

¿Son los cuerpos naturalmente penetrables?...

(Continuación.)

Frente a los defensores de la *impenetrabilidad-cantidad*, para quienes—con variados matices—la imposibilidad de la compenetración consiste en algo negativo, radicado en último término en la “materia prima”, la misma para todos los cuerpos, levántase la teoría de la *impenetrabilidad-fuerza*, que coloca dicha perfección accidental en el predicamento aristotélico *cualidad*, y así la constituye algo eficiente y positivo, originariamente fundado en la forma sustancial, fuente de todas las propiedades específicas de los cuerpos naturales. Para los primeros la impenetrabilidad—así, “in actu primo”, es decir, la exigencia de repeler a otro cuerpo del lugar ya ocupado, como “in actu secundo”, o sea la actual impenetración—supone la extensión; no puede darse más que donde se realiza el concepto de continuo formal: son las extensiones, en efecto, las que no pueden naturalmente estar a la vez en una misma parte del espacio. Y esta extensión de las sustancias corpóreas basta para conservarlas siempre expenetradas, toda vez que la impenetrabilidad o se identifica con la extensión local—no distinguiéndose de ella más que en el concepto—, o es un efecto formal ulterior de la cantidad, que sigue naturalmente a la difusión de las partes potenciales del cuerpo. Con todo, es cierto que dichos cosmólogos hablan también, y con frecuencia, de la “vis resistiva”, como si en ella consistiera la esencia de la impenetrabilidad; pero no entienden por tal una resistencia *positiva*, que sea una acción verdadera, sino una resistencia *negativa*, la cual no es otra cosa sino la “non admissio vel retardatio actionis agentis proveniens ex incompatibilitate seu repugnantia alicuius formae cum forma, quam agens conatur introducere” (20). Conforme a lo cual afirma el P. De San:

(20) P. Ioannes Iosephus Urráburu, S. J., *Institutiones Philosophicae*, vol. III, *Cosmologia*, Vallisoleti, 1892, p. 971.

“Scholastici asseverant corpus aliquod áctive resistere alii corpori non ad obsistendum sui cum eo compenetratióni, sed ad impediendum ne ab eo loco quem occupat, expellatur” (21).

La nueva opinión, por el contrario, sostiene y propugna, con no menor ardor y decisión que sus adversarios—ya se entiende que nos ceñimos al campo de la más clásica ortodoxia de la Escuela (22)—, la *necesidad* de la extensión o presencia circunscriptiva para que pueda plantearse el problema de la impenetrabilidad: sólo en un mundo de extensos, que pueden por lo mismo estar en contacto sin ocupar el mismo lugar—lo contrario acontecería en dos líneas o superficies que se tocasen según su espesor o profundidad—, tiene sentido la impenetrabilidad propiamente dicha. En cambio, niega con el mismo énfasis y energía que la extensión sea *suficiente* para impedir la compenetración de los cuerpos: para ello no basta un efecto formal secundario de la cantidad, sino que se requiere una *fuerza*, en el sentido estricto de la palabra, fundada en la misma naturaleza de la sustancia corpórea—lo mismo que la cantidad y los demás accidentes llamados *proprios*—, la cual, mediante el ejercicio de su actividad eficiente, impida que otro cuerpo commensure sus partes con las propias en un mismo lugar. En virtud de la inercia, los

(21) *Cosmologia*, Lovanii, 1881, p. 293.

(22) Fuera del campo escolástico es muy corriente considerar la impenetrabilidad como una fuerza activa, realmente identificada con la sustancia corpórea. Desde luego, para el *dinamismo puro*, llamado por otros *atomismo dinámico*, el cuerpo está constituido por átomos inextensos dotados de una o más fuerzas; para Kant—en su período precrítico—es la fuerza *repulsiva*, directamente opuesta a la atractiva, la que impide el contacto y la consiguiente compenetración de los elementos simples; para Bosovich, en cambio, los átomos puntuales, todos homogéneos, presentan una sola fuerza, la cual rechaza las demás entidades simples al llegar éstas a una distancia mínima, y las atrae cuando se hallan a una distancia mayor; para el P. Palmieri, en fin, los elementos, por él llamados *virtualmente extensos*, ejercitan su acción repulsiva, por la que no permiten que otra entidad entre en la esfera por ellos ocupados con su misteriosa presencia definitiva. También los *atomistas moderados*, que admiten los átomos formalmente extensos o continuos y dotados de fuerzas—en mayor o menor número—, defienden por lo común que la «vis resistendi», o impenetrabilidad *in actu primo*, no se distingue realmente de la sustancia, ni puede en modo alguno separarse de ella. Cómo pretendan explicar los atomistas católicos la permanencia de los accidentes en la Eucaristía, puede verse en el P. Tongiorgi (*Institutiones Philosophicæ*, vol. II. Bruxellis, 1864, p. 311).

cuerpos ofrecen mayor o menor resistencia a abandonar el lugar por ellos ocupado: a causa de la impenetrabilidad, cuando no se mueven de su sitio, impiden que en él penetre el cuerpo impulsor, y cuando lo abandonan, alteran el estado cinético de éste de suerte que nunca estén en un mismo lugar. Oigamos al P. Tongiorgi: "In ordine ad corpus impenetrabilitas definitur *vis qua corpus impedit, ne propriae extensioni aliud quodcumque corpus suam extensionem commisceat*. In ordine ad locum: *vis qua corpus impedit, ne locus quem occupat, ab alio corpore occupetur, se prius non expulso*" (23). El problema de la posibilidad absoluta de la compenetración, lejos de ofrecer en estas condiciones dificultad especial, es capaz de múltiples soluciones: o bien la virtud divina podría superar la resistencia, en todo caso finita, que ofrece la fuerza en cuestión; o bien podría ser quitada del cuerpo la fuerza misma, por ser ella un accidente realmente distinto y separable de la sustancia; o bien—y esta hipótesis es la más sencilla y probable—, permaneciendo la impenetrabilidad natural, podría faltar su efecto, la impenetración, por negar la Causa Primera su concurso a la fuerza, causa eficiente segunda. Semejante teoría va abriéndose cada día más ancho camino así entre los científicos como entre los neoescolásticos, ni era del todo desconocida en los siglos pasados: ya en 1640 el insigne Francisco de Oviedo escribía en su *Cursus Philosophicus*: "P. Rubius ait corpus unum formaliter aliud a loco expellere et penetrationi resistere. Difficilis mihi hic resistendi modus est... Facilius percipio hanc corporum resistantiam in genere causae efficientis..." (24).

(23) O. c. p. 292. Por todo lo dicho no puede menos de maravillarse el aplomo con que un tomista tan distinguido como Alberto Farges asevera: «Qu'est-ce que cette résistance: Est-elle, comme on l'admet plus généralement, une force active que déploie la substance pour se défendre contre toute agression étrangère? Est-elle une pure passivité, une répugnance formelle de la quantité extensive, comme l'ont prétendu Newton et Leibnitz? Peu nous importe. Dans le deux hypothèses cette résistance serait un effet secondaire de la quantité, puisque le concept de la quantité pure ou géométrique ne l'implique en rien». (o. c. p. 177.)

(24) *Integer Cursus Philosophicus, Physic. Controvers. XI, punct. 11, Lugduni, 1640, p. 389*. Tres siglos y medio antes, el ardiente defensor de Santo Tomás, Egidio Romano, había escrito: «Ideo notandum, quod dimensiones dimensionibus resistere non est ita per se, sicut per se de specie praedicatur genus, vel sicut per se superiora in inferioribus reservantur: sed est ita per se, sicut per se est

¿Es, empero, admisible semejante doctrina? ¿Puede siquiera reclamar cierto grado de probabilidad? No lo juzgan todavía así sus adversarios: casi todos los Manuales de Filosofía escolástica van repitiendo contra ella las mismas dificultades. Prescindiendo de aquellas que prejuzgan ya la cuestión, al establecer como principio firme e inconcuso que la impenetrabilidad es una propiedad de la cantidad, un efecto formal de ella, por lo cual no puede en manera alguna ser una especie del predicamento cualidad, los argumentos propuestos pueden reducirse a pocas cabezas. Todas las fuerzas activas que conocemos, dicen, difieren entre sí en los diversos cuerpos en que radican, por lo menos en intensidad—recuérdese la gravedad, la elasticidad, la electricidad...—, y siempre pueden ser compensados o superados sus efectos por otra fuerza igual o mayor, convenientemente dispuesta y aplicada; ahora bien, ¿qué diferencia hay entre la impenetrabilidad de los sólidos, de los líquidos, de los gases?; ¿no se trata siempre de una resistencia *absoluta*, que no admite grados, que no puede ser vencida más que por la virtud de Dios?... También las partes del continuo físico gozan de impenetrabilidad mutua, pues de lo contrario se reunirían y se confundirían en un punto sin extensión: y ¿habrá quien sostenga que esta expenetración es debida a la actividad eficiente que cada parte ejerce sobre todas las demás, impidiendo así que entren en el lugar por ella ocupado?; ¿no equivaldría esto a admitir que las partes en el continuo son “*entia actu*”, es decir, sustancias completas, toda vez que, según el apotegma escolástico, “*actiones sunt suppositorum*”?; ¿no tendríamos entonces realizada la multitud *actu infinita*, y con ello destruido y negado el continuo físico?... Finalmente, arguyen, si la compenetración mutua de las partes de una sustancia corpórea entre sí no fuese impedida más que por acciones resistivas que se ejerciesen *dentro*, en la misma sustancia, entre todas las partes de ella, daríanse en todo cuerpo acciones inmanentes, recibidas en el mismo agente, lo

activi agere, ut puta per se calidi calefacere» (*Theor. de corp. Chr. theor. 7*). El P. Pedro Hoenen, indiscutiblemente el más preclaro e influyente de los promotores actuales de esta teoría, aduce asimismo textos de algunos otros escolásticos antiguos, los cuales— a su juicio—, o se inclinan de algún modo a favorecerla, o llegan a proponerla abiertamente (*Cosmologia*, ed. altera, Romae, 1936, p. 119).

cual es característico y exclusivo de los vivientes... ¿Qué responder a estas objeciones, al parecer especiosas y concluyentes? Empezando por las dos últimas, diremos que la posición más sencilla, y a la vez más lógica, es, a nuestro juicio, la adoptada por el mencionado P. Hoenen, al hacer hincapié en la distinción entre las dos impenetrabilidades, *interna* y *externa*: la primera debe ser considerada como emanante de la cantidad, o si se quiere, como efecto formal de ella; la segunda, en cambio, que es principio de la extraposición de los cuerpos entre sí, es una fuerza que produce su efecto propio, no con causalidad *formal* o *quasi-formal*, sino con actividad eficiente (25). Por lo que hace a la primera objeción, hay que confesar que en las condiciones ordinarias de la observación y de la experiencia la impenetrabilidad ofrece notas muy propias, distintas de las de las demás fuerzas conocidas; pero ¿basta esto para justificar la negación del derecho de ciudadanía en el reino de la ciencia a la teoría de la *impenetrabilidad-fuerza*? ¿Es que todas las fuerzas han de pertenecer a un mismo tipo y presentar caracteres del todo semejantes?; ¿no nos ofrece la Física una variedad sorprendente y cada día más acentuada de tipos y formas en el campo de la energía?... y ¿quién nos dice que no será jamás posible vencer naturalmente la resistencia de los cuerpos a la compenetración local?... Mientras los argumentos metafísicos no sean concluyentes, la prudencia—amaestrada por la historia antigua y reciente—aconseja, mayormente cuando se trata de tesis de filosofía de la naturaleza, permanecer silenciosos y expectantes hasta tanto que la observación y la experiencia permitan dar una solución definitiva (26).

(25) Por esto nos parece menos acertado el camino seguido por el P. Van der Aa, entusiasta defensor de la *impenetrabilidad-fuerza*, al formular su tesis en estos términos: «Impenetrabilitas corporum repetenda est ex naturali, omnibus corporibus communi activitate resistiva, qua corpus corpori, partes partibus obstant, ne eundem simul local occupent» (*Praelectionum Philosophiae Scholasticae brevis conspectus*, vol. II, ed. 2.^a, Lovanii, 1888, p. 41). Hay que reconocer, empero, que logra dicho autor resolver satisfactoriamente los argumentos de los adversarios.

(26) Otras razones aducidas por los sostenedores de la opinión tradicional son todavía de menor valor. Recordemos por vía de ejemplo la señalada por el P. Urráburu (o. c. p. 970): «Quod unum corpus non repellat aliud ab eodem loco in genere causae efficientis, nimirum agendo in illud, ac impulsum aliquem imprimendo, videtur experien-

Ni se contentan los partidarios de la nueva doctrina con defenderse de los ataques; antes tienen también suficientes arrestos para asegurar su propio campo y aun tomar la ofensiva contra las posiciones del enemigo. Para ello invocan, en primer término, las nociones y principios de la Mecánica clásica, ignorados o muy imperfectamente conocidos hasta entrada ya la Edad Moderna. Según ellos, toda alteración en el estado cinético de un cuerpo, todo cambio de velocidad o de dirección en su movimiento, supone el influjo y acción de una fuerza extrínseca al mismo cuerpo; asimismo, siempre que un cuerpo se halla bajo la acción e influjo de una fuerza—como es el caso de una piedra atraída por la tierra—se mueve con movimiento acelerado, a no ser que sea mantenida en reposo y equilibrio por la intervención de otra fuerza igual en intensidad y opuesta en dirección. Esto supuesto, consultemos la observación y la experiencia diarias. Cuando un cuerpo ponderable en movimiento choca con otro experimenta un cambio en su estado cinético, sea que quede en reposo después del choque, sea que disminuya su velocidad o que retroceda en dirección contraria: ni por un instante—por lo menos hasta donde alcanza la observación—ocupan los dos cuerpos total o parcialmente un mismo lugar, y esto aun en el caso en que la elasticidad sea nula o muy pequeña. La impenetrabilidad, que en este caso es la causa que impide el movimiento por el que el móvil tiende al lugar ocupado por el segundo cuerpo, no permite tampoco la caída al suelo de un cuerpo colocado encima de la mesa y sujeto a la gravedad: ésta hace que el cuerpo ejerza presión sobre la mesa y deforme—más o menos sensiblemente—su superficie, pero la mesa reacciona por su impenetrabilidad, y se establece el equilibrio y el reposo del conjunto. En entranbos casos—y en otros semejantes que pudieran señalarse—la impenetrabilidad, dicen estos autores, se manifiesta como una *fuerza activa*, verdadera causa eficiente... (27). Sin embargo, examinada la cosa con sinceridad, ¿es esto tan claro y evidente

tia ipsa quodammodo probari. Si quis enim manum aut aliam partem corporis admoveat parieti vel lapidi vel ligno, etc., usque ad contactum, nullum profecto impulsus ex eo proveniente[m] experitur».

(27) Pueden verse desarrollados estos argumentos por el Padre Hoened en su *Cosmologia* (p. 113), o en su notable obra escrita en holandés, *Philosophie der anorganische Natur*, Nijmegen-Utrecht, 1940, p. 122.

como ellos proclaman? ¿No podrían explicarse los hechos mediante la asociación íntima de la impenetrabilidad y de la elasticidad, la primera como causa "quasi formalis" de la no compenetración de los cuerpos, la segunda como principio activo del cambio de velocidad? (28). Y en el caso extremo—si es que se da—de que la elasticidad fuese nula, ¿por qué no podría ser impedida la compenetración por una incompatibilidad *quasi-formal* de las cantidades de los dos cuerpos?... Nadie dirá, en efecto, que los físicos del Renacimiento, al establecer aquellos principios, pretendiesen aseverar algo acerca de la íntima naturaleza de la pretendida fuerza: también los escolásticos antiguos y modernos hablan de "vis resistiva" en nuestro caso, sin que por esto la coloquen en el género *cuantidad*.

En segundo término, afirman que la inquisición puramente metafísica basta para probar la falsedad del aserto fundamental de los antiguos escolásticos, que la impenetrabilidad es un efecto formal secundario de la cantidad. Sólo que, a decir verdad, nos parece que los argumentos aducidos distan mucho de poseer la evidencia pretendida. Aunque en proporciones mucho más restringidas, también aquí se cumple el dicho de Goudin acerca de la divisibilidad "in infinitum" del continuo: "Mysterium philosophicum est haec difficultas in qua ratio plus probat quam possit intelligere, plus obicit quam possit solvere" (29). Es obvio que por causa de la impenetrabilidad de un cuerpo se obtiene un efecto en otro cuerpo, cuyo estado cinético es alterado, cuyo movimiento es impedido o es retardado. Pero ¿es tan evidente que semejantes resultados no puedan ser debidos a la cantidad, forma inherente al primer cuerpo, sino que necesariamente deben ser atribuidos a una fuerza activa, verdadera causa eficiente? ¿No puede bastar que el primer cuerpo en virtud de su propia cantidad o extensión ocupe un volumen correspondiente en el espacio, para que sin más todos los demás cuerpos

(28) Hablamos, claro está, en el supuesto—por lo menos implícitamente admitido por los partidarios de la *impenetrabilidad-fuerza*—de la compatibilidad en un mismo sujeto de la continuidad formal y de la elasticidad. Precisamente en la dificultad de conciliar estas dos propiedades físicas creía poder hallar el genial P. Rogerio Bosovich, S. J., un argumento poderosísimo en favor de su dinamismo en su obra *Theoria Philosophiae Naturalis redacta ad unicam legem virium in natura existentium*.

(29) *Philosophia Thomistica*, t. II. Matriti, 1769, p. 278.

queden de él excluidos, y así se vean impedidos en su avance, caso de pretender entrar en él? Nos parece que con el mismo derecho sostienen los unos que la impenetración es el efecto de una determinada causa eficiente llamada impenetrabilidad, que afirman los otros ser la expenetración de las entidades de los dos cuerpos un simple efecto formal secundario de la cantidad. Si a éstos se les puede preguntar por qué razón lo que es principio de la extensión del cuerpo y de su impenetrabilidad interna debe también ser causa de que dos sustancias corpóreas no puedan ocupar simultáneamente un mismo lugar, a los primeros puede pedírseles la prueba de su tesis fundamental, que siempre dejan indemostrada; a saber, que el efecto físico en un sujeto no puede en modo alguno ser atribuido como efecto formal a una forma residente en el cuerpo activo.

De mucha mayor trascendencia, por tocar el nervio y base de la argumentación en favor de la *impenetrabilidad-cantidad*, es la objeción fundada en la imposibilidad absoluta de que existan varios efectos formales realmente distintos entre sí. "Admittimus igitur—escribe el P. Hoenen, único autor en quien hemos hallado indicado este punto—plures effectus formales unius formae; sed bene attendendum est: illi effectus sunt ratione tantum distincti, nullo modo realiter." Para él, la extensión local, la impenetrabilidad interna, la divisibilidad, la mensurabilidad..., son efectos formales de una misma forma, la cantidad; pero sólo en el concepto difieren dichas propiedades entre sí: no puede ser un cuerpo localmente extenso sin que sus partes estén entre sí necesariamente expenetradas, ni impenetrable sin ser divisible o mensurable. "Nobis videtur repugnare—prosigue—*verus effectus formalis secundarius* realiter distinctus a primario. Nam realiter ex primo (vel saltem natura post primum) resultaret, et per illam resultantiam realiter mutaretur subiectum iam perfectum per effectum primarium. Realis autem mutatio requirit realem *novam formam*...: unde si quis daretur effectus formalis non ratione tantum distinctus a primo, ibi vere adesset nova forma cum suo effectu formali. non effectus novus formae quae iam aderat" (30). No negamos la sutileza y profundidad de este argumento; sin embargo, no

(30) *Cosmologia*, n. 51, p. 63.

podemos decidirnos a concederle absoluta evidencia. ¿Hay que admitir necesariamente que al cesar, por ejemplo, el milagro de la compenetración y restablecerse la impenetrabilidad externa los cuerpos han sufrido un cambio tal que exija la producción de una nueva forma, cuyo efecto esencial sea la imposibilidad de la presencia circunscriptiva en un mismo lugar? ¿No bastaría que Dios, conforme a la exigencia de la forma—aquí la cantidad—unida al sujeto, diese de nuevo su concurso a la expenetración de las partes de los cuerpos, y así resultase la impenetrabilidad de los mismos, efecto formal secundario de su cantidad? Tal es la doctrina del P. Losada (31). En conformidad con ella, escribe el P. Urráburu: "Itaque arbitrámur impenetrabilitatem duorum corporum concipiendam esse instar formalis cuiusdam repugnantiae et impossibilitatis, ratione cuius exigant non conservari a Deo simul in eodem loco" (32).

* * *

Expuestas a grandes rasgos las teorías principales de la Escolástica acerca de la naturaleza de la impenetrabilidad corpórea, tiempo es ya de acometer la segunda parte de nuestro estudio: la base experimental de esta tesis cosmológica ¿ha podido resistir sin resquebrajarse los embates del progreso científico moderno?; o en caso negativo, ¿cuáles son los fenómenos observados que demuestran ser posible, y aun real, la compenetración de dos sustancias materiales?... Es innegable que mientras se trata de masas o moles materiales sensibles, sujetas a las más variadas y extremas condiciones de velocidad, presión.

(31) «Et in universum—son sus palabras—quicumque effectus, sive negativus, sive positus, quasi per necessariam resultantiam sequitur informationem formae, nec ab ea intrinsece constituitur, dicitur *effectus formalis secundarius*.» Sed notandum, quod forma relate ad effectus secundarios non est proprie causa formalis, cum eos non causat intrinsece constituendo, et, specificando quidditatem ipsorum, sed potius illos inducat in genere causae efficientis moralis; calor enim causat expulsionem frigoris, exigentia sua movendo naturae Auctorem, ut frigus conservare desinat. Dicitur tamen causare in genere causae formalis, quia expulsionem illam non exigit, nisi quando subjectum informat, et effectum suum primum causat. Hinc formalis causalitas última et executiva effectus secundarii, non est unio formae ad subjectum, sed est positio vel cessatio Divini concursus in aliam entitatem, prout a Deo volita ad exigentiam formae unitae subjecto.» (*Cursus Philosophici, secunda pars, t. V, tract. 2, disp. 2, c. 2, n. 16.*)

(32) o. c., p. 977.

temperatura, etc., creables en los laboratorios, jamás se ha observado hasta el presente—y nadie espera poder observar en lo por venir—el más leve indicio de verdadera compenetración local; en este punto el hecho científico y el dato vulgar andan de la mano en perpetua e inalterable armonía. Lo que sí ha cambiado—y muy radicalmente por cierto—es el significado del experimento y su interpretación. Hasta los últimos decenios del pasado siglo, el filósofo escolástico o neoescolástico veía siempre en una masa sensible de materia inorgánica—un pedazo de mármol, de hierro, de madera...—una individualidad sustancial, un continuo físico, un “unum per se”. La imposible compenetración de dos moles semejantes nacía de la impenetrabilidad, propiedad necesaria de cada uno de aquellos dos cuerpos; es decir, sustancias que extendían su entidad por el espacio y aparecían dotadas de varias cualidades sensibles. Hoy, por el contrario, triunfante en toda la línea—al menos por ahora y gracias sobre todo a los trabajos teóricos y experimentales de Einstein, Perrin y Smoluchowski (33)—la doctrina del atomismo físico o científico, y batidos en forzosa o voluntaria retirada los últimos defensores del energetismo exagerado—recordemos la famosa retractación, o conversión, de W. Oswald, en 1908 (34)—, se admite universalmente, o casi universalmente (35), que los cuerpos ordinarios, sea cual sea su estado, son

(33) Decimos «al menos por ahora», pues no creemos que puedan tener éxito alguno los esfuerzos de Paul Langevin, encaminados a suprimir la crisis promovida por el principio de indeterminación de Heisenberg, mediante la negación de la individualidad de los corpúsculos elementales (véase el artículo de André George «Conséquences générales de la Physique contemporaine» en *Revue de Questions Scientifiques*, CIV, p. 181). Muy en su punto, por el contrario, nos parece el juicio del P. Gianfranceschi, acerca del valor de la teoría atómica: «Questi fatti—dice refiriéndose a los experimentos de Perrin y de los Bragg—che da molti sono ritenuti come pienamente dimostrativi della costituzione molecolare dei corpi, sono senza dubbio di una grande importanza, e danno per lo meno un grande valore di probabilità alla teoria, di modo che non sarebbe ragionevole negarla» (*La Fisica dei Corpuscoli*, terza edizione, Università Gregoriana, página 29).

(34) Puede verse el texto primero—verdadero documento histórico—en *Zeitschrift fuer physikalische Chemie*, LXIV, 1908, p. 509.

(35) Muy pocos son, en efecto, los escolásticos que—como el Padre Gredt—crean todavía hoy ver realizada la noción de continuo formal y de individuo sustancial en la mole corpórea—cristalina o amorfa—de alguna magnitud, constituida por un gran número de moléculas. En cambio, son bastantes los cosmólogos modernos—Hugon, Hoenen, Boyer, Cotte...—que, apoyados en los datos y testimo-

meras *unidades accidentales*, integradas por un número enormemente elevado de unidades sustanciales, últimos sillares constitutivos del Cosmos. La imposibilidad de la compenetración será, en consecuencia, el resultado global de las impenetrabilidades—en número elevadísimo—de aquella multiplicidad de sustancias elementales. Así, al querer proceder científica y filosóficamente, el problema de la existencia y esencia de la impenetrabilidad local queda desplazado del Macrocosmos al Microcosmos, del campo sensible al mundo molecular, atómico o subatómico, según sea la realidad que verifique el concepto de “*unum per se*”. En cambio, y a manera de compensación, la explicación del fenómeno vulgar de la impenetrabilidad de las moles corpóreas no parece ofrecer dificultad especial para el físico moderno: reconocidos los campos de energía, eléctricos y magnéticos, que tan intensos se han revelado en el seno de los átomos y moléculas, no es ya necesario recurrir a los efectos formales de la cantidad—entidades siempre oscuras y enigmáticas—ni a una fuerza física especial, de índole característica y diversa de las demás. Son las enérgicas repulsiones entre las electricidades negativas, totalmente dominantes en la periferia de los átomos o moléculas en estado neutro, las que determinarían la imposibilidad natural de la compenetración de los cuerpos. Con su habitual “*humour*” y elegante estilo lo ha expuesto el profesor A. S. Eddington, bajo la forma literaria de una antítesis entre las propiedades de la mesa *vulgar* y las de la mesa *científica*, en la Introducción a su tan celebrado libro *The Nature of the Physical World*.

Pasemos ya a la rápida enumeración de las experiencias e hipótesis científicas que hacen a nuestro propósito. Con el fin de determinar la verdadera naturaleza de los rayos catódicos, descubiertos en 1869 por Hittorf y estudiados luego diligentemente por Crookes y Golstein—según unos, partículas o corpúsculos materiales; para otros, ondulación electromagnética, como la luz—, determinóse el físico alemán Phillip Lenard, en

nios de la ciencia, afirman ser el cristal un «*unum per se*», una sustancia individual y continua—aunque con «*estructura y heterogeneidad accidental*—, una verdadera «*single gigantic crystal-molecules*», en frase de F. M. Jaeger.

1894, a examinar los caracteres de la misteriosa radiación fuera del tubo o ampolla en que había sido producida. Para ello, aprovechando el descubrimiento hecho dos años antes por Hertz, de la capacidad que tienen dichos rayos de atravesar láminas metálicas muy delgadas, los hizo salir por una pequeña abertura practicada en la pared opuesta al cátodo y cerrada por una lámina de aluminio de 0,0026 mm. de espesor, suficiente para sostener la diferencia entre la presión atmosférica y la del interior del tubo, del orden de la milésima de milímetro. Entre las experiencias hechas por el citado físico con los rayos catódicos fuera ya de la ampolla—y en honor suyo designados con el nombre de *rayos Lenard*—, llaman especialmente la atención las llevadas a cabo en 1902 al analizar el poder penetrante de los mismos. Al lanzar un haz bien definido de dichos rayos sumamente veloces, en un vacío muy acentuado, sobre una hoja delgadísima de aluminio, pudo observar cómo las condiciones y la estructura de la lámina no eran homogéneas en toda su extensión. En tanto que algunos rayos la atravesaban sin sufrir desviación alguna apreciable, como si hubieran recorrido un espacio desprovisto de materia, otros eran desviados algunos grados de su trayectoria rectilínea, y así el haz, que al incidir en la superficie metálica se presentaba muy definido y bien limitado, al aparecer de nuevo resultaba ensanchado y de bordes difuminados; verdadero fenómeno de difusión. Más notable todavía era el hecho de que algunos rayos, muy pocos y aislados, resultaban con fuerte desviación lateral, y aun no faltaba algún caso de retroceso, como si se hubiera reflejado en la superficie de la lámina. Para Lenard fué indudable que los rayos, notablemente desviados de su dirección primitiva, habían penetrado en el interior de las moléculas y de los átomos del metal. Toda vez que éstos no estaban ionizados, los electrones que pasaban por el espacio intermolecular seguían imperturbados su camino; algunos, por haber pasado muy cerca de un electrón, o haber penetrado en la envoltura electrónica, sufrían la acción de ésta, eran desviados y retardados; otros, en fin, poquísimos, atravesando casi toda la envoltura, se acercan casi tanto al núcleo, que son rechazados con grande energía—no por el núcleo positivo ciertamente, sino por la carga negativa de los electrones—hacia la región de llegada, a la manera que un

cometa la trayectoria hiperbólica, acelerado al principio en su movimiento y luego retardado, es desviado por la masa del Sol (36). Estas experiencias condujeron a su autor a la idea de que un átomo consta de un centro muy pequeño e impenetrable—por él llamado *Dynamide*—, envuelto en una enrarecida nube de electrones: con esta hipótesis es Lenard el verdadero fundador de la moderna concepción del átomo.

Otros fenómenos más conocidos, provocados igualmente por electrones dotados de suficiente energía cinética, conducen al mismo resultado. Y sea el primero *la ionización*. Importando, en efecto, esta acción—en su sentido general y ordinario—el alejamiento definitivo o pérdida de uno o más electrones de la envoltura del átomo, y siendo éste eléctricamente neutro hacia fuera, no se ve cómo el veloz electrón incidente podría provocar un tal efecto si no penetrase en lo interior del edificio atómico; sólo bajo la acción de la repulsión coulombiana entre las dos cargas del mismo signo, enormemente elevadas si se atiende a las dimensiones de dichos corpúsculos, y, por tanto, estando las dos dentro del átomo, puede explicarse satisfactoriamente la carga positiva que adquiere el átomo después del choque (37). No menor interés reviste a nuestro objeto la emisión lumínica, proceso de carácter estricta y eminentemente atómicomolecular, que funda uno de los más valiosos y exactos métodos de reconocimiento y diferenciación de los elementos y compuestos químicos. Sabido es que así en el modelo atómico tan conspicuo de Bohr-Sommerfeld como en las concepciones más difíciles y abstractas de la Mecánica moderna, la emisión de un *quantum* de luz debe ser atribuido al paso de un electrón de la corona atómica desde un nivel energético más elevado a otro inferior. Así, en la teoría de Bohr—recorde-

(36) Modernamente es posible observar y aun fotografiar en la cámara de Wilson el paso de los rayos catódicos al través de un espesor notable de gas, con la correspondiente ionización y desviación de los corpúsculos, hecha visible por las gotitas que señalan la trayectoria de cada electrón en una atmósfera sobresaturada.

(37) Tal creemos ser la interpretación que hay que dar a las palabras del P. Teodoro Wulf: «Llegamos casi espontáneamente a la convicción de que los rayos corpusculares que con suficiente velocidad llegan a los edificios atómicos, mediante sus acciones mecánicas producen la separación de los electrones de la estructura del átomo» (*Lehrbuch der Physik*, 2.^a ed., 1929. Herder, Friburgo, p. 346).

mos los clásicos experimentos de Franck y Hertz—, el rápido electrón incidente penetra en lo interior del átomo, y al chocar con un electrón del piso más elevado, en la forma antes dicha, le comunica la suficiente energía para subirlo a una órbita más exterior, de la que al instante o al cabo de un tiempo brevísimo—estimado entre la cienmillonésima y la milmillonésima de segundo—cae a su órbita de partida, con lo cual emite un *quantum* de luz, de energía igual a la diferencia de la correspondiente a los dos estados inicial y final. Puede el corpúsculo, si está dotado de suficiente velocidad, penetrar todavía más adentro en la estructura atómica, y, o bien lanzar definitivamente un electrón de un piso cualquiera—con lo que a la vez que ioniza el átomo da lugar a la emisión de uno o más granos de luz, según sea la forma con que se restablezca el equilibrio intraatómico—, o simplemente elevarlo a una órbita superior, para que al punto el mismo u otro electrón baje a llenar el vacío provocado y se restaure, finalmente, el orden primitivo con emisión de energía lumínica. La máxima importancia en este respecto corresponde, empero, a la producción de los rayos Roentgen. Los velocísimos rayos catódicos producidos en un tubo de muy acentuado enrarecimiento y con una diferencia de potencial entre los electrodos de hasta muchos millares de voltios—en 1933 se construyó en Norteamérica un tubo para el tratamiento del cáncer de 8.000.000 de voltios—, al chocar con el anticátodo metálico dan origen a una radiación singular, que por sus misteriosas propiedades y enigmática naturaleza fué designada con el nombre de rayos X. Esta, que resultó ser de carácter ondulatorio y electromagnético, esencialmente idéntica a la luz, de la cual difiere solamente por su menor longitud de onda—comprendida entre 600 millonésimas y 50.000 millonésimas de centímetro—, presenta un espectro de rayas característico e igual para todos los elementos, si bien cada vez más desplazado hacia las menores longitudes de onda a medida que crece el número atómico del anticátodo conforme a la ley de Moseley. Es que el electrón incidente ha conseguido, merced a su enorme energía, penetrar hasta las capas inferiores de la atmósfera atómica, las más cercanas al núcleo del elemento pesado, y ha arrancado de ellas un electrón, el cual es sustituido al punto por otro de una capa superior—generalmente de la más inme-

diata—con emisión de uno o más fotones de notable energía, o sea de muy grande número de vibraciones (38).

Otro tercer grupo de fenómenos está enlazado con las recientes confirmaciones experimentales de la Mecánica ondulatoria. Al dar a conocer las líneas fundamentales de ésta, su autor, el príncipe Luis de Broglie, en 1924, enunció la idea de que no sólo las ondas muestran propiedades corpusculares y cuánticas, sino que también las partículas materiales—electrones, protones...—son de naturaleza doble o mixta, por estar inseparablemente unidas a un tren o paquete de ondas, cuyo número de vibraciones depende únicamente de la masa y velocidad del corpúsculo. Tres años más tarde, en 1927, Davisson y Germer, en el Laboratorio Bell de Nueva York, operaron con un cristal de níquel, sobre el cual incidían, no ondas, sino electrones—es decir, partículas materiales—de la misma velocidad, y obtuvieron por reflexión exactamente los mismos fenómenos de interferencia que con las ondas, como si hubiesen utilizado un haz de rayos X de la longitud de onda anunciada por la relación de Broglie—así, a electrones de 50 mil voltios les corresponde una onda de 0,0053 millonésimas de milímetro—. La genial concepción del insigne físico francés había alcanzado su primer espléndido y ruidoso triunfo. Muy poco después G. P. Thomson repitió en Aberdeen (Inglaterra) las ex-

(38) Fácilmente se ve que es de la mayor importancia definir el concepto de diámetro del átomo o de la molécula, de suerte que no se prejuzgue la cuestión de que tratamos. Si decimos que el volumen atómico o molecular es la porción de espacio dentro de la cual no puede penetrar otro cuerpo, implícitamente afirmamos ser la impenetrabilidad una propiedad natural de la materia, y además dependerá dicha magnitud del método empleado para determinar su valor: electrones muy veloces podrán acercarse mucho más al centro del átomo, y darán para el radio de éste un valor mucho menor, al propio tiempo que los electrones de las órbitas superiores habrán dejado de pertenecer al átomo neutro. Parece conveniente, pues, admitir como diámetro del átomo neutro—lo propio diríase de la molécula—el correspondiente a la órbita electrónica más alejada aumentado con el espesor de la zona de protección, la cual corresponde a la distancia hasta la que todavía se deja sentir la acción de la carga atómica. Ciertamente es difícil señalarlo con precisión, pues, como nota Castelfranchi, «los diferentes experimentos que pueden realizarse para determinar aquella dimensión imaginada como diámetro conducen a resultados distintos...; pero, por otra parte, es cierto que los diversos tipos de investigaciones suministran números del mismo orden de magnitud para las dimensiones de los átomos y de las moléculas, o sea siempre 10^{-8} cm. (*Física Moderna*, versión española, Gili. Barcelona, 1932, p. 100.)

periencias, haciendo pasar los electrones de un haz homogéneo de rayos catódicos, puestos en movimiento por una diferencia de potencial de 12.000 a 60.000 voltios, al través de láminas metálicas—de oro, aluminio...—, cuyo espesor era de una cienmilésima de milímetro aproximadamente. Estando constituida la lámina por cristales microscópicos no orientados, dispuestos, por consiguiente, al azar, obtuviéronse en la placa fotográfica figuras de difracción del todo parecidas a las que se observan en el aparato de Debye-Scherer al atravesar los rayos X el polvo cristalino. Posteriormente se han multiplicado las experiencias, utilizando electrones monocinéticos más o menos lentos y láminas metálicas de cristales orientados o dispuestos al acaso: Rupper en Alemania, Kikuchi en el Japón, Dauvillier, Ponte y Trillat en Francia, y otros muchos, han ido publicando los resultados de sus investigaciones, las cuales no dejan duda alguna acerca de las propiedades ondulatorias de los electrones, cuantitativa y cualitativamente conformes con las previsiones de la Mecánica ondulatoria. También aquí, por lo que a nosotros toca, se nos ofrece la penetración de los electrones en el interior de los cristales (39).

Empero, toda vez que sólo tratándose de cuerpos cabe hablar de verdadera impenetrabilidad local, preguntará tal vez el lector: ¿es, en verdad, cosa cierta y averiguada el carácter corpuscular del electrón?... ¿Tenemos en él una entidad sustancial sin interrupción difundida en un volumen dado del espacio?... ¿Presenta invariable la propiedad de la inercia y, consiguientemente, el valor de su masa?... Es indudable que los datos suministrados por la experiencia favorecen a primera vista la idea del *electrón-corpúsculo*: se ha determinado en las más variadas condiciones su carga eléctrica, su masa, su velocidad, su desviación por los campos eléctricos y magnéticos, su poder de penetración y de ionización, etc., etc. No es, pues, de maravillar que los físicos de laboratorio hayan siempre suscrito la afirmación de Lorentz: "Los experimentadores en especial nos han dado pruebas tan sólidas de que los electrones son corpúsculos pequeñísimos, que me veo forzado a considerarlos como tales." Serían, pues, verdaderas par-

(39) Recientemente, el profesor A. J. Dempster, de Chicago, ha logrado obtener diagramas de difracción de protones que habían pasado al través de cristales de calcita.

tículas que nadan en el seno del éter cósmico: para Abraham son indeformables; para Lorentz se achatarian en el sentido de su movimiento. Más todavía, pues que su masa resultó ser toda de origen electromagnético, “no es el electrón, a lo que parece, otra cosa que éter, pero un elemento singular del éter, un modo del éter, como decía Lodge, o tal vez un remolino del éter” (Gianfranceschi). Esta misma ausencia de masa pesada condujo a no pocos físicos a concebir el electrón como una simple carga eléctrica, como un accidente del éter, un hueco en el seno del mismo, que puede cambiar de sitio con gigantesca velocidad: “Les électrons ne sont plus rien pour eux-mêmes: ils sont seulement des trous dans l'éther, et autour desquels s'agite l'éther”, dijo en frase ya clásica H. Poincaré. Arrinconado más tarde el éter electromagnético de Maxwell, “los relativistas creyeron deber considerar el electrón como un punto singular en el *substratum* universal, único y homogéneo, que constituye el éter [es decir, en el espacio-tiempo de cuatro dimensiones]; los electrones no serían cuerpos extraños en el éter, sino tan sólo regiones en las cuales los parámetros que caracterizan el estado del mismo han tomado valores excepcionalmente grandes” (Boutaric). Y a aumentar todavía más la confusión han venido las Mecánicas ondulatoria y cuántica. En efecto, mientras L. de Broglie—en los comienzos de su “Mecánica”—propugnaba la doble naturaleza del electrón, verdadero corpúsculo, acompañado y dirigido en sus movimientos por la “onda-piloto” que le corresponde; para Schroedinger—el cual da una preeminencia del todo exclusiva al elemento *onda*—, el electrón se presenta como un *paquete de energía*, como una singularidad estructural del campo eléctrico, producida por un fenómeno interferencial característico” (Reichenbach); al paso que en la concepción de los principales propulsores de la Mecánica cuántica—Max Born, W. Heisenberg, N. Bohr, a los que se ha adherido también posteriormente el citado príncipe de Broglie—, los corpúsculos (electrones, protones...) serían el elemento físico de la materia, y las ondas, conceptuales, no serían más que... probabilidades (!) (40). Muy ponderadamente, pues, en presencia

(40) «Así—escribe Sir James Jeans—, en último resultado, las ondas que describimos como ondas de luz, y las demás que interpretamos como ondas de un electrón y de un protón, están también

de semejante torbellino de hipótesis y de modelos, a cual más enigmático y oscuro, ha podido escribir el ilustre químico-físico Berthoud: "L'électron est actuellement l'élément ultime auquel s'arrêtent nos connaissances et il ne paraît guère probable qu'on parvienne dans un avenir prochain à en dévoiler la nature. Nous nous trouvons, vis-à-vis de l'électron, à peu près dans la même situation que les chimistes d'il y a un siècle devant l'atome".

* * *

De mayor interés todavía, y sobre todo más decisivas a nuestro propósito, son otras experiencias, que han ido jalonando el curso progresivo de la Física atómica en los dos últimos decenios (41). Es la primera la desintegración de los elementos por la acción de los heliones o partículas *alfa*. Hasta 1919 habían resultado del todo inútiles los esfuerzos y trabajos de los físicos y químicos encaminados a transmutar unos cuerpos simples en otros: el sueño de los antiguos alquimistas parecía no deber realizarse jamás. En dicho año, E. Rutherford, empleando como proyectiles los rayos *alfa* emitidos por un intenso manantial de Ra C', los cuales por su enorme velocidad de 19.000 km. por segundo poseen una energía capaz de superar la muy elevada barrera de potencial que protege el núcleo del átomo de nitrógeno, logró llegar hasta el mismo y provocar su explosión, con lanzamiento de un protón dotado de gran poder penetrante—correspondiente a 40 cm. de aire en condiciones normales—. Estas investigaciones fueron al punto proseguidas con ardor en los Laboratorios de Cambridge—en especial por el mismo Rutherford

constituídas por *conocimientos* — conocimientos acerca de fotones, electrones y protones, respectivamente» (*I nuovi orizzonti della Scienza*, Sansoni, Firenze, 1934, p. 220).

(41) Preseindimos, para no hacernos interminables, de ciertos fenómenos y experiencias más conocidos, como son los referentes a la *ionización*. Sabido es que a muy elevadas temperaturas los gases emiten energía luminica, gracias a los violentísimos choques de sus elementos constitutivos, dotados de muy grandes velocidades; que el choque de los iones y electrones, artificialmente acelerados por un intenso campo electrostático, con los átomos y moléculas neutras, provoca la ionización de éstos hasta dar lugar en condiciones determinadas a la descarga disruptiva o chispa eléctrica. Que semejantes hechos manifiesten una penetración mutua de los dos corpúsculos, parece resultar de las declaraciones hechas en el cuerpo del artículo.

y por J. Chadwick—y de Viena—por G. Kirsch y H. O. Pettersson—y dieron por resultado la desintegración artificial de todos los elementos, desde el boro al potasio, excepción hecha del oxígeno y del carbono, para los cuales los resultados fueron dudosos. Mientras estos físicos habían aplicado como medio de reconocimiento de los rayos H emitidos la pantalla fluorescente recubierta de sulfuro de cinc, P. Blackett y Harkins, algunos años más tarde, lograron fotografiar estereoscópicamente en la cámara de

Wilson los efectos de la colisión de los heliones con los átomos de N: por un millón aproximadamente de corpúsculos *alfa*; observáronse mil choques ordinarios o elásticos y una docena de horquillas de tres ramas, una perteneciente al helión incidente, otra—delgada y muy larga—al protón lanzado, y la tercera al núcleo restante, que corresponde, según todos los indicios, a un isótopo del O, de masa 17 y carga eléctrica 8.

No se crea, empero, que la emisión de protones del núcleo atómico es el único proceso observado al bombardearlo con partículas *alfa*. En 1930 los físicos alemanes W. Bothe y A. Becker pudieron observar, por medio de los contadores Geiger, que de los átomos del berilio—llamado también glucinio—, atacados por los rayos *alfa* emitidos por el polonio—los cuales alcanzan una velocidad de 16.000 km. y una energía de 5,5 millones de electrón-voltios—salía una *radiación electromagnética*, poco intensa, es verdad, pero mucho más penetrante que los rayos *gamma* emitidos por ninguna de las sustancias radioactivas: el mismo fenómeno fué luego descubierto en otros elementos. Al año siguiente, 1931, los esposos I. Curie y F. Joliot quisieron investigar los efectos de dicha radiación penetrante en la materia: los hechos observados no podían ser explicados manteniéndose dentro del marco de una mera emisión de fotones de muy elevado “quantum” energético: en cambio, Chadwick mostró que todas las dificultades quedaban eliminadas suponiendo que la radiación examinada estaba constituida por *neutrones*—de masa aproximadamente unitaria—emitidos por algunos elementos (berilio, litio, boro, flúor) al ser bombardeados por los heliones del polonio. Los mismos experimentadores, lanzando dichos proyectiles sobre átomos ligeros, descubrieron en diciembre de 1933 la emisión de *positones* o electrones positivos que acompañaba a los

neutrones; con la particularidad de que el fenómeno proseguía después de haber sido alejado el manantial de rayos *alfa*, y de que se cumplía además la ley exponencial que rige la desintegración natural de los cuerpos radioactivos—el radionitrógeno, procedente del boro, tiene un período medio de 14 minutos, y el silicio radioactivo, originado del magnesio, en dos minutos y medio queda reducido a la mitad—. Así quedaba descubierta una *radioactividad electrónica* de un tipo nuevo, simétrica de la radioactividad *beta*, en la que la trasmutación disminuye en una unidad el número electrónico sin cambio del número que expresa la masa. Más tarde se ha visto que el uso de los heliones limita las posibilidades de activación a los elementos más ligeros: sólo diez elementos, inferiores al número atómico 15, han podido ser activados por este procedimiento.

Toda vez que la dificultad principal con que se tropieza al hacer uso de los rayos *alfa* para alcanzar trasmutaciones de estabilidad instantánea o activaciones de elementos estables, y que explica el resultado negativo obtenido al irradiar los cuerpos de peso atómico algo elevado, es, a no dudarlo, su doble carga positiva—conforme a las previsiones y cálculos de Sommerfeld—, pusieron los físicos grandes esperanzas en el empleo de proyectiles de menor carga eléctrica, y, desde luego, en los núcleos de hidrógeno ordinario—*protones*—y de hidrógeno pesado o deuterio—llamados *deutones*, *deuterones*, *diploones*—. Tras prolongados ensayos y laboriosas experiencias—a las que van unidos, entre otros, los nombres de Cockroft, Walton, Van de Graaff, Lawrence, Thibaud...—dióse acertada solución al problema de producir en cantidad suficiente dichos corpúsculos y de comunicarles la elevada energía cinética necesaria para vencer la repulsión del núcleo atacado: ya en abril de 1932 se logró obtener en Cambridge un haz fino de protones correspondiente a una corriente de 10 microamperios, mientras con el dispositivo de Van de Graaff es posible someterlos a tensiones de más de 10 millones de voltios. A pesar del débil rendimiento—con protones de 400 Kv. se logra un choque inelástico por cada 100 millones de proyectiles—ha sido posible reconocer la desintegración provocada en bastantes elementos de pequeño número atómico: en todos ellos hay captura del protón, seguida al punto de emisión de una partícula

alfa, acompañada a las veces de rayos *gamma*—notabilísimo entre todos es el caso del litio, que da lugar a dos heliones con emisión de la fantástica energía de 17,4 millones de electrón-voltios, cien veces mayor que la energía inicial—. Como se preveía, los éxitos fueron más rotundos aún al aplicar los *deutones*, de masa sensiblemente doble que los protones, a la desintegración artificial de los elementos; bajo la acción de dichas partículas convenientemente aceleradas se ha observado también la expulsión de corpúsculos *alfa*, en un gran número de casos—por ejemplo, en el platino—, aunque en otros elementos ha habido transformación nuclear con emisión de protones (carbón), o de neutrones (berilio). También era de suponer que los protones serían capaces de provocar la formación de radioelementos nuevos, del mismo modo que lo comprobamos antes merced a la acción de los rayos *alfa*: de hecho son pocos los casos observados, entre los que descuellan el radiocarbono y el radionitrógeno, entrambos positógenos, obtenidos, respectivamente, del boro y del carbono, y con períodos de veinte y de diez minutos. En cambio, casi todos los elementos, desde el litio al cloro, y algunos otros, bombardeados con deutones de tres millones de voltios, han mostrado activarse con emisión de positones y rayos *gamma*: en Estados Unidos se ha emprendido por este método una verdadera fabricación de radioelementos artificiales en cantidades tales que puedan aprovecharse para los mismos usos que los cuerpos radioactivos naturales, v. gr., el radio o el torio.

Incomparablemente mayor importancia, así teórica como práctica, que las partículas hasta aquí mencionadas para los dificultísimos problemas de la Física nuclear, alcanzaron los *neutrones* ya desde el día de su descubrimiento. En ellos se disponía, desde luego, de un proyectil ideal, que por carecer de carga eléctrica no era frenado ni por la corona electrónica ni por la barrera positiva que el núcleo atómico opone para su propia defensa; y como además no hace diferencia alguna entre núcleos pesados y ligeros, con el mismo ímpetu y la misma probabilidad de éxito se lanza al asalto de un núcleo de hidrógeno que de un núcleo de uranio. La idea del profesor Enrique Fermi de aplicar los neutrones para la activación de los elementos, fué realizada por él y sus colaboradores en el Instituto Físico de Roma: el éxito no

pudo ser más completo. En vez de los cinco o seis elementos radioactivos obtenidos con el empleo de los rayos *alfa*, eran unos sesenta los alcanzados ya en 1937 por medio de los nuevos proyectiles (42): la sustancia activada por el proceso de captura del neutrón y emisión sucesiva de un corpúsculo *alfa* o de un protón—la cual emisión falta con frecuencia en los átomos pesados, como en el oro y la plata—emite rayos *beta* o negátiones, acompañados a las veces de radiación *gamma*. En lugar de los neutrones rápidos, cuya velocidad puede acercarse a la de la luz y cuya energía llega a veces a los 10 ó 15 millones de voltios, Fermi ensayó desde 1935 la eficiencia de los neutrones lentos, cuya energía—de hasta solas algunas centésimas de electrón-voltio—apenas excede la de las moléculas en el movimiento browniano, observable con el microscopio: en la mayor parte de los elementos

(42) Un aspecto totalmente nuevo e insospechado de las transformaciones atómicas ha sido presentado como efecto del bombardeo por neutrones lentos del núcleo de uranio, el cuerpo simple natural de más elevado peso atómico conocido. Fermi y sus colaboradores observaron en 1934 la formación en tales experiencias de sustancias radioactivas, en número de cuatro por lo menos, dos de las cuales podían ser atribuidas a elementos de número atómico superior a 92, los hipotéticos Ausonio (93) y Hesperio (94). Algunos años más tarde, experimentos más delicados revelaron en el fenómeno una mayor complejidad: nueve radioelementos formábanse por lo menos, seis de los cuales debían ser *transuránicos*. Sin embargo, reconocida en 1938—merced a las investigaciones químicas relativas a las propiedades de los nuevos cuerpos radioactivos—la necesidad de emparentarlos con elementos muy lejanos del uranio en la clasificación periódica de Mendelejew, propusieron—L. Meitner y Frisch, por un lado, y por otro, Hahn y Strassmann—explicar la sorprendente formación de estos cuerpos, no como resultado de una filiación radioactiva a partir del elemento 92, sino advirtiendo, por el contrario, que provenían de una verdadera *bipartición* del uranio en dos elementos de número atómico aproximadamente igual, y comprendido entre 40 y 50—todavía no han sido reconocidos con certeza, pero se sospecha que sean el cesio y el rubidio, o tal vez el par lantano-bromo—, acompañada de una liberación de energía del extraordinario valor de 200 a 250 millones de electrón-voltios. De hecho, en el caso del uranio—también en el torio ha sido observado una explosión parecida—ha sido posible caracterizar químicamente un número bastante considerable de elementos de ruptura, dotados de las propiedades de las tierras raras (lantano), de los alcalinotérreos (bario), de los halógenos (yodo, bromo), de los alcalinos (cesio, rubidio) y aun de los gases raros (kriptón). Así, mientras antes la radioactividad provocada consistía en cuerpos que emitían electrones negativos y positivos, con o sin rayos *gamma*, en el caso del uranio son lanzados también neutrones, hasta llegar a un tipo estable final, isotopo de un elemento natural conocido: en verdad que puede hablarse de «un cataclismo en el seno del átomo de uranio» (Cf. *Scientia*, vol. LXVI, 1939, 11-19).

la presencia de grandes masas de sustancias hidrogenadas, como la parafina o el agua, entre el manantial de neutrones y el elemento irradiado, ha aumentado enormemente la actividad obtenida en una proporción que oscila entre diez y cien. Según esto, no es de maravillar el corto número de transmuciones de estabilidad instantánea logradas por medio de estas partículas: además de la desintegración del oxígeno y del nitrógeno se han logrado buenos resultados con el carbono, el flúor, el neón y algún otro.

* * *

Admitida hoy por la generalidad de los físicos la estructura discreta y mixta, ondulatorio-corpúscular, de las llamadas radiaciones electromagnéticas, que el estudio detenido y profundo del fenómeno fotoeléctrico y del efecto-Compton puso de manifiesto, pertenecen también al capítulo de hechos que estamos bosquejando las desintegraciones artificiales por ellas provocadas. Si los fotones o "quanta" de luz—átomos o granos de energía emitidos cada uno en un proceso singular—son verdaderos corpúsculos, con masa e inercias mínimas, aun comparados con los electrones, y constituidos tal vez, según la atrevida hipótesis de Luis de Broglie, por un neutrino y un antineutrino acoplados y poseedores de un campo electromagnético de tipo máxwelliano, bien puede hablarse de penetración de los mismos en el seno de los átomos, no sólo cuando en los fenómenos de excitación e ionización desplazan con su impulso a un electrón perteneciente a la envoltura del átomo, sino también y sobre todo cuando, penetrando hasta el mismo núcleo, logran arrancar de él alguno de los elementos que lo constituyen. Para que este efecto fotoeléctrico nuclear—llamado también *foto-desintegración*—sea posible, es preciso que la energía de la radiación empleada sobrepuje la energía de unión de la partícula que ha de ser sacada del núcleo: esto explica el resultado negativo de los intentos muchas veces realizados. Fueron Chadwick y Goldhaber los primeros en observar, en 1934, una desintegración nuclear producida por fotones: bajo la acción de la radiación *gamma* más dura que se conoce, la del torio C'', se logró la transmutación del núcleo del hidrógeno pe-

sado en un "foto"-protón con expulsión de un "foto"-neutrón. Análogo resultado se obtuvo más tarde con el berilio irradiado mediante los rayos *gamma* salidos de un preparado de radio encerrado en una cápsula de platino: del núcleo bombardeado eran libertados neutrones. También parece que se ha llegado a extraer estas mismas partículas de la materia con rayos X de algún millón de electrones-voltios, es decir, con rayos *gamma* artificiales. Ni son solamente los corpúsculos neutros los que salen de los elementos por la acción de los "quanta" de luz: los esposos Joliot-Curie, por un lado, y, por otro, L. Meitner y K. Philipp, obtuvieron la emisión de positones, acompañados siempre de igual número de negatones, al atacar diferentes materias con los rayos *gamma* emitidos por el torio C'', o con los todavía más potentes que acompañan la emisión de neutrones por el berilio: las energías de los dos corpúsculos eléctricos, aumentadas con el equivalente energético de sus masas, da como valor total la energía del fotón incidente—es el fenómeno notabilísimo designado (si propiamente o no, no es esta ocasión de discutirlo) con el nombre de *materialización de la energía*, proceso inverso de la *desmaterialización* o *energétización de la materia*, descubierto por Thibaud y Joliot al comprobar que la absorción de electrones positivos por la materia da lugar a la emisión por ésta de fotones de una energía aproximada de 500.000 electrón-voltios.

Terminaremos este punto señalando la acción altamente destructora que sobre la materia ejerce la llamada *radiación cósmica* o *ultrapenetrante*, objeto de tan numerosas y delicadas investigaciones en los últimos veinticinco años. La determinación de su enigmática naturaleza ha dado lugar durante mucho tiempo a delicadas experiencias y profundas discusiones entre los más renombrados físicos: hoy parece cierto que por lo menos la mayor parte de la radiación más *dura* o *primaria*—cuya acción ionizante puede reconocerse, según las observaciones de Corlin, debajo de un espesor de agua de 500 metros—está constituida por corpúsculos electrizados, tal vez protones ultrarrápidos, a cada uno de los cuales correspondería la energía de decenas o centenares de millones de voltios (43) En cambio, los corpúsculos

(43) Bueno será recordar que, según las ideas más recientes, la componente penetrante de la radiación cósmica—cuya acción ionizante

del grupo *blando* serían de origen *secundario*, producidos en gran parte en el seno de la atmósfera misma por la acción del grupo duro sobre los átomos del gas: de la destrucción de los edificios atómicos por los rayos primarios resultaría una especie de fuego artificial de corpúsculos secundarios, muchos centenares a veces, lanzados en forma de abanico. Es el fenómeno curioso de las "gavillas", observado en las fotografías por vez primera por Steinke y Schindler, los cuales lo explicaron como indicio de que había llegado una partícula ultrapenetrante, que había desintegrado un núcleo del material—cobre, plomo...—que constituye la pared de la cámara de Wilson. El examen del aspecto y de la curvatura de las trayectorias, sometidas a un intenso campo magnético, ha permitido deducir que se trata en su mayor parte de electrones positivos y negativos—recordemos que por este medio realizó Anderson en 1932 el descubrimiento de la *positón*, confirmado luego por Blackett y Occhialini—; a las veces existen también protones, y también quizá neutrones (44). Al mismo tiempo numerosos fotones acompañan la explosión, algo análogos en esto a los rayos Roentgen producidos al chocar los electrones catódicos con la materia sólida (45).

* * *

Si la experiencia científica realizada con el auxilio de los casi increíbles medios que la invención del genio y la perfección de

se hace sentir aun debajo de espesores considerables de agua—no está formada de electrones, sino de partículas de carga positiva o negativa igual a la de ellos, pero de masa unas 200 veces mayor: son los llamados *mesotones* o *electrones pesados*, exigidos para la explicación de los resultados obtenidos por muchos experimentadores, desde que Neddermeyer y Anderson en 1936 emitieron la hipótesis de su existencia. Sin embargo, también estos corpúsculos, a juicio de R. A. Millikan y otros investigadores, nacerían, sin duda, por efecto directo o indirecto, del choque de los rayos primarios (electrones o fotones) con un núcleo de la molécula del aire (R. A. Millikan, *Cosmic Rays*, Cambridge, 1939).

(44) De hecho, en los últimos cinco años se han señalado desintegraciones con emisión de partículas pesadas debidas a la acción de la radiación ultrapenetrante (cf. *Revue des Questions Scientifiques*, CXIV, 1937, p. 341).

(45) A los hechos experimentales que hemos sumariamente enumerado, y que—a juicio de los físicos—representan otros tantos argumentos fehacientes de la penetración de corpúsculos y fotones en el seno mismo del átomo, podrían a no dudarlo añadirse otros mu-

la técnica, dirigidas y animadas por el deseo ardiente de penetrar los misterios de la naturaleza, han puesto en manos del investigador, ha conducido en los laboratorios de Física atómica y nuclear a fenómenos sólo explicables—a lo que parece—por la penetración de partículas, ya electrizadas, ya neutras, en el seno de las moléculas y de los átomos, la explicación teórica de los hechos fundamentales observados y experimentados en los campos de la gravitación, de la luz, de la electricidad, del mag-

chos, no tan sorprendentes y llamativos tal vez, pero no menos interesantes y conspicuos. Desde luego, con la entrada violentamente obtenida de las partículas consideradas, hace juego la emisión y salida, ya natural, ya provocada, de radiaciones corpusculares u ondulatorias. En efecto, tanto en la radioactividad natural y provocada, como en los fenómenos de ionización y de desintegración atómica, vemos partir de los átomos y moléculas diversas suertes de partículas—heliones, protones, neutrones, positones, negatones, fotones—, las cuales sin duda gozaban ya de individualidad propia al recorrer el interior del edificio atómico de que han sido desgajadas. También parece deber admitirse una penetración mutua de los elementos constitutivos de las llamadas *moléculas atómicas*, si se acepta, como es corriente todavía en gran parte de los físicoquímicos, que en ellas los núcleos atómicos conservan sus cáscaras electrónicas completas, en tanto que los electrones de las envolturas más exteriores incompletas se disponen en un nuevo piso periférico en el que circulan alrededor del núcleo molecular resultante. En cambio, en las moléculas *iónicas*—por ejemplo, las del cloruro de sodio, sulfuro de calcio, ácido clorhídrico...—se supone que dos iones de signos contrarios, «nobles» por cuanto los electrones periféricos toman la disposición de un átomo noble, están conservados el uno cerca del otro—sin penetración alguna—por simple atracción electrostática: de hecho, los diagramas de Laue obtenidos por difracción de los rayos X al través de un cristal de sal gema, han dado a conocer la estructura del mismo, y descubierto que los átomos de cloro y de sodio no constituyen verdaderas moléculas aisladas de fórmula ClNa . Por su parte, la Mecánica ondulatoria al tratar de explicar el enigma de las moléculas *homopolares*, gracias a la introducción de las llamadas «energías de interacción», exige la posibilidad de que dos corpúsculos idénticos puedan ocupar a la vez un mismo lugar. «Il est très instructif—escribe Luis de Broglie en su notable libro *La physique nouvelle et les quanta* (Flammarión, París, 1937, p. 282)—de faire la remarque suivante: il n'y a énergie d'échange que si deux particules identiques ont une probabilité non nulle de se trouver dans une même région de l'espace. En d'autres termes, les particules n'étant généralement pas localisées en mécanique ondulatorie, elles ont dans l'espace un certain domaine de présence possible: il y a énergie d'échange quand deux particules de même espèce ont des domaines de présence possible qui empiètent l'un sur l'autre, et dans ce cas seulement.» ¡Cuán lejos está la Física más reciente de establecer—como la Física clásica—la impenetrabilidad de los cuerpos como uno de los primeros axiomas o postulados básicos de toda investigación científica del mundo inorgánico!

netismo, llevó desde antiguo a la hipótesis de la existencia de un medio—llamado *éter*—encargado de transmitir las acciones ejercidas entre los cuerpos ponderables separados por el vacío, a fin de evitar aquella “*actio in distans*”, la cual—aunque metafísicamente no parece con evidencia absurda—es considerada por los físicos como “*une des idées les plus funestes qui aient jamais régné*”, en frase de Chwolson.

En 1687, al cerrar Newton sus inmortales *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, atribuía al éter el transporte de las variás clases de energía; esto es, a “una especie de vapor sutilísimo que penetra todos los cuerpos y en ellos se esconde, por cuya fuerza y acción las partes de los cuerpos se atraen a distancias mínimas y de la que depende su cohesión; por ella los cuerpos eléctricos obran a mayor distancia, ya atrayendo, ya rechazando los corpúsculos vecinos; por ella la luz es emitida, reflejada, refractada, encorvada y absorbida en calor...” Y en 1925—en plena gravísima crisis provocada por la Relatividad einsteiniana—el eminente físico alemán E. Wiechert escribía: “Tengo por imposible negar al éter todas las propiedades mecánicas y cinemáticas. Es él quien determina el campo unitivo, y, por tanto, la figura de los cuerpos, la velocidad de los procesos, la trayectoria de los cuerpos abandonados a sí mismos: ¿No son éstas propiedades mecánicas? El determina los avances lumínicos, y con ello los límites para la marcha de los cuerpos: ¿No es esto una propiedad cinemática?” (46). Entre estas dos fechas, la supuesta materia imponderable, dotada de extensión y de inercia, y destinada especialmente a explicar el mecanismo de la propagación de los fenómenos lumínicos, ha ido recibiendo los caracteres que en cada época exigía el estado de la investigación experimental y teórica: de naturaleza flúida y elástica en la teoría ondulatoria primitiva de Huyghens, para poder ser sujeto de las ondas longitudinales en que, como el sonido, también parecía consistir la luz, pasó con Fresnel a ser un medio dotado de las notas de un sólido capaz de vibrar transversalmente, por exigirlo así los hechos observados de polariza-

(46) *Physik. Die Kultur de Gegenwart*, Teubner, Leipzig, 1925, página 71.

ción por reflexión y por refracción, para abandonar por fin su elasticidad mecánica y convertirse en el éter electromagnético de Maxwell y Hertz, capaz de polarizarse eléctricamente y de transmitir las ondas electromagnéticas, esencia de la luz. Por otro lado, una vez se hubo demostrado que ésta y las ondas eléctricas no son dos fenómenos distintos, y que también las fuerzas magnéticas son inseparables de las cargas eléctricas en movimiento, los tres éteres—eléctrico, magnético y lumínico—se redujeron a uno solo; y hoy se admite que este éter—llamado simplemente lumínico—se identifica también con el gravitatorio, encargado de transmitir la atracción general de las masas ponderables.

Conocida es la notable discordancia y aun abierta contrariedad que a los ojos de la investigación ha manifestado en no pocas de sus propiedades el medio en cuestión a lo largo de su accidentada historia: baste recordar que—concediendo a la inercia del éter electromagnético el mismo sentido que a la masa de la materia ponderable—se llega a una densidad de aquél igual a una diezmillonésima parte (8×10^{-16}) de la del agua, si se parte del valor de la presión que la luz solar ejerce sobre la unidad de superficie de la Tierra; en tanto que, si se atribuye al éter la misma densidad del electrón, se llegaría a una masa de cincuenta millones de kilogramos ($5,3 \times 10^{10}$ gr.) por cm.³ (47). No menor es la diversidad y oposición de pareceres de los físicos teóricos cuando tratan de asignar al éter cósmico una determinada estructura o constitución, de dar de él una imagen o modelo mecánicos: con toda verdad pudo escribir Ritz, hace veinticinco años, que “si la notion de l'éther joue un rôle capital chez tous les physiciens, il n'en est peut-être pas deux qui conçoivent l'éther exactement de la même manière”, por razón de la “assoluta ignoranza in cui siamo della struttura e delle proprietà dell'etere”, según la afirmación categórica de Righi (48).

(47) Puede consultarse acerca de este punto el libro del Padre Gianfranceschi, *Capitoli di Fisica contemporanea*, Roma, Università Gregoriana, 1932, p. 166.

(48) Estos y otros autorizados testimonios de científicos eminentes hallanse reunidos en los artículos publicados en la revista *Razón y Fe* (tomos XXX y XXXI, 1911) por el P. Luis Rodés, bajo el título «De los cuerpos reales al éter hipotético», cuyos datos y doctrina, si

Una gran parte—la mayoría, según parece—de los investigadores, movidos primero por el examen de diferentes fenómenos ópticos, como la polarización y dispersión de la luz, y más recientemente por la necesidad de conceder movimientos, a las veces rapidísimos, a los átomos y electrones en el seno de los cuerpos, han atribuído al éter—que llenaría los intervalos entre los elementos de la materia ponderable—una estructura discreta y constitución atómica; así, el célebre P. Angel Secchi, refiriéndose al éter elástico de su tiempo, escribía: “Cualquiera que sea la hipótesis adoptada como base de la teoría de las ondas transversales, su sola existencia prueba con la mayor evidencia que el éter está formado de átomos aislados, a los cuales es dado aplicar los principios de la composición y descomposición de las fuerzas, enseñados por la Estática” (49). Frente a esta concepción del éter *discontinuo*, los éxitos sorprendentes y la inesperada fecundidad de la teoría electromagnética de Maxwell y Hertz dió a la hipótesis de la *continuidad* del éter un crédito inmenso en el campo científico; “l'éther—afirma Langevin, haciéndose eco de la opinión de muchos y muy esclarecidos autores—sera pour nous un milieu *continu et homogène*, en chaque point duquel peuvent se superposer deux modifications caractérisées respectivement par deux grandeurs dirigées, le champ électrique et le champ magnétique” (50).

¿Convendrán, por lo menos entre sí, los propugnadores de la continuidad de la sustancia etérea? No, por cierto. Aun cuando todos ellos deben conceder, y en realidad conceden, que el éter lumínico-gravitatorio llena sin interrupción alguna y sin contigüidad de partículas distintas así los espacios interestelares e intercorpóreos como los intervalos intermoleculares, interatómicos y aun intraatómicos—en todo modelo mecánico discontinuo, como es el de Rutherford-Bohr—, no están conformes acerca de si la continuidad total ha de ser *perfecta*, de suerte

bien en parte anticuados—dada la rapidez de los progresos de la Física teórica y experimental en el curso de los últimos decenios—, conservan, sin embargo, una buena parte de perenne actualidad.

(49) *Unità delle forze fisiche*, vol. I, p. 336.

(50) Conferencia titulada «Les grains de électricité», en la obra *Les idées modernes sur la constitution de la matière* (Gauthier-Villars, Paris, 1913, p. 61).

que la materia imponderable penetre también los constitutivos últimos de los cuerpos, o sólo *imperfecta*, es decir, que permita en su seno huecos ocupados por los átomos o subátomos continuos. Esta segunda opinión parece ser la más corriente. El profesor J. Perrin, del Instituto de Francia, escribía en 1914: "Une matière indéfiniment discontinue, trouant, par des étoiles minuscules, un éther continu, voilà donc l'idée qu'on pourrait se faire de l'univers" (51). Y el jesuita italiano P. Gianfranceschi daba en 1926 esta definición: "L'etere è una sostanza materiale che riempie tutto lo spazio reale tranne quello effettivamente occupato dagli elementi continui che costituiscono i corpi" (52). Sin embargo, esta concepción no satisface a todos, y esto por varias razones: "Esto—a saber, la necesidad de escapar a una derogación especial de las leyes generales de la Mecánica—no nos obligaría todavía más que a llenar con éter el vacío interplanetario, pero no a hacerle penetrar *en el seno mismo* de los medios materiales. La experiencia de Fizeau va más lejos. Por la interferencia de los rayos que han atravesado aire o agua en movimiento, parece mostrarnos dos medios diferentes *penetrándose* y moviéndose sin embargo el uno con relación al otro. Se cree tocar el éter con la mano" (53). También las manifestaciones de esta fuerza misteriosa que llamamos gravitación universal parecen exigir la continuidad perfecta del medio que le sirve de *substratum* transmisor: fracasados, en efecto, hasta el presente todos los intentos de explicación mecánica, no puede menos de admitirse que la acción o influjo de dicha fuerza se ejerce no solamente sobre la superficie de los elementos continuos ponderables, mas también sobre su interior. Pero, más claramente todavía, la concepción del éter continuo, que todo lo llena y penetra, se halla en la base de la teoría electromagnética, que durante tantos decenios ha dominado sin discusión toda la Física; como fué también el punto de partida de la teoría electrónica de H. A. Lorentz y del amplio desarrollo dado por este físico a las

(51) *Les atomes*, París, Alcan, 1914, p. XXIII. Lo mismo puede verse repetido en la segunda edición, notablemente modificada, publicada en 1936.

(52) *Fisica dei corpuscoli*, 3.^a ed., Roma, p. 11.

(53) H. Poincaré, *La Ciencia y la Hipótesis*, versión española, Madrid, 1907, p. 192.

ideas de Maxwell. Clásico es a nuestro propósito el texto siguiente del celeberrimo profesor holandés: "Una de nuestras principales hipótesis básicas debe ser que el éter no sólo ocupa todo el espacio comprendido entre las moléculas, átomos o electrones, sino que también *penetra todas estas partículas*. Añadiremos el supuesto de que, aunque las partículas se muevan, el éter permanece siempre inmóvil" (54).

Como a sus predecesores los éteres elásticos—más o menos flúidos, más o menos movibles, más o menos densos—, también al éter electromagnético de Lorentz, al que no restaba más propiedad mecánica que la inmovilidad, llegó la hora del general desfavor y aun del completo ocaso. Fué Alberto Einstein, el genial físico alemán, quien al establecer los principios fundamentales de su teoría de la Relatividad restringida, con tanto favor recibida en la mayor parte de los medios científicos, pronunció, a juicio de muchos, la sentencia definitiva y capital: "Hoy—decía en el Congreso científico de Salzburgo, en 1909—debemos ciertamente considerar la hipótesis del éter como una posición ya vencida"; y en la célebre conferencia pronunciada en la Universidad de Leyde, el 5 de mayo de 1920, señalada la inadmisibilidad de ningún sistema de referencia privilegiado para la expresión de las leyes de la naturaleza, tratándose de movimientos de traslación rectilíneos y uniformes, concluía: "La posición que se podía, a primera vista, adoptar en presencia de semejante estado de cosas parecía ser la *negación de la existencia del éter*; los campos electromagnéticos no representan estados de un medio, sino que son realidades independientes, las cuales no pueden ser reducidas a otra cosa ni están enlazadas a *substratum* alguno, exactamente como acontece con los átomos de la materia ponderable". Ya la revolucionaria generalización que en 1905 hizo Einstein de la teoría de los "cuanta", de Planck, según la que toda emisión y absorción de luz tendría lugar en cantidades discretas o fotones, los cuales a manera de átomos de energía se propagarían por el espacio, había hecho innecesaria, al parecer, la búsqueda, siempre difícil y afanosa, de un sujeto sustancial para el verbo "vibrar" u "ondular": ahora el hipotético

(54) *The theory of Electrons*, Leipzig, 1909, p. 10.

éter resultaba dotado de propiedades no sólo enigmáticas, sino totalmente contradictorias, pues la inmovilidad absoluta que para él exigían la aberración de la luz y las experiencias de Fizeau debía dar lugar en los cruciales experimentos de Michelson y Morley, cien veces repetidos, al "viento de éter", demostrativo del movimiento de la Tierra con respecto al supuesto medio transmisor de la luz; pero los resultados, siempre negativos, parecen indicar que el éter es arrastrado por el espacio juntamente con el foco luminoso.

Sin embargo, no pasaron muchos años hasta que de nuevo los físicos relativistas, y a la cabeza de ellos el mismo Einstein, se reconciliaran de nuevo con la idea y aun con la existencia de un éter—designado pomposamente con el nombre de *espacio cosmológico*—verdadero *substratum* de los campos gravitatorios. Al final de la conferencia antes citada afirmaba Einstein, en medio de la admiración y aun estupefacción de no pocos de sus oyentes: "Resumiendo podemos, pues, decir: Según la teoría de la Relatividad general, el espacio está dotado de propiedades físicas; *en este sentido existe, por consiguiente, un éter*. Según la teoría de la Relatividad general, un espacio sin éter es inconcebible, pues que no sólo la propagación de la luz sería inconcebible, pero ni siquiera habría posibilidad alguna de existencia para las reglas de medida y los relojes, y, por tanto, tampoco para las distancias espacio-temporales en el seno de la Física (55). A diferencia del éter de Lorentz, cuyo estado, en ausencia de campos electromagnéticos, no está determinado más que por su misma naturaleza, y es en todas partes idéntico, las propiedades métricas del continuo espacio-temporal de la Relatividad son diferentes en la proximidad de cada punto espacio-temporal y condicionadas por la materia que se halla en la región considerada y en sus cercanías: sólo en regiones muy alejadas de toda materia regiría en el espacio cosmológico la métrica euclídea, mientras que en las cercanías de las masas pondera-

(55) Estas mismas ideas habíalas ya expuesto el mismo autor en un artículo publicado en la revista *Die Naturwissenschaften*, VI, 1918, pp. 701-702; y en el capítulo «Die Relativitätstheorie», que forma parte del volumen *Physik* de la colección *Die Kultur der Gegenwart*, p. 796.

bles se verificaría la geometría de Riemann (56). Además, "la naturaleza formal del campo electromagnético—así opina Einstein—no está en modo alguno determinada por la del éter gravitatorio; y pues, según nuestras concepciones actuales, las partículas elementales de materia no son otra cosa en su esencia que condensaciones del campo electromagnético, nuestra representación del Cosmos reconoce dos realidades, las cuales, aun cuando enlazadas entre sí por la conexión causal—el espacio obra sobre la materia al imponerle sus leyes, mientras a su vez recibe de ella su estructura—, están lógicamente del todo separadas entre sí: son el éter gravitatorio y el éter electromagnético, o, como podría llamárselas también, el *espacio* y la *materia* (57).

* * *

¿*Son los cuerpos naturalmente penetrables?*... Después de las consideraciones precedentes de carácter mixto, filosófico y científico, tiempo es ya de responder, si no de una manera definitiva y absoluta, por lo menos *provisoria* y *condicionalmente*, a la pregunta que ha servido de título al presente estudio. Y en primer término, si se admite, como postulado necesario para evitar la acción a distancia, la existencia de un éter o medio imponderable, verdadera materia dotada de inercia y extensión, que llena los espacios todos, así interestelares y terrestres como intramoleculares e intraatómicos, con *continuidad perfecta*, es decir, sin interrupción o hueco de ninguna clase, es forzoso reconocer la *compenetración natural* del mismo con los cuerpos ordinarios que existen y se mueven en su seno, sustancias extensas que por lo

(56) Con acerada y contundente lógica refuta el P. Hoeneen en su *Cosmología* (p. 438) la opinión generalizada entre los relativistas—especialmente en los textos de Einstein, Weyl, Bavinck...—que niega al espacio-tiempo la nota de *sustancialidad*.

(57) *L'éther et la théorie de la Relativité*, París, Gauthier-Villars, 1921, pp. 14-15. Muy poco después de la aparición de esta teoría, algunos matemáticos eminentes, defensores de un relativismo exagerado, entre los que descuellan H. Weyl y A. S. Eddington, emprendieron la difícilísima tarea de la unificación de los dos campos, gravitatorio y electromagnético. Es evidente que, de lograrse el resultado apetecido, carecería de sentido para los relativistas el problema de la compenetración del espacio-éter con la materia.

menos individualmente—si no ya esencialmente—se distinguen de él; es la posición lógica adoptada por Lorentz. De ella no puede diferir, sin abierta inconsecuencia, la de los físicos relativistas que, con Einstein en su Relatividad generalizada, sostienen la existencia de un “cronotopo”, continuo espacio-temporal de cuatro dimensiones, con propiedades físicas determinadas por el campo de gravitación, en el que se hallan las partículas elementales de la materia, singularidades extensas del campo electromagnético, esencialmente distinto de aquel.

Más delicado y difícil se presenta sin dudá el intento de formular, a la luz de los datos que acabamos de ofrecer, la solución que en el estado actual de la ciencia parece deber darse al otro problema—más importante en sí, y único de que se han ocupado los escolásticos—de la compenetración circunscriptiva de los últimos elementos de los cuerpos o de la materia ponderable. Aun prescindiendo de la posibilidad natural del citado fenómeno, así en las partículas neutras como en las electrizadas, exigida por la Mecánica ondulatoria, y de la realidad del mismo entre los constitutivos de las llamadas *moléculas atómicas*, según la explicación ordinaria que se propone de las mismas, parece que faltaría a la prudencia y a la sinceridad científica—en el estado actual de las cosas—, quienquiera que se negase a aceptar la penetración en el interior de las moléculas y de los átomos, no sólo de los electrones y fotones—cuya nota corpuscular y sustancial no aparece del todo clara y definida—, sino también de los heliones, protones, deutones y neutrones—considerados por científicos y escolásticos modernos como verdaderas sustancias formalmente extensas—: los numerosos hechos aducidos no parecen al presente susceptibles de ninguna otra explicación satisfactoria y adecuada. Empero, pues, la compenetración local importa la ocupación ininterrumpida de un mismo volumen del espacio por los dos cuerpos, toda la cuestión se concentra en último resultado en esta pregunta: ¿realízase en el átomo químico el concepto de *continuo formal*?...; y en este punto dista mucho de existir uniformidad de pareceres entre los filósofos de la Escuela.

Para un gran número de ellos—la totalidad de los antiguos, los cuales ignoraban la estructura y aun la existencia de los átomos, y la mayoría tal vez de los modernos, que admiten las

tesis fundamentales del *atomismo físico*, contrapuesto al *filosófico*—, realizase por lo menos en la molécula y en el átomo químicos el concepto de la unidad sustancial o del “*unum per se*”, el cual requiere, a su juicio con necesidad metafísica, la *continuidad formal* de la materia. En consecuencia, estos neoescolásticos deberían admitir—como tan ardientemente lo propugna el ilustre P. Hoenen, el cual lo hace extensivo a los mismos cristales—que la compenetración local de los cuerpos se da, si no claramente en las condiciones normales de la naturaleza (fenómenos de ionización por choque de dos átomos), sí en las circunstancias provocadas artificialmente en los Laboratorios (bombardeo de los elementos por los múltiples y variados proyectiles corpusculares de que disponemos). Por lo que toca a la esencia de la impenetrabilidad, es indudable que en buena lógica no pueden ya tales cosmólogos reducirla a un *efecto formal de la cantidad*, puesto que es vencida por medios naturales, sin milagro alguno; pero ¿deberá sostenerse que es una fuerza distinta de la eléctrica, que hallamos diversamente distribuída en el seno del átomo, verdadero tipo de *continuo heterogéneo*?... Aunque no negamos que *pueda* defenderse en los átomos o elementos corpóreos—supuestos continuos—la existencia de una *impenetrabilidad-fuerza*, la cual ha de ser superada por la energía cinética del proyectil en el instante del choque, no creemos sin embargo que los hechos hasta aquí establecidos *lo exijan*; más bien nos inclinariámos a atribuir la dificultad de la compenetración a la acción de los campos eléctricos de los cuerpos lanzados el uno contra el otro.

Una segunda categoría, cada vez más numerosa por cierto, de cultivadores de la Neoescolástica, reconoce con la anterior la unidad sustancial del átomo y de la molécula, pero niega que ella reclame con apodíctica evidencia la continuidad o extensión formal; más todavía, reconoce como probable, y aun como cierto, que un cuerpo puede ser *uno* o *individuo*, tanto en el reino de los vivientes como en el anorgánico, aunque no sea continuo, ni siquiera imperfectamente. Otros cosmólogos escolásticos recientes—entre ellos Schaaf y Frank—se adhieren a la opinión de la casi totalidad de los físicos, para quienes el átomo y la molécula son meros agregados, dotados tan sólo de *unidad acciden-*

tal, más íntima si se quiere que la que rige entre los elementos y partes de una máquina, pero en modo alguno esencialmente distinta de ella. Para todos estos filósofos y científicos *el hecho* de la compenetración natural sigue siendo ignorado: las observaciones y experiencias de los Laboratorios no nos muestran en modo alguno la simultánea ocupación de un mismo lugar por los subátomos, o partículas últimas constitutivas de los cuerpos—por ahora los protones, neutrones y electrones—, y los corpúsculos utilizados para las transformaciones atómicas. Y si el hecho sigue, según ellos, afectado de un signo de interrogación, es claro que sería perder inútilmente el tiempo y las energías enfrascarse en el examen y discusión de *la naturaleza* de una impenetrabilidad, propiedad de la materia, que no se sabe si existe: sólo el día en que el progreso científico nos permitiera reconocer directa o indirectamente el proceso integral del choque de dos partículas neutras—dos neutrones, tal vez dos fotones—, o de una partícula cargada y otra eléctricamente neutra—por ejemplo, un neutrón y un protón, un neutrón y un electrón—, podría atacarse con esperanzas de éxito la espinosa y difícil cuestión objeto de este artículo.

¿Son los cuerpos, en cuanto tales, naturalmente penetrables?

Refiriendo la pregunta a los últimos individuos del mundo anorgánico, así ponderables como imponderables, y teniendo los ojos puestos en los datos de la Física más reciente, serenamente examinados y ponderados, creemos *poder* y *deber* dar una respuesta que a más de un lector podrá parecer pesimista y desoladora: *Ignoramus. Ignorabimus* (58).

(58) El blanco de nuestro estudio—señalado ya en su principio—ha sido examinar a la luz de las experiencias y teorías de la ciencia moderna si la impenetrabilidad circumspectiva puede *también hoy* considerarse, conforme al juicio emitido universalmente por los científicos y filósofos hasta estos últimos decenios, como una *propiedad física* de los cuerpos ponderables, nacida de su misma esencia, y persistente, por tanto, en todas las condiciones y circunstancias, a no ser que intervenga sobrenaturalmente la Omnipotencia divina. El resultado de nuestra investigación creemos poder sintetizarlo en dos proposiciones. Todos los casos de impenetrabilidad local observados, así por la Macrofísica como por la Microfísica—si se exceptúa tal vez el choque inelástico sumamente enigmático observado en el efecto Compton—, parecen poder explicarse suficientemente por la repulsión coulombiana de las cargas eléctricas existentes en el seno de los corpúsculos que chocan entre sí. Ningún caso cierto y evidente de

Así, también a éste, como a casi todos los capítulos de la Filosofía de la naturaleza, tiene aplicación la acertada sentencia de Gutberlet: "Cum natura et corpora sint obiectum stabile humanæ occupationis et observationis, philosophiam naturalem aliquis putaret esse partem facilliman metaphysicæ specialis. Revera autem exactius cognoscimus essentiam animæ nostræ et ipsius infiniti, quam internam constitutionem naturæ". Y estas palabras del ilustre filósofo católico alemán no son más que el eco de aquellas otras—sólido y perenne fundamento de humildad filosófica y científica—con que a principios del siglo XII el escolástico Isaac a Stella advertía: "Tria itaque sunt, corpora, anima, Deus. Sed horum me fateor ignorare essentiam minusque, quid sit corpus, quam quid sit anima, et quid anima, quam quid sit Deus, intelligere... Ego autem... certius aliquid philophari queo de Deo quam de anima, et de anima quidem quam de corpore et facilius..." (59).

Ramón PUIGREFAGUT, S. J.

Facultad Filosófica de Sarriá (Barcelona).

compenetración natural de los últimos elementos físicos constitutivos de la materia ponderable ha podido presentarse hasta ahora, sin salir del campo meramente experimental y científico: para lograrlo hay que recurrir a postulados metafísicos que, a juicio de muchos y graves autores, distan de poseer la evidencia e indiscutibilidad propias de los axiomas... ¿Durará mucho la posición expectante del cosmólogo, única que parece prudente y legítima en semejante estado de cosas?... No lo sabemos. Lo cierto es que entretanto, y *siempre en lo futuro*, sea cual sea la solución que se imponga, podrá la Filosofía cristiana seguir demostrando con toda serenidad y firmeza que «nequit ostendi absolute repugnari ut corpora localiter extensa compenetrentur», y afirmar con los Padres y Doctores que los casos maravillosos de compenetración narrados en los Evangelios son *verdaderos milagros*, sólo explicables por la intervención sobrenatural de la virtud de Dios.

(59) Citas tomadas de las *Institutiones Cosmologicæ* del P. H. Schaaf, p. 6.