simultaneidad. Asimismo creo que en la física actual de las partículas elementales, sobre la que hablaré más tarde, la dificultad decisiva consiste en que hay que deshacerse del concepto de las bases fundamentales de la materia, sobre las que parece asentarse gran parte de nuestra física y química, especialmente de la física del siglo pasado. "Comprender" significa por tanto, a fin de cuentas, la adaptación de nuestro pensamiento a los nuevos campos experimentales mediante la formación de nuevos conceptos apropiados.

Tras estas consideraciones previas voy a pasar al problema central de mi conferencia de hoy, es decir, a la pregunta de cuáles son los problemas filosóficos afectados por la teoría de las partículas elementales, y lo que sobre tales problemas filosóficos tiene que decir la física de las partículas elementales, que vemos ahora empíricamente extendida ante nosotros. Quisiera empezar con un trozo especial de la llamada teoría antinómica de KANT. KANT establece que nuestro pensamiento está construido de forma que tenemos que contestar determinadas preguntas fundamentales con respuestas aparentemente opuestas, es decir, que se nos plantea un dilema lógico del cual realmente no sabemos salir bien con nuestra manera corriente de pensar. Voy a poner en cabeza una de estas antinomias aunque realmente no pertenece a la física de las partículas elementales, sino a la antigua teoría cuántica: la cuestión de la validez y de la causalidad. KANT argumentó más o menos de la siguiente forma, trasladando yo ahora al lenguaje moderno su forma de expresarse y de crear conceptos: la causalidad no es una ley que podamos confirmar o rechazar empíricamente, sino que es condición previa para captar con el pensamiento la realidad; condición previa para poder observar algo. Si, por ejemplo, percibimos cualquier cosa con nuestros sentidos y hablamos de observación, presuponemos de antemano que la relación causal entre el fenómeno y la impresión de nuestros sentidos se desarrolla sin perturbación alguna; que, por ejemplo, el fenómeno en cuestión da lugar a la emisión de rayos luminosos, que estos rayos llegan a nuestros ojos, son refractados por el cristalino, excitan la retina y, finalmente, al transmitirse esta excitación de la retina al cerebro, tiene lugar la impresión sensorial. Si esta relación causal entre la impresión sensorial y el fenómeno fuera perturbado, ya no podríamos decir que habíamos observado algo. El concepto de observación presupone, pues, la validez de

la causalidad. Así, si pretenden cultivarse las ciencias naturales, hay que partir de la base de que antes de cada proceso existe otro seguido por el primero de acuerdo con una regla. Por otro lado, KANT vio, naturalmente, que llegado a este punto se presenta un dilema si se piensa en el problema del libre albedrío; ya que tenemos la sensación de poder decir libremente lo que queremos hacer, ir aquí o allá, y que esta actuación nuestra no está determinada de antemano de una forma causal; ya que podemos variarla. KANT no encontró salida en este punto, habiendo, por tanto, incluido este dilema en sus antinomias. No contó, sin embargo, con la posibilidad de que una ciencia natural empírica —en este caso, la teoría cuántica— podría afirmar un día que existe en ella una respuesta definitiva pero negativa: que los procesos no estén determinados de una manera totalmente causal. Pero en este tema de la causalidad no querría entrar ahora de momento.

La antinomia de que se trata en la física de las partículas elementales es la de la divisibilidad finita o infinita de la materia. KANT se hizo la siguiente pregunta: ¿Qué sucede cuando se intenta dividir cada vez más y más la materia? Según el modo en que argumentemos, llegamos a resultados contradictorios. Podemos decir así, en primer lugar, que nuestro pensamiento está construido de forma que sólo podemos comprender a DEMÓCRITO y a PLATÓN. Los filósofos griegos ni siquiera han tomado seriamente en consideración esta segunda alternativa de que la materia podría ser indefinidamente divisible, probablemente por no haber acabado de dominar el problema de la continuidad.

Quizá debería empezar por explicar —para hacer comprender luego ciertos procesos de ideas de la teoría de PLATÓN —cómo llegaron los griegos a este tipo de “idealización” que ha constituido la base de su matemática y de su filosofía. ¿Qué es lo que quiere decirse a este respecto con la palabra “idealización”? Volveré a echar mano, para no perderme en planteamientos filosóficos demasiado complejos, de un ejemplo sencillo y aparentemente trivial. En el lenguaje corriente que empleamos en la vida diaria, las palabras, como sabemos, no tienen un significado totalmente concreto. La frase, tan usual en matemáticas, de que “si  $a$  es igual a  $b$ , y  $b$  es igual a  $c$ , entonces  $a$  tiene que ser igual a  $c$ ”, no tiene por qué ser válida en el lenguaje cotidiano. Si decimos, por ejemplo, que la manzana  $a$  tiene el mismo tamaño que la manzana  $b$ , y que la  $b$  es igual que la manzana  $c$ , la manzana  $a$ , naturalmente, no tiene por qué ser igual de grande que la  $c$ . Puesto que la palabra “igual” puede creerse tan imprecisa que quizá en los dos primeros casos no hayamos podido apreciar la diferencia, pero en los dos casos extremos  $a$  y  $c$  vemos ya una cierta diferencia. En otras palabras, si definimos, por ejemplo, el concepto “igual”, afirmando en la definición que si  $a$  es igual a  $c$ , es que hemos idealizado la palabra “igual”. La hemos concretado de una forma determinada tal, que ahora son posibles largas cadenas que antes no lo hubieran sido. Se puede así proseguir todo lo que se quiera: si  $c$  es igual a  $d$ , y  $d$  igual a  $e$ , entonces también será  $a$  igual a  $e$  y así sucesivamente. Estos conceptos idealizados, de lo complicado refiriéndolo a lo sencillo. Por ello, a fin de cuentas tiene que poderse relacionar todo suceso

material con lo sencillo. Y finalmente tenemos también que suponer que al final de la división aparezcan componentes sencillos de la materia. De ahí por ejemplo los esfuerzos de la química al utilizar los elementos químicos conocidos como componentes fundamentales de una gran cantidad de combinaciones químicas. La física ha avanzado más en la misma dirección. Los átomos de los químicos se han concebido como compuestos de núcleo atómico y electrones. Los núcleos atómicos se conciben como compuestos de protones y neutrones.

Por otro lado, según dice KANT, podemos también demostrar que esta vía de la división nunca puede conducir a algo sencillo, puesto que si nos imaginamos partes pequeñísimas y sencillas de la materia, tienen que tener, por tratarse de materia al fin y al cabo, su sitio en el espacio. Sin embargo, el espacio es continuo, es decir, que de cada parte, por pequeña que sea, podemos por lo menos imaginarnos que puede dividirse aún en dos mitades o en fracciones aún más pequeñas. E incluso, aunque en principio fuera imposible por razones técnicas, ello no impide que supongamos que mediante el empleo de fuerzas mayores y técnicas más nuevas hubiera al final posibilidad de crear partes más pequeñas todavía. KANT no ha tenido tampoco en cuenta este caso que el problema podría decidirse empíricamente algún día y que probablemente la física podría decir al final: ahora sabemos cuáles son los componentes más pequeños de la materia, y ésta ya no puede dividirse más.

Este problema de la divisibilidad de la materia es, naturalmente, mucho más antiguo que la filosofía de KANT, y con ello vuelvo a los otros dos filósofos a los que ya me referí en la introducción que se agudizan o axiomatizan mediante ciertas reglas de relación, adquieren así, en cierto modo, una vida propia, es decir, permiten construcciones complicadas, que no conocemos en la vida corriente y que por eso precisamente las denominamos con el nombre genérico de construcciones matemáticas. Los griegos han conseguido esta forma de idealización en la Aritmética. Vieron que con el concepto de contar se puede montar una ciencia complicada, la Aritmética y la teoría de los números, y que con la idealización de este concepto "contar" vienen ya dadas realmente las muchas relaciones complejas, por ejemplo, sobre los números primos, que más adelante han sido halladas por los matemáticos en el transcurso de los siglos.

Aunque los griegos consiguieron la idealización de la Aritmética, no les sucedió lo mismo con la de la continuidad. Por decirlo con más propiedad, no consiguieron captar el continuo en un lenguaje matemático exacto e idealizar de este modo el concepto de "continuo".

WEIZSÄCKER formuló una vez: "los griegos ni inventaron ni hubieran podido inventar el cálculo integral y diferencial por haber pensado con demasiada claridad". Sea como sea ha sido la matemática moderna la que ha atacado por primera vez la axiomatización del continuo. Aquellos de ustedes que sean matemáticos sabrán muy bien lo difícil que es esta axiomatización, lo difícil que es el desarrollo de la disciplina de la teoría de los conjuntos. Probablemente no se hayan resuelto además con ello todos los problemas. En cualquier caso, para la matemática griega estaba claro que



no se podía penetrar honestamente en el continuo. Son de mencionar, por ejemplo, las conocidas paradojas de ZENO de ELEA como el famoso sofisma de "Aquiles y la tortuga". Los griegos, por tanto, por rechazar lo continuo debido a sus limitaciones matemáticas tuvieron que llegar a la conclusión de que si se sigue dividiendo la materia, se encuentran al final componentes pequeñísimos.

Sin embargo, existen dos representaciones completamente opuestas de estos componentes que se deben a dos filósofos griegos. La primera fue la famosa teoría del átomo de DEMÓCRITO y LEUKIPO, y la segunda, la teoría de las ideas de PLATÓN, o mejor dicho, la teoría que en el diálogo de TIMEO nos lleva a los cuerpos platónicos. DEMÓCRITO enseñó que si se sigue dividiendo la materia, se llega al final a objetos que en realidad son lo existente y que en el fondo no tienen otras características aparte de la propiedad de existir. Son intransformables, invariables y se les dio por ello el nombre de átomos, o sea objetos indivisibles e invariables. En realidad, según esta teoría, la impresión sensorial es producida por el movimiento y por la disposición de los átomos. Como dice DEMÓCRITO: "Una cosa sólo tiene color en apariencia; sólo aparentemente es dulce o amarga; en realidad, sólo existen los átomos y su movimiento, su disposición en el espacio". El problema de si los átomos fuesen a su vez divisibles lo rechazó DEMÓCRITO por falta de sentido, por ser la división algo que solamente puede efectuarse en un objeto que esté compuesto de muchos átomos. Lo realmente existente existe precisamente en esta teoría en forma de átomo.

PLATÓN consideró esta interpretación demasiado burda, y la teoría del átomo de DEMÓCRITO le satisfacía tan poco que posteriormente se afirmó de él que hubiera deseado se hubieran quemado los libros de DEMÓCRITO. Las ideas de PLATÓN eran totalmente distintas. En relación con la idealización de que ya hablamos antes, PLATÓN suponía que al final, si se continúa siempre procurando dividir, no se puede volver simplemente a objetos, o sea a cosas materiales, pues de éstos solamente podría afirmarse que prácticamente no podrían seguir dividiéndose. PLATÓN creía, pues, que al final, al terminar de dividir, sólo se encontraría forma, ya no más materia. Al decir ya PITÁGORAS que las cosas son números, no puede apenas haberse referido a otra cosa sino a que tras los acontecimientos multicolores del mundo existen relaciones matemáticas, formas que únicamente pueden expresarse en lenguaje matemático y que son las que al fin de cuentas determinan la estructura del acontecer material. Si se continúa dividiendo la materia más y más, según PLATÓN, se llega por último a algo que realmente sólo es ya matemática, sólo es forma. PLATÓN se imaginaba que al principio existen ciertos triángulos, que a partir de dichos triángulos se van formando los cuerpos regulares, como por ejemplo tetraedros, octaedros, y que las partículas más pequeñas del elemento agua o del elemento fuego serían precisamente esos cuerpos regulares. Así, por ejemplo, las partículas más pequeñas del elemento tierra se equipararían al cubo, las del elemento fuego al tetraedro, etcétera, de acuerdo con estas ideas las partículas mínimas de la materia, o sea estos cuerpos platónicos no son átomos, ya que no son intransformables, sino que se componen de triángulos, pudiendo descomponer un cuerpo pequeñísi-

mo en sus triángulos y componerlo de nuevo formando otro cuerpo pequeñísimo o varios. Pero los triángulos mismos no son seguramente materia, sino solamente forma, y en este sentido puede decirse que en el último extremo de la escala de la materia dividida ya no existe materia, sino forma matemática. Quiero aludir a continuación, para establecer contacto con la física moderna, a que los cuerpos platónicos son cuerpos especialmente simétricos, que se caracterizan por sus propiedades de simetría con relación a la transformación de rotación en el espacio.

Pasemos ahora a la tercera parte de nuestro tema. ¿Qué dice el empirismo actual sobre las preguntas planteadas por KANT, DEMÓCRITO y PLATÓN? Voy a hablar primeramente de un experimento básico que se ha repetido miles o millones de veces y que viene preocupando a los físicos desde hace diez años o más. Primero, sin embargo, unas palabras sobre su prehistoria. Durante mucho tiempo, sobre todo en el siglo pasado, parecía como si nos pudiésemos regir por las ideas de DEMÓCRITO. La Química había enseñado que podemos comprender las combinaciones químicas pensando que las moléculas están compuestas de los átomos de los elementos químicos. Los elementos químicos, en opinión de los químicos, se componían de átomos sencillos, o sea formas indivisibles, en cualquier caso indivisibles desde el punto de vista químico. Luego han descubierto los físicos que estos átomos de los químicos son formaciones compuestas y complicadas. Conocen la tesis de BOHR según la cual el átomo es una especie de sistema planetario, en cuyo centro se encuentra el núcleo atómico que está rodeado por electrones a modo de planetas. La descomposición del átomo químico en núcleo atómico y electrones pudo efectuarse mediante procesos sencillos de descarga. En los primeros decenios de nuestro siglo se descubrió luego que tampoco el núcleo atómico es sencillo, sino compuesto. Lord RUTHERFORD consiguió ya a partir de 1919 descomponer núcleos atómicos en unidades más pequeñas. La física nuclear comenzó luego con mayor amplitud en el año 1932. Se descubrió que el núcleo atómico se compone de protones y neutrones, considerando finalmente a estas partículas —protones, neutrones y electrones— como los componentes fundamentales de la materia. Esta imagen, aparentemente sencilla, es decir, la composición de toda materia a base de estos tres componentes básicos volvió a complicarse en seguida. Además de los protones, neutrones y electrones se descubrieron partículas elementales nuevas, de vida corta, los mesones  $\mu$  y los mesones  $\pi$ , y actualmente conocemos todo un espectro de tales formaciones, existiendo probablemente más de cien con características distintas. Sin embargo, el punto decisivo no es precisamente el que se hayan conocido ahora tantas partículas elementales, sino lo problemático que se ha vuelto el concepto de la división.

Experimentalmente quizá no pueda probarse la división de otro modo que disparando partículas elementales a mucha velocidad y con grandísima energía sobre otras partículas elementales, y viendo si estas últimas se deshacen formando unidades más pequeñas. Por ello han tenido que construirse aceleradores cada vez más grandes con objeto de poder acelerar partículas elementales a energías cada vez más elevadas. El primer acelerador de esta clase, que básicamente hubiera sido capaz de descomponer

también protones, se construyó en los años cincuenta en Berkeley. A él se añadieron luego las grandes máquinas de Ginebra, Brookhaven, Dubna y, últimamente, la de Serpukhow en Rusia, disponiéndose actualmente de máquinas con las que se aceleran protones a la gran energía de 70 GeV, es decir, que se les da una energía equivalente a la que tendrían si hubieran sido sometidos a una tensión de 70.000 millones de voltios. Con estas máquinas se ha intentado seguir descomponiendo partículas elementales, pero al hacerlo se comprobó que la naturaleza había previsto una salida sorprendente para el dilema de "seguir siempre dividiendo". Si se disparan dos partículas elementales de esta clase una sobre otra con una energía muy alta, pueden librarse de hecho, como muestran los experimentos, muchos "escombros" en este proceso de destrucción, y a primera vista parece como si se hubieran descompuesto las partículas elementales en muchas otras más pequeñas. Sin embargo, mirándolo con más atención, se ve que las partículas elementales producidas no son más pequeñas que aquellas a las que se hizo chocar. En otras palabras, que lo que sucede en un choque de este tipo no es propiamente la descomposición de una partícula elemental en partes más pequeñas, sino una producción de materia por la energía. Ya saben ustedes que, según la teoría de la relatividad, materia y energía son equivalentes, es decir, que de la energía puede surgir materia o que la materia puede transformarse en energía. En este caso, pues, se ha transformado en materia la gran energía cinética de las partículas elementales que han chocado, produciéndose nuevas partículas elementales. El concepto de partículas elementales más pequeñas se nos hace, pues, problemático de una forma bastante curiosa. Las partículas elementales que conocemos en la actualidad son elementales en tanto en cuanto no existen otras más pequeñas. Pero no puede afirmarse que sean indivisibles porque al hacerlas chocar con gran energía pueden producirse muchas nuevas. Estas nuevas no son tampoco más pequeñas, sino que pertenecen al mismo grupo de las partículas elementales. De esta forma paradójica puede formularse, por tanto, lo siguiente: que cada partícula elemental se compone de todas las demás partículas elementales, o también que todas las partículas elementales están hechas de la misma sustancia, pudiendo llamar a dicha sustancia, energía o materia, aspecto que ya no puede distinguirse. También puede formularse diciendo que la energía se convierte en materia al adoptar la forma de la partícula elemental. Los físicos emplean, para acostumbrarse a esta situación nueva e inesperada, muchas veces la formulación paradójica de que cada partícula elemental se compone de todas las demás partículas elementales. Expresada de este modo, la frase no tiene sentido, naturalmente, pero reproduce bien la situación paradójica y muestra, precisamente con esta formulación tan contradictoria, lo que realmente sucede en los experimentos. No voy a hablar aquí, naturalmente, sobre detalles de estos experimentos. Pero los físicos han tenido que deducir por sus ensayos que en realidad las partículas elementales, que conocemos ahora en número tan grande —no solamente protones, neutrones, electrones, sino también mesones  $\mu$ , mesones  $\pi$ , mesones K, y como se llamen—, son o no son fundamentales de la misma forma. Creemos que

no existen unidades fundamentales más pequeñas, sino que estas partículas son precisamente formas fundamentales de la materia, que se forma cuando se dispone de energía suficiente para que se produzcan. Naturalmente, vuelve a ser extraordinariamente difícil acostumbrarse a un desplazamiento así de los conceptos, a una variación tal del significado de la palabra "dividir", y por ello, la idea que acabamos de describir acerca de la esencia de las partículas elementales no se ha acabado de abrir paso, ni mucho menos, en todos los físicos. Probablemente con el nuevo gran acelerador ruso Serpukhow se seguirán buscando partículas "aún más fundamentales". Existe, por ejemplo, la tesis de un físico americano de que, junto a las partículas hasta ahora conocidas, deben existir además otras formaciones nuevas, y más fundamentales, que designa con el nombre de partículas Quark y con las que espera hacer comprender la estructura y característica de las partículas elementales que hasta ahora conocemos. Lo característico de estas partículas parece ser que su carga electrónica es menor, en un factor  $1/3$  o  $2/3$ , que la de los electrones o protones. Por mi parte, he de confesar que no comparto esta esperanza. No creo que existan partículas aún más fundamentales que las elementales ya conocidas, sino que supongo que hay que renunciar al concepto de partícula elemental, al concepto de unidad fundamental más pequeña en la forma que ha imperado anteriormente. Creo que las partículas elementales que ahora se conocen —y no voy a meterme, naturalmente, en detalles— son realmente los últimos componentes fundamentales de la materia. Hemos llegado así al final de la división. Y contradecimos, por tanto, en este punto a KANT, que creía que se podían imaginar partículas cada vez más pequeñas y que diría que esta forma de pensar no tendría relación alguna con lo que sucede en la naturaleza. Si consideramos, pues, definitivo el resultado de los experimentos realizados hasta ahora respecto al concepto de la división, podemos continuar preguntándonos qué es lo que se deduce ahora del empirismo sobre la antigua controversia entre DEMÓCRITO y PLATÓN. Como es natural, hay que realizar en el futuro muchos experimentos más en los grandes aceleradores para asegurarnos que el juicio que acabamos de expresar es definitivo. Pero esto es asunto que, como dijimos, compete a los físicos experimentales y a los grandes aceleradores.

Supongamos, pues, de momento, que se trata de un juicio definitivo y consideremos si este juicio, si la física actual de las partículas elementales da la razón a PLATÓN o a DEMÓCRITO. ¿Qué clase de formaciones son estas partículas elementales, según la física moderna? A este respecto hay que decir de entrada que para una exacta representación de nuestros experimentos, a partir de la teoría cuántica, nos vemos obligados a referir la descripción matemática, no propiamente a lo efectivo, sino a lo posible. Las figuras matemáticas con las que operamos en la teoría de la corteza del átomo o, en general, en la teoría cuántica, son magnitudes que calificamos de funciones o amplitudes de probabilidad y que nos dan una idea sobre la probabilidad con que puede o no producirse un determinado proceso.

Las representaciones matemáticas de los llamados estados estacionarios

de la corteza del átomo se caracterizan por sus propiedades de simetría y éstas, a su vez, por los llamados números cuánticos. Los números cuánticos, bien conocidos ya desde hace unos cuarenta años por la mecánica cuántica, equivalente a testimonios matemáticos sobre las características de simetría y las propiedades de transformación precisamente de aquellas amplitudes de probabilidad a que acabamos de referirnos.

Se ha demostrado ahora también en la física de las partículas elementales que se puede caracterizar por números cuánticos a las distintas partículas elementales y a los estados estacionarios de la corteza del átomo. Estos números cuánticos significan, al parecer, otra vez, lo mismo que en la corteza del átomo, un testimonio sobre las características de simetría del estado de que se trate. Los físicos han aprendido de los matemáticos que los llamados teoremas de conservación de la física antigua —es decir, conservación de la energía, del impulso, etc.— se basan en las propiedades simétricas de la ley natural. Es decir, que siempre que la ley natural básica es invariante frente a determinadas transformaciones matemáticas —como ejemplo más famoso voy a citar el grupo de LORENTZ—, tienen validez los correspondientes teoremas de conservación. Los estados estacionarios son, en cierto modo, representaciones matemáticas de estos grupos de simetría. En los estados estacionarios de la corteza del átomo del hidrógeno, estudiado hace ya cuarenta años, se trataba de revoluciones en el espacio y los distintos giros estacionarios tenían características de transformación o simetría muy concretas en relación con la rotación en el espacio; precisamente son estas características de transformación las que se indican mediante los llamados números cuánticos. En la física de las partículas elementales se ha demostrado ahora del mismo modo que también las partículas elementales pueden caracterizarse por números cuánticos, aunque referidos, sin embargo, a grupos continuos algo más complicados que en la corteza del átomo. Se trata aquí sobre todo del ya mencionado grupo de LORENTZ de la teoría especial de la relatividad, y además del llamado grupo Isospin y también de otras simetrías más que no voy a contar por separado, ya que es asunto propio de especialistas y de matemáticos. Sin embargo, la afirmación de que ésta o aquella partícula elemental tiene éste o aquel número cuántico, significa en todos los casos un testimonio sobre la simetría, es decir, sobre el comportamiento de la figura matemática representativa en la operación simétrica de referencia. Con ello me parece que la controversia entre PLATÓN y DEMÓCRITO se resuelve a favor de PLATÓN, pues era PLATÓN precisamente el que quería que se comprendiesen los últimos componentes de la materia como figuras matemáticas caracterizadas por sus propiedades simétricas; y esto es precisamente lo característico de los estados estacionarios de la teoría cuántica y, como sabemos ahora, también de las partículas elementales en la física de las partículas elementales. En todo caso, nuestras simetrías actuales son algo más complicadas que las que pensaba PLATÓN. Pero su idea fundamental sigue siendo correcta; las partículas elementales se representan primero por figuras matemáticas caracterizadas por sus propiedades simétricas. Estas figuras matemáticas representan, sin embargo —según se expresa generalmente en la teoría cuántica—, lo posible, no lo

efectivo. Lo efectivo aparece luego en los experimentos, por ejemplo, en forma de gotitas de agua en una cámara de niebla, de burbujas en una cámara de burbujas, o lo negro en una placa fotográfica. Las figuras matemáticas indican, sin embargo, la posibilidad de la partícula elemental en cuestión.

Quizá para terminar deba volver brevemente al problema de si se pueden decidir aquí empíricamente, y hasta qué punto, los problemas filosóficos. En cierto sentido, la física de hoy es en realidad tan ambiciosa que, por ejemplo, la causalidad expresada por KANT no tiene validez en la forma en que KANT la supuso. O bien pretende, en la cuestión de las partes más pequeñas de la materia contra la posibilidad apuntada por KANT de que la materia siempre sigue siendo divisible, para poder decidir a favor de PLATÓN en la controversia entre éste y DEMÓCRITO. ¿De dónde toma una ciencia empírica este grado de seguridad? ¿Y cómo puede ser por ejemplo, el que la física moderna deje de lado o haya superado las pruebas aparentemente irrefutables que KANT expuso en su teoría de las antinomias?

Creo que puede delimitarse con mucha exactitud el punto en que esto sucede. KANT ha preguntado: ¿Cuáles son las formas de nuestro pensamiento que nos dan acceso por primera vez a la ciencia natural? Y estableció, con razón, que presuponemos los conceptos de espacio y tiempo cuando hablamos sobre las cosas y lo que observamos. Tuvo también razón al afirmar que presuponemos ya la causalidad al hacer observaciones, pues tenemos que basarnos en la relación causal entre el fenómeno y el hombre que lo contempla. KANT, basándose en este exacto conocimiento de nuestro aparato mental, estableció de un modo absoluto las condiciones previas a las que acabamos de aludir. No tuvo en consideración lo que realmente pasa luego en el desarrollo de la ciencia natural, es decir, el que a base del empirismo, y de la experiencia, no sólo varía el contenido de nuestro pensamiento, sino también la estructura del mismo. KANT contó, desde luego, con que tendrían que variar y podrían variar los contenidos del pensamiento, pero no tuvo en cuenta que varía también esencialmente la estructura del pensamiento. En la realidad, esta variación en la estructura del pensamiento es, como he dicho antes, un proceso muy difícil y a veces muy doloroso. Es lo que hace comprender que siempre que la ciencia empírica obliga a variaciones en la estructura del pensamiento, se desarrollan grandes luchas que muchas veces hacen difícil la vida para el sabio.

Quizá pueda formularse lo que se aprende de todo este desarrollo, de este enfrentamiento entre física y filosofía de la siguiente forma: reconocer que para el progreso de la física lo más útil y provechoso es no atenerse nunca sin reservas a determinadas directrices filosóficas y —con todos los respetos para el bagaje espiritual de la tradición— procurar siempre mantener en suspenso los fundamentos filosóficos, con la esperanza de poder seguir aprendiendo siempre de ellos y de su enfrentamiento en el futuro.