

**UNIVERSIDAD DE SALAMANCA**

---

# **DISCURSO**

**PARA LA SOLEMNE APERTURA DEL CURSO  
ACADÉMICO DE 1935 A 1936**

**POR EL PROFESOR**

**DR. J. BALTÁ ELIAS**

**Catedrático de la Facultad  
de Ciencias.**



**SALAMANCA**

**Imprenta y Librería de Hijos de Francisco Nájiz Izquierdo.  
Ramos del Manzano, 42, y Rúa, 25.**

**1935**

## La Concepción del Mundo Físico en la Ciencia Actual.

**"Quoniam menti humanae nulla corporum  
vel qualitatum corporearum est innata cog-  
nitio; omnia quae ad corpora pertinent observa-  
tionibus vel experimentis addiscenda sunt".**

**(Petrus van MUSSCHENBROEK  
Introductio ad Philosophiam Naturalem. 1742).**



**Excmo. Señor, Señoras, distinguidos Colegas,  
Estudiantes todos.**

**S**EAN mis primeras frases una súplica a vuestra benevolencia, que bien la ha de menester el que tiene el honor de dirigiros la palabra en estos momentos solemnes, en que por vez primera, y por imposición de un deber reglamentario, inmerecidamente ocupo la tribuna de esta famosa Universidad, por la que han desfilado tan ilustres antecesores, cuyo autorizado verbo parece aún resonar bajo estas venerables bóvedas.

Actos de la índole del que nos ha congregado aquí, suponen un verdadero sacrificio para los que dedicados a la oscura y callada tarea de laboratorio, carecemos desgraciadamente de las dotes oratorias necesarias para adornar el discurso con la belleza de estilo y galanura de frase, que suavicen en lo posible la aridez de la disciplina a la que nos consagramos.

Como fácilmente comprenderéis, el tema que me propongo desarrollar en este discurso, modesto como mío, ha de relacionarse con los estudios a que vengo dedicando mis actividades desde hace años y para los cuales, siento el natural cariño, ya que como afirmó Leonardo de Vinci "*l'amore di qualunque cosa é figliuolo della cognizione*".

Después de largas horas de meditación, me decidí

por exponeros a grandes rasgos, la evolución de las ideas que sobre la *realidad física* el hombre ha tenido, desde la infancia de la Humanidad, hasta nuestros días, deteniéndonos a contemplar más especialmente, el panorama que ofrece la Física actual, tan revolucionada por los rápidos, profundos e intensos progresos científicos de nuestra época y gracias a los cuales vamos conociendo cada vez más nuestra posición en el Universo, "*suspendidos entre dos infinitos*" como decía Pascal en sus *Pensamientos*.

No se me ocultan las dificultades que encierra tamaña empresa, aumentadas si cabe, por mi deliberado propósito de renunciar al poderoso recurso del formalismo matemático, cuyo uso o abuso (?) ante este culto, aunque (en gran mayoría) no iniciado, auditorio, constituiría lo que Echegaray con su peculiar gracejo, calificó de *crueldad científica* en memorable sesión académica.

Por otra parte, la terminología científica y, sobre todo, la profunda abstracción de las nociones y conceptos que utiliza la Física moderna, constituyen los principales escollos con que tropieza cualquier tentativa de vulgarización; a pesar del desdén que por la Metafísica aparentan tener los físicos actuales, lo cierto es que en sus razonamientos recurren a ficciones que fatalmente recuerdan las más enigmáticas de la Escolástica, de modo tal que, como se ha dicho recientemente, "la nueva Ciencia está reservada a un reducido número de elegidos y resulta ininteligible para la mayoría de los mortales... habiéndose desarrollado misteriosa y exuberantemente como el misticismo en el seno de un claustro".

Todo lo que sabemos del Universo, no constituye más

que dos ciencias realmente distintas: la del mundo inorgánico (en el que la Física y la Química aparecen cada vez más unidas, sin delimitaciones esenciales) y la de la Vida, muchísimo más compleja que la anterior y que, como elemento primitivo, toma el conjunto de propiedades del protoplasma. Como dentro del marco de la Física sólo cabía hasta ahora el estudio de las cuestiones y fenómenos referentes al mundo inorgánico o inerte, para llegar a una concepción del mundo físico, lo más sintética y satisfactoria posible, los horizontes de la Ciencia deben ser ampliados de modo que abarquen no ya la totalidad de la vida corpórea y espiritual, sino también los problemas de orden psíquico, hasta los más elevados que la Etica actualmente plantea.

Es al filósofo a quien incumbe encontrar la respuesta al eterno “¿Por qué?” que la Humanidad, torturada por los problemas del Bien y del Mal, de la Vida y de la Muerte, plantea desde que llega al uso de razón, hasta el instante del supremo tránsito. La labor del hombre de ciencia es mucho menos ambiciosa, más modesta, ya que no tiene que responder a este obsesionante “¿Por qué?”, pero sí al no menos apremiante “¿Cómo?”; contemplando la Naturaleza en su *alta y plena majestad*, considera únicamente los hechos de observación y sobre ellos va edificando la Ciencia, en busca de la *Verdad* o Realidad única, que muy verosímilmente nunca conoceremos sino disimulada bajo formas cambiantes y múltiples; a este propósito el gran matemático Galois escribía pocas horas antes de su prematura muerte: “*La Science est l'oeuvre de l'esprit humain, qui est plutôt destine a étudier qu'a connaître, a chercher qu'a trouver la vérité*”.

Sin embargo, es indudable que el estudio y la inves-

tigación contribuyen desde luego a explicarnos el mundo físico cada vez más satisfactoriamente, descubriéndonos los *leyes* a que obedece, según el pensamiento del famoso físico-matemático Fourier: "*Les causes primordiales ne nous sont pas connues, mais sont assujeties a des lois simples et constantes, que l'on peut decouvrir par l'observation et dont l'étude, est l'objet de la philosophie naturelle*".

He aquí, pues, la labor del hombre de ciencia: investigar y descubrir estas leyes mediante una sistemática rigurosa, aunque la casualidad juegue a veces en ello un importante papel, como con admirable modestia expresó Newton en las siguientes frases, atribuyendo al azar lo que era fruto de su genio: "*No sé lo que los hombres pensarán de mí, pero tengo la impresión de haber sido como un niño que jugando en la playa, tuviera la suerte de encontrarse con una concha más hermosa que la de sus compañeros, mientras que el inmenso Océano de la verdad queda por descubrir*".

Este Océano, este libro de la Naturaleza, continuamente abierto ante nosotros, encierra el magno misterio que si bien el hombre no ha logrado desentrañar por completo, sin embargo no hay duda que cada vez estamos más próximos a él, gracias al formidable impulso de la Física actual, "*cuya virtud creadora (según Cabrera) acaso nunca haya sido superada por la inteligencia humana*".

## BREVE BOSQUEJO HISTORICO DE LA FILOSOFIA NATURAL

**I**NDUDABLEMENTE en los albores de la humanidad, el primer fenómeno natural que hubo de llamar la atención del hombre primitivo, debieron ser los diversos movimientos que continuamente podía observar en los cuerpos (animales, plantas, etc.) que le rodeaban, en la bóveda celeste, etc.; por aquí es donde hay que buscar el origen histórico de las Ciencias Naturales, y efectivamente de ningún otro fenómeno existen desde la más remota antigüedad doctrinas tan completas. A pesar de que los descubrimientos últimamente realizados sobre las primitivas civilizaciones, arrojan bastante luz sobre los conocimientos que los súmeros, babilonios, asirios, egipcios, etc., tenían en materia de religión, historia, matemáticas y astronomía; sin embargo los informes que poseemos acerca de los progresos de las ciencias físicas y naturales en aquellos tiempos, son todavía muy deficientes.

*“Hace unos veinticinco siglos, en las doradas orillas del mar helénico, en donde apenas acababan de extinguirse los últimos ecos del canto de los aedos, algunos filósofos enseñaban ya que la materia mutable (proteiforme) está formada por partículas indestructibles en movimiento incesante, átomos que el azar o el destino*

*habrían agrupado en el transcurso del tiempo, según las formas o cuerpos que nos son familiares*". Este bello pasaje con que se inicia la clásica y todavía lozana obra de Perrin, "*Les Atomes*", recuerda los balbucientes comienzos de la teoría atómica, cimentada en bases meramente especulativas, al contrario de la atomística de nuestros días, cuyo fundamento directo reposa sobre medidas y observaciones cuantitativas. Ciertamente que hasta ahora ningún ojo humano ha visto ni puede ver una molécula o átomo aislados; esto es completamente imposible, no tanto porque las limitaciones en nuestra capacidad para ver objetos pequeñísimos estén impuestas por imperfecciones de los instrumentos de observación, sino por la naturaleza misma del órgano del más preciado de nuestros sentidos.

Aristóteles de Estagira, maestro de Alejandro Magno, considerado como el principal representante de las Ciencias Naturales en Grecia, sostenía que la experimentación debe ser la única fuente de aquellas ciencias; sin embargo, tal experimentación quedó reducida en él, casi exclusivamente, a un encadenamiento de lógicas deducciones. Al rechazar Aristóteles las teorías de la escuela jónica, adoptó la debida a Empedocles, según la cual, *tierra, agua, aire y fuego*, eran las "*cuatro raíces genealógicas*" de todos los cuerpos terrestres.

Tales ideas, más o menos modificadas, debían perdurar cerca de dos millares de años, y cuando las tinieblas de la Edad Media cayeron sobre Europa, en el silencio de las bibliotecas monásticas, la filosofía aristotélica era la única luz que seguía guiando a los hombres estudiosos y la sola explicada por los profesores de la Universidad de París, que con la de Bolonia y la nues-

tra, sabido es que eran las de más renombre en aquella época.

Esta concepción escolástica de la Naturaleza, debía ser revolucionada por los nuevos puntos de vista a los que van ligados los nombres de Copernico, Galileo, Kepler y Newton, defensores del heliocentrismo; con todo, es curioso observar cómo los adeptos de la nueva doctrina ponían todo su empeño en probar que las ideas copernicanas no introducían otra novedad que su carácter físico-matemático, pero sin pretender cambiar en lo más mínimo la *concepción filosófica* del mundo.

Basta recordar a este respecto el famoso proceso de Galileo; las presiones que se ejercieron sobre su clarividente pensamiento se encaminaban a conseguir, más que abjurase de sus ideas, a que confesase que la doctrina del movimiento de la Tierra sólo era válida como ficción matemática, pero incorrecta en cuanto a su contenido filosófico, pues la *verdad* estaba contenida en la concepción geocéntrica.

Por lo visto, esta actitud de la Inquisición es algo consubstancial con el espíritu humano, pues bajo ligeras variantes, se ha reproducido en nuestros días con motivo de las apasionadas discusiones a que ha dado lugar la teoría de la relatividad, según veremos más adelante.

En los comienzos de la investigación experimental, hubo necesidad de clasificar en distintos grupos los fenómenos análogos, constituyendo capítulos o dominios totalmente independientes al principio; puesto que el origen de toda experiencia está basado en las sensaciones que experimentamos, era perfectamente natural y lógica la subdivisión de la ciencia de acuerdo con nues-



tros órganos sensoriales (fuentes del conocimiento); así nacieron la Mecánica, la Acústica, la Óptica y la Termodinámica.

La Mecánica florecía ya en las civilizaciones egipcia y griega, probablemente a causa de la abundancia de información que ofrece la vida cotidiana; en cambio, los otros capítulos en que la experiencia es menos inmediata, se desarrollaron más lentamente y con mayor razón el estudio de los fenómenos eléctricos y magnéticos (que en el siglo XVI puso de moda Gilbert, médico de la Reina Isabel de Inglaterra), pues no son accesibles a nuestros sentidos, sino por el intermedio de las acciones mecánicas, luminosas, caloríficas o químicas a que dan lugar.

La independencia, aparente al menos, de aquellos dominios, hizo que en cada uno de ellos se desarrollaran teorías apropiadas para explicar diferentes grupos de hechos, introduciéndose nuevas nociones, tales como el *fluido luminoso* de Newton y en general los *fluidos imponderables* así llamados todavía hasta principios de este siglo.

La interpretación de las sensaciones sonoras mediante movimientos vibratorios permitió enlazar la Acústica con la Mecánica, ofreciéndose así uno de los primeros ejemplos de penetración recíproca entre dos de aquellas disciplinas.

La síntesis tan felizmente así iniciada, culminó en el *momento estelar* (como diría Zweig) de la publicación, en 1687, de los *Principia*, de Newton, y del descubrimiento de las leyes de la gravitación universal, e hizo concebir las más halagüeñas esperanzas de poder extender a toda la Física la explicación mecánica. Esta creen-

cia arraigó profundamente en el mundo científico a partir del siglo XVII, según pone de manifiesto el siguiente párrafo que entresacamos del "Traité de la Lumière", de Huygens (publicado en Leyden en 1690): "*Dans la vraie philosophie on conçoit la cause de tous les effets naturels par des raisons de mécanique. C'est ce qu'il faut faire à mon avis, ou bien renoncer à toute espérance de jamais rien comprendre dans la physique*".

Al propio Huygens se debe la explicación de los fenómenos luminosos, mediante la hipótesis del *éter*, este medio sutil e imponderable que a modo de inmenso Océano llenaría todo el Universo desde los insondables espacios interestelares hasta los atómicos e intermoleculares. Aunque Newton, fiel a su divisa "*Hypotheses non fingo*" nunca aceptó tal punto de vista, la creencia en un *éter* es de abolengo esencialmente británico y procede de la repugnancia que nuestro espíritu siente por la idea de una *acción a distancia* sin un medio que sirva para transmitir, no sólo las fuerzas de gravitación sino las luminosas, electrostáticas, electromagnéticas y en general todas las formas de *energía radiante*.

Durante el primer tercio del siglo XIX se inicia la difusión del sistema métrico decimal (no sin infinidad de peripecias y contratiempos de orden político), Lavoisier y Laplace fijan las nociones de temperatura y cantidad de calor, Fourier desarrolla su teoría matemática del calor y Carnot publica en 1824 su célebre memoria sobre la *potencia motriz del fuego*, fundando un nuevo capítulo de la Física, la *Termodinámica* que tan enorme desarrollo debía adquirir gracias a las importantes contribuciones de Clausius y Joule primero y de Gibbs y Helmholtz posteriormente.

Tal disciplina, cuyo contenido alcanza hasta los más remotos confines de las ciencias naturales, pronto constituyó un conjunto autónomo e independiente de la Mecánica, formándose el cuerpo de doctrina denominado *Energética*; la lucha sostenida por ésta contra el atomismo, ha perdurado hasta nuestros días habiendo sido defendida por hombres de ciencia contemporáneos, tan ilustres como Mach, Ostwald y Duhem.

En realidad, las teorías mecanistas han dominado en Física hasta bien avanzada la segunda mitad del siglo pasado; la teoría cinética, en la que el calor se interpreta como un movimiento más o menos rápido de partículas, la explicación de las propiedades más complejas de los flúidos por la agitación molecular, etc., son otros tantos éxitos conseguidos por la Mecánica. Esta había conquistado el Calor lo mismo que antes lo hiciera con la Acústica, la Astronomía, la Capilaridad, etcétera; nadie dudaba, hace medio siglo, que lo mismo ocurriría con la Óptica, el Magnetismo y la Electricidad.

La Física contemporánea se ha encargado de destruir esta creencia, revelándonos, según veremos más adelante, que estas disciplinas eran imposibles de explicar mediante la Mecánica racional.

Al traducir matemáticamente Maxwell las ideas de Faraday sobre el electromagnetismo predijo la existencia de ondas electro-magnéticas, forma más general de la energía radiante, de la cual la luz no es más que un caso particular; la confirmación experimental por Hertz, de esta visión profética del sabio inglés, marca otro *momento estelar* en la Historia de la Ciencia.

Puesta ya de manifiesto la íntima compenetración entre las diversas ramas de la Física, se vió asimismo

que el enunciado de sus leyes adquiriría un carácter más científico y de mayor generalidad prescindiendo de nuestros sentidos.

Naturalmente ello implica un agrupamiento de las materias objeto de estudio, totalmente distinto de aquellos capítulos de la Física clásica y en el que nuestras sensaciones ocupan un lugar enteramente secundario; así, por ejemplo, la radiación calorífica tal como la emitida por una estufa, que antes se estudiaba en la teoría del calor, actualmente se trata como un problema análogo al de la radiación de una antena de radiodifusión.

El eliminar las sensaciones específicas de las nociones fundamentales físicas, lleva evidentemente aparejado la sustitución de nuestros órganos sensoriales por apropiados instrumentos de medida; la placa fotográfica, reemplaza al ojo; la membrana vibrante, al oído; el termómetro, a la piel, etc. Además, el empleo de los aparatos registradores (cuya sensibilidad y exactitud son siempre susceptibles de mejora) ofrece la enorme ventaja de hacer independientes las observaciones de las causas de error subjetivas.

Alentada por los éxitos conseguidos con tan poderosos medios, la investigación ha avanzado prodigiosamente en la dirección marcada por el aforismo latino *divide et impera*; a la distinción entre el fenómeno observado y el instrumento de medida para su estudio, siguió la que se ha llamado *Física del discontinuo*. La existencia de los átomos y moléculas ha dejado de ser una hipótesis más o menos verosímil para convertirse en una realidad tangible, gracias a la cual, no sólo se cuentan, miden y pesan, sino que se ha penetrado en la estructura íntima de los mismos, llegándose a la conclusión

de que es la electricidad el último y más simple elemento constitutivo de la materia. De un modo análogo, aunque no tan palpablemente, multitud de fenómenos, y de modo especial aquellos en que el átomo desempeña el principal papel, sólo reciben satisfactoria explicación, admitiendo una constitución discreta de la energía, si bien el misterio que envuelve a los *quanta* sigue impenetrable a pesar de los esfuerzos hechos para conseguir una pintura mental intuitiva de estos átomos de energía.

Los últimos seis lustros señalan una etapa de actividad no igualada en la Historia de la Física, acusándose por una serie de importantísimos descubrimientos que han ampliado considerablemente nuestros conocimientos sobre la naturaleza del átomo y las acciones mutuas entre materia y radiación; en los progresos conseguidos han ejercido una influencia decisiva, tres descubrimientos fundamentales, o sean los rayos Röntgen, la radiactividad y el electrón negativo o *negatón*.

Dentro de la hipótesis de la continuidad (que culminó en la famosa teoría electromagnética debida al genio de Maxwell) parecía haberse alcanzado un grado de perfección difícil de superar, gracias a un conjunto armónico de leyes y ecuaciones diferenciales, estructuradas lógicamente y coherentemente; la solución de éstas representaba correctamente todos los resultados de la Mecánica, Electromagnetismo y Óptica, conocidos hasta entonces.

Al descubrirse el electrón por J. J. Thomson (cuya realidad objetiva, prevista ya por Helmholtz, queda fuera de toda duda después de las ya clásicas experiencias de Millikan), se intentó aplicarle aquellas ecuaciones,

tratando con ello de explicar la misteriosa estabilidad del átomo de electricidad negativa, pero hoy sabemos que tales ecuaciones son aplicables tan sólo a conjuntos de gran número de átomos y electrones, para los que desde el punto de vista macroscópico proporcionan una satisfactoria interpretación, pero son incapaces de explicar lo que ocurre en el interior del átomo; en una palabra, para éste no rigen las leyes de la continuidad y por lo tanto, el genuino instrumento matemático de la Física teórica, o sean las ecuaciones diferenciales, no parecen aptas para la descripción de los fenómenos intraatómicos.

¿Quiére esto decir que las leyes físicas pierden todo su valor en estos dominios? De ningún modo, antes al contrario, siguen desempeñando importantísimo papel, habiendo sido Bohr el primero en establecer, mediante su *principio de correspondencia*, que las leyes clásicas son el límite de las válidas para los fenómenos intraatómicos, y nada parece oponerse a la esperanza de que algún día se consigan traducir por completo las leyes del mundo físico en las ecuaciones que rigen el microcosmos. Estas ecuaciones proporcionarán entonces, para cualquier instante de la Naturaleza escogido como punto de partida, las variaciones de estado sufridas por la misma y por integración, todos los estados para el futuro, es decir, una imagen tan completa como satisfactoria por su armonía, de la evolución del Universo físico.

A través de esta rápida ojeada, puede vislumbrarse que la historia de la Física es asimilable a una serie continuada de aproximaciones que se suceden corrigiéndose mutuamente, pero siempre dentro de un *espíritu conservador*, algo por el estilo de las crisis de crecimiento del

adolescente, y de las cuales la ciencia sale cada vez más entera y vigorosa; según afortunada frase de Palacios "*La ciencia no ha dado pasos en balde; si es preciso modificar sus principios, no es porque sean falsos, sino más bien por que conteniendo la verdad, no contienen toda la verdad*".

Dos tendencias se manifiestan actualmente dentro del marco de la Física, alrededor de las cuales gira todo el movimiento científico contemporáneo; una, que ha forjado una síntesis geométrica de los fenómenos (habiendo llegado a sentar las bases de una novísima concepción del Universo) y otra que postula el atomismo de la energía.

Difícil es prejuizar cuál de las dos teorías está destinada a ejercer mayor influencia en la Física del porvenir; dada la importancia de ambas, pues las dos han obligado a modificar profundamente principios considerados como dogmáticos en la ciencia clásica, permitidme que me extienda, si no fatigo vuestra cortés atención, sobre esta geometrización de la Física a la que se llama *teoría de la relatividad* y sobre las *teorías cuánticas*, hasta su concreción en la actual *Mecánica ondulatoria*, haciendo hincapié en los transcendentales resultados gracias a ellos obtenidos, en Física atómica.

## FISICA RELATIVISTA

**L**OS principios de la Mecánica clásica, tal como fueron establecidos por Galileo y Newton, son puramente experimentales, resultado de la observación, la cual, unida a un espíritu de crítica, ha conducido, gracias a una potente inducción, a establecer un conjunto de *axiomas o postulados* que no son directamente comprobables, sino por sus consecuencias.

En un espacio forjado a base de nuestras sensaciones musculares y visuales y dotado *a priori* (para mayor simplicidad) de caracteres euclideanos, y en un tiempo al que se le asignaba implícitamente caracteres absolutos pero mal analizados, las nociones abstractas pero profundamente antropomórficas de fuerza y masa, permitieron construir una Mecánica llamada Racional (pues introducía ideas reputadas como simples, aunque realmente sólo nos sean familiares) mediante los métodos propios del razonamiento matemático, hasta sus últimas consecuencias.

Si éstas están de acuerdo con la realidad, el edificio de la Mecánica será perfecto; pero si en alguna de ellas hubiese contradicción manifiesta con la experiencia, procedería una revisión de los postulados, porque en el razonamiento que de ellos ha partido no cabe error, ya

que está estructurado con todo el rigor matemático y según las reglas de la lógica.

Una revisión de esta índole fué la que provocaron las famosas experiencias de Michelson y Morley, por las que se puso de manifiesto de modo indudable la *isotropía de la propagación de la luz*; es decir, el sorprendente resultado de la constancia de su velocidad, independientemente de la que se halla animada el foco que la produce; quedaba así demostrada la imposibilidad de medir la velocidad *absoluta* de la Tierra en el espacio, que era el objeto principal con que fueron planeadas tales experiencias.

¿Cómo explicarnos que la propagación de un mismo rayo luminoso sea idéntica para un observador que se aleja de él y para otro que va a su encuentro?; aunque ello sea un hecho innegable, demostrado por la experiencia, no por eso deja de ser inconcebible a nuestra mentalidad ancestral, siéndonos imposible representarnos el mecanismo, la naturaleza íntima de esta propagación; el misterio que ella encierra nos escapa por completo.

Hasta principios de este siglo había pasado inadvertida la contradicción existente entre la Mecánica clásica y la Teoría electromagnética. Como hace notar Langevin, hubiera podido ya ponerse de manifiesto esta contradicción desde el punto de vista teórico, independientemente de toda experiencia; en efecto, las leyes de la mecánica newtoniana son idénticas para observadores en movimiento mutuo de traslación rectilíneo y uniforme (transformación de Galileo), mientras que Lorentz demostró que las ecuaciones de Maxwell, referentes a las propiedades electromagnéticas de los cuerpos en reposo,

se conservan para un cambio de variables diferente (transformación de Lorentz). Físicamente, esta transformación significa que las dimensiones lineales de un cuerpo, así como los tiempos transcurridos, dependen de la relación entre la velocidad de dicho cuerpo y una cierta velocidad límite, precisamente igual a la de la luz en el vacío; sin embargo, el invariante de Lorentz (y más ampliamente el invariante general termodinámico) ha conservado un carácter relativamente abstracto por ser de difícil comprobación experimental.

Convenía, pues, hacer desaparecer a todo trance el indicado antagonismo entre ambas doctrinas, para poderse servir simultáneamente de los dos grupos de leyes respectivas; dadas las dificultades casi insuperables que ello ofrece, lo más verosímil es que ambas doctrinas se opongan irreductiblemente en sus propios fundamentos, y como la experiencia demuestra la exactitud de las leyes del electromagnetismo, se impone la conclusión de que es la mecánica newtoniana la que falla.

Pero hemos dicho que esta ciencia había sido fundamentada según las reglas de la lógica y con todo el rigor matemático, de modo que si convenía renovarla había que comenzar por sus cimientos mismos, es decir, el *espacio absoluto* y el *tiempo absoluto*, conceptos que nos son tan familiares desde nuestra infancia y que el vulgo cree tan intuitivos.

Esta fué la obra del genial físico contemporáneo Alberto Einstein, quien desarrollando las ideas ya esbozadas por su precursor el físico-filósofo vienés Mach, tuvo la audacia de abandonar las nociones primordiales de *longitud*, *de tiempo* y *de masa* (reconociendo que en el fondo son puramente arbitrarias) sentando los funda-

mentos de la famosa *teoría de la relatividad* que tan apasionadas discusiones debía provocar en el mundo científico y que ha gozado de una popularidad no igualada en los anales de la Ciencia, sin duda por la forma algo pintoresca que le han dado muchos de sus divulgadores y más ardientes defensores.

Galileo y Newton consideraban como *observable* el espacio en el cual vemos la materia, medimos distancias, etcétera, asignándole el carácter de *absoluto*, lo mismo que al tiempo *universal*, y por tanto la *simultaneidad* de dos hechos o acontecimientos estaba perfectamente definida. Newton escribía textualmente en su célebre escolio: “*el espacio absoluto, independiente por propia naturaleza de toda relación con objetos exteriores, permanece siempre inmóvil e inalterable*”; como se vé, este espacio abstracto es el de la geometría griega, isótropo y homogéneo, bien distinto del que realmente la naturaleza ofrece. “*El tiempo absoluto verdadero y matemático considerado sin relación con nada exterior, fluye uniformemente por propia naturaleza*” indicando con esto que el tiempo es el mismo para todo el mundo.

Entre espacio y tiempo no descubrieron enlace o relación alguna, constituyendo dos individualidades bien distintas; esta separación entre ambas nociones, inspirada por nuestros órganos sensoriales, tiene su *única* justificación en el hecho de que las velocidades habituales son muy pequeñas en comparación con la de la luz.

En cambio, en la concepción relativista el espacio y el tiempo ni son absolutos ni independientes, sino que están íntimamente ligados, constituyendo un todo o *continuo espacio-temporal* llamado por Minkowski *Universo de cuatro dimensiones*. Cada observador descompone

este Universo en *su* espacio y *su* tiempo (tiempo local), y, por tanto, dos observadores en movimiento *relativo* el uno respecto al otro, harán descomposiciones distintas: ello equivale a decir que, en términos generales, todos los fenómenos físicos dependientes del punto de vista del observador, tienen un carácter meramente *subjetivo*.

Jeans afirma resueltamente que "*el espacio nada significa fuera de nuestra percepción de los objetos y el tiempo no tiene significación alguna fuera de nuestra experiencia de los acontecimientos*".

Uno y otro concepto vendrían a ser ficciones de nuestro espíritu, a manera de extensiones (que nada autoriza) de conceptos subjetivos cómodos que nos permiten comprender y describir respectivamente, la disposición aparente de los objetos y la de los acontecimientos.

El contraste es vivísimo con las concepciones que dominaban en Metafísica; Kant afirma que "*la noción de espacio, es una noción necesaria a priori, pero no puedo imaginar el espacio aniquilado o anulado, aunque sí vacío de objetos*". En pocas palabras, para Kant, lo mismo que para Descartes y Newton, los objetos no pueden existir sin espacio, y en cambio, para Einstein, el espacio no puede existir sin objetos.

Todo el mundo sabe que dos fenómenos no coincidentes en el tiempo pueden muy bien coincidir en el espacio *para ciertos observadores* y para otros nó; así, por ejemplo, si alumbramos los focos de este Paraninfo con un cierto número de horas de intervalo, este hecho o acontecimiento tendrá lugar para nosotros en el mismo punto del espacio, mientras que un observador marciano lo situaría a muchos miles de kilómetros. Pues bien,

*simétricamente* hoy día se admite que aun cuando dos fenómenos no coincidan en el espacio, pueden coincidir en el tiempo para ciertos observadores y para otros nó; si esta segunda propiedad ha pasado tanto tiempo inadvertida y choca tanto con nuestros hábitos mentales, es porque la enorme velocidad de la luz constituye el instrumento imprescindible para las medidas de espacio y de tiempo.

Según Poincaré (“La Science et la Hypothese”) “afirmar que dos *duraciones* o tiempos son iguales es una expresión sin sentido alguno. No solamente no tenemos la intuición directa de la igualdad de dos tiempos, sino que tampoco tenemos la de la simultaneidad de dos acontecimientos que se produzcan en dos puntos o sistemas (teatros por ejemplo) distintos”.

Cierto que el tiempo transcurre o pasa de la misma manera para todos los hombres que están en reposo los unos respecto a los otros y aun para los que se mueven con la *lentitud* de nuestros más rápidos vehículos. Por el contrario, si consideráramos dos personas, una inmóvil y la otra animada de una gran velocidad, por ejemplo cien mil veces mayor que la de un obús, sería realmente temerario afirmar en redondo que el tiempo transcurriría lo mismo para ambos (esta es, sin embargo, la tesis que sostienen los antirrelativistas); y es que, como muy juiciosamente hace notar Perrin, “*toda noción acaba por perder su utilidad y hasta su significación, cuando nos alejamos de las circunstancias experimentales para las que ha sido creada*”.

Desde luego no nos referimos aquí para nada al *tiempo psicológico* ni a la *duración bergsoniana*, que no es más que un caso particular del primero; para Becque-

rel, "el tiempo vivido es absolutamente idéntico con lo que los físicos llaman el *tiempo propio* de una porción de materia; entre dos acontecimientos determinados existen una infinidad de tiempos propios imaginables, todos igualmente *reales* según el sentido bergsoniano".

En definitiva, el espacio absoluto, el tiempo absoluto y aun la misma geometría, no son condiciones que en Mecánica se impongan *a priori*, y por lo tanto, no preexisten a ella del mismo modo que nuestras frases y giros, nuestra lengua en suma, no preexiste a las oraciones que expresamos con su auxilio.

La principal dificultad con que ha tropezado y tropieza la difusión del agnosticismo relativista, reside en esa especie de inercia del intelecto humano, en la manifiesta repugnancia con que nuestra mente se resiste a abandonar las ideas adquiridas desde la niñez y en el asombro que nos causan ciertas consecuencias, que por su rareza, chocan contra esta falacia que llamamos *sentido común*; vamos a citar algunas de ellas.

Sabido es que en nuestra vida, adjudicamos sin darnos cuenta, una situación privilegiada a la métrica griega, lo cual está justificado porque nuestros patrones de longitud y nuestros sólidos nos dan relaciones euclideas; como el manejo cotidiano de tales objetos nutre y fabrica nuestra intuición espacial, ello explica el que en pequeñas extensiones rija la geometría de Euclides. Pero considerado en *grande*, en proporciones cada vez más vastas, el Universo cuadrimensional es cada vez menos euclideano, o en términos científicos, tiene *curvatura*; ello equivale a decir, que la representación del Universo es imposible en un mapa a tres dimensiones, así como no puede hacerse una carta o proyección pla-

na de la Tierra, pues las leyes de la geometría plana no son aplicables a la superficie curva de una esfera o elipsoide.

Esta curvatura la pone de manifiesto la gravitación universal, traduciéndose por la existencia de una fuerza de inercia que nos dá la ilusión de una fuerza atractiva, emanando de la materia y actuando a distancia sobre las demás.

La gravitación resulta, pues, de las modificaciones geométricas del Universo en la proximidad de los cuerpos materiales. Las acciones electromagnéticas no tienen este carácter, estando situadas en el Universo gravitacional, como a su vez lo eran las de la gravitación en el espacio euclídeo absoluto de la mecánica newtoniana, es decir, de un modo totalmente independiente de las propiedades métricas del espacio y del tiempo circundantes; hay en ello, por lo tanto, una superposición de acciones, una *dualidad* tan chocante, como la de la gravitación y la inercia en la mecánica clásica.

Esta distinción entre los efectos gravitacionales y los electromagnéticos en la relatividad generalizada, suscitó los esfuerzos de investigadores de la talla de Weyl y Eddington para tratar de conseguir la *unificación* de ambos campos; finalmente, después de una serie de años de reflexión y arduo trabajo, Einstein, por caminos totalmente diferentes, si no opuestos, consiguió dar cima a su *teoría del campo unitario*.

La masa relativista no es invariable y característica de la materia como en la mecánica clásica, sino que varía con la velocidad de que está animada, aumentando con ella, y lo que sorprende más, es equivalente a una formidable cantidad de energía, pues se obtiene multi-

plicando el valor de la masa por el cuadrado de la velocidad de la luz.

En esta concepción, el enigma de los pesos atómicos fraccionarios, no explicables por isotopia, deja de serlo si se tienen en cuenta las pérdidas de energía sufridas al integrarse el átomo, equivalente a una pérdida de masa que es precisamente la que corresponde a aquellas fracciones de peso atómico (*índice de ligadura*); así ha resucitado la antigua teoría de Prout, que vuelve a gozar de gran prestigio por el fondo de verdad que contenía. De un modo análogo se explica la evolución estelar, en virtud de la cual, las estrellas gigantes pasan a enanas por efecto de las pérdidas de masa, equivalentes a las pérdidas de energía interatómica que sufren las estrellas por radiación.

Finalmente, una de las conclusiones relativistas más transcendentales, es que el Universo debe ser *finito pero ilimitado*, y, por tanto, finita la cantidad de materia contenida en él. Einstein, Eddington, Jeans, de Sitter, Friedman, Lemaitre y otros ilustres físicos y astrónomos, han atacado audazmente la cuestión de determinar la forma del Universo, independientemente de las irregularidades locales debidas a la materia, es decir, a enjambres de estrellas o nebulosas; el *problema cosmológico*, que así se plantea, tiene como finalidad primordial explicar el vertiginoso alejamiento progresivo de las nebulosas extragalácticas, que constituye lo que se ha llamado la *expansión del Universo*.

No puede negarse lo fascinador de esta tentativa para llevar la investigación humana desde nuestro minúsculo observatorio terrestre hasta las regiones sidéreas, tan fabulosamente alejadas de nosotros, que la luz

emplea decenas de millones de años en llegarnos de allí, pero hay que ser muy cauto y prudente en la interpretación de los resultados obtenidos tan propicios a las elucubraciones de la más desbordada fantasía.

Contra lo que pudiera parecer a primera vista, estas paradojas relativistas, lejos de constituir una complicación de la Ciencia, revelan una admirable armonía, una maravillosa síntesis de las leyes naturales; sin embargo, no hay que mirar con desdén a la Mecánica clásica (como estuvo de moda años atrás) a cuyo armonioso conjunto se deben, en último término, los admirables progresos de la Técnica que en ella se ha inspirado.

La Mecánica racional constituye una primera aproximación más que suficiente en la práctica y aun satisfactoria para la mayoría de problemas físicos y astronómicos; así, pues, debe concebirse la teoría de la relatividad, no en oposición con la mecánica de Galileo y Newton, sino como una generalización o refinamiento de esta última, impuesta por experiencias más delicadas que no han podido desmentirse a pesar de las dudas que parecían surgir de las últimas tentativas de Miller y de los argumentos poco convincentes de Carvallo, fundados en estas últimas.

A pesar de que la doctrina relativista, por satisfacer una necesidad sentida imperiosamente, se ha impuesto universalmente, todavía existen espíritus críticos para los que tal doctrina no pasa de ser una ficción matemática, dudando de su *veracidad*.

En realidad, no hay por qué sorprenderse de tal actitud, debida probablemente a esa inercia mental de que antes hablábamos y en virtud de la cual ejercemos una severa crítica sobre toda innovación (cuya importancia

está en proporción de los progresos conseguidos) que contrasta con la facilidad con que aceptamos sin titubear las nociones que hemos aprendido en nuestra infancia.

No tenemos más remedio que trabajar con las *herramientas* a que estamos acostumbrados; es decir, con nuestra preparación intelectual constituida por la ciencia de historia bien reciente y teniendo por delante la ingente tarea de interpretar todo un mundo de hechos nuevos por completo, especialmente en lo que se refiere a la física del átomo.

De aquí la necesidad de vencer esa inadaptabilidad ingénita de nuestro intelecto, forjando nuevos instrumentos de trabajo, del mismo modo que nuestros antepasados crearon las nociones de las que tenemos el hábito de servirnos; éstas nos parecen concretas y fáciles, simplemente porque nos son familiares, pero esto, a menudo, no es más que una ilusión mental, pues sometidas a un escrupuloso análisis, no resultan ser, ni con mucho, tan inmediatamente intuitivas .

La historia de la Ciencia ofrece de ello multitud de ejemplos; por no citar más que uno, nos referiremos a la evolución de la idea de la forma de la Tierra. El hombre primitivo (y aun el de las tribus salvajes existentes en la actualidad) por el testimonio de sus sentidos, imaginaría el mundo que habitamos como un disco plano, hasta que el descubrimiento de América y los viajes de circunnavegación le dieron una idea más aproximada a la realidad de la verdadera forma de nuestro planeta. Nadie había visto el borde del mismo, pero el *fin del mundo* adquirió caracteres de realidad a través de la leyenda y en la fantasía del hombre; los viajes de Colón y Magallanes desvanecieron para siempre tal ensueño, pe-

ro no por eso renunció la Humanidad a aquella concepción que hoy día perdura todavía, a pesar de haberse explorado la casi totalidad de la superficie terrestre. \*

La doctrina relativista ¿es verdadera? La contestación a esta pregunta equivaldría a suscitar enojosas controversias, pues la verdad científica, cuando se refiere a cosas de la Naturaleza, es algo realmente difícil de definir.

Una teoría se comprueba por sus consecuencias, pero está siempre sujeta a revisión y a merced de la experiencia; sin embargo, la confianza que inspira crece extraordinariamente cuando su fecundidad y poder de explicación van acompañados del alto valor heurístico que posee la de la relatividad. El avance del perihelio de Mercurio, la pesantez de los rayos luminosos y el corrimiento de las rayas espectrales hacia el rojo causado por el campo gravitatorio del Sol, son otras tantas previsiones teóricas que la experiencia ha comprobado repetidas veces.

No hay que ocultar que los resultados obtenidos son del orden de magnitud de los errores de medida, y, sin embargo, a pesar de la imperfección de estas *pruebas directas*, la teoría de la relatividad está hoy aceptada por todo el mundo científico, a causa de su extraordinario poder de síntesis, que ha realizado el prodigio de englobar la totalidad de la Física.

## ATOMISMO DE LA ENERGIA MECANICA ONDULATORIA

**E**L antagonismo entre las ideas de continuidad y discontinuidad es tan antiguo como la misma ciencia; ya hemos indicado que se planteó en los albores de la civilización helénica y se ha recrudecido a intervalos en los dos últimos siglos, durante los cuales, el desarrollo de las teorías de la Física ha pasado por alternativas de evolución rápida y de ritmo más lento.

Newton, en la segunda mitad del siglo XVII, para explicar los fenómenos luminosos conocidos en su época, ideó la teoría *emisiva*, suponiendo que los cuerpos luminosos lanzan chorros de partículas materiales sometidas a la acción de fuerzas que dimanan del medio en que se efectúa la propagación. Casi por la misma época, Huygens daba a conocer la teoría *ondulatoria*, que también explicaba satisfactoriamente aquellos fenómenos por vibraciones del éter, pero que al principio no logró gran aceptación entre los físicos de entonces hasta que el estudio de los fenómenos de interferencia y de difracción por Young y Fresnel, zanjaron definitivamente la cuestión a favor de la teoría ondulatoria.

Durante el siglo XIX, el adagio linneano *Natura non facit saltus* conservó el carácter de dogma científico (lo encontramos como pórtico del "Origen de las Especies")

de Darwin, y el propio Lord Kelvin lo acepta tácitamente en sus obras). Los estudios teóricos de Maxwell, cristalizados en su famoso doble sistema de ecuaciones diferenciales parciales (que a Boltzmann le parecían obtenidas por un Dios "*Is es ein Gott der diese Zeichen schrieb*"?) demostraron, que lo que propagan las ondas luminosas invocadas por Fresnel, no son vibraciones elásticas análogas a las que tienen lugar en un medio material, sino una fuerza eléctrica y otra magnética concomitantes y variables con el tiempo, es decir, lo que se llama un *campo electromagnético periódico*.

Según esta concepción (teoría electro-magnética de la luz) la óptica aparece como una rama del electromagnetismo, constituyendo la Electrónica; las célebres investigaciones experimentales de Hertz, al revelar la posibilidad de producir ondas enteramente análogas a las luminosas por medios puramente eléctricos, constituyen una brillante confirmación del pensamiento del genial Maxwell, y la doctrina ondulatoria pareció tan sólidamente establecida, que de ella dijo Hertz, con afortunada frase, "*que humanamente hablando era la misma certidumbre*".

Posteriormente, el gran físico holandés Lorentz contribuyó poderosamente al progreso de la teoría electromagnética, precisando, gracias a la introducción de los electrones, la íntima relación existente entre la materia y la radiación; en una palabra, en las postrimerías del siglo pasado, todo hacía esperar la inminente realización de una vasta síntesis del conjunto de fenómenos mecánicos, ópticos y eléctricos.

Sin embargo, al iniciarse este siglo, el ilustre Lord

Kelvin presagió la aparición de dos negras nubes amenazadoras en el horizonte de la Ciencia. Una de estas nubes simbolizaba la imposibilidad de revelar ningún movimiento de traslación con respecto al éter en el que se admitía se propagaban las ondas electromagnéticas; ya hemos visto el profundo trastorno que en la Ciencia ha acarreado la teoría de la relatividad. La otra nube se refería a las dificultades casi insuperables que ofrecía la interpretación de los resultados experimentales relativos a la emisión luminosa del llamado *cuerpo negro*, y sobre todo al fracaso de los métodos de la Mecánica estadística para explicar la repartición de la energía entre las diversas longitudes de ondas de la radiación.

Un genial físico alemán, Max Planck, fué el primero que en 1900 comprendió que era preciso renunciar a las bases en que hasta entonces se apoyaba la Ciencia clásica, y consiguió obtener una ley de repartición de la energía radiante conforme con la experiencia, suponiendo que aquélla posee una estructura no continua, sino granular, *atómica*, pero con la diferencia esencial respecto los átomos de electricidad o de materia de la misma especie, que la magnitud de estos gránulos o *cuantos* de energía es proporcional a la frecuencia de la radiación, siendo el factor de proporcionalidad una constante universal llamada *cuanto de acción* que el propio Planck determinó con gran exactitud.

A pesar del éxito conseguido por la teoría de los *quanta*, las ideas revolucionarias de Planck no fueron tomadas al principio en gran consideración por parecer poco sólidamente fundamentadas, considerándose más bien como empíricas. El primero que apreció su justo

valor fué el propio Einstein, logrando dar con su auxilio satisfactoria explicación del fenómeno *fotoeléctrico*, o sea la emisión de electrones por los cuerpos heridos por la luz; el hecho de que en este fenómeno y en general en todos los referentes a acciones mutuas entre la materia y la radiación (emisión, absorción, etc.,) interviniese, no la *cantidad* sino la *calidad* o color de la luz (longitud de onda) indujo a Einstein a suponer que *la luz está repartida de modo discontinuo en el espacio* y constituida por *fotones* o cuantos de luz, análogos a los corpúsculos de la teoría de Newton, resucitando así bajo otra forma la doctrina del sabio inglés que parecía enterrada definitivamente.

¿Cuál es la verdadera de estas dos hipótesis contradictorias, la emisiva o la ondulatoria? Este es el angustioso y fecundo dilema que Einstein planteó sin resolver en 1905.

En tanto que se pretenden conservar las imágenes clásicas, estos dos aspectos son netamente antinómicos. Así, pues, es preciso renunciar a este género de imágenes, o por lo menos, dejar de creer que están conformes con la *naturaleza* de las cosas y considerarlas solamente como toscos e incompletos *modelos*.

Si nos contentamos con una expresión matemática abstracta, la nueva teoría ha adquirido ya una forma perfectamente coherente, manifestándose además como potentísimo instrumento de invención y unificación.

Pero nuestro innato deseo de comprender intuitivamente, está muy lejos de quedar satisfecho. ¿Es nuestro espíritu el que debe adaptarse a este nuevo orden de cosas, o bien hay que esperar a que una nueva inteligencia superior consiga suavizar las aristas que to-

davía nos hieren?; lo más probable es que ocurra una y otra cosa.

A pesar del misterio que rodea a los *cuanta* desde su aparición, lo cierto es que han ido invadiendo todos los campos de la Física revelando su gran importancia cada vez más insistentemente, sobre todo desde el descubrimiento del *efecto Compton*; el *cuanto de acción* aclara infinidad de fenómenos mal explicados y predice otros que luego la experiencia ha confirmado, viniendo a constituir, según espiritual frase de Langevin, “*el grosor de la hoja del bisturí con que podemos disecar la Naturaleza*”; los números enteros que el gran matemático Kronicker decía eran de origen divino, dominan por completo la Física moderna.

Gracias a la teoría cuantica, el físico danés Niels Bohr, pudo edificar su famosa teoría acerca de la constitución del átomo, demostrando que la estabilidad del mismo sólo puede explicarse asignando un carácter cuantista a los movimientos corpusculares intraatómicos. Desde entonces sabemos que la estabilidad de la materia y hasta su misma existencia se apoya sobre los cuantos afirmándose su importancia para los movimientos a pequeña escala; sin embargo, su verdadera naturaleza seguía tan enigmática como antes.

No obstante el rotundo éxito alcanzado por el modelo atómico de Bohr, consiguiendo explicar las regularidades observadas en las series espectrales del hidrógeno y elementos hidrogenoides, dicho modelo “*era incompatible consigo mismo*” (cosa que no se le ocultaba a su propio autor, quien ya lo calificó donosamente de *juguete científico* en el “*Convegno di Fisica Nucleare*” celebrado en Roma en 1931), pues además de

la inaplicabilidad de las leyes de la electrodinámica a las órbitas estacionarias, presentaba defectos lógicos, tales como el cálculo de estas órbitas en el que por un lado se siguen los métodos de la mecánica clásica, mientras que su elección se hace de acuerdo con las condiciones cuánticas, totalmente exóticas dentro de la Física clásica; otros conflictos que se presentan en la interpretación de la *estructura fina* de las rayas espectrales, su intensidad relativa etc., hicieron ver la necesidad de un cambio fundamental de orientación.

Tal era el estado de cosas hace una decena de años durante los cuales la situación ha evolucionado grandemente. Desde luego, si bien no puede decirse que se haya llegado a la total comprensión del profundo significado de los cuantos, sin embargo, es evidente el progreso conseguido en este sentido.

Ya en 1925, el príncipe de Broglie, en su célebre tesis doctoral, emitió la hipótesis de que las concepciones de la luz como onda y como corpúsculo, lejos de ser antagonistas no eran más que dos facetas o interpretaciones igualmente correctas de un solo y único fenómeno, y que así como desde la época de Fresnel se había abandonado el aspecto corpuscular de la luz para atender exclusivamente a su carácter ondulatorio, era muy posible que se hubiese cometido el error inverso tratándose de la materia.

Su punto de vista inicial fué la analogía existente entre las leyes de la Óptica y las de la Mecánica, más concretamente entre el principio de Fermat y el principio de Maupertuis, entre la ecuación de la Óptica geométrica y la ecuación de Jacobi.

Este estrecho paralelismo le indujo a suponer que la

Mecánica clásica no era más que una primera aproximación (como lo es la Óptica geométrica respecto de la ondulatoria) de las leyes del movimiento de los cuerpos materiales. Para tratar los problemas de Mecánica atómica, de Broglie pensó que era necesario asociar a las partículas o corpúsculos materiales, un “*paquete*” de ondas estacionarias o *cautivas* cuya longitud media dedujo mediante sencillas consideraciones algébricas, resultando inversamente proporcional a su velocidad y a la masa de aquéllos. La primera justificación de las ideas de De Broglie (que al principio tenían el carácter de simples generalizaciones matemáticas) fué la interpretación de las condiciones cuánticas de Bohr como un fenómeno de resonancia de la onda asociada, pero la prueba incontestable del acierto de sus puntos de vista, fué el descubrimiento del fenómeno de la difracción de electrones, realizado por pura casualidad en Norteamérica, por Davisson y Germer, en 1927, y comprobado poco después por Thomson, en Inglaterra; Ponte y Trillat, en Francia; Rupp, en Alemania; Kikuchi, en el Japón, etc.; la realidad de las “*ondas materiales*” quedaba fuera de toda duda.

El desarrollo así alcanzado por la Mecánica, no sólo igualó al de la Óptica, sino que incluso lo rebasó con exceso, de modo que esta última fué la que quedó retrasada, pues por una parte continuaba con la teoría electromagnética de Lorentz (en la que no se tienen en cuenta los fenómenos cuánticos) y por otra con la de los fotones de Einstein, no consiguiendo englobar ninguna teoría satisfactoria estos dos aspectos de la Óptica.

Una primera tentativa en tal sentido se debe a Heisenberg, creador de la llamada *mecánica de matrices*, por ser este operador algébrico el elemento fundamental de su

teoría. La idea directriz de este ilustre físico fué la de eliminar las magnitudes *inobservables* (por ejemplo las órbitas electrónicas, el mecanismo de la radiación, etc.) para razonar únicamente con las *observables*, como son la longitud de onda de las rayas espectrales, sus intensidades relativas, potenciales de excitación e ionización, etcétera; se adivina en seguida la posición firmísima que adoptó Heisenberg, pues así no se corre el riesgo de introducir falsas interpretaciones ni elementos demasiado antropomórficos, ya que las magnitudes observables actúan directamente sobre nuestros sentidos o instrumentos de observación, mientras que las inobservables sólo podemos percibir las a través de las observables y siempre bajo el riesgo de una falsa interpretación.

En los primeros meses de 1926, Schrödinger dió a conocer las bases de la que se ha llamado "*Mecánica ondulatoria*" y que constituye la generalización matemática de las ideas de De Broglie; en ella se emplean como instrumento de cálculo las ecuaciones diferenciales, cuya teoría es mucho más conocida y perfeccionada que la de las matrices, siendo ésta una de sus mayores ventajas, aparte de la facilidad de traducir sus resultados en interpretaciones físicas y de la firme base experimental que le proporciona la realidad de las ondas de De Broglie.

La interpretación física que Born dió de la *ecuación de ondas* de Schrödinger no nos informa sobre la posición de cada electrón dentro del átomo, ni la trayectoria por él descrita, etc., sino sobre la *media* de las posiciones que puede ocupar; podemos dibujar una especie de nube y asegurar que el electrón se encuentra en su interior, más frecuentemente en donde la nube es más espesa y más raramente en las zonas más ligeras. Ocurrió con

esto el símil que felizmente hace Palacios al compararlo con la caja de Pandora, que "cada electrón se desvanece y convierte en una *nube de probabilidad* que llena todo el espacio".

Otro joven físico, Dirac, ideó en 1927 un método prodigiosamente abstracto, la supercuantificación, que en 1929 Heisenberg y Pauli trataron de generalizar, creando una teoría electromagnética cuantico-relativista, a la que denominaron *teoría cuantica de los campos*, pero desgraciadamente no sólo no simplifica la cuestión, sino que conduce a graves dificultades por el abuso del formulismo cuantico y el empleo de bases físicas que se ha visto no convenían.

Esto mostró claramente que la teoría cuantica de los fenómenos electromagnéticos debía construirse sobre cimientos nuevos por completo.

El propio De Broglie sugirió para ello una nueva teoría de la luz, partiendo de la noción de fotón y considerándolo como una partícula sujeta a las leyes de la Mecánica ondulatoria; para ello era preciso adaptar esta doctrina, dándole forma relativista, que es lo que hizo Dirac en 1928. Esta teoría pareció tropezarse en sus principios con un grave inconveniente, pues además de los movimientos con energía cinética positiva, o sea los únicos que acostumbran a considerarse en Mecánica clásica, exigía otros con valores negativos de aquella energía.

Algunos autores como Schrödinger intentaron modificar la teoría con el fin de eliminar esta forma de energía que parecía absurda; pero Dirac, al contrario, buscó su significación física, llegando a la conclusión de que debía existir el *electrón positivo*, hoy llamado *positón*, ente desconocido hasta hace pocos años y que efectivamente

ha sido descubierto a principios de 1933 por Anderson, en Norteamérica, estudiando la misteriosa radiación cósmica, mediante las *trayectorias de niebla* en la cámara de Wilson, experiencia calificada, con razón, como *la más bella de la Física moderna*.

Este importantísimo descubrimiento teórico, que en el mundo científico causó tanta sensación como la produjera en el siglo pasado el descubrimiento del planeta Neptuno por Leverrier, fué comprobado poco después por Chadwick, Blackett y Occhialini, en Cambridge; el matrimonio Curie-Joliot y Thibaud, en París, y Meitner y Philipp, en Berlín, a pesar de las dificultades que ello ofrece, ya que la vida del electrón positivo libre es muy efímera, probablemente por su enorme tendencia a unirse con un negatón, dando lugar a un fotón, o sea *transformando su masa en energía radiante*.

A través de esta rapidísima ojeada por los dominios de la nueva Física apenas desbrozados en estos últimos años, se pone de relieve el fracaso de la Ciencia para estructurar un modelo intuitivo del átomo; lo que podríamos llamar *restricción cuantica*, nos ha hecho renunciar a tal esperanza, imponiendo sus consecuencias lógicas por sorprendentes e inverosímiles que nos parezcan.

De ellas, la que más sobrecoge al espíritu por su transcendencia, es el llamado *principio de indeterminación o de incertidumbre*, pues socava en sus mismos cimientos al determinismo riguroso o *ley de causalidad* que hasta ahora parecía regir toda la naturaleza, a la escala humana por lo menos.

Laplace describió admirablemente esta creencia en los siguientes párrafos de su "*Essai philosophique sur les probabilités*": "*Une intelligence qui, pour un instant*

*donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d' ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l' analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l' Univers et ceux des plus légers atomes; rien ne serait incertain pour elle et l' avenir comme le passé serait présent à ses yeux".*

Este "espíritu universal" de Laplace ha sido derrumbado por la ley de los grandes números, que es la que rige los fenómenos a pequeña escala; ya hemos visto cómo la nueva Mecánica impone su carácter probabilístico en todas las medidas.

Las magnitudes físicas por regla general, en lugar de tener o ser observables con valores invariables, tienen probabilidades bien determinadas para cada intervalo de valores que se les quiera atribuir. Prácticamente para fenómenos no muy delicados, si fijado un intervalo de valores muy estrecho, éste tiene una probabilidad muy grande, el resultado para nosotros se confundirá con el determinismo clásico; pero este resultado, no salva de ningún modo el principio de causalidad, pues una probabilidad por muy grande que sea, no es la certeza misma, y un intervalo de valores, comprende una infinidad de ellos por muy estrecho que sea; al determinismo riguroso le sustituye un *determinismo estadístico* menos absoluto que el primero.

Jeans, en su reciente obra de divulgación científica "The New Background of Science", compara los fenómenos que excitan nuestros sentidos a los rizos o torbellinos que se forman en la superficie de un caudaloso río. Su origen está en las profundidades del agua que

nunca conoceremos; dos ondas o rizos que nos parecen idénticos pueden ser debidos a causas totalmente distintas. De un modo análogo, no podemos esperar que los fenómenos perceptibles, satisfagan a un determinismo riguroso, ni siquiera en el caso que sus causas productoras estén más o menos relacionadas entre sí.

*“El espacio-tiempo (dice Jeans) no es la trama del mundo físico, real, sino del de nuestras percepciones y es muy posible que la aparente ausencia del determinismo, no sea otra cosa que el precio que nos cuesta el obligar la naturaleza a adaptarse a aquella trama demasiado rígida”.*

Resulta pues, que la pintura mental de los fenómenos, debe necesariamente resultar esfumada, vaga y borrosa de contornos, como una fotografía mal enfocada, creándose aparentemente una ciencia incapaz de afirmaciones o negaciones categóricas, que era una de sus características esenciales; sin embargo, los progresos conseguidos con la nueva mecánica son tan evidentes, que no necesitan de defensa, y por ello es elevadísimo el grado de confianza que inspiran sus postulados y consecuencias.

## FISICA ATOMICA - FISICA NUCLEAR

**L**A constitución íntima del mundo corpóreo ha preocupado al hombre en todas las épocas; los cuatro elementos primordiales de Aristóteles fueron ampliados de manera extraordinaria por Anaxagoras y posteriormente por los alquimistas medioevales, hasta que Boyle combatió tales fantasías contribuyendo a su destrucción definitiva; por su parte Platón, en su entusiasmo por las teorías de Leucipo y Demócrito, asignó a los átomos las más variadas formas y configuraciones de los sólidos geométricos.

Después de las vicisitudes sufridas con suerte varia por la célebre doctrina del *flogisto* inventada por Stahl a principios del siglo XVIII, el genio de Lavoisier, fundador de la Química moderna, abrió nuevos horizontes a la Ciencia con la publicación de su "Tratado de Química", en 1789; Dalton resucita en 1803 las ideas de Demócrito para explicar las leyes de las combinaciones químicas, y Avogadro formula en 1811 su hipótesis para explicar las leyes fenomenológicas establecidas por Lavoisier; finalmente, en 1815, el médico inglés Prout renueva la idea de la *materia prima* de Platón, sugiriendo que debía considerarse al hidrógeno, como el *protoelemento*, componente universal de todos los cuerpos simples.

Sentadas ya sobre bases científicas las nociones de molécula y átomo, L. Meyer y D. Mendeleieff dieron a conocer, en 1869, simultánea, pero independientemente, la *clasificación periódica* de los elementos que tanta trascendencia debía tener en el futuro.

Este sistema natural de los elementos simples, enseña que la Naturaleza a la manera de un arquitecto (que edifica las más variadas construcciones siempre con los mismos materiales) ha constituido la infinita variedad de cuerpos con un número limitado de componentes, o sean los átomos de los 92 elementos fundamentales, de los cuales 89 son conocidos actualmente con toda seguridad.

No nos extenderemos aquí sobre la constitución eléctrica del átomo, puesta en claro gracias a las memorables investigaciones de Lord Rutherford, este *gigante de la Física moderna*, como le llama Castelfranchi; la tan socorrida e inevitable analogía con un minúsculo sistema planetario, ha perdido actualmente aquella ingenua precisión y minuciosidad (quizás excesiva) que años atrás se le había dado, pues ya hemos visto la vaguedad probabilística que impone la Mecánica ondulatoria.

En síntesis, puede decirse que los últimos constituyentes de la materia se reducen a *electrones* y *núcleos*; los primeros, todos iguales entre sí e insecables, constituyen una a modo de tenuísima e imponderable atmósfera llamada *corteza* del átomo, y su número (*número atómico*) es igual al de orden que el elemento ocupa en la clasificación periódica. En cambio, en lo más interno del átomo y enormemente concentrada (en un volumen del orden de la billonésima de milímetro) reside la masa que "sentimos como peso", en forma de *núcleo* consti-

tuído por agregados en diversa proporción de otras partículas llamadas *protones* y *neutrones*.

El *protón* es el núcleo del átomo de hidrógeno y el más simple que se conoce; está dotado de una carga positiva numéricamente igual a la del electrón, y su masa es sensiblemente igual a la de dicho átomo, considerándosele como la *piedra sillar* del Universo, pues si se le toma como unidad, se obtienen aproximadamente números enteros (*número de masa*) para las masas nucleares de los demás elementos.

En 1932 fué descubierto el *neutrón* (previsto ya por Rutherford desde 1920), partícula sin carga eléctrica, de masa igual a la del *protón* (en contraposición con el electrón que posee carga sin masa material) y contenida en proporciones variables en el núcleo de los demás elementos; se le ha llamado *elemento cero* por ser éste el número atómico que le corresponde, y hasta ahora ignoramos si en la Tierra existen sustancias formadas exclusivamente por esta singular clase de partículas.

Aun para los elementos más pesados, las dimensiones espaciales del núcleo resultan ser unas diez mil veces menores que las del átomo, y téngase presente que el diámetro de éste es del orden de la diezmillonésima de milímetro!!; recurriendo a una sugestiva comparación, se ha dicho que el volumen del átomo es tan enorme en relación con el de sus componentes, como el de un campo de batalla respecto al de los proyectiles que le atraviesan.

Todos los esfuerzos, toda la labor realizada por los físicos entre 1900 y 1930, se ha empleado casi exclusivamente en reconocer la naturaleza de la envoltura electrónica y sus propiedades más salientes. Puede, pues,

decirse que durante esta treintena la Física atómica no ha estudiado en realidad la materia propiamente dicha, *la que revela la balanza*, pues sólo profundizó sus componentes más superficiales, en cuyo seno tienen lugar los fenómenos físico-químicos corrientes, tales como la cohesión, las corrientes eléctricas, reacciones químicas, manifestaciones electromagnéticas, radiaciones luminosas, etc. Moseley fué el primero en señalar que la casi totalidad de estas propiedades atómicas no depende del peso atómico, sino exclusivamente del número atómico del elemento.

Sobre la génesis y evolución de los átomos, nada sabemos en concreto. Es muy probable que allá en las profundidades de los espacios cósmicos se transformen continuamente unos en otros, pero no se sabe si los elementos complicados se forman a partir de los sencillos, o, si al revés, son los de número ordinal más elevado los que primero se forman y por desintegración de ellos van apareciendo los restantes; sin embargo, hay razones que inducen a pensar que los núcleos de todos los elementos se engendran a partir de los protones y electrones en el seno de las estrellas, donde la temperatura es lo suficientemente elevada para impedir la formación de la corteza del átomo.

De todos es sabido que la transmutación de la materia fué ya intentada hace siglos por los alquimistas, quienes probando substancias y por diversos caminos inútilmente buscaron la *piedra filosofal* que les debía permitir la transformación del plomo en oro; a medida que fué constituyéndose la química clásica, este sueño se consideró como irrealizable, y a fines del siglo pasado era de ortodoxia científica la fijeza e invariabilidad

de los cuerpos simples y la imposibilidad de su transformación mutua por ninguna operación física o química.

El descubrimiento de la radioactividad por H. Becquerel y el aislamiento de los cuerpos radioactivos por los esposos Curie hizo que a partir de 1895 se modificara profundamente esta opinión, sobre todo desde que J. J. Thomson demostró, en 1913, la complejidad de los elementos por el método de los rayos positivos. En efecto, en los fenómenos radiactivos asistimos a la dislocación espontánea o verdadera *explosión* de cierta clase de átomos, en otros más simples, cuya masa y propiedades son enteramente diferentes de las que caracteriza el átomo generador. Pero las transformaciones radiactivas se caracterizan por ser *espontáneas*, no pudiendo provocarse ni modificarse (acelerándolas o retardándolas) por ningún agente físico ni químico.

Para que el hombre pudiera transformar o demoler el átomo, era preciso, según lo dicho antes, atacar a su núcleo, venciendo las fuerzas invisibles y autónomas que tan fuertemente mantienen unidas las partículas que lo componen ¿cómo y con qué conseguirlo?

Rutherford en 1919 consiguió realizar las primeras *desintegraciones artificiales* recurriendo para ello al bombardeo del núcleo con una clase muy especial de proyectiles. El problema no es tan fácil como a primera vista pudiera parecer, pues el tamaño de tales proyectiles debe ser de las mismas dimensiones relativas que la del pequeñísimo objetivo en donde deben conseguirse los impactos. Es algo por el estilo que si se tratara de desprender una fruta de un árbol tirándole piedras; si el tamaño de éstas es demasiado grande, podrá llegarse

incluso a derribar el árbol sin conseguir el resultado apetecido.

A tal efecto, el sabio inglés utilizó los rayos  $\alpha$  que emiten algunas sustancias radioactivas, constituidos como se sabe por *heliones*, o sean núcleos del gas helio; estos proyectiles salen disparados con velocidades que pueden llegar hasta la décima de la de la luz, lo que supone una gran energía, extraordinariamente concentrada, y por tanto enorme poder balístico (recuérdese que una bala de fusil de infantería posee una velocidad inicial que apenas llega a un kilómetro por segundo). Por la acción de estos proyectiles, el nitrógeno se convierte en oxígeno emitiendo un protón; otros elementos ligeros como el boro, fluor, sodio, aluminio y fósforo emiten también núcleos de hidrógeno (*rayos H*) procedentes naturalmente no de impurezas (para lo cual se toman todas las garantías) sino de los núcleos de los átomos irradiados.

En cambio, ni el helio ni muchos de los elementos cuya masa atómica es múltiplo de cuatro (especialmente el carbono y el oxígeno) manifiestan tal propiedad, claro indicio de la solidez de su arquitectura nuclear; este hecho y el que la masa de las partículas  $\alpha$ , sea igual a 4, induce a pensar en la preexistencia de estas partículas dentro del núcleo, cuya gran estabilidad explicaría la de aquellos átomos refractarios a la desintegración y, por ende, la de nuestro planeta, cuya corteza está integrada en sus tres cuartas partes por oxígeno y silicio.

En tales fenómenos de desintegración forzada podría pensarse (y esta fué la primera idea de Rutherford) que las partículas provocaban la dislocación del núcleo a la manera que un percutor hace de-

tonar un cartucho; pero Perrin lo interpretó posteriormente admitiendo que la partícula se aglutina primero con el núcleo que alcanza, engendrando otro núcleo complejo poco estable que explota en seguida, expulsando un protón y dejando como residuo un núcleo tres unidades más pesado que el primitivo.

El rendimiento de estas transmutaciones, es decir el número de átomos transformados referidos al número total de proyectiles incidentes, es siempre pequeñísimo, pues a pesar de la aparente continuidad de la materia, las dimensiones nucleares relativas a que antes hemos hecho referencia explican las poquísimas probabilidades de *dar en el blanco*; bastará indicar que si aumentaran las dimensiones del núcleo atómico hasta igualar a una esfera de un metro de diámetro, los más inmediatos estarían a la distancia de unos doscientos kilómetros. Así se comprende que de cada millón de proyectiles sólo se aprovechen unos pocos por término medio, pues los núcleos son invisibles y por lo tanto se les bombardea a "ciegas".

Precisamente con este mismo método y bombardeando elementos ligeros como el berilio y el aluminio por los rayos  $\alpha$  del polonio, (que tienen la ventaja de estar exentos de su habitual cortejo de rayos  $\beta$  y  $\gamma$ ) los propios esposos Curie-Joliot, en París, y Chadwick, en Cambridge, descubrieron el neutrón en 1932 y más tarde el electrón positivo, de los que ya hemos hecho referencia. Como consecuencia de la simultaneidad de ambos fenómenos, sentaron la hipótesis de que el protón no es partícula indivisible como se venía admitiendo, sino que estaría formado por la asociación de un neutrón con un positón; con ello se salva la dificultad que

ofrecía la primitiva interpretación del neutrón en que se consideraba como un complejo de un protón y un negatón.

También pueden obtenerse positones en abundancia, con el método descubierto por Chadwick y Goldhaber en 1934, consistente en el bombardeo de un metal pesado (por ejemplo, el plomo) no ya con partículas  $\alpha$  sino con rayos  $\gamma$  de gran frecuencia, o como se dice, *muy duros*, tales como los emitidos por el torio C o radotorio.

Mientras para Curie-Joliot, los positones nacen en los procesos de desintegración del núcleo, Blackett aduce razones en favor de que el electrón positivo no puede producirse en el núcleo, sino fuera de él; como no es posible admitir la existencia permanente del electrón positivo, estaríamos en presencia de un *fenómeno de materialización*, o sea *transformación de energía en materia*, engendrándose simultáneamente un negatón con el positón; la experiencia ha confirmado este nacimiento de parejas de electrones de signo contrario.

Los continuados progresos de la técnica de las altas tensiones, permitieron utilizar como proyectiles para bombardear la materia, protones, deutones (núcleos de hidrógeno pesado) y en general iones positivos acelerados artificialmente mediante diferencias de potencial del orden del millón de voltios; así lograron Lauritsen y Crane, en Norteamérica y Cockroft y Walton en Inglaterra, la desintegración de numerosos elementos (litio, berilio, boro, carbono, fluor, sodio, etc.) Sin embargo, con estas partículas sólo han podido desintegrarse elementos ligeros, porque la repulsión culombiana ejercida sobre ellas por la carga nuclear, crece extraordinaria-

mente con el número atómico del elemento bombardeado; este inconveniente se evita empleando neutrones, pues carecen de carga eléctrica, pero el método resulta muy caro por exigir importantes cantidades de substancias radioactivas.

Como se vé, el último reducto en que la materia se resistía contra los ejércitos de la inteligencia, aquella "fortaleza inexpugnable" que como tal se consideró al núcleo, va siendo minada y demolida; Fausto en nuestros días, ya no cavilaría tan perplejo, como en aquel pasaje

*"dass ich erkenne, was die Welt*

*Im Innersten zusammenhält."*

Pero lo que sorprende más todavía, es la posibilidad de conseguir tales demoliciones con cantidades de energía mucho menores de lo que era de esperar, todo lo cual recibe cumplida explicación gracias a la Mecánica ondulatoria. De acuerdo con ella, cualquiera que sea el proyectil utilizado para una desintegración, hay que asignarle las propiedades de una onda, lo mismo que al núcleo contra el cual aquél va dirigido; si concuerdan los estados de vibración de ambos, habrá *resonancia*, o sea aumento de energía (análogamente a lo que ocurre cuando *sintonizamos* nuestro aparato radio-receptor con la onda que deseamos recibir) y, por tanto, a las partículas animadas con velocidades menores que las requeridas para su penetración normal en el núcleo, les será posible atravesar la *barrera de potencial* que defiende este último cual invisible coraza.

En todos estos procesos de transmutación nuclear, entran en juego enormes cantidades de energía, de modo que aparte del interés puramente especulativo de estas fascinadoras investigaciones, el dominio del núcleo re-

presenta la adquisición de inagotables manantiales de energía (según hemos visto en la concepción relativista, la materia es *energía concentrada*) que algún día el hombre llegará a explotar con fines utilitarios. No necesitamos encarecer la enorme transcendencia que ello envuelve, pues es bien sabido lo limitadas que son las reservas mundiales de combustible, que en un porvenir más o menos próximo fatalmente acabarán por agotarse. Hoy día el gasto de gasolina de un coche ordinario viene a ser de unos diez litros por cien kilómetros, o sean mil litros por diez mil kilómetros; pues bien, mediante reacciones nucleares, este mismo trabajo lo proporcionaría *un solo* centímetro cúbico de combustible!!

Puede, pues, serenamente afirmarse que el hombre que llegara a conquistar el núcleo, sería el dueño del mundo; como se vé, sucede actualmente con la energía intratómica algo por el estilo de lo que el fuego debió ser para el hombre primitivo, y que tan admirablemente pintó Rosny en la novela que todos seguramente conocéis.

Como premio a su infatigable laboriosidad, todavía estaba reservada a los repetidamente citados esposos Curie-Joliot otro descubrimiento de no menor transcendencia que los anteriores, sobre todo desde el punto de vista humanitario; nos referimos a la *radioactividad artificial*. Observando en una cámara de Wilson la radiación emitida por el aluminio sometido al bombardeo de las partículas  $\alpha$  del polonio, comprobaron a comienzos de 1934, que la emisión de positones no es instantánea, sino que empieza algunos minutos después de la irradiación y en cambio persiste durante un tiempo bastante largo, una vez retirado el manantial radioactivo; lo mismo ocurre con el boro, glucinio y magnesio.

La ley de decrecimiento de tales emisiones es enteramente análoga a la de las sustancias radioactivas, lo que obliga a admitir que un cierto número de átomos de estos elementos ligeros *no radioactivos*, se transforman en otros dotados de una radioactividad especial, puesto que va acompañada de positones a diferencia de la espontánea de los elementos pesados, en las que sólo se observan partículas  $\alpha$  y negatones; los propios investigadores con gran sagacidad y mediante procedimientos químicos de extrema elegancia, lograron caracterizar los nuevos radioelementos para los que proponen los nombres de *radionitrógeno*, *radiofósforo* y *radio-silicio*.

Hasta el momento presente son conocidos ya unos sesenta nuevos elementos radioactivos, y todo hace prever que este número será ampliado todavía. Entre los numerosos hombres de ciencia que con más éxito han contribuído a estas investigaciones, citaremos al eminente físico italiano Fermi, quien por las mismas razones antes ya expuestas para hacer más eficaz el bombardeo corpuscular, ha utilizado los neutrones para obtener nuevas sustancias radioactivas.

El tratamiento del fluor, aluminio, iodo, etc. ha dado un resultado positivo, pero las sustancias radioactivas obtenidas a semejanza de las naturales, sólo emiten rayos  $\beta$  o sean negatones, pero no positones. Demuestra la extraordinaria eficacia del método de Fermi, el que del examen sistemático de la mayoría de elementos conocidos, 42 han manifestado radioactividad artificial, entre ellos el iridio, oro y urano, este último el más pesado de todos los conocidos.

Esta emisión de partículas  $\beta$  crea una grave dificultad

tad para la teoría, que ya hemos dicho, sólo admitía la existencia en el núcleo de protones y neutrones, pues cada vez tiene menos defensores la suposición de los electrones nucleares, por las dificultades que supone enerrarlos en volumen tan ínfimo y sobre todo las que crean en la Electrodinámica de Dirac. Una tentativa de explicación fué dada el año pasado por el mismo Fermi, suponiendo que la emisión de un negatón por un núcleo se debe a la transformación bajo ciertas condiciones, de un neutón en un protón, mediante un proceso que tendría una cierta semejanza formal con la emisión de los cuantos de luz por los átomos.

A la hora de escribir estas líneas, la última y sensacional novedad en este aspecto parece haber sido conseguida por el profesor norteamericano A. O. Lawrence, con el bombardeo del sodio por deutones; el nuevo elemento radioactivo poseería una intensidad de radiación doble que la del radio y duraría unas doce horas. En opinión de Cockroft, podrá manufacturarse económicamente en cantidades equivalentes a casi un gramo de radio, lo que constituiría un inapreciable sustituto de este último en sus aplicaciones terapéuticas.

A base de la abundante cosecha en resultados experimentales recogida durante estos últimos años, Heisenberg ha podido edificar una teoría del núcleo apoyándose en la Mecánica ondulatoria.

Siendo el núcleo un conglomerado de protones y neutrones, se comprende que tal acumulación no puede continuar indefinidamente sin quedar comprometida la estabilidad del sistema; el cálculo indica y la experiencia confirma que la estabilidad máxima corresponde a la igualdad del número de protones y neutrones (cosa que ocu-

rre en los elementos ligeros) y va disminuyendo a medida que aumenta el número de estos últimos; cuando la relación entre el número de protones y el de neutrones, llega a valer 1,5, empiezan los fenómenos radiactivos. Fermi y sus colaboradores han contribuído grandemente a aclarar y retocar muchos puntos oscuros de esta teoría que aún está en plena evolución.

Gamow, más atrevido que Heisenberg, ha formulado una teoría en la que se admite la cuantificación de la energía de los corpúsculos en el núcleo, llegando a establecer los límites de estabilidad del mismo, en relación con los distintos tipos de desintegraciones; gracias al análisis de los rayos  $\alpha$  y  $\beta$ , consigue caracterizar ciertos niveles energéticos en el núcleo, análogos a los niveles electrónicos de la corteza atómica. La consideración de los fantásticos valores que alcanza la densidad media del núcleo, en los elementos pesados, ha sugerido a este físico ruso, la analogía de condiciones con una gota líquida, en equilibrio con su vapor; las acciones que ligan a las partículas nucleares, engendrarían una especie de tensión superficial que las mantendría unidas, sin que prácticamente se manifestaran las fuerzas, en las partículas interiores.

Más difíciles de interpretar que las desintegraciones nucleares  $\alpha$ , lo son las del tipo  $\beta$ , pues su espectro de rayos es esencialmente continuo y con un *límite superior*, cuya significación física ha dado Ellis.

La cuestión más delicada, que plantea la emisión de partículas  $\beta$ , es que no todas poseen la misma energía o sea la del indicado límite superior; ¿qué ocurre con la energía puesta en libertad durante la transición y que no se encuentra en la radiación?

Dos hipótesis han sido propuestas; Bohr llega a admitir que la ley de la conservación de la energía, no es aplicable a los procesos nucleares, pero tanta osadía repugna actualmente a casi todos los físicos.

Pauli y Fermi, para mantener incólume aquel principio, han sugerido la existencia y emisión simultánea con estas partículas, de otra hipotética, el *neutrino* de masa prácticamente nula (como la de los fotones) que transportaría la energía que falta a la partícula  $\beta$ ; desgraciadamente, parece ser que las singulares propiedades que debe poseer el neutrino, lo hacen inasequible a la experiencia.

Realmente, este nuevo ente, casi imposible de observar, no resulta una hipótesis muy atractiva. Andrade lo compara con una de esas fórmulas diplomáticas a las que tanto recurren los hombres de Estado; quizás no resuelva ningún problema, pero a veces puede bastar una palabra para eliminar una serie de dudas y dificultades.

Para terminar y resumir rápidamente el estado actual de nuestros conocimientos sobre el mundo físico, podemos decir que en nuestros días queda cumplido en su mayor parte el primitivo programa de Demócrito, que consistía en reducir las propiedades visibles de la materia a las propiedades configurativas del átomo.

Sin embargo, la Moderna Física atómica rebasa incluso el punto de vista de los filósofos griegos, en un punto que es esencial para la total comprensión del desarrollo de la Ciencia. En la concepción de la escuela jónica, los átomos no poseían otra cualidad que la de su extensión espacial, prescindiéndose de las otras accidentales como el color, gusto, etc., mientras que en la Física atómica de nuestros días también desaparecen aquellas propiedades

geométricas que no tienen mayor importancia que las accidentales; *el átomo en la Física actual, queda simbolizado por una ecuación diferencial entre derivadas parciales, en un espacio cuatridimensional*. Como diría Sommerfeld, "*la realidad física se volatiliza en un esquema matemático*".

Unicamente las experiencias realizadas por el observador permiten obtener del átomo, datos referentes a su posición, color, temperatura, etc.; en una palabra, *todas* sus cualidades quedan eliminadas y ninguna de sus propiedades materiales son inmediatas, o dicho en otros términos, cualquiera imagen o representación mental que queramos fundar sobre nuestra concepción del átomo, es necesariamente falsa. Para Heisenberg, una concepción de "primera especie" del mundo atómico *es imposible por definición* y por esto "*no podemos explicarnos, es decir, saber la naturaleza última de las cosas exteriores a nosotros mismos, sino en el caso de la eventualidad (improbable a priori) de que este mundo exterior, fuera de la misma naturaleza que los conceptos familiares a nuestro espíritu. O dicho en otros términos, no existe, ni tipo de comparación, ni lenguaje para expresarlo, pues con este último, no podemos describir otra cosa que nuestra experiencia común*" (Jeans).

Llegados al fin de este discurso, antes de despedirnos quiero daros las gracias por la amable atención que habéis prestado a mis modestas palabras, a través de las cuales yo bien quisiera hubiérais conseguido asomarnos al maravilloso panorama que os prometí al principio; mfa es la culpa si os sentís defraudados por la palidez de los colores y la torpeza del dibujo, pero en todo caso, quizás haya conseguido que evoquéis aquella estrofa del

final de la "Oda" que nuestro excelso Verdaguer dedicó a Barcelona y que tan bien cuadra a la Física actual

"el teu present esplendit es de nous temps aurora"

y para estas nuevas generaciones que me escuchan, los dos últimos versículos

"treballa, pensa, lluita, mes creu, espera i ora,

Qui enfonça ó alça els pobles, es Deu qu' els ha creat".

sabio consejo que os brindo a vosotros, queridos estudiantes, en quienes la Patria tiene puestas sus esperanzas.

HE DICHO

X641045386

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA



640341315X