

EL ULTIMO DIALOGO DE PLATON

JORGE ALVAREZ LLERAS

Director del Observatorio Astronómico Nacional—Bogotá

NATURA! QUAM TE COLIMUS INVITI QUOQUE! (SENECA)
OMME IGNOTUM PRO MAGNIFICO

Ante el pórtico augusto de la Academia fundada por el sabio maestro, filósofo y científico de todos los tiempos, y bajo la serenidad azul del cielo del Atica, se congregan GORGAS, CRISTIAS, TIMOEUS y PARMENIDES para departir con certeza y penetración sobre las orientaciones filosóficas y científicas de la edad moderna. Y GORGAS dice:

—Aprovechemos los escasos momentos en que nos vemos libres de la tutela de nuestro sabio fundador, el divino Platón, para quien ninguna cosa fue oculta en el dominio de lo cognoscible, y opinemos atinada y libremente respecto de las intrincadas cuestiones de carácter filosófico que suscita en los espíritus reflexivos la Ciencia contemporánea. Porque ya ha muchos siglos que, dormidos bajo el polvo milenario que cubre las ruinas de Atenas, ni sentimos, ni pensamos, ni nos movemos siquiera —como espectros del pasado que somos— cuando el momento actual convida a la polémica y sobran, como nunca, motivos de discusión y análisis.

Muchas cosas han sucedido en este mundo subluar desde la hora luminosa en que nuestra escuela, la Academia del maestro, dictó su fallo sobre lo continuo y lo discontinuo del universo exterior que nos rodea, y aún no se ha hecho clara la intrincada cuestión para la mente humana. Sobre los fundamentos de la Filosofía aristotélica han girado muchos sistemas que como leves hojas se ha llevado el viento; después de ella se han sucedido escuela tras escuela que, cada una en su época, pretendieran ser fundamento exclusivo de verdad, y muchas teorías científicas han gastado ríos de tinta para convencernos a la postre, de nuestra universal ignorancia. Pero hoy, al tocar la cumbre de la civilización, esta edad nos ofrece la solución feliz de todos los problemas. Seamos optimistas, amigos míos, y analicemos a fondo en el vasto campo de verdad que nos ofrece la Ciencia contemporánea.

CRISTIAS.—Tiempo perdido, querido Gorgias, pues aún no sabemos cuál sea la última hipótesis con que nos regalen los sabios del día, que en las muchas Academias sucesoras de la de nuestro maestro, analizan y experimentan, experimentan y analizan, sin darse tregua ni reposo. ¿Qué ganamos nosotros, discípulos de espíritus inmortales que supieron hasta dónde va la región del misterio, con esperarnos al último descubrimiento que habrá de dar en tierra con la última hipótesis?

PARMENIDES.—Alto ahí, y no se involucre en las escépticas afirmaciones de Cristias la solución definitiva que acaba de darnos la Ciencia contemporánea con la fórmula absoluta que nos interpreta el universo. La relatividad generalizada es hoy lo único absoluto e incommovible.

CRISTIAS.—Permíteme que desconfíe de la ansiada solución que me anuncias, pues la escuela relativista no ha dicho, en el fondo, nada nuevo. Efectivamente, la teoría de la relatividad en sí, *per se*, consiste en pensar que todo es relativo, como lo hemos pensado nosotros en la Grecia amable, madre de la Sabiduría. Muchas personas de esta época que se dice positivista hasta la médula, han creído ver en ella un gran descubrimiento apropiado para trastornar todo el conjunto de nuestros conocimientos, al echar por tierra los principios mismos de la Mecánica de Arquímedes, que hoy llaman *clásica*. Mas estas personas olvidan que lo *relativo* constituye la esencia misma del mundo en que vivimos —de este mundo en que no existen ni un punto fijo y sin extensión, ni una línea ni una superficie sin espesor, ni una recta o un plano perfectos, ni una esfera, ni un cuadrado, ni un círculo, y todavía menos, ni una de esas secciones cónicas: elipse, hipérbola o parábola— que desempeñan un papel tan importante en la teoría de los movimientos celestes— cosas, todas éstas, que responden a puras concepciones del espíritu, sin representación real (*).

En realidad, la naturaleza es el dominio del *poco más o menos*. Se decía de ella en nuestros tiempos que le tiene “horror al vacío”. Pero sería más exacto decir: “horror a la precisión”. No se encuentran en ella sino líneas casi rectas, curvas más o menos circulares o elípticas, superficies aproximadamente planas, velocidades casi constantes, leyes verificadas de un modo aproximado. Los gases, al comprimirse, no siguen rigurosamente la ley de Mariotte; ni los planetas en sus movimientos, las leyes de Kepler.

Nada autoriza para pensar que la luz se mueva absolutamente en línea recta y con una velocidad constante, pues esto exigiría dentro de la teoría ondulatoria de la propagación, un medio absolutamente homogéneo (el *éter* de nuestros colegas de ahora) que puede no existir ni aún en los espacios siderales.

Nuestra unidad fundamental del tiempo —el día sideral— no es rigurosamente fija, pues esto supon-

(*) Charles Lallemand.

dría para el sistema solar una estabilidad inconcebible. Por eso otro colega nuestro de esta época, Poincaré, considera tal unidad fundamental, a pesar de las pruebas múltiples y en apariencia irrefutables que se han dado de ella, como un concepto engañoso debido a la relativa brevedad del período —algunos miles de años apenas— al cual se extienden nuestras observaciones.

“En presencia, pues, de todos los grandes fenómenos de la naturaleza, estamos en la situación de un matemático que conociera solamente un elemento infinitesimal de una curva, elemento que en la práctica se confunde con la tangente, o, lo que es lo mismo, que no estuviera en posesión sino del primer término del desarrollo en serie de la ecuación de dicha curva. Querer calcular un segundo término es, ciertamente, una ambición plausible; pero para que ella sea legítima se imponen dos condiciones: 1ª Que la hipótesis que sirva de fundamento a la nueva teoría que lo permita, no contraría manifiestamente al buen sentido, único criterio de que disponemos para distinguir lo falso de lo verdadero; y 2ª Que ella suministre de ciertos hechos observados una explicación que sea imposible obtener de otra manera” (*).

PARMENIDES.—Permíteme que te interrumpa, ¡oh Cristias!; pero esto no reza con la única doctrina absoluta que ha hallado la fórmula definitiva del universo, como dije antes. Porque los discípulos de Einstein, que gozan de mis más vivas simpatías, no tienen por qué fundamentarse en hechos, ni atenerse a la *intuición*, que tú llamas *buen sentido*, ya que generalizan la relatividad de todas las cosas hasta el punto de encontrar incompatibles la representación objetiva con la realidad abstracta y matemática de los conceptos.

GORGAS.—Esto tampoco es nuevo, pues escuelas griegas hubo en las cuales se tenía horror a la realidad objetiva; de modo diferente, pero en la misma cuerda, de lo que sucede ahora. Bien dice Cristias: *Nihil novum sub sole*.

CRISTIAS.—Ciertamente puede ser como lo pienso Parménides. Pero si no nos atenemos a los hechos de la experiencia, como lo quiso en épocas oscuras Galileo, ¿qué criterio de verdad habrá de guiarnos en el conocimiento que buscamos de las cosas?

PARMENIDES.—El criterio absolutamente matemático.

TIMOEUS (Que hasta ese momento guardara silencio).—Esto es lo que más me admira en la época que vivimos, tan distinta de la nuestra, helénica y armoniosa por toda ponderación. ¿Por qué, si la Ciencia ha de ser exclusivamente matemática, la teoría de la relatividad, imaginada por Einstein, ha suscitado tan increíble apasionamiento entre multitud de personas enteramente ajenas a las disciplinas matemáticas? Por cuanto lo sorprendente no es que cerebros como el tuyo, Parménides, se aislen de la realidad física, sino que tantas gentes incapaces de

(*) “La teoría de la relatividad y las experiencias del Profesor Miller”—Charles Lallemand.

comprender las más sencillas relaciones del número, se entusiasmen en forma tan desusada por esta teoría, de orden exclusivamente matemático y metafísico, hermana de las Geometrías trascendentes de ahora, que al apartarse del postulado de Euclides, admiten, entre otras cosas, la posibilidad de hacer pasar por un punto varias paralelas a una recta. En verdad, es este un hecho muy curioso: la teoría de la *relatividad* ha nacido en cerebros habituados a razonar principalmente de un modo abstracto y en lo *absoluto*, y ha encontrado acogida entusiasta, precisamente entre aquellos que, a pesar de la realidad y de la experiencia, creen en lo absoluto de la naturaleza y son esencialmente imaginativos y sensoriales.

GORGAS.—No te admire que esto ocurra en los tiempos actuales, cuando el progreso de las ciencias aplicadas ha puesto a todo el mundo en contacto con fenómenos cuya intimidad se ignora totalmente, pues ya de antaño fue moda humana el querer tanto más una cosa cuanto más compleja y misteriosa apareciere. Anteriormente a nosotros pensaron Xenofanes, Parménides de Elea y Heráclito, y tú bien sabes que fueron creídos por sus contemporáneos, precisamente porque entonces nadie pudo comprenderlos ni desentrañar lo inextricable de sus perpetuas contradicciones. ¿Qué dijo Parménides de Elea, el antecesor de nuestro amigo, para explicar el misterio de los seres, cuando consideró inaccesible al pensamiento humano el paso de la nada al *ser* o el regreso del *ser* a la nada? “No hay espacio vacío, dijo, todo está lleno del *ser*, y así no hay posibilidad de movimiento. La realidad es un *plenum* continuo, inmóvil, aparentemente finito y esférico. Así, el cambio y el movimiento no son posibles, y la misma existencia de lo discontinuo, discreto e individual es ilusoria”.

Pero Heráclito pensó de otra manera al concebir la materia como esencialmente mudable, al aceptar el cambio permanente y al considerar el movimiento como la esencia misma del *ser*. Y, sin embargo, Heráclito y Parménides fueron creídos por sus contemporáneos, como lo fue Xenofanes, quien sostuvo la unidad absoluta del *ser* como realidad última.

CRISTIAS.—En mi concepto esto sucede por la tendencia general de los humanos a anticiparse a los hechos, a querer explicarlo todo basándose en observaciones incompletas. ¿Qué debe ser la realidad para nosotros sino el resultado de nuestra propia observación? ¿Y qué es la hipótesis sino la solución anticipada de una cuestión para cuyo estudio poseemos sólo observaciones incompletas y no viene en nuestro auxilio la experiencia? Para mí tengo que toda teoría científica o filosófica debe basarse en hechos, y que una hipótesis nueva sólo puede justificarse, como lo tengo dicho, *cuando no contraría manifiestamente al buen sentido, único criterio de que disponemos para distinguir lo falso de lo verdadero, y cuando ella suministre de ciertos hechos observados una explicación que sea imposible obtener de otra manera*.

Por eso al tratar del relativismo, teoría científica y filosófica que pretende cambiar todos nuestros conceptos, pedía a Parménides hechos y experiencias, de acuerdo con mi sistema, que se fundamenta en el método experimental de Galileo.

PARMENIDES.—No creo en los hechos, pero, si lo quiere Cristias, avanzaré la afirmación de que la teoría de la relatividad se ha impuesto a los científicos para explicar: 1º El postulado einsteiniano de que en la naturaleza ninguna velocidad puede exceder la de la luz; 2º El hecho incontrovertible de que existe una pequeña anomalía notada en el movimiento del perihelio de Mercurio, no explicada por la Mecánica clásica; 3º El hecho, no menos absoluto, observado durante los eclipses de sol, de que se presenta un pequeño desalojamiento de las imágenes de las estrellas en la vecindad del disco solar; y 4º El desalojamiento general hacia el rojo de las rayas del espectro solar, no explicado antes de ahora.

CRISTIAS.—¿Eso es todo?

PARMENIDES.—Eso es todo lo que explica admirablemente la teoría de la relatividad, complementándose con las deducciones sacadas de la Mecánica corpuscular, en la teoría atómica de la Electricidad.

CRISTIAS.—Pues es bien poco; porque junto a los innumerables problemas que aún nos presenta como absolutamente intocados la Física de ahora, las soluciones relativistas aparecen como un grano de arena al lado de una montaña. Pero aun, dando extraordinaria importancia a esas minucias, quiero, ¡oh Parménides! pedir de tu buen sentido que me digas si crees aconsejable a quienes ponen en duda el postulado de Euclides, a pesar de que el tal se impone a su propia intuición, fundamentar la teoría suprema del mundo físico sobre otro postulado, que nos repugna instintivamente.

PARMENIDES.—Es que ese postulado es un hecho: se basa en la experiencia. Y aun cuando no le doy importancia a los hechos, creo a pie juntillas en el experimento fundamental del relativismo.

CRISTIAS.—Eso se llama hablar oscuro y contradictorio para hacernos ver claro. Porque si la teoría de la relatividad se funda en tal postulado, la realidad le es totalmente adversa: veámoslo claramente analizando a fondo el postulado de Einstein. Consideremos para ello una rayo luminoso que se quiebra sobre la arista saliente de un prisma rectangular de caras pulimentadas. Evidentemente los dos rayos reflejados que caminan en sentido inverso uno de otro, cada uno con la velocidad v de la luz, realizan una velocidad relativa $2v$ el uno con relación al otro. Declarar, como lo hacéis vosotros, que esta velocidad relativa permanece igual a v , es lo mismo que considerar igual al infinito la velocidad de la luz, la cual por grande que sea es finita, puesto que es mensurable (*). Además, todos los físicos están de acuerdo en suponer para el fenómeno de la propagación de la luz, distintas velocidades de acuer-

do con las densidades de los diversos medios en donde se propaga el rayo luminoso. Creo que este concepto es fundamental para determinar el índice de refracción. ¿Cómo, pues, podemos dotar a los fenómenos lumínicos de una velocidad absoluta, cuando la experiencia, y el mismo sentido común, nos están diciendo que la luz, como cualquier otro fenómeno vibratorio, se propaga con velocidades distintas según sea el vehículo que sirve a la propagación ondulatoria?

TIMÆUS.—No te asombre tal circunstancia y piénsa que para establecer los principios de la relatividad es necesario partir de algo absoluto, pues despojada de su impresionante aparato matemático, sin hechos en qué basarse, la teoría del relativismo aparecería como una concepción puramente metafísica, contraria al buen sentido, a la intuición, que tanto repugna a Parménides.

PARMENIDES.—No hay tal. Nuestra escuela acepta la experiencia. También seguimos nosotros el método experimental de Galileo. Lo que hay es que a veces rechazamos ciertos hechos que no convienen al desarrollo matemático de nuestras ideas, y a veces nos apoyamos en la experiencia para confirmarnos en ellas. Así, por ejemplo y como ya lo dije, las nuevas Mecánicas que han acabado con Newton, parten del principio de la velocidad absoluta que se comprueba con el experimento de Michelson.

GORGAS.—Mucho he oído hablar de tal experimento y aun cuando he empleado todos los métodos críticos a mi alcance, no he podido comprenderlo. Para mí los experimentos de Michelson fueron hasta cierto punto superfluos, se asemejaron a la tentativa de medir la velocidad de un tren con un anemómetro colocado en el interior de un vagón cerrado (*).

Pues si admitimos como necesaria la existencia del éter para explicarnos el fenómeno de la propagación ondulatoria en todo el espacio, y si aceptamos como axiomática la inmovilidad de ese éter—inmovilidad que no sabemos a qué se refiere—los dichos experimentos nos probarían que el éter, o sea el vehículo de propagación de la luz, es arrastrado totalmente por la atmósfera de la tierra, en el desalojamiento de ésta a lo largo de su órbita, o que esa atmósfera y todos los cuerpos diáfanos que se mueven en el espacio sideral, juntamente con nosotros, son vehículo de propagación ondulatoria penetrados o no, por el éter hipotético de los físicos. Mas supongamos la existencia real del éter inmóvil, que penetra todos los cuerpos materiales terrestres, y que se desliza entre éstos cuando se mueven a través de él: entonces el experimento de Michelson habría de demostrarnos la velocidad del lugar del experimentador, o mejor, del aparato de experimentación, a través del espacio absoluto, habida consideración: 1º del movimiento de rotación de la tierra sobre su eje; 2º del desplazamiento de ésta sobre su órbita alrededor del sol; 3º del movimiento del sistema planetario, juntamente con el sol, entre las es-

trellas; y 4º de los cambios de nuestro conjunto estelar (la Galáctica) en el espacio, con relación a otras nebulosas. En mi concepto pareciera difícil tal determinación, por cuanto aún ignoramos el valor real de algunos de estos movimientos. Así, pues, el deslizamiento total que pretendían poner de manifiesto los experimentos de Michelson no se hizo presente, a pesar de los sinceros deseos de éste, porque ello nos habría conducido a conceptos aún más caóticos que aquellos a que dio lugar la pretendida contradicción entre el fenómeno de la aberración y la teoría ondulatoria. Así algunos espíritus sagaces se atrevieron a pensar cuando supieron de esos experimentos: “No tenemos derecho de suponer en reposo absoluto el medio en el cual se propaga la luz; puede éste quizás desalojarse en el espacio con nuestra Vía Láctea, con relación al vehículo que transmite la gravitación, por ejemplo” (*).

Además, esos espíritus tuvieron que pensar, *a priori*, y con anterioridad al experimento de Michelson, en el arrastre total del éter, porque sabían que el aire es dieléctrico, y la existencia del dieléctrico no se puede imaginar sino con el arrastre total del éter.

PARMENIDES.—Pero, ¿entonces olvidas el experimento clásico de Fizeau?

GORGAS.—En forma alguna, y aun cuando la precisión de él no me convence del todo, el pretendido arrastre parcial del éter por el sistema dióptrico en movimiento, que de ese experimento quiso sacarse, no es otra cosa que el fenómeno de la aberración. “Se ha logrado recientemente demostrar de manera rigurosa que tal experiencia, al interpretarla con la teoría mecánica de la refracción de la luz en el caso de dos medios diáfanos en movimiento relativo, no confirma la hipótesis de Fresnel respecto del arrastre parcial del éter por la materia, sino todo lo contrario. La teoría geométrica de la refracción debida a Huyghens, y aceptada por Fresnel, no concordaba, en el caso del movimiento de medios diáfanos, con el principio de la menor acción, ni tampoco con la experiencia, pues no explica la aberración de la luz. La hipótesis de Fresnel (arrastre parcial) tendía a enmendar el error. Así la experiencia de Fizeau presenta, como es natural, el fenómeno de la aberración de la luz, y al interpretar dicha experiencia por la teoría geométrica, se manifiesta la aberración bajo la apariencia de arrastre parcial, como debería suceder” (**).

Desde luego, pues, indica el buen sentido que no hay tal deslizamiento total del éter a través de los medios diáfanos en movimiento, ni tampoco arrastre parcial del mismo por esos medios, sino arrastre total. Pero, ¿quién cree ahora en el buen sentido?

CRISTIAS.—Y esto aceptando la existencia del éter, ente metafísico al cual hay que dotar de las más insólitas y contradictorias cualidades. Según los físicos modernos, el término *éter* se refiere de modo general a “cierta entidad especial que llena todo el

espacio, sin separación, cavidad, ni vacío alguno, en forma de una realidad física omnipresente, y de la cual la materia misma es una de sus modificaciones en el universo material”.

Evidentemente, esta definición es tan vaga, tan metafísica y abstracta, que se escapa a toda concepción nuestra por los sentidos, que son los medios de contacto, como lo expresa Locke, entre nuestro entendimiento y el mundo externo (*). Así, de las propiedades del éter podemos tener la idea que nos venga en gana, ya que ellas están por encima de todo el mundo físico. Si se trata de la densidad y de la elasticidad, por ejemplo, de este fluido misterioso imponderable, llegamos a la conclusión de la Física moderna que adopta la materialización electromagnética del átomo de Rutherford, de que hablaré luego, de que en términos de propiedades materiales, la inercia del éter es del orden de las masas de 1.000 toneladas por milímetro cúbico, siendo su elasticidad igual a su densidad multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. Además de esta fantástica densidad y de su elasticidad más fantástica e inconcebible, el éter debe poseer una transparencia perfecta, no disipando energía alguna a través de su masa, pues de lo contrario las nebulosas espirales situadas a distancias enormes de nosotros, no podrían enviarnos su luz. No puede haber fricción alguna entre el éter y la materia, pues al haberla, el movimiento planetario sufriría modificaciones que ya la Mecánica celeste hubiera puesto en evidencia. En el éter no puede haber, pues, viscosidad, ni fricción fluida alguna; no hay calor, ni sonido, ni manifestación elástica alguna distinta de la que aparece en la propagación por ondas de la energía a una velocidad constante y definida que debe ser, según algunos, la velocidad de la luz, la velocidad universal. De acuerdo, pues, con la Física moderna, y hablando en términos concretos, el éter es un fluido imponderable y continuo de una densidad infinita, de una elasticidad infinita, de una movilidad absoluta y de una tenuidad infinita, puesto que pasa a través del espacio interelectrónico que constituye el átomo, con la misma facilidad con que lo hiciera a través de los espacios interplanetarios. Además de esto, es infinitamente diáfano y diatérmico, puesto que transmite el calor y la luz, por radiación sin absorción alguna en los espacios infinitos, y posee toda la energía eléctrica potencial, y la magnética, en los campos de fuerza de líneas magnéticas y eléctricas concadenadas, tal como se explica la propagación de la luz en la teoría electromagnética de Maxwell. Ciertamente, parece imposible que de tal fluido inmaterial y esencialmente misterioso, podamos formarnos idea física aceptable, y entonces al imaginarlo los físicos han colmado una laguna insondable en la posibilidad de nuestros conocimientos reales, con una hipótesis metafísica de carácter teológico incompatible con los métodos experimentales de investigación usados anteriormente,

(*) Charles Lallemand.

(*) “Teoría de la aberración de la luz”—Julio Garavito A.

(*) “La paradoja de la Óptica matemática”—Julio Garavito A.
(**) “La paradoja de la Óptica matemática”—Julio Garavito A.

(*) “Nihil est in intellectu quod primum non fuerit in sensu”. Aristóteles.

en el siglo XIX, cuando la Mecánica racional tenía contacto directo con la experimentación de nuestros sentidos y, lo mismo que la Geometría, era una intuición de nuestro cerebro, influenciado secularmente por el medio, a través de las generaciones. Ciertamente, en nuestra época, de claridad sencilla y luminosa como el cielo bajo el cual nacimos, en el Atica amable, la concepción del éter habría sido imposible.

PARMENIDES.—Por todo lo que acabas de decir, ¡oh Cristias! es por lo que nosotros, los relativistas, hemos concluido por rechazar la hipótesis etérea, considerándola, *in pectore*, absurda y funesta.

GORGAS.—Pero no ves, Parménides, que entonces caéis en la más formidable contradicción, pues los experimentos de Michelson y Morley no tienen sentido alguno si el éter no existe. Y, precisamente, sobre dichos experimentos habéis fundado el famoso postulado de la velocidad absoluta de la luz. En realidad de verdad, Xenofanes, Parménides de Elea, Heráclito, y cuantos escribieron en el mundo antiguo sobre la naturaleza y sus misterios, fueron más claros que el agua lustral de nuestros ritos de antaño, comparados con los sabios de ahora, para quienes no debiera haber nada oscuro ni misterioso.

PARMENIDES.—No nos andemos por las ramas: ya he dicho que no creo en los hechos sino en las expresiones matemáticas. Por eso quisiera haceros una exposición matemática y breve de la relatividad. ¿Queréis oírla?

GORGAS, CRISTIAS y TIMÆUS (Hablando a una):—Que nos place. Somos todo oídos.

PARMENIDES.—Partamos del principio de que aceptamos el éter de los físicos neoclásicos, y de que nadie puede dudar de los experimentos de Michelson y Morley, tan cuidadosamente repetidos y discutidos, experimentos que tuvieron por objeto descubrir el movimiento de la tierra a través de ese éter. El fracaso aparente de tales experimentos, que demostraron que sobre la superficie terrestre la luz se propaga con igual velocidad en todos sentidos, ha dado origen a dos teorías completamente diversas: la de la contracción de los cuerpos sólidos, por rígidos que se consideren, en la dirección del movimiento absoluto y en la proporción:

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} : 1$$

(v velocidad del cuerpo: c velocidad absoluta de la luz). Esta hipótesis es la propuesta por Fitzgerald y Lorentz, y es la preferida, según expresión de Righi, "por aquellos a quienes el hábito de las ciencias experimentales hace un poco reacios a todas las especulaciones de resabio metafísico". La otra teoría es la de la relatividad de Einstein. Cuantitativamente, sin embargo, ambas teorías llevan a las mismas célebres fórmulas, denominadas por los físicos ultramodernos, de *transformación de Lorentz-Einstein*. (Toma el estilete y escribe rápidamente sobre las tablillas enceradas, a medida que habla).

La primera manera de deducirlas es por la hipótesis de la contracción y del tiempo local. Si suponemos dos sistemas coordenados, uno que llamare-

mos *fijo*: O, x, y, z, t y otro de ejes paralelos que denominaremos *móvil*: $O'x'y'z't'$ animado, este último, de un movimiento rectilíneo y uniforme en la dirección y sentido positivo del eje de las x con la velocidad v , las fórmulas de paso no son las de la transformación simple de Galileo. Por razón de la contracción dicha, *sin advertirlo el observador móvil con el sistema $O'x'y'z't'$* los elementos de medida de que él dispone sufren esa contracción en la dirección $O'x'$. Así, una medida x' de la abscisa será para el observador fijo con el sistema O, x, y, z, t de longitud: $x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Luego en vez de $x' = x - vt$ tenemos:

$$x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = x - vt. \quad \text{O bien: } x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

que es la expresión matemática de la hipótesis de la contracción.

Supongamos, además, que ambos observadores, fijo y móvil, se ponen de acuerdo para adoptar la misma velocidad c para la luz. Esto equivale a suponer que ni uno ni otro están en capacidad de comprobar cuál de los dos es el fijo o el móvil en el éter, y, por lo tanto, en el espacio absoluto. Si, por consiguiente, al observador fijo le parecen contraídos los objetos y medidas del observador móvil, en la

dirección Ox y en la proporción: $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} : 1$

lo mismo le han de parecer al observador móvil las del fijo; de tal manera que si aquél se creyó autorizado para escribir la ecuación (1), éste se creará, con la misma razón, autorizado para poner:

$$x = \frac{x' - (-v) t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1')$$

ya que para él, el observador O, x, y, z, t se mueve en la dirección $O'x'$, pero en sentido opuesto, con velocidad v , y de allí el signo — que afecta a v en (1').

Eliminando a x' entre (1) y (1') y despejando a t' resulta:

$$x \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + vt'$$

$$t' = \frac{1}{v} \left[x \frac{1 - \frac{v^2}{c^2} - 1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + t \frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right] = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Y de la misma manera, eliminando a x entre (1) y (1') y despejando a t resulta:

$$x' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - vt$$

$$t = \frac{1}{v} \left[-x' \frac{1 - \frac{v^2}{c^2} - 1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + t' \frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right] = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2')$$

Las fórmulas (2) y (2') expresan matemáticamente la hipótesis del tiempo local y substituyen a las dos últimas ecuaciones de la transformación de Galileo $t' = t$. Como en los sentidos Oy y Oz no hay contracción, se conservan las otras dos ecuaciones $y = y'$ y $z = z'$ de dicha transformación. Poniendo, pues, el doble sistema:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y = y'; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

tenemos las fórmulas de paso de las coordenadas O, x, y, z, t del observador fijo, a las coordenadas $O'x'y'z't'$ del observador móvil, cuando ellos están animados de una velocidad relativa v en la dirección del eje común $Ox, O'x'$.

Ahora, hagamos una comparación entre las apreciaciones de tiempo de ambos observadores....

CRISTIAS.—Excúsa una interrupción, que me parece indispensable. Ciertamente, a tus fórmulas de corrección algebraica impecable, no se puede formular objeción alguna, pero, ¿qué es eso de tiempo local? ¿Qué quieres decir al definir la posición de un punto en el espacio por sus coordenadas, cuando agregas una t que me parece sospechosa? ¿Se trata, por ventura, de una cuarta dimensión, y nos vas a llevar a la metafísica de que el tiempo es una cuarta dimensión del espacio? Porque, querido Parménides, agrupas en tan cortas líneas tantas hipótesis endiabladamente complicadas, que, francamente, se necesita cabeza mejor sentada que la mía, para comprenderte.

En primer lugar, eso de la contracción de los cuerpos que se mueven, en el sentido de la dirección del movimiento, se me hace un poco fuerte. ¿De dónde salió tan peregrina hipótesis? ¿Del experimento de Michelson, por ventura? ¿Qué experiencia tenemos realmente fundamentada en la observación del mundo físico, que a ello nos conduzca? ¿No repugna al buen sentido la concepción de esos cuerpos rígidos contrayéndose en una sola dimensión, orientada según el movimiento, por la sola virtud de que se mueven?

Ya tenemos un postulado: el de la velocidad absoluta de la luz; ¿quieres que agreguemos otro: el de la contracción de los cuerpos en movimiento rectilíneo y uniforme?

Además, para justificar la no simultaneidad de los fenómenos, dando al tiempo un carácter convencional, menester será engolfarnos en la más enmarañada metafísica, ajena por completo a nuestro genio griego, tan claro como armonioso.

GORGAS.—Ciertamente, hay que convenir en que las pruebas reales que se den de una teoría tan complicada, deben ser de un peso experimental abru-

mador, pues, de lo contrario, estamos haciendo pura tautología.

PARMENIDES.—Ya os he dicho que las hay. Mas dejadme proseguir para que veáis lo claro de estos razonamientos. Habiendoo expuesto cómo se hallan las fórmulas de transformación de Lorentz-Einstein, paso a explicar que el procedimiento de Einstein consiste en buscar una transformación lineal entre xt y $x't'$ que deje invariante la velocidad c de la luz, por lo cual se echa de ver que ésta juega en la teoría de la relatividad restringida el papel privilegiado que desempeñaba el tiempo *absoluto* en la teoría clásica, o sea en la transformación de Galileo-Newton. "Por esto los modernos geómetras denominan a la expresión matemática de la ley de la propagación de la luz, el *elemento* nulo de la métrica del *espacio-tiempo*" (*).

GORGAS.—No, Parménides! Es imposible que te dejemos proseguir por ese camino, sin que nos des pruebas experimentales de las nuevas teorías; pues, si así fuere, desquiciaría gratuitamente nuestros cerebros, que al fin son de hombres mortales, como los de los humanos de ahora.

PARMENIDES.—Hace rato que las enumeré, pero vuelvo a repetirlas. Por medio de la teoría de la relatividad generalizada se explica perfectamente la anomalía anotada en el movimiento del perihelio de Mercurio, no explicada por la Mecánica clásica. La nueva teoría se confirma por la deflexión de la luz en los campos gravitacionales del sol y de las estrellas. Y, por último, sólo con esta teoría es posible explicar el desalojamiento hacia el rojo de las líneas de los espectros de la luz del sol y de las estrellas.

CRISTIAS.—Dentro de las ideas que te expuse no ha mucho para demostrarte que de antaño creíamos nosotros en lo relativo como norma de la naturaleza, para la cual parece no haber nada preciso, debo decirte que si es verdad que la Mecánica celeste clásica ha demostrado que la gravitación es en realidad la fuerza motriz de los cuerpos celestes, por medio de tablas basadas en la ley de Newton, y que han alcanzado un altísimo grado de precisión, también es cierto que para esa ciencia clásica quedan aún dos pequeños residuos, referente el uno al movimiento del perihelio de Mercurio, y el otro a una fluctuación que presenta el movimiento medio de la luna. El desalojamiento del perihelio de Mercurio es en un siglo de 577 segundos de arco, según lo ha indicado la observación; mientras que el cálculo basado en la ley de Newton, sólo le asigna 536. Hay, por tanto, una diferencia de 41 segundos por siglo. Para subsanar esta pequeña diferencia bastaría cambiar el exponente 2 de la ley newtoniana por $2 - \epsilon$ siendo ϵ igual a 0.000000151. Lo cual prueba que la acción perturbadora, causa de este error, es insignificante respecto de la gravitación misma. La desigualdad que presenta la longitud media de la luna alcanza a 13 segundos de arco y su período es de

(*) "Nociones de Mecánica clásica y relativista"—P. Enrique de Rafael.

275 años. Se explicaría esta desigualdad al restar de la acción solar una cantidad periódica de 10^{-8} de su valor y de período igual a la revolución sinódica de la luna. Es decir, muy insignificante respecto de aquélla. Estos resultados ponen, pues, de manifiesto la conclusión anunciada; esto es, que además de la gravitación newtoniana hay algo que perturba el movimiento de los astros. Este algo puede consistir, ya en un defecto del valor asignado a la ley newtoniana, o bien provenir de causa extraña, o de ambas a la vez. Pero en todo caso, la magnitud de este residuo es apenas un diezmillonésimo de la gravitación misma. Esta conclusión era la esperada, pues no es posible llegar a la perfección absoluta en los hechos naturales (*).

Ahora, en lo que toca a la comprobación experimental de la deflexión de la luz por medio de medidas dignas de crédito, debo observarte que la operación a ello conducente presenta considerables dificultades, pues sólo se puede realizar durante los eclipses de sol. Hasta ahora, que yo sepa, tal cosa no se ha verificado en forma de dar resultados concluyentes, porque los requisitos que exige son, en verdad, bien complejos. Son necesarias dos observaciones tomadas en un intervalo de cerca de seis meses. Son indispensables laboriosos cálculos para efectuar las correcciones referentes al efecto de la aberración debido al movimiento anual de la tierra alrededor del sol y al desplazamiento del sistema solar en el espacio: también es preciso tener cuenta de la refracción atmosférica, y para las estrellas que estén muy cerca del borde del sol, se precisan correcciones aún más complicadas. Además de esto, como hay que fotografiar las estrellas que aparezcan en el campo de la cámara fotográfica en el momento del eclipse, estas estrellas deben ser de primera o de segunda magnitud, lo más brillantes que se pueda; de lo contrario las fotografías son muy difíciles y de resultados bien mediocres. Como se ve, esta condición se cumple muy rara vez, por cuanto los eclipses generalmente ocurren proyectándose el sol sobre campos estelares muy pobres en materia de estrellas brillantes. Así, por ejemplo, estrellas apropiadas para el efecto se presentaron en el eclipse de junio de 1919, cuando el sol estaba en las Hyadas, y no se volverá a presentar ocasión tan favorable como ésta sino hasta el año de 1952. Además, hay que pensar que medidas micrométricas de altísima precisión, sobre placas fotográficas que no pueden ser absolutamente perfectas, ofrecen muy escasa garantía. Por eso Escanglon, Director del Observatorio de Estrasburgo, pudo demostrar por medio de un minucioso análisis de las observaciones de esta naturaleza hechas en el curso del eclipse de septiembre de 1922, que las desviaciones que pudieran constatarse obedecen muy imperfectamente a la teoría de Einstein. Y yo me atrevo a creer que tales desviaciones se deben, en la generalidad de los casos, a circunstancias fortuitas, que no enumero para no fastidiaros demasiado.

(*) "Óptica astronómica"—Julio Garavito A.

Hasta ahora, que yo sepa, sólo A. Michailov, de Moscou, ha usado un método desconocido para tomar fotografías adecuadas a este efecto. Este astrónomo observó un eclipse en el lejano Oriente, con cielo muy despejado; pero las cuatro placas que obtuvo para constatar el efecto anunciado por Einstein, no le satisficieron completamente: así se ha guardado él los resultados definitivos, dejándonos en una espera que no nos da, como lo podéis comprender, seguridad alguna al respecto (*).

En cuanto al punto tercero a que se refiere Parménides, y que se dice fue verificado constatándose un desplazamiento hacia el rojo en observaciones del sol y de la estrella enana compañera de Sirio, por Evershed, St. John, Grebe, Bechem y Adams, debo decir que a la luz de más modernas y juiciosas observaciones, como las de Freundlich, aceptadas por Von Gleich, tal desplazamiento se ha tenido como ilusorio. Pero hay más: aun el mismo Evershed ha acabado últimamente por mostrarse enteramente en desacuerdo al respecto con St. John, negando la posibilidad de verificar la tercera predicción fundamental de Einstein.

TIMÆUS (Que ha pensado en silencio y gravemente).—En efecto, son bien endeble los elementos de confirmación que se han argüido en pro de la verificación experimental del relativismo. Pero lo grave del caso es que mientras el mismo Einstein se muestra poco positivo en esta materia, sus partidarios desgañitanse gritando en todos los tonos que la experiencia ha confirmado plenamente las nuevas teorías. Esto me recuerda la anécdota aquella de Critón y el gallo de Sócrates, en la cual el sabio filósofo al morir recomienda a su discípulo Critón que sacrifique un gallo a Esculapio, aun cuando él no cree en los dioses. Lo que en la mente de Sócrates fue probablemente una abstracción de carácter irónico, para Critón tornóse en ley sapientísima del maestro difunto, y así desde entonces declaróse energúmeno creyente de Esculapio.

Porque el mismo Einstein admite que su teoría de la relatividad generalizada descansa solamente en tres criterios fundamentales que la distinguen de la teoría de la gravitación de Newton, y que ella haría colapso en el caso de que la experiencia no le fuera fiel en los tres casos enunciados. Os repito sus propias palabras para que admiréis a sus discípulos irrestrictos que, acorralados por los hechos, se contentan con afirmar que están en la verdad aun cuando no creen en el método experimental de Galileo. Dice Einstein, enumerando los fundamentos de su teoría: "Descansa ella: 1º En la revolución de las elipses de las órbitas planetarias alrededor del sol (confirmada en el caso de Mercurio); 2º En el encurvamiento de los rayos de la luz por acción de los campos gravitacionales (confirmado por fotografías inglesas de eclipses solares), y 3º En el desplazamiento de las líneas espectrales hacia el extremo rojo del espectro en el caso de la luz que nos lle-

(*) "Relativity on trial"—Science and Culture. Enero de 1937.

ga procedente de estrellas de considerable tamaño. El principal atractivo de la teoría descansa en su lógica armonía. Si una sola de las conclusiones sacadas de ella llegare a fallar, habría que abandonarla; modificarla sin destruir su estructura completa parece imposible".

PARMENIDES.—No pretendo discutir más sobre este punto, ya que os habéis negado a seguir mis deducciones matemáticas, que son concluyentes. Mas no quiero dejaros una fácil victoria, sin llamar vuestra atención al hecho innegable de que la relatividad generalizada concuerda admirablemente con otras teorías físicas modernas fundadas en experiencias que nadie puede negar. Porque en el campo de la Electricidad corpuscular son tantos los progresos experimentales hechos últimamente por la Ciencia, que parece imposible cerrarse hoy día ante la evidencia, con el criterio estrecho de Cristias.

GORGAS.—En este punto estoy enteramente de acuerdo con Parménides, pues he seguido paso a paso las conquistas hechas por la Física desde las primeras experiencias de Crookes con el descubrimiento de los rayos catódicos. En el momento en que se pudo experimentar directamente sobre la forma corpuscular del llamado agente eléctrico, fue evidente que se iba a llegar al conocimiento íntimo de la materia, ganando mucho sobre las antiguas especulaciones relativas a lo continuo y lo discontinuo en la naturaleza, de que tanto se ocuparon nuestros coetáneos.

CRISTIAS.—Hasta cierto punto tienes razón; pero te observo que formados ellos en las escuelas filosóficas de los grandes maestros griegos, pensaron correctamente y desde un principio plantearon la cuestión de la continuidad y de la discontinuidad, del análisis y de la síntesis en forma tal que sobre este punto, como sobre muchos otros que se relacionan con las realidades primeras y últimas, el progreso de la Ciencia ha ensanchado el campo de nuestra visión, pero no lo ha hecho cambiar de sitio. Especialmente, en lo que se refiere a lo continuo y discontinuo, es un hecho que el desarrollo de las ciencias, si ha extendido y precisado singularmente nuestros conceptos, no ha cambiado su centro de perspectiva. Si nuestro conocimiento de lo infinitamente grande, y más aún, de lo infinitamente pequeño, ha hecho progresos inmensos desde Pascal hasta la época actual que estamos empeñados en analizar con tanta sagacidad como independencia, esos progresos dejan intacta la noción general expresada por Pascal acerca de los dos infinitos. Esos progresos no han hecho otra cosa que confirmarla y permitirnos comprender mejor su valor; apenas podíamos atrevernos a pretender que hayan modificado de una manera apreciable la doctrina platónica de la unidad y la pluralidad, doctrina que nuestro maestro Platón nos dijo haber recibido de una tradición inmemorial, más cercana que nosotros de los dioses; pero en todo caso estamos obligados a confesar que esos progresos no nos han hecho avanzar ni un paso en la solución de la dificultad presentada por Zenón

de Elea sobre el movimiento, síntesis primitiva e indivisible de lo único y lo múltiple, de lo continuo y de lo discontinuo (*).

En el orden del conocimiento lo continuo y lo discontinuo se equiparan a las dos operaciones fundamentales del espíritu humano: al análisis que descompone lo continuo, y a la síntesis que liga lo discontinuo, y que en el orden de la realidad corresponden a dos aspectos fundamentales de las cosas, puesto que es igualmente cierto que hay seres individuales, luego hay discontinuidad, y que éstos reaccionan los unos sobre los otros, luego están en continuidad.

Por una tendencia dialéctica natural del espíritu humano, se ha venido estableciendo desde un principio cierta contradicción entre estos dos conceptos, excluyendo el término medio y suponiéndolos tales que la afirmación o negación del uno entraña necesariamente la afirmación o negación del otro. Apoyándose, sin duda, en esta tendencia dialéctica de nuestra inteligencia y sacando partido de su misma generalidad, fue como Zenón de Elea pudo formular, con respecto al movimiento, antinomias que nos parecen insolubles.

¿Qué afirma Zenón? Que la tesis de la pluralidad del sér establece necesariamente el número de seres como finito, y todo conjunto como infinito, porque siempre es posible intercalar otros en los intervalos. Ahora bien, sea que se admita con los geómetras que el tiempo y el espacio son divisibles hasta lo infinito (dicotomía), sea que se les suponga, con los atomistas, formados de elementos indivisibles en número finito, nada se mueve ni puede moverse jamás.

¿Cuáles son el sentido y el alcance de estos argumentos? Es evidente que el movimiento, si es real, excluye el continuo homogéneo, porque supone necesariamente en el continuo espacio-tiempo, en que se produce este movimiento, distinciones fundamentales, por ejemplo un antes y un después, sucesivos o simultáneos, temporales o locales. De hecho, una doctrina como la de Heráclito, que establece la universalidad del cambio, establece también, necesariamente, al parecer, la discontinuidad, o mejor, la multiplicidad radical del sér. Ahora bien, y esto es precisamente lo que los argumentos de Zenón tienden a probar, la pluralidad del sér o la discontinuidad bajo sus dos formas, aritmética y geométrica, excluyen el movimiento, al menos tal como éste aparece a los sentidos y tal como lo entienden los discípulos de Heráclito: si el sér es múltiple y discontinuo tiene que ser inmóvil. De suerte que si el movimiento existe de alguna manera, queda destruida, por ese mismo hecho, la teoría de la discontinuidad o de la pluralidad del sér, que lo niega (*).

Evidentemente, éste debe ser el alcance que en nuestra época se dio a la dialéctica de Zenón y a su doble argumentación sobre lo múltiple y sobre el movimiento, como lo prueban las siguientes pala-

(*) "Lo continuo y lo discontinuo"—Jacques Chevalier.

(*) Jacques Chevalier.

bras de Platón en el "Parménides": "Mis argumentos", dice Zenón, "son una defensa de la doctrina de Parménides contra quienes lo atacan por medio de burlas diciendo que, si el sér es único, resultan para su doctrina muchas consecuencias ridículas y contradictorias. Mi libro responde a los partidarios de lo múltiple, les paga en la misma moneda con creces, y hace ver que la hipótesis de lo múltiple tiene consecuencias mucho más ridículas aún que la de la unidad".

GORGIIAS.—Excúsa, ¡oh Cristias! que te llame la atención y te concrete a lo que estamos discutiendo, mostrándote cómo lo ridículo propiamente es resucitar ahora doctrinas muertas del pasado, que nos fueron caras antaño, cabe los cipreses de Atenas, cuando la lógica nos parecía tan clara y luminosa como el cielo bajó el cual nacimos. No se trata ahora de eso: háblote de la doctrina atómica moderna y de sus últimas consecuencias.

CRISTIAS.—Precisamente: a eso voy, por partes y detenidamente, empezando por declararte que, como dije, no hemos avanzado nada de Zenón hasta los días de ahora, por lo menos en lo que respecta al concepto físico del éter. Según lo expresé no ha mucho, el éter de los físicos modernos es "cierta entidad especial que llena todo el espacio, sin separación, cavidad, ni vacío alguno, en forma de una realidad física omnipresente, y de la cual la materia misma es una de sus modificaciones en el universo".

De esto se deduce que el éter es el sér único de absoluta continuidad y en el cual todo movimiento etéreo es imposible: por lo tanto, el éter y el espacio absoluto son una misma cosa. Pero como existen los cuerpos materiales que se mueven en el éter y la existencia de estos cuerpos presupone lo múltiple del sér, si aplicamos a este caso la dialéctica de Zenón, nos resulta la imposibilidad del movimiento corpóreo a través del éter. Evidentemente, ratiocinando con la lógica de nuestras escuelas de antaño, no es posible suponer el éter de los físicos que penetra todos los cuerpos, en su propia sustancia, como diría Aristóteles, deslizándose a través de ellos cuando éstos se mueven en el espacio, de suerte que no veo cómo pueden resolverse en el terreno de la Física moderna, que acepta lo continuo (el éter) y lo discontinuo (el átomo) las antinomias de Zenón relativas al movimiento.

Para que veais claro a este respecto, en el terreno de la Física, quiero suponer que los fenómenos electromagnéticos se deban, según la hipótesis de Thomson, al desplazamiento a través del éter de un campo de fuerza electrostático. Con este modo de ver es preciso suponer al éter fijo con relación al espacio tierra, pues con relación a este espacio es que se verifica el movimiento de la masa eléctrica que determina en torno suyo el campo de fuerza electrostático, cuyo deslizamiento engendra a su turno el campo magnético considerado. Thomson, que previó la dificultad, habló de arrastre de éter por las líneas de fuerza del campo electrostático. Ciertamente, aho-

ra, como en tiempos de nuestro maestro, menester será atenernos a un término medio, bien confuso y vago, para no irnos a los extremos suponiendo que la afirmación o negación de lo continuo entraña necesariamente la negación o la afirmación de lo discontinuo y viceversa.

GORGIIAS.—Veo, Cristias, que imitas a Parménides al meterte por los vericuetos de la más sutil metafísica, y por eso te pido volvamos al terreno de los hechos separando de manera total el concepto puramente metafísico del átomo que tuvieron nuestros mayores, de la idea que hoy nos formamos de este ente como una realidad física sujeta a la experiencia. Para Demócrito, quien continuó la escuela de Leucippo, los cuerpos se constituían por corpúsculos primordiales e indivisibles y por consiguiente, atómicos. Para Epicuro las combinaciones de los átomos, agitados en movimiento perpetuo, se debían a su capacidad de desviarse espontáneamente de la dirección natural de su movimiento. Para Tito Lucrecio Caro los cuerpos se componían de vacío y de materia, y esta última se formaba por átomos que siendo eternos, eran anteriores a la formación de los cuerpos.

Como veis, hay gran diferencia entre estos conceptos ajenos a toda realidad, y lo que dicen los físicos que han creado el átomo moderno sobre la experiencia efectiva, a pesar de los geómetras como Poincaré, quien cree que el átomo es un vacío en el éter.

Para darnos cuenta de esta diferencia examinemos la teoría atómica a través de los estudios de Dalton, autor de la ley de las proporciones múltiples; de Lavoisier, Richter y Proust, quienes formularon las leyes fundamentales de las composiciones químicas, y de Avogadro, célebre por su ley sobre los volúmenes, ya enunciada antes por Guy Lussac, y que contribuyó especialmente a la determinación del peso de los elementos. Ciertamente, siguiendo estos estudios es como uno se da cuenta de la realidad experimental, durante el período activo de la construcción de la teoría atómica de los cuerpos. ¿No media una gran distancia entre los balbuceos infantiles de Demócrito, Epicuro y Lucrecio sobre esta materia, y lo que debemos a la Ciencia del siglo XIX?

CRISTIAS.—Ciertamente tienes razón en este respecto; y no seré yo quien te la niegue porque creo en los hechos y por ese motivo he puesto en duda las exposiciones de Parménides sobre el relativismo. Pero si ello es así, también pretendo que me confíes que esa idea concreta del átomo, de que me hablas, y sobre la cual descansó la mente durante el período brillante de la Ciencia positiva, no corresponde, en forma alguna, a los átomos creados desde 1900 para acá: el átomo de Thomson, el átomo de Rutherford, el átomo de Bohr y los otros átomos con que actualmente nos obsequia a diario la fantasía contemporánea.

Evidentemente, desde cuando ha habido sabios y filósofos existe una teoría atómica de la materia,

más o menos primitiva en nuestra época, más compleja y documentada ahora, porque los físicos, los químicos y los filósofos para analizar la materia se han visto obligados a dividirla teóricamente en elementos cada vez más pequeños, sometiéndose así servilmente no a una ley de la naturaleza sino a una ley incontrovertible de la inteligencia humana, que al suponer lo continuo lo supone divisible indefinidamente, y al limitarse a lo discreto, individual y discontinuo, tiene que empujarse también indefinidamente para que entre los términos quepan elementos individuales en número indefinido. Así sucede que para el filósofo el fiasco periódico de toda Mecánica a base de corpúsculos, tan pequeños como se quiera, es fatal, por cuanto el análisis de la materia en corpúsculos sin cesar desdoblados (dicotomía), que nosotros decíamos antiguamente: *dicotomía*) procede, en efecto, de un modo de ser de nuestro entendimiento. Por eso Bergson demostró oportunamente que desde el momento en que el matemático se crea su *punto material simple* para hacer la Mecánica, este punto lleva consigo la huella de la conciencia que lo ha creado. Esta huella es lo que el físico encuentra al cabo de sus sabios cálculos, en los cuales parece que quisiera descubrir de nuevo la ilusión subjetiva (*).

Ahora bien, si dilema tan difícil entre lo continuo y lo discontinuo, se presentó a nuestros contemporáneos de la Grecia clásica, al analizar la materia y reducirla al átomo, mucho mayor es la dificultad que se presenta ahora a los físicos modernos, quienes han tenido que subdividir a los átomos mismos, con el objeto de explicar el mecanismo por medio del cual la materia emite y absorbe luz.

GORGIIAS.—Precisamente en eso se diferencian sustancialmente, si así podemos decirlo, las dos teorías atómicas que hemos examinado desde el punto de vista histórico: la del siglo pasado, que conjuntamente con la Mecánica clásica daba la explicación de los fenómenos físicos por acciones exteriores que se traducían en movimientos interatómicos simplemente, y la nueva teoría atómica que confiere al átomo el papel importantísimo de productor de energía, metafóricamente hablando, y se basa, principalmente, en los fenómenos de la radioactividad, desconocidos para Tyndall, Faraday, Maxwell y demás atomistas clásicos que crearon la Física matemática, poniéndola de acuerdo con la Mecánica racional.

Por ese motivo, y para poder entendernos, es preciso que tomemos las cosas desde el principio, remontándonos a los primeros experimentos de Crookes, quien para explicarlos dotó a la materia de ciertas propiedades adquiridas por causa de una acción exterior, asignándole en esas condiciones cierto estado peculiar, que llamó *estado radiante*. Hasta aquí las cosas no ofrecen dificultad, porque los rayos catódicos, según el concepto de Crookes, son sólo la manifestación de movimientos interatómicos debidos a variaciones de campos de fuerza electrostática re-

(*) "La crisis de la Física moderna"—Jean Labadie.

presentados geométricamente a nuestra imaginación por líneas de fuerza y superficies de nivel. Hasta aquí, pues, el átomo de Crookes es inerte.

Pero sobreviene, en ese momento histórico, un hecho fundamental, que lo trastornó todo, y que no me puedes negar ¡oh Cristias!, pues sobre él se ha basado toda la Mecánica corpuscular del siglo XX. Me refiero al descubrimiento de los cuerpos radioactivos.

De acuerdo con ese descubrimiento, y como lo acabas de indicar, fue preciso subdividir los átomos mismos y crear los electrones que integran esos átomos. Así se vino a la desintegración del átomo con transformación de energía. A no haber sido por la radioactividad los fenómenos que se presentan en los tubos de Crookes se hubieran continuado estudiando con la Mecánica clásica, como lo hizo Thomson en un principio, y como es posible hacerlo sin acudir a la hipótesis de los electrones, según lo ha demostrado alguno. Pero como los fenómenos radioactivos introdujeron nuevas incógnitas, la teoría electrónica se impuso en el estudio de los llamados rayos catódicos y de su secuela: la radioactividad en general.

CRISTIAS.—Todo esto es cierto y por lo tanto convengo en que la teoría electrónica se precisa para explicar la electricidad en movimiento; y si no hubiera sido por la circunstancia de que en la determinación de la masa mecánica, de la carga eléctrica y de la velocidad de los electrones en un tubo de Crookes, se procedió desde un principio prejuzgando las cosas con definido propósito, sería un incondicional partidario de la teoría atómica, que parte del principio de que elementos individuales de carga eléctrica, indivisibles y animados de ciertos movimientos, constituyen el átomo.

GORGIIAS.—Y, ¿qué objeciones puedes poner al proceso seguido por los físicos para determinar la masa, la carga y la velocidad de los electrones?

CRISTIAS.—No puedo, en verdad, formular objeciones a este respecto. La Física tiene métodos de investigación que a veces se escapan al análisis de profanos como yo. Por eso me contento con hacer algunas ligeras observaciones que te expongo en la siguiente forma:

Supongamos que los electrones dotados de cierta masa mecánica —la de los clásicos del siglo XIX— se mueven en línea recta en un tubo de Crookes, con velocidad definida, y que estos electrones poseen cargas eléctricas individuales dotadas de la propiedad de engendrar campos magnéticos al desalojarse a través del éter. De acuerdo con esto, creo que los físicos experimentadores procedieron a someter el electrón de la experiencia a la acción combinada de un campo eléctrico y otro magnético para estudiar las deflexiones de los rayos catódicos (integrados por electrones) influenciados por dichos campos.

Ahora bien; no hay duda que la experiencia cotidiana nos indica que existe una estrechísima relación entre un campo de fuerza magnética y una co-

riente eléctrica (corriente de electrones); así no fue de sorprender el hecho de que los rayos catódicos se deflectaran bajo la acción de un campo magnético. Pero respecto de su comportamiento en un campo electrostático, la cosa no aparece tan clara.

En una Memoria de Thomson, el fundador, hasta cierto punto, de la teoría electrónica, dirigida a The Royal Institution of Great Britain, en 1907, leo lo siguiente: "Una objeción generalmente hecha contra el punto de vista de que los rayos catódicos consisten en partículas o corpúsculos cargados con cargas eléctricas, es la de que no están deflectados por ninguna fuerza electrostática. Si, por ejemplo, hacemos como lo hizo Hertz, que los rayos pasen entre dos placas conectadas con una batería, de manera que una fuerza electrostática actúe entre esas placas, los rayos catódicos son capaces de pasar por entre esas placas sin ser deflectados en uno u otro sentido".

Esto que fue de preverse desde un principio, por cuanto la experiencia cotidiana nos indica, igualmente, que no existe acción alguna entre un campo electrostático y una corriente eléctrica, se aceptó por Thomson con ingenuidad y sin prejuicios. Pero cuando fue preciso demostrar que los electrones sí eran corpúsculos efectivos cargados con electricidad negativa, cambió él de punto de vista y explicó el fenómeno diciendo que por ionización del gas contenido en el tubo, este gas se vuelve conductor y hace el papel de pantalla eléctrica, siendo, por tanto, preciso colocar el campo electrostático muy cerca del cátodo, en el espacio oscuro de Crookes, donde no se presenta la ionización. Esta explicación, aceptada por la mayor parte de los físicos, no alcanza a dejar plenamente satisfecha la duda que ocurre al espíritu cuando se piensa que el resultado de la experiencia hecha por Hertz precisamente está de acuerdo con la afirmación de que al *equivaler la carga eléctrica individual a un circuito eléctrico, no puede quedar sujeta a la acción del campo electrostático*. Además de esto, y para quitar al gas contenido en el tubo, todo papel en el fenómeno, Thomson se guardó muy bien de añadir que cuando se extrema el vacío en ese tubo, cesan por completo los rayos catódicos, aun bajo la acción de enormes diferencias de potencial.

Pero no quiero, ¡oh Gorgias!, insistir en este punto, sin hacerte notar que probablemente Thomson, y quienes lo han seguido, han sido víctimas de la *ilusión subjetiva* de que antes hablé, ilusión consistente en dar realidad a algo que existe en el substratum de nuestro propio pensamiento, como cristalización de ideas que antes fueron concepciones puras del espíritu, para explicarnos los fenómenos externos, y que después se convirtieron en las realidades matemáticas de que nos ha hablado Parménides.

PARMENIDES.—Propiamente no he hablado de tales realidades: lo que he querido decir es que los conceptos matemáticos no admiten contradicción; en ellos está la verdad absoluta, aun cuando los dic-

tados de nuestra experiencia desacuerden con la lógica de las fórmulas, y los hechos conocidos por nuestros sentidos y hasta los cuales no alcanza nuestra imaginación, en su carácter íntimo, se salgan del campo de las explicaciones que tú llamas: del *buen sentido*.

GORGAS.—Tiene razón Parménides al considerar las matemáticas como una imposición misteriosa de la lógica sobre nuestro espíritu. Yo también creo que son ellas una realidad absoluta, y por eso estoy en desacuerdo con Cristias en lo que toca a la aplicación que de ellas se ha hecho para conocer la intimidad de la materia.

CRISTIAS.—Guárdenme los dioses de creer que no sólo las matemáticas sino también los matemáticos, admiten contradicción. En este terreno me abstengo de batirme con Parménides o contigo, y por eso me limito a analizar los hechos a la luz de ese criterio que el vulgo denomina: sentido común. Es ese criterio el que empleo ahora al referirme a los fundamentos de la teoría electrónica sentados por Thomson al tratar de demostrar que una partícula, átomo, parte del átomo, o electrón, o como quiera llamársele, *animada de una velocidad v , con carga eléctrica individual e , equivale a un elemento ev de circuito eléctrico*. Para tratar de probar este aserto, Thomson asimila los tubos de fuerza unidad, o tubos de Faraday —que imaginamos salientes de un centro de fuerza eléctrica, con carga o masa eléctrica e —a verdaderos elementos materiales que mecánicamente arrastran éter, cuando este centro de fuerza se desaloja en el espacio. Así dice él: "Consideremos ahora otra consecuencia de la idea de que la masa de una partícula cargada procede de la masa de éter atada por los tubos de Faraday asociados a la carga. Estos tubos, cuando se mueven en ángulo recto a su longitud, llevan consigo una porción apreciable del éter a través del cual se mueven, mientras que si lo hacen paralelamente a su longitud resbalan a través del fluido sin arrastrarle. Consideremos cómo se conduce un cilindro largo y delgado, semejante a un tubo de Faraday, cuando se mueve a través de un líquido". "Si este cuerpo puede adoptar cualquier posición en su movimiento, no se colocará, como aparece a primera vista, con la punta hacia adelante, sino normalmente a la dirección del movimiento, colocándose de forma que arrastre la mayor cantidad de fluido posible". "Si aplicamos estos principios a una esfera cargada eléctricamente (asimilando la partícula electrificada a una esfera), vemos que los tubos de Faraday unidos a ella tenderán a colocarse por sí mismos en ángulo recto a la dirección del movimiento de la esfera, de suerte que si este principio fuera lo único que hubiere de tenerse en cuenta, todos los tubos de Faraday se colocarían en el plano ecuatorial, esto es, en el plano normal a la dirección del movimiento de la esfera, porque en esta posición todos se moverían en ángulo recto a su longitud. Debemos recordar, no obstante, que los tubos de Faraday se repelen entre sí, de suerte que si se amontonan en

la región ecuatorial, la presión será allí más grande que en los polos. Esto empujará los tubos de Faraday hacia la posición que ocupan cuando están igualmente distribuidos sobre toda la esfera. La distribución actual de los tubos de Faraday en la región ecuatorial es un término medio entre estos extremos. No se agrupan todos en la región ecuatorial, ni están igualmente distribuidos, pues abundan más en aquélla que en las restantes, creciendo el exceso de densidad de tubos en esta región con la velocidad de la partícula cargada. Cuando un tubo de Faraday se encuentra en la región ecuatorial, aprisiona más éter que cuando se encuentra cerca de los polos, de suerte que el desplazamiento en los tubos de Faraday incrementa la cantidad de éter aprisionado por los tubos, y, por consiguiente, la masa del cuerpo". "La ley que enlaza la fuerza magnética con el movimiento de los tubos de Faraday, es la siguiente: un tubo de Faraday que se mueve con la velocidad v , en un punto P , produce en P una fuerza magnética cuya magnitud es: $\frac{1}{2} \pi v \sin \theta$ siendo la dirección de esta fuerza perpendicular al tubo de Faraday y a la dirección de su movimiento: θ es el ángulo entre esta dirección y el tubo. Vemos que únicamente produce fuerza magnética el movimiento de un tubo en ángulo recto a sí mismo; pero no cuando resbala a lo largo de su longitud" (*).

TIMÆUS (Que ha reflexionado largamente, mientras los demás discuten desde puntos de vista contradictorios).—El ejemplo que acabas de poner, ¡oh Cristias!, referente a lo que puede llamarse realidad matemática, es la más admirable demostración de la influencia que sobre el cerebro razonador ejercen, a la larga, sus propias reflexiones. Este cerebro se aísla del medio exterior, saca de sí mismo las representaciones objetivas de carácter geométrico que emplea para explicarse los fenómenos del mundo externo, crea así elementos absolutamente abstractos, a cuyo uso se acostumbra de manera maquina, por decirlo así, para creer, a la postre, que esas abstracciones mentales propias suyas, son la misma realidad objetiva. Es esto, ciertamente, la ilusión subjetiva de que hablabas antes, cuando decías que después de sus elaboradas deducciones matemáticas, de lógica matemática impecable, el físico se sorprende al hallar en el fondo de ellas su propio pensamiento, la huella de la conciencia que creó esas representaciones. *Esta huella es lo que ese físico encuentra al cabo de sus sabios cálculos, en los cuales parece que quisiera descubrir de nuevo la ilusión subjetiva*.

Porque es claro que el concepto de línea de fuerza es absolutamente abstracto. Una región del espacio donde se manifiesta determinada acción, que sólo conozco por la experiencia, y que puedo medir en todos los puntos de esa región, es un campo de fuerza que me imagino representado por líneas de fuerza y superficies de nivel o equipotenciales. Estas líneas y estas superficies son entidades geométricas subjetivas, y lo mismo lo son los tubos de flu-

(*) "Electricidad y Materia"—J. J. Thomson.

jo, ficción intelectual mía, que me habrá de servir para medir el flujo del vector fuerza con el objeto de transformar valores vectoriales en cantidades escalares. Es éste un proceso intelectual usado por los físicos del siglo XIX, con el propósito de hallar ciertas leyes físicas de carácter matemático, ya que según Lord Kelvin, ningún fenómeno nos es bien conocido si no podemos interpretarlo numéricamente.

Con este proceso, y basados en hechos experimentales bien concretos, los físicos que siguieron a Coulomb, aceptaron para los fenómenos magnéticos y eléctricos la ley de Newton; y así pudo Gauss establecer su teorema referente al flujo de fuerza total a través de una superficie cerrada. Ahora bien, si me apoyo en simples consideraciones geométricas y me imagino en un campo de fuerzas centrales, que me represento por líneas de fuerza y superficies de nivel, puedo llegar, haciendo que dos de estas superficies sean de discontinuidad en el campo, a establecer el teorema de las superficies correspondientes, y de este teorema a deducir la existencia de dos masas de agente (eléctrico o magnético) iguales, coexistentes en el campo, y de signo contrario. Como veis, todo en este proceso es subjetivo; luego no será de admirar que al estudiar el físico la electricidad positiva y la negativa íntimamente, al tratar de descubrir la esencia, por decirlo así, de masas individuales eléctricas positivas o negativas, descubra tan sólo su ilusión subjetiva.

Pero esta ilusión cobra tal realidad, que no es raro el caso de Thomson, quien llegó a materializar los tubos de fuerza en forma tan objetiva como para suponerlos capaces de arrastrar éter, como si ello no se hubiera reservado, por los físicos anteriores a él, a la materia que integra los cuerpos reales.

CRISTIAS.—Tienes razón completa y por eso no me admiro de la explicación de Thomson referente a la creación de un campo magnético por una masa eléctrica en movimiento, que acabo de leerlos. Mas lo grave del caso es que tal explicación no se confirma por la experiencia directa —fuera de los electrones del tubo de Crookes— pues los experimentos de Rowland al respecto, lejos de ser concluyentes, hallaron en su época muchos impugnadores.

Y para seguir con las observaciones que prometí a Gorgias, hago notar que aun aceptando que cargas discretas de electricidad en movimiento (electrones) equivalgan a una corriente eléctrica, el experimento de Thomson significa una grave contradicción. Porque una de dos: o los electrones son cargas estáticas en movimiento, y entonces quedan sujetos a la acción de un campo electrostático, o se manejan como una corriente eléctrica, de acuerdo con la explicación leída atrás, y entonces son influenciados por la acción de un campo magnético, y no tienen nada que ver con el campo debido a masas eléctricas en reposo, como es el que se establece entre las armaduras de un condensador.

La coexistencia de ambas acciones, la eléctrica y la magnética, simultáneamente, sobre la corriente de electrones que sale del cátodo en un tubo de

Crookes, es inaceptable desde el punto de vista experimental y de acuerdo con el buen sentido, porque en todos los demás fenómenos electromagnéticos que estudia la Física, no ocurre nada semejante.

Pero esto no es óbice para que los físicos dejen de calcular la deflexión sufrida por los rayos catódicos bajo la acción de un campo electrostático, suponiendo que la trayectoria real de los electrones de carga eléctrica e sea una parábola, y aceptando que posean una masa mecánica m . Tampoco es obstáculo para que esos mismos físicos calculen la deflexión sufrida por esos rayos catódicos bajo la acción de un campo magnético, suponiendo que la trayectoria de los electrones sea en ese caso un círculo.

Siendo F la intensidad del campo eléctrico y H la del campo magnético, ellos sacan en el primer caso:

$$K = \frac{1}{2} F \frac{e}{mv^2} l^2$$

y en el segundo:

$$K = \frac{1}{2} H \frac{e}{mv} l^2$$

(expresiones en las cuales v es la velocidad de los electrones, m su masa mecánica, e su carga eléctrica, y l la distancia que haya entre el origen de los rayos catódicos, en el cátodo, y la pantalla que sirva para constatar las deflexiones K).

Si se igualan las dos expresiones dichas, cuando se someten los rayos catódicos a un campo magnético y otro eléctrico combinados, y se maniobra para que no haya desviación de ninguna clase, los físicos deducen que

$$v = \frac{F}{H}$$

Evidentemente, con la duda probable de que esto sea así, pues la contradicción que os anoto se ha quedado entre el tintero, Thomson se apresuró a encontrar esta velocidad v por otro camino, determinando la cantidad de electricidad Q total, transportada por N corpúsculos o electrones cargados individualmente con la cantidad e y midiendo la energía cinética correspondiente (siendo m como ya dije, la masa mecánica de cada uno de esos corpúsculos). Así obtuvo: $Q = Ne$. $\therefore W = \frac{1}{2} mv^2 N$

$$\frac{W}{Q} = \frac{mv^2}{2e} \quad \therefore v^2 = \frac{2We}{Qm} \quad (1)$$

Claro que a esto no se puede poner objeción alguna. Pero para poder determinar a e y a m experimentalmente, es necesario conocer a N y en este conocimiento está el *quid* de la cuestión.

Oigamos cómo se expresa Thomson al respecto: "El método por el cual yo determino a N está fundado en el descubrimiento realizado por C. T. R. Wilson, de que las partículas cargadas actúan como núcleos alrededor de los cuales se condensan las pequeñas gotas de agua, cuando las partículas están rodeadas por aire húmedo enfriado por bajo punto de saturación. En aire húmedo y libre de polvo, como Aitken demostró, es muy difícil obtener una niebla cuando se enfría, puesto que no existen núcleos a

cuyo rededor se condensen las gotas; si, no obstante, existen partículas cargadas en el aire libre de polvo, se depositará una niebla alrededor de éstas por una sobresaturación bastante menor que la requerida para producir cualquier efecto apreciable cuando existen partículas presentes. Así, en aire húmedo, suficientemente sobresaturado, se deposita una nube de estas partículas cargadas haciéndolas visibles. Este es el primer paso hacia su recuento. Las gotas son, no obstante, demasiado pequeñas y demasiado numerosas para contarse directamente. Podemos, sin embargo, obtener su número indirectamente como sigue: supongamos que existe un cierto número de estas partículas en aire libre de polvo encerrado en un vaso, y saturado con vapor de agua, e imaginemos que se produce una expansión rápida de este aire; el gas se enfría sobresaturándose de vapor, y algunas gotas se depositarán alrededor de las partículas cargadas. Ahora, si conocemos la magnitud de la expansión producida, podemos calcular el enfriamiento del gas, y, por consiguiente, la cantidad de agua depositada. Así conocemos el volumen del agua que forma las gotas, de suerte que si conocemos el volumen de ellas, podremos deducir su número. Para hallar el volumen de una gota podemos utilizar una investigación de G. Stokes sobre la rapidez con que pequeñas esferas caen a través del aire. A consecuencia de la viscosidad del gas los cuerpos pequeños caen con una excesiva lentitud, y cuanto más pequeños más lenta es su caída. Stokes demostró que si a es el radio de una gota de agua, la velocidad v con que cae a través del aire está dada por la ecuación $v = \frac{2}{9} \frac{ga^2}{\mu}$ donde g es la aceleración debida a la gravedad, y μ el coeficiente de viscosidad del aire = 0.00018. Así $v = 1.21 \times 10^6 \times a^2$.

De aquí podremos deducir el radio a , y, por ende, el volumen de la esfera, si determinamos a v . Pero v es evidentemente la velocidad con que la nube condensada sobre las partículas desciende, y podemos medirla fácilmente, observando el límite superior de la nube. Por este procedimiento he determinado el volumen de las gotas, y, así, el número N de las partículas. Como Ne ha sido determinado por medidas eléctricas, el valor de e puede deducirse cuando N es conocido; de esta manera encuentro que su valor es: 3.4×10^{-10} unidades electrostáticas C. G. S." (*).

Antes de continuar adelante, quiero haceros notar que de todo este procedimiento sólo tiene valor científico, desde el punto de vista de la Física vieja, lo que se refiere a la determinación del volumen de las esferillas de líquido condensado y, aún, lo que toca a la determinación de su número en determinado espacio. A esto no se puede formular objeción alguna. ¿Pero será posible conociendo el número de esferillas de vapor de agua condensado que se contiene en el vaso del experimento, conocer el número de electrones? Permitidme ponerlo en duda, pues

(*) "Electricidad y Materia"—J. J. Thomson.

no acierto a pensar qué hados benévolos han dicho a los físicos que en el interior de cada esferilla no hay sino un electrón, dado el caso que relativamente a las dimensiones que suponemos para el electrón, el volumen de esa esferilla es infinitamente grande. Dado que conociéramos el mecanismo por el cual se determina, a causa de los electrones, condensación del vapor de agua, condensación que también se provoca por corpúsculos materiales, de dimensiones enormes con respecto a las del electrón (partículas de polvo en suspensión en la atmósfera), ¿sería legítimo suponer que solamente en torno de un solo electrón se ha de operar la formación de millones de millones de moléculas líquidas sostenidas por fuerzas interiores tan considerables como la viscosidad elástica? Ciertamente, me parece que en todo esto hay cierta falta de la noción de las proporciones.

GORGAS.—Puedes tener razón en este punto; pero eso no importa, porque con los elementos que nos suministra la Mecánica clásica, de que eres partidario, puedo yo determinar el movimiento de una partícula con carga eléctrica e que se mueve en un campo electrostático de intensidad F con una velocidad v . Evidentemente la fuerza ejercida sobre esta partícula, electrón, o como quieras, es Fe . (Escribe sobre sus tablillas).—Las ecuaciones del movimiento en este caso son:

$$m \frac{dx}{dt} = X \quad m \frac{dy}{dt} = Y \quad m \frac{dz}{dt} = Z$$

Si suponemos el plano de la trayectoria plano de líneas de fuerza del campo eléctrico F (siendo F normal a la dirección inicial) podemos poner: $X = 0$ $Y = Fe$ $Z = 0$ y sustituyendo en las relaciones anteriores:

$$m \frac{dx}{dt} = 0 \quad m \frac{dy}{dt} = Fe \quad m \frac{dz}{dt} = 0$$

Integrando se tiene:

$$X = t \quad y = \frac{1}{2} \frac{Fe}{m} t^2 \quad (2) \quad z = 0$$

Ahora: $t = \frac{x}{v}$ que se reemplaza en (2) para poner:

$$y = \frac{1}{2} F \frac{ex^2}{mv^2} \quad (3)$$

CRISTIAS.—No había habido necesidad de esta demostración, que es elemental e inobjetable, pues tu fórmula es la misma que te expuse no ha mucho. Pero deseo llamarte la atención al hecho de que si teóricamente la trayectoria de la partícula debe ser una parábola, experimentalmente esa afirmación es imposible, porque no podemos medir dentro del tubo de Crookes, los valores de y para determinados valores de x , y no conocemos por la experiencia sino el punto de partida de los rayos catódicos, y su deflexión en el punto de llegada. Si se llegara a conocer experimentalmente la forma de la trayectoria del electrón en el caso del campo eléctrico que produce determinada desviación, o del campo magnético, o de ambos combinados, aunque esto no sería suficiente para determinar la ley de la fuerza, da-

ría, sin embargo, mucha luz a ese respecto. Así, evidentemente, se tendrían las relaciones (1) y (3)

para determinar el valor de $\frac{e}{m}$.

La confianza en que todo lo que te he expuesto, con observaciones, más o menos fundadas, es inobjetable, probablemente llevó a Thomson a concluir lo siguiente: "La velocidad v puede determinarse por el siguiente método: Supongamos la partícula moviéndose horizontalmente en el plano del papel, a través de un campo magnético uniforme H normal a este plano; la partícula sufrirá la acción de una fuerza vertical igual a Hev . Ahora, si además de la fuerza magnética aplicamos una fuerza eléctrica vertical F ésta ejercerá una acción mecánica vertical Fe sobre la partícula. Arreglemos la dirección de F de suerte que esta fuerza tenga dirección opuesta a la debida al campo magnético, y ajustemos F hasta que las dos fuerzas sean iguales. Podemos reconocer cuándo ha sido hecho este ajuste, puesto que en este caso el movimiento de la partícula, en presencia de ambas acciones, es el mismo que cuando no existen. Cuando las dos fuerzas son iguales tenemos $Fe = Hev$ ó $v = \frac{F}{H}$. Así, tenemos medio de trazar el movimiento de la partícula; podemos medir el radio R del círculo en que se encurva por una fuerza magnética constante, y determinar los valores de la fuerza eléctrica requerida para contrarrestar el efecto de la fuerza magnética. Las ecuaciones nos dan entonces el medio de hallar

á v y á $\frac{e}{m}$." (*).

Ahora dejo a tu buen criterio juzgar si de lo que hemos expuesto hasta aquí se pueden sacar conclusiones definitivas y de peso suficiente, para hacernos creer que el fenómeno de los rayos catódicos se encuentra ya completamente dilucidado.

GORGAS.—Evidentemente no; pero te olvidas de que fuera de las experiencias de Thomson, conducidas como hemos visto, según el método que se ha llamado *directo*, están también las de Kaufmann y de Wiechert, fundadas en principios distintos, y cuyos resultados concuerdan con los del autor que tanto has criticado.

CRISTIAS.—Evidentemente, no son comparables los métodos de Thomson con el de Wiechert, para medir la velocidad del electrón, por cuanto este último usa un procedimiento mucho más razonable y proporcionado, consistente en comparar el tiempo que emplean los electrones para recorrer la distancia l con el período de descarga de un condensador, descarga que es de enorme frecuencia. Según entienden, Wiechert empleó un circuito de forma apropiada en la vecindad del tubo de Crookes, circuito que se hace recorrer por la corriente alternativa de la descarga de un condensador. Esto determina un campo magnético alternativo, dado que la corriente de descarga es oscilante y de frecuencia conocida. Así el haz de rayos catódicos oscila como un péndulo bajo la acción del campo oscilante. Si las oscilacio-

(*) "Electricidad y Materia"—J. J. Thomson.

nes son suficientemente amplias, los rayos caerán intermitentemente sobre una abertura practicada en una pantalla colocada dentro del tubo. Un segundo circuito colocado en la vecindad de esta pantalla, y puesto en serie con el primero, deflectará el rayo que ha pasado por la abertura dicha, de una manera semejante. Es claro que si los rayos recorriesen instantáneamente el espacio comprendido entre la pantalla y el cátodo, serían deflectados al salir de la abertura o ventanilla, en la misma desviación que se constatará entre la ventanilla de la pantalla y el cátodo. Pero si el tiempo empleado por los rayos para ir del cátodo a la ventanilla es tal que durante él la corriente ha avanzado en un cuarto de período, no habrá corriente en el segundo circuito, o sea, no habrá campo magnético en el espacio que sigue después de la ventanilla, y, por tanto, en este espacio el rayo no será desviado, lo que parece que se ha comprobado experimentalmente. Este raciocinio se me hace correcto, y si fuera fácil establecer que el campo magnético oscila con igual amplitud cuando los rayos penetran por la ventanilla, sería este método aceptable, por cuanto el período en la descarga oscilante del condensador es calculable; pero como la amplitud correspondiente a los valores instantáneos de la corriente de descarga va decreciendo a cada período, hay un momento en que pasando por la ventanilla los rayos aún pueden ser desviados, puesto que hay aún corriente en el segundo circuito, de pequeña amplitud. Además, la reactancia de los circuitos no es despreciable.

En cuanto al método de Kaufmann, fundado en la aplicación de la fórmula (1) que hemos visto atrás, debo observarte, que si es cierto que podemos medir la cantidad Q de electricidad total transportada por los electrones, no sucede lo mismo con la energía W que el choque de ellos representa sobre el *target* o blanco usado en el experimento, y que recibe el bombardeo de tales electrones, por cuanto esa energía transformada en calor, se manifiesta también sobre el cátodo, y porque entonces habría que despreciar la energía disipada por choques entre los electrones y las moléculas libres del gas contenido en el tubo, y entre éstos y las superficies contra las cuales chocan. Además, en la hipótesis de Kaufmann se debe aceptar que los electrones, corpúsculos o partículas, cualesquiera que ellas sean, carecen en absoluto de toda elasticidad, cosa opuesta al concepto de extrema rigidez concedida a los átomos por la teoría atómica, y que debe extenderse, también, a los electrones que integran esos átomos según las últimas teorías.

Por todo lo que he expuesto, no es de extrañar que las diversas determinaciones de $\frac{e}{m}$ dieran en la práctica resultados tan discordantes como los que se ven en el siguiente cuadro:

Método directo de J. J. Thomson: $\frac{e}{m} = 0.231 \times 10^{12}$

Por la compensación en los dos campos (Becquerel)..... " = 0.300×10^{12}

Por la fórmula $\frac{e}{m} = \frac{Qv^2}{2W}$ (Kauf-

mann) " = 0.558×10^{12}

Por el mismo sistema (Simon).. " = 0.560×10^{12}

Por la fórmula $\frac{e}{m} = \frac{2KF}{H^2 l^2}$

(J. J. Thomson) " = 0.351×10^{12}

Método directo de Wiechert.... " = 0.303×10^{12}

Por el mismo método directo... " = 0.465×10^{12}

Determinación de Lenard..... " = 0.192×10^{12}

Como véis, existe considerable discrepancia en los valores de $\frac{e}{m}$ determinados por diversos autores,

que han usado métodos diversos para ello; fuera de que esos métodos no son precisamente de una claridad meridiana como para convencernos de su precisión. De esto podemos deducir que aún falta mucho de sólido y concreto en los fundamentos de la teoría electrónica.

Pero no es esto solo, pues Kaufmann en varias experiencias sucesivas, que él juzgó muy precisas y perfectas, llegó a la conclusión de que la relación $\frac{e}{m}$ entre la carga eléctrica de los electrones y su masa mecánica, variaba con la velocidad v de ellos, en forma tal que disminuye rápidamente cuando la velocidad v crece hasta aproximarse a la de la luz.

Este resultado ha debido hacer pensar que las discordancias anotadas atrás, que no se sabe si provienen de errores de observación o de error de las hipótesis sobre las cuales se han fundado los cálculos —pues esta clase de observaciones es muy difícil y no es posible en ellas asignar valor alguno a los errores— indican que hay algo de artificial en la manera como los físicos ultramodernos han intentado explicar la constitución del átomo.

Pero no fue esto lo que se pensó en presencia de tales discordancias y del resultado desconcertante obtenido por Kaufmann, pues la lógica de esos físicos impresionados por lo que hemos llamado la ilusión subjetiva, los indujo a decir entonces: "*Como todo conduce a creer que la carga es siempre la misma para todos los electrones, es necesario suponer que es su masa la que no es constante, y que ella crece rápidamente con la velocidad, cuando ésta se aproxima a la velocidad de la luz*". (*)

PARMENIDES.—Esto está en admirable acuerdo con el postulado de la constancia de la velocidad de la luz, que tú has criticado antes, pues es de suponer también que en el límite, cuando la velocidad del electrón se hace igual a la de la luz, su masa se vuelve infinita. Esto quiere decir que en la naturaleza no puede haber velocidad superior a la de los fenómenos de la propagación luminosa. Porque no es sólo sobre los resultados negativos del experimento de Michelson sobre el que los relativistas han cimentado el postulado de Einstein; ellos, para

(*) "Or, comme tout porte à croire que la charge est toujours la même pour tous les électrons, il est nécessaire de supposer que c'est leur masse qui n'est pas constante, et qu'elle croît rapidement avec leur vitesse, quand celle-ci est voisine de la vitesse de la lumière"—("La théorie moderne des phénomènes physiques", Augusto Righi).

aceptarlo, se han apoyado en el hecho de que ni la velocidad de la corriente eléctrica, ni la de las ondas hertzianas, sobrepasan a la de la luz, como no puede sobrepasarla tampoco la de los electrones, según se deduce de los experimentos de Kaufmann.

CRISTIAS.—No te anticipes en tus conclusiones, porque quiero, antes de ir al fondo de la cuestión, exponerte las ideas de Thomson sobre lo que él llama la *masa atada* de un electrón. Estas ideas se desprenden del concepto fundamental de que un punto con carga eléctrica e que se mueve con una velocidad v equivale a un elemento de corriente ids , que coincide con el paso del punto cargado, y determina una acción que se interpreta por la igualdad $ids = ev$. Thomson afirma, según lo dije antes, que este punto o corpúsculo produce así un campo magnético en el espacio que lo rodea:

$$H = \frac{ev \sin \theta}{r^2} \quad (1)$$

En esta fórmula, r es la distancia del punto P en donde se considera el vector H (intensidad magnética) a la partícula, corpúsculo o punto con carga e y θ el ángulo que hace la línea que une estos puntos con la dirección del movimiento.

Thomson toma la expresión de la energía acumulada por unidad de volumen en un campo magnético debido a una corriente eléctrica: $W_i = \frac{\mu H^2}{8\pi}$ en donde H es la intensidad del campo y μ la permeabilidad magnética del medio, para substituir a H por su valor de la fórmula (1), y poner:

$$W_i = \mu \left(\frac{ev \sin \theta}{r^2} \right)^2 \times \frac{1}{8\pi} \quad (2) (*)$$

De aquí: $dW_i = \mu \left(\frac{ev \sin \theta}{r^2} \right)^2 du \times \frac{1}{8\pi}$ para el volumen elemental du .

Para obtener la energía magnética total en el espacio que rodea a la partícula cargada, es necesario efectuar la integración desde la superficie de la partícula hasta el infinito. Si se supone que la carga eléctrica esté concentrada en el centro de una pequeña esfera de radio a como μ es igual a la unidad para el aire, en donde se considera esta pequeña esfera o partícula, se puede poner integrando:

$$W = \frac{1}{3} e^2 \frac{v^2}{a}$$

Thomson plantea entonces la cuestión diciendo: "Esta energía magnética es debida al hecho de que la partícula cargada se mueve con una velocidad v . Se la debe, pues, atribuir a la partícula cuando ésta se pone en movimiento. Así, si la partícula tiene

(*) Aquí hay que observar que la fórmula $W = \frac{\mu H^2}{8\pi}$ se ha deducido por los autores clásicos considerando el desalojamiento de Maxwell (ficción geométrica que ha servido para representarnos idealmente la acción magnética dentro del medio permeable), a lo largo de los tubos de inducción que se cierran para determinar una distribución solenoidal, por cuanto no hay masas magnéticas libres. El desalojamiento en estos tubos representa energía acumulada en forma de campo magnético, que se devuelve cuando, por cualquier variación del desalojamiento, se induce en el conductor, eje del fenómeno, una fuerza contra-electromotriz de inducción.

masa mecánica m cuando está sin carga, el trabajo hecho para comunicarle una velocidad v cuando lleva una carga e es indudablemente:

$$\frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{3} \frac{e^2}{a} v^2 = \frac{1}{2} \left(m + \frac{2}{3} \frac{e^2}{a} \right) v^2$$

Esta partícula se conduce así como si su masa hubiera sido incrementada en $\frac{2}{3} \frac{e^2}{a}$. Este incremento puede llamarse masa electromagnética de la partícula. Aún si m fuera cero, la partícula se comportaría como si tuviese la masa $\frac{2}{3} \frac{e^2}{a}$ a causa de que arrastra consigo la carga e de masa eléctrica".

Para poder decir esto ha sido preciso materializar los tubos de Faraday, que para Maxwell y otros clásicos fueron meras ficciones del espíritu, y aun, ir más lejos y aceptar las ideas de Heaviside, "quien demostró que el efecto del movimiento de la esfera dicha, corpúsculo o electrón, es desplazar cada tubo de Faraday hacia el plano ecuatorial, es decir hacia el plano que contiene el centro de la esfera y es normal al movimiento, de tal manera que la proyección del tubo en este plano permanece la misma, como en el caso de la distribución uniforme de los tubos, pero la distancia de cada punto al plano se reduce en la proporción de $\sqrt{V^2 - v^2} : V$ en donde V es la velocidad de la luz a través del medio y v la del cuerpo cargado".

Estas deducciones parece que no concuerdan en forma alguna con la idea de Kaufmann, de que la energía total directamente medible se debe a la masa mecánica m . Entonces, ¿qué pensar de esta más grave contradicción que se presenta al estudiar el movimiento del electrón que produce un campo magnético, cuya existencia presupone una cantidad de energía acumulada, precisamente, en la partícula cargada en movimiento? ¿Qué decir, además, de esa mezcla peculiar que se hace en la teoría electrónica, de la masa mecánica, que Kaufmann debe forzosamente suponer constante, para fundamentarse en la expresión clásica de la energía, y de la masa, llamada por Thomson masa electromagnética y que Heaviside limita implícitamente por la velocidad de la luz? ¿Qué es entonces la masa eléctrica o la carga de electricidad negativa de la partícula? ¿No parece absurdo, a primera vista, identificar la noción de masa mecánica, con la de una energía que antes se había supuesto residir en el medio en donde se opera el movimiento de las partículas infinitamente pequeñas que integran los rayos catódicos? Realmente, en presencia de tantas contradicciones justo es desconfiar de los fundamentos mismos de la teoría electrónica.

PARMENIDES.—No te admires, ¡oh Cristias! de esas contradicciones, porque el error básico de las tesis que has expuesto, reside en la Mecánica misma de que se sirvieron los físicos para sustentarlas. Todo esto debe servir para que te convenzas de que

la Mecánica de Newton ha fallado en la explicación de los fenómenos íntimos de la materia.

CRISTIAS.—Según tu criterio ello es así. Pero también ha faltado en la arquitectura toda de la teoría algo de buen sentido. Y si no, dime, ¿qué significa eso de suponer el éter como ente absolutamente inmóvil y esencialmente fluido, que penetra todos los cuerpos que se deslizan a través de él, aún en el interior del átomo, y que, al mismo tiempo, es arrastrable en grado máximo por las líneas de fuerza de un campo eléctrico en movimiento? ¿Qué es, por fin, el éter? ¿Puede haber alguna concordancia entre el fluido que fue preciso inventar para explicarnos la propagación ondulatoria y el que, con el mismo nombre, se ha creado para explicar los fenómenos electromagnéticos en la teoría electrónica? ¿Qué noción de masa mecánica es esa que identifica una cantidad de sustancia del *sér*, como diría Aristóteles, cantidad de materia ponderable, cantidad de agente eléctrico o magnético, etc., con una energía que no se sabe si es energía de posición o energía cinética? ¿Cómo justificar la circunstancia de que al éter de los experimentos de Michelson y Morley se le niega la propiedad de ser arrastrado totalmente por la tierra en su movimiento a través del espacio absoluto, y al mismo tiempo a ese éter se le declara inmóvil con relación al espacio-tierra, cuando tratamos de explicarnos los fenómenos electromagnéticos?

GORGAS.—Pero, si no aceptas las teorías de Thomson, de Kaufmann, de Heaviside y demás, ¿cómo vas a formarte idea de los fenómenos eléctricos? ¿Por las representaciones abstractas, convencionales y subjetivas de Faraday, Maxwell y Kelvin?

CRISTIAS.—Por los dictados del buen sentido. Este criterio del buen sentido, de la intuición razonable de las cosas, parece que habla por la boca de un crítico que nunca dio a las matemáticas más alcance que el que en justicia les corresponde. Dijo ese crítico: “Dos problemas se presentan en los movimientos, a saber: 1º Dado el movimiento, hallar las fuerzas, capaces de producirlo. 2º Dadas las fuerzas, hallar el movimiento. El primer problema condujo a Newton a descubrir la ley de la gravitación como consecuencia de las leyes de Kepler. La fuerza se dedujo del movimiento mismo, es decir, tal como actúa sobre los planetas en movimiento. Después se verificó la identidad entre dicha fuerza y la gravedad; de esta manera se comprobó que la velocidad de que están animados los planetas no tiene influencia sensible sobre el valor de dicha fuerza. Conocida la fuerza, la Mecánica celeste se ha ocupado del problema referente al movimiento de varios cuerpos que se atraen los unos a los otros, y es así como se ha establecido la teoría de los movimientos planetarios. Pero no es eso todo: la Mecánica celeste persigue algo más y es precisamente el grado de exactitud que puede conferírsele a la ley de gravitación, esto es, si ella basta por sí sola a explicar todas las perturbaciones, o si es necesario introducir algún pequeño

término correctivo. Hasta ahora ella ha bastado, dado el grado actual de precisión en las observaciones astronómicas; pero es natural que dicha ley no sea perfecta; es natural que la velocidad de los planetas tenga alguna influencia, y que, además, haya algunas otras fuerzas en acción, como la fuerza repulsiva de la luz, etc., cuyos efectos se hayan escapado aún, por ser muy pequeños en relación con los de la gravitación”.

“Al tratar del movimiento de los electrones nos parece más fecundo el primer problema, como que se trata de una investigación en un asunto nuevo, en donde casi todo es desconocido. No sería muy difícil hallar la forma exacta de la trayectoria en cada caso, y aunque esto no sería suficiente para determinar la ley de la fuerza, daría, sin embargo, mucha luz a ese respecto. Pero el método que se empleó corresponde al segundo problema. Se ha supuesto conocida la fuerza en cada caso y se ha determinado el movimiento. Si éste concuerda con los hechos, la ley de la fuerza es correcta. ¿Qué se debe concluir si el movimiento previsto no coincide con el movimiento real? (*).

“En las investigaciones científicas se debe proceder de lo conocido a lo desconocido, y no al contrario. De las leyes de Kepler dedujo Newton la de la gravitación; partió de hechos conocidos y halló por causa una fuerza real y conocida.

“En Física matemática se ha procedido a la inversa: no se ha ido del fenómeno a su causa inmediata, sino que de causas hipotéticas se ha tratado de deducir las leyes que rigen los fenómenos conocidos, ya sea aumentando o modificando las supuestas causas, ya agregando nuevas hipótesis, hasta conseguir un acuerdo más o menos completo. *Porque es evidente que no hay fenómeno, por complejo que sea, que no pueda explicarse mediante hipótesis más o menos complejas*”.

“Este procedimiento constituye el llamado método *a priori*. Con él no podrá llegarse a una teoría positiva que interprete la realidad externa, sino, a lo más, a hallar reglas neumónicas que resuman en unas pocas fórmulas matemáticas el conjunto de las leyes que corresponde a un ramo de la Física”.

“La Física general está en el estado de desarrollo en que se hallaba la Astronomía después de Kepler, y antes de Newton: se conocen experimentalmente sus leyes, pero no han sido interpretadas correctamente. Es probable que no pueda avanzarse de este estado. Se ha dicho, en efecto, repetidas veces y con razón, que si las observaciones de Tycho Brahe hubieran sido más numerosas o practicadas con instrumentos de mayor precisión que los empleados por aquel astrónomo, Kepler se hubiera dado cuenta de que sus leyes no eran exactas, sino simplemente aproximadas, y Newton no hubiera hallado la causa capaz de producir el movimiento kepleriano. Esta consideración ha servido a Emile Picard para explicar la dificultad con que tropiezan los físicos mo-

(*) “La Mecánica de los electrones”—Julio Garavito A.

dernos, puesto que se tiene inmenso acopio de observaciones físicas de alta precisión, que aumentan diariamente, y las cuales, siendo resultado de múltiples causas de diferente orden, es imposible separarlas”.

“Pero la dificultad no está solamente en esto; hay, en nuestro concepto, una causa aún mayor, que imposibilita hacer de la Física una ciencia racional, un apéndice de la Mecánica. El universo astronómico es, en efecto, más sencillo desde el punto de vista de la Mecánica, que el mundo molecular: todo es visible en el primero, todo es oculto en el segundo. La gran solidez que tiene la ciencia astronómica consiste precisamente en la objetividad de la causa y del efecto. Leverrier, por ejemplo, supuso que un nuevo planeta era el causante de las perturbaciones conocidas de Urano, calculó la posición de esa masa oculta, y la observación descubrió a Neptuno. La causa se hizo así visible. En Física una verificación semejante es de todo punto imposible”.

“Es injustificable la pretensión de los físicos modernos de conferir a sus teorías hipotéticas valor equiparable al de la Astronomía. Lo único verificable en Física es la comprobación de que sus fenómenos obedecen a las leyes de la Mecánica; pero es incauto aspirar al conocimiento íntimo y detallado de ellos” (*).

TIMÆUS.—Admirables palabras éstas, de serenidad filosófica digna de Aristóteles y atribuibles a nuestro maestro Platón, quien supo orientarse por los extraviados y confusos senderos de las discusiones áticas de nuestra Academia, con lógica impecable y sutil. Lástima grande que hubieran sido pronunciadas por un varón oscuro y en un medio de resonancia nula. Parece, al intentar su penetración profunda, que el espíritu que las dictó se hubiera prolongado a través del tiempo y por sobre las generaciones, desde nuestra época de claridad y armonía, hasta los días presentes de tan confusas e intrincadas aspiraciones. Porque, sin duda, ese desconocido filósofo a que te refieres, no buscó, al expresarse así, la popularidad barata, que acompaña casi siempre con éxito a los innovadores, sino la verdad sencilla y clara.

GORGAS.—Pero esto es puro agnosticismo: equivale a negarnos la capacidad de conocer la verdad, declarándonos estacionarios en el camino del progreso; y yo creo que la aspiración de ir adelante siempre, de avanzar continuamente en el campo de lo desconocido, es una justa aspiración de la mente humana. Cuando os oigo, cuando te veo empeñado, juntamente con Cristias, en la tarea de negar a este siglo de las luces el mérito inmenso de haber descubierto muchos velos y de haber puesto los conocimientos adquiridos, al hacerlo así, al alcance de las multitudes que gozan hoy de innumerables y benéficos inventos, no puedo menos de juzgarlos con severidad como a agnósticos negativos, como a espíritus retardatarios aferrados irrazonablemente al pasado,

(*) “Óptica Astronómica—Teoría de la refracción y de la aberración anual”—Julio Garavito A.

e incapaces de prolongarse en el futuro, y esto contra nuestros deseos superiores de hombres que vivimos más allá de las cosas sensibles, muertos desde hace muchos siglos para la vida contradictoria, dolorosa y difícil de la realidad, pero siempre vivos para la obra espiritual, para el progreso indefinido de la mente humana.

PARMENIDES.—Y este agnosticismo es tanto más reprochable cuanto mayor es el acopio de los hechos que nos presenta la Ciencia contemporánea para demostrarnos que en el dominio de lo cognoscible el entendimiento ha hecho y está haciendo ahora, conquistas trascendentales que tienen forzosamente que sacar a la Filosofía del mar muerto de sus especulaciones abstractas e infundadas para llevarla muy en breve al conocimiento de todas las cosas. Ciertamente estamos hoy muy lejos de los físicos del siglo pasado, que tanto gustan a Cristias, para quienes los fenómenos físicos eran atribuibles a agentes misteriosos que se llamaban: calor, luz, electricidad y magnetismo. Después de las pruebas suministradas por las leyes de la electrolisis, fue indiscutible la discontinuidad en la estructura de la electricidad, aunque el conocimiento de los números de Avogadro era insuficiente para permitir el cálculo preciso del valor de la carga elemental. Mas los descubrimientos de Thomson, de Lenard, de Perrin, de Kaufmann, de Becquerel y otros más, que cita Cristias, llevaron rápidamente al conocimiento del electrón y permitieron el estudio íntimo de la materia que dio en tierra con tales agentes: calor, luz, electricidad y magnetismo —tan semejantes a los *entes-causas* de los filósofos antiguos.

Permíteme ¡oh Gorgias!, que haga un resumen de la historia de la teoría electrónica, que ya hemos esbozado en esta discusión, para ilustrar a Cristias un poco más sobre esta materia, tratando a fondo de la evolución del electrón.

Es indiscutible que a medida que la Física experimental de fines del siglo XIX y principios del siglo XX avanzaba poco a poco, fue apareciendo más y más claramente que en ciertas circunstancias especiales los cuerpos materiales pueden emitir gránulos de electricidad, por decirlo así, que se mueven libremente hasta cuando se sumergen de nuevo en la materia. A veces estos gránulos o corpúsculos aparecen en los tubos de Crookes bajo la forma de rayos catódicos; otras se les encuentra entre los productos de desintegración de los cuerpos radioactivos, con el aspecto de los rayos β ; otras, en fin, se les ve surgir en los cuerpos que se elevan a altas temperaturas o que están sometidos a una irradiación lumínica o de rayos X. Pero lo que es esencial en este punto es que estos corpúsculos de electricidad, obtenidos por estos diversos métodos, se muestran siempre los mismos: idénticos unos a otros, con la misma cantidad de electricidad negativa, y gozando de las mismas propiedades bien definidas. Así, pues, no ha ganado nada Cristias con formular objeciones simplemente relativas al estudio de los electrones en los tubos de Crookes.

“Las propiedades del electrón que se han podido poner en evidencia durante los primeros años, posteriores a su descubrimiento, se podían resumir diciendo que este electrón se comporta siempre como un corpúsculo de dimensiones despreciables, que posee una masa y una carga eléctrica, muy pequeñas y bien definidas. Esto quiere decir que el electrón señalaba su paso por efectos bien localizados en un punto del espacio y que en presencia o en ausencia de campos electromagnéticos se desalojaba, como debe hacerlo según la Mecánica clásica, un corpúsculo puntual de masa muy pequeña y definida que lleva consigo cierta carga eléctrica negativa siempre la misma. La desviación experimentada por el electrón en presencia de campos magnéticos y eléctricos daba medios para medir la relación existente entre su carga y su masa, y el conocimiento del número de Avogadro permitía calcular su carga, que las experiencias de Millikan han permitido después medir directamente.

“El estudio más profundo de las propiedades mecánicas de los electrones animados de grandes velocidades, ha demostrado posteriormente que la masa del electrón varía con su velocidad, de acuerdo con la ley prevista por la relatividad. Se sabe, en efecto, que el desarrollo de las bellas ideas de Einstein sobre la relatividad de los fenómenos físicos conduce a adoptar una nueva Dinámica que para las velocidades elevadas (es decir para las velocidades que se acercan a la de la luz en el vacío) se aparta de la Dinámica clásica de Newton. La diferenciación entre las dos Dinámicas se puede concretar diciendo que la masa de un corpúsculo, en lugar de ser siempre constante, como lo suponía la Dinámica newtoniana, crece de una manera sensible con la velocidad, cuando esta velocidad se aproxima a la de la luz, y aún tiende hacia el infinito cuando tal velocidad tiende hacia esta última. Tal cosa demuestra que ningún fragmento de materia puede, si las ideas de Einstein son exactas, desalojarse tan aprisa, como una radiación en el vacío, y *a fortiori* más aprisa que esta radiación” (*).

Y aquí hago un paréntesis para recordar a Cristias que el postulado de que él hizo mofa, sí tiene sólidos fundamentos.

“Este postulado se funda sobre una extensa serie de experimentos, entre los cuales los más notorios son los de M. M. Guye y Lavanchy, que han probado el hecho, para los electrones rápidos, de que su masa varía con la velocidad. Pero si esta bella verificación de las ideas relativistas es muy importante desde el punto de vista de la Física teórica general, no ha suministrado esencialmente nada nuevo en lo que respecta al concepto del electrón. Después de esta verificación, como anteriormente, el electrón debía considerarse como un corpúsculo puntual, o de dimensiones muy pequeñas, provisto de cierta carga eléctrica negativa y dotado, en reposo, de una masa mecánica determinada”.

(*) “L'évolution de l'électron”—Louis de Broglie.

“Pero así como el electrón representa el papel de gránulo elemental de electricidad negativa, ¿no pueden existir también gránulos o corpúsculos de electricidad positiva? Al principio se careció de pruebas convincentes de ello, pero hoy se tiene la certidumbre de que la electricidad positiva también se divide en gránulos, y de que el gránulo de electricidad positiva se identifica con el protón o núcleo del átomo de hidrógeno”.

“El estudio de las propiedades del protón ha conducido a considerarlo como un corpúsculo puntual, o de dimensiones muy pequeñas, análogo al electrón, y dotado de una carga eléctrica positiva, exactamente igual, en valor absoluto, a la del electrón. En cuanto a su masa, se debe decir que estando en reposo, ella es mucho mayor que la del electrón (cerca de 2.000 veces más grande), lo que establece una curiosa disimetría entre las dos clases de electricidad” (*).

Me parece que este corto resumen habrá demostrado a Cristias que la teoría electrónica tiene mayor peso de lo que él se ha imaginado, y que si son dignas de reparo algunas de las deducciones y varios de los procedimientos propios de los primeros investigadores, los resultados posteriores no han hecho sino confirmar las ideas fundamentales de Thomson y su escuela. Además, él habrá notado la armonía admirable que reina entre las consecuencias de orden mecánico que se deducen del estudio íntimo de la materia, y los fundamentos de las teorías relativistas, únicas capaces de darnos una idea sensata del universo.

GORGIAS.—Y yo agregó que son ellas las que habrán de solucionar todas las cuestiones referentes a la estructura del átomo, admirable labor en que se empeñan los físicos para descubrirnos la esencia misma de la materia en su carácter más íntimo. Por este aspecto me confieso, como Parménides, irrisorio partidario de la escuela de Einstein.

CRISTIAS.—Poco a poco, amigos míos. Me habéis llamado agnóstico y yo no rechazo el cargo, si cargo puede haber en el reconocimiento de una virtud: la virtud de la desconfianza sistemática que muchas veces nos ha librado de caer en el engaño. Porque si el entusiasmo, la fe positiva y la confianza en las posibilidades de esta Ciencia contemporánea que suministra hoy a la humanidad tanto *comfort*, felicidad tanta, son dignos de elogio y admiración, no por eso habrá de ser objeto de severa censura mi actitud reservada y fría.

A tomar esa actitud me han conducido los sucesivos fracasos de las hipótesis físicas que se han sucedido desde Coulomb hasta la hora última, del último átomo creado por nuestra imaginación, y por eso no me convencen del todo las razones especiosas de Parménides, que intenta salvar la relatividad generalizada embarcándola en los flamantes y pomposas demostraciones de las teorías atómicas más recientes.

(*) “L'évolution de l'électron”—Louis de Broglie.

Como parece que vimos atrás en esta discusión, fue Lorentz quien trató de reconstruir toda la teoría electromagnética introduciendo en ella sistemáticamente los electrones, y para dar vigor a sus asertos en este respecto previó, o aparentó prever, el efecto Zeemann, sin imaginarse que posteriormente su previsión iba a dar lugar a muchas contradicciones de que me ocuparé luego.

GORGIAS.—Excusa que te interrumpa para hacer ver que la previsión de los tripletes y dobletes del efecto Zeemann, confirmatoria de las ideas de Lorentz, suministró una nueva prueba de que la materia contiene electrones negativos, permitiendo una primera evaluación de la relación que liga su carga a su masa. Ahora, también, quiero recordarte que la teoría electrónica permitió hallar las leyes de la dispersión y de la difusión; previó ciertos fenómenos electro-ópticos y magneto-ópticos; interpretó varias propiedades eléctricas y caloríficas de los metales, y, por la teoría de la onda de aceleración, nos mostró claramente cómo las radiaciones proceden del movimiento de cargas eléctricas contenidas en la materia.

Así, puedo juzgar como maravillosa la creación del átomo fundada en esa teoría electrónica. Como tú mismo lo has dicho, a principios del siglo XX los físicos que ya tenían la certidumbre de que los cuerpos materiales están constituidos por átomos, se preocuparon de la representación estructural de esos átomos. Y para ello vino en su ayuda la experiencia que prueba con qué facilidad y en qué condiciones tan diversas se puede sacar de la materia torrentes de electrones. Esto, evidentemente, indica que el electrón debe ser una de las piezas esenciales de la arquitectura atómica, y esto mismo sirvió a Rutherford para idear, como antes lo había hecho Thomson, su modelo del átomo.

Según lo debes saber, Rutherford, estudiando las desviaciones de los rayos X, al pasar a través de la materia, halló la prueba de que existe en el centro del átomo un núcleo cargado positivamente y de dimensiones muy pequeñas en relación con el conjunto atómico. Así pudo él imaginarse los átomos como sistemas planetarios en miniatura, con un sol central dotado de una carga eléctrica positiva, igual y de signo contrario, a un múltiplo entero de la carga electrónica. Alrededor de ese centro girarían los electrones como lo hacen los planetas alrededor del sol, formando en el estado normal un sistema eléctrico neutro. Según Rutherford, al pasar de un elemento químico al siguiente, la carga del núcleo aumentaría en una unidad, y en una unidad crecería igualmente el número de electrones-planetes.

Como ves, esta creación armoniosa y magnífica, que nos transporta ordenadamente de los espacios siderales al último elemento constitutivo de la materia, juzgado por los físicos primitivos como indivisible, representa una conquista de la Ciencia tan importante como el concepto de Copérnico explicativo del movimiento planetario. Así, no fue de ad-

mirar que esta representación del átomo interpretara maravillosamente todas las características de los átomos reales, de acuerdo con las experiencias de que hemos hablado.

CRISTIAS.—No te entusiasmes tan prematuramente, y júzga de los hechos con la reserva del caso. En primer lugar, te advierto que este sistema planetario-atómico requiere, para su concepción, la existencia del éter dotado de las misteriosas propiedades de que hablé atrás. En segundo lugar, no acierto a comprender cómo los electrones interatómicos que describen órbitas planetarias alrededor del sol positivo central, bajo la acción de una fuerza misteriosa, más misteriosa que la de Coulomb, se vieran privados de la facultad de moverse según una infinidad de movimientos diferentes, irradiando constantemente energía bajo la forma de radiaciones de frecuencias continuamente variables. Creo que al hablar así interpreto los puntos de vista más ortodoxos de los físicos ultramodernos, y los resultados generales de la teoría de los electrones.

Además, paréceme que al concebir vuestro famoso sistema planetario no habéis hecho sino trasladar las dificultades que se encuentran en cualquiera explicación referente a la gravitación, de lo infinitamente grande a lo infinitamente pequeño. Porque, ¿qué otra cosa son esos electrones girando alrededor del núcleo según órbitas definidas sino verdaderas masas mecánicas a las cuales hay que someter a la acción de la fuerza centrífuga y de la atracción central? Ciertamente, los físicos de ahora han olvidado las afirmaciones de Zenón y de Heráclito respecto de lo continuo y de lo discontinuo, por cuanto dentro de su átomo existe lo continuo que es el éter, que debe colmar los espacios inter-electrónicos, y lo discreto que son los electrones, última partícula divisible de la materia. Para los inventores de la teoría atómica, el átomo constituía el último elemento material absolutamente indivisible y continuo; dentro de él no podía suponerse movimiento alguno, de acuerdo con nuestras viejas doctrinas, y así el átomo de la Mecánica clásica podía juzgarse como el último refugio de la mente en ese proceso de subdivisión indefinida (*dichtomia*) que en la teoría electrónica se ha llevado hasta el electrón. Correctamente hablando, el átomo de ahora es un conjunto esencialmente divisible, y desde el punto de vista de la Metafísica, ha dejado de ser átomo. Ahora, poniéndome en el terreno de las Mecánicas nuevas, quiero criticar vuestro sistema planetario atómico con las propias palabras de un crítico insospechable para vosotros. Dice él así: “Mas no tardaron en proyectarse algunas sombras sobre el armonioso cuadro de la teoría electrónica. La más inquietante de ellas surgió del estudio teórico de la radiación en el equilibrio térmico. La teoría de los electrones permitía, en efecto, calcular cuál debe ser la repartición de las energías entre diversas frecuencias en la radiación que existe normalmente en el interior de un recinto cerrado mantenido a una tem-

“Para llegar a una fórmula diferente de la de Rayleigh-Jeans, que represente bien el resultado de las investigaciones experimentales, Planck se vio obligado a introducir su célebre hipótesis de los *quanta*, según la cual los electrones contenidos en la materia no pueden estar sino en ciertos estados de movimiento. Estos estados particulares de movimiento, estados *quantificados*, han sido determinados por Planck por medio de reglas cuyo enunciado ha introducido la célebre constante universal, que tiene las dimensiones de una acción, y que se ha llamado constante de Planck. No podemos exponer aquí la teoría de los *quanta* en grandes líneas, pero queremos insistir sobre la idea esencial siguiente: Al demostrar que los electrones contenidos en la materia proceden de muy distinta manera de como lo hacen los puntos materiales concebidos por la Mecánica clásica (y aun por la misma Mecánica relativista), la teoría de los *quanta* ha indicado, desde sus principios, que para representar la totalidad de las propiedades del electrón no podía satisfacernos la imagen, un poco simplista que se nos da de él al asimilarlo a un corpúsculo puntual, o casi puntual, caracterizado únicamente por su masa y su carga eléctrica. Las condiciones de estabilidad *quántica* impuestas por Planck y sus continuadores, a los movimientos electrónicos de pequeña escala, *hacen intervenir el conjunto de la trayectoria descrita por el electrón como si éste se encontrara simultáneamente presente en todos los puntos de esta trayectoria*. Pero las consecuencias de este hecho importante no se han tenido en cuenta sino poco a poco por los físicos, así los teóricos de los *quanta* se contentaron en un principio con emplear a la vez la imagen del electrón concebido como punto material y las condiciones de estabilidad *quántica*, que presuponen implícitamente la insuficiencia de tal imagen. Este empleo simultáneo de concepciones un poco contradictorias, ha servido de base para el desarrollo de nuestros conocimientos sobre la estructura del átomo, y, en particular, para la célebre teoría a que se encuentra unido el nombre de Bohr” (*).

Si tú reflexionaras, verías que al concebir el átomo según la Mecánica clásica, presuponiendo fuerzas centrales y dejando a los electrones en libertad de movimiento, se presentaría radiación constante de energía, los átomos serían inestables y la materia se aniquilaría rápidamente. Además, de esa suerte nada podría explicarnos los caracteres discontinuos y la estructura siempre semejante a sí misma, de los espectros emitidos por los elementos.

PARMENIDES.—No quiero decir precisamente eso. Lo que afirmo es que la Mecánica de Newton no tiene hoy objeto alguno. En su tiempo tal vez pudo colmar algunas necesidades del espíritu humano, por la deficiencia de hechos que entonces se presentaban a la investigación, en una época primitiva que desconoció los admirables inventos del presente, los cuales, en la nuestra, se hubieran considerado como manifestación palpable de los dioses. Cuando hablo así no desconozco el mérito de Newton y su escuela; sólo hago una composición de tiempo y lugar para decirte que hoy sus doctrinas, consideradas a la luz de la experimentación moderna, son como los primeros e inseguros pasos del niño comparados con la marcha rápida y segura del hombre. Si Newton hubiese explicado la gravitación, tal vez desde entonces hubiera marchado la Ciencia por derroteros ciertos y conducentes al conocimiento absoluto del universo; pero como no lo hizo, su sombra, como la nuestra, es una sombra del pasado.

(*) "L'évolution de l'électron"—Louis de Broglie.

PARMENIDES.—Lo haría con gusto, mas preferiré ceder la palabra al autor que me citaste no ha mucho. Dice él, refiriéndose a las dificultades que se presentaron en el átomo de Rutherford: “Para vencer esas dificultades, Bohr tuvo la idea notable de aplicar al modelo del átomo de Rutherford no las leyes clásicas de la Mecánica y del Electromagnetismo, sino las reglas nuevas de la teoría de los *cuanta*. El admitió primeramente que los electrones-planetas no pueden describir sino algunas de las órbitas previstas por la aplicación de las leyes clásicas, y que, precisamente, son las que satisfacen a los criterios de *cuantificación* ya enunciados y utilizados por Planck. Admitió, además, que sobre sus órbitas *cuantificadas* los electrones-planetas no emiten radiación alguna, lo que está en oposición formal con la teoría clásica de la onda de aceleración. En fin, Bohr lanzó la hipótesis de que los electrones pueden cambiar bruscamente de trayectoria emitiendo, bajo la forma de radiación, una parte de su energía, y de que la frecuencia de la radiación se obtiene dividiendo la energía perdida por el electrón por la constante de Planck. Sobre estas bases, Bohr edificó una teoría precisa, cuyo éxito resonante es bien conocido por todos aquellos que han seguido el desarrollo de la Física contemporánea. No solamente esta teoría explica la estabilidad del átomo y el carácter permanente de los espectros, sino que permite prever exactamente la estructura de los espectros ópticos y la de los espectros de los rayos X, como también calcular numéricamente la constante de Rydberg y aún prever la pequeña variación que experimenta el valor de esta constante cuando se pasa del hidrógeno al helio, etc.... La teoría de Bohr, cuyos postulados esenciales han sido confirmados por el estudio de los fenómenos de ionización por choque, ha permitido dar una primera explicación de las propiedades químicas de los elementos y de la periodicidad de estas propiedades, que se manifiesta cuando se recorre la lista de elementos dispuestos por orden de pesos atómicos crecientes”.

que nos interesa aquí, lo que caracteriza a la antigua teoría de los *quanta* es que ella yuxtapuso, de manera muy poco lógica, la concepción del electrón corpúsculo, que obedece a las leyes de la Mecánica, y las ideas nuevas de las teorías de los *quanta*. Ahora, estas ideas nuevas conducen, como lo hemos dicho, a considerar las órbitas *quantificadas* como especie de unidades dinámicas que es preciso tomar en su conjunto, lo que no es compatible con la idea clásica de la órbita descrita progresivamente por un corpúsculo puntual. Además, introduciendo números enteros en las fórmulas de *quantificación*, la teoría de los *quanta* nos obligaba a introducir un elemento absolutamente incompatible con la estructura esencialmente continua de la antigua Dinámica, aún enmendada por la teoría de la relatividad. De esta suerte el carácter bastardo, por decirlo así, de la antigua teoría de los *quanta* no permitía considerarla como satisfactoria, dando esto lugar a sentir la necesidad de construir un edificio más coherente" (*).

Quando yo te hacía la crítica de los métodos de investigación seguidos por Thomson y sus sucesores con el objeto de darnos una impresión objetiva del electrón, me imaginaba que aún servía la lógica para algo, y que haciendo resaltar manifiestas contradicciones en los procesos fundamentales de la teoría electrónica podía despertar algunas dudas respecto de su legitimidad y de su solidez. Pero veo, ahora, que me he engañado de medio a medio, porque junto a la última afirmación de Planck, cualquier disparate resulta más lógico que las especulaciones de Zenón de Elea. Y si nó, dime qué idea puedes tú tener del movimiento si lo supones instantáneo; más que eso, si llegas a aceptar que el cuerpo móvil, punto matemático, o lo que quieras, ocupa en el mismo instante todos los puntos de su trayectoria? ¿Qué quiere decir, con ese concepto, la palabra trayectoria? ¿Qué significa para quien así piensa, la palabra móvil?

(*) "L'évolution de l'électron"—Louis de Broglie.

de que el tiempo es absoluto. Tu lógica es la de quienes se han formado en la Metafísica aristotélica y sólo pueden concebir lo continuo con actos abstractos que los conducen a lo discreto. Así esos tales, y tú con ellos, veis en el tiempo una sucesión de acontecimientos, y en el espacio una integración de puntos o de elementos infinitamente pequeños, que es lo mismo. Pero, ¿es esto aceptable para la Física moderna? ¿Podemos, razonablemente, en presencia de los fenómenos cuya explicación estamos dando, satisfacernos con las afirmaciones de la Mecánica clásica que se desenvuelven en el espacio euclídeo, y con la separación convencional que establecéis vosotros, los absolutistas irreductibles, entre el tiempo y el espacio?

GORGIAS.—Claro que nó. Por eso yo siempre he creído que para poder entender las conclusiones relativistas es preciso abandonar definitivamente la Geometría de Euclides. Porque si yo razono en el espacio de tres dimensiones y defino un punto por sus tres coordenadas (x, y, z) , para pasar de ese punto a otro de coordenadas (x', y', z') , tengo forzosamente que pasar primero por todos los puntos intermedios, estableciendo a cada momento un antes y un después, lo que constituye fundamentalmente según los clásicos, la esencia del movimiento. Para esos clásicos el espacio es un continuo ilimitado de tres variables independientes; el punto es el conjunto de valores particulares de cada una de las variables; la superficie es el conjunto de los puntos cuyas características numéricas satisfacen a una ecuación entre las tres variables, y la línea es el conjunto de puntos cuyas características numéricas satisfacen a las dos ecuaciones entre las tres variables. Naturalmente, esos clásicos consideran la trayectoria de un punto móvil como un conjunto de puntos, como un lugar geométrico que se refiere al espacio convencional cartesiano. Así, ellos han estudiado la Cinemática con el criterio de que el tiempo entra en las ecuaciones de movimiento con el carácter de una variable independiente para definir posiciones geométricas en el espacio euclídeo de tres dimensiones que, repito, es convencional. Mientras subsista la idea del tiempo absoluto y se razone sobre el espacio euclídeo, no podemos entendernos con Cristias.

CRISTIAS.—En buena hora. Pero creo que sólo disintimos en esta materia por cuestión de palabras. Si yo razono sobre el espacio euclídeo, también lo hacéis vosotros. Bien sé que, según el credo de las nuevas escuelas, nuestro espacio euclídeo de tres dimensiones y homaloidal, a que estamos acostumbrados, no es sino una de las varias posibles formas del espacio; y que la actual preeminencia de este espacio euclídeo sobre estas otras formas sólo puede sostenerse en el campo del más absoluto empirismo y sobre accidentes de la asociación cognoscitiva, que puede ser destruída por el descubrimiento de que la existencia de dimensiones adicionales es necesaria para la explicación de ciertos hechos que no pueden explicarse de otra manera. Tam-

bién sé que para vosotros la tercera dimensión del espacio no se percibe directamente, sino que se deduce de impresiones visuales o táctiles, para cuya explicación la tercera dimensión es un postulado indispensable, y que el espacio verdadero o real, tiene o puede tener, no tres sino cuatro, o aún mayor número de dimensiones. También sé que para vosotros el espacio en el cual nos movemos es, o puede ser, no homaloidal sino esencialmente encurvado: esférico o pseudo-esférico, de tal manera que en él una línea recta puede, prolongándose convenientemente, llegar a ser una curva cerrada. De aquí deducís vosotros que por razón de la esencial curvatura del espacio, el universo, aunque ilimitado, puede ser, y probablemente es, no infinito sino finito y que en el supuesto pseudo-esférico carácter de ese espacio un haz de "líneas más cortas" puede pasar por un punto, conservándose todas paralelas, puesto que no se encuentran fuera de este punto, sino en otro cuya distancia al primero es la línea más corta. También sé que para vosotros no solamente la medida de la curvatura del espacio, sino también el número de sus dimensiones, puede ser y probablemente es, diferente en las diversas regiones espaciales, y así no podemos deducir conclusión válida alguna de las experiencias que hagamos en la región en que accidentalmente vivimos, respecto de las dimensiones o de la curvatura del espacio inconmensurablemente distante o inconmensurablemente pequeño; por último, también sé que para vosotros en cualquier región espacial dada, la curvatura del espacio y el grado o número de sus dimensiones, pueden estar, y probablemente lo están, sufriendo una transformación gradual y desconocida.

Pero también sé, y esto a ciencia cierta, que tanto vosotros como yo, razonamos en el espacio euclídeo, mal de vuestro grado, y que todo lo que nos diferencia es solamente un juego de palabras.

En efecto, a las aseveraciones de Riemann y Helmholtz se puede argüir que si el espacio es una cosa física real, no es ciertamente una cosa fuera de otros entes físicos, ni diferente de ellos, ni desconectada con los cuerpos que nos representan estos entes. Cuando nosotros decimos que todas las cosas están en el espacio, no queremos decir que ellas se contienen en él como el agua contenida en una vasija, sino queremos significar que objetivamente no hay cosa real que no esté espacialmente extendida, o de acuerdo con la expresión usual, que la extensión espacial es la propiedad primaria de todas las variedades de la existencia objetiva. Este hecho es tan obvio que Descartes, al reflexionar sobre él, tuvo que decir que la extensión espacial es la sola verdadera esencia de la realidad objetiva. ¿En qué forma, y por qué medios hacemos entonces distinción entre el espacio y los seres físicos? Ciertamente que no por la sensación directa. Diferentes actos de la sensación pueden presentarnos diferentes propiedades del mismo objeto, y así estas propiedades pueden disociarse mentalmente; pero ningún acto de la sensación se-

para la extensión de un cuerpo de todas sus otras propiedades, ni puede presentarnos sola la propiedad de la extensión. Sin duda, podréis objetarme a esto, que aunque no hay objetos físicos sin extensión espacial, y aunque tal extensión es una propiedad común de todos los cuerpos físicos, sin embargo estos cuerpos no llenan todo el espacio, dejando un espacio vacío entre ellos.

A tal objeción pudiera responderse que los actos de la sensación son sólo posibles cuando se presentan diferencias y cambios objetivos; porque nosotros tenemos sensación directa únicamente de las cualidades físicas diferentes y variables, ya que lo absolutamente homogéneo e invariable no nos produce sensación alguna, según el claro concepto de Hobbes: "*Sentire semper idem et non sentire ad idem recidunt*".

Y es precisamente el hecho de su homogeneidad y de su inmutabilidad, conjuntamente con su invariable presencia en todos los objetos físicos, lo que distingue la propiedad de extensión espacial de todas las otras propiedades características de los cuerpos reales.

"Que estas consideraciones hayan escapado a la atención de Riemann y Helmholtz es sorprendente, contemplando la afirmación hecha por ellos a este respecto con la mira de explicar la necesidad de atribuir al espacio una medida constante de curvatura y de limitar el número de especies de espacio. De acuerdo con esta afirmación son admisibles tres espacios, a saber: espacio esférico con curvatura positiva, espacio pseudo-esférico con curvatura negativa, y espacio homaloidal con curvatura igual a cero (espacios elíptico, hiperbólico y parabólico)".

"Ahora me refiero a la afirmación de que los cuerpos, según el lenguaje de Riemann, "existen independientemente de su localización en el espacio", lo que quiere decir naturalmente, que ellos son por lo menos diferentes del espacio, si no llegare a suceder que tienen una constitución física completamente independiente del espacio. Pero para esta presunción puede no haber razón válida fundada sobre las premisas de la teoría trascendental, porque el espacio puede no ser esencialmente parabolóideo o hiperbolóideo, o poliédrico o de cualquiera otra forma procedente de la fantasía creadora del último entendimiento no-homaloidal" (*).

Naturalmente, se puede alegar que ciertas propiedades del espacio, tales como el grado y la forma de su curvatura, son investigables por medio de la experiencia. Pero, ¿con qué clase de experiencia? ¿Cómo pudiera efectuarse tal determinación? ¿Con la observación astronómica, por ventura? Tal vez por ello algunos han llegado a creer que la existencia de paralajes negativos pudiera suministrar alguna luz al respecto; pero yo creo que si se presentara alguna paralaje negativa, esto querría decir para los astrónomos que la estrella cuya paralaje se busca está más lejos que la estrella de comparación, y nada más.

(*) "Concepts of Modern Physics"—J. B. Stallo.

Porque si se profundiza un poco más en este asunto, se llega a la conclusión de que, filosóficamente hablando, toda la argumentación trascendentalista se asemeja a un vano juego de palabras, puesto que el espacio no es, ni puede ser, objeto de la sensación, sino un concepto.

PARMENIDES.—Rechazo tus alambicadas reflexiones referentes a la inobjetividad del espacio, por cuanto la experiencia nos está indicando por medio de las dificultades con que se tropieza en la Mecánica del átomo, que es cierto que no solamente la medida de la curvatura del espacio, sino también el número de sus dimensiones, puede ser diferente en las diversas regiones espaciales. Así, no tiene nada de raro, si bien se mira, que no podamos deducir, a la postre, conclusión válida alguna con respecto a los movimientos interelectrónicos, basándonos únicamente en experimentos verificados en la región del espacio en donde accidentalmente vivimos.

CRISTIAS.—En lo que afirmas, se manifiesta la más oscura contradicción y se ve claro el deseo de justificar las Geometrías no euclídeas para salvar al átomo planetario de su definitiva catástrofe. Pero yo no quiero dejarte libre en ese juego de palabras y de meras abstracciones sin demostrarte primero que las llamadas Geometrías no euclidianas no son otra cosa que la misma Geometría de Euclides cuando en ella se cambian los nombres de las cosas.

Efectivamente, los argumentos que han sido presentados en favor de la viabilidad de las Geometrías no euclídeas, pueden resumirse así: "El primero y principal argumento es, indudablemente, el haberse podido crear la Trigonometría plana hiperbólica. El segundo argumento consiste en que los geómetras no han podido llegar a contradicción alguna en las deducciones de tales Geometrías" (*).

Procedamos a examinar a espacio estos dos argumentos....

PARMENIDES.—Permíteme que te interrumpa para hacerte ver que esos geómetras de que hablas, forman entre los filósofos más afamados y competentes de la hora actual. No son ellos los espíritus ligeros que te imaginas, ávidos de notoriedad, según has dicho. Son los primeros matemáticos, los más sutiles metafísicos, quienes han dado carta de defunción a la Geometría clásica. O, si no, oye lo que a este propósito dice Poincaré, al hablar en su libro: "La Ciencia y la Hipótesis", de las tres Geometrías propias de los tres espacios que has mencionado antes: "Se ha planteado también la cuestión de otra manera. Si la Geometría de Lobatchewsky es verdadera, la paralaje de una estrella muy lejana será finita; si es verdadera la de Riemann, será negativa. He aquí resultados que parecen accesibles a la experiencia, y así se ha esperado que las observaciones astronómicas podrían permitir la elección entre las tres Geometrías. Pero lo que se llama línea recta en Astronomía es, sencillamente, la trayectoria del rayo luminoso. Si, pues, lo que parece imposible, se lle-

(*) "La bancarrota de la Ciencia"—Julio Garavito A.

garan a descubrir paralajes negativas, o a demostrar que todas las paralajes son superiores a un cierto límite, se podría escoger entre dos conclusiones: podríamos renunciar a la Geometría euclídea o modificar las leyes de la Óptica y admitir que la luz no se propaga en línea recta. Inútil es añadir que todo el mundo conceptuaría esta solución como más ventajosa". En otro lugar de su libro agrega Poincaré: "1º No hay espacio absoluto, y no concebimos más que movimientos relativos; sin embargo, se enuncian con frecuencia los hechos mecánicos como si hubiese un espacio absoluto al cual poder referirlos. 2º No hay tiempo absoluto; decir que dos duraciones son iguales, es un aserto que no tiene por sí mismo ningún sentido, y que no se puede adquirir más que por convención. 3º No solamente no tenemos la intuición directa de la igualdad de dos duraciones, sino que ni aún tenemos la de la simultaneidad de dos sucesos que se produzcan en lugares diferentes. 4º Por último, nuestra Geometría euclídea no es más que una especie de convención del lenguaje..."

Como ves, querido Cristias, no andan muy descaaminados los relativistas al intervenir en el átomo de Bohr con el éxito con que lo han hecho, porque si admitimos la no simultaneidad de los fenómenos, si nos convencemos de que no hay espacio absoluto, si podemos demostrar que el tiempo es una cuarta dimensión del espacio, como lo demostró Minkowsky, y como lo aceptó Einstein, si podemos imaginarnos la región espacial de lo infinitamente pequeño como algo totalmente distinto en lo que respecta al número de sus dimensiones y a la medida de su curvatura, del espacio en el cual estamos ratiocinando ahora, la crítica que has hecho a la trayectoria instantánea del electrón de Planck carece completamente de fundamento.

CRISTIAS.—Ciertamente, tienes razón en lo que dices, si para buscar la verdad nos lanzamos a ciegas en el camino de la duda universal. Pongámonos en este terreno y ratiocinemos de esta suerte: Si la suma de los tres ángulos de un triángulo rectilíneo es menor que dos rectos, la Geometría de Lobattchewsky es verdadera; si es igual a dos rectos, la verdadera será la de Euclides y, finalmente, si fuera mayor, sería la de Riemann. Admitir, pues, la viabilidad de las Geometrías de Lobattchewsky y de Riemann no como Geometrías esféricas sino como Geometrías planas, es admitir que la suma de los tres ángulos de un triángulo rectilíneo puede tener cualquier valor, menor, igual o mayor que dos rectos. Esto supuesto, es evidente que la Geometría improbable sería la de Euclides, puesto que dos rectos forman un número definido, mientras que hay infinidad de números mayores y menores (*).

Ahora bien: si así ratiocinamos es evidente que no podemos tener idea aproximada de la distancia a que se hallan los astros, ni tampoco de su tamaño, puesto que es más probable que la suma de los tres

ángulos de un triángulo no sea igual a dos rectos, variando la diferencia con el tamaño del triángulo. Si así ratiocinamos, es evidente que la luna no está, o al menos no podemos saber que esté, a sesenta radios terrestres de distancia; en consecuencia, la identidad entre la gravedad y la gravitación es falsa, o puede serlo. Ahora bien: si la gravedad y la gravitación no fuesen idénticas, la gravitación se volvería una hipótesis tan acomodaticia como todas aquellas que he intentado criticar. Pero, ¿qué digo? Dicha hipótesis estaría por demás, pues las leyes de Kepler serían falsas porque la determinación de las órbitas planetarias se funda en la Geometría euclídea (*).

Pero dirás tú con Poincaré, para salvar a la Geometría de Euclides, y con ella toda la ciencia astronómica del pasado, que probablemente la luz no se propaga en línea recta, y que pensando así se confirma en forma admirable la teoría de la relatividad. Mas yo quiero observarte que con ello no se salvan los conocimientos hasta ahora adquiridos por la humanidad, de la catástrofe a que los condenas, puesto que toda la Geometría celeste se basa precisamente en el postulado de que la luz se propaga en línea recta.

PARMENIDES.—Eso no importa: lo que a nosotros nos interesa es saber que un espíritu tan elevado, un juicio crítico tan sagaz y penetrante como el de Poincaré, no han conferido a las verdades geométricas euclidianas sino el valor de meras convenciones. Porque es evidente que tú no puedes poner en duda la importancia de conceptos que provengan de tan alta autoridad.

CRISTIAS.—Ciertamente que así es. Y si no fuera por las siguientes palabras de D'Alembert, considerara como una herejía científica pensar lo contrario. En alguna parte de sus "Elementos de Filosofía" dice así este gran filósofo: "Parece que los grandes geómetras y matemáticos debieran ser excelentes metafísicos, por lo menos en lo que trata de cuestiones en que se ocupan, aun cuando debieran serlo en toda otra circunstancia. Sin embargo, la lógica de algunos de ellos está encerrada en sus fórmulas y no se extiende más allá. Puede compararse a un hombre que tuviera el sentido de la vista contrario al del tacto y para quien el segundo de esos sentidos no se perfeccionara sino a expensas del otro. Estos malos metafísicos, en una ciencia en donde es tan fácil no serlo, lo serán, con mayor razón, infaliblemente, como la experiencia lo prueba, en materias en donde no tienen el cálculo por guía. Así la Geometría que mide los cuerpos, pudiera servir, en ciertos casos, para medir sus propios espíritus" (**).

Pero creo que estos asuntos de carácter personal no deben venir a cuento en esta discusión en la cual pretendemos ir al fondo de las cosas. Por eso te ruego que nos concretemos a los argumentos que se han puesto en favor de las Geometrías no euclídeas.

(*) "La bancarrota de la Ciencia"—Julio Garavito A.

(**) "Eléments de Philosophie—Oeuvres". Tomo I, p. 276—D'Alembert (citado por Hamilton).

El primero de estos argumentos, el que se basa en el hecho de haberse podido crear la Trigonometría plana hiperbólica, de lo cual se deduce la posibilidad de realizar una Geometría analítica no euclídea, ha sido refutado vigorosa y plenamente por ese modesto filósofo de quien hablamos no ha mucho. Este filósofo y profundo matemático, al tratar de la fórmula fundamental de la Trigonometría plana no euclídea llega a la conclusión de que Lobattchewsky introdujo sigilosamente en sus fórmulas una constante especial que no resulta de la integración de una ecuación diferencial, y que en realidad es el radio de la esfera imaginaria; siendo esta interpretación correcta cuando se trata de círculo máximo de esfera imaginaria y absolutamente imposible cuando se trata de la recta. Así, si conservamos el nombre de recta para la curva especial de Lobattchewsky, e introducimos en las fórmulas de su Trigonometría hiperbólica el módulo del radio de la esfera imaginaria a título de constante desconocida, no es posible formular objeción alguna a tal Trigonometría. En ella, evidentemente, la suma de los tres ángulos de un triángulo es menor que dos rectos, siendo la diferencia entre dos rectos y esta suma la relación del área del triángulo al cuadrado del radio de la esfera. Tal diferencia queda desconocida, como la constante, pero debe ser tanto mayor cuanto mayor es el triángulo. En la Geometría de Riemann ocurre lo mismo, sólo que considerando las cosas bajo este aspecto, la suma de los ángulos de un triángulo es mayor que dos rectos.

"El segundo argumento consiste en que los geómetras no han podido llegar a contradicción alguna en las deducciones de las Geometrías no euclídeas. Este hecho se comprobó primeramente en el plano; pero se creyó que quizá en el espacio de tres dimensiones se llegaría a tal contradicción. Las investigaciones de Sophus Lie desvanecieron esta esperanza. He aquí la sustancia de aquellas investigaciones. Supongamos primero que se trata solamente de la Geometría de dos dimensiones. Sabemos que una figura plana puede moverse sin cambiar de forma en su plano. Supongamos una figura de n puntos; la posición de todos éstos queda definida por los valores de sus $2n$ coordenadas referentes a un sistema definido en el plano. La forma y el tamaño requieren solamente $2n - 3$ ecuaciones entre las $2n$ coordenadas. El movimiento de la figura tiene, pues, tres grados de libertad, o, mejor dicho, queda definido por tres parámetros arbitrarios".

"Si pasamos al espacio de tres dimensiones, los espacios de dos dimensiones se definen por una ecuación entre las tres coordenadas de los puntos, esto es, por superficies. Si se investigan las condiciones que deben cumplir tales espacios, o tales superficies, para que una figura compuesta de n puntos, situados inicialmente sobre estos espacios de dos dimensiones, pueda moverse sin cambiar de forma ni de tamaño, se halla que dichas superficies deben ser de curvatura constante, a saber: plano, esfera de

radio real y esfera de radio imaginario: espacios de dos dimensiones que corresponden a las Geometrías euclídea, elíptica e hiperbólica". "Un espacio de tres dimensiones puede considerarse como una superficie representada por una ecuación en un espacio de cuatro dimensiones, etc.... Si se procede análogamente, para que sea posible la libre movilidad de las figuras de tres dimensiones, se llega a la condición de espacios de curvatura constante y de tres dimensiones. Estos espacios son los correspondientes a los indicados atrás, a saber: espacio parabólico, elíptico e hiperbólico. Tales espacios, con excepción del euclídeo o parabólico, no cumplen la condición indicada sino para una región limitada del espacio entero; esto es, se refieren a la Geometría infinitesimal. Tal cosa no importa: podría suponerse aplicable a todo el espacio. ¿Tendríamos por ello derecho a decir que el espacio real puede ser parabólico, elíptico o hiperbólico? ¿Acaso el espacio real es un sistema de ligamentos como el espacio simbólico que traducen las ecuaciones de condición?"

"Las investigaciones de Sophus Lie respecto de las Geometrías no euclídeas demuestran ciertamente que tales Geometrías están exentas de contradicción, pero, ¿qué se deduce de esto? Veamos un ejemplo. Sea $a > b$ una hipótesis cualquiera; $b < a$ será la consecuencia. Si tomamos ésta como hipótesis hallamos $a > b$, y no habría contradicción. ¿Esto demostraría que a es realmente mayor que b ? Es claro que nó. De las dos Geometrías planas no euclídeas se deduce que la suma de los ángulos de un triángulo depende del tamaño de aquél, o, en otros términos, que dichas Geometrías no permiten la semejanza de las figuras situadas sobre sus planos. Ahora bien; aunque esta consecuencia está en contradicción con nuestras ideas geométricas sobre el plano euclídeo, no se ha visto por eso contradicción, puesto que se acuerdan muy bien con los postulados de Lobattchewsky o de Riemann, según el caso. En efecto, si el plano no es plano sino una superficie esférica, y la recta no es recta sino un círculo máximo, la suma de los ángulos del triángulo difiere tanto más de dos rectos cuanto mayor es el área del triángulo".

"La consecuencia útil que se deduce de los estudios de Sophus Lie es la de que es posible hacer una Geometría esférica de dos dimensiones, tomando por punto de partida el postulado de Riemann; así como también es posible hacer otra Geometría de dos dimensiones fundada sobre el postulado de Lobattchewsky, en donde el plano ha sido sustituido por una esfera imaginaria y la recta por un círculo máximo de tal esfera. En estas Geometrías no se ha hecho más que cometer un error de lenguaje, pues se ha llamado recta a una línea que no es recta, y plano a una superficie que no es plana. Los nombres, siendo convencionales, los ratiocinios quedan correctos, y no es posible hallar contradicción. Pero si los nombres son convenciones del lenguaje, no sucede lo mismo con las ideas. Las figuras geométri-

(*) "Crítica a las Geometrías planas no euclídeas"—Julio Garavito A.

cas son imágenes impuestas a nuestro entendimiento independientemente de toda definición particular. Las ideas de línea recta, plano, círculo, etc., podríamos decir que son *innatas* al hablar en el lenguaje cartesiano, o *atávicas* si se admite la psicología positivista; pero de ninguna manera se las puede considerar como convenciones. Lobattchewsky dio el nombre de recta a un lugar geométrico que debía siempre ser cortado por otra línea de la misma especie en una infinidad de puntos imaginarios separados unos de otros por múltiplos de cierto período; pero que no podían tener sino a lo más un solo punto real de intersección. Ahora bien: tal lugar geométrico no puede ser una recta en el lenguaje propio. ¿Cómo se explicarían las soluciones imaginarias?

“Una porción de circunferencia de círculo tiende más y más a la línea recta cuando el radio del círculo crece indefinidamente. Esto se expresa al decir que el arco de círculo tiene por límite la recta; pero se debe también añadir que tal límite no es alcanzado, esto es, que la recta no forma parte del conjunto de círculos por grande que sea el radio de éstos. Las fórmulas de la Trigonometría esférica son tan verdaderas sobre la esfera como las de la Trigonometría plana sobre el plano, y como las de la Trigonometría hiperbólica sobre la esfera imaginaria. Ninguna de las Geometrías es, pues, más verdadera que otra. La suma de los ángulos de un triángulo esférico es mayor que dos rectos, sin que la de los triángulos planos deje por ello de ser igual a dos rectos. No hay, pues, contradicción entre el postulado de Euclides y los de Lobattchewsky y Riemann: bien entendido que esto es cuando se da a los lugares geométricos los nombres usuales. De otro modo la incompatibilidad es palmaria” (*).

Como debes verlo por la demostración que te he expuesto, no es cierto que nuestra Geometría euclídea no sea más que una especie de convención del lenguaje.... “Las figuras geométricas se imponen irresistiblemente a los cerebros sanos. La recta infinita no es hipótesis convencional, sino la idea misma de la recta; lo propio sucede con el plano. Llamar recta al círculo y plano a la esfera no sería otra cosa que cambiar los nombres de las cosas”, como te había dicho antes.

PARMENIDES.—No me dejas del todo convencido con la argumentación que acabas de hacer. Pero aún en el supuesto de que la Geometría de Euclides tuviera cierta preeminencia sobre las otras Geometrías posibles y de que el espacio euclídeo se impusiera, hasta cierto punto, a nuestra mente, no veo cómo puedes aceptar ese espacio como absoluto.

CRISTIAS.—Quienes lo aceptan así, sin restricciones, son los relativistas de tu escuela, pues no debes olvidar que uno de los argumentos que se traen a cuento para demostrar experimentalmente el postulado einsteiniano de la constancia de la velocidad de la luz, se funda en el resultado negativo del experimento de Michelson; y este experimento no tendría

(*) “Nota sobre la fórmula fundamental de la Trigonometría plana no euclídea en la Geometría hiperbólica”—Julio Garavito A.

sentido, como te lo expliqué ya, sin suponer el éter inmóvil con relación al espacio absoluto. Creo que he tratado de demostrarte que el espacio no es objeto de la sensación, ni una forma innata de la mente, anterior a toda sensación, sino un concepto. Y este concepto, según lo dije, no es susceptible de demostración, pues la recta infinita no es una hipótesis convencional, sino la idea misma de la recta.

Cuando Poincaré dice que no hay espacio absoluto, lo que hace es negar un concepto, y no introduce nada nuevo en las ideas que de antiguo tenemos respecto del movimiento relativo. ¿Quién ha dudado alguna vez desde las épocas remotas de nuestra cultura griega, de que el movimiento hay que referirlo a algo que suponemos fijo, a un sistema coordenado, a un espacio de convención? Tal vez haya un poco de puerilidad en suponer que antes se ignoraba esta necesidad por quienes establecieron los fundamentos de la Mecánica racional.

Además de esto, en el supuesto de que aceptemos que el espacio es un concepto y no una realidad sensible, ¿no sería la ley de inercia una verificación experimental de que hay algo que liga nuestros conceptos abstractos con el mundo externo? “¿Qué significado puede tener el enunciado: un cuerpo que no está sujeto a fuerza alguna no puede tener más que un movimiento *rectilíneo* y *uniforme*? ¿Qué significado tiene la frase: *movimiento rectilíneo*? Si no hay espacio absoluto, esto es, si no hay orientación absoluta, ¿cómo podemos hablar de línea recta? Un punto móvil puede trazar una recta en un plano y una curva en otro, cuando estos planos están superpuestos y animados, el uno con relación al otro, de un movimiento de rotación alrededor de un punto fijo común. Además, no habiendo tiempo absoluto, ¿qué significado se le puede dar a la palabra *uniforme*? Y, si el principio de inercia no tiene sentido, tampoco pueden tenerlo las ecuaciones de la Mecánica que se fundan en el supuesto principio”.

Pero, ¿qué grave error se ha hallado en la Geometría euclídea y en la Mecánica newtoniana capaz de justificar tan espantoso desprestigio? Ninguno: esos ramos no han presentado sino comprobaciones incesantes; las previsiones que se basan sobre ellos resultan exactas. ¿Qué más se quiere? (*).

PARMENIDES.—Exactas hasta cierto punto. Porque no quiero; oh Cristias! dejarte en la creencia de que cuando afirmamos la necesidad, para la Ciencia moderna, de abandonar la Mecánica vieja y la Geometría clásica, nos referimos a los fenómenos comunes a que estamos acostumbrados. No hay tal. Evidentemente, para estudiar el movimiento de un cuerpo material de extensión espacial sensible, la Mecánica clásica es la más cómoda; lo mismo que lo es la Geometría de Euclides. Así, si yo voy a resolver un problema mecánico de carácter objetivo tengo naturalmente que dar al tiempo un valor absoluto y dotar al espacio de ciertas propiedades para poder orientar el movimiento en forma absoluta. Además,

(*) “La bancarrota de la Ciencia”—Julio Garavito A.

en ese problema de carácter práctico, la ley de inercia es la de la Mecánica clásica, y el concepto que tenemos de la fuerza es el aceptado por ella, porque es lo más cómodo. Pensar en sustituir a la Geometría de Euclides y a la Mecánica de Newton por otras Geometrías y otras Mecánicas en la solución de los problemas comunes de que tratan las aplicaciones prácticas, en donde las velocidades son limitadas y muy distantes de la velocidad de la luz, y el espacio es un espacio limitado y accesible a las medidas materiales, no es, ciertamente, razonable. No hay necesidad de ello. En este campo las conclusiones de la Mecánica usual pueden considerarse como exactas. Pero no sucede lo mismo cuando se trata de lo infinitamente pequeño y de lo infinitamente grande; cuando es preciso estudiar el interior del átomo y confrontamos velocidades próximas a la velocidad límite de la luz.

GORGAS.—En esto estoy enteramente de acuerdo con Parménides para creer que los principios de la Física clásica al confrontar tanto hecho experimental nuevo como se ha presentado a la investigación durante los últimos treinta años, debe ceder el campo a las nuevas ideas, cuando el hombre se está tratando de explicar el universo, el átomo, la materia, la luz y demás, sobre la base de conceptos esencialmente diferentes de los que prevalecieron durante el siglo XIX. Por eso De Broglie asegura que la introducción en la Física clásica de las observaciones de Plank, señala “uno de los momentos más importantes en la evolución de la Ciencia contemporánea”.

Este momento corresponde al punto preciso de la Historia científica en el cual los esfuerzos de los físicos se han dirigido especialmente hacia el estudio de lo infinitamente pequeño y de lo infinitamente grande, cuando la Astrofísica ha extendido sus observaciones estelares a distancias enormes, y cuando la Física atómica nos revela en el átomo la órbita de un elemento de materia tan pequeño que diez millones de estos elementos yuxtapuestos alcanzan a la longitud de un milímetro.

Y este momento histórico no sólo es trascendental para nuestros conocimientos sino que representa él una vuelta total para la humanidad entera, en orden a sus actividades y en persecución de su fin inmediato que es la felicidad completa y positiva. Porque no me habréis de negar que los descubrimientos de la Física moderna llevados al terreno de la práctica, han dotado a la humanidad de elementos de progreso tales, que en nuestra época no hubieran gozado de ellos ni los dioses mismos. Por ejemplo, los múltiples adelantos de la Electrotécnica han permitido el transporte de la energía eléctrica a cualquier distancia y en cualquier cantidad, para transformarse, donde se necesita, en calor, luz, trabajo mecánico, energía química, etc.; esos adelantos han hecho posibles el aeroplano y el automóvil (*) con sus múlti-

(*) Sin una aplicación conveniente de la energía eléctrica los motores de explosión no hubieran sido posibles; y son estos motores la base técnica del aeroplano y del automóvil.

ples conquistas en el acortamiento de las distancias; esos adelantos, con la invención del radio, permiten hoy la transmisión del pensamiento, del arte, de la cultura integral, de manera instantánea y absoluta, a todos los lugares de la tierra, y ellos, en fin, por medio del cinematógrafo parlante, han levantado la cátedra más alta y visible de la enseñanza objetiva de que hayan gozado los hombres en cualquier momento de su historia. Semejantes a nuestros dioses inmortales, los humanos de ahora han escalado el Olimpo para encararse con el mismo Júpiter tonante, y, merced a los adelantos científicos de que nos estamos ocupando, pueden hoy desafiar con entera confianza en sí mismos, el tiempo y el espacio.

Y todo esto, ¿a qué se debe en realidad? Al conocimiento que han hecho los científicos de ahora de la intimidad de la materia: al descubrimiento del electrón, en todos los cuerpos presentes, y que se separa de ellos cediendo energía. Porque la corriente eléctrica es corriente de electrones libres a través de los cuerpos sólidos o líquidos, debida a exceso de electrones en el cuerpo de mayor potencial eléctrico, y a deficiencia de los mismos en el cuerpo de menor potencial. Porque la carga electrostática no es sino concentración de electrones libres sobre la superficie de los cuerpos. Porque la conducción de electricidad a través de los gases, posible por la presencia de iones, se debe al bombardeo que sufren los átomos de un gas por electrones lanzados a gran velocidad. Porque todos los fenómenos radioactivos no son otra cosa sino efectos de desintegración atómica con liberación de electrones. Porque no hay fenómeno térmico ni luminoso que pueda explicarse sin recurrir a los electrones.

Si estudiamos a fondo los descubrimientos de laboratorio desde el momento feliz en que se rompió completamente con las viejas teorías eléctricas, que en tiempos de Maxwell no eran sino fórmulas, más o menos empíricas, sustentadas en representaciones geométricas de carácter abstracto, para adoptar con todas sus consecuencias la teoría electrónica, vemos que los progresos de la investigación experimental fueron realmente maravillosos. Una vez en posesión de la idea sencilla y clara, de que los fenómenos eléctricos se concretaban alrededor de corpúsculos o gránulos de electricidad en movimiento, los físicos en sus laboratorios hallaron los medios adecuados para estudiar los electrones en los tubos de Crookes, según hemos visto, para analizar los rayos X y servirse de ellos maravillosamente en mil aparatos de que todo mundo hace uso corriente en el día; para ensayar y utilizar en la industria el movimiento electrónico en los tubos de vapor de mercurio, que constituyen rectificadores de corriente alterna de altísima eficacia; para utilizar el radium y demás minerales radioactivos en mil aplicaciones terapéuticas; para idear detectores de gran sensibilidad; para revolucionar la electrometalurgia con procedimientos novísimos y de gran rendimiento; para ensayar el arco voltaico como detector de corrientes

de gran densidad y ampliar su acción industrial en la soldadura autógena; para dar enorme impulso a la electrolisis y crear nuevas industrias alrededor de esta rama de la ciencia eléctrica; para idear instrumentos de medida de altísima precisión; para estudiar los fenómenos de la vida más directamente; para lanzar nuevas teorías cosmogónicas y darle gran desarrollo a la parte de la Geología que trata de la edad de las rocas; para descubrir nuevas y cada vez más interesantes radiaciones; para sentar los principios de la transmutación de la materia —viejo sueño de la Alquimia de la Edad Media—; para inventar las celdas foto-eléctricas sobre el principio de que los rayos de luz incidentes sobre ciertos cuerpos sólidos hacen emerger de ellos electrones; para ampliar el radio del análisis químico espectral dándonos nuevas interpretaciones del espectro; para explicar mil hechos de la Óptica, inexplicados hasta ahora; para inventar los tubos detectores de múltiples electrodos que han hecho posibles los milagros de la radiotelegrafía, de la radiotelefonía, de la radiotelevisión y del cine parlante, y, en fin, para dar un nuevo y vigoroso impulso a todos los ramos de la industria con la creación de aleaciones maravillosas y de cuerpos sintéticos no conocidos y ni siquiera sospechados antes.

Y a todos estos hechos se les quiere negar poder demostrativo convincente, por quienes piensan como Cristias, y se atrincheran en un escepticismo funesto, creyéndose conservadores fieles de las ideas antiguas, de los métodos vestustos de investigación que hacían de la Ciencia algo anquilosado e incapaz de marchar hacia adelante!

CRISTIAS.—No, mi querido Gorgias. No es ese nuestro propósito. ¿Cómo habremos nosotros, los que pensamos en la necesidad de revisar las teorías nuevas para fundamentarlas en la lógica de antaño, de cerrarnos a toda razón de la experiencia y a negar los hechos, cuando, precisamente, somos sostenedores irrestrictos del método experimental de Galileo? Los hechos no pueden negarse: son ellos los que se imponen y dan forma, por decirlo así, a nuestras ideas. Pero para interpretarlas correctamente es necesario su análisis desde dos puntos de vista: el metafísico y el puramente matemático; además, al agruparlos para establecer una teoría científica, no se debe olvidar el proceso mental respectivo, generalmente difícil y lento, y en el cual debiera figurar, en primer lugar, una evaluación precisa de nuestra capacidad cognoscitiva. Y a mi entender esto es lo que ha faltado a la Ciencia contemporánea. Nos sobran hechos y nos ha faltado tiempo para estudiarlos a espacio.

Por esta última circunstancia los físicos, en su tarea de interpretar los últimos descubrimientos de laboratorio, se han apresurado a lanzar nuevas hipótesis tratando cada vez, con propósito muy laudable, de dar con la teoría definitiva que nos explique el universo material mediante un conocimiento íntimo, exacto de la materia. Así en lo que hemos

revisado hasta ahora en esta discusión, ellos descubrieron el electrón y lo dotaron de ciertas propiedades, ellos imaginaron el protón basados en hechos experimentales y construyeron su átomo, primeramente constituido por un núcleo (protón) de carga 1834 veces más grande que la del electrón, asumiendo que la estructura del átomo de hidrógeno quedaba así definida para explicar la diferencia entre los diversos elementos químicos determinados por el número de pares (electrón y protón) que constituían sus átomos, agrupando para ello los protones en un núcleo central, y ellos, por último, pusieron a girar los electrones del átomo alrededor del núcleo.

Primitivamente, para los filósofos atomistas de nuestra época helénica, la molécula se presentaba como la más pequeña partícula divisible de la materia; más tarde fue el átomo la porción más pequeña e indivisible de cada elemento (infinitamente pequeño en comparación de la molécula), y luego se subdividió ese átomo transformándolo en un sistema planetario más o menos complejo. Para darnos idea de tal átomo, Thibaut, Director del Instituto de Física atómica de la Universidad de Lyon, supone que si ampliamos el átomo de hidrógeno hasta hacerlo del tamaño de la ciudad de París, el núcleo sería del tamaño del Arco del Triunfo, y el electrón vendría a quedar representado por una bola de billar colocada en la Plaza de la Concordia: lo demás del átomo sería espacio vacío.

Pero, como ya vimos, ese átomo que iba a explicarlo todo, tropezó con grandes obstáculos, desvaneciéndose en forma de una hipótesis absurda y en contradicción con otros hechos posteriores de la experiencia. ¡He ahí el gran fracaso del átomo de Rutherford!

Vimos también ya que en presencia de ese fracaso, Bohr ideó su átomo caracterizándolo por órbitas planetarias *quantificadas*, que a la postre tampoco resultaron válidas, según la crítica que de ese modelo atómico hizo De Broglie, quien para hacer sensible la necesidad de su Mecánica ondulatoria, se expresó de esta suerte: “Uno de los mayores éxitos de la teoría electrónica consistía en haber ella permitido a Lorentz formular una previsión exacta del fenómeno descubierto por Zeemann. Pero luego un estudio más profundo no tardó en demostrar que el efecto Zeemann, como lo había previsto Lorentz, es un hecho excepcional. Solamente en el caso en que la fuente luminosa esté constituida por ciertos cuerpos, es que se observa en ciertas rayas del espectro las modificaciones simples previstas por la teoría de Lorentz: en general las modificaciones causadas en las rayas del espectro por la presencia de un campo magnético son mucho más complicadas que las previstas por la teoría de los electrones. Se expresa este hecho diciendo que los efectos Zeemann anormales son mucho más frecuentes que el efecto Zeemann normal, y que es por un azar feliz que Zeemann se encontró al principio de sus investigaciones con el caso en que el efecto normal se realiza. Naturalmente, Lorentz y

sus continuadores han tratado de complicar la teoría primitiva del efecto Zeemann, de manera que ella pueda englobar a los efectos normales. Y, naturalmente, no han tenido éxito en esa empresa. Cuando, gracias a Bohr, la teoría *quántica* del átomo se constituyó, fue de esperarse que en esta nueva vía se llegara a una teoría del efecto Zeemann que englobase los efectos anormales. Pero, ¡oh nueva desilusión! La antigua teoría de los *quanta* aplicada a la acción de un campo magnético sobre la emisión espectral de un átomo, conduce a encontrar exactamente los resultados de Lorentz, con previsión perfecta de los dobletes y tripletes del efecto normal, e imposibilidad total de interpretar las anomalías. Así, pues, se confirmó, con esto, una ineficacia cierta de nuestras teorías electrónicas”.

“Hechos anormales del mismo orden aparecieron después de que la teoría *quántica* del átomo permitió prever y analizar con exactitud los espectros ópticos y de Röntgen de los elementos. La teoría de Bohr había permitido interpretar en una primera aproximación la composición de las series espectrales; y teniendo cuenta de los términos correctivos introducidos por la Dinámica relativista, Sommerfeld había obtenido una segunda aproximación que permitía prever de una manera más detallada la “estructura fina” de los espectros. Pero esta segunda aproximación apareció también como insuficiente: la estructura real de los espectros es aún más complicada, cuando se examinan los detalles, de lo que preveía la teoría de Sommerfeld. Y así se pudo ver que la teoría *quántica*, aún modificada con la introducción de correcciones relativistas, era impotente para darnos cuenta de la riqueza de las series espectrales”.

“Reflexionando sobre esas dificultades Uhlenbeck y Goudsmit comprendieron que ellas provenían de una concepción muy simplista del electrón colocado en la base del desarrollo de la teoría *quántica* del átomo. Así ellos propusieron considerar al electrón no solamente como una simple carga eléctrica, sino como un pequeño imán: el electrón tendría, pues, además de su carga, cierto momento magnético. Además poseería un determinado momento cinético análogo al momento cinético de un cuerpo sólido en rotación alrededor de un eje. Para dar una representación intuitiva de esas nuevas propiedades del corpúsculo “electrón”, Uhlenbeck y Goudsmit se lo han figurado como una pequeña bola de electricidad negativa en rotación alrededor de uno de sus diámetros, rotación que da lugar a un momento cinético y a otro magnético intrínsecos y estrechamente ligados el uno al otro. Después ellos precisaron sus hipótesis dando al momento magnético y al momento cinético internos valores bien determinados que se expresan con ayuda de valores frecuentemente encontrados en la teoría de los *quanta*. Según estas ideas el movimiento interno del electrón está *quantificado*, y el momento cinético correspondiente vale la mitad de la unidad *quántica* usual de momento

cinético. Introduciendo este conjunto de hipótesis suplementarias sobre el electrón, en la teoría *quántica* del átomo, Uhlenbeck y Goudsmit pudieron mostrar que las anomalías del efecto Zeemann, las estructuras finas supernumerarias de los espectros ópticos y de Röntgen y aún otros fenómenos inquietantes, que se han conocido con el nombre de *anomalías giro-magnéticas*, encontraban su explicación”.

“Así, aun dejando de lado las dificultades inherentes a la interpretación de los *quanta*, dificultades que parecen exigir el abandono, por lo menos parcial, del carácter corpuscular del electrón, la simple asimilación del electrón a un punto material cargado eléctricamente pareciera insuficiente. El electrón posee una especie de movimiento interno que presenta una simetría axial, y que como movimiento *quantificado*, es inseparable de su existencia misma: a esta nueva característica fundamental del electrón se ha dado el nombre de “spin” (*).

Como debéis ver, queridos amigos, por lo que acabo de leeros, y por lo que hemos leído atrás, uno de los destructores más eficaces de las fantasías de Lorentz y de Bohr es De Broglie, relativista convencido, que acepta la teoría *quántica* de Planck, y, por consiguiente, no puede comulgar con quienes no creen en la realidad de las Geometrías no euclídeas. ¿Qué de raro tiene, pues, el hecho de que en presencia de caos semejante, los físicos reunidos en el Congreso de Física, de Roma, de 1930, llegaran a las conclusiones que condensó en un escrito pleno de sinceridad, el Profesor francés Jean Labadie?

Parécenme tan sinceras las declaraciones del mencionado Profesor que no puedo prescindir de leer a Parménides algunos párrafos de ellas, incurriendo en repeticiones inevitables y que espero me perdonaréis. Dice así el Profesor Labadie: “La luz se concibe como un fenómeno ondulatorio: cada uno de sus ‘colores’ corresponde a una onda (análoga en absoluto a la onda hertziana) de frecuencia bien determinada. ¿Cómo puede un átomo de materia emitir estas ondas cuando irradia, o, al contrario, absorberlas cuando, por ejemplo, se calienta? Esta pregunta obliga al físico a penetrar por medio del pensamiento en el interior del átomo, y, por consiguiente, a concebirlo no como una cosa inmóvil, sino como un mecanismo, una especie de estación hertziana capaz de emitir y de recibir. A todo mecanismo corresponden elementos móviles. Por consiguiente ha sido necesario subdividir el átomo. Todo átomo estará, de acuerdo con este concepto, constituido por la agrupación de dos elementos nuevos, los cuales no serán materia pura sino electricidad. Partículas indivisibles de electricidad negativa, o electrones, se mueven en el seno del átomo, como lo hacen los planetas alrededor del sol, en torno de un centro que se llama “núcleo”, que está cargado de electricidad positiva, lo que explica su atracción sobre sus satélites negativos”.

“Esto supuesto, he ahí el sistema planetario atómico”.

(*) “L'evolution de l'électron”—Louis de Broglie.

mico que los físicos habían imaginado como definitivo; he ahí el famoso 'átomo de Bohr', que le valió a su autor el Premio Nobel de 1922, y que, posteriormente, ha sido declarado por su propio inventor, en el Congreso de Roma, "como un simple juguete" ("n'être plus qu'un jouet"). Pero de ese juguete debemos partir nosotros para poder entender el debate actual. El átomo de Bohr es lo más simple que se pueda uno imaginar, y es el que representa la materia más elemental que conocen los químicos: el hidrógeno. Un electrón gira alrededor de un núcleo central, el cual es un corpúsculo simple de electricidad positiva denominado "protón". El movimiento ultra-rápido del electrón debiera, como se creía anteriormente con Rutherford, bastar para producir la onda luminosa emitida por el hidrógeno (en el tubo luminescente, por ejemplo). La frecuencia de esta onda luminosa sería tanto más elevada cuanto el electrón estuviera más cercano del núcleo central. Recíprocamente, una onda luminosa que viene del exterior y está absorbida por el átomo, modificará el movimiento del electrón, alejándolo más o menos del núcleo. Pero si fuera así, tanto la entrada como la salida de la luz, se cumplirían en el átomo de una manera continua. Ahora, la luz procede por "saltos bruscos", como se demuestra por experiencias, desde luego indiscutibles".

"Era necesario, pues, perfeccionar el sistema del átomo. Para ello, Bohr imaginó lo siguiente: "no es el movimiento continuo del electrón en revolución lo que emite la luz". Esta luz no aparece sino en los momentos furtivos en que el electrón salta bruscamente de una órbita a otra, cayendo hacia el centro. Astronomía muy particular ésta y equivalente a aquella en donde Saturno viniera por golpes a sustituir a Júpiter, a Marte, a la Tierra, a Venus, y, finalmente, a Mercurio. Cuando el electrón ha caído a este nivel inferior, o sea a la órbita marcada con *K* el átomo no puede irradiar onda alguna, de ningún color. Por el contrario, si una irradiación luminosa viene del exterior a golpear el átomo y a absorberse en él, el electrón sube (siempre por saltos bruscos), hasta las órbitas superiores, y así readquiere su facultad de emisión. El número de órbitas posibles es muy grande: nos contentamos con referirnos a las cuatro primeras: *K*, *L*, *M*, *N*. ¿Qué medio, se preguntará, poseen los físicos para registrar esos saltos en un mundo cuyo diámetro inferior (órbita *K*) no mide sino 5 ó 6 diezmillonésimos de milímetro? Este medio es de una potencia y de una claridad admirables: es el espectro. Como se sabe, un haz de rayos luminosos, limitado por una ventanilla estrecha, y que pasa a través de un prisma, se desarrolla en forma de abanico para dar lugar a los colores del arco iris. El aparato en donde esto se verifica se llama espectroscopio. Color, según se ha dicho, es el sinónimo de frecuencia de la onda luminosa. La frecuencia indica el nivel de la órbita a la cual ha saltado el electrón de Bohr. Imaginemos todos los saltos que

es posible combinar para el electrón, en su caída de órbita en órbita, hacia el centro, y tendremos todos los colores puros (de frecuencia precisa) que el átomo de hidrógeno es capaz de emitir. El prisma los coloca claramente a los ojos del físico en un espectro; y así se pueden seguir indirectamente todos los saltos del electrón. Las órbitas más alejadas del centro son las menos probables, y corresponden a las intensidades cada vez más débiles. En el espectro visible y en la primera parte del ultravioleta, se ha podido, para el hidrógeno, poner en evidencia más de treinta rayas cada vez más débiles, rayas extremadamente netas sobre su espectro. Así, el espectro luminoso es el agente de ligamento, el mensajero visible y concreto, que lleva al físico los datos referentes al interior del átomo, y que sin él permanecería inaccesible a sus sentidos, aun cuando ellos estuviesen ayudados por el más poderoso microscopio".

"Podemos ahora tratar de ver las dificultades que asaltan al físico en este campo. Todas proceden de la interpretación de este enigma: las rayas del espectro, enigma que la experiencia complica sin cesar, como vamos a verlo en seguida. Primera complicación: las rayas se demultiplican. Este fenómeno lo explican los físicos haciendo girar el electrón sobre sí mismo".

"Las caídas de órbita en órbita del electrón en revolución, se traducen por las rayas espectrales. Los físicos que no se satisfacen fácilmente, no han cesado en la descomposición de estas rayas simples. Con el perfeccionamiento de los electroscopios han observado que estas rayas de apariencia sencilla son en realidad dobles, triples o cuádruples, etc. . . (*). Las rayas aparecen entonces como pequeños espectros secundarios llamados *multipletes*. He aquí el problema en bruto: es necesario explicar esta demultiplicación".

"Se sabe que una bobina eléctrica recorrida por una corriente equivale a un imán. Aunque esta bobina no tenga sino una sola espira. Ahora, nuestro electrón en revolución alrededor del núcleo, puesto que transporta una carga eléctrica, equivale a una espira de un electroimán. Su revolución equivale a una corriente eléctrica circular. Pero en presencia de tal imán atómico, veamos otro que se presenta. La tierra gira alrededor del sol, pero también sobre sí misma. Hagamos, igualmente, girar sobre sí mismos a los electrones planetarios (spin). La teoría también permite decir en este caso, que esta rotación equivale a la formación de un nuevo imán. Este nuevo imán electrónico se superpone, pues, en el átomo, al imán arbitrario que acabamos de indicar. Los dos imanes tienen que influenciarse mutuamente. Desde el momento que el primero oscila, la trayectoria del electrón que le corresponde, se deforma. Son estas deformaciones lo que revela la submultiplicación de las rayas".

"Segunda complicación: las rayas secundarias de

(*) Se descomponen por acción de un campo magnético exterior.

los *multipletes* se descomponen a su turno. Realmente los físicos han resuelto honrosamente la primera dificultad; pero he aquí una segunda dificultad. Analizando, aun más detenidamente, ciertos espectros, se encuentra que las rayas secundarias que forman los *multipletes* se descomponen, a su vez, en otras rayas más finas. Se obtiene así lo que se denomina un espectro de 'estructura superfina'. De esto se concluye que existe en el átomo otra causa de perturbación. ¿Cuál? El núcleo central (electrizado positivamente) debe girar también sobre sí mismo, como gira nuestro sol sobre su eje. Y esto debe dar nacimiento a un tercer imán ficticio, a un tercer campo magnético, como se dice en Física. Así, esta hipótesis constituye un nuevo progreso de la Física atómica".

"El misterio se complica. Pero he aquí el supremo escándalo: a pesar de tanto ingenio, las cosas se embrollan cada día más. La rotación del núcleo central explica ciertas particularidades del espectro luminoso; pero después de efectuados todos los cálculos quedan *residuos* que no es posible explicar. ¿Qué hipótesis hay que hacer todavía? No hay nada más que se pueda hacer girar en el sistema atómico. Sin duda se podría hacer para el núcleo solo todo lo que se ha hecho para el átomo. Este núcleo, cuando se trata de átomos más pesados que el del hidrógeno, no es una partícula positiva simple, un protón único. El núcleo de átomos complejos se concibe como una conglomeración de varios electrones (—) y de varios protones (+), estando estos últimos en exceso. Hasta aquí no se había intentado averiguar cómo estaban dispuestos estos elementos en el interior del núcleo. Si imaginamos que ellos forman en conjunto un nuevo sistema planetario, encontramos nuevas posibilidades para explicar los fenómenos. Se presenta, sin embargo, un pequeño inconveniente, y es que no hay razón para que esto termine".

"Desde luego el diámetro del núcleo se calcula. Ahora, los cálculos demuestran que es demasiado pequeño para contener el número de electrones que la teoría obliga a fijar. Y esta dificultad es la de un continente menor que el contenido; es el golpe de gracia! El núcleo atómico como lo representaba la teoría de Bohr, no puede existir. Dentro de este núcleo el electrón parece disolverse, cambiar de naturaleza, conservando, a pesar de todo, su carga eléctrica. Es por esto por lo que Bohr mismo ha dicho en el Congreso de Roma: "Mi átomo no es sino un simple juguete. . ."

"¿Es esto el fin del atomismo? Si es preciso rechazar el átomo de Bohr como una fantasía, ¿la noción del átomo puede persistir en Física? He aquí, en algunas palabras, cómo los sabios intentan aún salvar esta noción milenaria, que desde los filósofos griegos, parecía esencial al espíritu para explicar las leyes internas de la materia, y aún su propia existencia".

"En "La Science et la Vie" (*) el eminente físico De Broglie nos ha explicado cómo su hermano ha

(*) Número 151, pág. 21.

tenido éxito estudiando el movimiento de los corpúsculos, como si estuvieran piloteados por ondas. Es esta la Mecánica ondulatoria".

"De Broglie, sustituyendo a los electrones por sus ondas ha encontrado las leyes del átomo de Bohr. Después de esto el físico alemán Schrödinger, por medio de un perfeccionamiento de esta Mecánica ondulatoria, ha aplicado a las ondas corpusculares las *leyes del azar*, o, por otro nombre, el cálculo de las probabilidades, tan fecundo en otros dominios de la Física. Tan bien ha salido esto que en el momento actual los físicos de la nueva escuela no hablan de electrones que circulan sobre trayectorias precisas (órbitas) en el seno del átomo. Ellos calculan la probabilidad de que tantos o cuantos electrones (en los átomos complejos) se encuentren en tal región del átomo. Como esta interpretación matemática del átomo ofrece ciertas ventajas, es ella la que sustituye al antiguo átomo (sistema planetario), tan claro y satisfactorio para la inteligencia, en forma tal, que se le ve desaparecer con pesar".

"En realidad el átomo no es más sino una ficción matemática. Ningún sabio pretende verlo de modo intuitivo. La conclusión que se impone es: la Ciencia física debe revisar sus definiciones".

"Cuando yo pedía a Leon Brillouin sus impresiones al respecto, al salir del Congreso de Roma, me respondió: "Decididamente, me parece que en estas operaciones matemáticas, el electrón mismo desaparece, se disuelve. Tal vez en este juego de fórmulas sólo hay una ilusión subjetiva, un miraje intelectual, que es preciso definir. En otros términos: es necesario revisar las definiciones del electrón, del núcleo y del átomo mismo".

"Es ésta, en mi sentir, una palabra filosófica eminentemente profunda. Para el filósofo el fiasco periódico de toda Mecánica a base de corpúsculos es fatal, porque el análisis de la materia en corpúsculos sin cesar desdoblados (lo que los antiguos llamaban ya *dictomia*) procede, en efecto, de una ley incontrovertible de la inteligencia y no de la naturaleza. Así, Bergson ha demostrado, desde hace largo tiempo, que desde que el matemático se crea su punto material simple para hacer la Mecánica, este punto lleva consigo la huella de la conciencia que lo ha creado. Es esta huella lo que el físico encuentra al cabo de sus sabios cálculos, en los cuales parece que quisiera descubrir de nuevo, como lo dice Leon Brillouin, la ilusión subjetiva".

"Es, pues, ahora cuando va a comenzar la verdadera revolución de la Ciencia física, después de que un sabio feliz haya puesto en evidencia este espejismo que hace inextricables las ecuaciones de la Física moderna. Todo el trabajo que se ha hecho desde el año de 1900 hasta nuestros días no será, pues, sino un trabajo de desmonte, de demolición, como lo dice tan justamente Eddington —el astrónomo-físico de Cambridge—, aunque él prohíbe a los filósofos entrar a este lugar del conocimiento, en espera, tal vez, de que los tales vuelvan de repente la tableta

donde eso se haya escrito, para poner: "Se ruega a los filósofos que salgan...", por lo menos mientras es tiempo de saber de qué se habla, como ya lo preconizaba, en su época, Blas Pascal" (*).

Y para llegar a este resultado negativo, para constituir el átomo-juguete de Bohr y los otros juguetes que le precedieron y le han sucedido, fue preciso destruir por su base los dos conceptos fundamentales que hasta esta época venían sirviendo de sólidos pilares al entendimiento humano: el tiempo y el espacio absolutos. Para llegar a las declaraciones de Brillouin fue necesario resucitar las Geometrías no euclídeas, que en su tiempo, según apreciación de sus mismos autores, no se consideraron sino como meros acertijos ingeniosos, como elucubraciones matemáticas hábiles y sutiles, buenas para despistar a los filósofos y a los poco versados en los artificios del cálculo, dándoles carta de ciudadanía. Para llegar a la conclusión de Eddington, considerando que lo hecho hasta ahora, durante lo que va corrido del siglo XX, en materia de Física matemática, ha sido sólo un trabajo de *desmonte* y *demolición*, fue preciso acabar con las nociones fundamentales de la Mecánica y otorgar el triunfo a las teorías relativistas. Para llegar al fracaso de que se nos habla, de las hipótesis con que se ha pretendido penetrar en la intimidad de la materia, fue indispensable sostener el postulado de la constancia de la velocidad de la luz, la no simultaneidad de los fenómenos, la reducción de las verdades geométricas intuitivas a meras convenciones, la concepción *cuántica* de una trayectoria, la negación del movimiento —hasta cierto punto—, la adopción de espacios de cuatro dimensiones y de curvatura convencional y la sustitución de conceptos abstractos por ideas absurdas fundadas en la materialización, por decirlo así, de estos conceptos, mediante un proceso mental subjetivo servido por un juego de fórmulas en donde se niega toda intervención a la intuición.

Y es esta intuición, precisamente, lo que se ha debido tener en cuenta en la tarea que han adelantado las nuevas escuelas; pues, como ya os dije, para fundamentar una nueva teoría científica legítima y acertada se imponen dos condiciones: 1ª Que la hipótesis o las hipótesis que le sirvan de fundamento no contraríen manifiestamente al buen sentido, único criterio de que disponemos para distinguir lo falso de lo verdadero, y 2ª Que ella suministre de ciertos hechos observados una explicación que sea imposible obtener de otra manera.

PARMENIDES (Que ha escuchado dando señales inequívocas de desagrado e impaciencia).—Alto ahí. Detente en esas conclusiones apresuradas y definitivas y óyeme calmada y reposadamente, como conviene en una discusión que hemos promovido con ánimo de penetrar a fondo en las intrincadas cuestiones de la Ciencia contemporánea, y como es propio de personas de otra edad, enteramente desli-

gada de esta época, para quienes el polvo de los siglos debiera haber sido sedante que atemperara sus emociones sentimentales preparándolas para la crítica serena, con mejor título que el que puedan tener a ello los humanos de ahora.

Y en esta forma considérase ¡oh Cristias! que no ha sido por motivo de las nuevas teorías referentes a la constitución de la materia por lo que la Ciencia ha puesto en tela de juicio esos dos conceptos fundamentales que, según dices, habían venido sirviendo de pilares maestros de la mente humana desde Aristóteles hasta estos días oscuros. No hay tal. Recuerda que no ha un momento te expuse que Poincaré ya, mucho antes que la Física nueva hubiera demandado otras orientaciones en la Mecánica y en la Geometría, pedía se hiciera cierta claridad en estas ideas que desde tiempos de nuestro maestro Platón venían aceptándose sin discusión, a pesar de lo vagas y confusas que son en sí.

Verdaderamente fue Poincaré con su crítica sutil quien llamó la atención sobre ellas haciéndonos ver que no concebimos sino movimientos relativos y que, sin embargo, continuamos enunciando los hechos mecánicos como si hubiese un espacio absoluto a qué referirlos. Fue él quien primero llamó la atención al hecho de que no hay tiempo absoluto y de que no sabemos, ni podemos saber, si dos duraciones son iguales o si dos fenómenos son simultáneos o nó. No hay justicia, pues, al achacar a los grandes maestros del relativismo las aclaraciones que la Física moderna se ha visto obligada a hacer a este respecto, y que debiera haber hecho desde hace muchos siglos la sana Filosofía.

CRISTIAS.—Pues, precisamente, son esas aclaraciones lo que hay que rechazar con toda energía. Nada me importaran las sabias e inútiles elucubraciones de los físicos, a que hemos venido refiriéndonos, si no se tratara en ellas de acabar con lo poco que poseemos como fundamento de verdad y producto de la más lógica intuición. Porque la intuición que tenemos del espacio te la definí no ha mucho al expresarte el concepto que nos formamos de la recta infinita, y porque esa misma intuición nos enseña que el tiempo es absoluto, y que sí podemos comprobar la igualdad de dos duraciones y la simultaneidad de dos fenómenos.

Generalmente se arguye que si la tierra estuviera cubierta de densas nubes que nos impidieran ver el sol y las estrellas totalmente, no podríamos tener idea de la rotación de nuestro planeta y, por tanto, careceríamos del único reloj exacto y que nos permite verificar la igualdad de dos días sidéreos. Pero esta argumentación es falaz por cuanto si eso llegare a suceder aún sería posible para nosotros saber que la tierra gira colocando un péndulo de Foucault en el polo, y hasta podríamos darnos cuenta de que lo hace con exacta regularidad observando la intensidad de la gravedad en el ecuador. Si el *reloj-tierra* llegare a adelantar o a atrasar, muy pronto lo sabríamos por medio de medidas muy precisas del

valor de la gravedad en el ecuador terrestre, pues es claro que si dicha intensidad disminuye es porque el reloj adelanta: la tierra gira más aprisa, y si aumenta es porque el reloj atrasa: la tierra gira más despacio. De manera que sí hay algo de absoluto en la idea que tenemos de la rotación terrestre y de la medida del tiempo que efectuamos con ella.

Además de esto, conviene observar que la marcha de nuestros relojes concuerda lo mejor posible con la duración del día sideral: esos aparatos se acomodan a un suceso que aparentemente es de poca importancia, y desacuerdan de modo total con la duración del día solar en el transcurso del año, a pesar de que el día solar es físicamente mucho más importante que el día sidéreo. Luego sí debe haber algo de absoluto en la medida del tiempo —que me resisto a creer cosa convencional—, medida que se comprueba admirablemente con los fenómenos astronómicos que se suceden de acuerdo con las duraciones estimadas mediante nuestro *reloj-tierra*, del cual, como dije, se puede saber si adelanta o atrasa con elementos de conocimiento totalmente independientes de las referencias que nos suministra la esfera celeste.

Desde la época de Newton se hizo notar que si la tierra hubiera estado cubierta de nubes, se podría, no obstante, descubrir su rotación, fijar el sentido de ésta y su duración en oscilaciones de un péndulo de longitud definida. Esta conclusión es correcta, pero sus adversarios la han esquivado arguyendo que en ese caso (la tierra cubierta de nubes) la afirmación de que gira no tendría sentido. Ciertamente, para los que no admiten el espacio absoluto, la frase citada no tendría sentido: si no hay espacio absoluto, ¿se puede girar, sin girar con relación a algo? Pero para nosotros, los absolutistas, como nos llamáis, el espacio absoluto existe, y la afirmación tiene un sentido preciso.

Además de esto, es posible un supuesto que nada tiene de contradictorio, y es el siguiente: Si después de asegurar los partidarios de Newton, por la observación de fenómenos puramente mecánicos, que la tierra gira, y de fijar la duración y sentido de esa rotación, se descubriese el velo que ocultaba las estrellas, ¿no se tendría una verificación espléndida de tal previsión? ¿Sobre ideas erróneas se pueden hacer previsiones exactas en cualidad y en cantidad? Es claro que nó. Luego el espacio absoluto existe. Evidentemente, el espacio sin cuerpos no tiene sentido, como tampoco lo tiene el tiempo sin acontecimientos; pero ya te expliqué atrás que esto no obsta para que tengamos del espacio un concepto preciso: el espacio absoluto.

"Pero podemos crear tantos infinitos como cuerpos sólidos tengamos a la vista; es esto lo que hacen los geómetras con sus sistemas coordenados, para lo cual basta ligar por distancias a tres puntos del sólido todos los otros puntos concernientes a los otros cuerpos. Esta concepción no es sino una ampliación del sólido al espacio entero. Estos espacios

se penetran unos a otros y se mueven los unos con relación a los otros, según los movimientos relativos de los sólidos de referencia. Se puede pasar de un espacio a otro por transformaciones geométricas clasificadas en el sub-grupo de los movimientos; y, más aún, se puede transformar de varias maneras el espacio mismo de cada sólido. Todo esto podemos hacerlo, o mejor dicho imaginarlo, sin contradicción. Así considerado el asunto, la relatividad del espacio adquiere, pues, un valor absoluto en nuestro entendimiento. Pasando de la simple Geometría a la Cinemática podemos imaginar un punto material que se mueva en línea recta y con velocidad constante en el espacio referente a cierto sólido *A*. Ese mismo punto no tendrá, con relación al espacio de otro sólido *B*, un movimiento rectilíneo y uniforme sino a condición de que los sólidos *A* y *B* no estén animados, el uno con relación a otro, sino de movimientos rectilíneos y uniformes. La frase: "punto material animado de movimiento rectilíneo y uniforme", no tiene sentido sino a condición de que digamos con relación a qué sólido o en qué espacio es en el que se verifica ese movimiento. Ante la idea completa de la relatividad del espacio tanto vale un espacio como otro cualquiera; esto es, cualquier cuerpo nos podrá servir de referencia para fijar todos los otros puntos del universo, sin que haya motivo alguno que alegar en favor de un espacio respecto de otro. La Cinemática se acomoda bien con el concepto absoluto de la relatividad" (*).

"Pero no sucede lo mismo con la Dinámica. El movimiento de un sistema cualquiera debe obedecer a las mismas leyes, ya se refiera al espacio de un sólido *A*, ya al de otro sólido cualquiera *B*, pues esto lo impone el principio de la relatividad del espacio; de otro modo la Mecánica no es posible, o si lo fuere con esa condición, la relatividad absoluta sería ilusoria. Empero, es aquí donde la experiencia contradice el concepto de la relatividad creada por la Filosofía anti-newtoniana".

"La experiencia nos enseña de una manera irrevocable que todo cuerpo material que esté en reposo con relación a un sistema de referencia o a un espacio que se halle animado de movimiento de rotación con relación al espacio del *sólido-tierra*, presenta el carácter especial de estar solicitado por una fuerza repulsiva dirigida normalmente al eje de rotación y de intensidad proporcional al cuadrado de la velocidad angular y a la distancia al eje: fuerza independiente del sentido de la rotación del espacio de referencia con relación al espacio del *sólido-tierra*. Esta experiencia destruye por completo nuestras ideas de relatividad, pues los cuerpos en reposo con relación a los diferentes espacios no presentan los mismos caracteres mecánicos. Al contrario, presentan un fenómeno tanto más notable cuanto mayor es el movimiento relativo del espacio de referencia con relación al *sólido-tierra*. ¿El espacio referente a la tierra es, pues, aquel con relación al cual los

(*) "La crisis de la Física moderna"—Jean Labadie—"La Science et la Vie", N.º 176, correspondiente a febrero de 1932.

(*) Julio Garavito A.

cuerpos en reposo no presentan huella alguna de fuerza centrífuga? No hay tal: el sólido-tierra presenta el fenómeno de la fuerza centrífuga, pero tan débilmente que escapa a nuestros sentidos; sin embargo, no escapa a nuestros instrumentos, y así podríamos comprobar mecánicamente que existe un espacio con relación al cual los cuerpos en reposo en él no presentan absolutamente la menor huella de fuerza centrífuga. Ahora bien, no existe un solo espacio que presente esa propiedad. Hay una infinidad de éstos; pero todos ellos tienen la notable propiedad de estar animados, los unos con relación a los otros, de movimientos translatorios. Sin embargo: a pesar de haber una infinidad de espacios con relación a los cuales las leyes mecánicas se han simplificado por la desaparición de una fuerza extraña, el principio de la relatividad ha sufrido una notable reducción. Pero esto no es todo. Tomemos una bola de billar y démosle un determinado impulso sobre un piso irregular. La bola después de algunos saltos bruscos, causados por choques contra las asperezas, queda pronto en reposo. Si esta experiencia la hacemos sobre un piso mejor pavimentado, la bola tomará un impulso tanto más rectilíneo y uniforme cuanto mayor sea la regularidad del piso. El efecto de detención de la bola depende, pues, de los obstáculos; suprimidos éstos, el móvil continuará indefinidamente recorriendo espacios iguales en tiempos iguales, según una línea recta. De esta experiencia y de todas las análogas, y más aún, de cierta intuición clara, es de donde proviene el célebre principio de inercia, ya conocido por nuestros coetáneos de la escuela aristotélica: un cuerpo que no está sujeto a fuerza alguna no puede tener más que un movimiento rectilíneo y uniforme. Pero recordando lo que hemos dicho antes respecto al espacio, tendremos que añadir: con relación al espacio-tierra, que es el espacio al cual hemos referido nuestras experiencias, y al cual se refieren también nuestras intuiciones o experiencias atávicas. Realmente una bola de billar cuyo peso está compensado por la reacción del piso que la sustenta, podría cruzar de una parte a otra (de sur a norte por ejemplo) un lago helado de superficie absolutamente lisa, con movimiento rectilíneo y uniforme. Nos hubiéramos sorprendido al notar una ligera desviación sistemática hacia la derecha en las regiones boreales y hacia la izquierda en las australes. Dicha desviación la hemos verificado *a posteriori*, pero se había escapado antes a la observación espontánea. La experiencia atávica que han desarrollado en nosotros, a través de todos nuestros ascendientes, las ideas cuantitativas referentes al espacio, al tiempo, al movimiento y a la fuerza, a causa de la imperfección de nuestros sentidos, nos ha conducido al principio de inercia, como si el espacio correspondiente al sólido-tierra presentase la rara circunstancia de que con relación a él los cuerpos sustraídos a la gravedad, y a cualquiera otra fuerza natural, por medio de una reacción compensativa, e impulsados

por una percusión, recorriesen trayectos rectilíneos con velocidad constante. Ahora bien, sabemos que esto no es exacto, pues los cuerpos que se mueven horizontalmente en la región norte presentan una desviación hacia la derecha y los que se mueven en la región sur la presentan a la izquierda, siendo su trayectoria no rectilínea sino un poco encurvada. Mediante una transformación geométrica podríamos hallar el movimiento con relación a la tierra del espacio en donde la ley de inercia se verificara de una manera rigurosa, y no hallaríamos así un solo espacio, sino una infinidad; pero todos ellos caracterizados por la condición de estar sometidos, los unos con relación a los otros, a movimientos de traslación rectilíneos y uniformes. Estos espacios quedan incluidos en los que habíamos hallado antes, referentes a la carencia de fuerza centrífuga, pero son muchísimo más restringidos. Los espacios geométricos referentes a todos los sólidos no son, pues, idénticos en lo que respecta a los movimientos de los cuerpos bajo la acción de un determinado impulso. La idea referente a la relatividad absoluta del espacio conduce, pues, a conclusiones contrarias a la experiencia" (*).

"La Mecánica no es posible sino cuando el movimiento de los cuerpos se refiere a ciertos espacios que cumplen entre sí la condición de estar, los unos con relación a los otros, animados de movimientos de traslación rectilíneos y uniformes. Estos espacios se podrían llamar *mecánicos* para distinguirlos de los *geométricos*. Las leyes de la Mecánica son comunes a todos los espacios mecánicos, y lo mismo vale uno que otro; pero sin el auxilio de las experiencias de fuerza centrífuga y de inercia hubiéramos negado la existencia de tales espacios. El espacio inmóvil sería un espacio mecánico, y por medios mecánicos no podríamos distinguirlo de los otros de su género. ¿Tendremos, por ello, derecho de negar su existencia?"

"Es raro que no siendo el espacio de la tierra un espacio mecánico hubiésemos, sin embargo, llegado a la ley de inercia; cosa que se debe a la imperfección de nuestros sentidos. Este caso es análogo a lo que aconteció con Kepler, quien, según ya te dije, estableció las leyes del movimiento no turbado, gracias a la imperfección de las observaciones de Tycho Brahe, pues aisló la acción preponderante del sol, al considerar como efectos de los errores de observación las acciones perturbatrices de los planetas. Si la tierra hubiera estado sometida a movimientos rápidamente variados no hubiéramos tenido conocimiento de la ley de inercia y no conoceríamos nada de la Mecánica" (**).

PARMENIDES.—Tal vez hubiera sido lo mejor. Pero noto ¡oh Cristias! que siempre tratas de salirte de los puntos en que pretendo colocar la discusión. Por eso te ruego que volvamos a las teorías atómicas, haciéndote notar, de paso, que te apre-

(*) Julio Garavito A.

(**) Julio Garavito A.

suraste demasiado al juzgar definitivamente a las nuevas ideas como cosa perdida, sin esperarte a aquellos estudios posteriores que dan razón de todos los fenómenos, contra las afirmaciones de Labadie, que me leíste. Quiero, así, que nos ocupemos de nuevo de la Mecánica ondulatoria de De Broglie.

Para comprender bien su origen, es necesario echar una ojeada retrospectiva sobre la evolución que han sufrido las ideas referentemente a la luz, durante los últimos años. El hecho saliente en esta evolución consiste en la reaparición de las concepciones corpusculares en un dominio de la Física de que parecían haber quedado excluidas para siempre. El descubrimiento de los fenómenos de interferencia y difracción, las admirables construcciones teóricas de Fresnel, la experiencia, considerada como crucial y que tú has puesto en duda, de Fizeau, para medir la velocidad de la luz en el agua, y otros hechos de menor importancia, pero concordantes con la teoría general, habían demostrado, al parecer de una manera definitiva, que la luz está constituida por ondas en donde la energía se reparte de modo continuo. La antigua concepción granular de la luz, que en el siglo XVIII contó con el apoyo de Newton, había sido abandonada completamente a fines del siglo XIX. Pero con sorpresa general, la teoría de la emisión —opuesta a la teoría ondulatoria, aceptada por todos los físicos del siglo pasado— como el Fénix de la fábula iba a renacer de sus cenizas, merced a la constatación de nuevos fenómenos luminosos y cuya explicación exigía pensar de nuevo para la luz y otras radiaciones, en la concepción corpuscular.

El más importante de estos fenómenos es el efecto foto-eléctrico que se presenta cuando se ilumina un cuerpo material, por ejemplo, metálico, con un haz de rayos luminosos o de rayos X: entonces se ven salir de ese cuerpo electrones en movimiento rápido. El estudio de este fenómeno foto-eléctrico ha mostrado que la velocidad de los electrones expulsados no depende sino de la longitud de onda de la radiación incidente, siendo el número de electrones proporcional a la intensidad de dicha radiación. Desde luego, la energía de los foto-electrones varía en razón inversa de la longitud de onda incidente.

"Todas estas leyes son completamente diferentes de lo que hubiera podido preverse por medio de la teoría ondulatoria, y así parecían muy difíciles de interpretar. Reflexionando sobre estas dificultades comprendió Einstein que para explicar el efecto foto-eléctrico era necesario, hasta cierto punto, volver a la idea de la estructura corpuscular de las radiaciones. Así admitió él que las radiaciones se componen de corpúsculos que transportan una energía inversamente proporcional a la longitud de onda, y demostró que con esta hipótesis se deducen fácilmente las leyes del efecto foto-eléctrico. Otros fenómenos, posteriormente descubiertos (el efecto Compton y el efecto Raman), vinieron a confirmar la hipótesis de Einstein, haciendo ver que era fac-

tible explicar cierto número de hechos suponiendo que la *energía luminosa se divide en gránulos, a los que se da el nombre de fotones*. Esta invasión del atomismo en un dominio de la Física, de donde se le creía totalmente expulsado, ha sido para los físicos un motivo de crueles preocupaciones. ¿Cómo conciliar, en efecto, esta nueva concepción corpuscular de las radiaciones con el conjunto, tan considerable y minuciosamente estudiado, de los fenómenos de interferencia y difracción, únicamente explicables por medio de la teoría ondulatoria? El examen atento de la respuesta que habría de darse a estos angustiosos interrogantes ha dado lugar a las concepciones, extrañamente nuevas, de la Mecánica ondulatoria".

"La única manera de salir de tales dificultades concernientes a la luz, era, efectivamente, admitir que el aspecto corpuscular de ella, y su aspecto ondulatorio, como aparecen en ciertos fenómenos, son dos aspectos complementarios de la misma realidad. Cada vez que una radiación cambia energía con la materia, este cambio puede describirse como la absorción o la emisión de un fotón por esa materia; pero cuando se quiere describir el desalojamiento de conjunto de los gránulos de luz en el espacio, se debe recurrir a la teoría ondulatoria. Profundizando esta idea se llega a admitir que la densidad de la nube de fotones asociada a una onda luminosa debe ser necesariamente, en todo punto, proporcional a la intensidad de esta onda luminosa. Se llega de esta suerte, si no a establecer definitivamente, por lo menos a entrever, una especie de síntesis de las dos teorías rivales: la ondulatoria y la de la emisión, para poder interpretar a la vez las interferencias y los fenómenos foto-eléctricos". (*)

CRISTIAS.—Muy bien. ¿Pero qué papel hace entonces el éter famoso de los físicos, de cuyas curiosísimas propiedades, necesarias para explicar el átomo de Rutherford, hubimos de ocuparnos al principio de esta interminable discusión?

PARMENIDES.—Parece que no hay aún nada definitivo al respecto: por eso los relativistas han procurado desembarazarse de él; cosa que no es de lamentar, pues fue el éter una concepción basada, hasta cierto punto, en necesidades atribuibles a la Mecánica clásica, que no me inspira ninguna simpatía. De todos modos, poco es lo que se habla de ese éter en la Mecánica ondulatoria, cuya exposición estoy dejando a De Broglie, inventor de ella, al leerle los siguientes párrafos:

"Pero si ello es así para la luz, ¿no puede uno preguntarse si no pudiera serlo también para la materia? Lo mismo que un fotón no puede aislarse de la onda que le está asociada, ¿no se debe suponer que los corpúsculos materiales, igualmente, deben estar siempre acompañados por una onda? ¿No convendrá investigar si las propiedades, un tanto extrañas, que la teoría de los *quanta* atribuía al electrón, pudieran interpretarse dotándolo de un aspecto ondulatorio que complementara su aspecto

(*) "L'évolution de l'électron"—Louis de Broglie.

corpúsculo ya conocido? Si se supone que en la naturaleza ondas y corpúsculos están siempre estrechamente asociados, el movimiento de todo corpúsculo debe estar ligado a la propagación de una onda. Este ligamento debe poder expresarse por medio de relaciones entre las magnitudes mecánicas: energía y cantidad de movimiento, que caracterizan el movimiento del corpúsculo, y las magnitudes ondulatorias: frecuencia y longitud de onda, por medio de las cuales se puede describir la propagación de la onda. Inspirándose en el ligamento que existe entre el fotón y su onda asociada, se puede, en efecto, establecer estas relaciones bajo una forma general que contiene el caso de los fotones como caso particular. Esta teoría general de ligamento entre los corpúsculos y sus ondas asociadas, forma la base sobre la cual se ha edificado la Mecánica ondulatoria. Según ella, la longitud de onda de la onda asociada a un corpúsculo varía en razón inversa de la velocidad de este corpúsculo: es tanto más pequeña cuanto más rápido sea el corpúsculo".

"Veamos, ahora, algunas de las consecuencias de la nueva Mecánica cuando se la aplica al electrón. Cuando la onda asociada a un corpúsculo se propaga libremente en una región de grandes dimensiones, con relación a la longitud de onda, la nueva Mecánica conduce a atribuir al corpúsculo el mismo movimiento previsto por la Mecánica clásica; es lo que sucede para los movimientos de los electrones que podemos observar directamente; por eso el estudio en grande escala de los electrones había conducido a considerarlos como simples corpúsculos. Pero hay casos en que las leyes clásicas de la Mecánica no sirven para describir lo que pasa. El primero de estos casos es aquel en el cual la propagación de la onda asociada está restringida a una región del espacio cuyas dimensiones son del orden de la magnitud de la onda. Es lo que sucede para los electrones en el interior del átomo. Entonces la onda asociada se ve obligada a tomar la forma de una onda estacionaria, y la Mecánica ondulatoria muestra que esta onda estacionaria no puede tener como longitud de onda sino ciertas longitudes bien definidas por las condiciones mismas del problema: a estas longitudes de onda posibles de la onda asociada corresponden, según las ideas generales de la nueva Mecánica, ciertas energías posibles para el electrón intra-atómico. Estos estados, solamente posibles, de energía bien definida corresponden exactamente a los estados de movimiento *cuantificados* introducidos por Bohr en su teoría del átomo; y es el primer éxito de la Mecánica ondulatoria el haber explicado el hecho, hasta entonces misterioso, de que estos movimientos son los únicos posibles para los electrones en el interior del átomo".

"Otro caso en el cual el movimiento del electrón no debe seguir, según la Mecánica ondulatoria, las leyes clásicas del movimiento, es aquel en que su onda asociada choca contra obstáculos en el curso

de su propagación. Se producen entonces interferencias, y el movimiento del corpúsculo puede no tener analogía alguna con lo que previera la Mecánica clásica. Para darnos cuenta de la manera como deben pasar entonces las cosas, guiémonos por la analogía con la luz. Supongamos que proyectamos una radiación de longitud de onda continua sobre un dispositivo susceptible de dar lugar a interferencias. Puesto que sabemos que las radiaciones están formadas de fotones, podemos decir también que en esta forma enviamos un enjambre de fotones sobre el dispositivo en cuestión. En la región en donde se producen las interferencias los fotones se reparten de tal manera que se encuentran concentrados allí donde la intensidad de la onda asociada es más grande. Si ahora enviamos sobre el mismo dispositivo de interferencias no una radiación sino una ola de electrones de la misma velocidad, cuya onda asociada tenga la misma longitud de onda que la radiación primitivamente empleada, la onda interferirá como en la primera experiencia, puesto que es esta longitud de onda lo que regula las interferencias. Es entonces muy natural pensar que los electrones van a concentrarse allí donde la intensidad de la onda asociada es más grande, y es bien esto lo previsto por la Mecánica ondulatoria. Los electrones en la segunda experiencia deben, pues, si las ideas de la nueva Mecánica son exactas, repartirse en el espacio, como lo hacen los fotones en la primera experiencia. Si se puede establecer que en efecto esto es así, se habrá puesto en evidencia la existencia de la onda asociada al electrón y se habrá obtenido para la Mecánica ondulatoria una confirmación experimental decisiva".

"Esta confirmación decisiva se ha obtenido por la primera vez por los físicos americanos Davisson y Germer, quienes enviando un haz de electrones monocinéticos sobre un cristal de níquel, han llegado a obtener fenómenos enteramente análogos a los que se obtienen con los rayos X. El descubrimiento de este bello fenómeno ha conducido a una verificación completa y cuantitativa de las ideas y de las fórmulas de la Mecánica ondulatoria. Así nosotros hemos adquirido una prueba directa de la concepción según la cual el electrón no es un simple corpúsculo: posee a la vez un aspecto corpúsculo y un aspecto ondulatorio, y según los casos es necesario para prever los fenómenos en que interviene, considerarlo como onda o como corpúsculo. ¿Cómo pueden conciliarse estos dos aspectos? Es lo que no puede explicarse fácilmente en detalle: se sabe que esta conciliación exige concepciones nuevas y sutiles en donde las probabilidades juegan un papel esencial".

"Desde luego, no solamente el electrón es a la vez corpúsculo y onda. Lo mismo sucede con el protón, como lo han demostrado experiencias recientes, y probablemente con todas las unidades materiales. Así, para la materia, como para la luz, el aspecto atómico y discontinuo de las entidades elementales se convierte en un aspecto continuo y ondulatorio;

y así este descubrimiento ha modificado considerablemente y ha enriquecido la idea que teníamos del electrón. (*)

TIMŒUS. (Que durante esta discusión ha guardado profundo silencio y parece despertar de un vago ensueño de filosófica indiferencia).—No sé, queridos amigos, si padezco o no de cierta amnesia mental; porque, a pesar de haberos oído con penetrante cuidado, muy poco es lo que he podido entender de vuestras disertaciones. Educado en las claras y sencillas verdades de las escuelas filosóficas griegas, mi espíritu pudo captar fácilmente las demostraciones matemáticas de Newton y halló lógico cuanto se estableció por la escuela experimental de Galileo desde el día memorable en que el maestro insigne, en el jardín de su vieja casa de Florencia, dedujo las leyes de la caída de los cuerpos y estudió el movimiento oscilante del péndulo. Así, formado en lo que creí verdades indiscutibles, fuíme acostumbrando a la idea de que la lógica matemática era un poderoso auxiliar en la investigación de la verdad, y de que no es posible confundir la algoritmia con la pura deducción analítica de ciertos principios fundamentales de carácter científico. Desde luego, debo advertiros que mi inclinación a la Geometría me impide formar concepto preciso de una verdad matemática si no se concreta ella en alguna forma geométrica que hable a mi imaginación de modo objetivo. Por este aspecto puedo catalogarme entre los intuitivos puros.

Vale este proemio para explicaros la absurda incapacidad en que me encuentro para entender muchas de las cosas de que habéis hablado. Así, por ejemplo, por más esfuerzos que hago, no puedo imaginarme el espacio sino como un continuo absoluto que me rodea, de acuerdo con los conceptos geométricos de Euclides. En ese espacio imagino la línea recta infinita, y no puedo concebir sino superficies esféricas limitadas, que nunca confundo con el plano. Así, para mí el postulado de Euclides es una intuición, y el espacio de tres dimensiones, una sensación. De acuerdo con ideas tan elementales, cualquier relación numérica debe traducirse en formas geométricas, y me es imposible separar la ley que liga una función y su variable independiente, de su representación objetiva. Para mí, pues, la Geometría analítica constituye el proceso matemático más lógico y más de acuerdo con la capacidad cognoscitiva que poseo. Soy, pues, a este respecto, un primitivo: mi entendimiento es como el del labriego que empieza, sin prejuicio de ninguna clase, a observar el mundo exterior por sus sensaciones personales.

¿Cómo puedo, pues, pretender entenderos? Evidentemente, el labriego de que os hablo, es incapaz de separar las cosas reales de su concepto espacial rudimentario; para él el espacio sin cuerpos no tiene sentido, lo mismo que no lo tiene el tiempo sin acontecimientos. En ese cerebro primitivo la sucesión continua de los acontecimientos le da la idea

(*) "L'évolution de l'électron"—Louis de Broglie.

del tiempo continuo, y la observación de los fenómenos le comunica la sensación de la menor o mayor duración de ellos. Tiene, pues, el labriego, de mi ejemplo, intuición clara del espacio absoluto y del tiempo indefinido, y no puede confundir dos fenómenos simultáneos, aun cuando esa intuición le dice que se verifican en el mismo instante. Teniendo así la intuición de un antes y un después sucesivos, a cada momento ve que un móvil ocupa diferentes lugares en el espacio, pasando de modo continuo por todos los puntos de su trayectoria, a medida que avanza el tiempo. Relaciona él mentalmente la extensión recorrida por el móvil con el tiempo empleado en recorrerla y llega, brutalmente, si se quiere, a la sensación de la velocidad, distinguiendo, sin mayores complicaciones, cuándo el móvil se mueve más aprisa o más despacio. Y como sus sentidos le indican, por medio de mil experiencias, que el mismo móvil dotado de mayor o menor velocidad, produce efectos distintos, llega sin saberlo, a la ley de inercia. La uniformidad del movimiento no es para él misterio alguno: la aceleración del mismo, tampoco lo es. De manera que siente cuando se acelera o se retarda un movimiento rectilíneo, por medio de la inercia, y aprecia esta inercia en el movimiento curvilíneo uniforme. Además de esto, ese labriego ve que dos cuerpos distintos poseen, animados de la misma velocidad en un movimiento rectilíneo, capacidad para producir efectos distintos: así llega insensiblemente a la idea de la masa.

Hasta aquí podemos deducir que el hombre primitivo que usa del martillo, por ejemplo, siguiendo las indicaciones del buen sentido, está en capacidad de verificar los efectos de la masa y de la velocidad, y, por consiguiente, de apreciar instintivamente la fuerza viva, juntamente con el esfuerzo muscular que emplea para alzar ese martillo. Posee, pues, el entendimiento rudimentario de ese hombre todos los elementos indispensables para iniciarse en la Mecánica de Arquímedes, que no es otra cosa que el análisis racional de un conjunto de dictados que proceden de la experiencia y de la intuición.

Evidentemente, quien razona sobre esos dictados no encuentra dificultad alguna en la identificación que hizo Newton entre la gravedad, o sea el peso de los cuerpos, y la gravitación; pudiéndose decir que el labriego de mi ejemplo, con poco trabajo está en capacidad de iniciarse en los intrincados problemas de la Mecánica racional, máxime, si con conocimientos rudimentarios de Geometría y Análisis, cosas de sentido común, al alcance de todos los entendimientos, se ha ido preparando para la interpretación matemática de verdades elementales que él nunca puso en duda.

Pero, ¿cuál sería la confusión de ideas de ese entendimiento primitivo, si hoy le dijéramos que no hay espacio absoluto; que el tiempo es una convención; que la línea recta no es infinita y que prolongándose convenientemente puede convertirse en una curva cerrada; que no es posible decir si dos fenómenos son simultáneos o no; que las nociones espa-

ciales de la Geometría de Euclides son una convención más o menos cómoda; que el espacio no es de tres dimensiones sino por una convención; que el tiempo puede ser una cuarta dimensión del espacio; que es posible concebir un espacio de n dimensiones y de determinada curvatura; que es imposible saber cuándo un móvil se desaloja con movimiento rectilíneo y uniforme; que los cuerpos se contraen por causa de la velocidad en el movimiento rectilíneo y uniforme; que hay en la naturaleza una velocidad absoluta, que viene a sustituir, en las fórmulas mecánicas, al tiempo absoluto de antaño; que la masa de los cuerpos varía con su velocidad; que esa masa y la energía cinética que posee un cuerpo en movimiento son una misma cosa; y, por último, que un móvil en movimiento está a cada instante simultáneamente en todos los puntos de su trayectoria? ¿No es verdad que este labriego sencillo, rudimentario, atendido a las indicaciones del buen sentido, ante tamañas revelaciones, acabaría por volverse loco? Pues, *mutatis mutandis*, tal me sucede a mí, cuando os oigo disertando sobre cosas tan sabias y profundas, pero que están totalmente fuera de mi alcance.

Antiguamente había yo llegado a ideas filosóficas sobre el tiempo y el espacio que me satisfacían, hasta cierto punto. Con Kant pensé que el tiempo y el espacio pueden ser una forma *a priori* de nuestra sensibilidad, es decir, una intuición que se anticipa a la experiencia. Posteriormente tuve la idea de que el tiempo es la fórmula abstracta de los cambios del universo. Con Leibnitz pensé que el espacio es un orden de coexistencias y el tiempo un orden de sucesiones, llegando nosotros a representarnos el tiempo por medio del espacio y a sondear el espacio en función del tiempo. Después llegué a pensar que del espacio y del tiempo podemos tener una verificación experimental, aceptándolos como absolutos, y viendo que, al hablar cinemáticamente, la relatividad de los movimientos no admite objeción alguna, en tanto que, desde el punto de vista dinámico, el espacio de los relativistas es incomprensible.

Como podéis ver, por la exposición modesta que os hago de mis capacidades cognoscitivas, me es absolutamente imposible comprender qué se quiere decir cuando se habla de una órbita *quantificada* y de una onda *estacionaria*. Para mí, dentro del simplismo de mis ideas, una trayectoria recorrida simultáneamente por un punto móvil, presupone que el movimiento es instantáneo, o sea, que la velocidad es infinita, y una onda estacionaria significa que no hay propagación ondulatoria, o sea, que no hay onda.

PARMENIDES.—Alabo tu franqueza. Lo que acabas de decirnos me hace ver que es inútil discutir contigo sobre estas cuestiones, pues estás en un terreno tan distinto del de las modernas concepciones; es este terreno tan estrecho y está tan embarrado por prejuicios seculares, que, evidentemente, no podremos entendernos jamás. No me pasa lo mismo con Cristias, para quien los procedimientos de la lógica más sutil y contradictoria, parecen buenos

cuando se trata de impugnar las nuevas doctrinas. A él sí quiero contradecirlo y convencerlo. Por eso le pido que acabe de oír la exposición referente a la Mecánica ondulatoria, antes de declararse triunfante contra la Física admirable de estos días luminosos.

Oyeme, ¡oh Cristias! las razones de De Broglie, que voy a leerle:

“La Mecánica ondulatoria ha tenido éxitos magníficos en la interpretación del mundo atómico, y sus explicaciones han revolucionado los métodos de la Física microscópica. Sin embargo, bajo su forma primitiva presentaba dos lagunas importantes: primeramente esta Mecánica no era relativista y no se podía aplicar sino a los electrones y a otras partículas de velocidad pequeña en comparación a la de la luz; en segundo lugar ella no atribuía al electrón las propiedades características del *spin*, y se limitaba a considerarlo bajo su aspecto corpuscular, como si fuera un punto material electrizado. Era evidentemente necesario encontrar una forma más general de la Mecánica ondulatoria que satisficiera a las exigencias del principio de relatividad aplicable a partículas de cualquier velocidad, y que englobase en sus conceptos el *spin* del electrón. Esta tentativa, llevada a cabo con éxito feliz, corresponde a Dirac. La Mecánica ondulatoria primitiva representaba la onda asociada al electrón por medio de una función escalar. Según una idea propuesta por Pauli, Dirac admitió que la onda asociada al electrón debe representarse por una función de varias componentes. Sus razonamientos lo han conducido a admitir que el número de estas componentes es de cuatro, encontrando las cuatro ecuaciones de derivadas parciales simultáneas, a las cuales deben obedecer estas cuatro componentes. Mientras que la Mecánica ondulatoria primitiva representaba la onda del electrón por una sola función escalar, que obedece a una ecuación de derivadas parciales de segundo orden, del tipo clásico de la ecuación de las ondas, la teoría de Dirac representa la onda asociada al electrón por una función de cuatro componentes, cuyo conjunto obedece a un sistema de ecuaciones de primer orden. Lo que hay verdaderamente notable en esta nueva Mecánica ondulatoria del electrón, es que habiendo obtenido las ecuaciones de propagación por razonamientos muy generales, en donde no se trata del *spin*, se encuentra por ella introducidos el *spin* y sus consecuencias. En efecto, el estudio de las ecuaciones de Dirac muestra que ellas conducen automáticamente a atribuir al electrón las propiedades de rotación propia y de magnetismo propio imaginados por Uhlenbeck y Goudsmit. Mientras que la Mecánica ondulatoria primitiva se mostraba, como la antigua teoría de los *quanta*, impotente para prever las anomalías del efecto Zeemann y la complicación de las estructuras finas espectrales, las ecuaciones de Dirac permiten prever exactamente estos fenómenos. Así la teoría de Dirac nos suministra en el día la imagen más completa que poseamos del electrón; ella, en efecto, por una parte le atribuye un aspecto corpuscular, do-

tándolo de una masa, de una carga eléctrica, de magnetismo y de rotación propios, y por otra le atribuye un aspecto ondulatorio, para darnos cuenta de la difracción por los cristales y del comportamiento del electrón en los sistemas atómicos, aspecto ondulatorio en donde las propiedades del *spin* se traducen por una cierta anisotropía de la onda asociada”.

“Es necesario insistir sobre una particularidad de la teoría de Dirac, que ha conducido a su autor a la previsión de la existencia de electrones positivos, previsión verificada poco después. Queremos hablar del hecho de que las ecuaciones de Dirac admiten soluciones de energía negativa, a las cuales correspondieran para el electrón movimientos dotados de propiedades paradójicas, y cuya existencia jamás se ha constatado. Parecía haber allí una gran dificultad: la teoría de Dirac se mostraba demasiado rica en posibilidades. Pero él mismo ha sugerido una manera muy ingeniosa de desembarazarse de la dificultad. Notando que, según el principio de exclusión de Pauli, no puede haber sino un electrón por estado, imagina que para los electrones todos los estados de energía negativa están normalmente ocupados en todo el universo. De esto resulta una densidad uniforme de electrones de energía negativa, y Dirac supone que esta densidad uniforme es inobservable. Para darse cuenta de la existencia de electrones observables, se deberá suponer que hay en el universo mayor número de electrones de los que son necesarios para llenar todos los estados de energía negativa, y que el excedente de ellos ocupa estados de energía positiva, y constituye el conjunto de electrones observables por la experiencia. Pero es aquí donde interviene una idea nueva, que ha permitido a esta concepción, un poco artificial a primera vista, conducir a un éxito grande. Nada nos impide imaginar que bajo una acción exterior cualquiera uno de los electrones de energía negativa pueda pasar a un estado de energía positiva: se presenta entonces la aparición simultánea de un electrón observable experimentalmente y un “hueco” o “laguna” en la distribución de los electrones de energía negativa. Ahora, Dirac ha demostrado que tal laguna se comporta como un corpúsculo que tuviese la masa del electrón y una carga eléctrica exactamente igual y de signo contrario”.

“Habría, pues, en ciertos casos excepcionales, posibilidad de creación de un “par” formado por un electrón negativo y un electrón positivo. Esta teoría de los “huecos” o agujeros de Dirac, hubiera, sin duda, dejado a muchos físicos en el escepticismo, si la experiencia no hubiese venido a darle amplia confirmación. Los bellos trabajos de Anderson y Blackett y de Occhialini han demostrado, en efecto, que en condiciones excepcionales (acción de los rayos cósmicos) se manifiestan electrones positivos. Estos electrones positivos, o *positrones*, son objeto actualmente de detenido estudio en todos los laboratorios. Las concepciones de Dirac conducen a prever que los *positrones* deben ser inestables y tender a su desaparición en contacto con la materia.

Se concibe, en efecto, que si un agujero se encuentra en presencia de un electrón negativo, éste puede llenar el hueco por una transición acompañada de radiación; habría entonces desaparición de dos electrones de signos contrarios. Esta inestabilidad de los positrones parece bien probada por los experimentos de Thibaud y de Joliot”.

“El electrón positivo, lo mismo que el negativo, posee un *spin*, siendo probablemente lo mismo para todos los corpúsculos elementales de la materia, tales, por ejemplo, como el *neutrón*, descubierto casi al mismo tiempo que el *positrón*. Parece probable que todos los corpúsculos elementales tengan no solamente el doble aspecto corpuscular y ondulatorio, sino también las propiedades del *spin*, sin duda profundamente ligadas a la existencia misma de la materia. Así, profundizando el estudio de las propiedades del electrón, hemos llegado a deducir los caracteres generales que, probablemente, deben pertenecer a todos los corpúsculos elementales, caracteres de los cuales las ecuaciones de Dirac son, hasta el presente, la mejor expresión matemática”.

CRISTIAS (Interrumpiendo la lectura).—No creo necesario que continúes explicándome en esta forma la nueva Mecánica ondulatoria y sus consecuencias, porque al oírte me pasa lo que a Timæus: no entiendo una sola palabra. ¿No te parece conveniente que hagamos un recuento de las hipótesis que se han venido sucediendo desde el lametado átomo de Bohr, hasta la última concepción ondulatoria, para que, poniendo algún orden en lo expuesto, por fin se haga alguna luz en este endurecido cerebro mío?

Supongamos, por un momento, que los electrones, tal como tú los concibes, representen alguna realidad, y sigamos, paso a paso, el proceso de su desarrollo, desde el átomo planetario, que me pareció un disparate, y que ahora encuentro, en comparación con lo que acabas de leerme, algo muy sensato y comprensible, hasta el último concepto de Dirac referente a la materia en su constitución íntima.

Veamos primeramente al electrón girando dentro del átomo, alrededor del núcleo o *protón*, y cayendo de órbita en órbita, para irradiar energía. Recordemos esas órbitas *quantificadas* del electrón-planeta, que cambian bruscamente cada vez que el electrón emite una radiación, cuya frecuencia se mide dividiendo la energía perdida por el electrón, en su salto de una órbita a otra, por la constante de Planck. Imaginémonos esas órbitas *quantificadas* como especie de *unidades dinámicas* tan diferentes de la idea vulgar clásica de la órbita descrita progresivamente por un corpúsculo puntual. Recordemos al electrón dotado de una carga eléctrica negativa, y en posesión de una masa mecánica, imaginándonoslo como una esferilla que gira alrededor de otra integrada por *protones* o corpúsculos de electricidad positiva. Hagamos girar al dicho electrón alrededor de su eje, como lo hace un planeta que gira alrededor del sol. Démosle a esta esferilla-planeta un momento magnético, asimilándolo a un imán elemental, con polos positivo y negativo. Imagina-



ginémonos que ese electrón, en posesión de un momento magnético y de otro cinético, no es algo indivisible, puntual, y, por consiguiente, desprovisto de partes, y hagámoslo movable en su interior para que presente cierta simetría axial y cierto movimiento, también *quantificado*, y digamos que el electrón, así concebido, posee una nueva propiedad que llamamos *spin*. Así concluimos con que el electrón posee masa mecánica, carga eléctrica, masas magnéticas libres, momento cinético y, finalmente, *spin*. Hagamos que el núcleo o protón, del átomo de hidrógeno, o el núcleo o conjunto de protones del átomo de elementos más complejos, gire también sobre sí mismo, como lo hace el sol sobre su eje. Compliquemos, aún más, las cosas, y estudiemos al núcleo de los átomos complejos como si fuera una conglomeración de varios electrones y de varios protones, y llevemos al núcleo las mismas ideas que nos hicieron ver en el átomo un sistema planetario. ¿Por qué no hacer del núcleo otro sistema planetario? Pero recordemos que la teoría obliga a fijar para el sistema planetario del núcleo, cierto número de electrones, que no caben en ese núcleo, según sabios cálculos, que no pongo en duda, y concluyamos de todo esto, como lo hizo notar Labadie, en la cita que anteriormente leí, *que el núcleo atómico como lo representa la teoría de Bohr, no puede existir, que dentro de ese núcleo el electrón parece disolverse y cambiar de naturaleza*. ¿Qué otra hipótesis más debemos imaginar para salvar el átomo de Bohr y con él toda la teoría átomo-electrónica?

Evidentemente, para un cerebro, como el mío, acostumbrado a la lógica de antaño, tal cúmulo de hipótesis hilvanadas a medida que nuevos hechos de laboratorio iban pidiendo nuevas explicaciones, debería haber tenido fin, ya que Bohr mismo reconoció que su átomo era un simple juguete de su fantasía. Pero no fue así. Con el *electrón* y el *protón*, aparece el *fotón*; luego sigue el *positrón*, que es necesario explicar. Hé ahí, para ello, la nueva teoría: la Mecánica ondulatoria de De Broglie, coherente y aumentada por Dirac.

Hasta aquí, como te digo, por embrolladas y disparejadas que aparezcan las hipótesis atrás enumeradas, aún me parece hallar en ellas algo comprensible y que se puede seguir con la imaginación para someterlas a crítica. Pero al enunciarse la Mecánica ondulatoria se rompe el molde, y el mejor entendimiento pierde el hilo de cualquier deducción lógica, oscilando en el vacío y sin contacto alguno con la realidad. Verdaderamente entramos con ella en el reino de la ilusión subjetiva, de los ensueños misteriosos de lo desconocido psíquico, de los delirios metafísicos más sutiles que haya conocido la historia filosófica.

Porque no me podrás negar que la asociación misteriosa de un electrón o corpúsculo puntual, con una onda, se sale de toda idea racional que se tenga del corpúsculo y de la propagación ondulatoria de la energía. Para mí en la propagación ondulatoria se transportaba energía, y por eso fue pre-

ciso idear un medio a través del cual se verificase tal transporte. Ese medio, *éter* o lo que fuese, es lo que entra en acción vibratoria, por decirlo así, cuando un estremecimiento inicial se propaga a través de él. Para mí el estudio de la propagación ondulatoria es completamente lógico. La deducción de la frecuencia, de la amplitud, del valor instantáneo, del valor medio y del valor eficaz de una magnitud alternativa es algo muy sencillo y que está al alcance del sentido común; luego, según lo expresó Timæus, cualquiera que sea el método seguido para el desarrollo de las fórmulas que interpretan la propagación ondulatoria de Huyghens, estas fórmulas están al alcance de cualquier entendimiento medianamente ejercitado en el análisis matemático: no son un misterio.

Pero ¿cómo no va a parecer misteriosa esta asociación mecánica de un corpúsculo en movimiento y de una onda de propagación? ¿Es ondulatorio el movimiento del corpúsculo, o mejor, vibra él oscilando con la frecuencia de la onda? ¿Es su velocidad de traslación igual a la del estremecimiento que se propaga por las ondas en cuestión? ¡Misterio!

Además, ¿qué quiere decir eso de una onda estacionaria? Si yo pienso en una onda estacionaria, tengo de suponer simultáneos el movimiento y el reposo. ¿Cómo puede efectuarse una propagación ondulatoria de la energía si suponemos las ondas estacionarias, *quantificadas*? ¿Qué idea es posible tener de la onda estacionaria *quantificada*, asociada al electrón que se mueve dentro del átomo en una órbita *quantificada*?

Pueden ser muy sabios los cálculos que interpretan estos dos aspectos del electrón: el corpuscular y el ondulatorio; creo que en las fórmulas de los físicos que han establecido la Mecánica ondulatoria, no debe haber contradicción; es posible que ellas sean de lógica impecable, pero he de decirte que todo esto está totalmente fuera de mi alcance.

PARMENIDES.—Ya te he dicho que las concepciones de las nuevas Mecánicas, interpretadas matemáticamente de un modo correcto, no están en el dominio de la imaginación: no podemos imaginárnoslas. Pero esto no quiere decir que no correspondan a una realidad objetiva. Para aclararte este punto, llevándote al terreno de los geómetras intuitivos que *ven el espacio*, por decirlo así, tomemos un concepto fundamental de la Ciencia matemática: el concepto de continuidad de las funciones. Supongamos que se trata, en el caso más sencillo, de las funciones de una sola variable independiente. Un espíritu como el tuyo empezará por imaginarse la función representada gráficamente por una curva, y dirá que es continua cuando se figura que la puede trazar sin interrupción. En cualquier circunstancia (variación brusca, punto al infinito, valor indeterminado, etc.) en que tuviera que interrumpirse ese trazo, diría que tropezaba con una discontinuidad. Esta definición es clara para los sentidos y de ella se deduce con igual claridad y sencillez, que toda curva de esta naturaleza tiene una

tangente en cada punto. “Traducidas al lenguaje analítico estas representaciones gráficas, nos dirán que una función es continua en un intervalo, cuando no se puede pasar de un valor a otro de la misma, sin pasar por todos los intermedios, al variar la variable independiente por gradaciones insensibles, y, además, que toda función continua tiene derivada” (*). Pero los espíritus analíticos, contrarios al tuyo, no se darán por satisfechos con esa definición de continuidad, y menos todavía con su consecuencia sobre la existencia de la derivada, y después de serios reparos acabarán por demostrar que en éste y otros casos análogos, la imaginación y los sentidos sólo dan a los espíritus intuitivos ideas aproximadas de las cosas, por lo cual los conceptos que de estas impresiones se derivan, no sólo carecen de rigor, sino que pueden conducirnos a deducciones erróneas.

“Para poner esto de manifiesto en el ejemplo citado, les bastará penetrar en la entraña de las funciones armados del instrumento de análisis sutil y delicado que posee el Cálculo infinitesimal, que en su fraccionamiento llegue a subdividir las en un número de partes indefinidamente creciente, y prescindiendo en absoluto de la representación gráfica, no sólo por inútil, sino por perjudicial, empezarán por definir la continuidad de otro modo mucho más preciso, diciendo que una función es continua para un valor determinado de la variable, cuando incrementando a ésta infinitamente poco, con cualquier signo, el incremento que experimenta la función es infinitamente pequeño, definición a la que habrá precedido la de variable infinitesimal y el estudio de su valoración y ordenación. Posesionados claramente de estos conceptos, será evidente que toda función que tiene derivadas es continua; pero la recíproca, o sea que toda función continua tiene derivada, no resultará tan clara, ni mucho menos; y no sería difícil presentar funciones tales, por ejemplo, que sin dejar de ser continuas, la derivada no exista, por carecer de límite la relación de infinitesimales que la define. Únicamente un espíritu analítico es capaz de llegar a este resultado que, a primera vista parece, si no absurdo, por lo menos muy extraño”. Y ejemplos como éste te podría citar muchos, para que vieras dónde puede fallar nuestra imaginación, y cuán incapaz es ella, en múltiples casos, para servirnos de guía acertado en la investigación de la verdad. Si tú no puedes imaginarte la asociación de un corpúsculo con su onda, ni puedes llegar a la representación objetiva de una onda estacionaria, no quiere decir esto que haya imposibilidad matemática de ello, sino que lo limitado de nuestra intuición nos impide comprenderlo directamente.

CRISTIAS.—Claro que esto es así, y por eso te he dicho que no pertenezco a la clase de los analíticos; pero ello no obsta para que no esté en capacidad de percibir en las teorías que me estás exponiendo, tantas contradicciones como hipótesis han

(*) “La enseñanza de las Matemáticas”—Vicente Machimbarrera.

venido lanzando los físicos con mira de explicar los fenómenos a medida que los tales se presentan. Realmente no necesito facultades mayores de penetración analítica para comprender que en la explicación del *positrón* la idea de *energía negativa* es metafísicamente absurda. Para la Mecánica clásica, cualquier forma de energía es positiva; y si en ella se habla de energía absorbida cinéticamente, se entiende que hubo un paso de energía de posición o potencial, á energía cinética. Afirmar que es posible una forma negativa de la energía equivale a decir que el *ser* puede ser negativo. Un ser negativo no existe: no es ser. Además de esto, la oscuridad de este concepto: *Nada impide imaginar que bajo una acción exterior uno de los electrones de energía negativa pueda pasar a un estado de energía positiva, presentándose la aparición simultánea de un electrón observable y de un “hueco” en la distribución de electrones de energía negativa*, es de tal naturaleza, que no creo posible su entendimiento preciso ni por los espíritus intuitivos más sagaces, ni por los que se precien de una penetración analítica superior. ¿Quién puede ser capaz, en efecto, de comprender en qué forma un *hueco* se comporta como un corpúsculo? ¿Qué es, entonces, el *positrón*? Se ha venido hablando del corpúsculo asociado a una onda, y ahora se habla también de una onda asociada a un hueco o laguna en la distribución de electrones de energía negativa?

Tú insistes en creer que todas estas cosas misteriosas están fuera del alcance de la mente intuitiva, porque la imaginación no puede darnos representación objetiva de ellas, pero que su realidad abstracta no admite duda porque están contenidas en fórmulas mecánicas de una lógica impecable. Este razonamiento, en verdad, no es comparable con el que dedujiste, por vía de ejemplo, en el caso de las funciones continuas que carecen de derivada, pues si yo imagino una curva cualquiera, forzoso me será pensar en su tangente en un punto de ella, y entonces digo que la función representada por esa curva admite una derivada, agregando que si la función continua de que se trata no tiene derivada, es porque tal función no es representable geométricamente.

Pero en este caso la ilusión subjetiva de los creadores de la Mecánica ondulatoria es de tal naturaleza que ella da realidad a conceptos que no pueden aceptarse en el mismo campo de las abstracciones matemáticas, por ser contradictorios. Cuando esa ilusión subjetiva, como en el caso de Thomson, que ya vimos, materializa los conceptos y les atribuye valor personal, por decirlo así, a las fórmulas, no hay lugar a la consideración que puede hacerse en el ejemplo propuesto por tí, que me parece totalmente inconducente.

Tú dirás que los hechos confirman admirablemente lo previsto por las teorías, por más incomprensibles que éstas sean, pero el buen sentido habrá de responderte que en la historia pormenorizada de la evolución del átomo que hemos venido haciendo en esta discusión, se ve a cada momento cómo cada

teoría se viene abajo por causa de alguno o algunos hechos que la contradicen, y que han necesitado otra nueva teoría para explicarlos.

PARMENIDES.—Precisamente, en esa evolución de ideas está el mérito del proceso científico que comentamos: pues evolucionar es progresar. No creo que la Mecánica ondulatoria, en la última forma que le dio Dirac, sea absolutamente definitiva: puede ella sufrir aún ligeras modificaciones; pero con todo, se considera por los científicos como el edificio más notable que se haya levantado hasta ahora en el campo de la investigación con miras hacia algo estable en el conocimiento final que tengamos de la naturaleza.

Ya te expliqué que la concepción dualista de la luz, que une los fotones a las ondas luminosas, sirvió de guía en la edificación de la Mecánica ondulatoria, siendo el objeto inicial de esta Mecánica suministrar una teoría general que ligase ondas y corpúsculos, y que fuese aplicable lo mismo a la luz que a la materia; a los fotones lo mismo que a los electrones. Sin embargo, la Mecánica ondulatoria, bajo su forma primitiva, no nos dio las bases para una teoría satisfactoria de la luz en su doble aspecto: corpuscular y ondulatorio. ¿Por qué? Desde luego porque esta Mecánica ondulatoria primitiva no era relativista, no era aplicable, como ya dije, sino a corpúsculos de velocidad pequeña en comparación de la de la luz, y por consiguiente, no se podía aplicar a los corpúsculos que constituyen el fenómeno luminoso. Además, la Mecánica ondulatoria primitiva utilizaba una onda escalar e isotrópica, y no contenía los elementos de simetría necesarios para explicar la polarización de la luz. En fin, ella no suministraba ningún medio para dar a la onda luminosa el carácter electromagnético que tenía desde tiempos de Maxwell y Hertz. Pero con la teoría del electrón de Dirac, todo se ha compaginado en una síntesis admirable. Esta Mecánica de Dirac, en efecto, es relativista, y por esta razón es aplicable al fotón. Además, ha introducido una onda cuyo carácter anisótropo tiene analogía con la polarización luminosa; y, en fin, ha ligado al corpúsculo magnitudes electromagnéticas que se derivan de su momento magnético propio, y guardan analogía con los campos de onda electromagnética de Maxwell. Naturalmente, para esta síntesis admirable se presentó un pequeño inconveniente. A primera vista, se pudo esperar que aplicando al fotón las ecuaciones de Dirac, se obtuviera una teoría dualista ampliamente satisfactoria de la luz; pero, en realidad, esto no fue así porque al construir un fotón sobre este modelo, el tal no tendría sino la mitad de la simetría necesaria para una buena teoría de la luz.

Pero para tal dificultad el genio de De Broglie halló pronta solución desarrollando una teoría de la luz, en la cual el fotón se considera no como una unidad única, según lo hizo Dirac, sino como un par de corpúsculos análogos al de este último, y semejante al par formado por un electrón negativo y un electrón positivo. Esta concepción conduce, por lo

menos en lo que toca a la propagación de la luz en el vacío, a resultados muy satisfactorios. Por ella se encuentran de nuevo las propiedades de polarización de la luz y se logra precisar la relación real y profunda que debe existir entre el *spin* y la polarización; lográndose también ligar al fotón un campo electromagnético idéntico al explicado por Maxwell en su representación electromagnética de la luz.

No quiero insistir sobre esta nueva y última teoría de los fenómenos luminosos, porque la juzgo completa, y por eso no trato de explicar algo referente al *neutrino* sino a título de información, diciéndolos que para algunos bien pueden identificarse los dos corpúsculos de De Broglie, que constituyen el fotón, con los neutrinos, cuya existencia se invoca para dar idea de la aparente no conservación de la energía, propia de la emisión de los espectros continuos β de los cuerpos radioactivos.

Pero, ¿qué son estas pequeñas dificultades ante el inmenso valor de la última teoría lumínica de De Broglie? Poca cosa en realidad: por cuanto al confirmarse, como lo espero, vendría ella a ser el último extremo de la curva majestuosa descrita por el pensamiento de los físicos al volver, por caminos insospechados, al punto de partida de Maxwell. Partiendo de la idea simplista del electrón concebido como un punto material cargado, estos físicos se vieron obligados, para explicar los fenómenos cuánticos, a extender al electrón el doble carácter: corpuscular y ondulatorio que posee la luz, y así crearon la Mecánica ondulatoria. En seguida, para dar lugar en la Mecánica ondulatoria a las propiedades del *spin*, necesarias para la explicación de toda una categoría de fenómenos especiales, estos físicos tuvieron que complicar la nueva Mecánica, dándole la forma indicada por Dirac. Pero, por una extrema y providencial, llamémosla así, revolución, esta Mecánica ondulatoria perfeccionada al volver hacia sus orígenes, sirvió a su turno, como lo quiso De Broglie, para constituir la teoría dualista de la luz uniendo en un todo armonioso el fotón, la onda luminosa, la polarización y el campo electromagnético de Maxwell. Verdaderamente os digo, sin exageración ni ditirambo, que desde la época gloriosa vivida por nuestro divino maestro bajo los cipreses del Atica, nunca en la historia de la Ciencia y de la Filosofía se vio algo semejante.

¿Qué admirable espectáculo! Vemos, desde el primer momento, a la concepción del electrón evolucionar y complicarse, porque, como os dije, evolucionar marchando de lo simple a lo complejo, es la razón del progreso. Durante cuarenta años de experimentación y cálculo esta idea simplista ha ido poco a poco enriqueciéndose con ideas nuevas, impuestas por hechos nuevos; y así, partiendo de una simple imagen esquemática, contemplamos hoy a la nueva doctrina como la síntesis más compleja que haya verificado el espíritu humano. Naturalmente, para llegar a este resultado menester ha sido prescindir de prejuicios y antiguallas, y abrir amplia senda a través de la maraña secular acumu-

lada sobre los fundamentos científicos, sin contemplaciones de ninguna especie. Nuestros antiguos hábitos de pensar han cambiado por ello totalmente. ¿Pero esto qué importa? La verdad ha triunfado impuesta por las ideas relativistas e innovadoras y, pese a quien pese, las nuevas doctrinas se han impuesto en el mundo.

CRISTIAS.—Poco a poco, caro Parménides! Modéra tu entusiasmo y déjalo para cuando la última Mecánica ondulatoria y corpuscular haya dicho su última palabra. De la síntesis admirable que has dicho, saco en consecuencia que para efectuarla partimos del *electrón*, corpúsculo que tiene una masa 2.000 veces menor que la del *protón*. Con esos protones formamos el núcleo del átomo, que a veces supusimos compuesto de electrones y protones. Después descubrimos experimentalmente el *positrón*, partícula de electricidad positiva muy difícil de obtener, que apenas nacida tiende a unirse con otras partículas y parece ser del tamaño del electrón. En seguida nos hallamos con otra partícula llamada *neutrón*, que no has nombrado para nada, y que es análoga al *protón*, con masa 2.000 veces mayor que la del electrón, pero sin carga eléctrica de ninguna especie. (Según algunos, este *neutrón* se une con el *protón* para formar con ciertos electrones, el núcleo del átomo). Viene, por último, el *neutrino*, misteriosa partícula no electrificada, como el *neutrón*, y que posee una masa tan pequeña como la del electrón, o aún más pequeña, hasta el punto de creérsela totalmente despreciable. Agreguemos a estas partículas que entran en la formación del átomo, el fotón, necesario para explicar la naturaleza corpuscular de la luz.

De tu admirable síntesis podemos, pues, concluir que hasta la fecha la Ciencia ha descubierto los siguientes corpúsculos debidamente caracterizados: el *electrón*, el *protón*, el *positrón*, el *neutrón*, el *neutrino* y el *fotón*. Parece que algunos han pensado ya en el *mesotrón* para complementar el grupo.

Pero ¿qué unidad de doctrina puede establecerse con tal pluralidad de elementos descubiertos, precisamente, para fundamentar el concepto de la unidad de la materia? ¿Cuál es esa síntesis admirable, a que te refieres, que ha necesitado tantas hipótesis como descubrimientos se han hecho, y aún más, para llegar a la final concepción de la intimidad de esa materia? ¿Qué átomo es ese que a medida que la Ciencia avanza, crece, se complica, se integra con corpúsculos cada vez más numerosos, y amenaza con desaparecer a través del dédalo de elucubraciones algebraicas cada vez más complicadas?

Según he leído en alguna parte, la nueva Física difiere esencialmente de la antigua, en que no admite dogmas: ya para muchos el postulado einsteiniano de que ninguna velocidad puede ser mayor que la de la luz, ha dejado de existir (*); para otros tantos, la temperatura puede ser inferior a cero grados absolutos; para gran parte, la materia es esencialmente destruíble, *et sic de cæteris*.

(*) "The universe and matter"—Louis Jarry.

Según ciertos experimentos, se comprueba que pares de electrones (positivos y negativos: *electrones* y *positrones*) se destruyen para producir pares de *fotones* de la luz. Otros experimentos prueban que pares de *electrones* (+ y —) se producen por causa de los *fotones*. Otros más, demuestran concluyentemente que los átomos materiales se componen de *neutrones* no electrificados y que poseen casi toda la masa del átomo, y de electrones positivos y negativos (*positrones* y *electrones*). Otros demuestran que el núcleo del átomo se integra por *protones* y *electrones*, sin hablar para nada de los *positrones*. Y otros, por fin, dejan entrever que el *neutrón* puede separarse en dos corpúsculos, uno positivo y otro negativo, con el objeto de explicar el *neutrino*.

Así, se habla de "desmaterialización" y de "materialización", sugiriendo que si los electrones son corpúsculos materiales integrantes del átomo, los fotones, o sea los corpúsculos de las radiaciones luminosas, no son corpúsculos materiales. Por eso algún científico italiano, al tratar de estos puntos, deja entrever la idea de que la materia y el espíritu son correlativos, y que en el misterioso campo de la Física interatómica puede haber intervención de fuerzas espiritísticas.

¡Famosa unidad la de la teoría electrónica, partida de las ideas de Thomson, en donde ya se perfilaba la *ilusión subjetiva*, sentada sobre los postulados de Einstein y de Fitzgerald, y desarrollada con el concurso de la hipótesis cuántica de Planck!

¡Admirable síntesis científica la de esta teoría, fundamentada en la concepción atómica de Rutherford, que evolucionó de acuerdo con el *átomo-juguete* de Bohr, y llegó a plena madurez con la Mecánica ondulatoria de De Broglie, corregida y aumentada por Dirac!

¡Estupenda solución ésta de todos los problemas que, según tu concepto, había dejado intacta la vieja y desusada Mecánica de Newton, y que para llegar a feliz término hubo de aceptar la idea de una energía negativa, y de acoger los hechos que demostraran la desmaterialización y la materialización, es decir, aquello que parece abrir campo franco al misterio: la posibilidad no sólo de la no existencia de la materia sino su posibilidad negativa!

Me has calificado con menosprecio entre el número de los intuitivos que no pueden tener idea de las cosas sino representándoselas objetivamente, y has dicho que para entender las nuevas teorías se necesita un gran poder de penetración analítica y necesita un gran poder de penetración analítica y matemática; pero yo te quiero preguntar: ¿Y qué potencia del alma han ejercitado los físicos que tantas hipótesis han formulado? La imaginación. Puestas hipótesis han formulado? La imaginación. ¿Qué otra cosa son los tantos átomos como se han ideado sino producto de la fantasía?

GORGIAS (Que no ha hablado, en espera de algo luminoso que lo confirme en su entusiasmo por las nuevas teorías atómicas).—Francamente, me encuentro perplejo al oír no sólo los rudos ataques de Cristias, sino también las brillantes defensas de

Parménides. Paréceme que al oírlos, mi cabeza se fuera convirtiendo, poco a poco, en un caos creciente y expansivo, y se expandiera como se expande el universo de los modernos astrónomos. Dentro de mi recto criterio, soy creyente irrestricto de los hechos. Ellos me impresionan de modo directo, y así, puedo decir que lo que propiamente admiró en la moderna investigación, se refiere a las experiencias de laboratorio, cada vez más delicadas y perfectas. ¡Cuán admirable instrumental posee hoy la Ciencia para la penetración íntima de todos los fenómenos! Es lástima que con tan admirables herramientas se haya elaborado tan poco en el conocimiento filosófico!

Pensando en ésto, me he preguntado por qué no podemos llegar a representarnos del mundo exterior un simple sistema de relaciones de carácter abstracto, fundándonos únicamente en los hechos, y sin tratar de penetrar en la intimidad de ellos? ¿Por qué no seguimos el proceso empleado por ciertos físicos del siglo XIX, que sólo vieron en las leyes físicas hechos experimentales y relaciones numéricas? “Detrás de la materia que alcanza a nuestros sentidos y que la experiencia nos hace conocer, dice Poincaré, debíamos ver otra materia, la sola verdadera a nuestros ojos y que no tuviera más que cualidades puramente geométricas. De ella los átomos no serían sino puntos matemáticos sometidos a las solas leyes de la Dinámica. Empero, a estos átomos invisibles y sin color procuraría nuestro espíritu representárselos, por una inconsistente contradicción, para aproximarlos, lo más posible, a la materia vulgar”.

Mi idea sería que mientras no tuviéramos suficiente caudal de hechos, procuráramos alejarnos de esa materia vulgar, cuyo conocimiento íntimo, por lo menos por ahora, paréceme que nos está vedado. Tal vez no hay error en pensar que no es estrictamente necesario conocer los cuerpos en su intimidad para encontrar las leyes de los fenómenos físicos. Pensando con Poincaré, me atreveré a decir: “Supongamos que tenemos en frente de nosotros una máquina cualquiera, de la cual solamente son visibles el rodaje inicial y el rodaje final, y cuya transmisión —las ruedas intermediarias que comunican el movimiento— está oculta en su interior y escapa a nuestra vista. Nosotros ignoramos si la comunicación se hace por engranajes o por correas, por bielas o por cualquier otro dispositivo mecánico. Diremos por esta circunstancia, que es imposible conocer nada de esta máquina, mientras no se nos permita desmontarla?”

Para nosotros, que poseemos el principio de la conservación de la energía, bastará saber que la rueda final gira, por ejemplo, diez veces menos aprisa que la rueda inicial; y esto podemos saberlo porque las dos ruedas son visibles. Un par aplicado a la primera hará equilibrio a un par diez veces más grande aplicado a la segunda. No es necesario para prever este resultado conocer íntimamente cómo se produce. ¿Por qué no hacemos lo mismo con la máquina del universo? Renunciemos a desmontar sus

piezas, a analizar una a una las fuerzas próximas o remotas que obran sobre sus diversas partes: constatemos solamente los efectos y midámoslos. Entonces la ley, adquiriendo su verdadero sentido de relación entre los fenómenos de un antes y los fenómenos de un después, conservará también su traducción matemática, puesto que tenemos a nuestra disposición, para asegurarnos de la exactitud de nuestros cálculos, los cinco o seis grandes principios de nuestra ciencia positiva.

CRISTIAS.—Desgraciadamente, de estos cinco o seis grandes principios ya no queda ni el recuerdo: desaparecieron como humo leve en medio de la bancarrota general, que Parménides, con un optimismo digno de mejor causa, ha creído ser síntesis perfecta de las más admirables conquistas.

Otra cosa sería si en la *tarea de desmonte y demolición* de que ha hablado Eddington, se hubieran seguido los dictados del buen sentido, de acuerdo con las ideas de ese modesto filósofo de quien ya os he hecho mención. Ese filósofo, al contemplar el caos científico que ya se perfilaba en su época, se atrevió a decir: “El mundo no se ha dado cuenta de lo que la crítica ha llamado *bancarrota de la Ciencia*, porque ha continuado presenciando los numerosos inventos mecánicos que aparecen a diario. Sin embargo, la fabricación de nuevos artefactos de comercio, fundados en la combinación de conocimientos anteriormente adquiridos, no constituye ciencia sino oficio, por más ingeniosos que sean, puesto que, aunque tales inventos sirvan para aumentar quizás las comodidades de las clases privilegiadas, no enriquecen por ello el conocimiento racional de las leyes naturales”.

“Se acumula, es cierto, incesantemente multitud de observaciones y de experimentos como fruto de las labores de los observatorios; pero la mayor parte de este material no tiene otro objeto que el de perfeccionar los valores numéricos de ciertas constantes. En cambio, los nuevos fenómenos quedan sin explicación plausible, y los investigadores que tratan de hacer teorías para dar cabida a las riquezas descubiertas, se ven bien pronto aplastados bajo los escombros de sus propias edificaciones”.

“En todo tiempo la Ciencia ha estado plagada de teorías erróneas; pero el número de éstas había venido disminuyendo desde el siglo XV hasta fines del siglo XVIII. Durante el siglo XIX el vehemente deseo de progreso multiplicó el número de los observadores y experimentadores, de manera que el acopio de datos fue inmenso. El laudable deseo de realizar en Física lo que logró hacerse en Astronomía, impulsó a los investigadores modernos a elaborar teorías destinadas a reducir el innumerable conjunto de hechos concernientes a cada orden de fenómenos a una sola ley, de la cual se derivasen, como consecuencias matemáticas. Pero a pesar de estos esfuerzos el estado actual de la Física, en lo que respecta a la Óptica y a la Electricidad, está todavía al nivel a que estuvo la Astronomía después del descubrimiento de las leyes de Kepler, y antes del de la gravitación. Los sabios que han inten-

tado desempeñar en Física el papel que representó Newton en Astronomía han fracasado, a nuestro juicio. Nada tiene esto de extraño, porque los fenómenos del orden físico son enormemente más complicados que los movimientos celestes. *Desgraciadamente los modernos investigadores al pretender salvar sus hipotéticas teorías, cuyos errores se manifiestan por resultados paradójicos, se ven compelidos a cambiar los ramos fundamentales de la Ciencia!* Pero la Geometría y la Mecánica han sido elaboradas por muchas generaciones y sufrido el tamiz de los siglos, dejando entre sus mallas los defectos provenientes de tiempo y de lugar, y las previsiones fundadas sobre ellas han sido siempre coronadas por el éxito, mientras que las modernas teorías no han tenido todavía la más ligera verificación experimental, sino todo lo contrario” (*).

TIMÆUS.—Pero estas consideraciones tan sensatas no son obstáculo para que las gentes dejen de entusiasmarse con vehemencia increíble cuando se trata de lo que llaman: *triunfo definitivo de lo nuevo sobre lo viejo*. Estas consideraciones, lejos de constituir fundamento para *iniciar la verdadera revolución de las Ciencias físicas*, según lo indica Labadie, *después de que los sabios hayan puesto en evidencia el espejismo que hace inextricables las ecuaciones de la Física moderna*, se tienen, por muchos, como vetusteces dignas del mayor desprecio. Y esto es en tal manera, ejerce una fuerza tan considerable en la opinión pública, que ya se necesita valor moral muy grande para enfrentarse a la corriente dominadora de la moda.

Está hoy de moda exhibir cierto escepticismo filosófico cuando se habla de que *todo es relativo*, y cuando se hace mofa de los viejos principios, creyendo o aparentando creer, que para la mente humana no hay región del misterio que no pueda ser alcanzada. Y mientras más misteriosas y complicadas sean las explicaciones de los físicos en su intento de conocer el universo, mayor es su éxito entre las gentes de las plazas públicas, que parecen animadas de un deseo iconoclasta y vengativo contra el pasado, y de una admiración inexplicable por la obra nueva de demolición y desmonte: *Omne ignotum pro magnifico!*

PARMENIDES (Que intenta batirse en retirada).—Todo podrá ser, pero no me habréis de negar, caros amigos, que el esfuerzo hecho hasta ahora por los científicos empeñados en hacer luz sobre fenómenos tan oscuros, como los que se presentan a diario por causa de las investigaciones de laboratorio, conducidas con la técnica más inteligente y sagaz, merece el más vivo aplauso. Es éste esfuerzo el que ha servido, a la postre, para animar a los descubridores de nuevos fenómenos, quienes se ven obligados a efectuar nuevos avances para satisfacer a las previsiones hechas por los teóricos. En esta tarea, los experimentadores ayudan a los matemáticos y viceversa, realizando así los más portentosos inventos.

(*) “La bancarrota de la Ciencia”.—Julio Garavito A.

No niego que, en realidad de verdad, se presentan aún muchas lagunas por colmar en las teorías físicas modernas, y que hay en ellas no pocas contradicciones; pero creo que esto no tiene importancia ante la grandeza y solidez del conjunto.

Además, vosotros estaréis conmigo al considerar que lo arduo de los problemas avocados por la Física moderna, justifica muchos de los desaciertos cometidos y explica las vacilaciones, tanteos y contradicciones reales o supuestas de los que se han dedicado a su solución.

CRISTIAS.—No solamente lo comprendemos así, sino que he sido yo, me parece, el primero en hacer ver que es preciso resignarnos a no entender muchas cosas que probablemente están fuera de los límites de nuestro conocimiento. *Natura! quam te colimus inviti quoque*, dijo Séneca en tiempos remotos, y en los de ahora mucho más pudiéramos agregar, notando cómo la naturaleza parece rebelarse contra los poderes de investigación del hombre, guardándose sus arcanos con el más celoso cuidado, cuidado que redobra a medida que el humano entendimiento se hace a elementos cada vez más perfectos para penetrar en la noche eterna del misterio.

TIMÆUS.—Y esto no debe extrañarnos: el entendimiento humano es limitado, y lo admirable sería que no encontrara dificultades de ninguna especie en su ardua tarea y no hallase al fin una especie de valla insuperable que le impide avanzar. Esto es lógico y natural. Lo contrario sería lo inconcebible.

Cuando un artesano prepara su tarea de arte o ciencia, principia primeramente por alistar las herramientas de su trabajo, las reconoce con cuidado y atención, y se adiestra en su manejo merced a una larga práctica, antes de acometer la obra que se propone y de la cual se ha formado un bosquejo. Si obrara en forma contraria sería calificado de loco o de charlatán. Ahora, ¿qué instrumento más delicado, complejo y desconocido que el cerebro humano pudiéramos imaginar? Ninguno por cierto. *Noscete ipsum* era para los antiguos filósofos el principio de la sabiduría, porque bien sabían ellos que sin analizar a fondo los elementos de nuestro conocimiento, y sin medir sus fuerzas, fueron vanos nuestros empeños en pos de la verdad.

Esto fue lo que comprendió Bergson cuando se inició en sus estudios sobre psicología, después de haber ahondado como matemático en el campo de la investigación abstracta. Familiarizado con los conceptos más abstractos de metafísicos y de geómetras: el tiempo, el espacio y el movimiento, juzgó él que tales conceptos psicológicamente hablando, aparecían vacíos de sentido, y que la Ciencia, en realidad, había venido pagándose de las palabras sin parar mientes en la vida misma. La Ciencia, según él, desconocía la vida intelectual en su esencia, desfiguraba la realidad para conformarla a su capricho, cuando, precisamente, era necesario buscar la experiencia verdadera ahondando más profunda-

mente en los fenómenos psicológicos. Bastó entonces analizar estas nociones de la inteligencia para constatar que ellas eran solamente a manera de residuos o de calcos de dibujos esquemáticos, que pretendían representar una realidad infinitamente fluida, compleja y cambiante, inaccesible por ello a la lógica y a las matemáticas, pero accesible, sin duda, por otra vía: la intuición. Así Bergson partió de lo abstracto puro para ahondar poco a poco en lo concreto: en la psicología. Por cuanto la Ciencia le pareció, por decirlo así, cosa muerta, buscó la vida en la conciencia.

Este proceso desarrollado por un entendimiento matemático al reflexionar sobre nuestros modos de conocimiento, puede no ser perfectamente lógico, pero ello nos demuestra que al tratar de los métodos científicos de investigación una inteligencia razonadora empieza por el principio: es decir, por el estudio de la propia mente humana.

Efectivamente, la experiencia inmediata subjetiva nos revela como solo objeto de intuición —y como sola realidad efectiva, el *yo*— el *yo* profundo, original, incommunicable, que se desarrolla y se enriquece siempre por el conocimiento, en una continuidad armoniosa.

Instalado en ese *yo*, Bergson tuvo que explicarse cómo, encerrados dentro de nosotros mismos, podemos formarnos una representación ideológica del mundo externo, y así conceptuó que tal representación proviene de un proceso muy complicado psicofilosófico. Así él se constituyó en el autor de un sistema idealista en el cual los nervios aferentes y eferentes reemplazan a los antiguos categóricos puros en el génesis del universo. “La actualidad de nuestra percepción consiste en su actividad, dice en alguna parte. El sentimiento concreto que tenemos de la realidad presente consistirá, pues, en la conciencia que tenemos de los movimientos efectivos por los cuales nuestro organismo responde naturalmente a las excitaciones externas; de suerte que cuando estas relaciones entre movimientos y sensaciones se entorpecen o se dificultan, el sentido de lo real se debilita en nosotros”.

Quiero, queridos amigos, no iniciaros en un estudio profundo de psicología, cosa que no viene al caso en esta discusión, ni para lo cual tengo competencia, sino simplemente mostraros que, de acuerdo con personas que han reflexionado sobre el origen de nuestros conocimientos, el entendimiento humano debe ser, y de hecho lo es, esencialmente limitado. Constituido el cerebro del hombre por un conjunto complicadísimo donde las sensaciones externas transmitidas por los sentidos y por el sistema nervioso, afectan a ese *yo*, que constituye nuestra propia conciencia, puede decirse de acuerdo con la Filosofía aristotélica, que nada está en ella que primeramente no hubiese estado en los sentidos.

De aquí concluyo que la falta o entorpecimiento de uno o de varios de estos sentidos nos priva de hecho de la sensación o de las sensaciones respectivas, y, por tanto, nos inhabilita para formarnos una

idea de los fenómenos externos que se relacionan con esas sensaciones. Un ciego de nacimiento, por ejemplo, no puede formarse idea de los fenómenos luminosos, por más que se los expliquemos.

Pero si ese ciego no posee el concepto del mundo externo interpretado por la visión, no por eso está en el derecho de negar la existencia real de lo visible exterior. Ahora, por lógica elemental y *mutatis mutandis*, podemos aceptar que hay, o puede haber, fenómenos del universo inaccesibles a nuestros sentidos, y que no por eso habremos de negar su posibilidad.

Me diréis que si es cierto que el origen de nuestros conocimientos reside en nuestros sentidos, también lo es que hay en nosotros ideas innatas, de origen atávico un tanto misterioso, y que por el raciocinio podemos llegar al conocimiento de fenómenos físicos que se escapan a nuestra investigación directa; siendo éste el fundamento del proceso experimental que ha seguido la Física a medida que conquistas anteriores han facilitado el camino para descubrimientos verificados posteriormente. De donde habremos de deducir que por medio de instrumental adecuado es posible llegar al conocimiento de la materia por experiencias en las cuales, sin embargo, no intervienen los sentidos directamente.

Es este proceso, que Gorgias encuentra admirable y que a mí también me seduce, lo que ha venido haciéndonos creer, en los tiempos modernos, en el poder indefinido de penetración de nuestra mente. Pero si reflexionamos a espacio en los métodos experimentales de actualidad, por medio de los cuales se sobrepasa, por decirlo así, la capacidad de nuestros sentidos, echamos de ver al punto, como ya lo anotó Cristias, que en cuestiones relacionadas con las realidades primeras y últimas, el progreso de la Ciencia experimental ha ensanchado el campo de nuestra visión, pero no lo ha hecho cambiar de sitio. Así, en lo que se refiere a lo continuo y a lo discontinuo en la naturaleza, el progreso de las ciencias si ha extendido y precisado nuestros conceptos, no ha cambiado su centro de perspectiva.

GORGIAS.—Excusa que te interrumpa para hacer ver con un ejemplo cómo el proceso experimental, a medida que avanza en los laboratorios, nos abre horizontes nuevos y nos facilita la comprensión de hechos que sin esos elementos de experimentación, nunca hubiéramos entendido. Supongo para ello que allá, en los tiempos felices de nuestra Academia, los dioses benévolos nos hubieran dotado de un poder visual creciente y cada vez más perfecto. Con ese poder, es claro que habríamos realizado en el siglo de oro de nuestra cultura, lo mismo que posteriormente lograron los astrónomos con la invención del telescopio; pues es innegable que a nuestros ojos se hubiera revelado entonces el universo astronómico con la misma claridad con que hoy se exhibe ante los observadores modernos que en los grandes observatorios del día penetran y escudriñan hasta en las nebulosas más lejanas. Ahora, te pregunto: ¿Hubieran pensado los griegos, coetáneos nuestros

y que en las serenas noches del Atica contemplaban las constelaciones y observaban los movimientos de los planetas, con el mismo criterio con que hoy lo hacemos ante las portentosas revelaciones del espectroscopio y de la fotografía estelar? Es claro que sí; porque entonces ante los ojos extrahumanos de nuestros maestros, desde Pitágoras hasta Ptolomeo, el universo se hubiera extendido como una pompa de jabón que se infla y crece, creciendo desde la concepción mezquina de las esferas pitagóricas, hasta la infinita idea de los universos-islas y de las nebulosas en número indefinido. Pero como esto no ocurrió, para los filósofos, nuestros maestros, que sólo poseyeron ojos mortales, las ideas de las escuelas filosóficas griegas, a este respecto, fueron limitadísimas, en comparación con lo que hoy piensan los modernos filósofos, que palpan el infinito, por decirlo así, a través de las revelaciones de los astrónomos. Luego es evidente que los progresos de la Óptica que han sustituido poco a poco al poder creciente de penetración visual, que he supuesto para los antiguos astrónomos de nuestra Academia, constituyen elementos nuevos de conocimiento, que nos permiten nuevas ideas y aún formas nuevas de nuestro entendimiento. Por eso, hoy creemos en la capacidad creciente de este entendimiento, para la cual no es posible concebir límites, pues no podemos fijarlos para estos mismos progresos.

TIMÆUS.—Pláceme el que me hayas suministrado, sin quererlo, un admirable ejemplo para explicar mi tesis. En efecto: ¿qué idea se formaron del universo los antiguos filósofos? Tú mismo lo has expuesto al citarnos anteriormente las palabras de Parménides de Elea: “No hay espacio vacío, todo está lleno del *ser*. La realidad es un *plenum* continuo, inmóvil, aparentemente finito y esférico”. Evidentemente, estas palabras significan que de antaño se pensaba como lo hacen hoy los científicos que han creído en un universo de determinada curvatura y limitado, pero que se expande sin cesar para colmar ese vacío, ese nada que nos repugna. En realidad de verdad, ¿qué se ha ganado desde la época de la escuela eleática hasta ahora? ¿Poseemos hoy un concepto más exacto y completo del espacio que el que tuvo Parménides? ¿Han mejorado nuestras ideas, al respecto, con el concurso de esos admirables telescopios modernos que nos permiten sondear los espacios estelares más allá de donde alcanza nuestra imaginación, y que provistos de espectroscopios potentes nos indican con qué velocidad se alejan de nosotros las más lejanas nebulosas? Póngolo en duda.

Como muy bien se echa de ver, la necesidad del éter que han sentido los físicos modernos, también preocupó a Parménides de Elea, quien pensó que todo está lleno del *ser* en forma absolutamente continua y *etérea* y quien se anticipó muchos siglos a aquellos que se imaginan, hoy día, un universo esférico y expansivo, basándose en informaciones espectroscópicas que se dicen de altísima precisión. De esto deduzco que con tu ejemplo sólo me demues-

tras, una vez más, que en cuestiones relacionadas con los fundamentos de nuestro conocimiento, los progresos de la experimentación y del material científico con que ayudamos a nuestros sentidos, han ensanchado, ciertamente, el campo de nuestra visión, pero no lo han hecho cambiar de sitio.

PARMENIDES.—En este punto tienes razón, y por ello he considerado ocioso cualquier esfuerzo verificado para llevar a la Astronomía al lugar indeciso del conocimiento en donde se confunden la realidad y la fantasía, como ocurre en el límite misterioso que separa la región de los sueños de la existencia positiva y consciente. Aquí sí estoy con Cristias, al pensar que esas nuevas y peregrinas ideas sólo pudieran aceptarse como resultado concluyente de numerosas experiencias, distinguiendo cuidadosamente entre los resultados de tales experiencias y la interpretación que se da de ellos. En Astrofísica, desde los trabajos de Hubble en 1925, se considera que las nebulosas espirales visibles con nuestros más poderosos telescopios, son universos-islas análogos al universo de que forman parte nuestra tierra, nuestro sol, nuestra Vía Láctea y todas las estrellas que constituyen nuestra “Galáctica”. Según los astrofísicos más modernos que han determinado las velocidades de cerca de cien de esas nebulosas espirales, principalmente con la ayuda del gran telescopio del Monte Wilson, parece que esas nebulosas se alejan de nosotros con velocidades próximas a un séptimo de la velocidad de la luz. Pero Hubble presentó en 1929 una ley por la cual esta velocidad es proporcional a la distancia; cada aumento de un millón de años-luz la incrementa en 170 kilómetros por segundo. Así, y de acuerdo con concepción tan peregrina, las galácticas parece que se alejan unas de otras con velocidad creciente, para dar por conclusión un *universo que se expande* y que ha doblado su radio en menos de un billón de años (*). Ahora, es preciso hacer notar que cuando esas galácticas alcanzan una velocidad igual a la de la luz, no podrán ser vistas por nosotros, y entonces a los ojos humanos tales galácticas y su conjunto todo, serán meros fantasmas. He ahí la concepción moderna del universo, concepción fantasmagórica y que poco se diferencia de una monstruosa pesadilla!

¿Y sobre qué descansa tan original doctrina? Únicamente sobre el desalojamiento de las líneas del espectro examinado por medio del telescopio del Monte Wilson. Pero, ¿quién puede decir que este desplazamiento de las líneas espectrales no se interprete mañana de otra manera? Por lo que hemos visto hasta ahora, el espectro lumínico es suficientemente misterioso como para dar lugar a dudas positivas a este respecto, y para movernos a no aceptar lo que él indique sino con muchísimas reservas. Por eso, Escanglon, actualmente de la Dirección del Observatorio de París, piensa que el fenómeno ondulatorio que llamamos *luz*, no es constante para todas las regiones del espacio, y así cree, fundadamente, que las medidas que efectuemos sobre la luz

(*) “L'Univers”—1937. Paul Coudere.

que procede de las estrellas no tienen por qué ser las mismas que las hechas en la superficie terrestre. Evidentemente este raciocinio parece muy puesto en razón, y por ello me siento, al considerar estas cosas de la Astronomía moderna, tentado a pensar con el vulgo:

“El mentir de las estrellas — es un seguro mentir; — porque ninguno ha de ir — a preguntárselo a ellas”.

CRISTIAS.—Has caído en tus propias redes, o mejor, los relativistas, tus amigos, que pusieron los fundamentos para este desquiciamiento de ideas, son hoy víctimas de su propio invento: y así, ni tú, ni ellos tenéis derecho para asombraros de nada. O, si nó, díme: ¿quienes fueron los inspiradores, más o menos remotos, de eso que has llamado *monstruosa pesadilla*? Einstein y sus seguidores. Para probarte tal aserto, me basta con leerte el siguiente párrafo:

“La última hipótesis de los astrofísicos modernos procura resolver la contradicción entre lo finito y lo infinito apelando al universo curvo. Según ellos, curvatura y esfericidad son una ley de la naturaleza, y así el universo es una inmensa esfera en donde toda radiación se propaga encurvándose según cierta curvatura, y en donde el rayo luminoso que nos viene de las nebulosas distantes, no es una línea recta sino una curva. Así, se concluye de ésto que la luz que nos llega de una estrella, alcanza a la tierra procediendo de dos opuestas direcciones: por un lado ella sigue la curva directa, y por el otro recorre el circuito completo de la esfera”. (*“In consequence, light from a star ought to arrive at the earth from two opposite sides, from one side by the direct curve and from the other by making the complete circuit of the sphere”*) (*).

Como ves, caro Parménides, los principios relativistas que has defendido con tanto calor en esta discusión, si van dando frutos sospechosos y que a tí mismo acaban por repugnar. Porque si aceptamos que la luz no se propaga en línea recta, si damos fé a las Geometrías no euclídeas, si raciocinamos sobre la esfera confundíendola con el plano, si creemos en que el tiempo es una cuarta dimensión del espacio, si nos confirmamos en el postulado de Einstein, si damos peso creciente a las interpretaciones que del espectro hacen los físicos y que cada día se tornan más complicadas y confusas, si pensamos con Plank, si aceptamos las conclusiones de Dirac relativas a la Mecánica ondulatoria, si llegamos a creer en la posibilidad de una energía negativa, y si, en fin, rechazamos de plano toda la Mecánica clásica, es forzoso que terminemos en el *universo fantasma* de que has hablado y que te parece una monstruosa pesadilla.

TIMÆUS.—Y todo esto —después de las admirables conquistas de la Ciencia experimental que entusiasman a Gorgias y de la síntesis matemática de tan prodigioso alcance que ha defendido Parménides— para llegar al mismo punto de donde partió

la escuela eleática, con menos pretensiones y mejor concepto filosófico! Porque después de la obra realizada por los sabios durante los últimos treinta años para modificar completamente nuestra concepción de la luz, de la materia, de la energía, del universo entero, lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño continúan siendo tan inconmensurables como en un principio, y lo que fue misterio insondable para nuestros coetáneos de las escuelas filosóficas griegas continúa siéndolo para los científicos de última hora, que, en realidad de verdad, sólo han logrado crear más misterios en lo microscópico y en lo macroscópico, confundiendo, de paso, todas nuestras ideas relativas al determinismo de la Ciencia clásica, a la conservación de la materia y de la energía, a lo continuo y a lo discontinuo, al tiempo y al espacio.

Ya os he dicho, caros amigos, que al oír vuestras interesantes disertaciones he entendido muy poco de ellas, porque me siento, sin duda, más aferrado a nuestro pasado claro y luminoso, a nuestra lógica ateniense y a las enseñanzas de nuestro maestro, que vosotros, y porque cuando os he oído hablar he reflexionado más sobre las posibilidades de nuestro entendimiento, que sobre las mismas doctrinas que habéis expuesto. Así, no me asombran las contradicciones que ha anotado Cristias en el aparentemente armonioso edificio de la Ciencia contemporánea, ni me sorprenden las conclusiones que han acabado por inquietar a Parménides, ni me entusiasman los progresos técnicos que han deslumbrado a Gorgias. Mientras vosotros habláis exponiendo cosas muy sabias y sutiles yo pienso en los alcances de la razón humana que encuentro hoy tocada de necio orgullo. Según oí a Parménides, las modernas teorías científico-filosóficas pretenden haber hallado la fórmula feliz que nos interpreta el universo; pero yo, informado en las enseñanzas de antaño y en la firme creencia de que esa razón es naturalmente limitada, me atrevo a pensar con Laplace: “que una inteligencia que, para un instante dado, conociera todas las fuerzas de que está animada la naturaleza y la situación respectiva de los seres que la componen, si, desde luego fuese ella suficientemente vasta para someter todos estos datos al Análisis, abrazaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del más leve átomo: nada sería desconocido para ella, y así el porvenir como el pasado estarían presentes a sus ojos”. (*“Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'Analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux”*).

No sé qué penséis vosotros de la claridad mental de Laplace, pero, en todo caso, me atrevo a creer que esa inteligencia, de que nos habla uno de los más grandes matemáticos de todos los tiempos, no

es la inteligencia humana. Tal vez ni nuestros mismos dioses fueran capaces de esa concepción suprema, que está ciertamente reservada para un espíritu único y absoluto.

Mas esta consideración no ha sido obstáculo, ni lo es hoy día, para que muchos seguidores entusiastas del relativismo y de las doctrinas revolucionarias modernas, continúen en sus propósitos, ideando nuevas hipótesis con pertinacia digna de mejor causa y audacia creciente, a medida que las verdades que pretenden descubrir se muestran más reacias y difíciles.

Entre estos entusiastas hay algunos que modifican el átomo de Bohr, ya interpretado por la Mecánica ondulatoria, como nos lo explicó Parménides, diciendo que “la relación entre dos protoenergías (velocidades al cuadrado) se comporta exactamente como una masa, y que esa relación procede de la ley de la hipotenusa, pudiéndose imaginar así un proceso para la formación de la materia”. Este proceso interpretado por fórmulas muy concretas, según lo debe pensar Parménides, nos habrá de conducir entonces, y teniendo en cuenta el postulado de Einstein, “a considerar con existencia real una protoenergía que dé fundamento real a la masa de los cuerpos y que constituya el universo”. “Este valor debe ser un poco mayor del que corresponde a la propagación de la luz, tal como se conoce en nuestro planeta, porque la protoenergía de la luz conocida por los hombres debe estar influida por la protoenergía que implica el movimiento del sistema solar, y aún del sistema estelar a que pertenecemos...” Como resultado de este proceso parece, según uno de los autores a que me refiero, que se explica el átomo como si estuviera constituido por capas o estratos de electricidad a diferentes niveles de energía. Para ponerlos esto de manifiesto leo en alguna parte: “En cada corpúsculo hay una masa unitaria de electricidad positiva y otra de electricidad negativa. El potencial es simétrico; por consiguiente, es de esperar que el corpúsculo sea esférico y que las masas (+1) y (−1) sean concéntricas. Pueden estar en el centro o circundar el corpúsculo. Se tiene, pues, que cada átomo está rodeado de algo análogo a un verdadero condensador eléctrico que tendrá también las propiedades de un resonador. Es fácil comprender que este resonador será el asiento de los distintos fenómenos que se observan en la materia y que ponen en relación unos átomos con otros; esa capa es apta para transformar la energía, para determinar y conducir el calor, la electricidad y la luz, y para producir el magnetismo; permitirá el paso de la luz y del calor a través de los cuerpos; explicará el estado cinético de los gases, el movimiento browniano, la desintegración de la materia, etc.... Tiene, pues, en reducido espacio, las propiedades del ETER de los físicos, y por tal motivo, se denomina PERIETER”.

PARMENIDES. (Interrumpiendo con vehemencia).—No sé de dónde has sacado lo que nos estás leyendo y que estimo como un conjunto de despropósitos sin fundamento y acomodados sin necesidad,

para dar idea de que se trata de otra nueva teoría de la materia. Jamás había oído hablar de tales *protoenergías*, ni puedo imaginarme cómo una velocidad al cuadrado sea algo distinto de una velocidad. Esa ley de la hipotenusa me hace pensar en que los autores de que me hablas se imaginan tales *protoenergías* como de dos clases: protoenergía ondulatoria y protoenergía cinética para deducir que en todo fenómeno la *protoenergía resultante es igual a la protoenergía ondulatoria menos la protoenergía cinética*. ¿Será posible que sobre fundamentos absolutamente en desacuerdo con lo que indica el sentido común, se pretenda darnos una teoría racional que venga a sustituir el concepto de la materia que nos ha dado ya la Mecánica ondulatoria? ¿No se ve claro que los grandes científicos que han venido modificando la idea primitiva del átomo de Rutherford, lo han hecho obligados por la necesidad de interpretar fenómenos cada vez más complejos y difíciles? ¿Pensaron ellos alguna vez en ese átomo que se asimila a un condensador eléctrico mediante la presencia de un *periéter*, y por la cual este condensador goza de las propiedades de un resonador para explicarnos todos los fenómenos físicos?

CRISTIAS. (Con ironía cortésmente disimulada).—Calma! calma, querido Parménides! Comprendo tu exaltación al oír lo que nos lee Timæus con el propósito de hacernos ver por dónde se desquician los entendimientos que pretenden salvar esa valla del conocimiento impuesta por nuestra misma capacidad cognoscitiva. Pero recuerda que tú mismo, no há mucho, ridiculizabas lo que yo he llamado el *buen sentido*, tratando de probar que lo que está en las fórmulas matemáticas es verdadero aunque no se acomode con la realidad. Cuando yo te preguntaba: si nó nos atenemos a los hechos de la experiencia, como lo quiso Galileo, ¿qué criterio de verdad habrá de guiarnos en el conocimiento que buscamos de las cosas?, tú contestabas: El criterio absolutamente matemático. Ahora bien: después de un detenido examen de las exposiciones de quien pueda hablarnos de la velocidad al cuadrado como de una forma de la energía, y de la relación de dos energías como la expresión de una masa, resulta claro que en las fórmulas que tal expresen bien puede no haber contradicción, pues las fórmulas matemáticas son un lenguaje concreto y un procedimiento lógico del espíritu, por el cual deducimos una verdad con el mismo fundamento con que resolvemos un silogismo cuya verdad depende de las premisas sobre las cuales se asiente. Por eso te dije, en alguna parte de esta discusión: si $a > b$, de acuerdo con una hipótesis, puedo poner lógicamente $b < a$, pero si con otra hipótesis confirmo este último resultado, lógicamente también vuelvo a deducir que $a > b$. ¿Querrá esto decir que en la realidad a es mayor que b , porque no hay contradicción en estos raciocinios? Claro que nó.

Si partimos del concepto de la *independencia del movimiento*, “considerando al movimiento con existencia de por sí, sin relación con la materia y antes

(*) “The Universe and matter”—Louis Jarry. Annual Report of the Smithsonian Institution. 1928.

de toda materia, se deduce que la energía tiene existencia independiente". Además, si aceptamos que una velocidad al cuadrado es una energía (protoenergía), podemos matemáticamente, y haciendo intervenir otras hipótesis acomodaticias, "notar que esta energía es de dos clases, llegando a establecer que sus composiciones producen los entes fundamentales de la Física: luz, materia y electricidad".

Así, pues, quien siguiendo las tendencias modernistas, llegue a las conclusiones matemáticas de que *el espacio es energía y la fuente de toda energía, de que el tiempo es immanente al espacio, de que la materia es un caso particular de la propagación, y de que la electricidad es el caso lindante entre la propagación y la materia* (acabando por explicar la generación de esa materia) —todo ello después de haberse fundado en la independencia del movimiento—, puede no haberse equivocado en sus fórmulas, pero, probablemente, está muy lejos de la verdad.

PARMENIDES.—Claro que sí, porque todo lo que me cuentas es un despropósito. ¿Cómo podremos llegar a concebir el movimiento sin nada que se mueva? ¿Qué significado tiene eso de que el espacio es energía? ¿Podrán caber tales ideas en cabeza humana? Ciertamente al pensar en que estas cosas puedan decirse, llego a dudar de la bondad de las matemáticas como instrumento de conocimiento.

CRISTIAS.—Se han invertido los papeles, porque cuando Timæus y yo hablamos de lo que es posible afirmar si se olvidan los dictados del buen sentido y las enseñanzas de la intuición, tú te asombras de ello y reaccionas como lo he hecho yo al oír tus defensas del relativismo contra los fundamentos de la sana Filosofía, de aquella Filosofía que nació con el genio de nuestros coetáneos de Grecia y que ha venido sirviendo hasta ahora de guía y sostén a la investigación científica. Ciertamente, no he pretendido al impugnar tus afirmaciones en esta discusión promovida por Gorgias, hablar por hablar y desconocer gratuitamente los méritos que han adquirido quienes procuran descender el velo del misterio en estas épocas de tan encontradas aspiraciones. Esto sería un escepticismo injustificado y hasta cierto punto malévolos. Lo que he intentado al contradecirte es llevarte al mismo terreno en que se ha colocado Timæus con sus observaciones referentes a la capacidad cognoscitiva de nuestro entendimiento.

Tanto los relativistas como los físicos empeñados en darnos una idea de la naturaleza en su concepción íntima y de resolvernos en una fórmula la solución del universo, son dignos de elogio y han procedido de buena fé. Por tanto, sería un triunfo apuntable a la civilización actual, el que llegaran a vencerse de que es preciso, en presencia de eso que se ha llamado: *bancarrota de la Ciencia*, volver a los fundamentos del conocimiento, con ánimo desapercibido, sin prejuicios y con espíritu de sinceridad humilde.

Tal vez al obrar así vencieran esa ilusión subjetiva que los embarga por causa de una herencia mental adquirida en el ejercicio de la investigación cien-

tífica por espacio de varias generaciones, para que, según lo enseña Bergson y nos lo ha explicado Timæus, el *sentido de lo real* vuelva a prevalecer en el cerebro humano.

GORGAS.—Me has convencido por entero. Al oír las últimas exposiciones que habéis hecho, queridos amigos, he llegado a la conclusión de que hice mal al promover esta discusión ociosa, por cuanto nada hemos ganado en ella, como no ganaremos nada con esperarnos al último descubrimiento que habrá de dar en tierra con la última hipótesis, según nos lo dijiste ¡oh Cristias! en un principio.

TIMÆUS.—Sí hemos ganado al discutir sobre cuestiones tan interesantes, porque, al fin y a la postre, tornamos todos a la sana Filosofía de nuestros mayores, reconociendo, hasta los más reacios, como Parménides, que el camino que sigue la Ciencia contemporánea no parece el más apropiado para llegar a la verdad. Actualmente la Ciencia se empeña en dilucidar lo más abstruso y difícil, aquello que está colocado fuera del límite de nuestra capacidad cognoscitiva, y olvida mil fenómenos que constantemente nos asedian, contra los que tropezamos a diario, y de los cuales los sabios no se ocupan en lo más mínimo, como si no existieran o carecieran de importancia. Poco entiendo de Física, pero no se me oculta que el noventa por ciento del mundo material que nos rodea nos es totalmente desconocido. ¿Por qué, pues, encapricharse en descubrir lo infinitamente grande y lo infinitamente pequeño, cuando nadie ha dado aún la explicación más elemental relativa a la formación de los cristales, a los complicados fenómenos piezoeléctricos, al papel de los dieléctricos en los campos electrostáticos según las ideas que sugiere el condensador de Franklin, al comportamiento misterioso de los *electretos*, o cuerpos que pueden retener indefinidamente una diferencia de potencial entre sus polos, al movimiento browniano, a infinidad de fenómenos de la electrolisis, a los hechos más elementales que tocan con la Mecánica molecular: la cohesión, la capilaridad, las reacciones elásticas, et sic de cæteris?

Y lo peor de todo es que una vez abierta la brecha por donde empezaron a penetrar dentro de la investigación científica, hipótesis y teorías cada vez más atrevidas y desconcertantes, todo mundo se fue creyendo con el derecho de improvisar, de revolucionar, de imaginar cosas novísimas y de demoler lo antiguo sin reparos de ninguna especie, con el propósito, al parecer, de hacerse fácilmente a amplio renombre científico, como ocurre también en el campo de las artes y las letras donde el buen gusto ha sido en los tiempos modernos, víctima de la audacia y de la falta de preparación seria.

Esto es lo que hemos venido a sacar en limpio después de esta discusión, que hemos desarrollado con sinceridad y sin prejuicios, pues no nos unen a los humanos de ahora vínculos de partidismo, ni intereses bastardos.

PARMENIDES. (Reflexionando serenamente). —Tal vez, tenéis razón; tal vez, si bien se mira, habría sido mejor para el progreso efectivo de la Cien-

cia, el que las mentes superiores que se han ocupado de los hechos experimentales más inquietantes de la técnica contemporánea, se hubieran esperado a mayor acopio de hechos, a más sesuda y reposada investigación, a que el método y el orden presidieran esa labor de desmonte, demolición y reconstrucción de que nos ha hablado Eddington. Evidentemente, la Ciencia moderna está en crisis, a pesar del esfuerzo de los grandes pensadores que he defendido contra vuestros ataques.

CRISTIAS.—No ha habido, en el fondo, tales ataques. Quien ataca está movido por la pasión, y nosotros en este debate no hemos tenido derecho de apasionarnos, por cuanto vemos, o debemos ver, las cosas desde lo alto, en una perspectiva que ha abarcado todas las épocas. Tal vez no hayamos sabido siempre expresar nuestras ideas con la claridad debida, por ser también nosotros humanos falibles y de entendimiento débil y vacilante, muy distante de esa concepción superior que concedemos a nuestros dioses del Olimpo. Mas, al impugnarnos y contradecirnos, siempre supimos en esta discusión conservar las formas discretas y respetar nuestra amistad. Estrechémonos las manos, caros amigos, con fraternal sentimiento y penetrados de nuestro común amor a la verdad.

GORGAS.—En buena hora sea así. Pero al hacerlo, volviendo a perdernos en el pasado, sean nuestros votos por el progreso humano, y por que pronto termine esta época dura de transición en que parece que vacila y está expuesta a naufragar la civilización actual. En algún libro viejo, vida e historia de un pueblo, leí antaño que para perder al humano

NOTA.—Esta exposición se ha hecho agrupando conceptos de distintos autores que se han ocupado de los asuntos que se relacionan con las teorías científicas modernas, miradas desde diversos puntos de vista, con el propósito de dar al lector poco versado en estas cuestiones, una noción de ellas tan completa como sea posible, dentro de los límites de un corto ensayo, impuesto por el reducido espacio disponible en esta entrega de la Revista.

Naturalmente, por lo limitado de dicho ensayo, se han quedado muchos e interesantes tópicos sin tratar, y otros se han expuesto muy ligeramente, sin profundizar en ellos como fuera debido y como correspondiera a un estudio de mayor valor que el presente escrito, que no tiene importancia alguna.

Como el propósito de este trabajo ha sido el de vulgarizar cuestiones que por su índole se salen de la literatura corriente, se escogió la forma dialogada, para hacerlo más ameno. Y al obrar así, el autor se reservó su propio y personal criterio, exponiendo solamente, como se ha dicho, opiniones ajenas puestas en boca de sus interlocutores.

Mucho se ha hablado, y se habla aún, de la revolución fundamental que sufren ahora las Ciencias físicas, pero tal vez pocos de los que se ocupan de ella tienen un concepto preciso de las varias teorías que se discuten en las Academias de los científicos. Por eso se ha estimado conveniente publicar en esta Revista una revisión de conjunto que ilustre la opinión de sus lectores, en un esfuerzo de vulgarización que necesita, naturalmente, ser mirado con indulgencia.

BIBLIOGRAFIA

- "La bancarrota de la Ciencia"—Julio Garavito A.
- "L'évolution de l'électron"—Louis de Broglie.
- "Electricity and matter"—J. J. Thomson.
- "Optica Astronómica"—Julio Garavito A.
- "Concepts of modern Physics"—J. B. Stallo.
- "El Mesotrone e l'atomo sferico ragliante"—Emilio Ungania.
- "La Ciencia y la hipótesis"—Henri Poincaré.
- "La teoría de la relatividad y las experiencias del Profesor Miller". Charles Lallemand.
- "Teoría de la aberración de la luz"—Julio Garavito A.
- "Nociones de Mecánica clásica y relativista"—P. Enrique de Rafael.
- "Lo continuo y lo discontinuo"—Jacques Chevalier.
- "La paradoja de la Óptica matemática"—Julio Garavito A.
- "Les théories d'Einstein"—Lucien Fabre.
- "El valor de la Ciencia"—Henri Poincaré.
- "L'Architecture de l'Univers"—Paul Coudere.
- "Les savants et la Philosophie"—Gaston Rageot.
- "Materia e spirito"—Emilio Ungania.
- "Phénomènes photo-électriques"—Maurice de Broglie.
- "Les phénomènes thermioniques"—Georges Déjardin.
- "L'étude des atomes et de leurs transmutations"—Jean Thibaud.
- "L'induction moléculaire"—Jean Perrin.
- "La mecánica de los electrones"—Julio Garavito A.
- "Radioactivity and atomic theory"—Lord Rutherford.
- "The electron"—Karl T. Compton.
- "Constitution of the stars"—Stanley Eddington.
- "Crítica a la hipótesis de los electrones"—Jorge Alvarez Lleras.
- "Relatividad y éter"—Gaetano Ivaidi.
- "Las Geometrías planas no euclídeas"—Julio Garavito A.
- "The new outlook in Cosmogony"—J. H. Jeans.
- "The Einstein theory of Relativity"—Henry Norris Russell.
- "Space, time and gravitation"—Stanley Eddington.
- "Relativity on trial"—Science and Culture.
- "The world as I see it"—Albert Einstein.
- "Nota sobre la fórmula fundamental de la Trigonometría plana no euclídea en la Geometría hiperbólica"—Julio Garavito A.
- "The universe and matter"—Louis Jarry.