

REVISTA DEL COLEGIO SUPERIOR DE SEÑORITAS

DIRECTOR: MOISÉS VINCENZI
COLABORADORES:
LOS PROFESORES DEL COLEGIO

AÑO I

NOVIEMBRE DE 1929

NÚMS. 7-8-9

Las Teorías de Einstein

*Trabajo dedicado a los distinguidos
y estimados compañeros
Moisés Vincenzi y Juan José Monge.*



José Figuer del Valle

Profesor de Estado
Ingeniero Industrial (Mecánico - Químico)

REVISTA DEL COLEGIO SUPERIOR DE SEÑORITAS

DIRECTOR: MOISÉS VINCENZI

COLABORADORES:
LOS PROFESORES DEL COLEGIO

AÑO I

NOVIEMBRE DE 1929

NÚMS. 7-8-9

Las Teorías de Einstein

*Trabajo dedicado a los distinguidos
y estimados compañeros
Moisés Vincenzi y Juan José Monge.*



José Figuer del Valle

Profesor de Estado
Ingeniero Industrial (Mecánico - Químico)

REVISTA DEL COLEGIO SUPERIOR DE SEÑORITAS

DIRECTOR: MOISÉS VINCENZI

COLABORADORES:
LOS PROFESORES DEL COLEGIO

AÑO I

NOVIEMBRE DE 1929

NÚMS. 7-8-9

Las Teorías de Einstein

Cómo es Einstein — Datos biográficos

En Estados Unidos, en Italia, en Inglaterra, en España, en Japón, la llegada de Einstein fué acogida con un entusiasmo y una admiración tan vibrante como respetuosa; Francia al recibir al sabio alemán ha coronado su gloria.

Desde que en París se supo la noticia, los periódicos, las conversaciones sólo versaban sobre la teoría de que es autor este gigante del pensamiento.

Fué un acto de verdadero valor el realizado por el Colegio de Francia al organizar la visita de Einstein a París. Hacía muy poco tiempo que la guerra había terminado y Einstein trabajaba habitualmente en Berlín.

Pero su actitud durante y después de la guerra ha sido tal, que no hay un francés, que no hay un hombre verdaderamente libre, que no le rinda respeto y admiración. Cuando los más notorios intelectuales alemanes al principio de la guerra firmaron el famoso manifiesto de *Los noventa y tres*, Einstein rehusó asociarse a este acto que reprobó enérgicamente; ésta fué la causa del cordial recibimiento del pueblo francés.

Einstein nació en 1879 en Ulm (Wurtemberg) de una familia de judíos alemanes. Hasta los diez y seis años hizo sus estudios en un colegio de Munich, después marchó con sus padres a Milán y luego a Suiza donde continuó estudiando. De 1896 a 1900 fué alumno del Politécnico de Zurich, donde no pasó de un estudiante mediocre. Poco tiempo después obtenía la naturalización suiza y en 1902 ocupó un empleo en la oficina de patentes en Berna, hasta 1909. En el año 1905 y teniendo sólo *veintiséis años* publicó una memoria, que en pocas páginas encerraba los fundamentos de la *Teoría de la Relatividad Restringida*, punto de partida de la *Teoría de la Relatividad Generalizada* que debía terminar en 1915, en plena guerra. De 1909 a 1911, Einstein desempeñó cátedras en las Universidades de Zürich y Praga, de donde salió

para volver como profesor en 1912, al Politécnico de Zürich, donde años antes había sido alumno, calificado de *escasa aptitud para las ciencias*. En los comienzos de 1914 la Academia de Ciencias de Berlín, asombrada de sus brillantes trabajos, le buscó para ofrecerle la dirección de los laboratorios de investigaciones físicas, puesto que desempeñaba el sabio holandés Van't Hoff. En 1915, como hemos dicho, dió fin a las líneas principales de una obra que le colocó a la cabeza de los científicos del mundo. No fué profesor en Berlín, pero sí en la Universidad de Leyde (Holanda).

Dice el astrónomo Charles Nordmann: «La invitación hecha a Einstein por el Colegio de Francia, fué vista con agrado por el gobierno francés, el cual participó oficialmente en los honores que se dispensaron al eminente profesor. Siguiendo la antigua costumbre francesa de honrarla sabiduría, cualquiera que fuera la nacionalidad del sabio, Luis XIV llamó al danés Roemer, que descubrió y midió en el Observatorio de París la velocidad de la luz; al italiano Casini; al profundo y grande Huyghens, holandés, a pesar de estar en guerra con Holanda, como hubiera llamado a Einstein genial y valiente.»

El ya citado astrónomo Nordmann, que acompañó al autor de la teoría de la relatividad durante su estancia en París, nos da preciosos detalles para conocer física y moralmente a Einstein; dice así: «Sobre el húmedo y fangoso suelo de la estación de Jeumont, donde esperábamos M. Langevin y yo, el tren en que llegaba el poderoso reconstructor de la ciencia moderna, hablábamos emocionados de la importancia que tenía para la ciencia y la fraternidad de los pueblos la visita de un hombre tan eminente. Un profesor del Colegio de Francia, por grande que sea su mérito, y un astrónomo del Observatorio, era un modesto cortejo para recibir a su entrada en Francia a aquél cuyos descubrimientos luminosos apasionaban a todos los intelectuales de la tierra; era poco si se piensa en los honores con que se acostumbraba recibir tantas nulidades, tantas falsas glorias henchidas de viento. Pero así lo había solicitado el propio Einstein.

Pero si bien es cierto que humilde fué el recibimiento en la frontera francesa, es preciso confesar que era inmensa la entusiasta curiosidad con que todo el país volvía sus miradas a Einstein.

He aquí el rápido. Sin trabajo descubrimos a Einstein. Venía muy tranquilamente sentado en un departamento de *segunda clase*. Abrazos efusivos. Yo siento mi corazón latir fuertemente al estrechar la mano que ha escrito las más hermosas verdades después de Newton. Mi emoción es intensa cuando cruzo mi mirada con la de un hombre cuyos ojos han penetrado en el misterio del Universo.

La primera impresión que deja Einstein es la de una asombrosa juventud. Es alto (cerca de 1 metro, 76), ancho de espaldas. La cabeza, esta cabeza de donde el mundo ha salido reformado, atraé y fija la atención. El cráneo es netamente, extraordinariamente braquicéfalo, ancho y como huyendo hacia la nuca. He aquí una prueba que demuestra no ser cierta la afirmación de algunos viejos frenólogos y biólogos, que dicen ser los cráneos dolicocefalos los acaparadores del genio. El cráneo de Einstein se asemeja al de Renán, que también era braquicéfalo. Como Renán, tiene Einstein la frente vasta, de an-

chura excepcional, su forma esférica llama la atención más que su altura. Algunos pliegues horizontales surcan esta frente, y en los instantes de concentración del pensamiento otros dos profundos pliegues verticales se elevan desde las cejas.

El cutis es terso, mate, moreno muy claro y luminoso. Un pequeño bigote negro muy corto sombrea una boca sensual, de labios rojos y bastante grande y en la que brilla una permanente y dulce sonrisa. La nariz es de un puro dibujo y ligeramente aguileña.

Bajo las cejas inclinadas que parecen comenzar hacia el medio de la frente, aparecen dos ojos azules de expresión melancólica y grave que contrasta con la sonrisa de su boca. La mirada es generalmente lejana, como mirando al infinito, ligeramente vaga a veces. La expresión general del rostro tiene algo de inspirado y de triste. Los cabellos muy negros, sembrados de hilos de plata, indisciplinados, cayendo en bucles hacia la nuca y las orejas, después de elevarse rectos como una llama inmóvil en su ancha frente.

En total, la impresión es de una desconcertante energía juvenil, muy romántica, que evoca la figura de un Beethoven adolescente; pero cuando Einstein ríe se diría un estudiante en vacaciones.

Einstein habla muy bien el francés, como pudieron juzgar sus oyentes; se expresa con una cierta lentitud que no carece de encanto y se comprende que busca a veces sus palabras, jamás sus ideas. En América e Inglaterra dió sus conferencias en alemán, pues no conoce suficientemente el inglés. En Italia habló en italiano, en español en España.

Charlamos mucho durante el viaje, pero sólo de asuntos científicos, de los electrones, de los isotopós, de la teoría del quiantum, a propósito de la cual dijo Einstein: «Es terriblemente difícil; para mí la teoría de la relatividad, no ha sido más que una especie de aviso que he dado para que se estudie y se examine.» No se puede hablar con más modestia.

Llevé después la conversación hacia el eclipse de sol que debía tener lugar algunos meses más tarde y que sería visible en Australia y en una parte del Pacífico. Ya he tenido ocasión de explicar que una de las más asombrosas confirmaciones de las previsiones teóricas de Einstein, fueron las observaciones hechas por los astrónomos ingleses en el eclipse total de sol que se verificó el 29 de mayo de 1919, según las cuales las estrellas observadas cerca del disco eclipsado del sol tienen su luz desviada y como atraída por éste, contrariando a todas las ideas clásicas.

Para la ciencia clásica la propagación de la luz era siempre rectilínea, y uno de los más bellos descubrimientos de Einstein es haber anunciado esta desviación desconocida y confirmada por la observación. Le preguntamos si formaría parte de alguna de las misiones astronómicas que debían observar el eclipse del 10 de setiembre próximo (esta conversación se verificaba en abril de 1922), con el fin de confirmar una vez más las teorías relativistas.

—«No, respondió Einstein, yo no iré, yo soy mucho menos práctico en el manejo de los aparatos que los distinguidos sabios que forman las misiones.»

—¿Pensáis, pregunté yo, que esta vez también se confirmarán vuestras ideas?

—Sólo responderé lo que otras veces he dicho: si no se confirmasen me asombraría *un poco*.

Nos habla después de los recientes trabajos de un joven matemático que defiende el universo pentadimensional o sea con cinco dimensiones, pero en una dimensión privilegiada, lo que constituiría un continuo cilíndrico; nos habla también de los estudios de Weyl, que ha intentado aplicar la relatividad a los fenómenos eléctricos.

De cuando en cuando, y después de haber descrito con animación una experiencia, Einstein se inclina hacia mí, que estoy sentado enfrente de él, (Langevin está a su lado) y pensando que sus palabras pueden no haber sido oídas con el ruido del tren, me pregunta con encantadora cortesía:

—«¿Usted me oye? Y añade: los físicos somos en verdad un poco locos, pero no importa; como los caballos de carrera, siempre avanzamos». Y suelta una alegre carcajada.

Durante este viaje de cuatro horas, Einstein sólo expresó un deseo: visitar las regiones devastadas por la guerra.

Nos habla luego de la gran dificultad de exponer su teoría, de hacerse comprender sin el empleo de fórmulas matemáticas, «nada más que con palabras». Como él mismo dice, dificultad que él considera se ha exagerado, y nos cuenta un concurso organizado por un periódico americano para explicar en menos de tres mil palabras y sin fórmulas la teoría de la relatividad. «Yo no he conocido quién se atreva, yo mismo no me atrevería.» Y Einstein ríe.

Hacia el fin de la conversación tratamos de las circunstancias del viaje y de las molestias de que ha sido objeto en la defensa de sus ideas. «Mientras las gentes no pasen a vías de hecho, nos dice, poniendo su mano en el pecho, yo no me preocupo y les dejó decir lo que gusten; yo también digo siempre lo que me agrada.»

Uno de nosotros le habla de las opiniones de los intelectuales alemanes del *partido de la izquierda*. «No sé lo que queréis decirme, contesta sonriendo: sólo sé que la izquierda es una cosa polidimensional.»

Le contamos la curiosidad intensa con que se le espera, el enorme interés que despierta sus ideas y su persona, y responde con estupor no fingido, ¡Es increíble!

Mas ya estamos en la estación del Norte; es preciso poner término a una conversación tan interesante. Einstein, que se encuentra un poco fatigado y que quiere escapar a las indiscreciones de la publicidad, manifiesta el formal deseo de no descender en el andén de la estación donde fotógrafos y periodistas, personalidades oficiales y diplomáticas le esperan en imponente masa. Ocultamente, como tres ladrones, descendemos en la contra vía; y a través de carros, vías, hilos de hierro y de señales, ganamos una puerta excusada que da al boulevard de la Chapelle, desierto como el Sahara. Einstein, que lleva en la mano su pequeña valija y a quien divierte la escapada como a un niño, toma democráticamente su asiento en el metro y... no podemos menos de reír homéricamente al pasar como un relámpago por debajo de vías y andenes donde la multitud ansiosa le espera.

Tal es el hombre cuyas profundas ideas voy a tener el atrevimiento de esbozar en este folleto.

Las teorías de Einstein

Los grandes fenómenos de la naturaleza, aunque a primera vista se presenten con tan variadas formas, no son más que manifestaciones de un solo hecho.

La óptica, la acústica, el calor, la electricidad y el magnetismo son formas distintas de una fuerza única. Las fórmulas de la mecánica explican los sonidos y los colores, las acciones eléctricas, magnéticas y caloríficas que constituyen según Echegaray: las grandes unidades del mundo material.

El P. Seechi y el físico inglés Bayma, decían hace algunos años: «Todos los fenómenos físicos no son más que apariencias distintas y múltiples, riquísima variedad, combinaciones infinitas de un fenómeno único: *el «movimiento de la materia»*».

A mi modo de ver, las teorías de Einstein tienen como fundamento la unidad de fuerzas físicas, de aquí que consagre ese trabajo a tratar con brevedad de la unidad de fuerzas físicas, admitida hoy por la ciencia moderna.

Estamos en la época de las grandes síntesis científicas, que han llegado a reunir los elementos y manifestaciones fenoménicas más distintas al parecer, en grandes grupos, que a su vez ha constituido el grupo único, fuente y origen de donde proceden los distintos aspectos que el mundo material nos ofrece. Si movimiento etéreo es la luz y la electricidad, movimiento molecular es el calor, como movimiento del aire es el sonido y como hasta las acciones y reacciones químicas son movimientos íntimos de las sustancias.

El concepto matemático de cantidad resplandece en toda transformación física, demostrándose que el color no es una cualidad de los cuerpos, sino la rapidez y el número de vibraciones de elementos matemáticos, que nos dan la nota luminosa cuando del éter se trata, es decir, el color; así como nos da la nota musical si interviene el aire, es decir, el sonido. El grueso de una cuerda y su longitud influyen en la rapidez y amplitud de la onda sonora; el espesor de la onda luminosa y el número de vibraciones produce la variedad de los colores, que no son más que las notas del pentagrama luminoso.

Si 406 diez millonésimas de milímetro de espesor de onda y 734 billones de vibraciones por segundo es el color violado; y 645 diez millonésimas de milímetros de espesor de onda y 477 *billones de vibraciones por segundo es el color rojo, en ondulaciones etéreas; 65,25 vibraciones dan el *do* más grave del violín y 405 la nota *fa*, si nos referimos al aire.

Vibra la cuerda del arpa sacada de su quietud por la mano del artista y el aire transmite la onda sonora: oímos; salen de su inmovilidad las moléculas del éter para transmitir en ondas la vibración del cuerpo luminoso y *vemos*. Ver no es más que la concordancia de la vibración del cuerpo luminoso y el nervio óptico; oír es la concordancia de la vibración del cuerpo sonoro y el nervio acústico, como dice un físico notable.

Escribe el mismo autor que «una bala cruzando la atmósfera, una locomotora que marcha sobre los carriles, un planeta que gira al rededor del Sol, son ejemplos de movimientos totales. Toda la masa de la bala, de la locomo-

tora, del planeta y del aire *va*; es decir, todas las moléculas describen trayectorias comparables a las dimensiones del cuerpo que se mueve con movimiento *total*.

«Una cuerda de arpa oscilando a uno y otro lado de su posición de equilibrio, una campana herida por el mazo, dilatándose y contrayéndose alternativamente, pero en mínimas distancias, el agua del mar cuyas moléculas suben y bajan, sin avanzar nunca, formando las olas; son ejemplos de movimientos vibratorios.»

Los partidarios de las fuerzas abstractas, anticipándose en algún modo a Einstein, sostienen que la atracción, la pesantez, la afinidad y las fuerzas magnéticas y eléctricas no son más que puras apariencias, manifestaciones de una *fuerza única*; los defensores de la teoría atómica creen en la existencia de la *sustancia única*, que tiene por manifestaciones el espacio y el tiempo.

Al apoyarse Einstein en la filosofía alemana, principalmente en Kant y Hegel, no hace más que expresar de diferente manera, pero con el mismo fondo, las apariencias kantianas y su mundo fenoménico; así como la *fuerza didáctica* de Hegel, que al pasar del estado lógico al real, se resuelve en sus dos grandes determinaciones: espacio y tiempo o, como afirman los hegelianos, una masa en movimiento depende de dos factores; la masa misma y la velocidad en sus dos aspectos, espacio y tiempo, llegando a sostener que la bala que quita la vida a un hombre, no es sólo la bala misma, sino su velocidad; es decir, el hombre muere por dos abstracciones, el espacio y el tiempo, determinaciones de la *sustancia única*.

Y si el movimiento es el origen de la luz y del sonido, también es así mismo el origen del calor, como lo demuestran Mayer, Toude, Thomson, Clausius, Zeuner, Helmholtz, Nankine, Reech, Grove, Laboulaye, Fauxe, Hiru y sobre todo Tyndall en sus célebres lecciones explicadas en el Instituto Real de la Gran Bretaña. Todos estos sabios han llegado a la conclusión de «que toda acción mecánica, todo trabajo, toda fuerza puede dar origen a un desarrollo de calor». Y así ocurre en efecto, pues para medir el trabajo mecánico elegimos el caballo de vapor o el kilográmetro; para medir la fuerza viva de una masa en movimiento, el producto de esta masa por el cuadrado de la velocidad; para medir la cantidad de calor, la caloría; y siempre y en cualquier experiencia se encuentra proporcionalidad entre las tres medidas, es decir, elevar 424 kig. a un metro de altura no es otra cosa que elevar a un grado centígrado la temperatura de un kilogramo o un litro de agua.

El ilustre físico Tyndall, a quien antes nos hemos referido, presenta el siguiente ejemplo que confirma su teoría: «Una bala de plomo lanzada por un rifle, con una velocidad de 91 metros por segundo, choca contra un muro, el choque engendra tal cantidad de calor, que si en lugar de perderse gran parte de él en la masa del obstáculo se reconcentrara en su totalidad sobre su esfera de plomo, la temperatura de esta esfera aumentaría 30 grados y haciéndose la velocidad cinco veces mayor, la temperatura llegaría a 750 grados, calor suficiente para fundir la bala, y si ampliando estos cálculos no se trata ya de una bala sino de nuestro globo, cuya masa y velocidad son conocidas, suponiendo que chocara contra una masa inmensamente mayor, el calor desarro-

llado, según demuestra Mayer, bastaría no sólo para fundir la tierra sino para volatilarla en parte y, aun más, si nuestro planeta cayera en el sol, dice el mismo sabio, el calor desarrollado en el choque sería equivalente al necesario para fundir *mil seiscientos globos de cok* iguales en volumen a la tierra.

En su poético lenguaje define Echegaray el sol: «Como un inmenso movimiento molecular que en ondas vibrantes, armonías divinas de luz y de fuego, llena las esferas y se extiende por los ámbitos del espacio.»

Reasumiendo: el calor, la luz, el sonido, el magnetismo y la electricidad no son más que manifestaciones de una fuerza única, o mejor dicho, diferentes formas de una energía única.

Terminaré estos preliminares sobre la teoría de Einstein, con la hermosa frase del tantas veces citado sabio y maestro español don José Echegaray:

«Los fenómenos pasan, se transforman y se suceden como las olas del Océano, pero el Océano siempre queda.»

«Flujo y reflujo inmenso; oleaje colosal; vibración infinita de lo creado.»

«¿Cuál será la razón, el por qué, la *finalidad* de este infinito hervor?»

«He aquí el problema soberano de la filosofía; problema que como figura gigantesca se alza envuelto en sombras ante nuestra vista.»

«La física nueva alcanzará a ver su divino semblante: la metafísica pugna treinta siglos ha por rasgar el velo que cubre la paz de la misteriosa estatua.»



La experiencia de Michelson fué el punto de partida de la teoría de la relatividad, y estando fundamentado el celebrado experimento en el estudio de las interferencias luminosas, considero necesario el decir algo de lo que por interferencias se entiende.

En los tratados de óptica nos encontramos muchas veces con el siguiente teorema: «*La luz agregada a la luz produce oscuridad*»; esto que parece extraño en realidad no lo es, considerando la luz como una vibración del éter.

Sabido es que dos movimientos iguales y contrarios se anulan o destruyen; así dos masas blandas, marchando en sentido contrario, quedan en reposo; dos fuerzas iguales y contrarias obrando sobre un móvil, producen su equilibrio; dos ondas acuosas que se cruzan «en el punto donde la cresta de una se superpone a la depresión de la otra» igualan al nivel del agua, pues del mismo modo, si llega un rayo de luz o sea un movimiento vibratorio o una molécula de éter y quiere llevarlo en un sentido y al mismo tiempo otro rayo de luz tiende a llevarla en sentido contrario, siendo ambos de igual intensidad, evidentemente ambos movimientos se anularán y la molécula quedará inmóvil, originándose un punto de sombra la igualdad luz más luz igual cero representará una interferencia. Pero si estos movimientos llevaran la misma dirección se acumularán y tendremos un punto brillante y, tratándose, no de un punto sino de una sucesión de puntos, aparecerá o una línea de sombra o una línea brillante, y entre estos extremos existirán líneas de más o menos sombra y de más o menos brillo, según los movimientos concordantes o discordantes

del éter. No son, pues, las interferencias, sino una aplicación del concepto de *suma algebraica*.

Hemos definido la interferencia «como la anulación de dos movimientos opuestos», pero la física dice también «que ningún movimiento se anula». ¿Cómo poner de acuerdo ambas afirmaciones?

La respuesta es clara: el movimiento se anula sólo como vibración luminosa, cesa la luz y aparece la sombra, pero el movimiento no habrá desaparecido *de un modo absoluto* y existirá como electricidad, calor, etc.

Dice un autor «que si un rayo de sol llega a una masa de hierro, parte del rayo se refleja y otra parte penetra en la primera capa del metal. Hubo una anulación de luz como luz pero no como movimiento y fuerza viva, ésta abandonó al éter pero pasando a las moléculas del metal las hizo vibrar, y lo que como luz vino del sol fué absorbido y transformado en calor en el hierro».

He aquí una nueva prueba de la unidad de la materia, trabajo, luz y calor, es decir, fuerza viva o sea producto de masas por cuadrado de velocidades.

Echegaray ha puesto dos ejemplos que con una claridad admirable demuestra lo dicho.

«Vibrán las moléculas de la masa solar y esta vibración pasa al éter que rodea al astro; he aquí un primer cambio entre la materia ponderable y el éter, una primera transformación del calor en luz.»

«La vibración y con ella la fuerza viva, corre y desciende con extraordinaria rapidez desde el sol a la tierra.»

«Llegó la vibración etérea hacia el vegetal y cede al ácido carbónico su fuerza viva: segunda transformación del movimiento; como pasó del sol al éter pasa de éste a la materia ponderable.»

«Vibran el oxígeno y el carbono y la fuerza viva vence la fuerza de afinidad, separándose ambos cuerpos simples. La luz se ha convertido, por decirlo así, en reacción química y ha operado una reducción.»

«Aquel vegetal andando el tiempo está en el hogar de una locomotora, aquellas moléculas de carbono están en presencia de las moléculas de oxígeno (o de otras iguales) de que fueron separadas por la acción de la luz; y como el peso que se elevó cae y restituye el trabajo que en elevarlo hubo de consumirse, así caen el oxígeno sobre el carbono y éste sobre aquél desarrollando en este choque microscópico y gigantesco una cantidad de calor equivalente al trabajo mecánico que exigió la descomposición química; o la fuerza viva que venía en la luz; a la que el éter tragó por los espacios interestelares; a la que recibió del sol; de la que las potencias soberanas de los mundos comunicaron al astro soberano de nuestro sistema.»

«Siempre el mismo principio: la invariabilidad de la suma total de energías.»

«Supongamos que se repiten las primeras transformaciones del caso anterior, a saber: transformación del calor solar en luz; de la luz en acción química; condensación del carbono en la fibra orgánica, y, desprendimiento del oxígeno.»

«Resulta de aquí, como decíamos antes, con fuerza viva latente, un trabajo *potencial*, considerando en las moléculas de carbono y de oxígeno, acciden-

talmente separadas y que aprovecharán, si se nos permite esta manera de expresarnos, la primera ocasión que se presente para volver a unirse.»

«El tiempo pasa y aquellas moléculas de carbono, cuya historia por decirlo así, estamos refiriendo, constituyen un punto de la tierra, llegan a ser alimento del hombre, forman parte del organismo y con admirable compás circulan en la sangre por la complicada red de las venas. Así llegan al pulmón y en él, como el combustible y el aire en el hogar de la locomotora, se encuentran al fin el carbono y el oxígeno, y precipitándose con toda el ansia de la afinidad química, descomponen el ácido carbónico y desarrollan una cantidad de calor equivalente al consumido por la luz para su descomposición. Este calor es nuestra fuerza y la transformamos de mil maneras, ya en los usos de la vida material, ya como instrumento de que el espíritu se sirve para ponerse en relación con el mundo fíjico.»

«Así, pues, no en sentido poético, sino con entera verdad, podemos decir que del sol viene gran parte de la vida y de la fuerza que anima nuestro maravilloso organismo material. El movimiento de mi mano al trazar estas líneas era tal vez un año ha, vago bullir de unas cuantas moléculas solares.»

«Y no se tema que esta teoría, bien aplicada, pueda conducir al materialismo. Si el universo, en su parte material, pudiera explicarse con los átomos y el movimiento, un abismo incolmable quedaba abierto entre el mundo físico y el espíritu. ¡Qué triunfo para el espiritualismo!»

Réstame sólo antes de entrar de lleno en el estudio de las teorías de la relatividad, hacer ligeras indicaciones sobre la polarización de la luz. Dos cualidades distinguen entre sí las radiaciones de la energía radiante: 1.º—La *energía* de las vibraciones del éter, que es proporcional al cuadrado de la amplitud y determina para las radiaciones visibles lo que se llama intensidad luminosa; 2.º—El período de las vibraciones, del cual depende la longitud de onda, la refrangibilidad es para las radiaciones visibles el color. Las radiaciones no homogéneas difieren también en su composición, es decir por la naturaleza del espectro que se obtiene al descomponerlas con un prisma, o un retículo de difracción.

Sin embargo, además de estas cualidades, las radiaciones difieren a veces por la forma y posición de las trayectorias en que se mueven las partículas de éter, dividiéndose por esta causa las radiaciones en «naturales y polarizadas.»

En la radiación natural, las trayectorias de las partículas vibrante, y ninguna de las direcciones perpendiculares al rayo son más favorables, es decir la dirección de las vibraciones cambia de un modo rapidísimo en un intervalo de tiempo muy corto.

En la radiación polarizada, depende de los cambios de dirección de las vibraciones de las partículas de éter, o sea un rayo polarizado, gira alrededor de sí mismo, y esta rotación cambia los fenómenos de propagación en la energía radiante. El plano que pasa por el rayo polarizado se llama plano de polarización.

Fresnel y Neuwann defienden dos teorías diferentes: el primero dice que las vibraciones se verifican en un plano perpendicular al de polarización, y el segundo sostiene que se verifican en el mismo plano de polarización. Las teo-

rias electro-magnéticas de la luz dejan el problema sin solución. El profesor ruso O. D. Ohwolson, muestra su conformidad con Fresnel y dice: «Cuando trate de rayos polarizados en un plano, significaré que el movimiento vibratorio se verifica normalmente a dicho plano.» Cuando las partículas de éter se mueven según elipses la polarización se llama elíptica, de la cual en caso particular la polarización circular y cuando las partículas de éter efectúan vibraciones rectilíneas y paralelas entre sí, la polarización se llama rectilínea.»

Añadiré dos palabras sobre la polarización de la luz solar. Los rayos solares directos no están polarizados; pero los rayos reflejados por la atmósfera, que llegan al observador desde los diferentes puntos de la bóveda celeste están parcialmente polarizados, como lo demostró Arago en 1809, probando que el plano de polarización pasa generalmente por el sol, el observador y el punto considerado. Babinet, Breister, Becquevel, Bernard y Rubenson estudiaron detalladamente la polarización de la luz solar y la posición de los puntos neutros de Arago. Cornú y Piltshicoff estudiaron la polarización de los rayos de la luna; llegando todos a la conclusión hoy día admitida en la ciencia «que la polarización de la luz solar es idéntica a la polarización por difusión» interna en los medios turbios. Landeer probó que la luz de Venus no está polarizada, así como Salet obtuvo el mismo resultado para el planeta Mercurio.

Terminados ya estos pesados preliminares entramos de lleno en las teorías de Einstein.

* * *

¿En qué consiste el experimento de Michelson? En colocar cuatro espejos «enfrentados dos a dos.» De estos cuatro espejos dos están situados en la dirección Este-Oeste, y los otros dos perpendicularmente a esta dirección o sea en la línea Norte-Sur. Lanzando dos rayos luminosos cuya propagación siga las direcciones indicadas entre los espejos opuestos, se observa, que el rayo procedente del espejo situado al Este, llega al espejo Oeste donde se refleja y vuelve al primero, y el rayo procedente del espejo Norte llega al espejo Sur y vuelve reflejado, cortando al anterior y formando las franjas de interferencia, que estudiadas y medidas por la observación microscópica, nos permitirán conocer si hay diferencia en el trayecto de ambos rayos. Aunque la velocidad de la tierra es muy pequeña en relación con la velocidad de la luz, como la astronomía habrá aprobado en repetidas experiencias que la tierra no *participaba* del movimiento del éter, el rayo luminoso que va y vuelve de Este a Oeste tendría que recorrer en el éter un trayecto mayor, que el que va y vuelve de Norte a Sur, y esta diferencia aunque muy pequeña podrá ser apreciada por la longitud de las franjas de interferencia. Michelson, colocó los espejos de modo que pudieran girar suavemente un ángulo de 90° y realizó dos observaciones, cambiando la posición de los espejos, es decir, pasando los que estaban en la dirección Este-Oeste a la posición Norte-Sur; pues bien, no hubo ningún cambio en las interferencias en las dos observaciones: luego la tierra arrastra al éter en su movimiento.

Del experimento de Michelson, los señores Lorenz y Fetzgerald, dedu-

jeron la consecuencia siguiente: que según ellos explicaba la contradicción que se presentaba con respecto a la tierra y al éter «*los dos espejos se han acercado o, mejor dicho, los soportes se han contraído en el sentido del movimiento de la tierra, en cantidad que compensa exactamente la prolongación que hubiera debido observarse en el trayecto de los rayos luminosos.* Esta contracción es independiente de la materia de que están contruídos los soportes y depende sólo de la velocidad de la tierra *con relación* al éter, aumentando cuando ésta aumenta.»

Einstein, prescindiendo del éter, dice: «Cualquier objeto *parece* disminuido por causa de su velocidad en el sentido de ésta, con relación al observador, lo mismo que si éste corre delante del objeto: luego el espacio *depende* de la velocidad, luego el espacio y el tiempo no son absolutos.

Es decir, la teoría de Einstein, designada con el nombre de Teoría de la Relatividad está basada en la demostración dada por el notable sabio «de que el espacio en el cual nos hallamos, y en el tiempo en que vivimos, no son cosas fijas e invariables, sino *relativas* y que varían de un observador a otro.»

Aristóteles y Newton han considerado el tiempo y el espacio como planos fijos donde se desarrollan los fenómenos. Einstein, por el contrario, afirma que esos planos no tienen ninguna existencia real fuera de los observadores. Esta afirmación einsteniana modifica todas las ciencias físicas y aun la psicología, que descansaban sobre dos pilares incommovibles: el espacio y el tiempo.

Nordman en su obra *Einstein y el Universo* cita el siguiente párrafo de Poincaré, uno de los precursores de Einstein. «Es imposible representarse el espacio vacío... de ahí proviene la relatividad irreductible del espacio. Cualquiera que hable del espacio absoluto emplea una palabra sin sentido. Estoy en un punto determinado y digo: volveré *aquí* mañana. Si me preguntan: ¿Quiere usted decir que volverá al mismo punto del espacio?, quizás conteste: Sí. Sin embargo no tendré razón, porque de aquí a mañana la tierra seguirá marchando, llevándose consigo el punto donde me encontraba, que habrá recorrido más de dos millones de kilómetros. Y no podría, aunque quisiera, precisar mi lenguaje porque si esos dos millones de kilómetros los recorrió la tierra con relación al sol, éste cambia de sitio con relación a la *vía láctea* y ésta también se mueve con velocidad desconocida. En resumen, ignoro cuanto se ha trasladado en un día el punto donde me encontraba.»

«Supongamos que en una noche todas las dimensiones del Universo se hacen mil veces mayores: el mundo permanecería semejante a sí mismo en semejanza geométrica. Solamente que lo que tuviera un metro de largo mediría en adelante un kilómetro, y lo que tenía un milímetro pasaría a medir un metro. La cama en que estoy acostado y mi mismo cuerpo se habrían agrandado en la misma proporción. Cuando despertase el día siguiente ¿qué sentimiento experimentaría ante tan extraña transformación? ¡Pues bien! No experimentaría ninguno. Las medidas más precisas serían incapaces de revelarme nada de ese inmenso trastorno, porque los metros de que me serviría habrían cambiado precisamente en las mismas proporciones que los objetos que tratara de medir. Ese trastorno sólo existiría para aquellos que razonan como si el espacio fuera absoluto.»

«Si una noche los fenómenos del Universo tuvieran una lentitud mil veces mayor, al despertar el mundo no nos parecería cambiado. No obstante, cada hora de nuestros relojes duraría mil veces más que una de las antiguas, y viviríamos mil veces más tiempo sin saberlo, porque las sensaciones retardarían otro tanto. Luego lo que decimos del espacio podemos decir del tiempo.»

El Universo Einsteniano

1.—La arquitectura del universo o más bien la imagen que de él nos muestra la ciencia, está enteramente fundada sobre la idea del Tiempo y la idea de Espacio. *Donde* y *cuándo*, son las preguntas esenciales. En una palabra, el Tiempo y el Espacio eran los dos puntos de apoyo de nuestro débil espíritu para poder estudiar el Mundo... antes de Einstein.

Supongamos que dos topógrafos habilísimos, miden con reglas perfectas y con una precisión absoluta, la longitud de una calle, pero que el uno opera más rápidamente que el otro. ¿Encontrarán la misma longitud? Sí, diría un discípulo de Newton y de la ciencia clásica. «No», responde Einstein.

Supongamos también que nuestros dos topógrafos, usen cronómetros perfectos, y, que al mismo tiempo que miden la longitud de la calle observen igualmente con una precisión absoluta el tiempo que emplean en recorrer la calle de un extremo a otro, ¿encontrarán los dos tiempos iguales? «Sí», respondería un discípulo de Newton. «No», contestaría Einstein. Y aunque parezca extraño, en los dos casos tiene razón Einstein y está equivocado Newton.

Esta revolución completa en la ciencia, tiene su base en la siguiente experiencia: la velocidad de la luz es siempre la misma, y aproximadamente su valor es de 300.000 km. por segundo. Esto que tan sencillo parece es de lo que Einstein ha sacado consecuencias que han sido como un cartucho de dinamita colocado en los cimientos de la ciencia. ¿Por qué? Un ejemplo lo hará comprender.

Supongamos, que un carro blindado al parar por la mitad de un cierto trayecto a toda velocidad, dispara con dos cañones idénticos dos cañonazos, uno hacia adelante y otro hacia atrás. Los observadores colocados en los extremos del camino, podrán asegurar que el obús tirado hacia delante tiene mayor velocidad que el disparado hacia atrás.

Esto es natural, porque la velocidad del carro se suma a la del obús en el primer caso y se resta en el segundo, de conformidad con las leyes de la mecánica; y tanto es así que si el obús tuviese una velocidad inicial igual a la del carro, el disparado hacia atrás caería verticalmente y sin velocidad con relación a los observadores.

Pero, estos observadores, a los que también supondremos provistos de aparatos perfectísimos de medida, verán con profunda sorpresa que la luz de los dos cañonazos les llega con velocidad idéntica, sea adelante, sea atrás del punto del disparo. El astrónomo Litter ha demostrado en virtud de experien-

cias de gran precisión, que la velocidad de la luz es exactamente la misma, si una estrella se aleja o se aproxima a nosotros. Los rayos luminosos, bajo el punto de vista de las velocidades no se comportan lo mismo que los proyectiles, aunque procedan de la misma fuente. Por consecuencia, las leyes ordinarias de la mecánica no se aplican a la luz.

Ahora si observadores colocados en el carro blindado midiesen la velocidad de la luz de los dos disparos, *con relación a ellos mismos*, se encontrarían también que los rayos luminosos se propagan hacia adelante y hacia atrás con velocidades idénticas: 300.000 km. por segundo. Michelson y Morley han realizado esta experiencia con precisión extrema sobre el más rápido de los trenes que el hombre pueda estudiar: la Tierra, que se mueve alrededor del sol con una velocidad de treinta kilómetros por segundo. Por lo tanto, la velocidad de un vehículo no puede nunca sumarse a la de la luz que él emite. Esta velocidad límite de 300.000 km. por segundo, es bajo diferentes aspectos análoga *al cero absoluto* o sea menos 273 grados, que es también en la naturaleza un límite infranqueable.

Resumiendo: los hechos, por extraños y contradictorios que aparezcan, son los siguientes: *Hecho primero*: los rayos luminosos, producidos por los disparos de nuestro carro blindado, se propagan hacia adelante y hacia atrás con la misma velocidad con relación al carro, como lo comprueban los observadores colocados en dicho carro. *Hecho segundo*: estos rayos luminosos, a la inversa de los proyectiles, y a pesar del movimiento del carro, llegan con la misma velocidad a los observadores colocados simétricamente sobre la vía delante y detrás del carro, como ellos mismos lo comprueban.

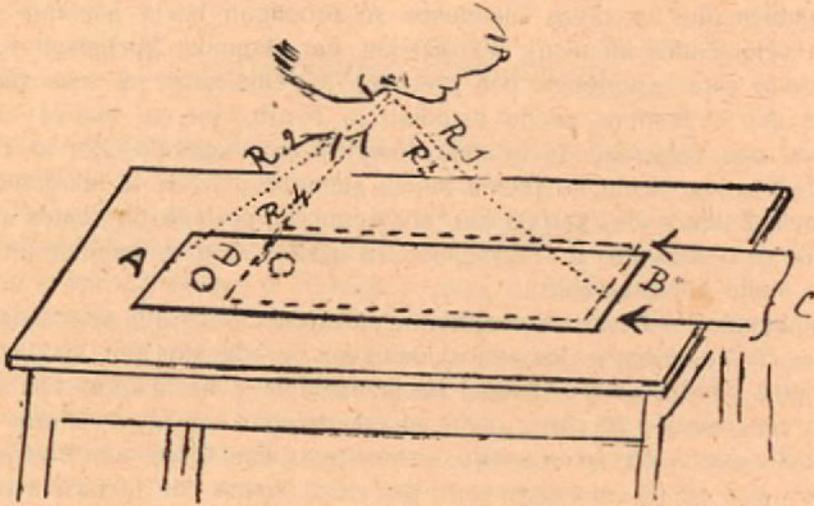
Einstein, ha conciliado estos resultados contradictorios, demostrando que los observadores del carro y los colocados en la vía miden en realidad las velocidades con medidas de longitudes diferentes.

A propósito de estos curiosos resultados, ciertos físicos tienen la costumbre de hablar del éter. No se trata del éter de las farmacias, tan precioso y útil en los poéticos síncope de las damas; no se trata tampoco del éter todavía más vaporoso de los poetas; el éter de los físicos es una sustancia más extraordinaria, que existe, según parece, en el mundo entero, no sólo donde hay materia sino en el vacío interestelar. Pero nadie ha visto, sentido ni pesado jamás esta sustancia mágica. Einstein no imita a estos físicos, a estos eteromanos de nuevo género: él ignora el éter. Nosotros haremos lo mismo y no hablaremos de este mito que embrollaría inútilmente nuestra demostración.

No obstante, Einstein, hace algún tiempo, hablando en la Universidad de Leyde (Holanda) dijo «que por la propagación de la luz entre los astros y por otras razones, se inclinaba a pensar que hay en el vacío una cierta sustancia a través de la cual se hace la propagación.» Esta sustancia que se llame o no éter, no tiene más que relaciones muy lejanas, con lo que los físicos designaban con el mismo nombre, pues que ni es homogéneo ni isotropo y está privado de todas las propiedades mecánicas o, por mejor decir, cinemáticas del antiguo éter.

La asombrosa consecuencia de los hechos precedentes es, como vamos a demostrar, *que la longitud aparente de un objeto cualquiera* no es de ningún modo constante, sino que varía con su velocidad.

En efecto, la longitud aparente de un objeto, de una regla por ejemplo, depende de la imagen limitada sobre nuestra retina por los rayos luminosos que provienen de las dos extremidades de la regla y que llegan *simultáneamente* a nuestra retina. Consideremos una regla inmóvil sobre una mesa, y supongamos nuestro ojo por encima del centro de esta regla. (Véase fig. 1.)



(Fig. 1.)—La regla inmóvil y la regla en movimiento.

Los dos rayos luminosos que provienen de los extremos son R. 1 y R. 2.

Señalemos sobre la mesa las posiciones A y B de las dos extremidades de la regla. Supongamos ahora que la regla se mueve rápidamente sobre la mesa, ligeramente levantada sobre su posición precedente viniendo de C. Cuando su extremidad posterior llega a su posición precedente, en B, envía a mi ojo un rayo luminoso R 3 que coincide con R 1. Por otra parte, R 3 llega a mi ojo al mismo tiempo que un cierto rayo R 4 proveniente del extremo anterior de la regla. ¿R 4 coincide con R 2? Evidentemente no: en efecto, como hemos indicado en el *Hecho Segundo*, el rayo R 4 se aleja de la extremidad anterior de la regla con la misma velocidad que el rayo R 3 de la extremidad posterior, como podría comprobarlo un minúsculo observador situado inmóvil sobre la regla en movimiento; pero la extremidad anterior se aleja de mi ojo mientras que la extremidad posterior se aproxima. Por consecuencia el rayo R 4 se propaga hacia mi ojo más lentamente que R 3, aunque no sea incapaz de comprobar una diferencia entre sus velocidades, según lo indicado en el *Hecho Primero*. Como los dos rayos llegan a mi ojo al mismo tiempo (pues que por definición, la imagen de un objeto está formada por los rayos que llegan simultáneamente a la retina), se deduce que el rayo R 4 ha debido ser emitido más pronto que el R 3, es decir antes que la extremidad anterior de la regla haya llegado a la posición A, en otros términos cuando esté en D, por ejemplo. Por consecuencia cuando la regla pasa rápidamente delante de mí (o lo

que es lo mismo, si yo paso rápidamente delante de ella), tiene para mí la longitud D. B.

Para las velocidades tan débiles a las que estamos acostumbrados, la diferencia es imperceptible. Pero cuando se trata de velocidades de cientos de miles de kilómetros por segundo, como en los rayos del radium, no ocurre lo mismo, y la diferencia es muy apreciable.

Quizá se diga que estos hechos asombrosos no pueden tener ninguna consecuencia práctica, pues que las velocidades que hemos de encontrar en la vida no son tan grandes. Es posible. Cuando la rotación de la tierra así como su redondez fueron demostradas, produjo, como la teoría de Einstein, una revolución considerable en el espíritu humano. Se juzgaba que la tierra era plana y cuando su redondez fué comprobada prácticamente, se continuó considerándola como casi plana. También prácticamente las longitudes, las masas y los tiempos nos parecerán siempre casi definidos y constantes. Y sin embargo sabemos que ellos no lo son. Esta es la diferencia que hay entre lo falso y lo verdadero. Decir que $90,9 \approx 100$, es decir casi la verdad, pero no es la verdad; es un concepto falso.

El cálculo demuestra que con una velocidad de 200,000 kilómetros por segundo nuestra regla nos parecería dos veces menos larga que en reposo.

Así la forma de los objetos y sus dimensiones dependen de la velocidad con relación al observador. Un círculo en movimiento rápido parecería una eclipse. Si la tierra girase algunos millares de veces más rápida alrededor del Sol, éste nos parecería alargado y semejante a un gigantesco limón suspendido en el cielo.

* * *

No es suficiente medir lo largo, lo ancho y lo alto de un objeto (que es lo que se llama longitud, latitud y profundidad) para poder definir el espacio realmente ocupado por un objeto; su velocidad debe tenerse también en cuenta, es decir, el tiempo que tarda en recorrer una cierta distancia con relación al observador.

Así, pues, el espacio depende del tiempo; esta es la razón por la cual se dice que el tiempo es la cuarta dimensión del espacio, y que el espacio, en el cual pasan efímeros nuestros destinos, tiene cuatro dimensiones y no tres como se creía hasta aquí por la fe que se tenía en los tratados... en los tratados de física.

Se puede también demostrar fácilmente por un razonamiento análogo al precedente, basado como él, en los hechos primero y segundo para el intervalo en el espacio, que el intervalo en el tiempo de dos acontecimientos depende de la velocidad con relación al observador.

Por ejemplo, el tiempo expresado en segundos que emplea un tren en ir de una estación a otra es más corto para los que le ven pasar. Del mismo modo todos los gestos hechos por los hombres en un vehículo en movimiento aparecerán como más lentos para un observador inmóvil. Para que la diferencia fuese sensible, es preciso que las velocidades sean fantásticas. La misma

vida o sea el espacio entre el nacimiento y la muerte de una criatura parecerá más prolongada a un observador, si se mueve con velocidad frenética con relación a éste. En este mundo la apariencia vale tanto y tiene tanta importancia que podemos pensar filosóficamente hablando, que morir es durar más para los otros no para sí; también nosotros veremos durar más tiempo a los extraños.

«¡Admirable justificación, y cuán profunda e imprevista, de lo que los sabios habían entrevisto: la inmovilidad es la muerte!» Pero volvamos a Einstein.

* * *

Consideremos ahora dos acontecimientos: por ejemplo, los parajes sucesivos de un tren por dos estaciones. Para un observador en el tren, la distancia de las dos estaciones medidas por la longitud del camino recorrido, es como lo hemos demostrado, más corta que para un observador inmóvil; el tiempo que separa los dos parajes es igualmente más corto para el primer observador, pues que el número de segundos transcurridos es más pequeño.

En una palabra, la distancia en el tiempo y la distancia en el espacio disminuyen cuando la velocidad del observador aumenta y aumentan cuando la velocidad disminuye.

Así, pues, lejos de revelarnos la realidad, el espacio, el tiempo, no son más que dos telas movibles tejidas por nosotros mismos y que la ocultan a nuestros ojos.

Y por tanto, cosa extraña y melancólica, no podemos concebir el mundo sin el tiempo y el espacio, como no podemos observar ciertos microbios sin inyectarlos de materias colorantes.

Pero el cálculo demuestra que si se consideran dos acontecimientos muy próximos, hay alguna cosa que guarda un valor invariable para todos los observadores, cualquiera que sea su velocidad.

Esto es lo que Einstein llama *Intervalo* de los dos acontecimientos, cantidad que depende de la distancia en el tiempo y la distancia en el espacio, *exactamente* como uno de los catetos de un triángulo rectángulo depende del otro cateto y de la hipotenusa (la hipotenusa es la distancia en el tiempo, donde cada segundo en la escala de la figura sería representado por 200.000 kilómetros; el cateto variable representa la distancia en el espacio). (Véase fig. 2.)

Cuando la distancia en el tiempo y la distancia en el espacio de dos acontecimientos dados aumentan o disminuyen simultáneamente, según la velocidad del observador, el tercer lado del triángulo rectángulo o sea el otro cateto permanece invariable; este es el *Intervalo* de Einstein.

En la Naturaleza la sola realidad es el *Intervalo* de los acontecimientos. mezcla de tiempo y espacio en la que los componentes pueden variar, pero él queda invariable. El tiempo y el espacio son algo así como dos espejos, el uno cóncavo y el otro convexo, cuyas curvaturas son tanto más grandes cuanto mayor es la velocidad del observador. Cada uno de estos espejos da una imagen deformada de las cosas. Pero, combinándose los dos espejos de modo

que uno de ellos refleje los rayos recibidos por el otro, y queda la imagen de las cosas en su realidad no deformada.

* * *

Una de las consecuencias más revolucionarias de las teorías de Einstein es la que se refiere a la *masa* de los cuerpos,

Demuestra la experiencia que cuadruplicando la energía propulsiva dada a un proyectil se dobla su velocidad. Pero si esta velocidad es enorme, por

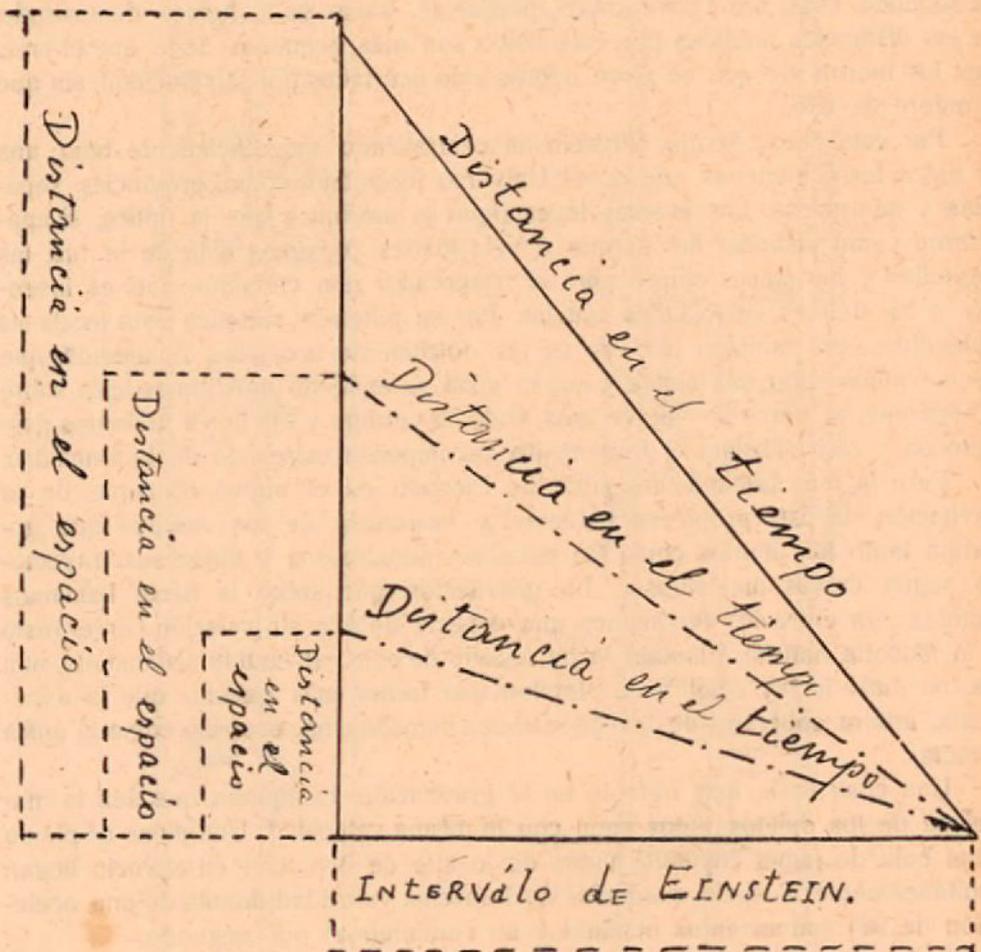


Fig. 2.—Los tres triángulos rectángulos de la figura que tienen un lado común, representan el intervalo de Einstein, demostrando cómo aumenta simultáneamente, la distancia en el tiempo y la distancia en el espacio entre dos acontecimientos próximos, cuando la velocidad del observador disminuye, y cómo disminuyen simultáneamente ambas distancias cuando la velocidad del observador aumenta. El mayor triángulo corresponde al observador menos rápido, el más pequeño al observador más rápido, el intermedio a una velocidad intermedia. El lado común a los tres triángulos tiene una longitud independiente de la velocidad del observador; este es el intervalo de Einstein.

ejemplo de 200.000 kilómetros por segundo, (como la de ciertas partículas catódicas en el tubo de Crookes) la velocidad no llega a ser igual a 400.000 kilómetros cuando se cuadruplica la energía dada, sino que permanece inferior a 300.000 kilómetros. Esto prueba, como Einstein lo ha demostrado, que la *masa*, que la inercia de un cuerpo que era considerada como constante, aumenta con su velocidad y depende, por lo tanto, del movimiento del observador; *la masa, como el tiempo y el espacio, es una cosa relativa.*

Por lo tanto sobre un vehículo animado de una velocidad de 200.000 kilómetros por segundo se podría imaginar un físico proyectando delante de él rayos catódicos que, para el citado físico, tendrían una velocidad de 200.000 kilómetros por segundo. Digo *para dicho físico*, porque sé, como ya lo hemos demostrado, que las distancias medidas por este físico son más pequeñas de lo que él cree, pues los metros de que se sirve habrán sido acortados por la velocidad, sin que se entere de ello.

Por esta nueva teoría, Einstein ha centralizado magníficamente bajo una ley única los fenómenos que en el Universo figuraban como provincias separadas y anárquicas. Las mismas leyes rigen la mecánica que la óptica; si aparecieran como distintas fué porque a velocidades próximas a la de la luz, las longitudes y las masas sufren para el observador una variación que es insensible a las débiles velocidades usuales. Por su potencia sintética esta teoría es espléndida; pero también por eso es tan difícilmente accesible. A medida que nos elevamos sobre las cimas y que la vista se extiende más y más lejos sobre el horizonte, la tierra se vuelve más árida, la verdura y las flores brillantes desaparecen y sólo subsiste el firmamento, recompensa estrellada de la tenacidad.

Pero la más brillante conquista de Einstein es el nuevo concepto de la gravitación, de esta propiedad universal y misteriosa de los cuerpos que gobiernan tanto los átomos como las estrellas monstruosas y dirige sus trayectorias según curvas majestuosas. La gravitación que sobre la tierra llamamos pesantéz, era entre los fenómenos una especie de isla sin relación con el resto de la filosofía natural. Einstein la ha sacado de este espléndido aislamiento; aun más, ha dado la ley célebre de Newton una forma más exacta, que la experiencia, árbitro soberano de las discusiones humanas, ha recorrido como la única correcta.

Una cosa es la más notable en la gravitación: cualquiera que sea la naturaleza de los objetos todos caen con la misma velocidad. Una pieza de plomo y una hoja de papel cayendo juntos de lo alto de una torre en el vacío llegan simultáneamente al suelo, animados de la misma velocidad dotada de una aceleración de 981 (novecientos ochenta y un centímetros) por segundo.

Si la gravitación fuese una fuerza análoga a la electricidad o a la tracción de una locomotora, las velocidades que imprimiese a masas muy diferentes, deberían ser diferentes. De aquí a pensar que la gravitación no es una fuerza, sino sencillamente una propiedad del espacio no hay más que un paso. Einstein le franquea sin titubear. (Véase fig. 3.)

Imaginemos en un colosal rascacielo un ascensor que desciende con una aceleración de 981 centímetros por segundo; es decir, una velocidad que aumenta cada segundo 981 centímetros. Los pasajeros del ascensor cesarán de sentir

sus pies ejerciendo presión sobre el piso; sus portamonedas, aunque estuviesen llenos de oro, no tendrían peso en sus bolsas, lo cual no dejaría de emocionarlos; sus sombreros, al escaparse de sus manos, quedarían suspendidos en el aire al lado de ellos. Y esto es sencillamente porque todos estos objetos caen bajo la influencia de la gravitación, de la pesantez, con la velocidad misma del ascensor.

En resumen, los efectos de la gravitación pueden ser en cada lugar su-

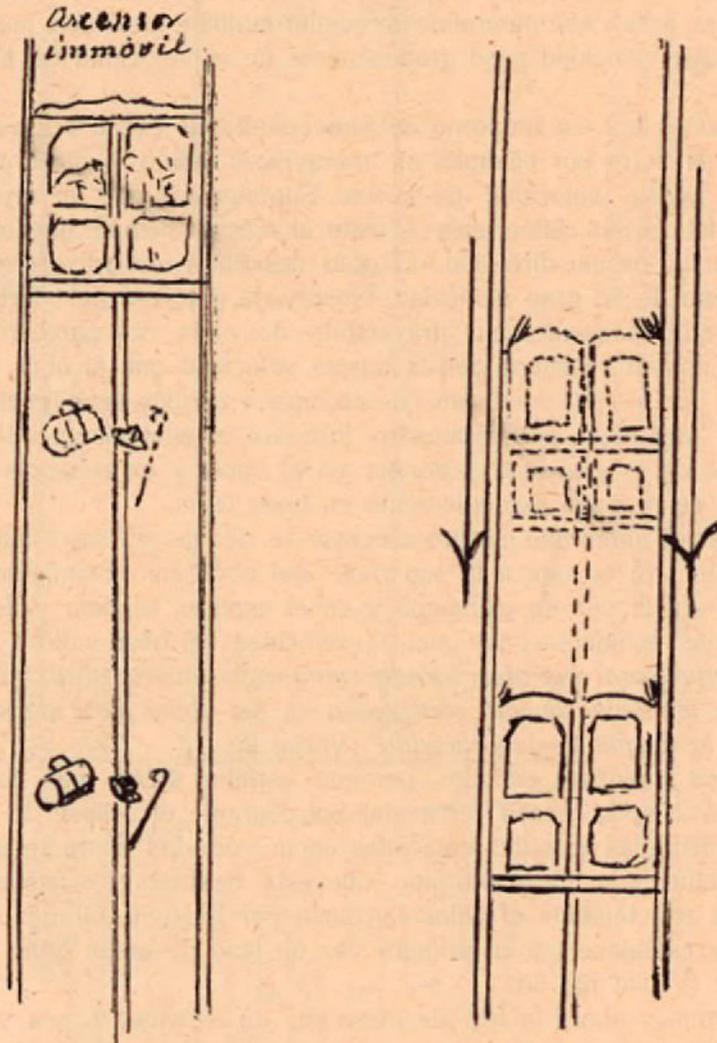


Fig. 3.—La figura representa dos ascensores: el uno inmóvil, el otro descendiendo con una velocidad acelerada de 981 cm. por segundo. Los pasajeros del ascensor inmóvil dejan caer diversos objetos en que el ascensor inmediato comienza a descender: los pasajeros de éste segundo ascensor ven los objetos siempre a su lado, como si ellos y los objetos no descendiesen.

Así que, en último análisis y bajo su forma más general, la teoría de la relatividad, no dá un tamiz, a través del cual tienen que pasar, como criterio al cual deben satisfacer, para ser exactas, las leyes; las fórmulas sirven a los sabios para expresar y representar los fenómenos naturales.

Ahora el «Intervalo» de dos acontecimientos celestes, de dos eclipses por ejemplo, cuando se calcula por la ley de Newton, no tiene el mismo valor para observadores de velocidades diferentes. Pues esta ley no es completamente correcta. Einstein ha intentado corregirla de manera que los «Intervalos» por ella permanezcan invariables. Y ha logrado matemáticamente su objeto añadiendo a la ley una ligera convicción, que no tiene diferencias apreciables con relación a la ley de Newton, referente al caso de los planetas de movimientos rápidos. El planeta más rápido es Mercurio, cuyo movimiento presenta una pequeña anomalía inexplicable por la ley de Newton, que hacía desesperar a los astrónomos. La nueva ley de gravitación de Einstein explica inmediatamente esta anomalía y con una extraordinaria precisión. Este perfeccionamiento de lo que se creía perfecto, —la obra de Newton— es una de las más hermosas victorias del espíritu humano. La corrección aportada por Einstein a la ley de Newton se reduce a considerarla como exacta bajo la condición de que las distancias de los planetas al Sol sean medidas con un metro cuya longitud disminuya ligeramente aproximándose al Sol.

* * *

Por último, a su ley exacta de la gravitación, Einstein ha añadido una concepción admirable de la gravitación misma.

Para él, si los planetas describen curvas es porque cerca del Sol, como cerca de toda concentración de materia, el Universo es siempre curvo. El camino más corto, es decir, el camino más fácil, el más rápido de un punto a otro es una línea que nos parece recta, pobres pigmeos, como somos porque la medimos con reglas muy pequeñas y sobre longitudes relativamente cortas. Si pudiéramos seguir esta línea por millones de kilómetros, la encontraríamos curva. En resumen, los planetas se mueven según líneas curvas porque avanzan siguiendo el camino más fácil en un Universo curvo, exactamente como en un velódromo los ciclistas llegan al viraje y no tienen necesidad de volver el guía, sino pedalear recto; la pendiente de la curva les obliga a girar naturalmente.

En el velódromo como en el sistema solar, la curvatura es tanto más marcada cuanto más cerca está del borde interno de la pista.

Esta espléndida concepción de la gravitación nos permite concebir por la primera vez, que el Cosmos puede ser ilimitado sin ser infinito. Si el Cosmos es curvo, si la luz ha de propagarse a lo largo de una superficie esférica, los rayos de las estrellas pueden dar eternamente la vuelta alrededor de ese Universo límite.

El genio de Einstein es como un brillante faro, que ilumina algunos de los problemas que más apasionan a la humanidad.

En la sombra del misterio, la ciencia es una claridad. El hombre aumenta

sin cesar el radio del círculo que le rodea, encontrándose en contacto con mayor número de puntos en la tiniebla de lo desconocido.

«La línea recta es el camino más corto entre dos puntos», dice la geometría de Euclides. Pero la línea recta no es otra cosa que la dirección de un rayo luminoso, o sea el camino recorrido por la luz en un medio homogéneo.

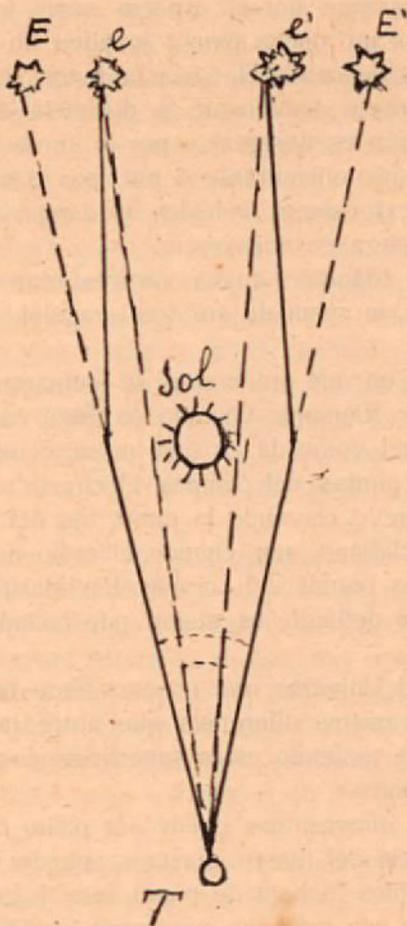


Fig. 5.—El rayo de una estrella e que llega normalmente a un observador colocado en la tierra en T , tiene la dirección marcada por la línea de trazos $e T$, el de la otra estrella e' sigue normalmente la dirección $e' T$. Pero cuando el sol se interpone entre la tierra y las estrellas, el rayo que nos llega de la estrella e se ha curvado por la atracción solar y parece que procede del punto E , y semejantemente el rayo que procede de e' nos parecerá que viene de E' . Fotografando las estrellas e y e' en la noche, forman con relación a la Tierra el ángulo $e T e'$ y si se fotografian durante un eclipse de sol formarán el ángulo $E T E'$. La diferencia de estos ángulos fué conforme a las previsiones de Einstein.

Ahora bien, la geometría de Euclides no es única. En el siglo XIX Riemann, Bolyai, Lobatcheswsky y Poincaré han escrito geometrías tan lógicas como Euclides, estableciendo postulados distintos, como por ejemplo, según Euclides: «Por un punto no se puede hacer pasar más que una paralela a una recta dada»; pero Riemann dice: «Por un punto *no se* puede hacer pasar ninguna paralela a una recta dada.»

Según Einstein los postulados anteriores equivaldrían al siguiente: dos rayos luminosos que marchan por el espacio vacío y en lo que para cada fracción de rayo, diremos un mismo plano, ¿pueden no encontrarse nunca? *La respuesta de Einstein es negativa.* He aquí la razón: la gravitación de los astros desvía a los dos rayos luminosos; la distancia de los astros no es la misma, luego la desviación es desigual y por lo tanto los rayos dejan de ser paralelos, acabando por no encontrarse o por no estar en un mismo plano; luego en las inmensas extensiones celestes, el *universo real* no es euclidiano porque la luz no se propaga en línea recta.

Si medimos en un triángulo, cuyos vértices sean la Tierra y Júpiter en oposición y otro planeta, la suma de sus tres ángulos tampoco será 180 grados por la misma razón.

Dice Nordman: «¿Con qué geometría se emparenta mejor el Universo? Probablemente con la de Riemann. Cuando se traza con un compás un círculo en una hoja de papel colocada en una mesa, el radio del círculo nos lo da la separación de las puntas del compás: el círculo es euclidiano. Pero ese círculo se traza en un huevo, clavando la punta fija del compás en un extremo del huevo, ya no es euclidiano, aun cuando el radio nos lo haya dado igualmente la separación a las puntas del compás. La relación entre la circunferencia directa y el radio así definido, es menor que cuando se ha trazado en el papel.»

«Pues bien, entre el Universo real no euclidiano (einsteiniano) y un *continuum* euclidiano, hay la misma diferencia que entre la hoja de papel plana y la superficie del huevo, teniendo estas superficies dos dimensiones, en tanto que el Universo tiene cuatro.»

«El espacio de dos dimensiones puede ser plano como la hoja de papel o curvo como la superficie del huevo. Hasta se puede hacer, según que dejemos plana o que enrollemos la hoja de papel, que la geometría que se aplique a las figuras trazadas en esa hoja sea geometría euclidiana o no lo sea. De una manera análoga el espacio de dos o más dimensiones puede ser euclidiana o no serlo.»

«En realidad el Universo es aproximadamente euclidiano en las regiones muy distantes en todo cuerpo que gravita. No es euclidiano sino curvo en la vecindad de los astros y lo es tanto más, cuanto más cerca está de ellos.»

Caminando en una llanura, podremos recorrer ésta en línea recta en todos sentidos y será el camino más corto entre dos puntos determinados. Pero si encontramos al dejar la llanura pequeñas elevaciones para ir de un punto a otro separado por una colina, no se puede seguir la línea recta de cualquier modo que hagamos, nuestro trayecto será una línea curva. Pero entre todos estos caminos curvos, hay uno más corto que los demás; este camino más

corto y único en su especie es lo que se llama geodésica de la superficie recorrida (Einstein). Deducimos de aquí la siguiente consecuencia; donde el Universo es arqueado, la geodésica es una línea curva; donde el universo es casi euclidiano, es una línea recta la que representa la geodésica.

Einstein ha enunciado el principio de Newton en la siguiente forma: «Todo móvil abandonado libremente a sí mismo, describe una geodésica en el Universo.»

¿Es infinito el Universo? Al alejarnos del sol, disminuye el número de estrellas a medida que nos acercamos a los confines de la Vía Láctea. La luz, que tarda un segundo en ir de la Tierra al Sol, tres años en llegar a la Tierra desde la estrella Alfa del Centauro, necesita por lo menos 30.000 (treinta mil años, 300 (trescientos siglos para recorrer la Vía Láctea.

Ésta se compone de un número de estrellas comprendido entre *quinientos y mil quinientos millones*, cantidad, como dice Nordman, «mucho más inferior que el número de moléculas contenidas en la cabeza de un alfiler».

«Además, sigue escribiendo Nordman, se han descubierto muy apiñadas aglomeraciones de estrellas tales como la nebulosa de Magallanes, la de Hércules, y otras muchas que no parecen estar más allá de los confines de la Vía Láctea y son como sus arrabales. Estos arrabales tienen trazas de extenderse muy lejos, sobre todo de un lado de la Vía Láctea, y el más lejano acaso que no esté a menos de (200.000) doscientos mil años de luz de nosotros.»

«Más allá el espacio parece desierto y privado de estrellas en distancias enormes con relación a las dimensiones de nuestro Universo. Pero, ¿y más lejos aún?

Más lejos...se hallan esos astros peregrinos que llamamos nebulosas espirales, puestos cual caracoles de plata en el jardín de las estrellas y cuyo número señalado hasta hoy alcanza a varias centenas de millar. Hay astrónomos que creen que las nebulosas espirales de estrellas son anexos a la Vía Láctea e imágenes reducidas de ésta. La mayoría tiene serias razones para pensar que las nebulosas espirales son sistemas en un todo análogos a la Vía Láctea.

Después de estos antecedentes, qué significa la frase: ¿el Universo es infinito? Si camino en línea recta o hasta el fin de la eternidad, nunca volveré al punto de partida.

¿Esto es posible? Newton dice que sí. Einstein dice que no. Luego para los relativistas el Universo puede no ser infinito.

¿Está, pues, limitado? No, no está limitado.

Dice Einstein: «Una cosa puede ser ilimitada y no ser infinita: un hombre que anda por la superficie de la tierra, podrá darle la vuelta indefinidamente en todos sentidos sin que ningún límite lo detenga. La superficie de la tierra considerada de ese modo y así también la superficie de cualquier cuerpo esférico es finita e ilimitada a la vez.»

Hemos visto que el Universo einsteniano, a consecuencia de la gravitación, no es euclidiano sino arqueado. «Hagamos caso omiso, dice Nordman, de la distribución irregular de las estrellas en nuestro Universo estelar y supongámosla homogénea. ¿Qué condición se necesita para que, bajo la influencia de la gravitación, esta distribución de estrellas permanezca estable?» La respuesta que da Einstein, basada en el cálculo, es la siguiente: es menester que

la curvatura del espacio sea constante y tal, que el espacio se cierre como una superficie esférica. Los rayos de luz de las estrellas pueden dar eternamente e indefinidamente vuelta a ese Universo ilimitado y sin embargo finito. Si el Cosmos es esférico, se puede pensar que los rayos emanados de una estrella, del Sol, por ejemplo, irán a converger en un punto diametralmente opuesto del Universo después de haberle dado la vuelta.

«Si desde un punto dado de nuestro sistema estelar, por ejemplo nuestro planeta, observamos al mismo tiempo, la estrella imagen y la estrella objeto, la realidad y el espejismo, las veríamos muy diferentes, puesto que la imagen nos mostrará el objeto tal como era miles de siglos atrás y hasta podría suceder que la estrella imagen fuera más brillante que la estrella objeto, porque en el intervalo, ésta se habría apagado poco a poco, enfriada por los siglos.

Se puede calcular la curvatura del mundo y el radio de éste, cuyo valor mínimo es igual a ciento cincuenta millones de años de luz. La luz necesita por lo tanto *novecientos millones de años de luz* para dar la vuelta al Universo, limitado por la vía Láctea y sus *anexas*.

Así, pues, el que sigue el camino que él cree recto, siendo la línea recta la marcada por el rayo de luz, acabará forzosamente por encontrar el astro de donde ha salido, con tal de que disponga de tiempo suficiente; y podrá decirse: el Universo no es infinito; consecuencia lógica de las ideas einstenianas.

Muchos relativistas razonan del siguiente modo: si existiese el espacio absoluto, aunque sea inaccesible para nosotros, sería independiente del éter, y, alrededor de nuestro Universo, habría espacio sin éter y acaso otros universos palpitan más allá, pero esos mundos serán eternamente para nosotros como si no existiesen.

Dice un escritor: «Nada sensible ni conocible puede llegarnos de allí; nada puede salvar los abismos tenebrosos y mudos que rodean nuestra isla estelar. Nuestras miradas permanecen cautivas para siempre en esta mónada gigantesca, que sólo sería una pompa de éter aislada. Pues bien, aun en este caso habría un número indefinido de universos en un Universo total también indefinido... pero no infinito.»

En las teorías de Einstein han sido comprobadas por los rayos beta del radio y los rayos catódicos, cuyas velocidades son lo suficientemente grandes para que puedan servir de demostración a las indicadas teorías.

*
* *
*

Para detallar y aclarar, en lo posible, la teoría de la relatividad, escribo las siguientes líneas; tomaré las principales ideas de los comentaristas de Einstein.

La Fórmula de Lorentz

La translocación del aparato en el éter es más o menos rápida, según la hora y la época del año en que se hace el experimento de Michelson o los

experimentos análogos. Como la compensación se efectúa siempre cabalmente, puede intentarse calcular la ley exacta que regula la contracción en función de las velocidades y hace a la primera, como se comprueba, exactamente compensadora para las segundas. Esto es lo que ha hecho Lorentz. Si designamos con la letra mayúscula V la velocidad de la luz, y con la minúscula y bastardilla v la velocidad del móvil en el éter, Lorentz ha encontrado que, para que haya compensación en todos los casos, es necesario que la longitud del cuerpo móvil se acorte, en el sentido de la marcha en la proporción de

$$1 \text{ a } \sqrt{1 - \frac{v^2}{V^2}}$$

Si, en calidad de ejemplo, tomamos el caso de la traslación terrestre en que $v = 30$ kilómetros, se ve que la tierra se ha encogido según su órbita en la proporción de

$$\sqrt{1 - \frac{1}{100,000,000}}$$

La diferencia entre estas dos cantidades es de $1/200,000,000$, y la doscientamillonésima parte del diámetro terrestre, es igual a 6,5 centímetros, que es la cantidad ya encontrada.

Esta fórmula, que da el valor de la contracción en todos los casos, es elemental; hasta para un profano es claro su significado y nos permite calcular el valor del encogimiento para cualquier magnitud de la velocidad. De ello se deduce fácilmente que si la traslación de la Tierra fuera no ya de 30 kilómetros, sino de 260,000 kilómetros por segundo, ésta se habría encogido la mitad en el sentido de su movimiento, sin que sus dimensiones se hubieran alterado en el sentido perpendicular. Con esa velocidad, una esfera se convierte en un elipsoide achatado, cuyo eje menor es igual a la mitad del eje mayor; con esa velocidad, un cuadrado se convierte en un rectángulo cuyos lados paralelos al movimiento, son dos veces más pequeños que los otros.

Esas deformaciones deben ser aparentes para un observador inmóvil, pero son inapreciables para un observador que participa del movimiento, por la razón que ya hemos dicho; los metros e instrumentos de medida, y hasta el mismo ojo humano, se habrían deformado de un modo igual.

Poneos delante de uno de esos espejos, extrañamente combados y deformadores que se ven en ciertas salas de espectáculos; unos os ofrecerán vuestra imagen extraordinariamente alargada, sin que la corpulencia haya variado; otros, por lo contrario, os presentarán una imagen que tendrá vuestra estatura normal pero cuya anchura se habrá multiplicado y será grotesca. Intentad, sin embargo, medir en el espejo con un metro graduado y sobre dichas imágenes deformadas, vuestra altura y vuestra anchura. Si vuestra talla real es de 1,70 metros y vuestra anchura real de 60 centímetros, el metro yuxtapuesto a vuestra singular imagen reflejada en el espejo, os indicará que dicha imagen tiene 1.70 metros de alto y 60 centímetros de ancho, y esto así, porque el metro visto también en el espejo ha sufrido las mismas deformaciones.

Lo dicho, haría que aun cuando el globo terrestre tuviera la velocidad fantástica de que hemos hablado ya, los habitantes de la Tierra no tendrían ningún medio de comprobar que, tanto ésta como ellos, se han encogido la mitad, en el sentido Este-Oeste. Si un hombre de 1,70 metros acostado en una amplia cama cuadrada y orientado Norte-Sur, tuviese el capricho de volverse rápidamente en sentido Este-Oeste, su estatura quedaría reducida sin que lo supiera, a 85 centímetros; por lo contrario, su corpulencia habría llegado a ser el doble en el mismo tiempo, puesto que poco antes se encontraba orientado de Este a Oeste. Pero la Tierra solamente se mueve a razón de 30 kilómetros por segundo, y su deformación total no pasa, en tales condiciones, de unos cuantos centímetros.

La velocidad de nuestros vehículos más rápidos comparada con la de la Tierra es una débil fracción de kilómetro por segundo. La velocidad de un avión que recorriera 360 kilómetros por hora sería de 100 metros por segundo; la contracción Fitzgerald-Lorentz máxima de nuestros más rápidos vehículos, no pasará, pues, de una fracción de milésima de milímetro, tan ínfima, que sería completamente inapreciable para nosotros.

Por eso, y únicamente por eso, la forma de los objetos sólidos con los cuales estamos familiarizados, nos parece invariable y constante, cualquiera que sea la velocidad que tengan cuando pasen ante nuestros ojos; no ocurriría lo mismo si esa velocidad fuese centenares de millares de veces mayor.

Todo eso es muy extraño, muy asombroso, muy fantástico y muy difícil de admitir. Sin embargo, así ocurre si existe en realidad la contracción Fitzgerald-Lorentz, única explicación posible, por lo menos hasta ahora, del experimento de Michelson. Empero, ya hemos visto algunas de las dificultades que hay para concebir la existencia de dicha contracción.

Y existen otras. Si todo lo que acabamos de decir es cierto, los únicos objetos que conservarían su verdadera forma serían aquellos que estuviesen inmóviles en el éter, y se deformarían tan pronto se movieran en él.

Entre los objetos que vemos esféricos en el mundo exterior—planetas, estrellas, proyectiles, gotas de agua, qué se yo—¿habrá algunos que sean realmente esferas mientras que los otros, debido a sus movimientos más rápidos o más lentos, son elipsoides alargados o achatados, que la velocidad ha deformado? Asimismo, entre los objetos cuadrados ¿habrá algunos que sean verdaderos cuadrados y otros que, por estar animados de velocidades diferentes con relación al éter, sean verdaderos rectángulos cuyo lado más largo se ha encogido aparentemente por causa de la velocidad? ¿No tendríamos ningún medio para saber algún día cuáles son, entre estos objetos animados de diferentes velocidades, aquellos cuya forma verdadera vemos realmente y aquellos cuya forma no es más que aparente, ya que no podemos, el experimento de Michelson lo prueba, descubrir una velocidad con relación al éter?

No, no, y cien veces no, exclaman los relativistas. En todo eso hay demasiadas dificultades. ¿Por qué hablar sin cesar, como lo hace Lorentz, de velocidades con relación al éter, puesto que ningún experimento puede evidenciar tal velocidad, y puesto que el experimento es la fuente única de la verdad científica? Por otra parte, ¿por qué admitir que entre los objetos sensibles los

hay privilegiados que, con exclusión de otros, se nos presenten con su aspecto real, sin deformación? ¿Por qué admitir semejante cosa, que de por sí repugna al espíritu científico, siempre enemigo de las excepciones en la naturaleza —no hay ciencia como no sea en general— sobre todo cuando esas excepciones son imperceptibles?

Einstein y las nuevas teorías de las Ciencias Físicas

Lo que indica la teoría nueva. ¿Cómo comprobarlo? Ello hubiera sido imposible cincuenta años atrás, porque en aquél entonces no se conocían más velocidades que las modestísimas de los vehículos y de los proyectiles terrestres, que no pasaban nunca, aun en las bombas, de 1 kilómetro por segundo. Los mismos planetas tienen velocidades muy débiles para esta comprobación, y Mercurio, verbigracia, que es el más veloz de todos, no la tiene sino de 100 kilómetros por segundo, lo que todavía es insuficiente.

Si sólo hubiésemos dispuesto de velocidades como esas, no habría habido medio de verificar quién tenía razón, si la mecánica clásica, afirmando que la masa es constante, o la mecánica nueva, afirmando que es variable.

Los rayos catódicos y los rayos beta del radio, nos han proporcionado velocidades suficientes para una comprobación.

Esos rayos están constituidos por un bombardeo ininterrumpido de pequeños proyectiles muy rápidos cuya masa es inferior a la dosmilésima parte de la del átomo de hidrógeno; proyectiles que, por lo demás, están cargados de electricidad negativa y que llamamos electrones.

Los tubos catódicos y el radio, efectúan un bombardeo continuo con esos pequeños proyectiles cargados, no de melinita, sino de electricidad, y mucho menores que las bombas de las artillerías europeas; pero en cambio, animados de velocidades iniciales infinitamente mayores, al lado de las cuales haría un papel ridículo hasta la de los mismos proyectiles de los Berta.

¿Cómo ha podido medirse la velocidad de esos proyectiles?

Es sabido que los cuerpos electrizados obran unos sobre los otros; se atraen o se repelen; se sabe, además, que los electrones están cargados de electricidad. Si, por consiguiente, los colocamos en un campo eléctrico, entre dos platillos unidos por hilos conductores a los dos bornes de una máquina eléctrica o de un carrete de inducción, quedarán sometidos a una fuerza que los desviará de su camino. Un campo eléctrico desviará, pues, los rayos catódicos, y la desviación dependerá de la velocidad de los proyectiles, así como de la masa de éstos, es decir, de la resistencia de inercia que dicha masa oponga a las causas que tiendan a desviarla.

Esto no es todo: las cargas eléctricas que llevan los proyectiles están en movimiento y en movimiento rápido. Electricidad en movimiento es una corriente eléctrica; ahora bien, sabemos que los imanes y los campos magnéticos desvían las corrientes; en consecuencia, el imán desviará los rayos catódicos. Esta desviación, cual la primera, dependerá de la velocidad y de la masa del proyectil, sólo que no dependerá de ellas del mismo modo. Por otra parte, en

igualdad de circunstancias, la desviación magnética será mayor que la desviación eléctrica, si la velocidad es grande. En efecto, la desviación magnética se debe a la acción del imán sobre la corriente, y será tanto mayor cuanto más intensa sea la corriente, asimismo, la corriente será tanto más intensa cuanto mayor sea la velocidad, puesto que es el movimiento del proyectil lo que produce la corriente. Al contrario, la influencia de la atracción eléctrica desviará tanto menos la trayectoria de nuestros pequeños proyectiles, cuánto más rápidos sean éstos.

Se concibe, pues, que sometiendo un rayo catódico a la acción de un campo eléctrico y luego a la de un campo magnético, y comparando las dos desviaciones, se puede medir a la vez la velocidad del proyectil y su masa— con relación a la carga eléctrica conocida del electrón.

De este modo se encuentran velocidades enormes, que van desde algunas decenas de kilómetros, hasta 150.000 kilómetros y más por segundo. En cuanto a los rayos beta del radio, es sabido que son aún más rápidos y que alcanzan velocidades próximas a la de la luz y superiores a 290.000 kilómetros por segundo.

Hémos, pues, con las velocidades que necesitamos para ver si la masa aumenta o no con ellas.

* * *

Esto sentado, y para comprender perfectamente la marcha de los experimentos, nos falta decir algunas palabras acerca de ese curioso fenómeno de inercia eléctrica que se llama la autoinducción. Cuando se quiere establecer una corriente eléctrica, se experimenta cierta resistencia inicial que cesa cuando se ha establecido la corriente. Si en seguida se quiere interrumpir la corriente, ésta tiende a mantenerse, y cuesta tanto trabajo detenerla como detener un vehículo una vez lanzado, según lo prueba la experiencia diaria. Ocurre a veces que los troles de los tranvías se salen un momento del cable conductor de la corriente, instante preciso en que saltan chispas. ¿Por qué? Pasaba una corriente que iba del cable al trole, si éste se aparta un instante del cable dejando un intervalo de aire, que es un obstáculo que impide el paso de la electricidad, no por eso se detiene la corriente, que, ya lanzada, por decirlo así, atraviesa el obstáculo en forma de chispa. Este fenómeno es lo que se llama autoinducción.

La autoinducción, o sencillamente la auto, como dicen los operarios electricistas, es una verdadera inercia. El medio ambiente opone una resistencia a la fuerza que tiende a establecer una corriente eléctrica y a aquella que tiende a hacer cesar una corriente previamente establecida, del mismo modo que la materia resiste a la fuerza que tiende a hacerla pasar del reposo al movimiento o, al contrario, del movimiento al reposo. Hay, pues, al lado de la inercia mecánica una verdadera inercia eléctrica.

Empero, nuestros proyectiles catódicos, los electrones, están cargados, y tan pronto como se ponen en movimiento producen una corriente eléctrica que cesa cuando se detienen. Luego, deben poseer juntamente la inercia mecánica y la eléctrica. Tienen, por decirlo así, dos inercias, esto es, dos masas inertes,

una masa real y mecánica y una masa aparente debida a los fenómenos de autoinducción electromagnética. Estudiando las dos desviaciones, eléctrica y magnética, de los rayos beta y del radio y de los rayos catódicos, puede determinarse la parte que corresponde a cada masa en la masa total del electrón. En efecto, la masa electromagnética, debido a las causas que acabamos de explicar, varía con la velocidad y con arreglo a ciertas leyes que la teoría de la electricidad nos hace conocer. Observando la relación entre la masa total y la velocidad, puede verse, por consiguiente, cuál es la parte de la masa total e invariable, y cuál la de la masa aparente, de origen electromagnético.

Físicos muy hábiles han hecho y repetido el experimento, y es tal el resultado, que sorprende: la masa real, efectiva, es nula; la masa entera de la partícula es de origen electromagnético. Estamos, pues, en presencia de algo capaz de modificar por completo nuestras ideas sobre la esencia de lo que llamamos materia. Pero ya esto es otro asunto... Entonces nos hemos preguntado,—y a esto queríamos venir a parar después de estos pocos rodeos que habrán allanado el camino,—si la relación entre la masa y la velocidad de los proyectiles catódicos es la misma que la a que nos condujo el principio de relatividad.

El resultado de los experimentos es absolutamente claro y concordante, y eso que algunos de ellos se hicieron con rayos beta que, en cuanto a valor de la masa, correspondían al décuplo de la masa inicial. Ese resultado es este: las masas varían con la velocidad y exactamente como lo establecen las leyes numéricas de la dinámica de Einstein.

Nueva y preciosa confirmación experimental, que tiende a establecer a su vez que la mecánica clásica sólo era una burda aproximación, admisible cuando más para las velocidades medianas, con que hemos de habérmolas en el curso ridículamente limitado de la vida cotidiana.

Así, la masa de los cuerpos, esa propiedad newtoniana que creímos era el símbolo de la constancia y el equivalente de lo que, en el orden de las cosas morales llamamos fidelidad a los tratados, no es más que un pequeño coeficiente variable, ondeante y relativo, según como se le mire. En virtud de la reciprocidad que ya precisamos cuando se trató de la contracción debida a la velocidad, la masa de un objeto aumenta igualmente, no sólo si éste se mueve, sino también si el que se mueve es quien observa y sin que por lo demás, un observador, relacionado con el objeto, pueda jamás comprobar la diferencia.

De ésta suerte, una regla que se mueve con velocidad de 260.000 kilómetros por segundo, no sólo habrá disminuido la mitad en longitud, sino que, al mismo tiempo, su masa habrá duplicado, y su densidad, que es la relación entre la masa y el volumen, habrá cuadruplicado.

Las nociones físicas que se creían mejor cimentadas, más constantes, más inmóviles, arrancadas ahora de cuajo por el huracán de la mecánica nueva, se convierten en cosas fluctuantes, blandas y plásticas que modela la velocidad.

Los físicos nos han mostrado recientemente otras comprobaciones de la nueva fórmula, completamente independientes de la que acabamos de exponer.

A la espectroscopia debemos una de las más sorprendentes.

Es sabido, que cuando se hace pasar un rayo de luz solar que sale de una rendija muy angosta, a través de la arista de un prisma de cristal, el rayo se abre a la salida del prisma, cual un magnífico abanico cuyas varillas estén formadas por los colores del arco iris. La observación atenta de ese abanico coloreado, nos permite ver finas soluciones de continuidad, estrechos vacíos en los que no hay luz, y que son las rayas oscuras del espectro solar. Cada raya corresponde a un elemento químico determinado, y sirve para identificarlo tanto en el laboratorio como en el Sol o las estrellas.

Desde tiempo ha se nos explica que dichas rayas proceden de los electrones que están girando con rapidez extraordinaria alrededor del centro del átomo. Sus cambios frecuentes de velocidad producen en el medio ambiente una onda,—semejante a la que causa en el agua la caída de una piedra,—que es una de las ondas luminosas características del átomo, y que se manifiesta por una de esas rayas espectrales. El físico danés Bohr ha expuesto recientemente esta teoría en todos sus pormenores, que no son de este lugar, y mostrado que ella aprecia con exactitud las diversas rayas espectrales correspondientes a los elementos químicos. Recordemos que éstos difieren entre sí por el número y la disposición de los electrones que gravitan en sus átomos.

Ahora bien, el señor Sommerfeld ha razonado de la manera siguiente: los electrones que gravitan cerca del centro de un átomo, deben tener una velocidad mucho más grande que los que gravitan más hacia el exterior, lo mismo que los planetas inferiores, Mercurio y Venus, tienen velocidad mayor alrededor del Sol, que los planetas superiores, Júpiter, Saturno, etc. De lo que se infiere,—si las teorías de Lorentz y Einstein son exactas,—que la masa de los electrones internos de los átomos, debe ser mayor que la de los electrones externos, sensiblemente más grandes, porque los electrones giran con velocidad enorme. El cálculo muestra en seguida que, en esas condiciones, cada raya del espectro de un elemento químico debe estar compuesta, en realidad, de un haz de rayitas finas y yuxtapuestas. Paschen, precisamente, lo comprobó con posterioridad (1916), y encontró que la estructura de las rayas finas es exactamente la que anunciaba Sommerfeld. ¡Asombrosa confirmación de la hipótesis y de la exactitud de la nueva mecánica!

Pero eso no es todo; se sabe que los rayos X son vibraciones análogas a la luz, del mismo origen que ésta, aun cuando la onda es mucho más corta, es decir, mucho más frecuente; por lo tanto, mientras que la luz proviene de los electrones exteriores de ese minúsculo sistema solar, llamado átomo, los rayos X provienen de los electrones más rápidos, es decir, de los más próximos al centro. De lo cual resulta que la estructura particular de las rayas de los rayos X que para las rayas espectrales de la luz, como lo ha comprobado la experiencia. Las cifras que caracterizan los hechos observados corresponden exactamente a los cálculos de la mecánica nueva, a la variación prevista de la masa por causa de la velocidad.

Queda, pues, establecido que los fenómenos que se verifican en el micro-

cosmo de cada átomo, obedecen a las leyes de la mecánica nueva, y no a las de la antigua, y que, en particular, las masas en movimiento varían allí como aquélla quiere.

La experiencia, «fuente única de toda verdad», ha decidido.

Hémos bien lejos de las ideas que antaño fueron corrientes. Lavoisier nos enseñó que la materia no puede ser creada ni destruida, que ella es permanente; con eso quiso decir que la masa es invariable, y lo comprobó con la balanza. Empero, ahora ocurre que los cuerpos tal vez carecen de masa,—si el origen de ésta es enteramente electromagnético,—o que, en todo caso, no es invariable. Ello no quiere decir que la ley de Lavoisier ya no tiene sentido: hay algo que subsiste y que se confunde con las masas cuyas velocidades son pequeñas; mas, de todas maneras, el concepto de la materia sufre muy violenta conmoción. Lo que llamábamos materia era ante todo la masa, lo cual nos parecía más tangible y más duradero de ella. ¡Y es el caso, que ahora esa masa no existe más ni menos que el tiempo y el espacio en donde creíamos poder situarla! Esas realidades no eran, pues, sino fantasmas...

Perdóneseme, si en esta exposición hay puntos arduos, en mérito de que la nueva mecánica nos descubre horizontes tan extraordinariamente nuevos que es digna de algo más que una mirada rápida y desdeñosa. Para contemplar dilatado panorama en un mundo inexplorado, vale la pena que no se vacile y que, aun a costa de sofocación pasajera, se trepe la cuesta empinada que nos lo oculta.

* * *

Hay otra noción fundamental de la mecánica,—la noción de energía,—que, a la luz de la teoría einsteniana, nos aparece con un aspecto inesperado, que la experiencia también ha justificado plenamente.

Ya hemos visto que un cuerpo cargado de electricidad y en movimiento opone cierta resistencia a la desviación, a consecuencia de esa inercia eléctrica que se llama la autoinducción. El cálculo y la experiencia muestran que si disminuimos las dimensiones del cuerpo cargado de determinada cantidad eléctrica se acrecienta. En efecto, en las hipótesis a que aludimos y si la inercia es de origen exclusivamente electromagnético, los electrones sólo son unas a modo de estelas eléctricas que se mueven en ese medio propagador de las ondas eléctricas y luminosas, medio a que hemos dado el nombre de éter.

Los electrones no son, pues, nada por sí mismos, valiéndonos de la experiencia de Poincaré, son tan sólo un género de «hoyas en el éter» en torno de las cuales se agita éste al modo que en un lago esas hoyas forman remolinos que oponen resistencia al empuje de un esquife.

En ese caso, cuanto más pequeñas sean las hoyas en el éter tanto más importante, proporcionalmente, será la agitación del éter en torno de ellas; consiguientemente, mayor será la inercia de la «hoya en el éter» que constituye el corpúsculo estudiado. ¿Qué va a resultar de ello? Sabemos, gracias a las medidas efectuadas, que la masa del diminuto sol de cada átomo del núcleo positivo de los átomos, es mucho más pequeño que el electrón.

Si consideramos el átomo del hidrógeno más ligero y más simple que todos los gases, sabemos que está formado por un solo planeta, por un solo electrón negativo que gira alrededor de un diminuto sol central o núcleo positivo. Sabemos asimismo que la masa del electrón negativo que gira alrededor de un diminuto sol central o núcleo positivo. Sabemos asimismo que la masa del electrón es 2,000 veces más pequeña que la del átomo de hidrógeno. Resulta de esto, el cálculo lo muestra, que el núcleo positivo debe tener un radio 2,000 veces más pequeño que el radio del electrón. Ahora bien, los experimentos de los físicos ingleses, han establecido que las grandes partículas alfa de los rayos del radio pueden atravesar muchas centenas de millar de átomos sin que el núcleo positivo las desvíe sensiblemente; de lo cual se deduce, de acuerdo con las previsiones teóricas, que dicho núcleo es mucho más pequeño que el electrón.

Lo dicho, mueve irresistiblemente a pensar que el origen de la inercia de todas las partes que constituyen los átomos, es decir, de toda la materia, es exclusivamente electromagnético. Ya no hay materia, ya no hay sino energía eléctrica que, por las reacciones que el medio ambiente ejerce sobre ella, nos hace creer falazmente en la existencia de ese algo substancial y compacto que las generaciones se han acostumbrado a llamar materia.

De todo resulta asimismo, gracias a los cálculos y razonamientos tan sencillos como elegantes de Einstein—respecto de los cuales sólo puedo aquí dejar que se adivine el desarrollo,—que la masa y la energía son una misma medalla. Luego, en el universo sensible no hay masa material sino energía. ¡Extraño resultado, casi espiritualista, en cierto sentido, de la física moderna!

Según lo expuesto, la mayor parte de la «masa» de los cuerpos se deberá a una energía interna, considerable y oculta. Es la energía que vemos disiparse poco a poco en los cuerpos radioactivos, únicos depósitos de energía atómica que hasta ahora comunican con el exterior.

Si cuanto va dicho es cierto, si energía y masa son sinónimos, si la masa sólo es energía, recíprocamente, la energía libre debe poseer propiedades sólidas. Efectivamente, la luz, por ejemplo, tiene una masa. Experimentos concretos han mostrado que un rayo de luz hiriendo un objeto material, ejerce sobre él una presión que ya se ha medido. La luz tiene una masa; por consiguiente, un peso, como todas las masas. Ya veremos otra prueba directa —¡y qué hermosa prueba!— de que la luz pesa, cuando nos referimos a la nueva forma que Einstein ha dado al problema de la gravitación.

Puede calcularse que la luz que el sol envía a la Tierra durante un año, pesa un poco más de 58,000 toneladas: lo cual es poco si se piensa en el formidable peso de carbón necesario para conservar en este glóbulo terráqueo la temperatura, bastante suave en suma, que mantiene el Sol... en el caso de que se apagara súbitamente.

La diferencia es debida a lo siguiente: cuando nos calentamos con determinado peso de carbón, sólo utilizamos una pequeña parte de su energía disponible, su energía química, mientras que toda su energía intraatómica es inaccesible para nosotros. Tan lastimoso es ello, que si así no fuera, bastarían algunos gramos de carbón para calentar durante el año a todas las ciudades

y a todas las fábricas de España. ¡Cuántos problemas se simplificarían de esta manera! Pero esto no lo veremos mientras no salga la humanidad de la ignorancia y la torpeza bárbara en que yace estancada, es decir, dentro de algunos centenares de siglos. Sí, veremos eso, y será realmente tan hermoso espectáculo, que tenemos el derecho de regocijarnos de antemano.

Mientras tanto el Sol, cual todos los astros, cual todos los cuerpos incandescentes, a medida que irradia pierde poco a poco su peso; con tal lentitud, sin embargo, que no hay por qué temer que se desvanezca en breve nuestra vista, de modo semejante a esos seres elegidos que mueren de haberse prodigado con exceso...

Resumen

En fin, toda la síntesis einsteniana deriva del resultado del experimento de Michelson o, al menos, de una interpretación particular de dicho resultado.

El fenómeno de la aberración de las estrellas prueba que el medio que transmite la luz de éstas hasta nuestros ojos, no participa de la traslación de la Tierra alrededor del Sol. Los físicos llaman éter a ese medio. Lord Kelvin, que mereció el honor de reposar en Westminster bajo la losa contigua a la de Newton, consideraba, con razón, la existencia de éter interestelar tan bien probada como la del aire que respiramos, pues sin ese medio, el calor del Sol, madre y nodriza de toda vida terrestre, no llegaría hasta nosotros.

En la teoría de la relatividad restringida, hemos visto que Einstein interpretó los fenómenos sin hacer intervenir al éter o, por lo menos, sin hacer que intervinieran las cualidades cinemáticas habitualmente atribuidas a esa substancia. Dicho de otro modo, la relatividad restringida, ni afirma ni niega al éter clásico: le ignora.

Pero esta indiferencia, este desdén con respecto al éter, desaparece en la teoría de la relatividad generalizada. En anteriores líneas vimos que las trayectorias de los cuerpos gravitantes y de la luz, proceden directamente, según esta teoría, de una curvatura particular y del carácter no euclidiano del medio que, en el vacío, es vecino de los cuerpos sólidos, es decir, el éter. Aun cuando, sus propiedades cinemáticas no sean para Einstein lo que son para los clásicos éste resulta ser el substratum de todos los acontecimientos del Universo, y vuelve a adquirir su importancia, su realidad objetiva. Él es el medio continuo en que evolucionan los hechos espacio-temporales.

Por consiguiente, en su forma esencial, y a pesar de la nueva actitud cinemática que ella le atribuye, la teoría general de Einstein admite la existencia objetiva del éter.

La aberración de las estrellas muestra que ese medio es inmóvil con relación a la traslación de la Tierra en su órbita.

Al contrario, el resultado negativo del experimento de Michelson tiende a probar que él participa de ese movimiento de la Tierra; y la hipótesis de Fitzgerald-Lorentz concilia esta antinomia, admitiendo que el éter realmente no participa de la traslación de nuestro globo, sino que todos los cuerpos que en

él se traslocan sufren, en el sentido de ese movimiento, una contracción que aumenta con la velocidad que tienen en el éter, la cual explica el resultado negativo de Michelson. La explicación de Lorentz parece inadmisibles a Einstein a causa de algunas inverosimilitudes, y especialmente porque supone la existencia en el Universo de un sistema de referencias privilegiadas que resucita el espacio absoluto de Newton. En virtud del principio de que todos los puntos de vista son igualmente relativos, Einstein no admite que haya en el Universo observadores privilegiados—los que están inmóviles en el éter—que pudieran ver las cosas tal como son, mientras que aparecerían deformadas para cualquier otro observador.

Y Einstein, conservando la contracción de Lorentz y las fórmulas que la expresan, afirma que esa contracción existe; pero no es más que una apariencia, una especie de ilusión óptica debida a que la luz, que nos define los objetos, no se propaga instantáneamente, sino con velocidad finita. Esta propagación de la luz se efectúa siguiendo leyes tales, que precisamente el espacio y el tiempo aparentes se deforman conforme a las fórmulas de Lorentz. Esa es la base de la relatividad especial de Einstein.

Así, las dos primeras explicaciones posibles del resultado negativo del experimento de Michelson, son:

1.^a Hay una contracción de los objetos móviles en el éter inmóvil, substractum fijo de los fenómenos. Esta contracción es real y aumenta con la velocidad del móvil, relativamente al éter. Esta es la explicación de Lorentz.

2.^a Hay una contracción de los objetos móviles con relación a cualquier observador. Esta contracción sólo es una apariencia debida a las leyes de la propagación de la luz, contracción que aumenta en razón de la velocidad del móvil respecto al observador. Esta es la explicación de Einstein.

* * *

Pero hay, por lo menos, una tercera explicación posible, que introduce hipótesis nuevas y hasta insólitas, aunque de ningún modo absurdas. Por lo demás, en física principalmente, es donde lo verdadero puede a veces no ser verosímil. La explicación mostrará que, aún fuera de la teoría de Lorentz, podemos comprender el resultado del experimento de Michelson sin recurrir a la interpretación einsteniana.

He aquí esa tercera hipótesis explicativa.

Cada cuerpo material lleva consigo, cual una a modo de atmósfera, el éter que le está unido. Además, existe en el vacío interastral un éter inmóvil insensible al movimiento de los cuerpos materiales que se mueven en él y que, para distinguirlo del éter unido a los cuerpos, llamaremos superéter. Este superéter ocupa todo el vacío interestelar y, cerca de los astros, se superpone al éter que éstos arrastran. El éter y el superéter se transpenetran lo mismo que transpenetran la materia, y las vibraciones que transmiten se propagan allí independientemente.

Cuando un cuerpo material emite series de ondas en el éter que lo circunda, esas ondas tienen con respecto a él la misma velocidad constante de

la luz; pero cuando las ondas han atravesado la capa relativamente delgada del éter que está unido a ese cuerpo material y que gradualmente se funde en el superéter, las ondas se propagan en este último y entonces es cuando con relación a éste, toman progresivamente su velocidad.

Del mismo modo, un barco que atraviesa el lago de Ginebra con determinada velocidad, al llegar hacia la mitad del lago posee dicha velocidad con relación a la estrecha corriente que forma en él el Ródano, y luego vuelve a tenerla con relación al lago inmóvil.

Así, aunque emanados de astros que se alejan o que se acercan a nosotros, los rayos luminosos de las estrellas tendrán la misma velocidad cuando lleguen hasta nosotros: ésta será la velocidad que el superéter les impone por igual. Así, por otra parte, el superéter habrá llevado hasta nuestros anteojos astronómicos los rayos estelares que vemos, sin que tal propagación haya podido perturbar la débil capa de éter que se mueve con la Tierra.

En estas hipótesis, todos los hechos se explican y concilian: 1.º, la aberración de las estrellas, porque el superéter nos transmite los rayos luminosos de éstas, sin alterarlos; 2.º, el resultado negativo del experimento de Michelson, porque la luz que producimos en el laboratorio se propaga en el medio en que ha nacido, es decir, en la capa de éter que arrastra nuestro globo; 3.º, el hecho de que a pesar de la lejanía o de la aproximación de las estrellas, los rayos luminosos de éstas llegan hasta nosotros con una común velocidad adquirida en el superéter poco después de emitidos.

Esta explicación que, por muy singular que parezca, no es absurda ni engendra dificultades imposibles de allanar, prueba que si el resultado de Michelson es un a modo de callejón sin salida, se puede salir de él recurriendo a medios que no son la teoría de Einstein.

En resumen, para obviar las dificultades, las aparentes contradicciones que la experiencia ha demostrado, la antinomia que hay entre la aberración y el resultado de Michelson, se ofrecen tres vías conducentes a esta alternativa:

- 1.ª: La contracción de los cuerpos por la velocidad, es real.—LORENTZ;
- 2.ª: La contracción de los cuerpos es tan sólo una apariencia de vida a las leyes de la propagación de la luz.—EINSTEIN;
- 3.ª: La contracción de los cuerpos no es ni una realidad ni una apariencia, puesto que no existe.—Hipótesis del superéter conjugado con el éter.

Esto prueba que los hechos no imponen de ningún modo la explicación einsteniana de los fenómenos o que, por lo menos, no la imponen imperativamente y con la exclusión de toda otra.

Einstein y Painlevé

Lo que ha parecido chocante en la hipótesis de la contracción real de Lorentz es, en primer término, que esa contracción depende solamente de la velocidad de los objetos y, en ningún caso, de la naturaleza de éstos, que es la misma para todos, sea cual sea la substancia, la composición química y el estado físico que los distingue.

De reflexionar un poco, esa cosa tan peregrina parece menos inadmisible. ¿Acaso no sabemos que todos los átomos están formados por los mismos electrones, cuya disposición y número atómico es lo único que difiere y hace que los cuerpos sean diferentes?

La aguda y profunda crítica de Painlevé merece que se coteje con la de Wiechert, quien desanidó otras hipótesis introducidas, al paso, en los cálculos de Einstein.

En definitiva, éste no parece que se haya apartado completamente de las premisas newtonianas que repudia. No las desdeña tanto como pudiera creerse, y no rehuye, si la coyuntura se presenta, de llamarlas en su auxilio cuando se trata de determinar el cálculo, lo cual es sencillamente adorar el ídolo que antes se derribó.

Para salir de cuidados, los relativistas contestarán probablemente, que si, en la exposición introducen ejes newtonianos, es para que el resultado del cálculo sea comparable al de las medidas experimentales. Los ejes introducidos de ese modo en las ecuaciones, tienen para los relativistas el único privilegio de ser los mismos a que los experimentadores refieren sus medidas. Hay que convenir en que semejante privilegio es bien mezquino!

* * *

Eso no es todo, el principio de la relatividad generalizada dice, en suma, lo siguiente: todos los puntos de partida, todos los sistemas de referencia son equivalentes para expresar las leyes de la naturaleza, y esas leyes son invariantes cualquiera que sea el sistema de referencia con que se las relacione. Lo cual quiere decir que entre los objetos del mundo exterior hay relaciones que son independientes de quien las mira y especialmente de la velocidad de éste. Así, un triángulo trazado en un papel tiene algo que le caracteriza y que es idéntico ya si el que mira pasa muy de prisa ante el papel, ya si pasa lentamente o con cualquiera velocidad y en cualquier sentido.

Observa el señor Painlevé, con alguna razón, que con esa forma, el principio es una especie de perogrullada. El calificativo es duro, pero expresa, no obstante, un hecho cierto. Las relaciones reales de los objetos exteriores no pueden ser alteradas por el punto de vista del observador.

Einstein responderá que algo es aquello de proporcionar un tamiz y un criterio, a fin de que las leyes y fórmulas que nos sirven para representar los fenómenos observados empíricamente pasen por el primero y satisfagan al segundo, antes de ser reconocidas como exactas. La ley de Newton, en su forma clásica, no satisfacía ese criterio completado hoy por la condición de invariabilidad que distingue al «intervalo», lo cual es prueba de que no era tan evidente como lo parecía. Por donde, una verdad no conocida ayer resulta hoy una perogrullada... ¡Tanto mejor!

Al expresar una de las condiciones que deben satisfacer las leyes naturales, la teoría de la relatividad adquiere por lo menos, lo que en la jerga filosófica se llama un valor «heurístico».

No es menos cierto que, como lo muestra el señor Painlevé con energía

y claridad, el principio de la relatividad generalizada no basta por sí mismo a armarnos de leyes precisas. Dicho principio sería perfectamente compatible con una ley de gravitación según la cual la atracción estuviera en razón inversa, no del cuadrado de las distancias, sino de la décima-séptima de la centésima potencia de una potencia cualquiera de la distancia.

Para extraer del principio de la relatividad generalizada la ley exacta de la atracción, hay que sobreañadirle la interpretación einsteniana del resultado de Michelson, esto es: que respecto de cualquier observador, la luz se propaga localmente con la misma velocidad en todos los sentidos. Y hay que sobreañadir además diversas hipótesis que el señor Painlevé considera como newtonianas.

A su exposición crítica de la relatividad, presentada brillantemente en la Academia de Ciencias de París, Pablo Painlevé ha agregado una contribución matemática de gran valor, cuyo principal resultado es el siguiente: se pueden encontrar otras leyes de la gravitación a más de la indicada por Einstein y todas corresponden a las condiciones einstenianas.

El sabio geómetra francés ha indicado varias de ellas, y una, en particular, cuya fórmula claramente diferente de la de Einstein, da cuenta como ésta y con precisión, del movimiento de los planetas, de la traslocación del perihelio de Mercurio y de la desviación de los rayos luminosos cerca del Sol.

Esta fórmula nueva corresponde a un espacio que es independiente del tiempo y no acarrea la consecuencia que se desprende de la fórmula de Einstein con respecto a la traslocación hacia el rojo de todas las rayas espectrales del Sol.

La comprobación o la no comprobación de esta consecuencia de la ecuación de Einstein, cuyas dificultades, tal vez insuperables, hemos indicado en un capítulo precedente, adquiere con ello una importancia nueva.

Cosa notable: varias fórmulas de gravitación dadas por el señor Painlevé, conducen, al contrario de la de Einstein, a la conclusión de que el espacio permanece euclidiano, cuando se aproxima el Sol, en el sentido de que los metros no deben acortarse necesariamente.

Todo esto brilla en el horizonte de la astronomía como la aurora de una época nueva, en que las observaciones hechas con esmero todavía no sospechado, brindarán muy sutiles normas capaces de imponer a la ley de la gravitación una forma más precisa, más exenta de ambigüedad. Aún quedan hermosos días... o más bien, hermosas noches para los astrónomos.

Einstein y Newton

Por lo que atañe a los principios, la controversia continuará y ésta habrá de terminar en definitiva con un diálogo de este género:

El newtoniano.—¿Admite usted que en un punto del Universo, muy distante de todas las masas materiales, un móvil abandonado a sí mismo deba describir una línea recta? En ese caso, reconocerá usted la existencia de observadores privilegiados, esto es, aquéllos para quien esa línea es recta. Para

otro observador sucederá que esa línea es una parábola. Por lo tanto, su punto de vista es falso.

El relativista.—Sí, lo admito; pero de hecho no existe ningún punto del Universo donde la acción de las masas materiales distantes sea nula. Por consiguiente, el móvil de usted, abandonado libremente, no es más que una abstracción, y yo no puedo fundar la Ciencia en una abstracción que es imposible comprobar. Todo el esfuerzo del relativista consiste en desembarazar la Ciencia de cuanto no tenga un sentido experimental. En cuanto al observador que ve al supuesto móvil describir una línea parabólica, ése interpretará su observación diciendo que el móvil está en un campo de gravitación.

El newtoniano.—Está usted obligado a admitir que muy distante de toda materia, muy distante de todos los astros, puede existir lo que llama usted un campo de gravitación, que éste varía en razón de la velocidad del observador y que podrá ser muy intenso a pesar de la distancia de los astros y hasta aumentar a veces con esa distancia. Esas son hipótesis peregrinas y absurdas.

El relativista.—Son hipótesis peregrinas, pero le desafío a que me demuestre que son absurdas. Lo son menos que localizar y hacer que se mueva un punto aislado e independiente de toda masa material.

El newtoniano.—Imagino muy bien un punto material único en el Universo, que tendría en él cierta posición y cierta velocidad.

El relativista.—Para mí, al contrario, si existiera un punto material semejante, sería absurdo, e imposible hablar de su posición y de su movimiento. Ese punto no tendría ni posición, ni movimiento, ni inmovilidad. Esas cosas sólo pueden existir relativamente a otros puntos materiales.

El newtoniano.—No es esa mi opinión.

El espectador imparcial.—Para saber quién tiene razón, sería preciso hacer un experimento en un punto material sobre el cual no influyera de ningún modo el resto del Universo. ¿Pueden ustedes, señores, hacer ese experimento?

El newtoniano y el relativista (a dúo).—No!

El metafísico (surgiendo como el tercer ladrón de la fábula).—Pues, entonces, señores, les aconsejo que vuelvan a sus telescopios, a sus laboratorios y a sus tablas de logaritmos. Lo demás es de mi incumbencia.

El newtoniano y el relativista (a dúo).—En ese caso, estamos seguros de no saber nunca sobre ese punto, nada más de lo que ya sabemos y creemos.

En resumen, nunca se encomiará bastante la importancia de las nuevas luces que esclarecen el problema de la relatividad, gracias a la intervención de Pablo Painlevé en la Academia de Ciencias de París. La resonancia de sus palabras será inmensa y duradera.

¿Echará por tierra la admirable síntesis einsteniana? ¿Se resentirá ella en grado de naufragar en las controversias, dudas e incertidumbres, cuyo breve resumen acabamos de hacer? No lo creo.

Cuando Cristóbal Colón descubrió América, se tuvo buena ocasión de decirle que sus premisas eran falsas y que de no haber creído que iba a las Indias nunca hubiera descubierto un nuevo continente. El gran navegante hubiera podido contestar al modo de Galileo: «Y, sin embargo, lo he descubierto.»

Buen método es aquel que da buenos resultados.

Y puesto que la mira es ir al fondo de lo desconocido para descubrir lo nuevo, y puesto que se trata de saber más y mejor, el fin justifica los medios.

Por haber señalado la óptica, la mecánica y la gravitación sólidamente unidas en un nuevo haz; la desviación de la luz por la gravedad, que ha anunciado contra toda previsión; por haber sido el primero en explicar las anomalías de Mercurio y adornado y precisado la ley de Newton, Einstein tendrá derecho a exclamar no sin orgullo: «¡He ahí mi obra!»

En las vías que ha seguido para obtener esos tan admirables resultados, no faltan—según cuentan—rodeos arto enfadosos y hondonadas; luego, pues, muchos caminos aun cuando imperfectos pueden conducir a Roma y a la verdad. Lo esencial es lograrlo; y aquí la verdad son los hechos antiguos reunidos por una armonía superior, los hechos nuevos anunciados en ecuaciones proféticas, comprobadas de manera sorprendente.

Si la discusión de los principios, si la teoría, que es servidora y no más del saber, se encoge un poco de hombros—hombros serviles e infieles,—ante la obra de Einstein, al menos la experiencia, fuente única de la verdad, le ha dado razón.

Para explicar la anomalía de Mercurio y la desviación de la luz, se descubren ahora fórmulas brillantes que Einstein no había previsto; está bien; pero no ha de olvidarse que la primera fórmula exacta, la de Einstein, precedió atrevidamente a la comprobación.

En la batalla contra el eterno enemigo, lo desconocido, se han conquistado nuevas trincheras. Es cierto que importa organizarlas y cavar los senderos que las comuniquen más directamente; pero mañana será menester ir todavía hacia adelante, ganar terreno de nuevo. Habrá, cualquiera sea el rodeo teórico, que anunciar nuevos hechos imprevistos y comprobables. Así es como ha procedido Einstein.

Si la doctrina einsteniana flaquea porque niega toda objetividad, todo privilegio a los sistemas de referencia, sean los que sean... utilizando mientras tanto el sistema que conviene a las necesidades del cálculo, esa flaqueza habrá sido también la de Enrique Poincaré.

Éste protestó vigorosamente, hasta su muerte, contra el concepto newtoniano. La adhesión de tan poderoso intelecto, que vemos en todas las encrucijadas de los descubrimientos modernos, bastaría para asegurar el respeto a la doctrina relativista.

Si de un lado está Newton, en defensa del cual se presenta ahora un paladín ardiente y persuasivo, armado de agudo ingenio matemático, Pablo Painlevé; del otro está Einstein y cerca de él Enrique Poincaré. Ya la historia nos mostró a un lado y a otro de la misma barricada, a Aristóteles contra Epicuro, a Copérnico contra los escolásticos.

Lid eterna entre las ideas, que tal vez no tenga resultado si, como creía Poincaré, el principio de la relatividad sólo es en el fondo un convenio cuya interfección no puede encontrar la experiencia porque, aplicado al Universo entero, no es posible comprobar.

La prueba de que la doctrina einsteniana es robusta y verdadera consiste en su fecundidad. Los seres nuevos con que ha poblado la Ciencia, y

que son los descubrimientos ocasionados y predichos por ella, ¿son hijos legítimos? Los newtonianos dicen que no. Pero, en una ciencia bien organizada, como en un estado ideal, lo que importa es la prole, no la legitimidad de ésta.

Al menos, la vigorosa contraofensiva de Pablo Painlevé habrá hecho que vuelvan a sus líneas los celadores demasiado presurosos del evangelio nuevo, que ya pensaban haber pulverizado, sin esperanzas de desquite, toda la ciencia clásica.

Cada cual queda ahora firme en sus posiciones, y no se trata ya de considerar como una puerilidad inculta el concepto newtoniano del mundo.

Todo queda reducido a un concepto que se enfrenta al otro. La batalla está indecisa entre ellos y es posible que lo esté siempre, pues las armas capaces de determinar la victoria han de permanecer empotradas para siempre en el arsenal metafísico.

* * *

Suceda lo que suceda, la doctrina de Einstein sintetiza y prevee en grado tal que, necesariamente, su majestuoso conjunto de ecuaciones fundirá en la ciencia de mañana.

Emilio Picard, Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias, que es uno de los entendimientos luminosos y profundos de este tiempo, se ha preguntado si es un progreso «tratar de hacer, como ha hecho Einstein, que la física dependa de la geometría».

Sin entretenernos en esta cuestión, que quizá es insoluble, como todas las cuestiones especulativas, concluiremos con el ilustre matemático, que sólo tienen importancia la concordancia de las fórmulas finales con los hechos y con el molde analítico dentro del cual la teoría encierra los fenómenos.

Considerada a esta luz, la teoría de Einstein tiene la solidez del bronce. Su exactitud consiste en su fuerza explicativa y en los descubrimientos experimentales predichos por ella y enseguida realizados.

Lo que cambia en las teorías son las imágenes con que nos representamos los objetos entre los cuales la Ciencia descubre y establece relaciones. Algunas veces se reemplazan esas imágenes sin que las relaciones dejen de ser verdaderas si reposan en hechos bien observados.

Gracias a ese fondo común de verdad, las teorías más efímeras no mueren completamente, sino que se transmiten, como las antorchas de los andarines antiguos, la única realidad accesible: las leyes que expresan las relaciones de las cosas.

Sucede hoy que dos teorías sostienen a un tiempo en sus manos unidas, la antorcha sagrada. La visión newtoniana y la visión einsteniana del mundo son sus dos reflejos verídicos. Así, las dos imágenes polarizadas en sentido contrario que nos muestra el espato de Islandia a través de su extraño cristal, participan entrambas de la luz del mismo objeto.

Trágicamente aislado, prisionero de su «yo», el hombre ha hecho un esfuerzo desesperado para «saltar por encima de su sombra», para abrazar el mundo exterior. De ese esfuerzo ha brotado la Ciencia, cuyas antenas mara-

villosas prolongan sutilmente nuestras sensaciones. Así hemos aproximado, á trechos, los brillantes aspectos de la realidad. Pero al lado del misterio remanente, las cosas que se saben son tan pequeñas como las estrellas del cielo con relación al abismo en que flotan. Einstein nos ha revelado claridades nuevas en el fondo de lo desconocido, y es y será una de las cumbres del pensamiento humano.

