

DISCURSOS

LEÍDOS ANTE LA

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

EN LA RECEPCIÓN PÚBLICA

DEL

SR. D. BLAS CABRERA Y FELIPE

el día 17 de Abril de 1910.



.

MADRID

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO Y EDITORIAL

Pontejos, núm. 8.

1910

Señores Académicos:

En mi corta historia científica existen tres sucesos que influyeron profundamente en mi vida intelectual, pues sirvieron primero de guía y luego de impulsores á mi actividad. Todos ellos corresponden á la realización de deseos sentidos por mí con intensa vehemencia, y la esperanza de verlos cumplidos dióme fuerzas en los momentos de cansancio y me reanimó en los períodos de desfallecimiento; pero siempre que vi realizada mi aspiración, reconocí la escasez de mis méritos comparados con la magnitud del honor recibido, y ello sirvió para centuplicar mis energías ante la necesidad, por mí sentida, de acortar en la medida posible esta distancia.

Fué el primero la investidura de Doctor; el segundo la propuesta del tribunal que juzgó los ejercicios de las oposiciones á la cátedra que regento, y el tercero la elección que de mí habéis hecho para ocupar el lugar que vacante dejó entre vosotros mi querido y sabio maestro D. Francisco de Paula Rojas.

Y si al recibir la primera me sentí indigno de cubrir mi cabeza con el codiciado birrete, si al escuchar la segunda hube de reconocer mi escasa ciencia para ser maestro, ¡ya

comprenderéis cuál sería el estado de mi ánimo al verme elevado á la suprema dignidad en que soñar pude!

A vuestra bondad, nunca como ahora probada, sólo puedo corresponder con una promesa que de todo corazón os hago en este momento, el más solemne de mi vida: Podréis reconocer algún día que al elegirme por compañero os habéis equivocado; pero no tendréis nunca derecho para acusarme por mi falta de voluntad.

Mas, ni siquiera el cumplimiento de esta promesa tendrá en mí mérito alguno, que vosotros me habéis quitado libertad para obrar; pues si en algún momento el sentimiento del deber se nublaste en mi espíritu hasta el extremo de olvidarla, separándome de la única ruta que á todos traza el patriotismo, la medalla que desde hoy gravitará sobre mi pecho, avivando el recuerdo del ilustre hombre que anteriormente la ha poseído, me volverá á ella. Mi imaginación me representará con mayor viveza aquellos días en que, agotadas ya sus fuerzas por una larga vida totalmente dedicada al magisterio, acudía solícito y siempre puntual á inculcar en nuestra inteligencia las ideas fundamentales de una ciencia que tan escasos cultivadores tuvo en nuestra patria durante la pasada centuria. Le veré de nuevo sentado en la cátedra, acariciándose la barba, y con la mirada perdida en el vacío, mientras lentamente, con claridad y concisión inimitables, descorría el velo que nos impedía contemplar la sublime belleza de las verdades científicas; y entonces, yo recordaré que en aquellos momentos se afianzó en mí el amor á las ciencias físicas, y me vi atraído hacia aquella figura simpática y veneranda por un cariño comparable al que siento hacia los autores de mis días; pues si á estos debo la existencia y la formación de la voluntad y del sentimiento, fué aquél quien principalmente moldeó mi inteligencia.

Y es que entre sus muchas y valiosas cualidades poseía

D. Francisco de P. Rojas, en grado superlativo, aquéllas que adornar deben á un maestro modelo. Sólo así pudo salir más que airoso, con verdadera gloria, de su accidentada vida docente, que bien mereciera ser gravada con caracteres indelebles para enseñanza de quienes hayan de administrar la cultura patria. Baste recordar que, no obstante haber demostrado en oposiciones y concursos inclinación decidida hacia la Física, y probado en sus múltiples obras dotes excepcionales para su cultivo, sólo veintiocho de los cincuenta y dos años que al magisterio dedicó, ocupó cátedras de esta ciencia, y esto en períodos, de los cuales el más largo correspondió á la de Física matemática de la Universidad Central, y apenas alcanza á doce años. ¡Quién no recuerda episodios referentes á algunos de sus nombramientos, por él mismo narrados, con su natural gracejo, que no lograba encubrir el profundo desconsuelo con que siempre vió interrumpirse la labor para él más grata!

Felizmente, su acendrado amor al Magisterio le sugirió un medio para ampliar su esfera de acción, centuplicando el número de sus discípulos, en las múltiples obras de que fué autor, y que prolongarán por muchos años aun su benéfica influencia sobre aquella parte de nuestra juventud que anhela conocer las ciencias físicas en sus diferentes órdenes. No he de citar, en prueba de mi aserto, más que su *Electrodinámica industrial*, que el obrero inteligente señala con verdadero orgullo en su modesta biblioteca, y el futuro Doctor, deseoso de apreciar el sentido físico de las más abstrusas proposiciones de la alta ciencia, consulta con íntima satisfacción.

No es mi objeto repetir aquí el análisis de su producción científica que, con mayor competencia que yo, hicieron ya, su entrañable amigo, y colaborador en ocasiones, el académico electo Ilmo. Sr. D. Eduardo Mier en la notable

necrología publicada por la *Energía Eléctrica*, y en la *Revista* de esta Academia el Ilmo. Sr. D. José Rodríguez Mourelo. Únicamente aspiro á ser el portavoz de aquellos que tuvimos la suerte de escuchar sus enseñanzas, y aprendimos, admirándole, á amar el sacerdocio del Magisterio. Sólo deseo elevar este homenaje en nombre de todos los que, por ser sus discípulos, constituímos su constante preocupación durante cincuenta años, y particularmente en el mío propio; deseo por mí sentido con tan intensa vehemencia, que, para verle cumplido, habría prescindido de la costumbre, si ésta no me hubiese dado medios para satisfacerle.

¡Descanse en paz el venerado maestro, cuya vida perdurará mientras no hayan desaparecido cuantos, directa ó indirectamente, hemos sentido el benéfico influjo de sus consejos!

Debo ahora llenar un precepto de los Estatutos de esta casa desarrollando un tema científico, y soy ingénuo al confesaros que no dudé al elegir. Ninguno tan fundamental para las ciencias físicas, ni de actualidad tan palpitante, como analizar el concepto que la Física moderna se forma del éter. Identificado por Descartes con la extensión; conceptuado por los físicos del siglo XVIII y principios del XIX como una materia tenuísima, especie de ultra gas cuyas moléculas son suficientemente pequeñas para penetrar sin dificultad en los espacios interatómicos, envolviendo estos últimos elementos de la materia ponderable á la manera que la atmósfera rodea á los planetas, se ha convertido hoy en algo mucho más sutil, algo que sólo podemos definir por un sistema de ecuaciones, que si lo dicen todo á la inteligencia, nada sugieren á la imaginación. Y al propio tiempo que su concepto se ha simplificado, su utilidad ha crecido, pues si antes se pretendía asimilarle á una especie particular de materia, hoy se logra con su auxilio explicar la materia misma.

«Me parece, decía ya Lord Kelvin en 1884 (*), que podremos llegar á conocer, respecto del éter luminoso, mucho más de lo que ahora conocemos. Pero en lugar de comenzar diciendo que nada sabemos de él, yo digo que conocemos más respecto del mismo que acerca del aire ó el agua, el vidrio ó el hierro: es más sencillo. hay mucho menos que saber.» Esto que el sabio profesor de Glasgow dijera del éter material, puede aplicarse con mucha más razón al éter origen de toda materia.

Pero nuestro hábito mental es de tal modo fuerte, que esta noción simplicísima del éter no se ha impuesto aún como verdad inconcusa; y son muchos los físicos que han pretendido y pretenden formar un modelo mecánico, cuyos movimientos se rijan por el sistema de ecuaciones que definen el éter. Sin embargo, todos los esfuerzos han sido inútiles y seguramente seguirán siéndolo.

Nuestro tema pudiera concretarse así: *El éter y sus relaciones con la materia en reposo*; en reposo, decimos, para indicar que no abordaremos uno de los problemas más interesantes de la Física moderna: los fenómenos que se producen en la materia en movimiento. Con harto sentimiento modificamos en tal sentido nuestro primer pensamiento; pero de no hacerlo así, habríamos dado proporciones desmesuradas á este discurso.

I

¿Existe el éter? Tal es la primera cuestión que hemos de analizar, pues si bien como problema no parece hoy de solución dudosa, los mismos argumentos aducidos en pro

(*) Baltimore. *Lectures*, pág 12

de su realidad física, imponen algunas de las más esenciales propiedades de este medio universal.

«Es inconcebible, escribía Newton á Bentley (*), que la materia bruta é inanimada pueda, sin la mediación de alguna cosa que no es material, operar y afectar á otra materia sin mutuo contacto, como debe ser si la gravitación en el sentido de Epicuro es esencial é inherente á ella... Que la gravedad puede ser innata, inherente y esencial á la materia, de modo que un cuerpo puede actuar sobre otro á distancia, á través del vacío, sin mediación de alguna cosa por y á través de la cual su acción y fuerza pueda ser acarreada de uno á otro, es para mí tan absurdo que creo que ningún hombre, capacitado para pensar en materias filosóficas, puede nunca caer en ello.»

Esta íntima repugnancia hacia la concepción de las acciones á distancia, formulada por el mismo Newton, á quien cupo la gloria de haber engendrado la escuela que olvidó tal sentimiento ante la fecundidad de su famosa ley, es el argumento de mayor fuerza, quizá, de cuantos se aducen en pro de la existencia del éter.

Verdad que se ha dicho, probablemente primero por un ilustrado Profesor español, Ruiz Castizo (**), y más tarde por un eminente físico inglés, Lodge (***), que quizá sea necesario invertir los términos, afirmando que los cuerpos se encuentran allí donde obran, en vez de obrar allí donde aparentemente están; idea que guarda una perfecta conformidad con la noción que de la materia forma la teoría electrónica, puesto que, según ésta, su elemento constitutivo es un centro de deformación del éter, cuya influencia

(*) Citado por J. C. Maxwell en el art. *Attraction* de la Enc. Brit. 9.^a ed. vol. III. pág. 63.

(**) Discurso leído en la Universidad de Zaragoza en la inauguración del curso de 1903-1904.

(***) *Le Radium*, V 244.

se extiende hasta el infinito, á la manera que las corrientes engendradas en un líquido por un torbellino. Pero en nuestro humilde entender, tal afirmación no impide la necesidad del éter, substituyéndole por esas prolongaciones intangibles de la materia ordinaria, con lo cual hemos suprimido el nombre, pero de ningún modo la cosa nombrada.

Volviendo al precitado argumento, acaso parezca subjetivo en demasía, y excesivamente pretencioso, querer amoldar la realidad exterior á nuestro intelecto. Mas nótese que siendo nosotros mismos parte del mundo, es lógico admitir una perfecta adecuación entre nuestros medios de conocer y su propio objeto, de suerte que aquella repugnancia nuestra sea trasunto fiel de la incapacidad de la materia para llevar su acción fuera de sus propios límites.

¿Qué nos quedaría, si no, de nuestro conocimiento del mundo exterior? Nuestros medios de comunicación con él, los sentidos, son bien escasos é imperfectos, y de sus impresiones hemos de elevarnos, por un complicado andamiaje de juicios y racionios, hasta formar la imagen de cuanto nos rodea. Dudemos de aquella adecuación, y nuestros conceptos no tendrán relación alguna con la realidad.

Cierto que tal concomitancia entre nuestro mecanismo intelectual y el Universo, no necesita ser, ni es, perfecta: «la forma que damos á las imágenes ó símbolos de los objetos exteriores—ha dicho Hertz (*)— es tal, que sus consecuencias necesarias son siempre las imágenes de los correlarios obligados de la cosa representada. Para que tal requerimiento se satisfaga, debe existir cierta conformidad entre la Naturaleza y nuestro pensamiento». Y precisamente esta relativa libertad que poseemos para elegir entre varias imágenes posibles de los fenómenos físicos, es el ori-

(*) *The Principles of Mechanics*. Introduction, p. 1, Trad. inglesa de Jones y Walley.

gen de los grandes errores de concepción que hoy podemos denunciar en los antiguos cultivadores de la Ciencia, y mañana podrán ser apreciados en nuestras propias ideas.

Pero, fundando la existencia del éter en esta necesidad de nuestro entendimiento, hacemos algo más; le imponemos una primera propiedad, según ya advertíamos en el comienzo de este apartado, propiedad que parece ignorada por muchos físicos, no obstante su evidencia absoluta. En efecto; si el éter ha de consentirnos eliminar las acciones á distancia, es menester que sea un todo perfectamente continuo, desprovisto de estructura atómica, pues lo contrario equivaldría á trasladar la dificultad de las distancias finitas, ó infinitamente grandes, que separan los cuerpos ó sus moléculas, á las infinitamente pequeñas comprendidas entre los átomos del éter, y dicho se está que nuestra imposibilidad de concebir el hecho no disminuye en la misma proporción.

Generalmente, aquellos que han atribuído al éter, de manera más ó menos explícita, una constitución atómica, han sido conducidos á la noción del expresado medio por la naturaleza ondulatoria de la energía radiante, y se explica por ello, sin dificultad, que ningún inconveniente encontrarán en aquella hipótesis, principalmente habida cuenta de que la teoría de las acciones á distancia, entonces en auge, aporta un mecanismo sencillo para la transmisión de las ondas. Pero, aún hay más: un trabajo reciente de J. H. Jeans (*), parece en cierta manera dar la razón á tales físicos.

Todos sabéis que el sabio profesor inglés, movido por la falta de conformidad entre la teoría y la experimentación,

(*) *Phil. Mag.* X—91.—Véase también H. L. Lorentz. *Il Nuovo Cimento*, 5.^a S., XVI, p. 5 *The Theory of Electrons*, p. 90, y E. Terradas *Memorias de la R. Academia de Barcelona*. VIII, núm. 9.

ha modificado el teorema de la equipartición de la energía, introduciendo la interacción entre la materia y el éter, puesta de manifiesto por la radiación que procede de toda materia en desequilibrio de temperatura con el medio ambiente. La energía, pues, se divide entre las moléculas materiales, en que adopta la forma cinética, y el éter, donde se almacena por las ondas que á su través se propagan, correspondiendo la misma cantidad de energía á cada grado de libertad del sistema. Pero estos grados de libertad son finitos para la materia (seis por cada molécula), é infinitos para el éter (ocho por cada punto del espacio); de suerte que, en el estado de equilibrio, la energía en el éter sería infinitamente grande respecto de la energía en la materia. De otra manera: en un sistema en equilibrio, toda la energía está almacenada en el éter.

Esta conclusión es de transcendencia incalculable, pues conduce á una contradicción manifiesta, y hasta el presente irreductible, con las leyes de Boltzmann y Wien, deducidas apoyándose en principios al parecer impecables, y que la experimentación ha corroborado. Para escapar de ella, existe un camino sencillo, que se presenta inmediatamente, y que Lorentz ha señalado por vez primera: disminuir los grados de libertad de un volumen limitado de éter, mediante la atribución á este medio de una estructura particular. La estructura atómica ocurre inmediatamente; pero he aquí que Maxwell, veinte años antes (*), nos sale al encuentro demostrando que también en este caso la energía de las ondas que por el éter se propagan, se disiparía. Es preciso, por ende, acudir á otro medio más expedito.

Aun debemos advertir que, si fuera menester que admitiésemos la constitucion atómica del éter, habríamos de llevar las dimensiones de sus átomos muy por bajo de

(*) *Enc. Brit.* 9.^a ed. VIII, pág. 569. Art. *Ether*.

aquellas que corresponden á los de la materia, y sus períodos de vibración propios, rebasarían con mucho las más pequeñas magnitudes que la Física conoce. No sería de otra suerte posible explicar la constancia de la velocidad de propagación de las ondas luminosas en el vacío, cualquiera que sea su frecuencia, que de manera tan concluyente demuestran, entre otras, las observaciones de Newcomb sobre las estrellas variables; porque, si los radios de acción de los átomos etéreos no fueran infinitamente pequeños de igual orden, ya se refieran á la longitud de las ondas electromagnéticas de un excitador de Hertz, ó se comparen con la correspondiente al límite conocido del espectro ultravioleta, la teoría de la dispersión de Cauchy exigiría una diferencia en las velocidades de propagación que no habría escapado á la observación; mientras que la teoría de Helmholtz conduciría á la misma conclusión, si los períodos propios de los grados de libertad de aquellos átomos no fueran también infinitamente pequeños de orden superior, comparados con los correspondientes á todo el espectro actualmente conocido.

Y es que únicamente los medios perfectamente continuos y sin estructura alguna, son capaces de transmitir con idéntica celeridad un movimiento vibratorio de cualquier período; y para conducirse como tal un medio de naturaleza atómica, es indispensable que la longitud ó el período de la onda propagada, sea respecto de las distancias interatómicas ó de sus períodos propios, lo que la longitud de la onda sonora y su frecuencia son comparados con las magnitudes análogas de la materia.

Pero, á pesar de todas las razones aducidas, son aun numerosos los físicos que sienten invencible repugnancia hacia la hipótesis de la continuidad del éter, sin duda por la profunda impresión que en su espíritu ha dejado la fecundidad de la teoría atómica de la materia. Bueno será,

en vista de ello, que recordemos no depende el favor de que hoy gozan tales ideas, de su mayor conformidad con nuestra organización mental, sino de la corroboración de sus predicciones por la experiencia. Así hubo de reconocerlo toda una escuela de químicos que en los últimos años del pasado siglo y primeros del actual contó con numerosos secuaces: «Siempre que se ha querido imaginar, dibujar los átomos, decía ya Sainte-Claire Déville (*), yo no sé que se haya conseguido hacer otra cosa sino la reproducción grosera de una idea preconcebida, de una hipótesis gratuita, en fin, de conjeturas estériles.....; y estas ilustraciones, hoy tan en boga, son para la juventud de nuestras escuelas un peligro más serio de lo que se piensa....; hacen creer en una interpretación real de los hechos y olvidar nuestra ignorancia.»

«..... la hipótesis atómica, escribe W. Ostwald (**), ha sido un instrumento muy útil para la teoría y la investigación, porque ha facilitado mucho la inteligencia y el empleo de las leyes generales. Pero es necesario no dejarse arrastrar por el acuerdo existente entre la imagen y la realidad hasta confundir la una con la otra. En el dominio hasta el presente estudiado, los fenómenos químicos ocurren como si los cuerpos estuviesen compuestos por átomos de la manera que hemos expuesto. Pero resulta de aquí, en cuanto á la existencia de estos átomos, todo lo más una *posibilidad*, y de ninguna manera una *certidumbre*.»

En definitiva, la trasmisión de las fuerzas que aparentemente actúan á distancia, exige la presencia del éter como un medio continuo que llena el vacío y penetra en el seno de la materia. Prescindiendo de la gravitación, fenómeno cuya naturaleza es tan mal conocida como bien

(*) *Leçons sur l’Affinité*, 1867.

(**) *Chimie inorganique*, trad. franc. de L. Lazard p. 176.

determinadas se encuentran sus leyes, y de la cual algo diremos más adelante, las acciones electromagnéticas son las únicas que han menester de tal vehículo, pues la teoría electromagnética de la luz ha reducido la energía radiante á la propagación del campo electromagnético al través del espacio.

II

Si, conforme acabamos de indicar, ha de considerarse el éter como medio transmisor de las acciones electromagnéticas, las cualidades que hemos de asignarle han de ser definidas de acuerdo con las ecuaciones de condición que deben satisfacer los campos eléctrico y magnético y las magnitudes que de ellos derivan. Estas ecuaciones son diferentes en el vacío y en el seno de la materia ponderable, y su mayor sencillez en el primer caso nos induce á comenzar por él este estudio.

Representemos por \mathbf{E} la intensidad del campo eléctrico y por \mathbf{H} la del campo magnético. Utilizando el sistema de unidades de E. Cohn, que se nos figura el más conveniente para la discusión que intentamos, los dos vectores indicados satisfacen en el vacío á las ecuaciones (*)

$$\begin{aligned} \operatorname{div} K_0 \mathbf{E} &= 0 \\ \operatorname{div} \mu_0 \mathbf{H} &= 0 \\ \frac{K_0}{V} \mathbf{E} &= \operatorname{vort} \mathbf{H} \\ - \frac{\mu_0}{V} \mathbf{H} &= \operatorname{vort} \mathbf{E} \end{aligned}$$

(*) Véase al final del Discurso la explicación de las notaciones empleadas.

donde K_0 y μ_0 son el poder inductor específico y la permeabilidad magnética del vacío, mientras V es una constante definida por la condición

$$\frac{V^2}{K_0 \mu_0} = c^2 = 3^2 \cdot 10^{20},$$

velocidad de la luz en el vacío.

Sin duda alguna este sistema de ecuaciones basta para explicar analíticamente los fenómenos que en el vacío se originan, y en tal concepto su enunciado encierra toda la noción del éter. Tales ecuaciones contienen, en efecto, cuanto de este medio necesitamos conocer, para estar seguros de que llena las necesidades que determinaron su introducción en la Ciencia; pero, además, envuelven también el máximo en lo que sobre su naturaleza podemos saber, pues ya veremos como toda mayor especificación de la misma, ha conducido en todo tiempo á resultados que no concuerdan con la experimentación, ó repugnan á nuestra inteligencia.

Sin embargo, no obstante la inutilidad de los repetidos esfuerzos hechos para lograr una representación tangible del éter; á pesar de la lógica indudable con que proceden aquellos que se conforman con la definición abstracta que el sistema (I) formula; desoyendo á la escuela conceptuista en que figuran Duhem y Voigt, la mayoría de los sabios de espíritu verdaderamente físico, busca, y ha buscado en todo tiempo con verdadero anhelo, una imagen clara y precisa de lo que el éter sea, imagen que nada agrega á la definición indicada, y por ende supone un gasto inútil, una violación de la ley de *economía intelectual* de Marx, pero que en ocasiones ha sugerido nuevas vías de exploración que engrandecieron nuestro arsenal científico.

Y es natural que tal representación se haya formado to-

mando por elementos nociones que nos son más familiares, bien por deducirse más directamente de las impresiones inmediatas de los sentidos, ya, si se quiere, por corresponder á una ciencia, cual la Mecánica, llegada á la plenitud de su desarrollo lógico. Además, la forma de la ecuación de propagación que del sistema transcrito se deduce para el éter, invita á buscar en los medios elásticos la deseada explicación.

En efecto; introduzcamos un nuevo vector \mathbf{A} definido por las ecuaciones

$$\begin{aligned}\text{vort } \mathbf{A} &= \mu \mathbf{H}, \\ \text{div } \mathbf{A} &= -v \dot{\varphi};\end{aligned}$$

dicho vector determina sin ambigüedad el campo electromagnético, puesto que el sistema (I) conduce á la ecuación

$$\mathbf{E} = -\frac{1}{V} \mathbf{A} - \text{grad } \varphi.$$

El estudio de la propagación del campo queda, pues, reducido al de la propagación del vector \mathbf{A} , definida por la ecuación

$$(II) \quad \ddot{\mathbf{A}} = \frac{V^2}{K_0 \mu_0} \Delta \mathbf{A} + \left(\frac{V}{v} - \frac{V^2}{K_0 \mu_0} \right) \text{grad div } \mathbf{A}$$

que suministra el mismo sistema (I). Pero esta ecuación vectorial es idéntica á la que determina el movimiento en un medio elástico, siempre que las constantes que en ella figuran estén ligadas á su densidad d , su rigidez n y su módulo de compresión cúbica κ por las ecuaciones

$$\frac{V^2}{K_0 \mu_0} = \frac{n}{d} \quad \frac{V}{v} = \frac{1}{d} \left(\kappa + \frac{4}{3} n \right).$$

Así, parece natural admitir que el vector **A** mide el desplazamiento de un punto del éter, considerado como un medio elástico.

Desgraciadamente, esta exacta correspondencia no basta para justificar una teoría elástica del éter, pues, según ha hecho observar W. Ritz (*), todo fenómeno vectorial reversible que se produce en un medio isótropo y homogéneo, si satisface á una ecuación de derivadas parciales, á lo más de segundo orden y lineal en primera aproximación, se define necesariamente por la ecuación (II). No es, por consiguiente, extraño que al descender á los detalles de la teoría las dificultades salten á granel.

Observemos, en primer lugar, que la solución completa de la ecuación (II) comprende la superposición de dos sistemas de ondas: unas de condensación, y por ende longitudinales, cuya velocidad de propagación es

$$v_1 = \sqrt{\frac{V}{\nu}};$$

otras de distorsión, por tanto, transversales, propagándose con la velocidad

$$v_2 = \frac{V}{\sqrt{K_0 \mu_0}}.$$

Pero los fenómenos ópticos son incompatibles con la existencia de las primeras, y tal incompatibilidad supone falta de capacidad en el éter para almacenar una cantidad sensible de energía en forma de ondas de condensación, pues de no ser así, aun admitiendo que los emisores de radiaciones únicamente engendraran ondas transversales, toda reflexión ó refracción traería aparejada la aparición de ondas longitudinales.

(*) *Annales de Chem. et de Phys.* 8.^a S., XIII, p. 145.

Para resolver esta dificultad, Green (*) señaló dos medios: admitir para v_1 el valor infinito, que equivale á considerar el éter incompresible, ó suponerle cero, en cuyo caso el éter sería absolutamente comprimible. De estas dos hipótesis Green prefiere la primera, por considerar que la constitución del éter sería inestable en la segunda; pero Lord Kelvin (**) ha demostrado que tal inestabilidad sólo existe para una porción finita y aislada de éter, que no corresponde á ninguna realidad física. Tales valores son, por otra parte, casos límites que nos permiten prescindir en los fenómenos ópticos de las ondas longitudinales, sin eliminar totalmente su presencia que pudiera ser útil para explicar fenómenos que hasta el presente han resistido á toda interpretación electromagnética, y en tal concepto, merece especial mención la teoría de la gravitación de C. V. Burton (***) .

Equivalente á la hipótesis elegida por Green es la de Maxwell, quien hace $\nu = 0$, y ello permite considerar el vector **A** como medida de la deformación elástica del éter incompresible; pero la eliminación de las ondas longitudinales, que es el fin perseguido, lógrase también anulando el paréntesis del segundo miembro de la ecuación (II) por el valor

$$\nu = \frac{K_0 \mu_0}{V} ,$$

idéntico á los asignados á dicha constante por H. Lorentz (****) y Macdonald (*****), habida cuenta de la

(*) COLLECTED PAPERS, *On the Reflexión and Refraction of Light*. p. 246.

(**) *Phyl. Mag.* 5^a S. XXVI, p. 414.

(***) *Phyl. Mag.*, 6^a S. XVII 71.

(****) *The Theory of Electrons*, p. 239 — *Elektronentheorie. Encykl. d. math. Wissensch.* V. 14. p. 157.

(*****) *Electric Waves* p. 12.

diferencia en el sistema de unidades, para el primero, y en la definición de \mathbf{A} , para el segundo. En este último supuesto \mathbf{A} no puede ostentar la significación que le podemos asignar en la hipótesis de Maxwell, pues ello acarrearía la posibilidad de una velocidad finita de propagación para las ondas longitudinales.

Siguiendo las ideas de Maxwell, $\dot{\mathbf{A}}$ representaría la velocidad del éter, y extendiendo tal significación á grad φ , \mathbf{E} mediría la velocidad total, cuya parte irrotacional corresponde al segundo vector y la rotacional al primero; y con ello no hemos hecho otra cosa que formular la teoría de la luz de Fresnel, puesto que en la explicación electromagnética de la reflexión y la refracción veremos se demuestra la perpendicularidad de \mathbf{E} al plano de polarización.

Desgraciadamente, esta interpretación tropieza con dificultades insuperables. La primera de las ecuaciones (I), $\text{div} K_0 \mathbf{E} = 0$, es válida únicamente en el vacío; en el seno de la materia ponderable, ó mejor dicho, en los elementos de volumen ocupados por los electrones que la integran $\text{div} K_0 \mathbf{E} = \rho$, siendo ρ la densidad de las cargas eléctricas. Así, en esta esquematización del campo eléctrico, los puntos electrizados son lugares donde el éter se aniquila ó se engendra constantemente, según primeramente observó Helmholtz; consecuencia que nos repugna, sin que sea suficiente para vencer tal sentimiento el dotar al éter de una densidad infinitamente grande, para que su velocidad sea infinitamente pequeña, pues la dificultad se halla, no en la rapidez con que el éter se engendre ó desaparezca, sino en el hecho mismo de tal creación ó destrucción. Poincaré (*) prefiere suponer que en dichos puntos el éter es indefinidamente compresible, hipótesis que equivale á anular la velocidad de las ondas de condensación en los electrones, y en

(*) *Électricité et Optique*, pág. 585.

esencia es idéntica á la modificación de Lord Kelvin en la teoría elástica de Green, á cuya crítica (*) nos remitimos.

Acaso se alegue en pro de la hipótesis que discutimos la teoría y experimentos de Bjerknæs (**) sobre las acciones hidrodinámicas, y, en particular, la imitación de las atracciones y repulsiones eléctricas mediante las esferas pulsantes. Pero, prescindiendo de la necesidad de suponer que la diferencia de fase entre los electrones únicamente posea los valores 0 y π , por cuanto puntos donde el éter fuera creado ó destruído de una manera permanente, se comportarían como aquellas esferas; prescindiendo de tan extraña imposición, decíamos, el signo de la fuerza que entre las esferas pulsantes actúa es opuesto al que corresponde á las acciones eléctricas. Tal diferencia es esencial y halla su origen en la propia naturaleza de los fenómenos.

La teoría de los sistemas cíclicos de Helmholtz permite la interpretación dinámica de los fenómenos físicos, mediante la introducción de masas y coordenadas que, por no ser directamente observables, se denominan ocultas. Así se consigue la interpretación cinética de la energía potencial, eterna incógnita del mundo físico: tal es la esencia de la Mecánica de Hertz. Ahora bien; considerando el sistema electrostático según esta manera de ver, la expresión de su energía potencial en función de las cargas ó de los potenciales y la relación que liga las fuerzas ponderoeléctricas con ambas formas de energía, demuestran que las velocidades de aquellas coordenadas ocultas corresponden á los potenciales, y no á las cargas eléctricas, según pretende la teoría de Bjerknæs (**). De otra manera: en un sistema

(*) *Électricité et Optique*, pág. 58.

(**) C. A. Bjerknæs. *Rapp. prés. au Cong. Int. de Phy.* de 1900. I, p. 251.

(***) Poincaré. *Électricité et Optique*, pág. 621.

electrostático donde las cargas son invariables, han de permanecer constantes las cantidades de movimiento de las masas ocultas, en vez de sus velocidades.

Pero prescindiendo de las objeciones que hemos ido criticando, el mismo argumento que nos ha servido para establecer la representación del campo eléctrico por la velocidad del éter; esto es, la comparación de la ecuación (II), deducida de las generales del campo electro magnético (I), con la que rige el movimiento de un cuerpo elástico, carece de valor. Basta, en efecto, que en vez de definir \mathbf{A} en la forma que lo hicimos arriba, le sujetemos á cumplir con las condiciones

$$\text{vort } \mathbf{A} = K_0 \mathbf{E} - \text{grad div } K_0 \mathbf{E}$$

$$\text{div } \mathbf{A} = -v \dot{\psi}$$

con lo cual

$$\mathbf{H} = -\frac{1}{v} \dot{\mathbf{A}} - \text{grad } \psi,$$

para que la misma ecuación (II) nos conduzca á interpretar el campo magnético por la velocidad del éter, en lugar de asignar tal significación á \mathbf{E} . Y aun posee esta hipótesis una ventaja positiva sobre la que acabamos de discutir, porque las cargas magnéticas no existen, y de esta suerte no es menester que admitamos la presencia de puntos ó regiones del campo, donde el éter se acumule ó de donde constantemente brote.

Así como al suponer la velocidad del éter medida por el campo eléctrico hicimos notar que afirmábamos la teoría de Fresnel, ahora nos toca señalar la identidad de la nueva manera de ver con la teoría Mac Cullagh y Neuman, puesto que el vector \mathbf{H} está situado en el plano de polarización de la luz. Así, aquí como

en Optica (*), ambas teorías son completamente equivalentes.

Heaviside, Fitzgerald y Lord Kelvin, han sostenido en ocasiones esta interpretación del campo magnético, y el último describe un modelo que imita las acciones electrodinámicas, modelo que presenta igual defecto que el correspondiente de Bejerknes para el campo electrostático; pero es Larmor quien defiende con mayor ahinco la idea que exponemos. Por su indicación, Lodge ha repetido con toda atención experimentos anteriormente realizados, conducentes á denunciar el movimiento del éter á lo largo del campo magnético, mediante el desplazamiento de las franjas de interferencia entre dos haces luminosos que se propagan en sentidos opuestos á lo largo de las líneas de fuerza. No obstante la sensibilidad de los métodos puestos en práctica, susceptibles de apreciar un desplazamiento de una centésima de raya, los resultados fueron totalmente negativos (**), permitiéndole á Lodge concluir que «el flujo de éter no alcanza á $\frac{1}{9}$ de milímetro por segundo, para cada unidad C. G. S. de intensidad del campo.»

Si, no obstante esta conclusión, hemos de continuar sosteniendo la identidad ó, por lo menos, la proporcionalidad del campo magnético y la velocidad del éter, será menester atribuir un valor á la densidad de este medio que supera, con mucho, á cuanto pudiera imaginarse. Lodge efectúa este cálculo identificando las expresiones de las energías cinética y magnética en el campo de un electrón en movimiento, y obtiene un número del orden de 10^{12} gramos por centímetro cúbico. Téngase en cuenta que á números de idéntico orden de magnitud se llega suponiendo

(*) Poincaré. *Théorie mathématique de la Lumière*. T. II.

(**) *Phil. Mag.* S. 6. XIII, pág. 499.

el electrón constituido por una masa de éter solidificado sin cambio de densidad, ó aceptando con J. J. Thomson que su masa se mide por la del éter que arrastra en su movimiento (*).

¿Puede admitirse semejante valor para la densidad del éter, y con él la existencia permanente en cada milímetro cúbico de una cantidad de energía, igual á la que suministraría en treinta millones de años una fábrica cuya potencia fuera de un millón de kilovatios? Así presentada la cuestión, impresiona fuertemente la imaginación y la incredulidad se apodera del ánimo; pero analizada fríamente la reacción se opera, pues nada existe en esta bizarra hipótesis que contraríe la experiencia. Obsérvese, en efecto, que actualmente no disponemos de procedimiento alguno para transformar esta energía en otra forma que directamente afecte nuestros sentidos, siendo por ello utilizable; esta densidad corresponde á las masas ocultas de Hertz y escapa á las fuerzas mecánicas.

Mayor consideración merece la objeción formulada por O. W. Richardson (**). Demuestra este físico que la identificación del campo magnético con la velocidad del éter, supone la distribución de una cantidad de movimiento infinita en el campo engendrado por un electrón moviéndose de una manera uniforme, y aunque Larmor (***) recuerda á este propósito que algo análogo ocurre en el movimiento de una esfera en el seno de un líquido viscoso, reconoce la existencia de una profunda diferencia entre ambos casos; pues, mientras en el último la fuerza ejecuta un trabajo permanente, cuya energía acumulada se disipa en el líquido viscoso, en el campo electromagnético la energía no

(*) Lodge. *Modern views of electricity*. Cap. XVI.

(**) *Nature*, LXXVI, pág. 78.

(***) *Nature*, LXXVI. 269.

cambia, no obstante el flujo constante de la cantidad de movimiento.

Así, dificultades que son peculiares á la hipótesis que discutimos, destruyen la ventaja que arriba reconocíamos en su favor, comparándola con la que primeramente nos ocupó. Y aun debemos agregar que en contra de ambas C. V. Burton (*) ha formulado objeciones dignas de tenerse en cuenta, á pesar de la refutación de E. Cunningham (**).

III

Para establecer la ecuación (II) que nos ha permitido comparar el estado del éter al de un medio elástico en movimiento, hemos partido del sistema (I) de ecuaciones generales del campo electromagnético en el vacío, cuya validez admitimos por hipótesis. No es este el único camino, ni quizá el más conveniente, para poner de manifiesto aquella analogía en sus dos formas. Para comprender mejor las ventajas é inconvenientes de estos diversos métodos, comencemos analizando las generalizaciones que envuelven las ecuaciones de aquél sistema.

Las dos primeras son resultado directo de la experimentación; pues, de una parte, al anular la $\text{div } K_0 E$, expresamos sencillamente que la densidad de las cargas eléctricas no puede ser diferente de cero fuera de la materia ponderable: notable resultado experimental, sobre el cual volveremos, por constituir el verdadero fundamento de la hipótesis actualmente en favor para explicar la naturaleza de la

(*) *Phil. Mag.*, S. 6 XIII, pág. 694; XVII, pág. 650.

(**) *Nature*, LXXVI pág. 222.

materia; y de otra, igualando á cero la divergencia de la inducción magnética $\mu_0 \mathbf{H}$, negamos la existencia del magnetismo verdadero de Hertz (*). Así sólo hemos de fijarnos en las dos últimas ecuaciones.

Los experimentos de Weber y el simple razonamiento permiten establecer la noción del campo magnético \mathbf{H} de una *corriente permanente cerrada*, demostrando que para cada punto del espacio se mide por el graduante, cambiado de signo, de la función multiforme

$$\frac{1}{V} i (\Omega + n),$$

donde i es la intensidad de la corriente en el circuito, Ω el ángulo sólido definido por su contorno y el punto en cuestión, y n el número que determina los valores que la función puede tener en cada punto, físicamente representado por el número de veces que la trayectoria descrita por el polo unidad ha enlazado al circuito antes de llegar al punto que se considera. Así, pues, \mathbf{H} no es laminar, y su integral á lo largo de un contorno cerrado satisface á la ecuación general

$$\int \mathbf{H} ds = \frac{1}{V} ni,$$

que, reemplazando la intensidad por la densidad de corriente \mathbf{u} , y aplicando el teorema de Stokes, se convierte en

$$(a) \quad \frac{1}{V} \mathbf{u} = \text{vort } \mathbf{H},$$

independiente de la naturaleza del medio, en virtud de la definición misma del vector \mathbf{u} .

(*) B. Cabrera. *Anales de la Soc. Esp. de Fis. y Quím.* II, pág. 227.

Esta ecuación, fundamental en la teoría del Electromagnetismo, nos demuestra el carácter solenoidal de \mathbf{u} ; conclusión de importancia capitalísima, porque, como vamos á ver, limita la noción experimental del campo magnético al caso de las corrientes cerradas.

En efecto; de la definición del vector \mathbf{u} se deduce que, trazando una superficie cerrada, el flujo total de \mathbf{u} es igual á la variación de la carga contenida en el volumen que limita, de suerte que

$$\text{div. } \mathbf{u} + \dot{\rho} = 0,$$

siendo, por tanto, menester que $\dot{\rho} = 0$ para que la noción del campo magnético, según la hemos obtenido, sea aplicable. Tal condición puede cumplirse cuando se trate de corrientes conductivas cerradas, pero nunca cuando sean abiertas ó de convección; basta notar que el supuesto indicado es incompatible con las corrientes de carga y descarga de los condensadores, y que toda traslación de un cuerpo electrizado envuelve la anulación de ρ en los puntos del espacio que abandone, mientras que en las regiones á que llega ρ pasa de cero al valor finito que le corresponde.

En los casos en que la experimentación ha establecido la noción del campo magnético, aquella condición se cumple realmente, puesto que i , y por ende ρ , permanecen constantes. Aún podremos sin contradicción, y á reserva de confirmarlo posteriormente en sus consecuencias, extender esta noción al caso en que $\rho = \text{const.}$, sin que lo sea i ; pero á pesar de tal extensión, ya hipotética, la aplicación del campo magnético queda muy restringida.

Dos caminos existen para romper esta barrera, dando al vector \mathbf{H} toda la generalidad necesaria: ó conservamos con Helmholtz las corrientes abiertas, agregando al segun-

do miembro de la ecuación (a) el término $\lambda \operatorname{grad} \dot{\varphi}$ (*), supuesto que $\lambda \Delta \varphi = \rho$; ó prescindimos de ellas con Maxwell, extendiendo el concepto de la densidad de corriente en la forma que vamos á explicar.

Teniendo en cuenta que, evidentemente, $\dot{\rho} = \operatorname{div} K_0 \dot{\mathbf{E}}$, el vector

$$\mathbf{I} = \mathbf{u} + K_0 \dot{\mathbf{E}}$$

es esencialmente solenoidal, é idéntico á \mathbf{u} cuando $\dot{\rho} = 0$. La hipótesis de Maxwell consiste en admitir que es éste el vector que determina el campo magnético, convirtiéndose la ecuación (a) en la

$$\frac{1}{V} \mathbf{I} = \operatorname{vort} \mathbf{H},$$

y para el vacío en la tercera del sistema (I). Esta hipótesis de Maxwell parece confirmada por la comprobación experimental de los fenómenos previstos por ella, y muy principalmente, por la determinación del campo magnético engendrado por las corrientes de convección, puesto de manifiesto en los experimentos de Rowland, Cremieu y Pender, y cuantos otros han abordado el problema. Este caso, en efecto, es la realización de un elemento de corriente perfectamente aislado, pues $\mathbf{u} = 0$ en todos los puntos del espacio, salvo en aquél ocupado por las cargas en el instante que se considera, y sabido es que la demostración experimental de una hipótesis es tanto más completa, cuanto más directamente se deduce de ella el fenómeno sometido á estudio.

Analizaremos con igual cuidado el proceso mental que ha conducido desde los primeros hechos experimentales á

(*) Poincaré. *Elect. et Opt.*, pág. 291.

la última de las ecuaciones del sistema (I). Los experimentos clásicos de Faraday y Henry, y razonamientos fundados en el principio de la conservación de la energía, conducen á definir la fuerza electromotriz de inducción en un circuito cerrado, como un vector \mathbf{F} que satisface á la ecuación

$$\int \mathbf{F} ds = - \frac{1}{V} \iint_{\sigma} \mu_0 \mathbf{H} d\sigma,$$

que en virtud del teorema de Stokes se convierte en

$$- \frac{\mu_0}{V} \mathbf{H} = \text{vort } \mathbf{F}.$$

Mas, esta transformación sólo es posible cuando se aplica á una línea cerrada, línea que contiene alguna porción del aislador cuando el circuito es abierto. Aquí, como en el caso del campo magnético, es menester que extendamos al dieléctrico una noción que nació experimentalmente en los conductores: entonces fué la densidad de corriente, ahora es la fuerza electromotriz. Tal generalización es completamente hipotética, aunque fundada en la misma naturaleza del vector \mathbf{F} , determinada por sus dimensiones físicas; dimensiones que, por ser las mismas que las del campo eléctrico, conducen de la mano á identificar la fuerza electromotriz fuera de los conductores con dicho campo. Expresándolo mejor, podríamos decir que la fuerza electromotriz de inducción es la parte solenoidal del vector \mathbf{E} , mientras el campo electrostático es su parte laminar.

Una primera prueba experimental de la legitimidad de esta suposición, cuyo valor es idéntico al que posee la comprobación del campo magnético engendrado por las corrientes de convección, cuando de la generalización de la tercera ecuación fundamental se trata, sería demostrar

que una carga eléctrica, situada en un campo magnético variable, sufre la acción de una fuerza perpendicular á la dirección del campo. Dos tentativas se han hecho para comprobar la existencia de esta fuerza: la primera, por Lodge (*), con resultados positivos, aunque por su disposición no puede considerarse concluyente; la segunda, realizada por Cremieu (**), en condiciones al parecer más perfectas, pero de resultados negativos. Sin embargo, no hemos de concluir de aquí la no existencia de la acción investigada, pues ello nos arrastraría á rechazar la teoría electromagnética de la luz, una de las conquistas mejor cimentadas de la ciencia moderna. Además, también se deduce directamente de la hipótesis discutida la polarización de un dieléctrico que se mueve en un campo magnético, polarización que han comprobado Wilson (***) y S. J. Barnett (****).

En definitiva, el sistema (I) aparece como una generalización lógica de leyes experimentales independientes; pero si suponemos la posibilidad de una teoría mecánica de los fenómenos eléctricos, una de las dos últimas ecuaciones puede deducirse de las otras tres. Para ello es menester fijar previamente las expresiones de la energía de los campos eléctrico y magnético.

Las fuerzas ponderoeléctricas que se ejercen entre las distintas partes de un sistema de cargas eléctricas, derivan de una energía potencial cuya expresión, habida cuenta de la definición misma del campo \mathbf{E} , es

$$= \dot{W} \frac{1}{2} \iiint V \operatorname{div} \mathbf{K} \mathbf{E} \, dv + \frac{1}{2} \Sigma \iint V \mathbf{K} \mathbf{E}_n \, d\tau,$$

(*) *Phil. Mag.* 5.^a S. XXVII 469.

(**) *Théses*, p. 8.

(***) *Proc. of the Roy. Soc.*, LXXIII, p. 490.

(****) *Phys. Review.*, XXVII, p. 425.

que, en virtud del teorema de Green, se transforma en

$$W = \frac{1}{2} \iiint (\mathbf{E} \cdot \mathbf{K} \mathbf{E}) dv - \frac{1}{2} \iint V \mathbf{K} \mathbf{E}_n d\sigma.$$

En la primera de estas expresiones, las integrales dobles se extienden á las superficies recubiertas por cargas eléctricas, bien porque siendo conductoras limitan el campo, bien por ser superficies de discontinuidad que separan regiones de naturaleza diferente. Transformando la integral de volumen por el teorema de Green, se introducen estos mismos términos con el signo cambiado, eliminándose de esta suerte en la expresión de W ; pero juntamente con ellas aparece otra integral doble que no se destruye, referida á una superficie que envuelve todo el sistema, y cuyos puntos podemos suponer á distancia infinita. Cuando se trate del campo electrostático, que venimos considerando, dicha integral es evidentemente nula, puesto que la función integrada es infinitamente pequeño de tercer orden, mientras el campo de integración es sólo un infinitamente grande de segundo orden; pero se pueden concebir campos de naturaleza tal, que este término no se anule. De éstos, el caso más sencillo es un campo uniforme indefinido, pero el que posee mayores apariencias de realidad física es el que forma una onda electromagnética, para el cual la función integrada, en vez de ser de tercer orden, es de segundo y la integral indeterminada (*): apariencias de realidad, decimos, porque entendemos que aun en este caso debe anularse aquel término, so pena de ponernos en contradicción con el principio de la conservación de la energía.

(*) H. M. Macdonald. *Electric Waves*, p. 33. Aunque esta objeción se ha formulado para la transformación análoga en el caso del campo magnético, es evidente que puede aplicarse con igual fuerza lógica en el caso presente.

Así, pues, la energía potencial electrostática se distribuye en todo el campo con una densidad, que para el éter será

$$w = \frac{1}{2} K_0 \mathbf{E}^2$$

Volvamos al caso de un circuito que acarrea una corriente permanente, ó con mayor generalidad, que cumple la condición $\text{div } \mathbf{u} = 0$. Este circuito experimenta acciones mecánicas proporcionales á i ; y como el principio de las corrientes sinusoidales permite descomponer uno cualquiera de sus elementos según sus proyecciones sobre los ejes coordenados, no formulamos ninguna hipótesis expresando la energía potencial de que derivan aquellas acciones, en la siguiente forma :

$$T = \frac{1}{2} \int (\mathbf{u} \cdot \mathbf{v}) dv = \frac{1}{2} \int (\text{vort } \mathbf{H} \cdot \mathbf{A}) dv.$$

Esta expresión se transforma, mediante un teorema bien conocido, en

$$T = \frac{1}{2} \int |\mathbf{H} \cdot \mathbf{A}|_n d\sigma + \frac{1}{2} \int (\mathbf{H} \cdot \text{vort } \mathbf{A}) dv,$$

donde la primera integración tiene por campo una superficie á distancia infinita, que envuelve el sistema completo. Mas en ella, \mathbf{H} es infinitamente pequeño de segundo orden y \mathbf{A} de primero; pues, caso contrario, un circuito á distancia infinita sufriría una acción finita de parte del campo; así, dicha integral se anula. De otra parte, el principio de la homogeneidad de las dimensiones (*) permite reemplazar el $\text{vort } \mathbf{A}$ por $\mu_0 \mathbf{H}$, justificando la notación empleada para el vector \mathbf{A} , con lo cual se obtiene, en definitiva,

$$T = \frac{1}{2} \int (\mathbf{H} \cdot \mu \mathbf{H}) dv.$$

(*) B. Cabrera. *Loc. cit.*

Ahora bien; en el origen de todos los razonamientos anteriores se ha impuesto al vector \mathbf{u} la condición de satisfacer á la ecuación $\text{div } \mathbf{u} = 0$. ¿Puede la anterior expresión de la energía conservarse cuando dicho supuesto no se cumple? Sólo como hipótesis, justificable por las deducciones que de ella se derivan, puede admitirse tal generalización.

Además, debemos recordar la objeción formulada por Macdonald á la anulación de la integral de superficie, sobre la cual no insistimos, pues habríamos de repetir idénticos razonamientos que los expuestos al ocuparnos de la energía del campo electrostático.

En definitiva, son dos las formas de la energía almacenada en el éter, si prescindimos de la que puede corresponder á los fenómenos gravitatorios: la eléctrica, cuya densidad hemos visto posee el valor

$$w = \frac{1}{2} K_0 \mathbf{E}^2;$$

la magnética, de la cual existe por unidad volumen

$$\tau = \frac{1}{2} \mu_0 \mathbf{H}^2.$$

Si es posible una explicación mecánica de los fenómenos que en el éter se producen, una de estas magnitudes debe medir la energía cinética del sistema dinámico, cuya existencia se demuestra de esta suerte; la otra, su energía potencial.

¿Cómo hacer la designación? La simetría de las expresiones w y τ , unida á la equivalencia de las teorías de Fresnel y Neumann, á que ya hemos hecho referencia, ponen de manifiesto que estamos en completa libertad para

asignar á una ú otra el carácter cinético, ó, lo que es lo mismo, para elegir cuál de los dos vectores, \mathbf{E} y \mathbf{H} , representan la velocidad del éter. Si, conformándonos con las ideas de Fresnel, elegimos \mathbf{E} , debemos considerar el campo magnético proporcional al vórtice, cambiado de signo, del corrimiento ξ del éter,

$$-\frac{\mu_0}{V} \mathbf{H} = \text{vort } \xi$$

$$\mathbf{E} = \dot{\xi}.$$

Cuando, siguiendo á Neumann y Mac Cullagh, preferimos \mathbf{H} para ser identificado con ξ , será \mathbf{E} proporcional á dicho vórtice:

$$\mathbf{H} = \dot{\xi}$$

$$\frac{K_0}{V} \mathbf{E} = \text{vort } \xi.$$

En cualquiera de estos casos, el principio de Hamilton suministra la ecuación que resta; de suerte que, en la teoría de Fresnel, conduce á la

$$\frac{K_0}{V} \dot{\mathbf{E}} = \text{vort } \mathbf{H}$$

y en la de Neumann-Mac Cullagh, á

$$-\frac{\mu_0}{V} \dot{\mathbf{H}} = \text{vort } \mathbf{E} (*).$$

Pero, además, y es ésta una observación importante, introduce la deducción de estas ecuaciones por tal método una integral de superficie que ha de anularse idénticamen-

(*) Larmor. *Aether and matter*, pág. 84.

te sobre el límite del espacio cuya energía se considere. Las funciones integradas serán, por ende, nulas sobre todo el campo de la integración, ó sea para cada una de las dos hipótesis de que hemos partido

$$\left(\int \mathbf{H} \cdot \mathbf{N} \, d\xi \right) = 0, \quad \left(\int \mathbf{E} \cdot \mathbf{N} \, d\xi \right) = 0,$$

designando por \mathbf{N} el vector unidad, normal á la superficie. En todo caso, estas ecuaciones, físicamente interpretadas, nos dicen que las ondas que cortan la superficie límite han de hacerlo normalmente á la misma, en todos sus puntos; de suerte que la energía que acarrean exteriormente al volumen considerado, no puede en ningún caso contribuir á la existente en él, por propagarse tangencialmente á dicha superficie. Este resultado hace á las ecuaciones que hemos obtenido, partiendo de las expresiones transformadas de W y T , independientes de la objeción de Macdonald á las transformaciones mismas.

Pero, observemos que al operar en la forma hecha sobre las energías W y T del campo, las hemos generalizado de tal suerte, que realmente quedan convertidas en expresiones hipotéticas. En efecto; los hechos experimentales que han servido de punto de partida en su obtención, exigen que $\text{vort } K_0 \mathbf{E} = 0$ en todo el espacio, puesto que \mathbf{E} es un vector laminar; y, de igual suerte, $\text{vort } \mu_0 \mathbf{H} = 0$ fuera de los conductores donde existen corrientes de conducción, ecuaciones ambas incompatibles con las que definen el campo electromagnético. Por consiguiente, es menester admitir nuevos campos eléctrico y magnético, á los cuales precisamente se refieren las ecuaciones fundamentales, ya que los primitivos quedan totalmente eliminados de ellas por su propia naturaleza.

¿En qué momento se han introducido estos nuevos campos para cada una de las teorías que venimos analizando?

En la de Fresnel, se generaliza la noción del campo eléctrico al escribir la ecuación de condición

$$-\frac{\mu_0}{V} \dot{\mathbf{H}} = \text{vort } \mathbf{E},$$

y la del campo magnético en el momento mismo de aplicar el principio de Hamilton. Lo contrario ocurre con la teoría de Neumann-Mac Cullagh.

La discusión que hemos hecho de los diferentes métodos seguidos para establecer las ecuaciones que definen el campo electromagnético, ponen de manifiesto que ninguna ventaja redundaba en beneficio de aquéllos fundados en el empleo del principio de Hamilton, por cuanto envuelven, explícita ó implícitamente, generalizaciones hipotéticas tan numerosas y tan esenciales, como el simple enunciado de aquellas ecuaciones. Mas si postulamos la existencia de una teoría dinámica del éter, el valor de este método no es discutible, pues «la potencia de aquel principio reside en su capacidad para deducir inferencias dinámicas, sin requerir un escudriñamiento detallado del mecanismo por el cual las fuerzas obran» (*).

IV

Antes de abandonar el estudio del éter en el vacío, y penetrando ya en el análisis de sus relaciones con la materia ponderable, veamos otra manera de introducir la noción

(*) Larmor, *Nature*. LXXVI, pág. 269.

de energía electromagnética (*), partiendo de las ecuaciones del campo, supuesta la validez del principio de la conservación de la energía. Para ello supongamos existan cargas eléctricas distribuídas en el éter y veamos las fuerzas que sobre ellas actúan.

La experimentación denuncia dos clases de estas fuerzas motrices, ejercidas por el campo electromagnético. Cuando las cargas están en equilibrio, el campo eléctrico actúa sobre cada elemento de volumen proporcionalmente á su intensidad y á la densidad de las cargas eléctricas allí almacenadas. Cuando se mueven en un campo magnético, el estudio de los rayos catódicos y de los canales, en sus varios aspectos, demuestra la presencia de una segunda acción, idéntica á la que sufriría, en las mismas condiciones, un elemento de corriente tal que

$$\mathbf{u}d\mathbf{v} = \frac{\mathbf{v}}{V} \rho d\mathbf{v},$$

donde \mathbf{v} es la velocidad del elemento cargado y \mathbf{u} la densidad de corriente equivalente en el mismo punto, acción medida por

$$\frac{\rho d\mathbf{v}}{V} |\mathbf{v} \cdot \mathbf{H}|.$$

De esta suerte nos vemos conducidos á escribir para la fuerza \mathbf{F} por unidad de carga

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} + \frac{1}{V} |\mathbf{v} \cdot \mathbf{H}|.$$

Por otra parte, observemos también que la existencia de

(*) M. Abraham. *Princ. de la dynamique de l'électron*. MEMOIRES DE LA SOCIÉTÉ FRANÇ. DE PHYS. pág. 14.

estas cargas eléctricas en movimiento, nos obligan á modificar la primera y tercera ecuaciones del sistema (I), escribiendo en vez de ellas

$$\begin{aligned} \operatorname{div} K_0 \mathbf{E} &= \rho \\ \frac{1}{V} (\rho \mathbf{v} + K_0 \dot{\mathbf{E}}) &= \operatorname{vort} \mathbf{H}. \end{aligned}$$

Si el principio de la conservación de la energía se acepta, la suma de la potencia suministrada por las fuerzas interiores á un sistema, de la rapidez de variación de su energía y del flujo emergente de la misma por la superficie que le limita, es nula. Ahora bien: calculemos la potencia procedente de la fuerza ponderomotriz \mathbf{F} , para una región del espacio envuelta por una superficie S y que contiene masas eléctricas de densidad ρ ; el segundo término de \mathbf{F} no influye sobre esta potencia, de suerte que ésta será, llamando T el trabajo,

$$\frac{dT}{dt} = \int \rho (\mathbf{v} \cdot \mathbf{E}) dv.$$

Una transformación sencilla del segundo miembro, partiendo de las ecuaciones del campo, conduce á la identidad

$$\frac{dT}{dt} + \int_s \mathbf{v} |\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}|_n ds + \frac{d}{dt} \int_v (K_0 \mathbf{E}^2 + \mu_0 \mathbf{H}^2) dv = 0,$$

que puede considerarse como la traducción del principio arriba enunciado, para el campo electromagnético, cuando se supone distribuída en el espacio una cantidad de energía definida por la integral de volumen, y se admite que el cambio con el exterior lo mide el vector $\mathbf{v} |\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}|$, conocido en la ciencia con el nombre de vector de Poynting.

Cuando en el espacio en cuestión $\rho = 0$, el primer término de la identidad desaparece, y los dos restantes, traducidos al lenguaje vulgar, expresan que todo cambio en la cantidad de energía almacenada en el volumen, se compensa por el flujo del vector de Poynting: todo ocurre como si la energía fuese un fluido incompresible de densidad $K_0 \mathbf{E}^2 + \mu_0 \mathbf{H}^2$, y cuyo flujo lo mide el citado vector. Esta representación esquemática es susceptible de generalizarse al caso en que

$$\frac{dT}{dt} \leq 0,$$

admitiendo que el referido fluido ficticio es susceptible de engendrarse ó destruirse, en los puntos en que se cumple la expresada condición y en la proporción que su mismo valor indica (*), y esta misma generalización hace que se perciba con entera claridad que semejante interpretación es sólo un lenguaje cómodo.

Así, para mantener la validez del principio de la conservación de la energía en los sistemas electromagnéticos, es menester introducir una cierta cantidad de energía distribuída en el espacio y susceptible de propagarse de un lugar á otro; y, en consecuencia, un medio, un algo, que sirva de sostén á esta energía, medio que por definición es el éter.

Pero aun hay más; la Mecánica admite que este principio se cumple con absoluta independencia de los ejes que nos sirven para definir el movimiento de las diferentes partes del sistema, hipótesis que integra el principio del movimiento relativo, y de la cual deriva la constancia de la cantidad de movimiento ó principio de la acción y

(*) Poincaré *Livre jub. dédié á H. A. Lorentz*, pág. 256

la reacción (*). ¿Se cumplen igualmente estos postulados en los sistemas electromagnéticos, ó es menester la intervención de nuevas magnitudes con tal fin? La experimentación y el cálculo, de consuno, nos obligan á apelar á este medio. Según ha observado Poincaré, el arrastre parcial de las ondas luminosas, que demostró Fizeau, es ya una comprobación inmediata de que el principio del movimiento relativo no es aplicable á la materia sola, y los fenómenos engendrados por la presión de la luz, que predijo Maxwell y han demostrado cumplidamente Lebedev (**), Nichols (***) y Hull (****), invalidan en idénticas condiciones el de la acción y la reacción. Para conservarlos es necesario introducir el éter como parte integrante del sistema (*****), definiéndole á manera de receptáculo de una cierta cantidad electromagnética de movimiento, que mide el vector de Poynting.

Transformando las expresiones de la resultante general

$$\int_v \rho \mathbf{F} dv$$

y del momento general

$$\int_v \rho |\mathbf{R} \cdot \mathbf{F}| dv$$

de las fuerzas ponderomotrices, bien siguiendo el método utilizado por Lorentz (*****) y Poincaré (*****),

(*) Poincaré *loc. cit.* pág. 270.

(**) *Rapp. près. au Congrès de Phys.* II, pág. 133.

(***) *Phys. Rev.*, XIII pág. 293.

(****) *Phys. Rev.*, XX, pág. 292.

(*****) J. J. Thomson *Le Radium* V pág. 146.

(*****¹) *Versuch einer Theorie der elektr. und opt. Erscheinungen in bewegten Körpern*, pág. 26.—*The Theory of Electrons*, pág. 242.

(*****²) *Loc. cit.* pág. 293; *Elect. et Opt.*, pág. 448.

ya empleando el seguido por Abraham (*), llegase á la ecuación

$$(b) \quad \int_v \rho \mathbf{F} dv + \int_s \Pi ds = - \int_v \frac{1}{v^2} \frac{d\mathbf{P}}{dt} dv,$$

$$(c) \quad \int_v \rho |\mathbf{R} \cdot \mathbf{F}| dv + \int_s |\mathbf{R} \cdot \Pi| ds = - \int_v \left| \mathbf{R} \cdot \frac{1}{v^2} \frac{d\mathbf{P}}{dt} \right| dv;$$

donde Π representa la presión de Maxwell, ejercida sobre la superficie que limita el volumen considerado, y \mathbf{P} se define por la ecuación (d). Así, el sostenimiento de los principios de la cantidad de movimiento y de las áreas, se logra introduciendo la fuerza

$$\frac{1}{v^2} \frac{d\mathbf{P}}{dt}$$

distribuida en todo el espacio.

Conviene notar que los métodos indicados para la transformación que nos ocupa no son completamente equivalentes, pues el de Abraham exige la rigidez absoluta del electrón, que para nada interviene en el de Lorentz-Poincaré. Cierto que el primero indica que la última fórmula no ha sido demostrada, por los dos últimos; pero es fácil hacerlo, siguiendo paso á paso los procedimientos que dichos físicos utilizaron en la primera. Cuando los experimentos de Kauffman (**) parecían dejar fuera de duda la mejor conformidad del electrón rígido de Abraham con los resultados experimentales, la anterior observación tenía escaso interés; pero desde que los últimos experimentos de Bucherer (***) han devuelto al electrón deformable de

(*) *Loc. cit.*, pág. 15.

(**) *Ann. Phys.*, 4.^a S. XIX p. 487.

(***) *Phys. Zeitschr.* IX p. 755

Lorentz los prestigios de la posible realidad, es menester tener en cuenta la exacta equivalencia de los dos métodos para obtener las fórmulas (b) y (c).

La fórmula

$$\frac{1}{V^2} \frac{d\mathbf{P}}{dt}$$

de la fuerza localizada en el éter, conduce naturalmente á considerar, con Abraham, una cantidad de movimiento distribuida en el mismo, con la densidad

$$(d) \quad \frac{1}{V^2} \mathbf{P} = \frac{1}{V} |\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}|,$$

y á imaginar que el movimiento del éter se efectúa en el sentido del vector de Poynting, en vez de hacerlo en las direcciones \mathbf{E} ó \mathbf{H} . Tal hipótesis quizá posea un fundamento mecánico más sólido que las otras dos, pero no está libre de objeciones importantes, que ha formulado principalmente C. V. Burton (*).

Observemos, en primer término, que no suministra una verdadera teoría dinámica de los fenómenos electromagnéticos, puesto que para explicar la polarización se requiere el atribuir á los vectores \mathbf{E} y \mathbf{H} una naturaleza dinámica, que no aparece determinada por dicha hipótesis. Por otra parte, así como en la teoría de Fresnel los electrones aparecen como puntos ó regiones infinitamente pequeñas, donde se engendra ó destruye permanentemente el éter, aquí hemos de atribuir dicha función á los cuerpos luminosos. Semejante creación ó destrucción constante, no puede menos de producir cierta repugnancia en el estado actual de nuestros conocimientos, siquiera tal repugnancia no posea fuerza suficiente para considerarla irrefuta-

(*) *Phil. Mag.*, 6.^a S. XVII p. 650

ble. Aun pudiera suprimirse, admitiendo que en el seno de los cuerpos luminosos la densidad del éter disminuye constantemente, mientras aumenta en aquéllos que absorben la energía radiante, y tal supuesto tampoco puede negarse de una manera incontestable.

Acabamos de ver cómo, para sostener los postulados de la Mecánica, hemos de admitir la existencia del éter, receptáculo de una energía y cantidad de movimiento electromagnéticos; de suerte que el grado de certidumbre con que afirmamos la realidad de este medio, es idéntico á aquél que atribuyamos á dichos postulados. Es esta manera de razonar una comprobación de las ideas de Poincaré, respecto de la validez de los principios fundamentales de las ciencias físicas: nacidos como una generalización de los resultados experimentales, se han elevado á la categoría de postulados, que la experimentación no puede invalidar; pues cuando esto parece ocurrir, una hipótesis nueva, fundada en la necesidad de conservar el postulado, toma carta de naturaleza en la ciencia.

V

Según hemos visto, las ecuaciones del campo electromagnético conducen al valor

$$c = \frac{V}{\sqrt{K_0 \mu_0}}$$

para la velocidad de propagación de las ondas luminosas en el éter del vacío. Para otro medio transparente puede escribirse, análogamente,

$$c' = \frac{V}{\sqrt{K \mu}},$$

pues las ecuaciones fundamentales que nos conducen á esta expresión de c , son también aplicables á estas sustancias, mediante un cambio en los valores de K y μ ; así:

$$c' = c \sqrt{\frac{K_0 \mu_0}{K \mu}}$$

Mas las constante K y μ poseen una significación física totalmente independiente de aquella celeridad, y métodos existen que consienten comparar sus valores para los diferentes medios. De ellos resulta que $\frac{\mu_0}{\mu}$ tiende hacia la unidad, cuando la frecuencia del campo magnético se aproxima á la que corresponde á las ondas luminosas, obteniéndose así la ley de Maxwell,

$$n^2 = \frac{K}{K_0},$$

que la experiencia ha comprobado en todos los casos en que la dispersión es nula.

Pero ya dijimos que, admitiendo la teoría elástica del éter en cualquiera de sus formas, aquella misma celeridad se define por una relación análoga entre dos nuevas magnitudes que nada de común poseen con K y μ : la rigidez n del medio y su densidad d . Estas cuatro constantes satisfarán á la condición

$$\frac{v^2}{K \mu} = \frac{n}{d},$$

y aunque al fijar los valores de dos de ellas, los que corresponden á las otras dos, únicamente ligados por esta ecuación, pueden ser infinitos diferentes, es evidente

que, entre todos ellos, físicamente sólo son admisibles los sistemas

$$\left\{ \begin{array}{l} K \div d, \\ \mu \div \frac{1}{n}, \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} K \div \frac{1}{n}, \\ \mu \div d; \end{array} \right.$$

expresando por el signo \div la proporcionalidad de dos constantes.

En el primer caso, la energía del campo eléctrico mide la energía cinética del medio, con lo cual volvemos á la teoría de Fresnel, admitiendo juntamente *la identidad de la rigidez del éter en el vacío y en el seno de los cuerpos transparentes*. En el segundo, es la energía magnética la que desempeña las funciones de energía cinética; la teoría admisible, la de Mac Cullagh, y *la densidad del éter permanece constante en todo el espacio, ya ocupado por la materia, ya vacío*.

Nos hallamos en presencia del mismo dilema que estudiamos en anteriores capítulos; pero un nuevo elemento se presenta, que pudiera decidir el pleito entre ambas doctrinas. ¿Posee el éter igual densidad en todo el espacio, ó la misma rigidez? O de otra manera: ¿la materia modifica la densidad del éter, ó su rigidez?

Consideremos la superficie de separación de dos medios transparentes, determinados, en virtud de lo que hemos dicho, por los valores de K. En primera aproximación puede admitirse que la superficie considerada es una superficie geométrica, y no una capa de paso infinitamente delgada. La teoría general del campo electromagnético suministra las condiciones

$$\begin{aligned} H_1 &= H_2 \\ D_{1n} + D_{2n} &= 0, \\ \frac{D_{1t}}{K_1} + \frac{D_{2t}}{K_2} &= 0, \end{aligned}$$

á que han de satisfacer ambos vectores sobre las dos caras de dicha superficie, designando por los subíndices 1 y 2 los valores que corresponden á los dos medios, y mediante las letras n y t las componentes según la normal y la tangente.

Estas condiciones en los límites, demuestran que una onda para la cual los campos eléctrico y magnético se definen por las partes reales de las exponenciales

$$E = E_0 e^{i K_1 (a_1 x + \beta_1 y + \gamma_1 z - c_1 t)}$$

$$H = H_0 e^{i K_1 (a_1 x + \beta_1 y + \gamma_1 z - c_2 t)}$$

engendra otras dos, una reflejada y otra refractada, que siguen en su propagación las leyes de Snell-Descartes, y cuyas amplitudes se encuentran ligadas por las fórmulas que Fresnel dedujo mediante un razonamiento erróneo, pero que la experimentación ha confirmado plenamente.

Llamando φ y φ' los ángulos de incidencia y refracción, $E_0^{(r)}$ y $E_0^{(s)}$ las amplitudes del campo eléctrico en las ondas reflejada y refractada, estas fórmulas son, según que E sea normal al plano de incidencia ó esté situado en él,

$$(III) \quad \begin{cases} E_0^{(r)} = - E_0 \frac{\text{sen} (\varphi - \varphi')}{\text{sen} (\varphi + \varphi')}, \\ E_0^{(s)} = E_0 \frac{2 \text{sen} \varphi' \cos \varphi}{\text{sen} (\varphi + \varphi') \text{sen} (\varphi - \varphi')}, \end{cases}$$

$$(IV) \quad \begin{cases} E_0^{(r)} = - E_0 \frac{\text{tg} (\varphi - \varphi')}{\text{tg} (\varphi + \varphi')}, \\ E_0^{(s)} = E_0 \frac{2 \text{sen} \varphi' \cos \varphi}{\text{sen} (\varphi + \varphi')}. \end{cases}$$

De estas fórmulas se deducen dos conclusiones que conviene señalar, porque sobre ellas hemos de insistir muy pronto: 1.ª, la amplitud de la onda reflejada se anula para el ángulo de Brewster, cuando E permanece en el plano de

incidencia; de suerte que en un rayo de luz polarizada, este vector es normal al plano de polarización, y \mathbf{H} se halla contenido en él; 2.ª, para la incidencia normal, los dos sistemas de fórmulas son idénticos, y demuestran un cambio de fase igual á π para el campo eléctrico, é igual á 0 para el magnético, de forma que la energía eléctrica presenta un mínimo sobre la superficie reflectante, y la magnética un máximo.

Volvamos á las teorías elásticas. También ellas conducen á las fórmulas de Fresnel, por razonamientos no sometidos á las objeciones que invalidan la deducción del malogrado físico francés. Analicemos, en primer lugar, la teoría de Green, en la forma más precisa que le ha dado Lord Kelvin (*). En ella el éter se considera como un sólido elástico, susceptible de propagar ondas de compresión, con una velocidad

$$v = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}n}{d}}$$

y ondas transversales, con la velocidad

$$c = \sqrt{\frac{n}{d}},$$

rigiéndose sus movimientos por las ecuaciones conocidas que á estos medios se aplican. Ya hemos visto que la falta de fenómenos conocidos, que respondan á las ondas de condensación, obliga á suponer v nula ó infinita, cuya última hipótesis adopta Lord Kelvin, siguiendo á Green, cuando se refiere al vacío. Pero al penetrar en el seno de la materia ponderable abandona tal hipótesis, obligado por la

(*) *Baltimore Lectures*.—Cap. XVIII.

necesidad de conservar las fórmulas de Fresnel para la reflexión y la refracción.

Supuesta la imposibilidad de deslizamiento en la superficie de separación de los dos medios, las condiciones en los límites son: continuidad del desplazamiento y de las componentes de las tensiones elásticas. Si el desplazamiento es normal al plano de incidencia, tendrá la misma posición en las ondas reflejada y refractada, por razón de simetría; no engendrará ondas de condensación, y las amplitudes se definen por las fórmulas (III) ó (IV), según se admita la invariabilidad de la rigidez ó la densidad. En el primer caso, el desplazamiento del éter tiene la dirección del vector **E**, y en el segundo la de **H**.

Cuando, por el contrario, la dirección del movimiento del éter está contenida en el plano de incidencia, se engendran en la superficie de separación de ambos medios dos ondas de condensación, y la relación de las amplitudes no obedece á las leyes de Fresnel en ninguno de los dos casos, $d = d'$ ó $n = n'$, por la presencia en el numerador y el denominador de términos que son funciones de la velocidad v de la onda de condensación. Para eliminar estos términos, y las ondas de condensación, en el caso $n = n'$, único que Lord Kelvin considera, es preciso dar á v' un valor muy pequeño, á diferencia de lo que en el vacío ocurre, donde v es muy grande. A pesar de que tal hipótesis sirve también al sabio profesor de Glasgow para explicar las diferencias existentes entre los resultados de las fórmulas de Fresnel y la experimentación, salta á la vista lo extraño de este brusco cambio de v , que pasa de valores infinitamente grandes á otros muy pequeños, cuando se atraviesa el límite de los cuerpos materiales. Sin embargo, esta hipótesis ha sido también formulada en forma muy diferente por Poincaré, según ya hicimos notar.

Dificultades mucho mayores existen en el caso $d = d'$,

pues los términos que se agregan al numerador y denominador de las fórmulas de Fresnel son mucho más complicados que los anteriores, y no se ve con claridad la naturaleza de las hipótesis necesarias para efectuar la reducción.

Pero todas las objeciones que acabamos de señalar en contra de la teoría Green-Kelvin, provienen de querer conservar las ondas de condensación, suponiendo diferente de cero la divergencia del desplazamiento etéreo, \mathbf{X} . Prescindamos de ello, y la ecuación vectorial del movimiento del éter tomará la forma

$$\ddot{\mathbf{X}} = \frac{n}{d} \text{vort}^2 \mathbf{X};$$

ó haciendo

$$(e) \quad \begin{aligned} \text{vort } \mathbf{X} &= \mathbf{0}, \\ \ddot{\mathbf{X}} &= \frac{n}{d} \text{vort } \mathbf{0}. \end{aligned}$$

Conviene observar que esta ecuación se obtiene también mediante la aplicación del principio de Hamilton (*), teniendo presente que la energía potencial W , supuesta función cuadrática de las derivadas primeras de \mathbf{X} , se convierte, para un medio isótropo, en una función analíticamente isótropa (**); ó por métodos de otra índole (***), prescindiendo de aquella condición para W , si bien entonces la ecuación (e) es sólo una primera aproximación.

Esta forma de la ecuación dinámica del éter, idéntica á la del campo electromagnético, nos indica que la relación de las amplitudes de \mathbf{X} en las ondas reflejada, refractada

(*) Maclaurin, *Theory of Light*, I, pág. 32.

(**) Lord Kelvin *Phil. Mag*, 1888.

(***) H. Chipart, *Théorie girostatique de la Lumière*, pág. 26. Igual forma para W ha sido obtenida por E. y F. Cosserat.

é incidente, es la definida por las fórmulas de Fresnel, si una de las constantes n ó d permanece invariable en todo el espacio. En efecto; las condiciones en los límites conducen para la onda reflejada, que es la que principalmente nos interesa, á las ecuaciones

$$X_0^{(r)} = X_0 \frac{\cos \varphi - \sqrt{\frac{d_2 n_2}{d_1 n_1}} \cos \varphi'}{\cos \varphi + \sqrt{\frac{d_2 n_2}{d_1 n_1}} \cos \varphi'}$$

$$X_0^{(t)} = X_0 \frac{\cos \varphi - \sqrt{\frac{d_1 n_1}{d_2 n_2}} \cos \varphi'}{\cos \varphi + \sqrt{\frac{d_1 n_1}{d_2 n_2}} \cos \varphi'}$$

que teniendo en cuenta la ley de Snell-Descartes

$$\frac{\text{sen } \varphi}{\text{sen } \varphi'} = \sqrt{\frac{d_2 n_1}{d_1 n_2}}$$

sólo se reducen á las fórmulas de Fresnel en los casos citados. En el primero, cuando $n_1 = n_2$, la relación entre las amplitudes de \mathbf{X} es la misma que liga las del campo \mathbf{E} , de suerte que \mathbf{X} es normal al plano de polarización; mientras que cuando $d_1 = d_2$, \mathbf{X} coincide con la dirección de \mathbf{H} , y está contenido en dicho plano. Así, según ya dijimos arriba, la primera hipótesis corresponde á la teoría de Fresnel, y la segunda á la de Neumann-Mac Cullagh.

Observemos de paso que la constancia de la rigidez elástica del éter, acarrea la isotropía de W para toda clase de medios, y, por ende, la inercia anisótropa de las substancias doble-refringentes; mientras que de la cons-

tancia de la densidad deriva la isotropía de la energía cinética y la anisotropía de la rigidez, en los medios cristalinos que no pertenecen al sistema regular. Por eso los dos grupos de teorías mecánicas del éter que venimos analizando, suelen también distinguirse por la función á que asignan el carácter de isotropía.

La equivalencia completa, que hemos ido señalando, de las teorías mecánicas, sigue hasta los últimos confines de la óptica. Grupos importantísimos de fenómenos existen que ellas no logran explicar; pero cuando una fracasa, la otra sufre idéntica suerte. A veces se ha querido ver, en ciertos resultados experimentales, la confirmación de la una y la consiguiente condena de la otra, y por rara coincidencia, que quizá tenga su origen en la íntima naturaleza de los fenómenos, siempre fué la hipótesis de Fresnel la que obtuvo estas aparentes victorias. Sin embargo, siempre el error se ha deshecho, persistiendo la indicada equivalencia.

Ejemplo notable es la teoría de Stokes para la polarización que se produce en los fenómenos de difracción. Una aplicación, al parecer intachable, del principio de Huyghens, condujo al físico inglés á afirmar que el desplazamiento etéreo gira hacia la normal al plano de difracción, determinando una polarización cuyo plano se confunde con aquél ó es normal á él, según se adopten las ideas de Fresnel ó las de Neumann. Para resolver el dilema bastaba buscar la solución de este problema experimental, que á primera vista no ofrecía dificultad alguna. La realidad fué cruel, pues si los resultados del propio Stokes parecieron dar la razón á Fresnel, ocurrió todo lo contrario con los obtenidos por Holtzmann en la misma época; y únicamente después de una larga serie de trabajos difíciles de coordinar, que han realizado Fizeau, Quincke, Dubois, Rubens y Braun, por no citar sino los de mayor autori-

dad; después de medio siglo de investigaciones continuadas, se ha podido reconocer que la posición del plano de polarización es función de las dimensiones relativas de las ventanas y de la longitud de onda (*). La teoría de Stokes debe, por lo menos, ser defectuosa, y Poincaré ha demostrado que su error consistió en prescindir indebidamente de las condiciones en los límites.

Otro argumento, también esgrimido durante mucho tiempo en pro de la perpendicularidad de la vibración al plano de polarización, es el resultado de los experimentos de Wiener sobre las ondas estacionarias, producidas por la interferencia del rayo incidente con el reflejado. La placa fotográfica demuestra la existencia de un nodo sobre la superficie reflectante, cuando el haz está polarizado en el plano de incidencia; y para explicar este fenómeno, razonábase, aproximadamente, en la siguiente forma: la impresión fotográfica se engendra por la vibración etérea que constituye la luz, de suerte que la falta de aquélla prueba la anulación de este movimiento; en el caso citado, sólo pueden destruirse las vibraciones normales al plano de incidencia. Pero este razonamiento no es exacto; la impresión fotográfica es la manifestación sensible de una transformación química, que absorbe al rayo luminoso una cierta cantidad de energía. Si esta energía procede de la energía cinética del haz, el razonamiento anterior será exacto; pero nada se opone á que esta transformación se produzca partiendo de la energía potencial, en cuyo caso la consecuencia que del experimento se deriva es la opuesta. Y es que la región correspondiente á los nodos de un sistema de ondas estacionarias es algo muy diferente de

(*) Mascart. *Optique*, III, pág. 1.—R. W. Wood. *Physical Optic*, página 483.—O. D Chwolson. *Traité de Physique*, II pág. 742.—Poincaré. *Théorie mathématique de la Lumière*, II, pág. 213.

una porción del espacio desprovista de energía radiante: las ondas estacionarias son el resultado de una distribución especial de la energía, que posee puntos en que toda ella es potencial (nodos), mientras en otros la totalidad afecta la forma cinética (vientres). Un ejemplo aclarará estos conceptos: bien conocidos son los experimentos ejecutados para denunciar la presencia de los nodos y vientres en los tubos sonoros. Una lámina elástica, espolvoreada con arenilla, pone de manifiesto la existencia de estos últimos mediante la trepidación de la arena, mientras las cápsulas manométricas de Kœnigs denuncian los primeros por el temblor de la llama. El problema consiste en averiguar si la placa fotográfica se conduce á la manera de la membrana que contiene la arenilla, ó como la cápsula de Kœnigs.

Contrasta la ambigüedad de las teorías mecánicas del éter con la perfecta precisión de la teoría electromagnética; y si á ello se agrega su mayor eficacia, pues ningún fenómeno de óptica queda fuera de ella, se comprende asalten dudas sobre la legitimidad del punto de partida de las primeras. Porque, ¿cuál es la razón que impulsa á buscar una explicación mecánica para todos los fenómenos físicos? Creo difícil pueda darse otra que la mayor satisfacción que nuestro espíritu halla dentro de este orden de ideas. Mas entendemos que tal satisfacción sólo proviene del mayor hábito de nuestra inteligencia para este género de conceptos; de la mayor perfección alcanzada en su desarrollo por esta ciencia, gracias á ser su objeto inmediato más asequible; y, por ello, acaso fuera más lógico tomar la Mecánica por modelo para el desenvolvimiento de las restantes ramas de la Física, según quería Rankine, que pretender, con la escuela mecanista, reducirlas todas á capítulos de la Mecánica.

Porque es menester no confundir la necesaria adecuación entre nuestros medios de conocer y el objeto de este

conocimiento, base obligada de la ciencia, con la muy problemática posibilidad de que el orden cronológico de formación de los conceptos, coincida con el orden lógico que pudiera corresponderles por su recíproca dependencia. Se han formado y forman dichos conceptos mediante un trabajo de generalización nunca interrumpido, partiendo de aquellos más sencillos para terminar en los más universales, mientras el orden de dependencia de los fenómenos naturales es necesariamente el inverso; de tal suerte que, lejos de ser la mayor perfección de una ciencia motivo para procurar reducir á capítulos de la misma todas las restantes, es más natural suponer que los fenómenos que la primera estudia son casos particulares de otros más generales, que son objeto de la segunda. A mayor abundamiento, la historia de la física así parece demostrarlo, pues sabido es cómo, después de haber pretendido explicar mecánicamente la electricidad, hoy parece nos hallamos en vías de explicar eléctricamente la materia.

Quizá quiera objetarse que los principios fundamentales que sirven de fundamento á la ciencia de la Electricidad, y mediante los cuales de ella deducimos la ciencia de la Materia, son los mismos que la mecánica utilizó; pero nosotros entendemos que esto es sólo la manifestación de aquella adecuación entre nuestra inteligencia y su objeto, de que hablábamos más arriba; es el sello impuesto á la Ciencia por nuestra organización mental.

Adoptando otro punto de vista, observemos que los fenómenos ópticos nos son conocidos, en último análisis, por sus acciones químicas, retinianas y térmicas. Ahora bien; el experimento realizado por Wiener enseña de manera incontrovertible que es la energía eléctrica de la onda electromagnética la causante de la impresión fotográfica, hecho que guarda perfecta conformidad con la gran influencia que sobre las acciones químicas ejerce el campo eléctrico, y la

acción nula, ó casi nula, del campo magnético; mientras que si pretendiéramos atribuir á un efecto mecánico los fenómenos fotoquímicos, lucharíamos con que precisamente las acciones de este género que modifican el equilibrio químico de los sistemas conocidos, son aquellas que no tienen representación en la onda luminosa.

Respecto de la impresión retiniana, si recordamos que los caracteres de la misma han dado siempre mayores visos de verosimilitud á las teorías que buscan su explicación en equilibrios químicos de sistemas desconocidos, modificables bajo la influencia de ondas de período especial, podríamos aplicarle lo dicho en el párrafo anterior. Pero, aparte de ello, notemos que acaso los fenómenos de resonancia óptica, puestos de manifiesto principalmente en los notables experimentos de Wood, den la pauta para romper el misterio que aún rodea á la visión, convirtiendo la complicada estructura de la retina, en sistema sutil de resonadores electromagnéticos, ligados á los centros sensoriales por los nervios correspondientes. Nada comparable á esto podría imaginarse mecánicamente.

Sólo, quizá, en los efectos térmicos del rayo luminoso, puede apreciarse una equivalencia completa entre las teorías mecánica y electromagnética.

Verdad que también se aspira á hallar un modelo mecánico que imite y explique los campos eléctrico y magnético, y precisamente partiendo de aquí hemos introducido las teorías dinámicas de la luz; pero la falta de éxito de tales tentativas muestra claramente su impotencia. Aparte de que no creemos más claro y asequible á nuestra inteligencia el concepto de fuerza que el de campo eléctrico.

No es, pues, extraño que la Física moderna prescinda de todo otro género de hipótesis, y defina el éter como un medio cuyo estado queda determinado en cada punto por

los campos eléctrico y magnético, á la manera que un gas lo está por su presión y el volumen específico.

VI

Cuando del vacío pasamos al seno de la materia ponderable, los fenómenos electromagnéticos y ópticos ponen de manifiesto una alteración aparente de las propiedades de este medio, medida por el cambio de la constante física K . Y decimos *aparente*, porque la ley de Maxwell exige que el poder inductor específico sea función del índice de refracción; de suerte que la modificación en el éter determinada por la presencia de la materia ponderable, presenta caracteres diferentes cuando se analiza mediante la propagación de ondas de distinto período, permaneciendo inalterables todas las demás circunstancias; y como estas diferentes ondas pueden atravesar simultáneamente una región cualquiera, sería menester atribuir una complicación infinita á aquella alteración de naturaleza, si hubiéramos de admitir su existencia real.

Es mucho más sencillo y fecundo conservar el éter idéntico á sí mismo, atribuyendo aquel cambio de propiedades á la concurrencia de la materia en la producción de los fenómenos, en virtud de su íntimo enlace con dicho medio universal; enlace cuya estructura puede cambiar de una substancia á otra, dando así razón de la diversa manera como se conducen los diferentes cuerpos, y que puede poseer una complejidad suficiente para explicar la variabilidad de K .

Ahora bien; el problema que la Física moderna plantea es el análisis de este enlace, determinando su natura-

leza íntima y los cambios que experimenta cuando se pasa de unos cuerpos á otros. A su resolución concurren los estudios, tanto experimentales como teóricos, cuyo fin inmediato es la determinación de las leyes de la radiación, de las series espectrales, de la resonancia óptica y de los fenómenos magnetópticos, por no citar sino los que de una manera más directa á ella nos han de conducir; y la afirmación, por Maxwell hecha, del carácter electromagnético de la luz, constituye el primer paso hacia la solución del problema; paso inmenso si se atiende á su fecundidad, insignificante si se compara con el camino que por delante resta.

En efecto; tal afirmación conduce á convertir en elemento fundamental de dicho enlace á las cargas eléctricas, pues de una parte, ellas definen en cada punto del espacio los campos eléctrico y magnético, y de otra, la experimentación demuestra que no pueden existir sin un soporte material. Mas por lógica que esta conclusión parezca, es menester acudir á H. Lorentz para verla formulada, porque su fecundidad procede de una modificación profunda en el concepto que de las cargas eléctricas formaron Maxwell y Hertz.

Definida por estos físicos la densidad de carga por la ecuación

$$\rho = \text{div } \mathbf{K} \mathbf{E},$$

aparece como un nombre asignado á una función del campo eléctrico; y una tendencia natural de nuestro espíritu, sin duda conforme en último análisis con la naturaleza íntima de las cosas, nos lleva á suponer continua dicha función y, por consiguiente, la distribución de las cargas eléctricas. Pero esta hipótesis, que es indispensable cuando se consideran los fenómenos electromagnéticos que engendran masas de volumen finito, así como cuando han de interve-

nir los electrones individualmente considerados, incapacita á las cargas eléctricas para resolver el problema que nos ocupa. Prescindir de ella ha sido la idea genial de H. Lorentz, atribuyendo á la electricidad una constitución atómica, cuyos elementos son los electrones.

Pero ¿qué son los electrones? He aquí una noción que debemos precisar y discutir antes de proseguir. Lógicamente, estos elementos debieran imaginarse como algo que sólo posee la naturaleza de una carga eléctrica considerado en su conjunto, sin que ostenten semejante carácter las diferentes partes en que mentalmente pudiera dividírsele; y decimos mentalmente, porque la experimentación no nos suministra medio de realizarlo. Tal noción coincide con la formulada por Larmor: «Cada una de estas cargas puntuales, dice el sabio profesor de la Universidad de Londres (*), determina un campo de fuerza eléctrica á su alrededor: la fuerza eléctrica debe envolver una deformación de alguna especie del éter; así una carga eléctrica puntual es un núcleo de tensiones intrínsecas en dicho medio. Al presente no es necesario determinar qué clase de configuración de tensiones permanentes puede ser...; así, en efecto, tratamos un electrón ó carga puntual de magnitud e como un punto singular libremente móvil...» (**). «en las proximidades del cual la tensión elástica que constituye el desplazamiento etéreo crece indefinidamente, como

$$- \frac{e}{4\pi} \text{grad } \frac{1}{r} :$$

es, en efecto, análogo á lo que se llama un polo simple en la representación de dos dimensiones, que se emplea en la teoría de una función de variable compleja.»

(*) *Aether and Matter*, pág. 86.

(**) *Loc. cit.*, pág. 161.

Pero este concepto del electrón, suficiente cuando se le considera como elemento de un sistema que absorbe ó emite energía radiante, esto es, como enlace entre el éter y la materia, no basta para *explicar* esta última como un conjunto de electrones, según pretende el propio Larmor, pues le faltan elementos para formular una teoría de la inercia, base indispensable de aquella explicación. Sólo se ha podido lograr este fin admitiendo que el electrón es un elemento de volumen de forma determinada, donde existe una distribución cúbica ó superficial de electricidad, función continua de las coordenadas: volumen en el cual penetra el mismo éter que llena el espacio, puesto que su carga es una modificación local del estado de dicho medio.

Así definido el electrón, acudamos á la ecuación (b) y llevemos en ella todos los puntos de la superficie límite del sistema al infinito: la integral superficial se anula y la acción de las fuerzas exteriores se determina por la ecuación vectorial

$$\mathbf{F} = \dot{\mathbf{G}},$$

donde

$$\mathbf{G} = - \int \frac{1}{v^3} \mathbf{P} dv,$$

es la cantidad de movimiento electromagnético de todo el campo. Descomponiendo esta ecuación según la tangente y la normal principal á la trayectoria (*), se obtiene

$$F_t = \frac{dG}{dv} \dot{v}, \quad F_n = \frac{G}{v} \frac{v^2}{R};$$

que, por comparación con las ecuaciones de la Mecánica

(*) M. Abraham *Theorie der Electricität*, II p. 184.

ordinaria, conducen á definir dos masas diferentes para un mismo electrón: una que llamó Abraham *longitudinal*,

$$m_t = \frac{dG}{dv},$$

por entrar en juego cuando la dirección de la fuerza aplicada se confunde con la correspondiente á la velocidad; la otra, que denominó *transversal*,

$$m_n = \frac{G}{v},$$

por intervenir en aquellos casos en que la fuerza es normal á la trayectoria. Así, la masa de un electrón tiene la naturaleza de un triple tensor, cuyo elipsoide correspondiente es de revolución alrededor de la velocidad, á diferencia de la masa material, que es una magnitud escalar. Sin embargo, no empece esto á la identificación de esta inercia electromagnética con la ordinaria, puesto que un triple tensor cuyas componentes de primer especie son iguales, se confunde con una escalar; y sea cual fuere la teoría que se adopte para los electrones, los valores de sus masas se confunden para velocidades pequeñas comparadas con la de la luz.

Aunque las anteriores expresiones de las componentes de primera especie del triple tensor de la masa electromagnética, son totalmente independientes de las hipótesis que se adopten respecto á la distribución de las cargas eléctricas en el volumen ocupado por el electrón, como G es una función de v diferente en cada caso, m_t y m_n son, en definitiva, funciones dependientes de dicha variable, cuya forma cambia con la constitución presupuesta al electrón. Si

con Abraham (*) se le supone esférico y rígido, siendo a su radio y

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$m_t = \frac{e^2}{8\pi a \beta^3 c^2} \left[\frac{2\beta}{1-\beta^2} - \log \frac{1+\beta}{1-\beta} \right],$$

$$m_n = \frac{e^2}{16\pi a \beta^3 c^2} \left[(1+\beta^2) \log \frac{1+\beta}{1-\beta} - 2\beta \right];$$

suprimiendo, con H. A. Lorentz (**), esta rigidez, y admitiendo un acortamiento del diámetro paralelo á la traslación, mientras el perpendicular permanece invariable,

$$m_t = \frac{e^2}{6\pi c^2 a} (1-\beta^2)^{-\frac{3}{2}}, \quad m_n = \frac{e^2}{6\pi c^2 a} (1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}};$$

por último, si unido á aquel acortamiento del eje longitudinal se impone la invariabilidad del volumen, se hallan, con A. H. Bucherer (***) y Langevin (****),

$$m_t = \frac{e^2}{6\pi c^2 a} (1-\beta^2)^{-\frac{4}{3}} \left(1 - \frac{1}{3}\beta^2\right),$$

$$m_n = \frac{e^2}{6\pi c^2 a} (1-\beta^2)^{-\frac{1}{3}}.$$

Todas estas fórmulas demuestran que la masa electromagnética crece con la velocidad, tendiendo hacia infinito cuando β se aproxima á la unidad, hecho que los experimentos de Kauffmann (*****) comprobaron definitiva-

(*) *Ions, Electrons, Corpuscles*, pág. 44.

(**) *Ions, Electrons, Corpuscles*, pág. 487.

(***) *Math. Einführung in die Elektronen theorie*, pág. 57.

(****) *Rev. générale des Sciences*, XVI, pág. 257.

(*****) *Ions*, pág. 264.

mente; pero la ley según la cual tienden hacia este límite es diferente en cada caso, constituyendo un criterio capaz de permitirnos elegir cuál de las anteriores hipótesis se aproxima más á la realidad. Respecto á este último extremo, los resultados no han sido tan concluyentes, pues mientras los trabajos de Kauffmann (*) fueron favorables á la idea de Abraham, los más modernos y perfectos de Bucherer (**) dan la razón á Lorentz.

De una naturaleza muy diferente son las ideas de J. J. Thomson sobre el origen de la masa de los electrones. El sabio profesor de Cambridge se imagina cada uno de estos corpúsculos, como él los llama, á la manera de un núcleo central de donde parten líneas de fuerza en número finito que los ligan entre sí; líneas de fuerza que poseen realidad física y se conducen como hilos elásticos. Estos hilos, que se transportan con los electrones de un lugar á otro, arrastran en su movimiento parte del éter, de forma análoga á lo que ocurre al mover un cuerpo en el seno de un líquido, y la masa del éter arrastrado mide la masa del corpúsculo. Según esta concepción, el Universo aparece como una inmensa red ó tela de araña, embebida en un flúido homogéneo, cuyos nudos son los electrones. La hipótesis es ingeniosa, y consiente conservar la idea de estos últimos elementos de la carga eléctrica como algo esencialmente indivisible; pero dista mucho de ser comparable en precisión á las que acabamos de analizar.

Guiados por el principio lógico que exige sean análogas las explicaciones de fenómenos semejantes, debe investigarse si es posible considerar la inercia ordinaria, de origen electromagnético; de otra manera, si la materia es únicamente un conjunto de electrones. Las únicas objecio-

(*) *Ann. Phy.* XIX. pág. 487.

(**) *Phys. Zeit.*, IX. 755. *Ann. Physik*, XXVIII 513.

nes que á ello pudieran oponerse, fúndanse en el carácter tensorial de la masa electromagnética y su cambio con la velocidad; pero ambas circunstancias desaparecen, cuando esta última magnitud no alcanza un valor comparable á la celeridad de la luz, límite jamás logrado en los movimientos que la Mecánica estudia. Esta ciencia aparece entonces como una aproximación de otra más general, cuyos primeros pasos comienzan á señalarse (*); y las constantes de aquélla, primeros términos de desarrollos en series muy convergentes, que ésta estudia en toda su integridad.

Sin embargo, antes de que la teoría electromagnética de la inercia logre los honores de una proposición irrefutable, es necesario resolver un problema apenas hoy planteado. La masa de los cuerpos materiales interviene en los fenómenos gravitatorios, al propio tiempo que en los de inercia; de suerte que, ó bien existe aquí una confusión de dos magnitudes físicas heterogéneas, ó es menester admitir que la gravitación es también un fenómeno electromagnético. La idea envuelta en el primer término del dilema fué ya emitida por Newton, y él mismo, y más tarde Bessel, quisieron comprobarlo experimentalmente, investigando si pesos iguales de diferentes substancias poseen idéntica masa (coeficiente de inercia), midiendo para ello los períodos de péndulos de la misma longitud y diferente naturaleza. Sus resultados demuestran la identidad de estas constantes con una aproximación de 4×10^{-6} . Igual conclusión deduce J. J. Thomson de sus experimentos, comparando el radio con el hierro.

Al segundo término del dilema se oponía la observación y cálculo hechos por Laplace (**), según el cual la veloci-

(*) Véanse por ejemplo los apéndices de E y F. Corserat en la traducción francesa de la Física de O. D. Chwolson.

(**) *Mécanique Céleste, Sec. part. Liv. X* Tomo IV. pág 313.

dad de transmisión de la atracción universal, debe ser más de 10^8 veces mayor que la de la luz, mientras que toda acción electromagnética se propaga con esta última; pero Poincaré (*) ha demostrado la posibilidad de que se suponga esta misma velocidad á la onda gravífica, sin llegar á conclusiones en oposición con las observaciones astronómicas. Esta aparente contradicción entre los resultados de ambos sabios, procede de la diversa manera de plantear el problema. Laplace no admite más modificaciones en la ley de Newton que la propagación con velocidad finita; Poincaré supone, además, que la ley de propagación no se altera por la transformación según el grupo de Lorentz, y que las componentes de la atracción se modifican por ella como las fuerzas electromagnéticas, juntamente con otras varias hipótesis que contribuyen á hacer desaparecer la indeterminación del problema.

Es, pues, muy probable que la solución del dilema que hemos presentado se encuentre en su segundo término; pero mientras los resultados no sean más concluyentes, la constitución electrónica de la materia, en cuanto con ella se quiere significar que el átomo no es otra cosa que un sistema de electrones, sólo puede ser una hipótesis aceptable. Desgraciadamente, no es esta la única dificultad que haya de vencer antes de triunfar.

Mucho conocemos, en efecto, acerca de los electrones y su función como elementos integrantes de la materia; pero el dominio de lo ignorado es aún muy grande, correspondiendo al método experimental la resolución de los múltiples y fundamentales problemas hoy planteados. Aunque la necesidad de conservar al estado neutro los átomos materiales, impone la presencia en ellos de una carga positiva igual á la negativa, apenas si sabemos, respecto de la

(*) *Rendiconti del C. Mat di Palermo*, XXI. pág. 166.

primera, algo más que su existencia, mientras la estructura de la segunda nos es perfectamente conocida.

El estudio de la conducción eléctrica por los gases; el de las radiaciones de las substancias radiactivas, y el del fenómeno de Zeeman, nos han demostrado que la electricidad negativa está constituida por electrones que ocupan siempre el mismo volumen y poseen una carga constante, sea cualquiera el lugar donde se encuentren y el cuerpo de que formen parte. Ellos son los encargados de emitir y absorber las radiaciones durante el cambio que la velocidad experimenta en el curso de su trayectoria interatómica, jugando así el principal papel en el enlace de la materia y el éter; de esta suerte (*) quizá pueda explicarse la existencia de una de las constantes universales de la ley general de la radiación térmica, y aun pudieramos agregar, la constante universal de las series espectrales (**).

Nada comparable con este conocimiento es el que hoy poseemos respecto á las cargas positivas. Verdad que también se presentan en el estudio de la conducción por los gases, bajo la forma de rayos canales, y en los rayos α de las substancias radiactivas; pero su personalidad no se encuentra perfectamente reconocida. Los trabajos de J. J. Thomson (***) parecen demostrar la existencia, en los primeros, de tres especies diferentes de partículas, cuyas masas son para unos comparable á la del átomo de hidrógeno, y para los otros, dos y cuatro veces mayor: valores más de mil veces superiores á los que corresponden al electrón negativo. Estas tres especies de partículas no se

(*) J. H. Jeans, *Proc. of the R. Soc.*, LVII, p. 545.

(**) W. Ritz. *Comp. Rend.* CXLIV, p. 637, CXLV, p. 178. *Ann. der Phys.* XXV—p. 660.

(***) *Phil. Mag.*, 6.^a S. XVI, p. 651.

presentan con igual frecuencia, pero nunca falta aquella que posee masa comparable á la del átomo de hidrógeno, en cuya circunstancia, últimamente corroborada por Wellisch (*), se apoya el ilustre director del Laboratorio de Cavendish para asignarle el carácter de verdadero electrón positivo.

Tan enorme diferencia de masa entre ambos electrones explica, ciertamente, que el positivo no intervenga en los fenómenos de radiación; pero, de otra parte, constituye un obstáculo difícil de remover para la teoría electromagnética de la materia, pues, sea cual fuere la fórmula admitida, su radio debiera ser mil veces menor que el correspondiente al negativo, conclusión incompatible con los fenómenos que dependen de su frotamiento contra los átomos materiales. Mas si, dejándonos guiar por estos últimos, suponemos con J. J. Thomson que las cargas positivas ocupan una esfera de radio comparable al de los átomos materiales, únicamente de dos maneras podemos conservar á su masa carácter electromagnético: bien suponiendo que esta esfera de cargas positivas posee una constitución discreta, cuyos elementos son muy pequeños comparados con el electrón negativo, según ha indicado Lorentz (**); bien imaginando que su masa es debida á un conjunto de electrones negativos que permanecen formando parte de él, análogamente á lo supuesto por Stark (***)).

En la primera hipótesis no se comprende cuál sea la causa que impide la división sin límites de la electricidad positiva, y la segunda parece en contradicción con los re-

(*) Citado por J. J. Thomson en el discurso inaugural del Congreso de la Asociación Británica celebrado en Canadá durante el presente año.

Phil. Mag. 6.^a S. XVIII, p. 821.

(**) *The Theory of Electrons*, pág. 119.

(***) *Phys. Zeit.*, VIII, p. 881.

sultados obtenidos por Thomson (*) para el número de corpúsculos en un átomo, empleando su propio lenguaje; pero según él mismo reconoce, los métodos puestos en práctica en este cálculo, pueden, y hasta deben, interpretarse por la presencia de cierto número de electrones en equilibrio poco estable dentro del átomo.

Hubo un momento en que experimentos realizados por J. Becquerel (**) en los tubos de vacío, parecieron denunciar la existencia de electrones positivos de igual masa que los negativos, corroborando la teoría formulada por el propio físico, para explicar ciertos hechos anormales que se presentaron en sus estudios sobre el fenómeno de Zeeman; pero A. Dufour (***) los ha refutado victoriosamente.

Basta este ligero resumen para comprender lo mucho sabido, y lo muchísimo por saber, respecto de la naturaleza de los electrones y de su intervención en la constitución de la materia, de la cual podrán no ser el único elemento, pero en todo caso, en ella ocupan lugar preeminente, por cuanto sólo ellos pueden servir de puente á la energía que haya de pasar de la materia al éter, ó del éter á la materia. El íntimo mecanismo de este enlace lo define el sistema de las ecuaciones fundamentales del campo magnético, modificado en la siguiente forma por la presencia de aquellos electrones;

$$(I) \quad \left\{ \begin{array}{l} \operatorname{div} K_0 \mathbf{E} = \rho, \\ \operatorname{div} \mu_0 \mathbf{H} = 0, \\ \frac{1}{V} (\rho \mathbf{u} + K_0 \dot{\mathbf{E}}) = \operatorname{vort} \mathbf{H}, \\ -\frac{1}{V} \mu_0 \dot{\mathbf{H}} = \operatorname{vort} \mathbf{E}. \end{array} \right.$$

(*) *The corpuscular Theory*, Cap. VII.

(**) *Le Radium*, V. pág. 193.

(***) *Jour. de Phys.*, 4.^a S. VIII, p. 411.

Resuélvase este sistema de ecuaciones por idéntico procedimiento al que utilizamos anteriormente, introduciendo el mismo vector \mathbf{A} y la misma función φ ligadas por las relaciones

$$\begin{aligned} \text{vort } \mathbf{A} &= \mu_0 \mathbf{H}, \\ \text{div } \mathbf{A} &= - \frac{K_0 \mu_0}{V} \dot{\varphi}. \end{aligned}$$

El campo eléctrico quedará determinado por la misma ecuación que obtuvimos para el vacío, y las anteriores magnitudes auxiliares deberán cumplir en todo el campo las condiciones

$$\begin{aligned} \Delta \varphi - \frac{K_0 \mu_0}{V^2} \ddot{\varphi} &= - \frac{\rho}{K_0}, \\ \Delta \mathbf{A} - \frac{K_0 \mu_0}{V^2} \ddot{\mathbf{A}} &= - \frac{\mu_0 \rho}{V} \mathbf{u}, \end{aligned}$$

cuya forma general

$$\left(\Delta - a^2 \frac{d}{dt^2} \right) \psi = w,$$

por Lorentz (*) llamada Dalembertiana, admite la solución general que ha escrito Kirchhoff bajo la forma

$$\begin{aligned} \psi = - \frac{1}{4\pi} \int \frac{[w]}{r} dv + \frac{1}{4\pi} \int \left\{ \frac{1}{r} \left[\frac{d\psi}{dn} \right] - \frac{d}{dn} \left(\frac{1}{r} \right) [\psi] + \right. \\ \left. + \frac{a}{r} \frac{dr}{dn} [\dot{\psi}] \right\} ds, \end{aligned}$$

donde el paréntesis [] significa que la magnitud encerrada en él ha de tomarse para el instante $(t - ra)$. Si la superficie que constituye el campo de la última integral, la su-

(*) *The Theory of electrons*, pág. 14.

ponemos á distancia infinita, y admitimos además que los valores de $[\psi]$, $\frac{d\psi}{dn}$ y $[\dot{\psi}]$ sean nulos antes de un cierto tiempo t_0 , dicho término desaparecerá; de suerte que con estas condiciones

$$\varphi = \int \frac{[\rho]}{4\pi K_0 r} dv,$$

$$\mathbf{A} = \frac{\mu_0}{4\pi V r} [\rho \mathbf{u}] dv.$$

Pero, las anteriores condiciones en los límites, ¿son admisibles? W. Ritz (*) sostiene que no siempre puede suponerse la nulidad de las funciones arriba transcritas; pero en nuestro concepto, sus argumentos poseen escaso valor. Por otra parte, huyendo de las hipótesis puestas en tela de juicio, considera las magnitudes φ y \mathbf{A} , no como funciones auxiliares, sino como potenciales de acciones elementales, análogas por su forma á las obtenidas por Schwarzschild partiendo de la teoría de Lorentz, pero á las cuales atribuye existencia física, interpretándolas con el auxilio de la teoría de la emisión, siquiera las antiguas partículas luminosas parten ahora de los electrones; y aunque no parece ilógico el desarrollo de la teoría para los fenómenos electrodinámicos, su complicación es suficiente para hacerla poco cómoda; sin contar que el autor no ha hecho, hasta el presente, ningún ensayo de aplicación á la Óptica, requisito sin el cual es hoy inaceptable cualquier teoría eléctrica.

Prescindiendo, por consiguiente, de la objeción de W. Ritz, las funciones φ y \mathbf{A} nos permiten determinar en cada punto, y en cada instante, los campos eléctrico y magnético. Mas ello exige el conocimiento de las leyes del

(*) *Ann. de Chem. et de Phys.*, 8.^a S. XIII-145.

movimiento de cada uno de los electrones que intervienen en la constitución de la materia, conocimiento que se encuentra muy fuera de nuestros alcances. Lorentz vence esta dificultad transformando el sistema (I'), mediante la sustitución de los valores reales que en cada punto del espacio poseen las magnitudes que en él figuran, por sus valores medios en un volumen suficientemente pequeño para que la materia pueda considerarse en él homogénea, pero sobrado grande para que contenga un gran número de electrones. Esta transformación consiente la sustitución del término $\rho \mathbf{u}$ por la derivada respecto al tiempo de la intensidad de polarización, ó aun, habida cuenta de la proporcionalidad de este vector y el campo eléctrico, por $\epsilon \mathbf{E}_m$, designando por ϵ la susceptibilidad dieléctrica y señalando con el subíndice m los valores medios. En definitiva, hemos de reemplazar las dos últimas ecuaciones del sistema por las

$$\text{vort } \mathbf{H}_m = \frac{1}{V} (K_0 + \epsilon) \dot{\mathbf{E}}_m = \frac{K}{V} \dot{\mathbf{E}}_m,$$

$$\text{vort } \mathbf{E}_m = - \frac{\mu_0}{V} \dot{\mathbf{H}}_m,$$

de idéntica forma á las correspondientes en el vacío, de las cuales únicamente se distinguen por la nueva constante K , función de los elementos que caracterizan la organización de los electrones en el edificio atómico y de los agentes que intervienen en sus movimientos; pues no hemos de olvidar que dicha constante se ha introducido para reemplazar al término $\rho \mathbf{u}$. Aquella organización, necesariamente estable, engendra una acción directriz que tiende á mantener cada electrón en su posición de equilibrio, y determina, cuando de ella se le separa, un movimiento periódico á su alrededor, cuya frecuencia llamaremos n_0 . Pero esta acción no basta para la teoría de todos los fenómenos

ópticos que en la materia se producen, pues, desde Helmholtz, no es posible prescindir de un rozamiento proporcional á la velocidad, necesario para explicar la absorción y la dispersión anómala, pero hoy imposible de interpretación física, rozamiento cuyo coeficiente llamaremos g .

Admitidas estas dos fuerzas, la ecuación del movimiento de los electrones en un cuerpo que posee N_j de cada especie por unidad de volumen, y al cual llega una onda electro magnética de frecuencia n , conduce para K á la expresión

$$K = K_0 + \sum_{j=1}^{j=p} \frac{1}{\frac{m}{N_j e^2} (n_{j0} - n) - a_j + i \frac{g_j n}{N_j e^2}},$$

donde p es el número de grupos de electrones diferentes en cuanto á su posición atómica, m la masa de uno de ellos y a un coeficiente característico de la simetría del átomo.

En esta expresión del poder inductor específico á que nos conduce la teoría electrónica, halla cumplida interpretación la influencia que sobre esta constante ejerce la naturaleza del medio y la longitud de onda; derivándose también de ella, como corolario obligado, la dispersión en cualquiera de sus formas; todo sin necesidad de imaginar alteraciones en la naturaleza del éter, que conserva idénticas propiedades que en el vacío.

Sin embargo, hasta aquí, la teoría electrónica no pasa de ser ventajosa, no llega á indispensable, pues todos los fenómenos citados caben dentro de las teorías mecánicas con naturalidad más ó menos grande. Pero cuando se consideran las acciones que el campo magnético ejerce sobre la emisión, la propagación ó la absorción de la luz; cuando se estudia el fenómeno de Zeeman ó la polarización rotatoria magnética, la defensa de estas últimas es imposible: la victoria de la primera, completa.

El campo magnético, en efecto, engendra una nueva fuerza que actúa sobre los electrones normalmente á su trayectoria, cambiando la ley del movimiento y determinando la producción de los indicados fenómenos, que aparecen como consecuencia necesaria de las nuevas ideas.

Pero aún es esto poco; los triunfos más brillantes de la repetida teoría se encuentran en la óptica de los cuerpos en movimiento, cuyo inmenso dominio, apenas roturado, da, sin embargo, opimos frutos. La excesiva longitud de este trabajo nos veda detenernos en su descripción, y si los recordamos, es sólo como argumento en pro de las ideas fundamentales de la Física moderna, entre las cuales figura, y en lugar preeminente, la noción del éter, que si nació para la Ciencia como materia sutilísima, cuyas propiedades le capacitaban para el transporte de las acciones físicas, es hoy medio de naturaleza desconocida, únicamente definible por el sistema de ecuaciones que hemos analizado y, sin embargo, esencia de la materia misma, ahora convertida en el resultado aparente de la agrupación organizada de aquellas regiones finitas donde el éter presenta deformaciones permanentes.

Notación empleada en este discurso.

\mathbf{A} , designa un vector cuyo módulo es A y cuyas componentes son A_x, A_y, A_z .

$(\mathbf{A} \cdot \mathbf{B})$ expresa el producto escalar de los vectores \mathbf{A} y \mathbf{B} , cuyo valor es $A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$.

$|\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}|$ representa el producto vector de \mathbf{A} y \mathbf{B} , cuyas componentes son $A_y B_z - A_z B_y, A_z B_x - A_x B_z, A_x B_y - A_y B_x$.

El subíndice n en un vector, ó en un producto vector, indica la componente de éste según la dirección de la normal á una superficie.

$\dot{\mathbf{A}}, \dot{\varphi}, \ddot{\mathbf{A}}, \ddot{\varphi}$, indican las derivaciones $\frac{d\mathbf{A}}{dt}, \frac{d\varphi}{dt}, \frac{d^2\mathbf{A}}{dt^2}, \frac{d^2\varphi}{dt^2}$.

$\Delta\varphi$ es equivalente á $\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d^2\varphi}{dy^2} + \frac{d^2\varphi}{dz^2}$.

$\Delta\mathbf{A}$ representa el vector cuyas componentes son $\Delta A_x, \Delta A_y, \Delta A_z$.

$\text{grad } \varphi$ indica un vector cuyas componentes son $\frac{d\varphi}{dx}, \frac{d\varphi}{dy}, \frac{d\varphi}{dz}$.

$\text{div } \mathbf{A}$ expresa la función escalar $\frac{dA_x}{dx} + \frac{dA_y}{dy} + \frac{dA_z}{dz}$.

$\text{vort } \mathbf{A}$ es el vector cuyas componentes son

$$\frac{dA_z}{dy} - \frac{dA_y}{dz}, \frac{dA_x}{dz} - \frac{dA_z}{dx}, \frac{dA_y}{dx} - \frac{dA_x}{dy}.$$

En vez de esta última notación se han empleado curl ó rot; pero preferimos la indicada, por idénticas razones á las aducidas por W. Voigt en los *Rapp. prés. au Cong. Int. de Phy* de 1900, t. I, página 279.

DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. JOSÉ ECHEGARAY

SEÑORES:

Comienza el nuevo Académico su muy interesante y profundo discurso, recordando tres sucesos de su vida intelectual, que en su memoria han quedado grabados hondamente.

Fué el primero, según dice, el acto de recibir la investidura del Doctorado; el segundo, la propuesta que hizo en su favor el Tribunal de oposiciones para la Cátedra que actualmente regenta; y el tercero, su elección en esta Academia para la vacante, que entre nosotros dejó D. Francisco de Paula Rojas.

Y yo, que cumpliendo deberes de cortesía debo seguir paralelamente las ideas y los conceptos del discurso de nuestro compañero, comienzo evocando también otro recuerdo remoto de mi existencia.

Recuerdo á mi vez el momento, para mí solemne, ya bien lejano, en que esta Academia me abrió sus puertas, y recuerdo el discurso que en aquella ocasión leí ante vosotros: ante vosotros no, ante otros compañeros que ya pasaron.

Y como veréis, este recuerdo es oportuno.

Eran tiempos aquellos de inmensa agitación en España, porque acercábase el mes de Septiembre de 1868 y se sentían los estremecimientos de la gran convulsión revolucionaria.

Eran tiempos de lucha y de combate, y mi discurso, aunque había de ser puramente científico, de aquellos combates y de aquellas luchas hubo de resentirse: cuando tiembla el suelo, tiemblan los palacios y tiemblan las chozas.

Afirmaba yo, que desde los árabes hasta el día, España, tan grande y tan fecunda en otras esferas, había sido estéril en lo que se refiere al orden de las matemáticas puras, sin que, para vergüenza y desesperación nuestra, pudiéramos contar en nuestra gloriosísima historia con un solo matemático de primer orden, como si el cerebro de nuestra raza fuera impotente y obtuso para las altas lucubraciones de la ciencia de Newton, Descartes y Leibnitz.

Naturalmente, yo atribuía esta desdicha á causas políticas, es decir, al absolutismo y á la intolerancia, y de este modo tomaba mi peroración notas batalladoras de entre aquéllas que ya vibraban en el aire.

Naturalmente, repito, mi rotunda y cruel afirmación dió motivo á muchas protestas y á muchos artículos en los periódicos, de críticos, que demostraban de este modo un patriotismo, siempre respetable y simpático; pero casi todos mostraban á la vez una ignorancia inexcusable y triste en la materia de que se trataba.

De todas maneras, al carácter pesimista de aquel trabajo acompañaba la expresión de un deseo ardiente de progreso para nuestra España en todas las ciencias exactas y en las matemáticas puras, que á todas infunde espíritu sublime de verdad; y á la vez alentaba yo la esperanza vivísima de que el porvenir no había de ser ingrato para la noble raza española.

Pues bien, evoco aquel recuerdo porque mi esperanza no ha sido vana; de algunos años acá aquella esperanza en realidad se va convirtiendo, y es ya realidad en gran parte.

Nuestro progreso en esta rama de las ciencias humanas

es evidente: lo demuestran numerosos y sabios profesores de nuestras Universidades y escuelas especiales de todas clases; lo demuestran multitud de obras y muchos periódicos de carácter científico, que ponen de relieve nuestra cultura; lo demuestran jóvenes brillantes, que de seguro han de dar nuevo impulso á la ciencia, y en este mismo acto demuestran, por manera decisiva y elocuente, dos nombres que acudirán á todos los labios: el de D. Francisco de Paula Rojas y el del nuevo Académico D. Blas Cabrera.

D. Francisco de Paulas Rojas, hombre de clarísimo entendimiento, de gran cultura científica, profesor eminente, es hoy una gloria de la ciencia española, y empeñarme yo en recordar sus méritos fuera empequeñecerla y aun hacer interminable este discurso.

En cuanto al nuevo Académico, al Sr. Cabrera, con decir que es digno discípulo de tan gran maestro, que maestro suyo fué el Sr. Rojas, está dicho todo.

Pero un discípulo á la altura de la ciencia moderna, con todos los vuelos que han de escalar alturas y todas las energías que han de penetrar en los misterios de la Naturaleza, poseyendo práctica de experimentación y costumbre de cálculo; en suma, el Sr. Cabrera hace ya honor á la ciencia española.

No necesitaría, pues, enumerar sus méritos ni sus trabajos, que de todos vosotros son bien conocidos, si no me obligase á ello la costumbre.

Diré, sin embargo, por no faltar á ella, que la labor, ya importantísima, del Sr. Cabrera, puede dividirse en dos grandes grupos.

Forman el primero numerosos trabajos de investigación experimental ó de observación, entre los cuales citaremos los siguientes:

Variación diurna de la componente horizontal del viento; tesis doctoral publicada en 1902.

Sobre el estado actual de cierta ley de Maxwell, comprendiendo su discusión general y la refutación de varias objeciones.

Sobre la variación de conductividad de las disoluciones del ácido sulfúrico con la temperatura, trabajo que se tradujo íntegramente al alemán.

Sobre la variación del magnetismo permanente con la temperatura.

Sobre los cambios de conductancia de la manganina durante el recocado.

Determinación de algunas constantes físicas de la manganina, empleando disposiciones prácticas originales del Sr. Cabrera.

Y descripción de un nuevo modelo de puente eléctrico.

Forman los trabajos del segundo grupo, ó sea de orden teórico, entre otros, estos que voy á citar:

Sobre la trayectoria de los rayos catódicos en un campo magnético, en que se generalizan leyes de J. J. Tomphson y H. Poincaré.

Algunas observaciones sobre la ionización de los electrolitos, trabajo en el cual aparecen ideas originales del nuevo Académico, respecto á la manera de efectuarse este fenómeno.

Sobre la existencia del magnetismo verdadero.

Forma de la relación lineal entre dos fenómenos vectoriales para los distintos medios cristalinos, y un nuevo método para averiguar las características del triple tensor y el vector derivado.

Teorema de Vaschy y su aplicación á la electro estática.

Sobre la teoría de los tensores, trabajo muy interesante acerca de este modernísimo concepto.

Y ha de notarse, que con posterioridad al escrito del Sr. Cabrera, se ha publicado en el extranjero una Memoria

en que se observa cierta coincidencia con la que acabamos de citar.

Analizar las memorias y escritos, antes reseñados, es de todo punto imposible, pues no lo consienten ni el tiempo, ni la ocasión; y por otra parte, es prueba plena, por si sola, el discurso del nuevo Académico, que acabáis de oír, de su claro talento, de su indiscutible competencia y de su gran erudición en todo lo que se refiere á la Física moderna, ya teórica, ya práctica.

Este discurso, por si solo, tenga esta honra nuestro compañero, demuestra cuanto ha progresado España en cultura matemática desde cuarenta años acá.

Ya no puede decirse que seguimos en la impedimenta al numeroso ejército del progreso, y valga la imagen, en lo que á matemáticas y ciencias exactas se refiere; ya hemos entrado en filas, y continúo con la imagen guerrera, con lo cual es de creer que nuestros combatientes por la ciencia, que ya lograron buena graduación, conquisten al fin faja de general y aun los tres entorchados.

* * *

Bien sé que estos discursos de contestación, sobre todo cuando se trata de materias abstractas, deben ser breves; pero no puedo menos de decir algo sobre el notabilísimo trabajo de nuestro sabio compañero.

Que no es un trabajo al uso corriente, bien se observa; que no es una Memoria de corte académico, no cabe duda; pero es en cambio un estudio de gran erudición científica, concienzudo y profundo á la vez, y en que el Sr. Cabrera acude á las más elevadas teorías de la Física matemática

con todas sus novísimas notaciones: todo esto es evidente, no hay para qué insista en ello.

Así, pues, yo no he de seguirle paso á paso en su concienzuda labor; primero, porque para ello tendría que escribir una Memoria tan extensa como la suya, y mejor dijera, que tendría que escribir un libro de buen número de páginas: tal es la densidad, si vale la palabra, de los problemas tratados por el nuevo académico. Que, á la verdad, si el Sr. Cabrera desarrolla todos estos problemas, como es de desear que lo haga, más adelante, y á ello le invito en esta ocasión, podría convertirse su Memoria académica en una obra de alto vuelo, digna de figurar en la literatura científica contemporánea.

Pero aun cuando no comente todos los puntos tratados por el Sr. Cabrera en su escrito; aun cuando no discuta la naturaleza del éter por el estudio de las ecuaciones del campo eléctrico y del campo magnético; aun cuando no examine los diversos métodos que puedan seguirse para establecer las expresadas ecuaciones; ni aborde el problema de la energía electro-magnética; ni trate de dilucidar si la materia modifica la densidad del éter ó su rigidez; ni penetre en los difíciles enigmas de la refracción, reflexión, polarización y difracción, como fieles contrastes de las teorías, ni, por último, aborde el problema supremo, permítaseme este adjetivo, de las acciones entre el éter y la materia; sin lanzarme, repito, á este océano sin límites ni orillas de la Física matemática, algo debo apuntar, siquiera sea en forma muy sintética, de la labor, notable por todo extremo, que el Sr. Cabrera ha realizado en su escrito al presentarse por vez primera, y por derecho propio, en nuestra Academia, que desde hoy es la suya.

He de decir poco; pero en lo poco que diga he de luchar con un obstáculo grave, y que, á declarar lo cierto, no sé cómo vencer.

La Memoria del Sr. Cabrera es eminentemente técnica, severa y profunda, cuajada de fórmulas, y aun ostentando todo el aparato de las modernas notaciones, no muy extendidas, no sólo en España, sino en algunas naciones de la raza latina.

Si yo le contesto en el mismo tono y hasta en el mismo lenguaje, temo fatigar al benévolo auditorio.

El Sr. Cabrera ha podido y ha debido hacer lo que ha hecho, que así demuestra que en España hay quien conoce la Ciencia moderna y la sigue en sus más elevados vuelos. No ha querido escribir una Memoria académica más, sino una Memoria que sea como el germen de un libro.

Yo aplaudo su labor, que puede ser fecunda, y su severidad, que es justo correctivo á la invasión de la Ciencia por la literatura amena, en esta clase de actos.

El Sr. Cabrera ha escrito para los Académicos, y aun para los sabios extranjeros; pero yo, como Presidente de esta Corporación, y por decirlo de esta manera, dueño transitorio de la casa, tengo otra obligación más: debo hacer los honores á las personas á quienes hemos invitado, procurando que para todos sea el cansancio el menor posible.

Porque si me pongo al unísono del Sr. Cabrera, y á los *vectores* de su Memoria contesto con los *escalares* de la mía, y á sus *divergencias* con *gradientes*, y al *vórtice* ó á la *rotación* ó al *torbellino* con el *curl* inglés, y á este tenor en todo lo demás, temo que el público nos acuse de hablarle en un idioma para la mayor parte de ellos aun más ininteligible que el griego.

Invitar á personas tan respetables, y aun invitar á bellas damas, para ofrecerles *toda una sesión* en un lenguaje ul-

tra-cabalístico, me parece exceso de crueldad científica. Una parte de la sesión, bien está: la Ciencia tiene sus fueros. Pero toda la sesión, ¡fuera inhumano!

Yo reconozco la importancia y aun las ventajas de estas novísimas notaciones y de esta terminología modernísima.

La fecundidad de los símbolos bien escogidos es grande, y grande ha sido en la Ciencia, á la cual unas veces acortan el camino de la lógica aristotélica, otras veces suministran prodigiosas síntesis, ya prestan alas para volar, ya son perforadoras de rocas macizas, y muchas veces, por la virtualidad interna de su propio organismo, descubren nuevas verdades, así como otras veces ensanchan luminosos horizontes.

Pero aun reconociendo todo esto, y afirmando que la Ciencia no puede prescindir de tales simbolismos matemáticos, como aficionado que soy á trabajos de propaganda, he creído siempre, que puede darse á los profanos una idea bastante clara de las más intrincadas fórmulas, rasgando ante sus ojos los misteriosos velos en que se envuelve el sacerdocio científico.

Lo he dicho en alguna ocasión, y aquí, aunque con más timidez, me atrevo á repetirlo: la Ciencia, aun la más sublime, no es otra cosa que sentido común á alta presión.

Y como me quedarían resquemores de conciencia si no demostrase esta afirmación, voy á demostrarla por dos ejemplos, que se enlazan íntimamente con la Memoria que nos ha leído el nuevo Académico.

*
* * *

Una de las fórmulas fundamentales de la Física matemática moderna, citada por el Sr. Cabrera varias veces en

su trabajo, es la célebre fórmula de Green ó de Ostrogradsky.

Si yo leo esta fórmula ante personas, que no estén iniciadas en nuestras especialísimas materias, recibirán la impresión de algo extraño, ininteligible y aun extravagante, sin sospechar que tales abstracciones puedan tener ningún punto de contacto con la realidad palpitante de la Naturaleza.

Y si no, juzgad por el enunciado de la fórmula de que se trata:

La integral triple ó de volumen de la divergencia de un vector, relativa á un elemento, es igual á la integral doble ó de superficie del flujo de este vector á través de la superficie que limita aquel volumen.

Y dirigiéndome ahora á toda persona que no esté iniciada en la terminología de la Física matemática moderna, yo le pregunto: si ha entendido una sola palabra del enunciado anterior, y sino le parece jerga intraducible á ningún lenguaje racional y humano, jerga, repito, en la que no se contiene ni un solo átomo de sentido común.

Y, sin embargo, la fórmula es exacta, sus consecuencias son fecundas, y la jerga es lenguaje clarísimo para los iniciados, y se acomoda grandemente á los problemas á que se aplica.

Más aun, la fórmula es la expresión del sentido común más vulgar y prosáico; tan vulgar y tan prosáico, que tengo escrúpulos de explicarla en términos inteligibles, porque no parezca que falto al respeto debido, á la seriedad acostumbrada de la Academia, á la solemnidad del acto, y al carácter sublime de los problemas en que nos ocupamos.

Pero entiéndase lo que voy á decir, como expresión de humildad de la Ciencia Matemática, á la que se acusa de soberbia.

Ante el enunciado de la fórmula de Green, yo cito, pues, este hecho vulgarísimo.

En una caja de caudales, el aumento ó disminución total de la cantidad de moneda en ella contenida es igual á la cantidad de moneda que ha entrado ó ha salido á través de las portezuelas, una ó muchas, practicadas en la superficie exterior de la caja.

¿En qué se parece, ni la integral triple, ni la divergencia de vectores, ni la integral doble, ni el flujo de estos mismos vectores, á una caja de hierro, á la moneda que aumenta ó disminuye, y á la moneda que entra y sale por la chapada portezuela?

Al parecer, de una á otra cosa media la distancia, que la inteligencia sorprendida tiende entre lo sublime ininteligible y la prosa más vulgar de la vida económica.

Y, sin embargo, en el fondo la fórmula de Green es la caja de caudales.

Con la diferencia, que lo que llamamos *moneda* en un caso, llamamos *vector* en el otro; pero ¿esto qué importa?

Vector ó *moneda*, algo que entra ó sale en un espacio á través de la superficie que lo comprende.

Divergencia, no significa en el fondo sino lo que varía la cantidad de ese *algo* acumulado en un espacio, lo que difiere de un momento á otro; y la palabra *integral*, vale tanto como *suma*: suma de estas diferencias ó variaciones ó divergencias.

Y, por fin, flujo á través de una superficie, es la moneda que entra ó sale á través de la que forma la envolvente de la caja.

Sólo que para el matemático toda la superficie es portezuela; los conceptos matemáticos pasan, como el Comendador, á través de muros y paredes.

Así, la acumulación de algo en el interior, será el flujo en más ó en menos que por la envolvente ha penetrado.

Pues despojando á la fórmula de sus coqueterías científicas, nos encontramos con este hecho llano y sencillo: lo que aumenta ó disminuye algo, contenido en un espacio, es igual á lo que ha penetrado ó salido á través de las paredes: en abreviatura, la divergencia es igual al flujo.

*
* *

Y he presentado un primer ejemplo, y voy á indicar otro, sin desarrollarlo como el anterior por falta de tiempo, y porque no se me acuse de abatir los vuelos aristocráticos de la ciencia hasta las capas más modestas de la democracia popular; pero, en fin, por algo soy demócrata.

El Sr. Cabrera, en sus elevadas lucubraciones, cita las fórmulas del campo del éter para explicar analíticamente los fenómenos del vacío.

Y traducidas al lenguaje científico desde su escritura matemática, yo diría así: cierta constante, multiplicada por la derivada de la intensidad del campo eléctrico, es igual al vórtice, ó rotación, ó torbellino, ó, si se quiere, al curl inglés, de la intensidad del campo magnético.

Esta es la primera fórmula que define el éter en el vacío, y si no os basta la primera, que para los no iniciados hasta me parece que sobra, traduciré también la segunda.

Otra constante, multiplicada por la derivada de la intensidad del campo magnético, es igual al vórtice, ó rotación, ó torbellino, ó curl, de la intensidad del campo eléctrico.

Es de suponer que el público, ajeno á nuestras lucubraciones y á nuestras fórmulas cabalísticas, se habrá enterado por completo de que ambos enunciados explican la naturaleza del éter, ya por sí, en fórmulas vectoriales, ya en su desdoblamiento en fórmulas ordinarias ó escalares.

Pues esto, que ha de pareceros, el límite de lo abrumador y de lo obscuro á los más bondadosos, y á los de espíritu rebelde, el límite de lo extravagante; estas fórmulas, repito, que condensan el genio de muchos hombres de ciencia, su prodigiosa inventiva y un siglo casi de labor sublime; estas fórmulas pueden simbolizarse por manera tan vulgar y tan sencilla, tan prosáica y tan democrática como la fórmula de Green, que antes os citaba.

Las fórmulas que consigna el Sr. Cabrera, ó las análogas de Lorentz, ó las primitivas de Maxwell, ó las desarrolladas por Poincaré, todas tienen un símbolo bien natural: digo modestamente *un símbolo*.

Yo no puedo pensar en ellas sin pensar en una barra de sección cuadrada que pasase por entre dos pares de rodillos diferenciales de una especie de laminador imaginario.

O en cuatro cremalleras infinitesimales que engranasen con una rueda dentada central.

Por algo se habla de rotación, vórtice, torbellino ó curl, en ambas fórmulas.

Y entiéndase mi pensamiento.

Yo no digo que el éter se componga de rodillos y barras que por entre los rodillos se deslicen, ó de ruedas que giren entre cremalleras, pero digo que ocurren fenómenos en el éter, que la imaginación pudiera simbolizar de este modo; que estos símbolos pueden ser fecundos, y que las fórmulas que el Sr. Cabrera cita pudieran tener representaciones geométricas y dinámicas análogas.

¿Cómo no, si á esas fórmulas se ha llegado por estos caminos?

¡Si á lo sublime de lo abstracto se llega siempre por la labor constante de lo concreto! ¡Si en estos problemas á la idea le suministran materia los sentidos!

Los físicos y los matemáticos ingleses son muy aficionados á dichas representaciones materiales, y así expresan los

principales fenómenos eléctricos y magnéticos por combinaciones de ruedas dentadas y cremalleras, ó por otros artificios de la maquinaria industrial. Y no se crea que son estos, alardes de materialismo: que la noble raza inglesa posee en la literatura y en la ciencia idealismos tan elevados como los de la raza latina; sólo que estas maquinarias á que nos referimos son esquemas de conceptos ideales que tienen grandes ventajas, y hasta pueden sugerir nuevas experiencias; pero aspecto es este de la cuestión que nos falta tiempo para desarrollar.

*
* *

Prescindamos, pues, de cuestiones preliminares, y vamos al fondo de la sabia labor del Sr. Cabrera, en que hace justo y oportuno alarde de su ciencia y de su erudición científica.

Yo, como antes decía, no puedo seguirle paso á paso para reducir todos los conceptos que emplea á términos de ciencia popular, y voy á tomar de su Memoria tan sólo tres puntos culminantes, á saber:

- 1.º El concepto de campo eléctrico ó magnético.
- 2.º El relativo á la escuela conceptualista, si se me perdona llamarla de este modo,
- 3.º El problema hoy tan debatido de las hipótesis mecánicas.

De estos tres puntos, voy á decir muy poco. Con ser de tan breves páginas la Memoria de nuestro nuevo compañero, hay tal acumulación de problemas y materiales, es cantera tan enorme, que empezando á sacar de ella sillares habría para construir un monumento inmenso, nada

menos que el de toda la Física matemática moderna. Pero no estamos para monumentos, y me contentaré con unas muestras de la riquísima sillería de mármol.

*
* *
*

Empecemos por el primero de los tres puntos indicados, á saber: el doble concepto de campo eléctrico y campo magnético, que es como hablar del éter, de los dieléctricos, y hasta de los mismos modernísimos electrones.

Precisamente, este es el carácter distintivo de la Física matemática moderna, si se compara con la Física matemática clásica; y no pudiendo decirlo todo en tan amplia cuestión, para que lo que diga resulte claro, reduzcamos nuestro pensamiento al problema general de la electrostática.

En ésta, la Ciencia clásica concretaba sus problemas á entidades eléctricas, á individuos eléctricos, si se me permite expresarme de este modo, que ocupaban distintos puntos del espacio, ejerciendo acciones y atracciones unos sobre otros y á distancia, por ejemplo: cargas eléctricas de posición fija, cuerpos conductores en estado neutro y aislados, otros en comunicación con tierra, y algunos con cierta carga eléctrica inicial.

Y entre estas entidades ó individuos, el espacio geométrico, puro, inerte, neutral ante el problema de electrostática, ó cuando más sirviendo de elemento aislador.

Y reducíase todo á determinar las condiciones de equilibrio de estas diversas entidades, y la distribución en ellas de las cargas eléctricas.

En este caso, tipo de otros muchos, el campo eléctrico moderno, el campo eléctrico enérgico y activo que hoy

toma parte en el problema, y parte importantísima, y casi pudiéramos decir decisiva, no existía.

Las acciones á distancia resolvían el problema del equilibrio, salvando por manera semiespiritual el espacio geométrico á que me refería, que separaba las individualidades activas.

La Física matemática moderna cambia en absoluto estas condiciones del equilibrio y del problema mismo.

Lo que casi no existía en el antiguo, es hoy el elemento principal; los elementos principales quedan subordinados á estas ambiciones de un nuevo elemento que no tiene límites, como no tiene límites el espacio.

Quiero decir, que el espacio que media entre las que he llamado entidades eléctricas, aun sin estar lleno de aire ó de otro gas, aun sin estar constituido por un dieléctrico, sistemas, por decirlo de este modo, de transición, aun siendo solo el vacío, forma el nuevo campo eléctrico, porque se supone que está constituido por el éter, sobre el cual se hacen multitud de hipótesis, ninguna hasta hoy definitiva, pero concordando todas en darle un papel principalísimo en este problema de la electro-estática, y más tarde en el problema de la electro-dinámica, porque no ya los individuos eléctricos, sino todos los puntos del espacio, son como muchedumbre infinita de elementos que responden á la acción eléctrica y á la acción magnética.

Elementos, repito, que de pronto entran en juego y son como nuevos personajes en número inacabable, coro inmenso de la tragedia clásica, que abruman á los viejos personajes principales, rechazándolos al segundo término y avanzando ellos al proscenio.

Por eso empieza el Sr. Cabrera estableciendo las ecuaciones vectoriales del campo del éter.

Por eso estos campos de electricidad, estas muchedumbres de elementos, con los cuales la Ciencia clásica no

contaba, plantean hoy ante la Ciencia moderna los problemas más hondos de la Física matemática.

En resumen, la Ciencia antigua suponía entidades eléctricas separadas, individuos eléctricos, pudiera decir, unidos entre sí por acciones á distancia, y entre unos y otros el espacio inerte, con el cual no se contaba, á menos que no estuviera constituido por alguna clase de materia ponderable.

En la Ciencia moderna, el elemento fundamental es el campo eléctrico, la muchedumbre de elementos eléctricos, pudiéramos decir, que rodean, anegan y empequeñecen aquellas individualidades eléctricas de la vieja Ciencia.

*
* *

Yo no sé si serán exageraciones de mi propia fantasía, que siempre fué capichosa; pero en esta evolución de la Ciencia eléctrica, que yo ni discuto ni estudio, pues me limito á entregarla á vuestra meditación, creo hallar hondas semejanzas con la evolución, que desde fines del siglo pasado presenciarnos en el orden social.

Al individualismo del siglo anterior se opone en nuestros días el socialismo, cuyo elemento es la muchedumbre, como acabamos de ver que á las entidades ó individuos eléctricos se oponen los campos eléctricos, muchedumbre eléctrica del espacio, con sus vectores que asaetean y que dominan.

Y no quiero ir más lejos en esta comparación, aunque muy lejos podría ir, si en apurarla me empeñase.

Conste, pues, como resumen, que esta idea de los campos eléctricos y de las ecuaciones que los definen, es fundamental y característica de la Ciencia moderna.

Y valga como ejemplo insigne toda la Memoria leída por nuestro nuevo compañero.

*
* * *

Pasemos al segundo de los puntos que antes señalé, y que era el relativo á la escuela conceptualista. A la escuela de Duhem y de otros físicos ilustres, que ó pertenecen á ella, ó á ella demuestran marcadas simpatías; por ejemplo, Voigt, Hertz, y á ratos el mismo Poincaré, cuando dice á propósito de las hipótesis mecánicas: «Acaso vendrá un día en que los físicos se desinteresarán de estas cuestiones inaccesibles á los métodos positivos y las abandonarán á los metafísicos. Este día no ha llegado; el hombre no se resigna tan fácilmente á ignorar el fondo de las cosas». Así dice el eminente maestro, y se puede preguntar: ¿Pero llegará ese día? Triste día, si llega.

En breves frases, creo que podré daros idea de esta tendencia, señalada repetidamente por el Sr. Cabrera en su trabajo, y que aparece en forma aun más determinada y casi como resumen al final del mismo.

Hablaba, hace un momento, de este concepto modernísimo de los campos eléctrico y magnético, y de las ecuaciones vectoriales ó escalares que los definen, y venía á decir: el espacio, más que neutral, inerte de la antigua Física, se ha convertido en el elemento dominante de Ciencia moderna.

Porque cualquier volumen, por pequeño que sea, del espacio, más aun del vacío, es un elemento activo, es un centro misterioso, es una concentración de energías, es algo eléctrico y magnético á la vez; parece que al mismo tiempo es éter, ó sostén material de fenómenos, y es electricidad,

nuevo flúido que flota en el éter, ó concentración del mismo, y es corriente eléctrica ó torbellino, ó imitación de un pequeño imán.

Conocer un campo eléctrico y magnético, es conocer la composición de los dieléctricos, de los espacios magnéticos; y, sobre todo, la composición del éter, que llena lo que nosotros llamamos el vacío: algo que penetra y se extiende por los demás sistemas.

Problema de dificultad inmensa y en que se agotan las teorías, y se agotan las hipótesis, y agotan su ingenio, y me atrevería á decir sus facultades creadoras, los grandes físicos y los grandes matemáticos de la época presente, sin llegar, á pesar de todos sus esfuerzos, á una teoría armónica y total.

En estudiar estas teorías, en señalar sus concordancias con el método experimental, y sus contradicciones con él, ó entre sí, emplea el Sr. Cabrera una buena parte del trabajo que habéis oído; para señalar el último término, la conclusión á que llega la escuela conceptualista.

Porque, en efecto, muchos físicos, descorazonados y rendidos al ver que no se consigue por medio de una teoría la explicación armónica de todos los fenómenos conocidos, renuncian á la empresa, y formulan su tesis en términos que pudieran ser los siguientes:

Es inútil, dicen, empeñarse en dar forma sensible á los campos eléctricos y magnéticos; es inútil buscar una representación material para estos campos; es inútil, en suma, dar esta satisfacción á nuestros sentidos acumulando hipótesis, que al fin se van deshaciendo al chocar con la realidad.

Confesemos lisa y llanamente, que no sabemos lo que es un campo eléctrico ni un campo magnético; renunciemos á saberlo y contentémonos con decir, que cualquiera de estos campos estará definido en todos sus puntos, si conocemos,

para cada uno de ellos, *dos vectores*, el *vector eléctrico* E , el *vector magnético* H , de los cuales dependerán todas las propiedades del campo que se estudie; ni más ni menos que en Termo-dinámica el estado de un cuerpo queda definido por dos variables, por ejemplo: el volumen y la presión.

En términos vulgares y prescindiendo de vectores, las ambiciones de la nueva escuela se reducen á conocer en cada punto de un campo, cuáles son las fuerzas eléctricas y magnéticas que puede desarrollar, sin averiguar cómo ni por qué: el hecho bruto, no más. ¡Ambiciosa fué la Ciencia! ¡Por excesos de modestia, dijérase que van pecando los modernos positivistas!

Pero continuemos nuestro análisis.

El campo eléctrico y el magnético, como realidad, los desconocemos; pero estos dos *conceptos*, el vector eléctrico y el vector magnético para cada punto, reemplazan á la realidad inaccesible y misteriosa.

La realidad queda substituída sin imagen, ni representación, ni forma, por los dos conceptos matemáticos antes señalados.

A estos dos parámetros y á la experiencia, y á fórmulas deducidas de la experiencia misma, quedaría reducida, llevando las cosas al extremo, toda la Física matemática moderna.

Sobre tal sistema, mucho habría que discutir.

Dice el eminente matemático Mr. Poincaré, en una de las obras citadas por el Sr. Cabrera, que lo que Hertz llama electricidad y magnetismo no son dos flúidos, ni un flúido único; no es dicho flúido una cosa material, sino más bien una expresión puramente analítica, una integral, y así supone aquel ilustre físico, que el campo eléctrico y el campo magnético quedan, como acabamos de explicar, bien determinados, cuando se da para cada punto el valor

del vector que representa la fuerza eléctrica y el que representa la fuerza magnética.

Y, sin embargo, el mismo Hertz indica dos casos en que el conocimiento de ambos vectores no basta para determinar todas las propiedades del campo magnético, á saber: el caso del magnetismo permanente y el caso de la dispersión.

Y yo agrego por mi cuenta, que ambos vectores no definirán dichos campos, cuando en cada punto exista una propiedad específica, una energía propia ó acumulada, algo, en suma, que determine en cierto modo *la individualidad* del punto en cuestión, si es permitido expresarme de este modo.

¿Cómo lo que es propio de un punto, puede depender de lo que es exterior á él?

Que al fin y al cabo no otra cosa que resultantes de fuerzas exteriores representan ambos vectores.

Esta cuestión es algo más ardua de lo que supone la escuela conceptualista; y como es posible, que por los términos técnicos de que he debido valerme, no hayáis comprendido el sentido y la tendencia de la nueva escuela, yo voy á presentar el ejemplo de un problema, más ó menos análogo al anterior, pero tomado del orden social; que de estas analogías, de estos paralelismos de cosas al parecer las más opuestas, la Ciencia universal está densamente cuajada.

Sostienen ciertas escuelas psicológicas, que en el ser humano hay un principio, una fuerza, algo, en suma, independiente del mundo inorgánico exterior.

Sostienen otras escuelas, sin ir tan lejos como las primeras, que en cada individuo de la raza humana existe determinada cantidad de energía acumulada por serie hereditaria, que es lo que constituye en un momento dado su individualidad propia.

Y sostienen ambas escuelas, que en un momento dado los actos todos del individuo humano dependen, sí, de las acciones del mundo exterior; pero también de lo que es propio del individuo, del principio permanente ó de la energía acumulada en él: cada uno de sus actos es una resultante de lo interno y de lo externo.

En cambio, para algunos, el individuo no existe, es un fantasma, una ilusión, el cruzamiento fortuito de fuerzas exteriores.

Dadnos estas fuerzas exteriores y os diremos lo que hace el individuo en cada instante. Como dice la escuela conceptualista: dadme el vector eléctrico y el vector magnético en cada punto, y tendréis definido el campo electro magnético.

En suma, aquí se niega el individuo del mundo inorgánico, como allí se negaba el individuo de la sociedad humana.

Si no temiera exagerar las comparaciones, diría que la teoría conceptualista es un ultrasocialismo inorgánico.

En cierto modo, la enemiga del conceptualismo contra las hipótesis es un reflejo de la enemiga, en todos los órdenes, contra el idealismo.

* * *

Bien sé que las aproximaciones de tal escuela al método experimental, y su alejamiento de toda representación ideal por medio de hipótesis, al hacer el estudio de los campos eléctricos y magnéticos, da firmeza á tal escuela en sus conclusiones.

Pero téngase en cuenta, que á veces la prudencia es es-

téril, y á veces los grandes atrevimientos son grandemente fecundos, y algún ejemplo de esto último podré citar antes de que termine esta árida contestación al discurso del Sr. Cabrera.

* * *

Pero este escrito va resultando más largo de lo que yo imaginaba, y fuerza es llegar al fin antes de que llegue á su fin la paciencia de mis oyentes.

Pasemos, pues, al tercero y último punto de los tres que me proponía tratar, y era éste:

Sobre la hipótesis mecánica.

El Sr. Cabrera, como no podía menos de suceder, habla en su Memoria de esta cuestión fundamental, en que se opone, por decirlo de este modo, al carácter de la Ciencia clásica, el carácter de la Ciencia moderna.

Recordemos para ello sus propias palabras:

«Contrasta la ambigüedad de las teorías mecánicas del éter, con la perfecta precisión de la teoría electromagnética, y si á ello se agrega su mayor eficacia, pues ningún fenómeno de óptica queda fuera de ella, se comprende asalten dudas sobre la legitimidad del punto de partida de las primeras. Porque, ¿cuál es la razón que impulsa á buscar una explicación mecánica para todos los fenómenos físicos? Creo difícil pueda darse otra, que la mayor satisfacción que nuestro espíritu halla dentro de este orden de ideas. Mas entendemos que tal satisfacción sólo proviene del mayor hábito de nuestra inteligencia para este género de conceptos; de la mayor perfección alcanzada en su desarrollo por esta Ciencia, gracias á ser su objeto inmediato más asequible; y, por ello, acaso fuera más lógico tomar la Mecánica por modelo para el desenvolvi-

»miento de las restantes ramas de la Física, según quería
»Rankine, que pretender, con la escuela mecanista, redu-
»cir las todas á capítulos de la Mecánica.»

Algunas explicaciones serán necesarias, no para los señores Académicos que me escuchan, sino para las personas que, sin ser físicos ni matemáticos profesionales, se interesan por esta clase de cuestiones.

Sí; la hipótesis mecánica fué la dominante en los problemas de Física matemática hasta el último tercio, poco más ó menos, del siglo anterior.

El mundo inorgánico, en su inmensa complicación, en sus múltiples apariencias, en la soberana esplendidez de los fenómenos por entonces conocidos, se reducía á un conjunto inmenso de pequeños puntos materiales, unidos entre sí por medio de fuerzas, y todos aquellos fenómenos se explicaban por las leyes de la Dinámica, aplicadas á tal sistema.

Las ecuaciones del movimiento eran la ley del Cosmos en su parte material.

Los elementos de este sistema eran bien reducidos en número.

Masas ponderables dotadas de inercia; fuerzas que ejercían su acción á distancia; y estas acciones sobre los puntos materiales, de la distancia dependían tan sólo en cada instante, y eran independientes de las velocidades de las masas: para la acción actual, el pasado, la historia del mundo inorgánico no influía.

Y la unidad de la Ciencia era admirable; y esta unidad y esta hipótesis fueron fecundísimas en prodigiosas creaciones.

Pero adviértase, que la hipótesis mecánica, así considerada, puede decirse que era la hipótesis mecánica de las masas ponderables y de las acciones á distancia.

Cierto es, como dice el Sr. Cabrera, que la predilección

que han demostrado los sabios por la hipótesis mecánica, «proviene del mayor hábito de nuestra inteligencia para este género de conceptos», es decir, los mecánicos.

Pero reconociendo la exactitud de este argumento, y tomándolo como punto de partida, bien puede completarse mediante algunas otras observaciones, que expondré rápidamente.

Natural es que la inteligencia humana busque en fenómenos conocidos y vulgares, á que estamos acostumbrados, la explicación de otros fenómenos que se presenten con apariencias totalmente distintas; y cuando esto pudiera conseguirse, para la Ciencia sería un triunfo, y para el espíritu un descanso, y una *satisfacción*, como dice acertadamente nuestro compañero. Ahora bien; estamos acostumbrados á la materia ponderable, que es lo que vulgarmente llamamos materia; estamos acostumbrados al fenómeno del movimiento, y la fuerza nos rodea y nos asalta de continuo; y así, cuando conseguimos ó creemos conseguir la reducción de cualquier fenómeno á estos elementos de la Mecánica clásica, materia, fuerza y movimiento, creemos haber logrado una explicación acomodada á nuestra manera de ser física é intelectual.

No será una explicación absoluta, ni con ella habremos penetrado la esencia de las cosas, porque ni sabemos lo que es la materia, ni lo que es el movimiento, ni lo que es la fuerza; pero habremos dado ó habremos creído dar un paso hacia la unidad de la Ciencia, encontrando un fondo común entre muchos fenómenos distintos. Claro es que aquí explicamos lo desconocido por lo desconocido; pero algo es esto, aunque sea poco; y he de valerme de un ejemplo matemático. Demostrar, si logra demostrarse, que muchas incógnitas x, y, z, u, t, \dots dependen de una sola x , aunque ésta continúe siendo lo que es, una incógnita, es, por lo menos, simplificar el problema.

Y por otra parte, la unidad es la aspiración suprema de la inteligencia humana. La variedad, sin lazo entre sus elementos, es el caos; la unidad de esa variedad es la luz, que no niega tal variedad, sino que la resuelve en armonía.

Y aún diré más; otra de las grandes aspiraciones de la inteligencia, aspiración soberbia, grandemente orgullosa, y ya sabemos que á todo orgullo acompaña castigo de humillación; otra ansia, repetimos, de nuestro ser, es explicar el mundo exterior por las leyes de nuestro pensamiento, afirmar *á priori* lo que *á posteriori* nos da la experiencia.

Y como en el mundo exterior, y en la experimentación misma, domina el concepto de *cantidad*, y de la *cantidad* dependen las apariencias de los fenómenos, si no totalmente, en parte al menos; y como la cantidad es concepto también de nuestro entendimiento, y nuestra razón fija ó cree fijar *á priori* las leyes de la cantidad, de todo esto resulta el impulso irresistible de aplicar la Mecánica y las Matemáticas á los fenómenos de la Naturaleza, sujetándolos *á priori* á fórmulas matemáticas, que suponemos que los dominan y los rigen.

Señalar la presencia de un astro, que no se ha visto; afirmar la refracción cónica sin haberla observado jamás; y cien otros triunfos de la Ciencia clásica ensoberbecieron á los sabios, y muchos creyeron que en las ecuaciones de la Dinámica estaba encerrado todo el mundo inorgánico: su pasado, su presente y su porvenir eran funciones de las tres coordenadas de cada punto y del tiempo.

Eran sueños gloriosos, y que, digamos lo que sentimos, al despertar no se han desvanecido por completo, que la Ciencia del siglo XIX no ha sido sueño de una noche de descanso, sino jornada sublime hacia la verdad.

Y una jornada no es todo un viaje, pero es una jornada.

Hay que dar á cada cual lo suyo; pero no exageremos ni en uno ni en otro sentido. ¿Es que la hipótesis mecánica lo explica todo?

No, ciertamente.

Creyó explicarlo; mas entraron en juego los fenómenos eléctricos y magnéticos, y aunque la vieja hipótesis mecánica luchó y lucha desesperadamente para explicarlos, su impotencia es hoy evidente.

La Mecánica clásica, y sobre todo la Dinámica, no puede aplicar sin atrevimiento, que raya en temeridad, sus ecuaciones diferenciales, que se han demostrado partiendo de masas ponderables dotadas de inercia, ni á la electricidad, ni al éter, ni al magnetismo.

La Mecánica exige una gran transformación, ó quizá una nueva Dinámica; que es lo cierto, que no puede estudiarse de igual modo el movimiento de un punto ponderable en el vacío inerte, que el movimiento de un electrón en un campo eléctrico ó magnético.

Y, sin embargo, la *velocidad adquirida* por el pensamiento humano tiene muchos puntos de contacto con la velocidad adquirida por las masas, y por costumbre, por una especialísima inercia, se han aplicado y se siguen aplicando conceptos de la Mecánica clásica á los fenómenos eléctricos y magnéticos.

Citemos de paso, y sin insistir sobre ellos, algunos ejemplos.

En la clásica teoría vibratoria de la luz, las ecuaciones diferenciales de que se partía eran las de la Dinámica clásica, como si el átomo de éter fuera una masa ponderable: enormidad que apenas se comprende, y que, sin embargo, sirvió de base á la magnífica teoría de la luz, que parecía la última perfección de la Ciencia humana.

A esto se dice que las masas eléctricas en movimiento presentan una inercia aparente, que las asemeja á las ma-

sas ponderables, al menos en un primer grado de aproximación; pero todo esto es muy discutible.

Otro ejemplo. Se habla constantemente en la teoría moderna de la electricidad, de la fuerza viva ó cinética, concepto que no tiene sentido, si no se admiten la masa ponderable y la inercia que la acompaña, á menos que no se den nuevas definiciones, que generalmente no se dan, dejándose arrastrar por la rutina á que nos acostumbró la *Mecánica clásica*.

Otro ejemplo aún. Se aplican como buenas las ecuaciones fundamentales de Lagrange, que en la *Mecánica clásica* se demostraron, y en que entra la fuerza viva del sistema; pero que, aplicadas á los fenómenos eléctricos y magnéticos, constituyen nuevos atrevimientos, sin fundamento lógico, y que sólo el éxito ó, mejor dicho, la experiencia, pueden justificar.

Para concluir: algunos autores, con el objeto de determinar en la ampolleta de Crookes la velocidad de los rayos y la relación $\frac{e}{m}$, aplican al rayo catódico las fórmulas ordinarias de la dinámica, y hay quien llega al resultado de que el electrón no tiene núcleo de masa ponderable: es pura electricidad; pues entonces, ¡qué vale la aplicación de aquellas fórmulas!

Se amplía la hipótesis mecánica de la *Mecánica ponderable* á los nuevos fenómenos, y esta ampliación creo yo que podrá ser necesaria y fecunda; pero lo será cuando la *Dinámica clásica* se haya transformado, prescindiendo de la inercia, y haciendo que concurran, como ya se hace, con la fuerza, la energía, que es el concepto dominante de las teorías modernas.

Un matemático ilustre, una verdadera gloria de la ciencia moderna, pesa con toda su autoridad sobre esta cuestión, que venimos discutiendo.

M. Poincaré, en la introducción á su obra titulada *Electricité et optique*, llega á esta conclusión:

«Que si un fenómeno puede recibir una explicación mecánica completa, podrá recibir otras infinitas, que den cuenta con igual facilidad de todas las particularidades del fenómeno reveladas por la experiencia.»

Y esta posibilidad de infinitas soluciones que expliquen un fenómeno, parece que quita fuerza á todas ellas, y que ha de conducir en plazo más ó menos próximo á la anulación total, ante la Ciencia, de la hipótesis mecánica.

Más sin entrar á fondo en la cuestión, que no es para tratada de soslayo, séanme permitidas algunas observaciones.

En primer lugar, ni la hipótesis mecánica clásica, ni ninguna otra que pueda forjar la nueva Ciencia, mediante la creación de nuevos flúidos, pueden tener la pretensión de penetrar en la esencia íntima de las cosas, ni de alcanzar valor absoluto.

Una y otra, y todas, no serán en el fondo más que simbolismos más ó menos adecuados y más ó menos fecundos de los fenómenos naturales; esto ha de reconocerse francamente.

Pero en segundo lugar ha de tenerse en cuenta, que la demostración de M. Poincaré, parte de las conocidas fórmulas de Lagrange, y estas fórmulas, según antes hicimos observar, son las de la vieja Mecánica.

¿Puede admitirse su validez para la nueva Mecánica que exija nuevos flúidos? ¿Puede admitirse para la electricidad y el magnético?

Maxwell lo admite implícitamente; pero no nos parece, dicho con todo el respeto debido al gran físico, que su afirmación sea evidente.

Por último, las múltiples soluciones de un problema, ¿destruyen el problema mismo y lo sumergen en el caos ó lo precipitan en la nada?

¿No puede suceder que todas estas soluciones estén dentro de una ley superior, ó sean términos de una evolución de la inteligencia humana?

Comprendo que todo esto es un tanto vago; pero la ocasión no es oportuna para que penetre en campo tan difícil, por lo menos, como los mismos campos magnéticos.

*
*
*

Y llego de una vez al fin de esta Memoria, aunque tenga que precipitar para ello mi pensamiento.

De la evolución hablaba hace un instante; y en efecto, á una inmensa evolución está sujeta hoy la Ciencia.

Empezó por las masas ponderables, por los fenómenos que se ven y se tocan, y aplicando el análisis matemático y sutilizando cada vez más la experiencia, va descomponiendo lo complejo en lo menos complejo, la cantidad infinita en sus diversos órdenes de diferenciales, pudiéramos decir. Y así descompuso un cuerpo compuesto en cuerpos simples, y el cuerpo simple en moléculas, y las moléculas en átomos, y al llegar á estas fronteras de la nada aparente, la Ciencia antigua se detenía; pero la Ciencia nueva salva la frontera y descompone el átomo en electrones positivos ó negativos, y ni se detiene en el electrón siquiera, porque de él hace Lorentz algo complejo que pretende someter al análisis matemático, dotando á cada uno hasta de su campo magnético, y pretendiendo de este modo, como dice el Sr. Cabrera, si antes se procuraba explicar *mecánicamente* la *electricidad*, explicar ahora, pasando al extremo opuesto, *por la electricidad la materia*.

Porque es caso curioso: en ninguna época se ha alardeado más de positivismo científico; jamás el método ex-

perimental ha afirmado con más energía y con mejores triunfos sus legítimos derechos; jamás, en suma, las hipótesis han estado más desacreditadas.

Y, sin embargo, las nuevas teorías, desde Maxwell á Larmor, dígase lo que se quiera, están cuajadas de hipótesis, como si el idealismo tomara nuevas fuerzas en las mismas ruinas que sobre él se pretenden amontonar.

Estupenda es la labor de estos últimos años en todas estas materias, y se necesitan las condiciones de talento del Sr. Cabrera, su infatigable actividad y la energía de su juventud, para seguir á tantos y tantos maestros en sus profundas y á veces difíciles creaciones.

Pero la juventud tiene grandes energías; y así sea: ahora bien la juventud de nuestra época, si posee grandes energías, tiene grandes deberes, y España reclama de todos sus hijos, en todos los órdenes, labor y sacrificio.

Aunque bien mirado, para los que viven con vida intelectual, no es un sacrificio el trabajo ni el estudio, cuando procuran penetrar en el mundo inmenso y sublime de los fenómenos; antes bien, para los intelectuales, repito, *es un placer el estudio*, que para ellos se realiza una fórmula que hace algunos años di yo nada menos que para las sociedades futuras, en unos juegos florales á que hube de asistir; fórmula con la que, acaso por debilidad senil, estoy encariñado, y que expresaba de este modo:

¡Ojalá que lleguen pronto los tiempos del trabajo alegre y de la alegría trabajadora!
