

## IV. LA TEORÍA CUÁNTICA Y LAS RAÍCES DE LA CIENCIA ATÓMICA

El concepto de átomo se remonta hacia mucho más allá del comienzo de la ciencia moderna, en el siglo diecisiete; tiene su origen en la filosofía de la antigua Grecia, y fue, en aquella temprana época, el núcleo del materialismo enseñado por Leucipo y Demócrito. Por otra parte, la moderna interpretación de los acontecimientos atómicos se parece muy poco a la genuina filosofía materialista; de hecho, se puede decir que la física atómica ha desviado a la ciencia de la tendencia materialista que tenía en el siglo diecinueve. Es, por lo tanto, interesante, comparar el desarrollo de la filosofía griega, hacia el concepto del átomo, con la posición actual de este concepto en la física moderna.

La idea de una última porción de materia, pequeñísima e indivisible, se presentó por primera vez en relación con el desenvolvimiento de los conceptos de *materia*, *ser* y *devenir* que caracterizó a la primera época de la filosofía griega. Este período parte del siglo VI antes de Cristo, con Tales, el fundador de la escuela de Mileto, a quien Aristóteles atribuye la afirmación de que «el agua es la causa material de todas las cosas». Esta afirmación, por extraña que pueda parecer, expresa, como lo ha señalado Nietzsche, tres ideas fundamentales de la filosofía: primero, la pregunta sobre la causa material de todas las cosas; segundo, la exigencia de que esta pregunta sea contestada de conformidad con la razón, sin recurrir a mitos ni al misticismo; tercero, el postulado de que debe ser posible reducir todo a un último principio. La afirmación de Tales fue la primera expresión de la idea de una sustancia fundamental, de la cual todas las otras cosas fueran formas transitorias. La palabra «sustancia» no era interpretada en aquella época, por cierto, con el sentido puramente material que actualmente acostumbramos a darle. La vida se relacionaba con esta «sustancia», o era inherente a ella, y Aristóteles también atribuye a Tales la afirmación de que «todas las cosas

están llenas de dioses». Sin embargo, la cuestión se planteaba en el sentido de la causa material de todas las cosas, y no es difícil imaginar que Tales tomó su primera idea de consideraciones meteorológicas. De entre todas las cosas, sabemos que el agua puede tomar las más variadas formas: en el invierno puede adoptar el aspecto de nieve y hielo; puede transformarse en vapor, y puede formar las nubes. Puede retornar a la tierra, donde los ríos forman sus deltas, y puede brotar del suelo. El agua es la condición para la vida. Por tanto, si tal sustancia fundamental existía, era natural pensar primero en el agua.

La idea de la sustancia fundamental fue llevada entonces más adelante por Anaximandro, discípulo de Tales que vivía en la misma ciudad. Anaximandro negó que la sustancia fundamental fuera el agua, o cualquiera otra de las sustancias conocidas. Enseñaba que la sustancia primera era infinita, eterna y sin edad, y que abarcaba todo el universo. Esta sustancia primera se transforma en las varias sustancias que nos son familiares. Teofrasto cita de Anaximandro: «En aquello de que se originan las cosas, vuelven ellas a transformarse otra vez, como está ordenado, porque ellas se dan mutuamente reparación y satisfacción de sus mutuas injusticias, de acuerdo al orden de los tiempos». En esta filosofía, desempeña un papel fundamental la antítesis entre el Ser y el Devenir. La sustancia primera, infinita y sin edad, el Ser indiferenciado, degenera en las varias formas que conducen a luchas interminables. El proceso del Devenir es considerado como una degradación del Ser infinito, una desintegración en la lucha, expiada últimamente mediante un retorno a aquello que carece de forma y de carácter. La lucha que aquí se menciona es la oposición entre caliente y frío, fuego y agua, húmedo y seco, etcétera. La victoria temporaria de uno sobre el otro es la injusticia que deben reparar finalmente en la ordenación de los tiempos. De acuerdo con Anaximandro, existe un «movimiento eterno», la creación y desaparición de mundos, por toda la eternidad. Es interesante hacer notar, a este respecto, que el problema —si la sustancia primera habrá de ser alguna de las conocidas, o si deberá ser algo esencialmente diferente— surge en forma ligeramente distinta en la parte más moderna de la física atómica. El físico trata actualmente de encontrar una ley fundamental del movimiento de la materia, de la cual puedan derivarse matemáticamente

todas las partículas elementales y sus propiedades. Esta ecuación fundamental del movimiento puede referirse, bien a ondas de un tipo conocido (ondas del *protón* y el *mesón*), o a ondas de un carácter esencialmente diferente que no tengan nada que ver con ninguna de las ondas conocidas ni con las partículas elementales. En el primer caso ello significaría que todas las otras partículas elementales podrían ser reducidas, de algún modo, a algunos pocos tipos de partículas elementales «fundamentales»; de hecho, la física teórica ha seguido esta línea de investigación, principalmente, durante los últimos veinte años. En el segundo caso, todas las diferentes partículas elementales podrían ser reducidas a alguna sustancia universal a la cual podríamos llamar materia o energía, pero ninguna de las diferentes partículas podría ser preferida a las otras por ser más fundamental. Este último punto de vista corresponde a la doctrina de Anaximandro, y yo estoy convencido de que, en física moderna, es el correcto. Pero volvamos a la filosofía griega.

El tercero de los filósofos de Mileto, Anaxímenes, compañero de Anaximandro, enseñaba que la sustancia primera era el aire. «Así como el alma, que es aire, nos mantiene unidos, el aliento y el aire circundan todo el universo». Anaxímenes introduce en la filosofía de Mileto la idea de que el proceso de condensación o rarefacción provoca la transformación de la sustancia primera en otras sustancias. La condensación del vapor de agua en forma de nubes era un ejemplo obvio, y, por supuesto, no se conocía la diferencia entre vapor de agua y aire.

En la filosofía de Heráclito de Éfeso, el concepto de Devenir ocupa el lugar de privilegio. Él considera aquello que se mueve, el fuego, como elemento básico. Resuelve la dificultad de conciliar la idea de un principio fundamental con la infinita variedad de fenómenos, admitiendo que la lucha entre opuestos es, en realidad, una especie de armonía. Para Heráclito, el mundo es, a la vez, uno y muchos; es simplemente la «opuesta tensión» de los opuestos lo que constituye la unidad de lo Uno. Dice: «debemos saber que la guerra es común a todo, y que la lucha es justicia, y que todas las cosas reciben el ser y desaparecen mediante la lucha».

Mirando hacia atrás el desarrollo de la filosofía griega hasta ese momento, se comprende que nació desde el principio hasta esa etapa, por la

tensión entre lo Uno y lo Mucho. Para nuestros sentidos, el mundo consiste en una infinita variedad de cosas y sucesos, colores y sonidos. Pero para entenderlo, debemos introducir alguna clase de orden, y orden significa reconocer lo que es igual, e implica algún tipo de unidad. De aquí surge la creencia de que existe un principio fundamental y, al mismo tiempo, la dificultad de deducir de él la infinita variedad de las cosas. Puesto que el mundo se componía de materia, era natural tomar como punto de partida la idea de que debiera existir una causa material para todas las cosas. Pero cuando se llevaba la idea de unidad fundamental hasta sus últimas consecuencias se llegaba al Ser infinito, eterno e indiferenciado, el cual, fuese o no material, no podía explicar por sí mismo la variedad de las cosas. Esto conduce a la antítesis de Ser y Devenir y, finalmente, a la solución de Heráclito: que el cambio mismo es el principio fundamental; «el cambio imperecedero, que renueva el mundo» como lo han llamado los poetas. Pero el cambio en sí mismo no es una causa material y es representado, por lo tanto, en la filosofía de Heráclito, por el fuego como el elemento básico que es, al mismo tiempo, materia y fuerza móvil.

Podemos hacer notar, en este punto, que la física moderna está, en cierto modo, extremadamente cerca de la doctrina de Heráclito. Si reemplazamos la palabra *fuego* por *energía*, podemos casi repetir sus afirmaciones palabra por palabra, desde nuestro punto de vista moderno. La energía, en efecto, es la sustancia de que están hechas todas las partículas elementales, todos los átomos y, por lo tanto, todas las cosas, y la energía es aquello que se mueve. La energía es una sustancia, ya que su suma total no varía, y las partículas elementales pueden en realidad hacerse de esta sustancia, como se ve en muchas experiencias de creación de partículas elementales. La energía puede transformarse en movimiento, en calor, en luz y en tensión. La energía puede llamarse la causa fundamental de todos los cambios del mundo. Pero esta comparación entre la filosofía Griega y las ideas de la física moderna será analizada más adelante.

Con Parménides de Elea, la filosofía griega volvió por algún tiempo al concepto de lo Uno. Su mayor contribución al pensamiento griego fue, quizá, el haber introducido en la metafísica un argumento puramente lógico. «No puede conocerse lo que no es —ello es imposible— ni proferirlo; porque es

la misma cosa poder ser pensado y poder ser». Por lo tanto, sólo el Uno es, y no hay devenir o desaparición. Parménides negó la existencia del espacio vacío, por razones lógicas. Ya que todo cambio requiere espacio vacío, según suponía, afirmó que el cambio es una ilusión.

Pero la filosofía no pudo permanecer mucho tiempo apoyándose en esta paradoja. Empédocles, en la costa sur de Sicilia, abandonó por primera vez el monismo a favor de una especie de pluralismo. Para evitar la dificultad de que una sustancia primera no pueda explicar la variedad de cosas y acontecimientos, supuso cuatro elementos básicos: la tierra, el agua, el aire y el fuego. Estos elementos se mezclaban y separaban por la acción del Amor y la Lucha. Por lo tanto, estos dos últimos, a los que de varias maneras se los trata como si fueran corpóreos, son responsables del cambio imperecedero. Empédocles explica la formación del mundo de esta manera: Primero, existe la infinita esfera del Uno, como en la filosofía de Parménides. Pero en la sustancia primera, las cuatro «raíces» están mezcladas con el Amor. Entonces, cuando el Amor está desapareciendo y llega la Lucha, los elementos son parcialmente separados y parcialmente combinados. Después, los elementos se separan completamente y el Amor está fuera del mundo. Finalmente, el Amor junta nuevamente los elementos, la Lucha desaparece, y se vuelve así a la esfera originaria.

Esta doctrina de Empédocles representa una vuelta bien definida hacia puntos de vista materialistas. Los cuatro elementos son, más que principios fundamentales, verdaderas sustancias materiales. Aquí se expresa por primera vez la idea de que la mezcla y separación de unas pocas sustancias, fundamentalmente diferentes, explican la infinita variedad de cosas y acontecimientos. El pluralismo no atrae jamás a quienes están habituados a pensar en principios fundamentales. Pero es una clase de compromiso razonable, que evita la dificultad del monismo y permite el establecimiento de algún orden.

El paso siguiente hacia el concepto de átomo fue dado por Anaxágoras, contemporáneo de Empédocles. Durante unos treinta años vivió en Atenas, probablemente en la primera mitad del siglo V antes de Cristo. Anaxágoras insiste en la idea de mezcla, en la suposición de que todo cambio es causado por mezcla y separación. Supone una infinita variedad de infinitamente

pequeñas «simientes» de que se componen todas las cosas, y que en variedad infinita no se relacionan con los cuatro elementos de Empédocles. Pero las simientes se mezclan y se separan nuevamente, y de este modo se produce todo cambio. La doctrina de Anaxágoras admite, por primera vez, una interpretación geométrica del término «mezcla»: Ya que habla de semillas infinitamente pequeñas, su mezcla puede ser imaginada como la mezcla de dos clases de avena de diferentes colores. Las simientes pueden cambiar en número y en posición relativa. Anaxágoras supone que todas las simientes están en todo, sólo que su proporción varía de una cosa a otra. Dice: «Todo está en todo; y no es posible para ellas apartarse, sino que todas las cosas tienen una porción de todo». El universo de Anaxágoras se pone en movimiento, no por el Amor y la Lucha, como el de Empédocles, sino por «Nous», que puede ser traducido como «Mente».

De esta filosofía al concepto del átomo sólo faltaba un paso, que fue dado por Leucipo y Demócrito de Abdera. La antítesis de Ser y No-Ser de la filosofía de Parménides se seculariza aquí en la antítesis de lo «lleno» y lo «vacío». El ser es no sólo Uno, sino que puede repetirse un número infinito de veces. Este es el átomo, la más pequeña unidad indivisible de materia. El átomo es eterno e indestructible, pero tiene un tamaño finito. El movimiento es posible gracias al espacio vacío que existe entre los átomos. Así, por primera vez en la historia, fue mencionada la existencia de las más pequeñas partículas primarias —podríamos decir de partículas elementales— sillares fundamentales de la materia.

De acuerdo con este nuevo concepto del átomo, la materia no consta sólo de lo «lleno», sino también de lo «vacío», del espacio vacío en que se mueven los átomos. La objeción lógica de Parménides al «vacío»: que el no-ser no puede existir, fue sencillamente ignorada, para estar de acuerdo con la experiencia. Desde nuestro punto de vista moderno, podríamos decir que el espacio vacío entre átomos, de la filosofía de Demócrito, no era la nada; era el soporte de la geometría y la cinemática, el que hacía posible las distintas disposiciones y los diferentes movimientos de los átomos. Pero la posibilidad del espacio vacío ha sido siempre un tema filosófico controvertido. En la teoría de la relatividad generalizada, la respuesta es que la geometría es producida por la materia, o la materia por la geometría. Esta

respuesta corresponde más bien a los filósofos que sostienen el punto de vista de que el espacio está definido por la extensión de la materia. Pero Demócrito se aparta claramente de esta manera de pensar, para hacer posible el movimiento y el cambio.

Los átomos de Demócrito eran todos de la misma sustancia, que tenía la propiedad del ser, pero presentaban formas y tamaños diferentes. Eran divisibles, por lo tanto, en un sentido matemático, pero no físico. Los átomos podían moverse y ocupar diferentes posiciones en el espacio. Pero no tenían ninguna otra propiedad física. Carecían de color, de olor y de gusto. Se suponía que las propiedades de la materia que percibimos con los sentidos eran producidas por los movimientos y posiciones de los átomos en el espacio. Así como se pueden escribir tragedias y comedias con las mismas letras del alfabeto, la enorme variedad de acontecimientos del universo pueden producirse con los mismos átomos, mediante sus diferentes disposiciones y movimientos. La geometría y la cinemática, posibles gracias al espacio vacío, resultaban en cierto modo más importantes que el ser puro. Se cita de Demócrito: «las cosas simplemente aparentan tener color, ser dulces o amargas. Sólo los átomos y el espacio vacío tienen existencia real».

Los átomos de la filosofía de Leucipo no se mueven simplemente al azar. Parece que Leucipo creía en un determinismo absoluto, pues se sabe que ha dicho: «nada sucede por nada, sino que todo ocurre por una causa y por necesidad». Los atomistas no dieron ninguna razón que justificara el movimiento inicial de los átomos, lo que demuestra que ellos simplemente pensaban en una descripción causal del movimiento atómico; la causalidad sólo puede explicar sucesos posteriores por sucesos anteriores, pero nunca puede dar razón del comienzo.

Las ideas básicas de la teoría atómica fueron tomadas, y modificadas parcialmente, por filósofos griegos posteriores. A fin de compararla con la física atómica moderna, es importante mencionar la explicación de la materia dada por Platón en su diálogo del *Timeo*. Platón no era atomista; al contrario, Diógenes Laercio cuenta que a Platón le disgustaba tanto Demócrito, que quería hacer quemar todos sus libros. Pero Platón combinaba ideas que estaban próximas al atomismo con doctrinas pitagóricas y enseñanzas de Empédocles.

La escuela pitagórica era una rama del orfismo, que a su vez procedía de los cultos a Dionisio. En ella se estableció la relación entre religión y matemáticas que tanta influencia ha tenido, desde entonces, en el pensamiento humano. Los pitagóricos parecen haber sido los primeros en comprender la fuerza creadora que poseen las formulaciones matemáticas. Su descubrimiento de que dos cuerdas suenan en armonía si sus longitudes están en proporción simple demuestra cuánto significan las matemáticas en la comprensión de los fenómenos naturales. Para los pitagóricos no era tanto cuestión de comprensión: la simple proporción matemática *creaba* la armonía de sonidos. Había también mucho misticismo en las doctrinas de la escuela pitagórica, que nos resulta difícil de comprender. Pero al hacer de las matemáticas una parte de su religión tocaron un punto esencial en el desarrollo del pensamiento humano. Cito a Bertrand Russell sobre Pitágoras: «No sé de otro hombre que haya sido tan influyente como él en la esfera del pensamiento».

Platón conocía el descubrimiento de los sólidos regulares hecho por los pitagóricos, y la posibilidad de combinarlos con los elementos de Empédocles. Comparó las partes más pequeñas del elemento tierra con el cubo, del aire con el octaedro, del fuego con el tetraedro y del agua con el icosaedro. No hay elemento que corresponda al dodecaedro; Platón decía sólo que «había aún una quinta combinación usada por Dios en la delineación del Universo».

Si de alguna manera los sólidos regulares que representan los cuatro elementos pueden ser comparados con los átomos, Platón deja bien establecido que no son indivisibles. Los construye a partir de dos triángulos básicos, el equilátero y el isósceles, que colocados juntos forman la superficie de los sólidos. Por lo tanto, los elementos pueden (al menos parcialmente) ser transformados unos en otros. Los sólidos regulares pueden descomponerse en sus triángulos y formar nuevos sólidos regulares con ellos. Por ejemplo, un tetraedro y dos octaedros pueden dividirse en veinte triángulos equiláteros que pueden volverse a combinar en un icosaedro. Es decir: un átomo de fuego y dos de aire pueden combinarse para formar un átomo de agua. Pero los triángulos fundamentales no pueden ser considerados materia ya que carecen de extensión en el espacio. Solamente

cuando se unen los triángulos para formar un sólido regular se crea una unidad de materia. Las partes más pequeñas de materia no son entes fundamentales, como en la filosofía de Demócrito, sino que son formas matemáticas. Acá es bien evidente que la forma es más importante que la sustancia de la cual es forma.

Luego de este breve examen de filosofía griega hasta la formación del concepto de átomo, podemos volver a la física moderna y preguntarnos qué relación hay entre lo ya visto y nuestros modernos puntos de vista sobre el átomo y la teoría cuántica. Históricamente, la palabra «átomo» fue erróneamente utilizada en física y química moderna durante el renacimiento de la ciencia en el siglo XVII, ya que las partículas más pequeñas de los llamados elementos químicos, son complicados sistemas de partículas más pequeñas. Hoy en día, se las llama partículas elementales, y si hay algo en la física moderna que pueda ser comparado con los átomos de Demócrito serían las partículas elementales, como el protón, el neutrón, el electrón, el mesón.

Demócrito consideraba acertadamente que si los átomos debían, por su movimiento y distribución, *explicar* las propiedades de la materia (color, olor, gusto) no podían ellos mismos tener esas propiedades. Por consiguiente, privó al átomo de esas cualidades, convirtiéndolo así en una porción de materia bastante abstracta. Pero Demócrito dejó al átomo la cualidad de «ser», de extensión en el espacio, de forma y de movimiento. Les dejó estas cualidades porque habría resultado difícil llegar a hablar del átomo si no hubiera tenido alguna cualidad. Esto implica, por otra parte, que su concepto del átomo no puede explicar la geometría, la extensión en el espacio o la existencia, porque no puede reducirlas a algo más fundamental. El concepto moderno sobre las partículas elementales en relación con este punto parece más consistente y radical. Examinemos la cuestión: ¿Qué es una partícula elemental? Decimos, por ejemplo, simplemente, «un neutrón», pero no podemos dar una imagen precisa de lo que significamos con la palabra. Podemos usar diversas imágenes y describirlo, alternativamente, como una partícula, una onda o un paquete de ondas. Pero sabemos que ninguna de esas definiciones es precisa. Por cierto, el neutrón carece de color, de olor y de tacto. En este sentido se asemeja al átomo de la filosofía griega. Pero aun se

le han quitado las otras cualidades, por lo menos en cierto sentido: los conceptos de geometría y cinemática, como forma o movimiento en el espacio, no pueden aplicársele consistentemente. Si uno desea dar una descripción precisa de la partícula elemental —y el énfasis está en la palabra «precisa»— lo único que puede darse como descripción es una función de probabilidad. Pero entonces uno ve que ni la cualidad de ser (si esto puede llamarse una «cualidad») pertenece a lo descripto. Es una posibilidad de ser o una tendencia a ser. Por lo tanto, la partícula elemental de la física moderna es mucho más abstracta que el átomo de los griegos y, precisamente por esta misma propiedad, es más consistente como clave para explicar el comportamiento de la materia.

En la filosofía de Demócrito todos los átomos están formados por la misma sustancia, si la palabra «sustancia» puede ser aplicada aquí. Las partículas elementales en la física moderna llevan una masa en el mismo sentido limitado en que tienen otras propiedades. Dado que masa y energía son, de acuerdo con la teoría de la relatividad, esencialmente el mismo concepto, podemos decir que todas las partículas elementales consisten en energía. Podría interpretarse que esto define la energía como sustancia primaria del mundo. Tiene, en realidad, la propiedad esencial que corresponde al término «sustancia»: lo que se conserva. Hemos dicho antes que el punto de vista en este respecto está muy cerca del de Heráclito, si su elemento fuego se considera con el significado de energía. En realidad, energía es lo que mueve; puede llamársela la causa primera de todo movimiento, y la energía puede transformarse en materia, calor o luz. La lucha entre opuestos en la filosofía de Heráclito puede encontrarse en la lucha entre dos formas diferentes de energía.

En la filosofía de Demócrito los átomos son unidades de materia eternas e indestructibles y nunca pueden ser transformados unos en otros. En este asunto, la física moderna toma partido contra el materialismo de Demócrito y a favor de Platón y los pitagóricos. Las partículas elementales no son, por cierto, unidades de materia eternas e indestructibles, por el contrario pueden transformarse en otras. En realidad, si dos de tales partículas, moviéndose en el espacio a una alta energía cinética, chocan, de la energía disponible pueden crearse muchas nuevas partículas elementales y las antiguas

partículas pueden desaparecer en la colisión. Estos hechos han sido observados frecuentemente y ofrecen prueba fehaciente de que todas las partículas están hechas de la misma sustancia: energía. Pero el parecido entre los conceptos de la física moderna y los de Platón y los pitagóricos puede llevarse más lejos. Las partículas elementales, en el *Timeo* de Platón, no son en definitiva sustancia sino formas matemáticas. «Todas las cosas son números», es una frase atribuida a Pitágoras. Las únicas formas matemáticas conocidas en esa época eran los sólidos regulares o los triángulos que forman su superficie. No puede dudarse que en la moderna teoría cuántica las partículas elementales serán también finalmente formas matemáticas pero de naturaleza mucho más complicada. Los filósofos griegos pensaban en formas estáticas y las hallaban en los sólidos regulares. En cambio la ciencia moderna, desde sus principios en el siglo XVI y XVII ha partido del problema dinámico. El elemento constante en la física, a partir de Newton, no es una configuración o una forma geométrica sino una ley dinámica. La ecuación de movimiento se cumple en todo momento, es en este sentido eterna; en tanto que las formas geométricas, como las órbitas, están cambiando. Por consiguiente, las formas matemáticas que representan a las partículas elementales serán soluciones de alguna eterna ley del movimiento para la materia. Hay en realidad un problema aún no resuelto: no se conoce todavía esta ley fundamental y no es por lo tanto posible derivar matemáticamente las propiedades de las partículas elementales de tal ley. Parece, sin embargo, que la física teórica actual no está muy lejos de dicha meta, y al menos podemos decir qué clase de ley esperamos. La ecuación final del movimiento para la materia será probablemente una ecuación cuántica no lineal de onda para un campo ondulatorio de operadores que representen simplemente la materia y no un tipo específico de ondas o partículas. Esta ecuación de onda será equivalente a sistemas bastante complicados de ecuaciones integrales, que tendrán «valores propios» y «soluciones propias», como los llaman los físicos. Estas soluciones «propias» representarán finalmente a las partículas elementales: son las formas matemáticas que reemplazarán los sólidos regulares de los pitagóricos. Podríamos mencionar aquí, que estas «soluciones propias» surgirán de la ecuación fundamental para la materia por un proceso matemático muy

parecido al que deduce las vibraciones armónicas de la cuerda pitagórica de la ecuación diferencial de la cuerda. Pero como ya hemos dicho, estos problemas no han sido resueltos aún<sup>[3]</sup>.

Si seguimos la línea pitagórica de pensamiento podemos esperar que la ley fundamental del movimiento resulte ser una ley matemática simple, aun cuando su evaluación con respecto a los estados «propios» sea muy complicada. Es difícil dar un buen argumento que justifique esta esperanza de simplicidad, fuera del hecho de que siempre, hasta ahora, ha sido posible escribir las ecuaciones fundamentales de la física con fórmulas matemáticas muy simples. Este hecho se ajusta a la religión pitagórica, y muchos físicos comparten esta creencia, pero no se ha dado todavía ningún argumento convincente.

Podemos agregar, en este punto, otro argumento concerniente a una pregunta frecuentemente formulada por los legos, sobre el concepto de la partícula elemental en la física moderna. ¿Por qué sostienen los físicos que las partículas elementales no pueden dividirse en partes menores? La respuesta demuestra cuánto más abstracta es la ciencia moderna comparada con la filosofía griega. El argumento es así: ¿Cómo podría dividirse una partícula elemental? Por cierto que sólo usando fuerzas extremas o herramientas muy poderosas. Las únicas herramientas disponibles son otras partículas elementales. Por consiguiente, el choque entre dos partículas elementales de extremadamente alta energía sería el único proceso que podría dividirlos. De hecho *pueden* dividirse en tal proceso, a veces en muchos fragmentos, pero estos fragmentos son otra vez partículas elementales y no trozos más pequeños de ellas, y el aumento de masa se realiza a expensas de la altísima energía de las dos partículas que chocan. En otras palabras, la transmutación de energía en materia hace posible que los fragmentos sean otra vez partículas elementales enteras.

Después de esta comparación de los modernos puntos de vista en física atómica con la filosofía griega, debemos agregar una advertencia, para que esta comparación no se interprete mal. Podría parecer, a primera vista, que los filósofos griegos hubieran llegado, mediante alguna forma de ingeniosa intuición, a las mismas conclusiones a que hemos llegado en los tiempos actuales, después de siglos de trabajo intenso con experiencias y con

matemáticas. Esta manera de interpretar nuestra comparación sería totalmente errónea. Existe una diferencia enorme entre la ciencia moderna y la filosofía griega: y ella es justamente la actitud empírica de la ciencia moderna. Desde los tiempos de Galileo y Newton, la ciencia se ha basado en el estudio detallado de la naturaleza y en el postulado de que sólo se puede afirmar lo que ha sido verificado (o, al menos, *puede* ser verificado) experimentalmente. La idea de que puedan aislarse algunos acontecimientos de la naturaleza, mediante un experimento, a fin de estudiar sus detalles y descubrir las leyes inmutables que rigen los cambios ininterrumpidos, no se le ocurrió a los filósofos griegos. Cuando Platón dice, por ejemplo, que las más pequeñas partículas de fuego son tetraedros, no se ve fácilmente qué es lo que quería decir exactamente. ¿Se atribuye simbólicamente esa forma al elemento fuego, o actúan mecánicamente las partículas más pequeñas del fuego como tetraedros rígidos, o elásticos, y mediante qué fuerza podrían ellos ser descompuestos en triángulos equiláteros, etcétera? La ciencia moderna habría preguntado, finalmente: ¿Cómo puede decidirse, experimentalmente, que los átomos de fuego son tetraedros, y no cubos, por ejemplo? Por lo tanto, cuando la ciencia moderna afirma que el protón es una cierta solución de una ecuación fundamental de la materia, lo que quiere decir es que podemos deducir matemáticamente, a partir de esa solución, todas las propiedades del protón, y verificar la exactitud de la solución en cada uno de sus detalles, mediante experiencias. Esta posibilidad de verificar experimentalmente la validez de una afirmación, con altísima precisión y con todos los detalles que se desee, le da un peso que no puede atribuirse a las afirmaciones de la primitiva filosofía griega.

Y a pesar de todo, algunas afirmaciones de la vieja filosofía griega están bastante cerca de las de la ciencia actual. Esto muestra simplemente cuán lejos puede llegarse combinando la experiencia que ordinariamente tenemos de la naturaleza sin necesidad de experimentos, con el esfuerzo infatigable en busca de un orden lógico que nos permita comprender esa experiencia a partir de principios generales.