

R. 2464

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DISCURSO

LEIDO EN LA SOLEMNE APERTURA

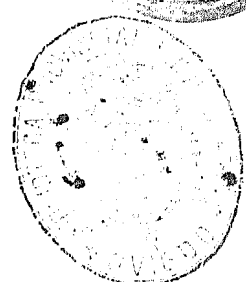
DEL

CURSO ACADÉMICO DE 1933-34

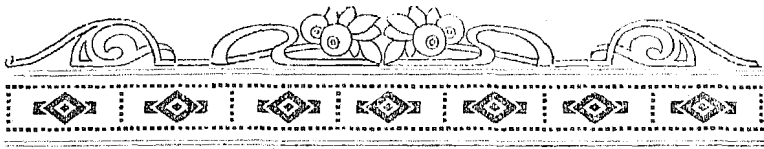
POR EL

Doctor D. Demetrio Espurz y Campodarbe

CATEDRÁTICO NÚMERARIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS



Imprenta Vda. de Flórez
San José, 16 — OVIEDO



Excmo. Sr.

Sres.:



A rotación protocolaria para actuar en estas solemnidades académicas me ha traído por segunda vez a ocupar este púlpito tradicional, donde el saber universitario se ha mostrado con su floración variada y jugosa y en cuyo ramillete sólo puedo aspirar a insertar una modesta flor. Las ciencias de mi preferencia no son propicias a los regalos, que sólo otorgan a los privilegiados, tan escasos entre nosotros.

Esta confesión, que sería pueril ocultar, debe significar una línea de conducta firme, hacia un estado de cosas, mejor, de personas, cuya formación tenaz—con-

sejo del eminente Cajal—y desde luego bien orientada, nos acerque a la primera línea en las Ciencias exactas, posición tan necesaria a nuestro prestigio en el terreno de los altos valores internacionales. No creo, ni remotamente, que tengamos tacha orgánica que nos impida ser originales en el terreno físico-matemático. Si se logra—y éste sí que es tema pedagógico y a la vez económico de alto interés—atraer a una juventud selecta y sin prisas, pero con porvenir no tacaño, cosa ésta baratísima para una Nación despierta y animosa, lograríamos borrar ese lunar que padecemos, y no nos es dable ocultar, y se abrirían las puertas de oro que hoy sólo tenemos entreabiertas.

Antes de tratar del tema, poco concreto, de mi discurso, he de dedicar unas líneas en recuerdo de los claustrales que nos dejan, con sentimiento nuestro, y de saludo cordial para los que se nos incorporan.

En primer lugar, mi tributo intenso al respetable y prestigioso Ilmo. Sr. D. Aniceto Sela, Catedrático de Derecho internacional, de la pleyade de insignes Maestros y varones ilustres que tanto han honrado esta Universidad.

Jóvenes y animosos, vienen a la Facultad de Derecho, los Catedráticos D. Sabino Alvarez Gendín, cuyas aficiones a la enseñanza iniciadas en su cargo de Auxiliar en Valladolid han triunfado al fin después de haber demostrado sus dotes brillantes administrativos como Secretario del Exmo. Ayuntamiento de Oviedo; y en estos días, desde Sevilla, el catedrático D. Luis Sela y Sampil, quien seguramente, al impirarse en su ilustre Padre y antecesor ha de seguir prestigiando las enseñanzas de esta Casa.

De nuestra Junta de Gobierno, han desaparecido, por jubilación, primeramente, el que fué celoso Secretario de la Universidad, D. Facundo Pedrosa, y después D. Lucio Suarperéz, Bibliotecario y reputado letrado del Colegio de Oviedo. Séales grata, en lo posible, su nueva situación, sentida por los que estamos sometidos a esa misma ley eliminatoria.

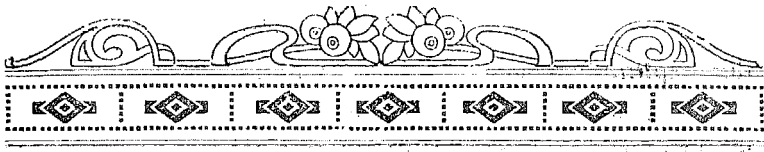
Otra baja muy de lamentar es la del Catedrático del Instituto ovetense y encargado en esta Facultad de Filosofía y Letras de la enseñanza del Latín, D. Marcelino Fernández.

En sustitución del Secretario general, Sr. Pedrosa, el Claustro votó a D. Guillermo Estrada Acebal, a la vez Profesor auxiliar de esta Casa.

Cierro estas líneas con la satisfacción de felicitar en nombre del Claustro al ilustre civilista, D. Manuel Miguel Traviesas, por el honor otorgado a él, y a la vez al que hace dos años era claustral de esta Universidad, don Francisco Beceña, por las Facultades de Derecho nacionales, para representarlas en el Tribunal de Garantías.

Entremos ahora, pidiendóos un poco de paciencia y perdón por el tiempo que podais perder, en el desarrollo de mí modesta disertación.





DESDE hace casi dos años se viene propugnando en la muy acreditada revista inglesa «Nature» por una profunda reforma en la estructura de la administración británica, en el sentido de dar fuerte intervención al elemento científico para desplazar a otro que se juzga deficiente cuando actúa en las magnas cuestiones que regulan o afectan a la economía del país.

Se razona de un modo claro. Las fuentes y procesos económicos tienen origen y regulación técnica, y son intrínsecamente científicos.

Sectores inmensos de la economía actual son las gran-

des explotaciones de las riquezas naturales, minería y petróleos principalmente, así como las industrias basadas en las primeras materias de origen mineral o vegetal, facilitadas en gran escala con potentes recursos técnicos, que a su vez exigieron otros financieros verdaderamente colosales.

Por otra parte, piénsese un momento en la magnitud global que supone la función circulatoria, tal como se realiza con los medios actuales. Las vías férreas suponen una cintura de hierro que daría muchas veces la vuelta a la tierra. En grandes trayectos son intensamente recorridas por un material fabuloso. La adquisición y pago inmediato de semejante red circulatoria está fuera de los alcances financieros del mundo civilizado en que vivimos. Posteriormente, y gracias al motor de explosión, hemos visto nacer y desarrollarse un gigantesco transporte, que sólo exige anchos y bien cuidados caminos.

Agréguese el otro coloso instrumento de la circulación, complemento de los anteriores, o sea el marítimo. Y piénsese en el inmenso sector humano puesto al servicio de esas grandes técnicas: la extractiva, manufacturera y circulatoria.

Por otra parte, la riqueza básica de los pueblos ha sido, y no cesará de serlo, la agro-pecuaria. Dejemos a un lado la utopía del alimento químico sintético que habría de chocar funestamente con nuestro metabolismo complicado, individual a la vez. El *reloj* humano, nos dice la Antropología, aun dentro de una general evolución, apenas ha modificado, de unas razas a otras, sus numerosas piezas. Es lógico pensar que los mismos órganos y las mismas glándulas, implican las mismas funciones en general, complicadas todas, y persistentemente mantenidas en las

especies zoológicas y exigen también que se haya mantenido un particular tipo de alimentación a través de las edades geológicas.

Pues bien, el agro es un verdadero laboratorio. La hoja de tierra vegetal, cuya formación es lentísima en general, como espléndido regalo de la Naturaleza, no le fué dado al hombre, allanado y limpio, enmendado quizás, y asegurado su riego en tantos casos, sino por esfuerzos enlazados en las cadenas familiares, cuyos eslabones pusieron lo que supieron y pudieron en la obra secular de mantener en pie y mejorar tan prodigioso laboratorio.

Bien sabe el agricultor, de cepa, que él pone lo menos, y la Naturaleza, noche y día no cesa de trabajar; y sabe sus angustias si su obligado socio le ha jugado una mala pasada.

Como saben también, marineros del transporte y marineros extractores de las riquezas del mar, que su gran socio es la Naturaleza, socio no siempre benigno.

He aquí una cuestión eternamente vital para el hombre, no el hombre estúpidamente dividido, como ahora sucede, en bandos hostiles, sino entre el hombre y la Naturaleza.

En primer lugar, para el planeta Tierra, el hombre es un accidente, no necesario a su existencia. Cuando la Tierra carecía de condiciones de habitabilidad para el hombre, y aun de toda vida animal ni vegetal, cumplía ya sus funciones astronómicas, y desde luego las físicas y químicas correspondientes a su estado. Si los gases de nuestra atmósfera o la proporción en agua fuesen notablemente diferentes de las actuales, la existencia del hombre, tal como hoy grita y gesticula juzgándose dueño y casi padre del planeta, no habría tenido lugar. Y es más, un fuerte *estornudo* de nuestra hospitalaria Tierra puede sepultar a



sus engreidos habitantes, poniendo punto final a la brillante historia de la humanidad.

* * *

Volviendo ahora al insistente reclamo que hace «Nature» en favor de la urgente mejora de la administración británica, mediante inyecciones específicas de elementos técnicos, y aún mejor, exigiendo suficiente cultura científico-técnica al personal administrativo del imperio, en bloque, yo me limito a señalar esa receta que creo no es exclusiva de la farmacopea británica, y que estimo debe traducirse al español.

Pero, aún más recientemente, se viene pidiendo desde los editoriales de tan prestigiosos semanario científico, la intervención de hombres de primera categoría para sugerir direcciones en los magnos problemas económicos que agobian al mundo en general.

Se argumenta del siguiente modo: Si la Ciencia, en sus magníficos progresos, dispone de los brillantes equipos de grandes pensadores, cuya formación cultural y capacidad admirables son los valores espirituales que en tan breves años, particularmente en lo que va de siglo XX, han elevado y aun transformado la llamada Filosofía natural, venciendo para ello tantas dificultades, es decir, resolviendo numerosos y difíciles problemas y creando esa portentosa literatura físico-matemática presente y dado que los problemas económicos nacionales o mundiales, en cuanto problemas científicos, no encierran seguramente mayores dificultades que los que se tratan y resuelven en los grandes laboratorios de investigación, debían—dicen respetables firmas, al tratar, por ejemplo, del poco éxito de

la reciente Conferencia convocada en Inglaterra—algunos de tales hombres tomar por su cuenta estos problemas, para los que no se encuentra solución satisfactoria por procedimientos diplomáticos, ni aun con las luces de los expertos adjuntos a las respectivas comisiones de las naciones invitadas. [1]

Claros ejemplos de regulación científica se presentan en las grandes actividades humanas antes mencionadas. Cualquiera institución fabril o de circulación lleva el sello científico en su cuadro de marcha. Otra cosa es el servicio social prestado. Surge pues la pregunta: ¿es más difícil la obra fabril y circulante, que la de evitar la superproducción?

Científicamente la pregunta es ridícula. En ningún laboratorio, semejantes cuestiones no pueden suscitar vacilación ni duda alguna.

Si del laboratorio, como fabricación en pequeño, nos remontamos a una gran institución manufacturera, con monopolio, la fabricación tiene naturalmente una capacidad que suponemos no es inferior a otra capacidad, la del mercado, cuya diferencia es una variable, que se alberga en el almacén.

La función *mercado* es, en términos estadísticos, una función matemática, de la cual empezó a escribir los preliminares el ilustre ingeniero italiano, Pareto, y cuya obra con miras a lo que puede llamarse: «Teoría científica de un estado social» es una creciente preocupación de algunos hombres de ciencia, entre ellos el eminente matemático Volterra, también italiano, y más recientemente, algunos ingenieros ingleses y otros.

El prototipo de fabricación, circulación y consumo equilibrados está resuelto en las instalaciones eléctricas.

Su propia naturaleza excluye el almacenamiento, salvo en la forma de trabajos reversibles, lo cual, bajo el punto de vista económico, es una gran ventaja.

Las leyes de Kirchhoff, cuando dicen que en todo nudo de la red la suma de las corrientes entrantes es igual a la de las salientes, es una ley cardinal que implica la igualdad permanente entre lo que se pueda mirar como positivo (producción) y lo negativo (consumo). La otra gran ley, prototipo de vida social equilibrada, nos dice que la circulación eléctrica en cualquiera de los circuitos que una red dada admita, la establecen de modo matemático, las fuerzas electro-motrices de todas clases por una parte, frente a las resistencias al paso de las corrientes y órganos de trabajo o utilización que ofrezca el circuito particular considerado, por otra.

Y nótese, acerca de esta ley de los circuitos cerrados, la armonía general que encierra. Una red, densa en circuitos particulares, cada uno armónico en si y armónico con los demás, matemáticamente y físicamente, es un ejemplo de colmena activa, tan variada como puede serlo la energía eléctrica en sus aplicaciones, ya casi universales *in externo*, pues pronto veremos que la electricidad parece ser el germen de la materia universal y que en todas partes actúa.

Hé aquí una de tantas muestras de que la sociedad humana puede realizar, teóricamente, dentro de una armonía general, la vida que se realiza en los ciclos de Kirchhoff que admiten en su seno complicaciones indefinidas.

Pero todo ello está sujeto a una disciplina, que no es otra, en definitiva, que la disciplina de la Naturaleza. ¡Pero, qué difícil es averiguar, hasta el fondo, esta disciplinal.

Tiempos hubo en que los filósofos resumían el escaso

saber de la época. Carentes del método experimental, creían dilucidar las cuestiones físicas apelando al limitado recetario aristotélico. Jugaban las consabidas virtudes de polaridades opuestas o sea de lo seco y lo húmedo, lo frío y lo caliente, lo ligero y lo pesado, etc.

Como a su vez la parte dogmática no estaba claramente separada de la de libre opinión era peligroso resbalar discurriendo con tan escasos elementos lógicos, especulando a la luz de las pobres y erróneas cosmologías de aquellos tiempos.

A principios del siglo XIX no estaban, ni con mucho, desterradas las disputas, poco corteses muchas veces, entre los nuevos filósofos-naturales, ya diversificados en médicos, *chimicos*, matemáticos y físicos.

Aunque Francisco Bacon había dicho, dos siglos antes, que era la experiencia la suministradora de los datos para el razonamiento sobre una cuestión concreta, había muchos que confundían la somera observación de hechos de fácil cosecha con la labor delicada pacienzuda y solo posible con medios *ad hoc*, que pide realmente el método experimental, y que no podían por tanto utilizar, ni aun sospechar, los filósofos de aquel tiempo.

Supletoriamente, la ambición filosófica de explicarlo todo, pretendía cubrir con lo que hoy llamamos retórica la vacuidad de la obra rogeriana que se pretendía llevar a cabo.

Ni la Física ni la Química ni la Astronomía han podido heredar apenas nada de aquella época experimental incipiente.

Sólo las matemáticas griegas formaban un cuerpo de doctrina ligado a Euclides y a la pléyade de investigadores de la Geometría hoy llamada euclidea, formando un coto

brillante de éxtasis científico para los pocos aficionados a tales estudios. Actualmente se ha puesto en claro que el saber matemático griego es de bastantes más quilates que lo que se creía, no hace mucho [2].

En pleno siglo XIX, hasta casi su final, el método experimental daba espléndidas cosechas, avanzando rápidamente las ciencias experimentales y aprovechándose y planteando incesantemente nuevos problemas a las ciencias matemáticas, que, más precoces y menos exigentes que las experimentales ya traían el auge griego y venían enormemente realzadas por la pléyade de matemáticos, cuyo astro principal es Newton, y después, por los matemáticos de las escuelas francesa, alemana e inglesa, donde destacan sobre todos Laplace y Cauchy; Gaus; Lagrange y Riemann; Hamilton, Stokes, etc.

Los laboratorios de trabajo, en las ciencias llamadas puras, eran y casi todos son universitarios, y los adelantos son en general obra personal de los profesores encargados de las enseñanzas. Pero estos profesores no podían dar abasto, poco tiempo después, a tantas tareas que venían de todas partes; hubo que especializarse, y buscar colaboradores, y aún encargar ciertos trabajos, conexos o no con un tema principal cultivado en el laboratorio, y estos abrieron sus puertas a grupos de jóvenes selectos que aumentaban la reputación del centro investigador, por la valía de sus frecuentes comunicaciones científicas, casi todas noticiadas esquemáticamente en la ya mentada revista inglesa «Nature» sin perjuicio de que luego *in extenso* aparezcan en las revistas nacionales de más crédito.

Dada la inevitable conexión entre el laboratorio, como institución nacional, y el descubrimiento o progreso alcanzado en él, y a veces el rumbo o tendencia científica que

era seguido, se daba el caso, todavía a fines del siglo XIX, que las llamadas *escuela energética*, capitaneada por los termodinámicos y algunos químicos (principalmente alemanes, Ostwald y otros) y la *escuela atomística y mecánica*, principalmente mantenida por los físicos ingleses, mostrasen cierta animosidad, siempre cortés, con cierto sabor nacionalista. Hoy día, parece haberse uniformado el tono doctrinal. No puede hablarse propiamente de escuela energética y escuela atomística, o escuela dualística y escuela unitaria, que precedió a aquéllas.

Pero es lógico, repetimos, que el espíritu nacional anime y aun enardezca los trabajos de los laboratorios, porque son principalmente frutos nacionales. En Mecánica, existen los movimientos ligados, o sea condicionados por tener que seguir determinadas trayectorias impuestas realmente por fuerzas locales. Bajo este punto de vista, cualquier trabajador científico o de simple rutina, está ligado por multitud de conexiones físicas o espirituales al lugar de trabajo. Lo que está abolido, por universal convencimiento, es todo lo que supone conservación o apego pasional a un concepto falso una vez demostrado el error.

Así pues, un carácter distintivo de la ciencia actual es la universalidad, es decir la unidad doctrinal, a conciencia de que, si los hechos, como tales, tienen privilegio de existencia, en cambio su interpretación teórica, es un proceso evolutivo que procura estar exento de objeciones en lo que los tiempos consienten; proceso donde las etapas se van recorriendo con el esfuerzo aunado de todos los investigadores científicos, en el respectivo sector de trabajo.

Ahora bien, esta convivencia armónica de los centros de investigación y de trabajo científico, cuyo lema general es el *saber más* por los medios más eficaces, es un sistema social, universal, podemos llamarle, infiltrado en otro sistema social mucho más imperfecto, donde se realizan fines que podemos considerar rudimentarios, pero a cada paso atascados o perturbados, de una manera apenas comprensible entre elementos de cultura superior.

Volvamos a la organización social científica. Su problema económico se divide en dos partes: atenciones de personal y del material de trabajo. La vida del personal es modesta; pocos son los ricos, ni aspirantes a serlo. Acostumbrados al orden y a la verdad experimental y racional, deducida ésta de aquélla, tienen una fé particular. Ningún hombre de ciencia es capaz de negar la verdad encarnada en los hechos, ni la lógica que irradia de ellos. Su espíritu está tanto más adherido a su saber científico cuanto mayor es éste. Su personalidad está, ciertamente, cimentada en otra básica de carácter racial o geográfico, y por tanto diferenciable, por estos particulares, de sus homólogos en profesión.

Vamos a la ética de estos hombres. ¿Qué perjuicios se habrían de seguir a un hombre eminente en cualquiera profesión si cometiese una vulgar trasgresión de una ley básica social, ley rudimentaria si queremos, pero al fin justa, a él, maestro y apóstol a la vez, de otras leyes superiores, que juzga inviolables?. ¿Es posible en un hombre lógico, que se cree justo, o con vocación decidida de serlo, semejante contrasentido?. Se deduce, pues, que el hombre de ciencia ama lo justo en el sentido de actuación armónica, cumpliendo una ley de matemática social, paralela y similar de sus leyes *supersociales*. En la ley mate-

mática, encarnada en lo que llamamos justo, cree la conciencia científica encontrar el nexo de lo social o humano con las leyes de la Naturaleza, que no dependen del hombre, como es sabido.

Cuando moralistas y filósofos discurren sobre la bondad humana, a cada paso invocan un argumento decisivo: *eso* (lo que se repudia o condena)—se dice—*va contra la misma naturaleza de las cosas*.

El movimiento terrestre, tan regular en sus giros diurno y ánuo, ha sido indudablemente el inspirador, con carácter necesario, de las primeras leyes naturales y sociales para el hombre. ¡Y a la vez, qué leyes tan bellas e importantes! Si complicamos esas leyes con las del movimiento de nuestro satélite, la Luna, y enlazamos sus movimientos con el fenómeno de acción luni-solar de las mareas, y luego nos remontamos a los magníficos eclipses de tantas clases, el hombre se ha sentido gobernado, de algún modo, por leyes astronómicas inexorables y exactas.

El hombre civilizado actual sabe que su vida se desarrolla en el seno del campo terrestre gravitatorio, cuyas fuerzas conoce desde los tiempos de Galileo y de Newton, aunque realmente no conoce sus esencias físicas. La moderna teoría de la Relatividad tiende a enseñarle que ese campo gravitatorio, al ser universal y regir por tanto los sistemas solares, quizás obligue al Universo a limitarse y encurvarse, sin impedir sus posibles expansiones y contracciones.

¡Qué pequeñez la del hombre ante la Naturaleza! Todos sus esfuerzos reunidos no pueden impedir que la Tierra describa su órbita kepleriana; podría, sí, alterar la duración del día terrestre, día que en efecto, no es de duración invariable, la cual conseguiría reducir o prolongar en



cantidades muy pequeñas, pero sensibles, medibles y calculables. Si todos los ferrocarriles del planeta estuviesen orientados según los paralelos, y circularasen en contra o a favor del sentido de giro de la Tierra, y cosa parecida hiciesen los barcos en el mar, lograrían producir el efecto antedicho. Por lo demás, el *reloj* terrestre ha marcado días mucho más breves que los actuales, quizás cinco o seis veces, cuando nuestro planeta era un recién nacido.

* * *

Hemos hablado de dos sistemas sociales en convivencia. El uno—nos limitamos al científico o de alta cultura, en general—suponemos que conoce y cumple en su vida profesional las altas leyes, ignoradas por el resto de la sociedad; y a la vez cumple las leyes comunes, sencillas, racionales y justas, que rigen a nuestra sociedad humana hipotética. Todavía más; tal ha sido el avance de esa hipotética sociedad, que han llegado algunos de sus hombres eminentes a deducir por vía matemática el carácter de necesidad lógica de sus leyes fundamentales; algo así, como lo que persigue el eminente Volterra en sus actuales tentativas. No siempre un hecho de apariencia sencilla tiene una explicación fácil; abundan extraordinariamente los casos en Física. Pero en fin, suponemos lograda una legislación básica, inconvencional, dado lo que es el hombre por una parte y su vida armónica con lo demás, por otra. Esa supuesta sociedad podría fundarse, en esquema de semejanza, en la armonía de las células o mallas de las redes eléctricas de Kirchhoff. En estas células caben toda suerte de propulsores de la circulación, tan complicados como se quiera, utilizando toda especie de energías para

trasformarlas en la maravillosa y madre de todas ellas que llamamos electricidad. Nada del simplismo de unas cuantas funciones, que, por importantes que sean, anquilosan un sistema. Grandísima variedad funcional, dentro del ajuste armónico.

No sé si los animosos ingenieros ingleses, en su reciente reunión en York, habrán pensado, al proyectar su esquema social, totalmente desconocido por nosotros, en el esquema eléctrico.

Y permítasenos preguntar ahora: ¿el esquema científico, tendrá que ser *capitalista* o no?

Apenas cabe consentir la pregunta, en terreno científico. Equivale a preguntar: ¿la sociedad humana, cualquiera que ella sea, puede subsistir sin trabajar?

La Mecánica nos muestra un magnífico teorema, que corta toda discursión sobre la necesidad o no del capitalismo en la Naturaleza. Pero ese teorema es fundamental en todo proceso físico, químico y biológico. No escapa la vida celular a los principios energéticos, como no escapa el hombre al campo terrestre que le subyuga, ni a las energías radiantes que le lirotean incesantemente.

Ese teorema es universal. Si el hombre nada puede contra la Naturaleza, lo mismo si la conoce que si la ignora, si en sus bases infinitesimales, los elementos celulares, y en su complicadísimo metabolismo, reina ya ese gran principio de la Naturaleza, todo el que propugne por un sistema social, conforme a naturaleza, es decir viable, debe conocer ese axioma de vida mecánica, astronómica, física, química y biológica.

Pertenece a un Cosmos *conservativo*. Hay un principio llamado de *conservación de la energía*, perfectamente compatible con la diversificación de ésta.



Pero, en particular, es propio de los sistemas conservativos, regidos en lo mecánico por las leyes famosas de Newton y en lo eléctrico y magnético por sus similares de Coulomb, que donde exista un tal sistema—por tanto en toda la Naturaleza (por lo que sabemos)—hay que considerar dos partes o sumandos, cuya suma es constante: la parte cinética o de energía de movimiento, y la parte de aparente quietud, que es el otro sumando, verdadero almacén de energías y verdadera fuente de las fuerzas.

Ahora bien, a la manera del péndulo, dotado de una suma energética dada (la cuerda sirve para reparar pérdidas debidas a la imperfección de la máquina), la parte cinética se transforma en potencial (péndulo que sube, y *trabaja*, en contra de su pesantez) para luego facilitar velocidad creciente a la masa pendular en su descenso gravitatorio desde el nivel (potencial) alto al más bajo del péndulo. Es un simple caso de caída de potencial y de recuperación del mismo en vaivenes incesantes.

El simil económico se presenta a cada paso. Todo acto de compra-venta entre los sujetos A y B, lo regularía el científico con arreglo a ese gran teorema, que pasaría a ser uno de los principios básicos sociales. Si el comprador es A, en este sujeto se desarrollan dos acciones equivalentes y compensadas: entregará un potencial (dinero p. ej.) a cambio de otro, potencial o cinético, equivalente. La misma ley para el sujeto B. ¿Será posible un reloj económico como el péndulo ideal de la Mecánica, o más bien parecido al péndulo de la Física?. ¿Podrá marchar el reloj, sin la *cuerda* para vencer las resistencias pasivas inevitables, aún en los sistemas más sencillos?.

La vida es siempre movimiento, todo lo expedito posible, es decir, en armonía con otros movimientos ajenos, que a veces pueden combinarse en forma compleja.

La armonía nos la pone de manifiesto la Astronomía, primeramente en las leyes de Kepler que vinculan la famosa de distancias de Newton, y reciprocamente, ésta contiene a aquéllas.

Los bellísimos movimientos planetarios alrededor del Sol, y sus similares de los satélites alrededor de los planetas, no son más que células, a miríadas, dentro del gran cinturón nebuloso que llamamos la *Vía láctea*, formando entre todas la mayor familia astronómica conocida.

Esta gran organización es evolutiva, y sus individuos, los soles, son de una gran variedad: pujantes unos, decrepitos otros, y a media vida o declinando, como le ocurre al nuestro, los demás. Y como la *Vía láctea* otras muchísimas, que llamamos *nebulosas resolubles*. Bien merece este magnífico tema un pequeño apartado final.

Con Carnot y Clausius apareció en el campo de la Física, una doctrina, llamada por unos *Energética*, y *Termodinámica*, por otros, traída por el estudio de otros movimientos armónicos, de ciclo cerrado, que ofrecen las máquinas térmicas. Nos dicen estos ciclos que la energía térmica es rebelde y no se entrega por entero a la parte motriz de la máquina, es decir, sólo una parte, más bien exigüa, del combustible quemado, expresado en calorías, se ha convertido en fuerza propulsora.

Y más tarde, en nuestros días, han aparecido donde menos se sospechaba los ciclos keplerianos: nada menos que dentro de los átomos. Pero de éstos trataremos aparte.

La máquina de vapor, al aparecer y perfeccionarse y aplicarse, es para el progreso humano cosa fantástica,



sólo comparable aunque muy por debajo de él, al sólo empezado progreso eléctrico.

Al enfrentarse las primeras máquinas de vapor con los antiguos motores, el hidráulico, entonces tan raquítico, y muy pronto en lucha formidable con la navegación a la vela, y en fácil lucha con el motor animal, hubo de aquilatarse y medirse el nuevo poder.

La pobreza de conocimientos mecánicos había impedido apreciar cuantitativamente el valor del hombre como motor.

Este problema se trató ampliamente en la primera mitad del pasado siglo. Los Ingenieros franceses habían evaluado su caballo de vapor en 75 kilográmetros, es decir, el trabajo necesario para que un peso de 75 kilos suba de nivel un metro; mientras que los ingleses, Bolton y Watt, habían definido el *horsepower* como equivalente a 550 libras elevadas un pie de altura.

Computando $\left\{ \begin{array}{l} 3'28 \text{ pies} \\ 2'2 \text{ libras} \end{array} \right.$ por $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ metro} \\ 1 \text{ kilo} \end{array} \right.$ cada kilográmetro equivale a 7'216 libra pies, resultando que el caballo de vapor francés valía 541'2 libras-pie ingleses; o dicho de otro modo, el caballo de vapor $\left\{ \begin{array}{l} \text{francés} = 75 \text{ kgm.} \\ \text{inglés} = 76'22 \text{ »} \end{array} \right.$

Muy ufanos los ingenieros de entonces del poder de las nuevas máquinas de vapor quisieron comparar los caballos nuevos de este nombre con los comunes, y perfeccionar, de paso, el conocimiento poco científico del motor humano, frente a los otros. Se estimaba la potencia motriz media del caballo corriente inglés trabajando 9 horas en unos 18 millones de pies-libras, dando un promedio de unos 550 de esas unidades, por segundo; número coincidente con su *horse-power*, tan usado hoy día con las iniciales H-P en los motores de explosión. Se sabía que

la eficiencia del trabajo, tanto del hombre como de los animales de trabajo, depende mucho de la manera de realizarlo; p. ej. trasportando cargas sobre caminos horizontales o inclinados, con una u otra velocidad; trabajando de pie, o sentado, en lugar fijo; por presión o por tracción, etc. Ya el célebre físico, Coulomb, a la vez ingeniero militar francés, había deducido que la jornada de un obrero subiendo pesos (el suyo y carga adicional) a 12 metros de altura se acercaba a los 110.000 kilográmetros; trabajo que casi se duplicaba si el obrero ascendía en la periferia escalonada de los grandes volantes de madera que sirvieron de motores tantos años en Europa, a semejanza de los asiáticos. Para Desaguliers, un obrero, en 6 horas de jornada, puede realizar un trabajo de unos 270.000 kilográmetros, subiendo a 3 metros su propio peso y una carga adicional.

Sin ser más prolijos, esos rendimientos diarios de un obrero, 110.000 kg-m en un caso y 270.000 en otro, frente al valor, también en kilográmetros, del caballo de vapor, en ocho horas de jornada, es decir $75 \times 8 \times 60 \times 60 = 600 \times 3600 = 2.160.000$ kg-m nos dicen que el infatigable caballo de vapor rinde (aún absorbiendo la mitad en los mecanismos intermediarios) en jornada actual de 8 horas, por lo menos tanto como 5 obreros considerados simplemente como motrices.

¿Y respecto al coste? Las primitivas máquinas de vapor, llamadas atmosféricas, porque su misión simple era elevar un émbolo por admisión del vapor por la parte baja del pistón, vapor que era condensado al llegar el émbolo a lo más alto, actuando entonces como fuerza motriz la presión atmosférica, el rendimiento en vapor lo estimaba Watt en 1 pie cúbico de agua vaporizada por

cada 7 a 10 libras de carbón de Newcastle quemado, resultando en promedio unos 432.000 pies-libras de trabajo por libra de carbón; o dicho de otro modo, aquellas simplicísimas máquinas atmosféricas suministraban unos 60.000 kg-m, (es decir media jornada del obrero de Coulomb, según los datos medios de Watt) por medio kilo próximamente de carbón quemado.

Las modernas máquinas de vapor facilitan el caballo-hora o sea 270.000 kg-m con el mismo carbón quemado por las atmosféricas; el rendimiento ha subido casi cinco veces; es decir, se necesitarían unos 5 obreros de Coulomb para producir el mismo trabajo que un kilo del carbón utilizado por Watt.

* * *

¿Qué haría nuestro sociólogo-científico ante estos hechos? Pensaría, por de pronto en la pobre potencia humana si quisiera ir en contra de la Naturaleza. La experiencia le ha enseñado al hombre su propia debilidad y ha buscado auxilios donde los ha encontrado. Como castigos brutales se impusieron antiguamente trabajos de agonía, aún subsistentes entre pueblos salvajes.

La Mecánica trajo los dispositivos de trabajo en alivio del hombre, y aún para algunos el espejismo de aumentar su potencia. Cuando el entusiasmo de Arquímedes, al descubrir la ley de la palanca, se extrapoló hasta la ilusión de remover planetas si se le facilitaban los debidos puntos de apoyo, bien pudo pensar en la obra más modesta de remover los ingentes peñascos de nuestras montañas, y, de salir airoso, las montañas mismas.

Hasta que el holandés Stevin no nos facilitó la ley de

las poleas y palancas combinadas, ya en pleno siglo XVII, la humanidad utilizaba planos inclinados que la Naturaleza le ofrece por doquier en las líneas de rampa y utilizaba tornos rústicos y hasta sabía que los chinos usaban un aparato maravilloso, que hoy día, sin ninguna maravilla pero con evidente ingenio, llamamos *torno diferencial*, padre de las poleas diferenciales modernas. La Mecánica es bautizada como ciencia por Galileo y Newton, y hecha muy pronto monumento esplendoroso cuando entran a elevarla y cincelarla obreros de la talla de Laplace, Poisson, Lagrange, D' Alembert, Coriolis, Hamilton, Jacobi, etc. etc.

Para la Mecánica poco importa que el trabajo tenga un origen u otro. Para ella basta que una fuerza, un esfuerzo si queremos, actúe desplazando una resistencia (fuerza antagónica) para invocar los tres elementos del trabajo, a saber: fuerza disponible F , desplazamiento d y ángulo de F y d , construyendo con ellos la expresión general del trabajo: $\mathcal{T} = F \cdot d \cdot \cos(F, d)$. Si el camino d es elemental y le llamamos ds , y al ángulo variable de F con ds lo llamamos α , nuestro trabajo elemental será: $d\mathcal{T} = F \cdot \cos \alpha \, ds$; y el trabajo total a lo largo de una trayectoria, geométricamente dada, que comience en el punto 1 y termina en el punto 2, será:

$$\mathcal{T} = \int_1^2 F \cdot \cos \alpha \cdot ds.$$

En esta expresión, importa poco que la fuerza F la facilite el hombre, un animal o la Naturaleza, y sea constante o no. Mediante experiencias adecuadas se han podido establecer equivalencias entre unos motores y otros.

* * *

Ahora bien, nuestro científico-sociólogo, que conoce algo la Historia, sabe que en el planeta que ocupamos podrían realizarse trabajos colosales, utilizando los correspondientes equipos de máquinas, servidas naturalmente por legiones de hombres, de diversos niveles culturales.

Dejamos a un lado las posibilidades financieras. Con el pie forzado de ocupar en las obras a tantos desocupados que apetece trabajar, surgirá siempre el ejemplo de la Naturaleza en el modo de realizar sus trabajos. Ya lo dijo, aunque sin probarlo, cosa que se hizo después, un filósofo, llamado Maupertuis; y lo que dijo es que la Naturaleza opera por los medios más rápidos y económicos. Por su parte, Fermat, instituyó en Óptica un principio que lleva su nombre, según el cual, la luz viaja por el camino más breve, y tiene la suprema habilidad cuando corre por anteojos, microscopios ect., de llevar los rayos monocromáticos, en trayectos compensados, de unos planos focales a los otros, por caminos evidentemente heterogéneos.

Luego el principio de máxima acción de la Mecánica, sería la brújula (como lo es para todo ingeniero actual) de nuestro ingeniero-sociólogo al inspirarse a la vez en la Naturaleza y en la Ciencia.

Pero los equipos mecánicos no sólo realizan el trabajo bruto, con la baratura que supone el utilizar las energías naturales, sino que además el motor mecánico es *per se* rutinario y monótono dentro de su función y tiende a acaparar todo lo que es función similar a la suya, si económicamente es más cara.

Nuestro sociólogo puede llegar a verse muy perplejo. Vive entre hermanos; todos dicen que tienen derecho a la vida, cosa indudable, en sentido humano de caridad; ya no tan claro en sentido económico, ni tampoco en sentido

científico, y desde luego tampoco en sentido natural estricto.

A nuestro científico se le presenta la cuestión agobiante de ver muy lejos un ideal de vida ante una realidad amarga, muy distante del ideal. ¿Qué hacer, y qué proyectar? Sin vacilar, dictamina que hay que proceder siempre en humano, y tender cada vez más a lo científico.

No está seguro, ni lo estará probablemente nunca, de que su esquema cíclico pueda cerrarse a la manera de los ciclos de Kirchhoff en las redes bien establecidas.

Ha pensado que la superproducción es problema totalmente resuelto en lo que tiene de puramente mecánico. No puede asegurar que la superproducción agropecuaria sea fenómeno tan realizable, pues en lo agrícola está la veleidad meteorológica que tantos estragos causa sin que el hombre pueda evitarlos jamás; sólo preverlos y atenuarlos. Los almacenes de primeras materias, carbones, petróleos, etc., así como los alimentos que el mar proporciona, tienen también carácter fluctuante. Si hay un enrarecimiento en unas partes, debidos a agotamientos locales, no es segura la compensación del total por nuevas explotaciones; pero de todos modos, la penuria es un desequilibrio económico, una sima más o menos profunda abierta en una parte que hay que rellenar y nivelar con sobrantes existentes en otras, mediante los correspondientes arrastres.

Ahora bien, la Naturaleza no concede gratis el transporte de las energías a través de los medios físicos, sólido, líquido o gaseoso. Cobra un derecho de carreteras, parecido a las tarifas de los ferrocarriles: hay que pagar un tanto específico, a razón de cada unidad transportada en todas las unidades de camino recorrido; equivale a perder una

parte de la energía E_0 a trasportar, pagando por el transporte elemental, sobre el camino ds :

$$-dE = k E, ds; \text{ es decir } \frac{-dE}{E} = k ds, \text{ y por;}$$

integración: $E = E_0 e^{-ks}$. Por cada unidad de energía E_0 del recorrido s la merma que impone el proceso físico vale $e^{-k} = \frac{1}{(2.7182)} k$

Esto nos dice que las energías de la Naturaleza en sus vaivenes se van agotando por el simple hecho del transporte, y las mermas van quedando en el camino, generalmente en forma de calor.

Lo que necesita nuestro sociólogo-científico, es ante todo, asegurar la vida material de la masa humana, que él quiere situar en posición desahogada, incluyendo todos los niveles sociales que la diferenciación humana impondrá eternamente a la humanidad.

El problema está claro: la Naturaleza tiene leyes propias que el hombre no puede forcer, y es siempre súbdito de ellas. La Meteorología se presenta al hombre como la máquina alocada más temible e incierta. El mismo planeta ha sufrido cataclismos, apenas comprensibles.

Es completamente vano, ahora y en lo porvenir, adscribir a la Naturaleza el papel de proveedora sin limite a las necesidades y caprichos de la humanidad locamente desbordada. Si los medios de vida actual, es decir de cada año, son datos estadísticos, variables de uno a otro, aunque fuviéramos perfectamente numerados y clasificados los partícipes, seguiría siendo el cociente una función de otras dos, la función productora total y la consumidora. A nuestro sociólogo no le sería dable asegurar a su grey sino una vida económica fluctuante debiendo apelar, particularmente en lo más fungible como es el alimen-

to diario, a lo que los mecánicos llaman los volantes de inercia, y que en la función de mercados se llaman stoks o mercancías almacenadas.

Si la Naturaleza, implacable, se negase a ser pródiga con el hombre, nuestro sociólogo diría que no había más remedio que rebajar el nivel de vida, o reducir del mejor modo posible el número de partícipes. He aquí la angustiosa situación, tan frecuente en todos tiempos, y azote de los pueblos poco civilizados. Recordemos las mortandades en la Europa oriental y en China por la penuria de alimentos, verdaderos sitios por hambre que la dura Naturaleza hace sufrir a ciertas regiones del planeta de cuando en cuando.

¿Y cómo reducir la población excesiva ante la insuficiencia de recursos agravada más y más?

La Historia está llena de cataclismos sociales, llamados guerras, donde el vencedor no ha sido siempre el más civilizado. Desde luego, el progreso no tiene que ir aliado con los hechos de fuerza sino cuando el salvajismo de unos es agresivo a las funciones civilizadas de los otros. De todas suertes, la Historia nos habla de pueblos anulados por diversos procesos, violentos unos y agotadores económicamente otros.

Para nuestra hipotética sociedad, supercivilizada, y para el ajuste del exceso de población ante la pobreza relativa de recursos, sólo las soluciones lentas son aceptables, y nuestro científico-sociólogo habría de pensar—ya lo hemos indicado—en el papel que hacen en las máquinas los volantes de inercia. Estas grandes masas impiden las bruscas sacudidas de un régimen motriz irregular y se acomodan a promedios muy variados; suplen con su energía cinética almacenada la que falta o escasea alrededor



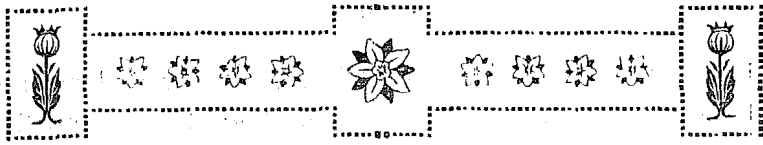
de los puntos muertos y absorben la excesiva en otras fases. Pero el volante y la máquina han de ser proporcionados, evidentemente.

Por fortuna, la función proveedora de la Naturaleza puede mirarse casi como continúa dada la distribución de los cultivos. La marcha de esa compleja función es primeramente una cuestión de estadística rápida y exacta. Es ciertamente regulable por el lado de la superproducción; pero, ahora supondremos el caso contrario.

Nuestro científico se ha percatado de que la función proveedora ha tomado la fase de una función decreciente, irremediable.

La Geología nos habla de los períodos glaciales, más o menos intensos, alguno muy precoz en la época terciaria. La enorme coraza de hielos llegó a recubrir casi toda la mitad norte del continente europeo y asiático y afectó de modo parecido al americano. Todavía la Tierra es suficientemente plástica y encierra altísimas energías para modificar el relieve terrestre. La actual distribución de mares y tierras es muy diferente de las que hubo en épocas anteriores [3]. En conclusión, el albergue del hombre, en la escala del tiempo, y el hombre mismo, son elementos variables en la Naturaleza, siendo ésta siempre la dominante.

Por dura ley de necesidad, la sociedad humana tiene que adaptarse al lugar y aceptar resignada las leyes del Cosmos. = Los que tomen a su cargo el papel de directores y se propongan conseguir un cierto coeficiente de bienestar económico tendrán ante su vista el juego de las funciones proveedora y reproductora, y procurarán regularlas dentro de la ética científica, ética que no es ciertamente inferior a la puramente sentimental, propia del hombre simplemente bueno.



ENTREMOS ahora en el dominio maravillosamente armónico del átomo. Palabra ilógica, porque da a entender la condición de indivisible dentro de lo que es perfectamente divisible.

Nace en los tiempos del griego Epicuro [4], partidario de la doctrina del límite en lo divisible, cuyo tope era el átomo, frente a la cual triunfó la sustentada por el arrollador genio y autoridad de Aristóteles, partidario de la indefinida divisibilidad, sustentada siempre por los matemáticos.

Desde aquellos remotos tiempos, unos cuatro siglos antes de J. C. hasta el XVII, puede decirse que la Cosmo-

logía aceptada es la de Aristóteles, y los únicos elementos fundamentales los cuatro famosos: fuego, aire, agua y tierra, debiéndose las propiedades de los cuerpos a sus cualidades de caliente o frío, ligero o pesado, seco o húmedo, con las que se pretendía explicar su comportamiento físico. La Tierra, para Aristóteles, era la esfera central del sistema solar, formado también por esferas, atribuyendo a nuestro planeta una circunferencia de 400.000 estadios, o sea unas ocho décimas mayor de lo que es. Para Aristóteles la Tierra y el Sol estaban también más alejados uno de otro.

Tomando como ingredientes esos elementos y cualidades, que se prestan a una variación continua, en el concepto intrínseco que de ellos se tenía, simplemente matemático, era lógico Aristóteles al rechazar como inferior al suyo el concepto del átomo-tope, que paralizaba la indefinida división por él propugnada.

Con Bacon, y sobre todo Gassendi (siglo XVII), la escuela aristotélica empieza a eclipsarse, y gana terreno la doctrina de lo discontinuo, es decir, la atómica, terreno que vuelve a perder por el momento, al propugnar Descartes su *Mundo* continuo, primitivamente nacido del *eter*, medio universal que todavía se invoca. A su vez, Newton, introduce su *luminico atómico*, y se declara anticartesiano en cuanto al *eter* fundamental; pero pronto, el luminico atómico de Newton es derrocado por el continuo-ondulatorio de Joung-Fresnel, asentando de modo definitivo la teoría actual ondulatoria, si bien en su dominio propio, que es el macroscópico, y teniendo que convivir con la Física atómica del moderno electrón, doctrina naciente nada más y ya esplendorosa.

Dado que los primeros químicos eran también físicos,

se comprende que la perplejidad dentro del campo físico, para decidirse por una u otra doctrina, existiese también en el campo químico. Por otra parte, Dalton, convencido atomista de principios del pasado siglo, tuvo aciertos como la ley de las simples proporciones definidas, y errores como son el rechazar la análoga ley de Gay-Lussac, referente a las combinaciones entre los gases, y el asignar valencias iguales a todos los cuerpos. Los esfuerzos de Avogadro para rehabilitar, corrigiendo en esto a Dalton, la ley antedicha de Gay-Lussac, mediante su famosa hipótesis de la igualdad en gránulos (moléculas o átomos) en volúmenes físicamente iguales, y los prolongados trabajos del gran Berzelius, adicto a Dalton, pero sufriendo en parte los errores de éste, no lograron todavía, a mediados del siglo XIX, implantar la teoría atómica, que por el contrario, corría el riesgo de ser abandonada. Y es que la doctrina energética, donde figuraban los termodinámicos y unido a ellos el gran físico-químico Ostwald, había formado un conglomerado de alto prestigio alemán, frente al otro conglomerado atomista-mecanicista, de fuerte sabor inglés, y se había creado una cierta rivalidad científica, que parece hoy terminada, triunfando, aunque parezca paradójico, unos y otros. Todo el mundo acepta hoy el átomo y su núcleo, como elementos granulares; pero el electrón, que se imaginó primero como proyectil concentrado, ya se le mira en la reciente doctrina de Broglie como una condensación ligada a ondas, o como puntos singulares del eter, esencialmente dinámicos, según algunos, proponen.

Los esquemas del progreso científico han de convertirse en verdaderas historias para mostrar la enorme distancia que media entre el dicho y el hecho. Cualquier investi-

gador sabe los trabajos que cuestan en general los más pequeños avances. A Kepler, le costó una treintena de años el descubrir sus famosas leyes, aun siendo heredero de los papeles astronómicos de su maestro Tico-Brahe. Muchos temas científicos, aun modestos, preocupan toda la vida al pensador.

Por otra parte, los hombres de ciencia profundos no siempre son comprendidos de momento. A Maxwell, no se le comprendió sino cuando Hertz demostró experimentalmente la verdad que encierran las famosas ecuaciones del campo electro-magnético, de cuya esfinge científica es prole actual la vulgar *radio*, en cuyas entrañas no es fácil penetrar. Al fisico-matemático americano, Gibbs, tampoco se le comprendió hasta bastantes años después de publicada su profunda teoría de las fases. Al hoy atribulado, Einstein, sólo se le han abierto las puertas de par en par, al ver como su árdua teoría relativista predice y mide insospechados fenómenos, como son entre otros, el incurvamiento de los rayos de luz al bordear los astros, perdiendo de paso en frecuencia vibratoria, cosas ya perfectamente comprobadas.

Otro ejemplo de lo que puede llamarse inercia científica, es la ofrecida a la doctrina *cuantista* de Planck, a principios del siglo actual, doctrina aceptada hoy plenamente después de muchas discusiones, resabios de otros tiempos, que los hechos, con su formidable poder dialéctico zanzan de modo definitivo.

* * *

El primer choque de la doctrina cuantista fué con la magnífica teoría ondulatoria de la luz, sólidamente estable-

cida por Fresnel, y traída al terreno electro magnético por Maxwell-Hertz, con el amplio apoyo experimental que a ella le ofrece la Física clásica.

Planck, sabia muy bien que la teoría electro-magnética ondulatoria postula la expansión continua de la energía, según la simple ley geométrica, análoga a la de distancias de Newton, y también la ley de distribución estadística, debida a Maxwell, que tantos servicios presta, sobre todo en la teoría cinética de los gases.

El conflicto se inició al tratar del llamado *cuerpo negro*, o radiador pleno, entendiendo por tal, un horno de reverbero a alta temperatura, acorazado térmicamente, de suerte que esa temperatura sea la misma en todos los puntos del interior; puntos asimilables a bocas de fuego que se firotean entre si toda suerte de proyectiles térmicos (radiaciones, fotones) sin que estos reboten nunca y sólo haya lugar a invocar una general absorción y una general emisión. Aproximadamente, un horno ordinario se comporta como el cuerpo negro.

En ese fuego graneado, cada temperatura del horno supone cierta preponderancia de determinadas radiaciones y la presencia en grado menor de las demás, sin que falte ninguna. Es una especie de batalla donde juegan más o menos unas armas respecto a las otras, según el ardor de los combatientes suba o baje.

Estudiado experimentalmente el fenómeno (p. ej. hornos metalúrgicos observados con aparatos espectrales a través de pequeños orificios) se obtuvieron curvas representativas de la distribución intensiva de las radiaciones en juego. Ahora bien, esas curvas se elevan con la temperatura, ofreciendo cada una una joroba cuyo máximo cae hacia el rojo si la temperatura es baja (p. ej. 3000°) y se

corre hacia el violeta espectral según la temperatura va subiendo. Si el *horno* observado es el Sol, al que se le asigna unos 6.000 grados en la superficie, la joroba de la alta curva ofrece un máximo hacia el amarillo; pero la moderna Astro-física nos habla de temperaturas mucho más altas, p. ej. a Sirio se le supone una temperatura de 11.000 grados y a la estrella ξ de la constelación Orión 23.000°, en la superficie. Las temperaturas en el interior de las estrellas pueden ser hasta de millones de grados.

Una sencilla ley que asocia la onda luminosa λ con la temperatura absoluta del emisor, T, es la siguiente: $\lambda T = 0'2885$ cm-grado.

Pero esas curvas completas no las predicen las teorías clásicas. En efecto, la fórmula Rayleigh-Jeans asigna una densidad ρ (intensidad espectral) a cierta radiación de frecuencia ν (es decir, de longitud de onda λ , ligada a ν por la relación bien conocida $\lambda \nu = 1$ cm.) en el recinto a temperatura absoluta T, mediante la expresión

$\rho = CT\nu^2$, donde C es una constante, y esta fórmula nos dice que en una mezcla de gran cantidad de radiaciones (fotones) de diversas frecuencias, a temperatura dada, la composición espectral debe pronunciarse a favor de las grandes frecuencias, lo cual sólo es cierto si el cociente $\frac{\nu}{T}$ es pequeño.

Por su parte, Wien, pretendía explicar la composición espectral mediante su fórmula

$$E = \frac{1}{\lambda^5} f(\lambda T) \quad \text{donde E equivale a la } \rho$$

de la fórmula anterior y $f(\lambda T)$ es una función, derivable, de la variable $x = \lambda T$, función que admite un máximo para cierto valor numérico de λT . Este máximo lo fija precisamente la relación mencionada hace poco $\lambda T = 0'2885$, rela-

ción deducida de las curvas experimentales de Lummer, Pringsheim, Rubens, etc.

Ambas fórmulas vienen a ser antípodas una de la otra; la de Wien encaja satisfactoriamente en el dominio de las grandes frecuencias, y ya se ha dicho que la de Raileigh-Jeans sirve para las pequeñas.

A Planck se le ocurrió enlazar ambas funciones por vía de suma energética en su teoría del *oscilador*, consultando al gran cinetista Boltzmann si podría proponer un oscilador *irreversible*, que sólo funcionase a saltos, en vez del oscilador suave y continuo que parecía ser la única solución de acuerdo con la Física clásica.

Ni Boltzmann, ni los demás físicos vieron con buenos ojos semejante novedad. Pero ella se ha impuesto. No convenció mucho la imperfecta deducción de su fórmula hecha por Planck, o sea

$$E = \frac{ab \lambda^{-5}}{e^{\frac{a}{\lambda T}} - 1} \quad \text{donde } a \text{ y } b \text{ son constan-}$$

tes; pero, posteriormente, Einstein, y luego Bose, la han deducido en forma rigurosa y es la fórmula que traduce el fenómeno espectral completo.

Haciendo las hipótesis $\lambda T \begin{cases} \text{grande} \\ \text{pequeña} \end{cases}$ se obtienen las fórmulas antedichas, que aparecen como casos particulares.

Hubo que admitir, pues, los osciladores espasmódicos en la mecánica del átomo, sin que esto signifique la anulación del oscilador continuo, evidente por sí mismo.

Langevin, mediante un estudio comparativo de las probabilidades continuas y discontinuas logró establecer la semejanza de aquellas con la fórmula Raileigh-Jeans y la de éstas con la de Planck, poniendo de manifiesto el

nuevo e importantísimo papel que en la nueva Mecánica estadística toman las probabilidades discontinuas.

Vamos a los osciladores espasmódicos de Planck. Si en un *tio-vivo* de una feria, nos fijamos en un niño que va montado y gira rápidamente, visto a cierta distancia, podemos creer que su movimiento, que es circular, es el de un rápido vaivén de un costado a otro del *tio-vivo*. Es el movimiento proyectado sobre un diámetro, movimiento que puede obtenerse haciendo que actúe una fuerza centrípeta proporcional a la distancia del punto proyectado al centro. Esto ya constituye el más simple de los osciladores lineales.

Si mediante las fuerzas centrífugas gradualmente crecientes, o bien por decrecimiento continuo de la fuerza centrípeta, siguiera en marcha el oscilador, diríamos que éste modificaba sus dimensiones de un modo continuo; pero podría hacerlo a saltos si también variasen a saltos aquellos fuerzas. Nuestro *tio-vivo* sería ahora espasmódico.

En las órbitas elípticas de Kepler, vistas de canto, hay otro oscilador rectilíneo, cuya fuerza centrípeta es la de Newton, a sea en razón inversa del cuadrado de las distancias al foco de la elipse; ahora la proyección del móvil nos daría un vaivén desde el foco a los extremos del eje mayor de la elipse, o sea del perihelio al afelio, pasando al *simil astronómico*.

Una objeción de la Física clásica, todavía por contestar, es que, cualquiera que sea la trayectoria curva descrita por el móvil, suficientemente rápido, ha de provocar ondas cuya energía debe facilitarla el oscilador, aun suponiéndole en el vacío, y esto supone a la corta o a la larga la paralización del oscilador. Este fenómeno, como los análogos

de movimientos amortiguados, son realmente de trayectorias abiertas, y los radios vectores que ligan el móvil al centro de acción, al acortarse incesantemente barren el dominio, plano o espacial, en donde tiene que acomodarse el oscilador.

El oscilador se llama *plano* o *espacial* según resulte de combinar formando ángulos entre sí (p. ej. ángulos rectos) dos o tres osciladores lineales, respectivamente. Si, como casos particulares, las trayectorias resultan cerradas, se dice que el proceso es *degenerado*, y se designa con el nombre de *libración* el ciclo recorrido por el elemento variable a él adscrito.

En Mecánica analítica es cosa corriente, desde su fundador Lagrange, referir los procesos al mundo espacio-tiempo, o espacio de las fases de Gibbs, introduciendo tantas coordenadas cuantas requiera el proceso mecánico. Así, es bastante el saber la posición (x y z) del móvil de masa m y su velocidad de componentes \dot{x} y \dot{z} en cualquier tiempo t para deducir su energía cinética, sus aceleraciones, sus cantidades de movimiento, etc. Muchas veces intervienen las coordenadas esféricas, que fijan, por el centro y el radio, la esfera, y por el paralelo y el meridiano, la posición del móvil en ésta. Si éste salta de una esfera a otra concéntrica habrán cambiado, en general, el radio, la latitud y la longitud, y habrá lugar a invocar las tres velocidades de cambio, y por tanto, las respectivas energías cinéticas, cantidades de movimiento, etc.

Pues bien, la Mecánica, debe a los genios de Hamilton y Jacobi expresiones llamadas *canónicas*, esto es, sencillas y generales, particularmente fecundas en los sistemas llamados conservativos. De la energía total (cinética \mathcal{T} y potencial W) expresada simbólicamente por: $H = \mathcal{T} + W$ resul-

ta la expresión de la fuerza actuante sobre la coordenada q , merced a la derivada parcial $-\frac{\delta \Pi}{\delta q}$, y la velocidad correspondiente sobre esa coordenada, merced a la derivada parcial $\frac{\delta \Pi}{\delta \mu}$, donde p es la cantidad de movimiento correspondiente a esa coordenada q .

Puede decirse que hoy día se tratan todos los problemas conservativos por el método de Lagrange-Hamilton.

Si la Matemática es el orgullo del hombre científico y el recreo supremo de los genios, a los humildes que tenemos vedadas las alturas nos queda por lo menos la dicha de admirarlos, y esta admiración sobresale en las cuestiones mecánicas que ya desde niños nos dieron las alegrías de sus juegos, sin que sospechésemos que también jugaban con nuestros sencillos juguetes, la pelota, el aro, etc., y a juegos muy serios, aquellos genios y tantos hombres encanecidos en la Ciencia.

*
* * *

Aparece en escena Bohr, casi un muchacho en 1913, de Copenhague, pensionado en el venerable Cambridge, donde Newton, Maxwell, Thomson y tantos otros han dejado huellas imperecederas. Está adscrito con otros becarios ingleses y extranjeros a la sección que dirige Rutherford, siendo jefe el eminente J. Thomson, que ya ha lanzado su teoría inicial del átomo, considerándolo una esfera de electricidad positiva que lleva embebidos electrones estáticos o cargas elementales negativas. Se está en plena excitación científica ante la falange de novedades eléctricas que surgen de todas partes. Disponen los labo-

ratorios de proyectiles de formidable velocidad; unos, muy pequeños, brotan en el cátodo de los tubos enrarecidos atravesados por descargas eléctricas de alta tensión, y otros, también muy veloces pero mucho más eficaces, los proporcionan las sustancias radiactivas, particularmente el radio-C. A estos últimos se los llama rayos α y pesan casi como cuatro átomos de hidrógeno; aquellos se llaman electrones y unos y otros salen de las explosiones radiactivas: pesan los electrones $\frac{1}{1846}$ menos que el hidrógeno.

El bombardeo con unas partículas u otras deja rastros muy diferentes en el aire húmedo de la cámara de Wilson que aloja la sustancia radiactiva. Son fuertes y vigorosos los rastros neblinosos, perfectamente visibles y fotografiables, producidos por las partículas rápidas, concentradas y macizas, α , y cortos, endebles e irregulares los que producen las β , es decir los electrones.

Entre muchos miles de rastros de las α aparecen algunos bruscamente quebrados; aparece como una Y donde una de las ramas superiores ha quedado muy corta; la otra rama superior de la Y es delgada y bastante más larga. Ha ocurrido lo siguiente. El proyectil α ha encontrado indefectiblemente muchos millones de átomos de aire húmedo, ha mutilado a muchos y los ha puesto en condiciones de condensar el vapor de agua, y sólo ha cambiado bruscamente de dirección cuando ha herido en el corazón a un átomo, sin duda en un núcleo muy compacto y sumamente pequeño en relación al átomo herido, y alguno de sus pedazos ha marchado por la rama delgada de la Y y el resto con la amortiguada partícula α han tomado el camino de la rama corta y gruesa. El tramo inferior de la Y representa la trayectoria preliminar al choque



No es posible ya aceptar el esquema atómico de Thomson, quien es de los primeros en reconocerlo. Su discípulo Rutherford, da la interpretación de la famosa Y, y propone ahora su esquema dinámico.

Ante todo, ha expuesto al bombardeo con proyectiles α , unas hojuelas tenues de platino, plata y cobre y ha encargado a su discípulo (hoy Profesor) Chadwick, que estudie los rebotes, raros pero muy limpios, de las partículas α . Estas son núcleos del gas noble *helio*, despojado de sus dos electrones planetarios: se las llama *helio bio-nizado* y se comportan como una doble carga eléctrica positiva, muy compacta y veloz si proceden de las explosiones del radio o torio C. Las trayectorias rebotadas son hipérbolas; no ha sido alcanzado ni destrozado ninguno de los núcleos eléctricos fuertemente positivos de aquellos átomos; las hipérbolas no son iguales. Chadwick encuentra que los núcleos eléctricos deben valorarse según los números 77'4 para el platino; 46'3 para la plata y 29'3 para el cobre; y ocurre lo siguiente: que clasificados debidamente estos metales ocupan, en la lista de los cuerpos simples los números 78,47 y 29, respectivamente; números apenas diferentes de los anteriores.

Rutherford dice entonces: Los átomos tienen núcleos, muy pequeños y compactos, provistos de cargas eléctricas positivas libres, valoradas por sus números en la lista aceptada por los químicos; la actuación de esas cargas sobre las de los proyectiles α en su máxima aproximación a los núcleos parece gobernada por las leyes de Coulomb, de la Física clásica. Y como quiera que los átomos ordinarios son neutros eléctricamente se deduce que otras tantas cargas negativas estarán fuera del núcleo, retenidas dinámicamente, como planetas alrededor de Sol, por fuer-

zas eléctricas de atracción, regidas por las leyes de Coulomb.

En general, las órbitas serán elípticas en los sistemas más sencillos, y claro es, el átomo de hidrógeno es el más apropiado para aprender la nueva mecánica del átomo.

Y ahora es cuando Bohr toma por su cuenta el problema y lanza dos años después que Rutherford (1911 y 1913) la teoría que lleva su nombre.

* * *

Bohr resuelve el problema con ayuda de los postulados cuantistas, incorporados empíricamente a la Física clásica. Las órbitas electrónicas serán sencillamente circulares, y el equilibrio dinámico se obtendrá entre dos fuerzas antagónicas compensadas: la de Coulomb y la centrífuga, es decir:

$$m\omega^2 r = \frac{Ze^2}{r^2}$$

donde el primer miembro es la fuerza centrífuga de la masa m girando en la circunferencia de radio r con la velocidad angular ω , y el segundo miembro es la atracción eléctrica a la distancia r entre la carga nuclear Ze situada en el centro y la carga $-e$ del electrón planetario. El momento angular (momento de la cantidad de movimiento $mr\omega$, respecto al centro) debe conservarse en la órbita de radio r , y además, tener una provisión de energía cuántica (condición Bohr) dada por:

$$m\omega r^2 = n \frac{h}{2\pi}$$

siendo h la famosa constante de Planck, n un número entero y π la razón de la circunferencia a su diámetro.

Por lo tanto, las velocidades, ordinaria y angular, y el radio, serán:

$$\omega r = \frac{2\pi Ze^2}{nh}; \quad \omega = \frac{8\pi^3 m Z^2 e^4}{h^3} \frac{1}{n^3}; \quad r = \frac{h^2}{4\pi^2 m Z e^2} n^2;$$

es decir, los círculos orbitarios pueden crecer proporcionalmente a los cuadrados de los números naturales 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.

Si $\left\{ \begin{matrix} Z \\ n \end{matrix} \right\} = 1$ se tendrá el menor de los círculos

$r = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}$, para el hidrógeno, siendo los otros posibles $4r, 9r, 16r, \dots$

Calculado ese radio inicial o mínimo mediante los va-

lores conocidos $\left\{ \begin{matrix} h = 6.55 \cdot 10^{-27} \text{ (ergios-segundo)} \\ m = 9.01 \cdot 10^{-28} \text{ (gr.)} \\ e = 4.77 \cdot 10^{-10} \text{ (E. E.)} \\ c = 3 \cdot 10^{10} \text{ (cm.)} \end{matrix} \right.$ resulta:

$r = 0.53 \cdot 10^{-8}$ cm.; número correcto, del mismo orden que otras estimaciones hechas por diversos métodos del radio atómico.

Bohr, compara las energías cinética y potencial

$$C = \frac{1}{2} m r^2 \omega^2 = \frac{Z e^2}{2r} \quad U = -\frac{Z e^2}{r}$$

y resulta que $2C = -U$ y la suma $U + C = \frac{U}{2} = -\frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{h^2} \frac{1}{n^2}$

es decir, la energía total está en razón inversa del cuadrado del número cuántico n . La diferencia de energías para dos números cuánticos n y n' será: $E = \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{h^2} \left[\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right]$

El signo menos para las energías U y total procede de que, por convenio, el campo atractivo eléctrico es negativo en fuerza y potencial; ya se sabe que la diferencia de dos números negativos dará resultado positivo si el sustraendo es de mayor valor absoluto que el minuendo; además, lo gerarquía numérica sube (a la manera que en el termometro) al tender a cero, que es el máximo de las cantidades negativas.

Así, el mayor valor energético, dado cierto valor n' fijo, será cuando $n = \infty$, entonces $E_{\text{máx}} = \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{h^2} \frac{1}{n'^2}$. Este es el tope de la serie de valores que resultan de combinar n' con los números enteros superiores a él. A priori, podemos invocar tantos topos cuantos valores enteros admita n' .

El gran éxito de Bohr, fué el encajar en la fórmula general de E, antedicha, el espectro del hidrógeno, suponiendo obligada y cumplida la relación $E = h\nu$ ($\nu =$ frecuencia vibratoria; $h =$ constante de Planck), y por tanto:

$$\nu = \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{ch^3} \left[\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

que, en el supuesto $Z=1$ (hidrógeno) y $R = \frac{2\pi^2 m Z^2 e^4}{ch^3}$, pasa

a ser la fórmula: $\nu = R \left[\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right]$ obtenida empíricamen-

te por Balmer, Ritz y Rydberg, hacía ya bastantes años.

Calculado el valor de R, obtuvo Bohr el número 109.700, que apenas discrepa del que venían utilizando los espectrocopistas, o sea 109.677'81 (número de ondas por centímetro).

Si en la fórmula: $\nu = R \left[\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right]$ damos a n' al valor 1 y a n los valores sucesivos $n=2, 3, 4, \dots$ se obtiene la serie más alta de frecuencia ν , cuyo máximo $\nu_{\text{máx}} = R =$

109.700; tope que se llama *cabeza* de la serie de Lyman.

Son conocidos los primeros escalones de esta serie, resultantes de combinar los números $\begin{cases} n'=1 \\ n=2 \end{cases} \quad \begin{cases} n'=1 \\ n=3 \end{cases} \quad \begin{cases} n'=1 \\ n=4 \end{cases}$

etc., a los que corresponden rayas espectrales en el extremo ultravioletado, rayos descubiertos por ese físico.

Las combinaciones $\left\{ \begin{matrix} n'=2 \\ n=3 \end{matrix} \right.$ $\left\{ \begin{matrix} n'=2 \\ n=4 \end{matrix} \right.$ $\left\{ \begin{matrix} n'=2 \\ n=5 \end{matrix} \right.$ forman la llamada serie de Balmer, cuyo máximo o cabeza de serie, es $\nu_{\max} = \frac{R}{4}$. Sus escalones más bajos habían sido

estudiados por Balmer y ajustados a su fórmula empírica, dando por primera vez una pauta aritmética sencilla al espectro visible del hidrógeno obtenido en los laboratorios (p. ej., tubos Geissler excitados con chispas condensadas), y observado desde los tiempos de Fraunhofer en el Sol (1814). Pero los avances han sido enormes. En el eclipse solar de 14 de enero de 1926, observado en la isla de Sumatra por Davidson, logró éste fotografiar el espectro de la cromosfera en el instante del *relámpago*, y en ese hermoso documento se pueden observar rayas del hidrógeno hasta la combinación $\left\{ \begin{matrix} n'=2 \\ n=30 \end{matrix} \right.$, indicando que en la atmósfera altamente enrarecida de las estrellas puede el electrón planetario del hidrógeno tomar vuelos extraordinarios, que no parecen posibles en nuestros tubos de vacío, demasiado imperfecto frente a lo que ocurre en los espacios siderales.

Otra serie, cuyo tope es $\nu_{\max} = \frac{R}{9}$, fué descubierta por Paschen en 1908. Sus escalones primeros responden a las combinaciones $\left\{ \begin{matrix} n'=3 \\ n=4 \end{matrix} \right.$ $\left\{ \begin{matrix} n'=3 \\ n=5 \end{matrix} \right.$ etc., série llamada de Paschen, de la cual se conocen ya lo menos ocho términos (rayas espectrales).

En 1922, el espectrocopista Brackett logró señalar, no sólo algunos de los ocho términos antedichos de Pas-

chen, sino dos, también nuevos, que resultan de combinar $\begin{cases} n'=4 \\ n=5 \end{cases}$ y $\begin{cases} n'=4 \\ n=6 \end{cases}$ cuyo tope de serie, llamada de Brackett, será:

$$\nu_{\text{máx}} = \frac{R}{16}$$

En fin, en 1924, Pfund, ha descubierto en el ultra rojo extremo, el primer término de su serie, que resulta de la combinación $\begin{cases} n'=5 \\ n=6 \end{cases}$ y cuyo tope debe corresponder a la frecuencia

$$\nu_{\text{máx}} = \frac{R}{25}$$

No es pues cosa sencilla la manifestación espectral del hidrógeno, el más simple de los átomos.

El enorme interés de este espectro es el servir de piedra de toque para la teoría de Bohr, y ya se ha visto como encaja en líneas generales en dicha teoría. La misma teoría, con ligero retoque, debe aplicarse a otros átomos llamados *hidrogenoides*. Tales serán el helio privado de uno de sus dos electrones planetarios; el litio, privado de dos de los tres que se le atribuyen (litio biionizado), y otros, en cuya capa electrónica periférica pueda invocarse un electrón solitario.

De gran interés es también el espectro del helio, al que se le atribuye la masa nuclear de cuatro protones, (es decir, 4 núcleos de hidrógeno) cementados con 2 electrones de ligadura, quedando libres 2 cargas positivas que se neutralizan con los 2 electrones planetarios. La ausencia de uno éstos deja el átomo convertido en un hidrogenoide, y la ausencia de los dos deja mondado el núcleo, que en-

ronces constituye la partícula α , utilizada como proyectil, según vimos.

Sabido es que el helio lo descubrió Lockyer en el Sol, bastantes años antes de que se notase su presencia en nuestro planeta. Ya en 1896 fotografió Pickering el espectro de una de las estrellas de más alta temperatura, Sirio, reconociendo una serie de líneas que parecían pertenecer al tipo Balmer, sin llegar a coincidir con éstas pues aparecen más bien hacia el medio de ellas. Se las creyó líneas del hidrógeno cuya vibración debía estar perturbada por alguna causa.

Estudiado por Bohr el espectro de Pickering lo atribuyó al átomo monoplanetario helio, y la distribución de ese espectro (serie de Pickering) vió que encaja en la fórmula

$$\nu = 4 R \left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

mediante las combinaciones $\left\{ \begin{array}{l} n'=4 \\ n=5 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} n'=4 \\ n=6 \end{array} \right.$, etc.

Una vez descubiertos en nuestra atmósfera los gases nobles, helio, neon, argon, kriptón, xenon y radón, el gran espectroscopista Fowler, ha realizado notables trabajos sobre el helio y el hidrógeno, tendentes a descubrir la todavía misteriosa arquitectura del helio. Desde luego, ha enriquecido el patrimonio espectral con su serie, cuya pauta es:

$$\nu = 4 R \left[\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

Por su parte, Lyman, ha descubierto rayas que encajan en las fórmulas

$$\nu = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right] \quad \text{y} \quad \nu = 4 R \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

entre ellas la raya primera $\nu = 4 R \left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right]$ o sea la fundamental o de *resonancia* del helio.

Si en la serie de Pickering $\nu = 4 R \left[\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right] = 4 R \frac{1}{2^2} \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right] = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right]$ se han elegido los números pares

$n=2m$ se ve que se cae en la serie de Balmer del hidrógeno. Pero el documento espectral de Pickering pudo ser mejorado por Fowler trabajando en su laboratorio con helio puro, ionizado y excitado por las chispas condensadas. Finalmente, Paschen, hizo notar que las rayas Pickering no caen exactamente sobre rayas Balmer, sino que están ligeramente desplazadas hacia el violeta. He aquí algunos desplazamientos:

	$\left. \begin{matrix} \{ n = 6 \\ m = 3 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} \{ n = 8 \\ m = 4 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} \{ n = 10 \\ m = 5 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} \{ n = 12 \\ m = 6 \end{matrix} \right\}$	
He*....	6560'1	4859'3	4338'7	4100'0	(longitudes de onda en angstroms)
H.....	6562'8	4861'3	4340'5	4101'7	

Esta pequeña discrepancia excitó el interés de Bohr, quien revisó sus ecuaciones, viéndose frente a un problema parecido al que se ofrece al astrónomo cuando considera la órbita de Júpiter, cuya masa viene a ser $\frac{1}{1000}$ de la del Sol. En el átomo de hidrógeno, el electrón planetario viene a tener $\frac{1}{1846}$ de la masa total. Bohr había considerado despreciables esta masa, y los números antedichos de Paschen piden una explicación, que dió Bohr inmediatamente. Se trata del arrastre del núcleo por el electrón planetario. La solución es, que ambos se muevan en sus órbitas alrededor del centro de gravedad del sistema, diametralmente

opuestos siempre y por tanto con la misma velocidad angular. Sin entrar en este sencillo problema, se comprende que debe modificarse la constante de Rydberg, que para el núcleo de masa relativa infinitamente grande, sería 100.737'11, debiendo ser en el hidrógeno real 109.677'81 y para el helio 109.722'31. Así, mientras las series del hidrógeno llevan la pauta $\nu = 109.677'81 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$, las del helio se ajustan a: $\nu = 4 \times 109.722'31 \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$.

La teoría de Bohr marchaba pues, de triunfo en triunfo.

* * *

Interviene ahora el eminente profesor de Física teórica de Munich, Sommerfeld, el cual acepta las órbitas circulares de Bohr como las normales de los átomos. Admite también que puedan ensancharse mediante la absorción de *cuantos* de energía de la forma $h\nu$, conservando, como caso particular, la forma circular pero considera más general el caso de la órbita kepleriana. En el proceso inverso, será liberada la energía absorbida antes (energía de excitación $h\nu$) que se convertirá en energía de emisión, produciendo una raya espectral. Ahora, los saltos del electrón planetario de Bohr, adquieren variedad, pues podrá saltar no sólo entre circunferencia y circunferencia, sino de éstas a las elipses, y también de una a otra elipse.

Mientras en la órbita circular de radio r , dado, la variable única es el ángulo α que forma con una posición inicial el radio móvil (problema con un solo parámetro),

en la órbita kepleriana dada, los parámetros son dos: el radio vector ρ , variable, y su azimut ψ contado respecto a una posición inicial, p. ej., la línea de los focos. Estas variables introducen las correspondientes velocidades, radial y trasversa \dot{r} y $r\dot{\psi}$; las energías cinéticas del electrón planetario $\frac{1}{2} m \dot{r}^2$ y $\frac{1}{2} m r^2 \dot{\psi}^2$, y sus derivadas o momentos conjugados $m\dot{r}$ y $mr^2\dot{\psi}$; pues estamos, evidentemente dentro de problemas conservativos y son, aplicables las ecuaciones canónicas de Hamilton. También es evidente, en primera aproximación, que ambos parámetros ρ y ψ son cíclicos, pues deben pasar por los mismos valores en las sucesivas revoluciones del electrón. Cada uno de estos procesos cíclicos es del tipo de un oscilador lineal, y exige su cuantización específica. Al oscilador azimutal se le aplicará la cuantización kh , y al radial la $k'h$, siendo números enteros k y k' y h la constante de acción de Planck. Es de notar que las dimensiones físicas de h coinciden con las del momento angular y a la vez son las de un trabajo dividido por el tiempo: es pues, una potencia mecánica, o *acción*, por otro nombre.

Si en el oscilador lineal $x=a \sin 2\pi\nu t$ consideramos el momento conjugado $p=2\pi\nu ma \cos 2\pi\nu t$ la variación en el tiempo del sistema (x, p) la traduce una elipse de semiejes a y $b=2\pi\nu ma$ cuya área es $\pi ab=2\pi^2\nu ma^2$. La energía del oscilador es totalmente cinética en el instante $t=0$ de su máxima velocidad $2\pi\nu a$, y se expresa por

$$E = \frac{m}{2} (2\pi\nu a)^2 = \nu (\pi ab), \text{ según la relación anterior. Luego}$$

un cierto oscilador de amplitud a y frecuencia ν lleva adscrita una energía $\nu (\pi ab)$ equivalente a ν veces el área de la elipse representativa cuyos semiejes son los antedichos.

La Mecánica clásica considera igualmente posibles to-

das las amplitudes a de vibración y por tanto todos los osciladores, lo cual significa que ν puede ser entero o fraccionario. Para Bohr y Sommerfelde, siguiendo a Planck, ν deberá ser entero necesariamente. Por consiguiente, habrá que seleccionar las elipses que respondan a esa condición, tachando las demás. Puesto que cada elipse exige un cuanto de energía, podrá escribirse

$\int p. dx = nh$ pues referida a ejes rectangulares $\left\{ \begin{matrix} p \\ x \end{matrix} \right.$ la integral nos dará el área, y ésta podrá escalonarse en el sistema seleccionado de modo que de una elipse a otra quede un anillo elíptico de valor h o algún múltiplo conveniente de h .

Sommerfeld invoca tantas integrales del tipo anterior cuantos sean los grados de libertad o parámetros que exija el problema atómico. Si el electrón describe una órbita fija de parámetros $\left\{ \begin{matrix} p \\ \psi \end{matrix} \right.$ equivale a dos osciladores simultáneos, y éstos serán tres en la órbita espacial, de parámetros

$\left\{ \begin{matrix} p \\ \psi \\ \lambda \end{matrix} \right.$ propios de las coordenadas esféricas.

Serán necesarias en estos dos problemas dos o tres ecuaciones del tipo acabado de indicar. Si los ciclos o *libraciones* en los parámetros, no son esencialmente diferentes se dice que el problema es *degenerado* y esto ocurre en el problema de la elipse fija. Desaparece sin embargo la degenerescencia si se trata el problema atendiendo a la variación de la masa m_0 del electrón, en reposo; pues, su velocidad v es del orden de 10^8 cm por segundo, y su relación β a la de la luz ($3 \cdot 10^{10}$ cm) es del orden $\frac{1}{3000}$, cantidad no despreciable pues cambiará la masa elec-

trónica, de acuerdo con la teoría de la Relatividad, convirtiéndola en

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

la cual deberá figurar en los momentos radial p_r y azimutal p_ψ , que son, respectivamente, $m\dot{r}$ y $m r^2 \dot{\psi}$.

Dejando a un lado el problema de la integración de las ecuaciones referentes a esos momentos, en la forma ya dicha, tratamiento debido en parte a Wilson, queremos recoger solamente algunos resultados, referentes al hidrógeno ($Z=1$):

1.º Todas las órbitas elípticas, coaxiales, donde las integrales de fase van cuantizadas $\left\{ \begin{array}{l} \text{azimutalmente por } k \text{ h} \\ \text{radialmente por } k' \text{ h} \end{array} \right.$ tienen por semiejes $\left\{ \begin{array}{l} a = M (k+k')^2 \\ b = M k (k+k') \end{array} \right.$ siendo $M = \frac{h^2}{4\pi^2 m e^2}$ y $k + k' = n$, número cuántico de Bohr.

2.º Las elipses posibles resultan de la condición $\frac{b}{a} = \frac{k}{n}$, donde, si $k = n$ se cae en los círculos de Bohr. La solución $k = 0$ significaría el oscilador lineal de área (elíptica) nula y debe desecharse. Si p. ej. $n=4$ las soluciones serán: $\frac{4}{4}$ (círculo); $\frac{b}{a} = \frac{3}{4}$; $\frac{b}{a} = \frac{2}{4}$; $\frac{b}{a} = \frac{1}{4}$.

3.º La energía total valdrá: $E' = - \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \frac{1}{(k+k')^2}$ o sea el mismo resultado obtenido por Bohr para sus órbitas circulares. Así pues, todas las elipses de igual eje mayor $n = k + k'$ serán equienergéticas.

4.º Si se corrige la masa, según la teoría de la Relatividad, la elipse se moviliza de suerte que la órbita es una

curva en *roseta*, es decir, gira la línea de los ápsides de suerte que el perihelio describe un arco de circunferencia concéntrico con el que describe el afelio, y esto determina un ciclo múltiplo o no del incremento $\Delta\alpha$ que el perihelio describe sobre la pequeña circunferencia mientras el electrón ha descrito la elipse móvil. Es de notar que el problema astronómico semejante, aplicado al sistema Sol-Mercurio, se trató por la Mecánica clásica sustituyendo la masa

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{planetaria} \\ \text{electrónica} \end{array} \right. m \text{ por la masa compuesta } \frac{m M}{M + m}, \text{ que}$$

reduce aquélla según la fracción $\frac{M}{M + m}$, siendo M la masa,

solar ó nuclear respectivamente, según es fácil demostrar.

Mediante esta corrección el corrimiento secular $\Delta\alpha$ del peri-

helio de Mercurio resulta ser unos $7''$, es decir solo $\frac{1}{6}$ del

verdadero, según las medidas de Newcomb. Ahora bien,

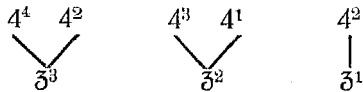
la corrección relativista conduce al valor exacto ($45''$).

¡Triunfo sensacional de Einstein, al introducir la masa co-

rregida según su fórmula $m_0 (1 - \beta^2)^{-1/2}$!

5.º Si, p. ej., el sistema orbitario inicial es el $4^4 4^3 4^2 4^1$ (notación de Bohr) y el final $3^3 3^2 3^1$, siendo circulares las 4^4 y 3^3 y elípticas cada vez más aplastadas las demás; las primeras de eje mayor 4 y el de las segundas= 3 , las transiciones o saltos de uno a otro sistema parece realizable *a priori* de 12 maneras, a las que corresponderían 12 líneas espectrales; pero la experiencia sólo indica 5 rayas. La condición de Bohr de la necesidad de conservarse el momento angular (o momento de la cantidad de movimiento) en cada sistema orbitario, implica, según cálculos sencillos de Rubinowicz, que no caben transiciones sino cuando el número cuántico azímutal (índice alto de Bohr) varía

a lo sumo en ± 1 . Bohr reduce las posibilidades a estos dos tipos de cambio y excluye el tipo 0. Así pues, en el caso antedicho, las 5 transiciones serán:



Estas 5 transiciones las descubrió Paschen en la raya del helio $\lambda=4686$, raya simple si es vista con los espectroscopios ordinarios, pero que se disloca en el reducidísimo espacio de $\frac{8}{10}$ de angstrom (ocho veces menos que el espacio que ocupa la raya doble D del sodio) mostrando las 5 rayas previstas, cuando se la examina con potentes dispersores espectrales. Este es un caso de la llamada *estructura fina* de las rayas, que justifican la hipótesis de los sistemas orbitarios de Sommerfeld.

6.º El electrón, girando con la asombrosa velocidad de miles de *billones* de vueltas por segundo alrededor del núcleo, debe comportarse como una corriente eléctrica negativa cerrada, o sea como una hoja magnética, y forma lo que se llama el *magnetón* de Bohr.

Este magnetón, originado por la menor cantidad de carga eléctrica conocida e , circulando a velocidad constante alrededor del núcleo, en el estado normal del átomo, parece indicar una unidad natural, por debajo de la cual no puedan invocarse otras, a no ser reduciendo profundamente la velocidad angular, ya que el área de la órbita normal no puede reducirse.

Sin embargo, los trabajos de Weiss y otros, entre los cuales son muy notables los de nuestro físico Cabrera, señalan una especie del submúltiplo al magnetón de Weiss,

que viene a ser casi $\frac{1}{5}$ del de Bohr. Se ha perseguido la idea de que el magnetismo experimental de los cuerpos conste de un número exacto de magnetones Weiss, lo cual no ocurre siempre. Sin embargo, las orientaciones de los ejes de las órbitas, como fenómeno estadístico y a la vez cuantizado, podría conducir a la explicación de este dualismo. Ciertas experiencias hechas con vapores enrarecidos de plata, níquel y talio, sometidos a un fuerte campo magnético de topografía rápidamente variable, han puesto de manifiesto la existencia del magnetón simple de Bohr, en el primer caso, del doble magnetón en el segundo y de $\frac{1}{3}$ en el tercero.

* * *

La estructura fina de las rayas espectrales puede forzarse y complicarse por la acción de un campo eléctrico potente, del orden de 100 kilovoltios, por cm. El efecto fué descubierto por Stark, y lleva su nombre. Su teoría pudo establecerse, por Epstein y Schwarzschild, utilizando la de Bohr, y también los trabajos de Jacobi en el problema de la acción entre dos focos de fuerza, problema elegante donde utilizó las coordenadas elípticas.

Se comprende que si en un plano fijan la posición de un punto sus dos coordenadas cartesianas, también puede fijarse mediante dos arcos de elipse, cuyos ejes mayores se sitúen de modo conveniente. Bastará que los parámetros de las elipses (terceras proporcionales a los respectivos semiejes) varíen de modo continuo para que cada sistema invada todo el plano y se corten ambos sistemas. Si

estos sistemas son coaxiales (p. ej. los ejes mayores superpuestos al eje de las z) y uno de los focos de acción coincide con uno de cada elipse, y se alejan al infinito los otros dos, en el límite las elipses se convierten en parábolas y podremos fijar los puntos del plano por intersecciones de arcos de parábolas. El campo de fuerza procedente del foco móvil se hará paralelo en el límite.

Concretado al caso del electrón de órbita circular (en el estado normal) cuyo eje es el de las z (dirección del campo eléctrico F) ese eje puede ser el de un cilindro cuya sección recta sea la órbita normal (plano $x y$) antes de aplicar F . Las coordenadas cilíndricas iniciales pueden ser: $z=0$, $x=\rho \cos \alpha$ $y=\rho \sin \alpha$.

Al aplicar el campo F según el eje z el electrón gana una cota z y a la vez el potencial $F e z$ que se suma al inicial $-\frac{e^2}{\rho}$.

Fácil es ver que la función de Hamilton será:

$$H = \frac{1}{2} m \left[\dot{z}^2 + \dot{\rho}^2 + \rho^2 \alpha^2 \right] - \frac{e^2}{\rho} + F e z$$

siendo m y e la masa y carga del electrón.

En el plano axial electrón-eje z puede invocarse el sistema de las parábolas $\left\{ \begin{array}{l} \xi = \text{constante} \\ \pi = \text{constante} \end{array} \right.$ cuya intersección fija en ese plano la posición del electrón en el instante t .

Sin entrar en el detalle del problema (*) indicaremos solamente que en la órbita normal de tipo hidrógeno

$$h\nu_0 = \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2} \left[\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

(*) Puede verse este asunto muy bien tratado en «Birtwistle = Quantum Theory of the Atom = Cambridge University Press».



el incremento en frecuencia se expresa por

$$\Delta = A (n'k' - nk)$$

siendo $A = \frac{3Fh}{8\pi^2 m e}$ y números cuánticos $\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right\}$ $\left\{ \begin{matrix} n' \\ k' \end{matrix} \right\}$ finales e iniciales, respectivamente. Si se trata de la raya H_α del hidrógeno los números cuánticos son $\left\{ \begin{matrix} n=3 \\ n'=2 \end{matrix} \right\}$ y $k \left\{ \begin{matrix} 1 & 2 \\ -1 & -2 \end{matrix} \right\}$

$k' \left\{ \begin{matrix} 1 \\ -1 \end{matrix} \right\}$, que permiten 15 valores del paréntesis anterior

$(n'k' - nk)$, o sea 15 valores de Δ ; siendo valor central el cero, cuyos costados se sitúan a intervalos regulares escalonados en 2'8 angstroms (cada uno = 10^{-8} cm.) 12 rayas, y a doble distancia las dos extremas, cubriendo la dispersión total de la línea un espacio de 44'8 angstroms.

Como quiera que el coeficiente de dispersión A es independiente de n y n' resulta aplicable a todas las rayas Balmer del hidrógeno cuyos escalones valen A en todas. La estructura fina debida al efecto Stark se va complicando; así, la línea H_β nacida de la transición $\left\{ \begin{matrix} n'=n \\ n=4 \end{matrix} \right\}$ dará 21 componentes; la H_γ $\left\{ \begin{matrix} n'=n \\ n=5 \end{matrix} \right\}$ 27 componentes, etc.

Si se tratase del helio el coeficiente de dispersión sería $A' = \frac{3Fh}{8\pi^2 m Z e}$ con $Z=2$, de modo que la línea 4686 que viene de la transición $\left\{ \begin{matrix} n'=3 \\ n=4 \end{matrix} \right\}$ daría 35 componentes, etc. etc.

Pero la teoría dice más. Las líneas dispersadas están polarizadas. Si sometemos la llama de una bujía ordinaria a la acción de un fuerte campo eléctrico, en la llama hay focos en incandescencia debidos al hidrógeno, carbono y otros átomos cuyos espectros forman un todo demasiado

complicado aún sin la acción del campo. Es menester elegir una raya particular para el estudio mediante potentes dispersores. Aun eligiendo las rayas más intensas, es decir, las producidas por la concurrencia de gran número de átomos en estado semejante de excitación, no se obtiene el sistema completo de las componentes del efecto Stark. Los espectrogramas sólo ofrecen algunos de los grupos de rayas.

La teoría del fenómeno sugiere que cuando la suma de incrementos en $\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right.$ es par, el electrón afectado por el campo varia su coordenada z sin cambio en las $\left\{ \begin{matrix} x \\ y \end{matrix} \right.$, mientras que sucede lo inverso si aquella suma es impar.

Si se examina el foco de luz en la dirección z del campo se ve un sistema de tripletes, situados simétricamente de la raya cuando era simple. Dejan de verse las vibraciones paralelas a la línea de visión z , y en cambio afectan al ojo las vibraciones en sentido de $\left\{ \begin{matrix} x \\ y \end{matrix} \right.$. Cada excitación particular $\left\{ \begin{matrix} x \\ y \end{matrix} \right.$ conduce a una vibración circular en determinado sentido; pero, estadísticamente, si el fenómeno es prácticamente simétrico alrededor del eje z , (actual línea de visión) habrá tantas vibraciones circulares de un sentido como del contrario, y desaparecerá la polarización, aunque no la excitación en el lugar de la componente, y ésta será vista si es suficientemente intensa.

Si la línea de visión es una cualquiera de las perpendiculares al campo, las vibraciones de sentido z equivalen a polarizaciones lineales paralelas al campo, y las vibraciones circulares de componentes asociadas $\left\{ \begin{matrix} x \\ y \end{matrix} \right.$ serán vistas

ahora de canto, y producen componentes de aparente polarización lineal, ortogonal al campo o sea al eje z .

Así pues, la nueva estructura fina, mucho más amplia que la debida al efecto relativista y superpuesta a ella, exige para comprobar la teoría, no sólo que los lugares de las componentes sean los predichos por ella sino también el tipo de polarización que manifiesten.

Según los documentos espectrales, no sólo se ha comprobado la teoría dada por Epstein y Schwartzschild, sino que la difícil contribución de Kramers e Heisenberg al problema del cálculo de las intensidades de las componentes, significa un avance hacia los nuevos e inesperados tratamientos del problema.

El asunto se complicara más si el efecto relativista hay que llevarlo en cuenta; y esto ocurre si el efecto Stark es débil. El tratamiento matemático requirió el auxilio de la Mecánica celeste, en su capítulo de las órbitas perturbadas, trabajo de adaptación a la teoría del átomo, debido a Bohr, Epstein, Kramers y otros. Se trata de calcular los efectos llamados *seculares* o de transformación lenta de los parámetros de las órbitas; resulta así un movimiento doblemente periódico, debido al efecto perturbador del campo, que puede tomar a su cargo no sólo al efecto Stark sino también el relativista.

Además se presenta una anomalía, que ya notó Stark. Si a la vez de utilizar el campo eléctrico ordinario (entre los platillos del condensador plano, p. ej.) se apela al bombardeo electrónico, en el correspondiente tubo catódico, la estructura fina de las rayas, se torna asimétrica. Si los proyectiles electrónicos corren en el sentido del campo eléctrico aplicado, las componentes de la estructura fina de menor frecuencia se hacen más intensas que las

del otro costado de la raya primitiva sometida a la trituración; es que ha basculado cierta órbita conexas con la del electrón no perturbado (la llamada del *electro-centro*), por efecto del bombardeo, y ciertas transiciones de órbitas resultan favorecidas y con ello las emisiones correspondientes de luz.

Otra novedad fué la señalada por Kramers al denunciar en el fenómeno dispersivo Stark la aparición de rayas semejantes a los sonidos acústicos de interferencia de los tipos $N \pm N'$, siendo N y N' las frecuencias o números de vibraciones de los sonidos componentes, por segundo. Estas nuevas componentes aparecen, según el propio Stark, en los espectros del helio y del litio.

* * *

Vamos a otro efecto, observado antes que el de Stark, y que había sido explicado en parte por Lorentz con su teoría electrónica. Es también de estructura fina, pero producida por un campo magnético. Se le llama *efecto Zeeman*, y puede ser también normal y anómalo o asimétrico.

Si se someten los átomos excitados de hidrógeno a la acción de un campo magnético H , que supondremos como antes orientado según el eje z normal a la órbita del electrón, el movimiento de éste estará gobernado por la acción eléctrica del núcleo, de componentes X Y Z sobre los tres ejes, por una parte, y la acción entre H y la corriente eléctrica circular, de intensidad $e\nu$ en la órbita (e =carga electrónica y ν =velocidad de esta carga) junto con las fuerzas de inercia, por otra.

Pero había demostrado Larmor que el efecto del campo

H equivale a cambiar la velocidad de giro del electrón, alterando su frecuencia en la cantidad aproximada

$$\frac{eH}{4\pi mc} \text{ o sea cambiar la velocidad angular en } \frac{eH}{2mc};$$

relación que dió base a Lorentz para calcular la de la masa a la carga $\frac{m}{e}$ obteniendo un resultado en concordancia con otras determinaciones de esta última relación, lo cual se consideró como argumento a favor de la teoría electrónica, naciente entonces.

El tratamiento cuántico del problema se debe a Sommerfeld y a Debye y posteriormente a Bohr, aplicando el teorema de Larmor a la elipse kepleriana; aparecen dos frecuencias y dos cuantizaciones afectas a ellas. Omittimos más detalles, impropios de este lugar.

La fórmula de Bohr para el triplete Zeeman es:

$$\nu - \nu_0 = \frac{cH}{4\pi mc}(n - n')$$

donde la diferencia $n - n'$ no puede tener otros valores que 1; 0, -1. Si $n - n' = 0$ resulta la raya central del triplete, que se presenta en el mismo sitio de la raya primitiva no dislocada; y con los valores ± 1 aparecen dos rayas simétricas de la central, con polarizaciones circulares inversas.

Si la línea de visión es perpendicular al campo magnético H se verán de canto las vibraciones circulares y parecerán vibraciones rectilíneas (que son la 1.^a y 3.^a del triplete) polarizadas perpendicularmente a H. Si la luz entra en el espectrómetro paralela a H desaparece la raya central, pues su vibración es paralela al rayo luminoso, y la 1.^a y 3.^a se ven polarizadas circularmente en sentidos contrarios, resultando ahora un doblete. El hecho de que no

aparece en la fórmula anterior la constante h de Planck, explica que el fenómeno pudiera ser tratado por Lorentz cuantitativamente sin intervención de la teoría cuantista. En cambio, en el coeficiente dispersivo del fenómeno Stark $A = \frac{3Fh}{8\pi^2me}$, vemos la intervención de h , y por tanto se explica que las teorías clásicas resultasen impotentes para dar la del fenómeno.

Desde luego, la variación $\Delta\nu = \nu - \nu_0$, en frecuencia, resulta proporcional al campo magnético H , y por tanto también la separación de las rayas del triplete; y cosa análoga sucede con el coeficiente dispersivo A del fenómeno Stark, respecto al campo eléctrico aplicado F .

Cuando las rayas espectrales no están apretadas o se trata de dobletes apenas separables, el comportamiento por acción del campo H es el indicado; tal ocurre en los espectros del hidrógeno, helio y litio; pero si se trata de los metales alcalinos pesados, en cuyos espectros hay muchos dobletes holgados, cada línea de éstos se disloca por la acción del campo H dando numerosas componentes, tanto más separadas cuanto mayor es H ; pero las de un costado de la raya central o primitiva se corren más que las otras al crecer H y llegan a separarse casi tanto como la anchura del doblete primitivo. Este comportamiento asimétrico se llama *anómalo*, y termina, si H sigue creciendo, en una fusión de líneas desapareciendo unos grupos y reforzándose otros, quedando al fin un triplete normal. Este último fenómeno se llama *efecto Paschen-Back*, descubierto por estos espectroscopistas.

* * *

El espectro de un átomo es, según Bohr, la mejor noticia que podemos adquirir de su estructura. Cuando se trata del más sencillo, el hidrógeno, ya vimos que aparecían, nada menos que cuatro series, llamadas de Lyman, Balmer, Paschen y Pfund, obedeciendo cada serie a su pauta particular, y todas incluida en la fórmula

$$\nu = R \left[\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

donde $n' = n - 1$ en el término primero o fundamental de la serie y $n = \infty$ para la llamada cabeza o límite de ella. Los valores fijos de n' son 1, 2, 3, 4, respectivamente, en dichas series.

Cuando los núcleos ofrecen las cargas Ze , siendo Z el número de orden del átomo en la clasificación periódica, y e la carga electrónica, se transforma el coeficiente R en los valores $4R$, $9R$, $16R$... si $Z=2$, 3, 4...; como caso con-

creto, el sistema $\left\{ \begin{array}{l} \text{helio} \\ \text{litio} \\ \text{berilio} \\ \text{---} \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} \text{privados de} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ \text{---} \end{array} \right\} \text{ electrones, respec-}$

tivamente. Pero esta operación de privar a un átomo de uno o más electrones no es cosa siempre hacedera. En tal caso, se dice que los átomos incompletos están ionizados, una, dos..., veces.

Los recursos disponibles son las altas temperaturas, que facilitan las llamas muy calientes, y mejor, las chispas eléctricas, empezando por el arco si se pretende estudiar los átomos completos, pero excitados; arcos, cuya técnica ha sido objeto de convenios internacionales, sobre el amperaje, calibre, posición y naturaleza de los electrodos,

lugar de observación del arco, apreciación de la anchura de líneas, patronaje de éstas, reducciones al vacío, etc. Las llamadas chispas condensadas que brotan de explosores provistos de capacidades, son todavía más calientes y permiten, no sólo disociar, a veces, las moléculas en átomos, sino ionizar y sobreexcitar a éstos. Se cree que en la superficie de las estrellas existen átomos despojados de dos o más electrones periféricos; por ejemplo, en la atmósfera solar existe el calcio bionizado, etc. Ya hemos dicho que en ciertos procesos radiactivos se liberan partículas α , o sea núcleos de helio, el cual ha perdido sus dos electrones planetarios.

Comparados los espectros de los metales alcalinos se vió en ellos una típica estructura que los clasifica en un grupo; son principalmente sus dobletes, cuyas líneas, muy apretadas en los alcalinos ligeros se separan más y más a medida que el metal es más pesado.

Lo típico de los alcalino-térreos, como el magnesio, calcio, etc. son los tripletes, distribuidos con cierta regularidad, entremezclados con dobletes y líneas sueltas o singletes, etc., etc,

Espectros hay extraordinariamente complicados, p. ej., el del hierro, que suministra gran número de rayas-patrones, gracias a que cubren de modo bastante regular gran parte del sector óptico o visible del espectro, rayas que fueron tabuladas con gran precisión por los espectrocopistas. Aunque el material de observación era enorme, en los tiempos de Rydberg, y la sistematización hecha por éste y luego por Kaiser, Runge y otros, de gran importancia, la labor de rectificación y las monografías espectrales de los átomos, aun siendo incesante e intensa, es tarea secular. Recuérdese que las líneas, simples a primera vista, se mul-

tipican al ser observadas con aparatos de fuerte dispersión, y que además los campos eléctricos y magnéticos trituraron por su parte las líneas.

Antes de que Bohr nos hubiese puesto en la pista científica de la estructura atómica, sólomente desde 1885 y gracias a las fórmulas empíricas de Balmer y de Ritz (suizos) y la de Rydberg (sueco) se pudo asociar las líneas espectrales en grandes familias, cuantitativamente seriadas.

Los grandes espectro-copistas, principalmente Kaiser y Runge, habían advertido ciertas líneas de fácil inversión (paso de brillante a negra) en los alcalinos ligeros, líneas que colocaron en la serie llamada *principal*; otras, por lo netas y bien definidas, se agruparon en la serie llamada *netá* (*sharp* de los ingleses) y otras, mas o menos confusas, se asociaron a la serie *difusa*. Finalmente, Hicks, propuso una cuarta serie que llamó *fundamental*, porque creyó, erróneamente, que era más importante que las demás; a esta cuarta serie de pocas líneas ópticas se le llama también serie de Bergmann.

Una cierta idea simplista parecía justificar aquellos nombres, hija natural del deseo de poner orden en la maraña espectral.

La cuestión de intensidad de las rayas se vió que era muy compleja, no sólo por los alti-bajos que ofrecen las rayas en cualquier serie, sino también en sí mismas al examinar su estructura. Tanto, el propósito de calcular las intensidades de las componentes de una raya, como el de situarlas con precisión a los costados de su lugar como raya matemática, han sido empeños grandes, iniciados ya con los trabajos de Kramers en 1919 y proseguidos desde entonces por una pléyade de hombres eminentes que nos han traído las llamadas nuevas mecánicas.

Pero hacía falta penetrar hasta el corazón del átomo y obtener las noticias espectrales completas.

Estas nuevas noticias nos las trajo el malogrado joven Moseley, pocos años antes de morir en las trincheras inglesas de los Dardanelos.

Para excitar vibraciones venidas de la entraña del átomo hay que apelar al rayo X de suficiente penetración. Y aquí sale al paso una pauta matemática debida al gran Einstein. Para arrancar un electrón de una superficie metálica, electrón perteneciente a los más sueltos del metal, se requiere un *cuanto* de luz tal que se cumpla la relación llamada foto eléctrica de Einstein

$$h\nu - W = \frac{1}{2} mv^2$$

siendo $h\nu$ el equivalente vibratorio de un *fotón* de luz (ultravioletada en el zinc, p. ej.); W el trabajo de arrancar el electrón de la superficie del cuerpo y $\frac{1}{2}mv^2$ la energía cinética del electrón lanzado.

A todo rayo X va asociado un cuanto $h\nu$, una especie de fotón millares de veces más energético que los luminosos. Estos fotones, se obtienen en los tubos de rayos X gracias al bombardeo de electrones que vienen del cátodo; si que los modernos tubos (Coolidge, p. ej.) no sólo permitan regular el campo sino también la intensidad del chorro electrónico. El trabajo W para extraer el electrón no pasa de una veintena de voltios, mientras que el equivalente para $h\nu$ es de millares de éstos. Así pues, aproximadamente se deberá tener

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2$$

que regula la energía cinética del electrón $\left(\frac{1}{2}mv^2 = eE\right)$ y con ésta el campo E acelerador, así como el rayo X obtenido, definido por su *dureza* ν . Este rayo X surge en el anticatodo o tarjeta herida por el chorro electrónico, y como en éste no todos los electrones llevan igual velocidad, sino más bien poseen, estadísticamente, velocidades muy variadas, por debajo de cierto límite, el fenómeno se traduce fotográficamente por un fondo continuo surcado por rayas específicas de la tarjeta metálica utilizada como anticatodo, o de la sustancia que lo recubre.

De este modo surgió el descubrimiento fundamental de Moseley, cuyos diagramas muestran las llamadas líneas 'K, debidas a la energía $h\nu$ liberada por los electrones que se precipitan desde capas del átomo que envuelven a la más interior, donde tienen sus órbitas los electrones desplazados por el proyectil electrónico que hirió la tarjeta. Desde el calcio al bario (números atómicos 20 y 56) se presenta una serie de tripletes formados por el sistema $K_1 K_2 K_3$, tripletes que se desplazan de modo suficientemente regular desde el calcio al zinc (20 \rightarrow 30), pudiendo aceptarse la ley aproximada de Moseley $Z = C\sqrt{\nu}$ siendo Z el número atómico, ν la frecuencia y C una constante. Así, en el diagrama donde sean ordenadas los valores Z y abscisas los valores $\sqrt{\nu}$ deberá obtenerse sencillamente una línea recta, al situar en él uno de los tipos de líneas. En particular, la curva casi es recta, si en vez de Z se pone $Z-1$. De todos modos, las conclusiones de Moseley fueron definitivas, para ordenar los átomos, mejor por el nú-

mero Z de su orden en la lista periódica que atendiendo ciegamente al peso atómico; pues éste presenta algunas anomalías en las parejas

$$\begin{array}{l} \left\{ \begin{array}{l} \text{argon (18)} \\ \text{potasio (19)} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{cobalto (27)} \\ \text{níquel (28)} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{teluro (52)} \\ \text{iodo (53)} \end{array} \right\} \end{array}$$

que Moseley según sus diagramas numeró y ordenó del modo que se indica, o sea al revés de lo que exigirían sus pesos atómicos, siendo aquéllos y no estos los que están de acuerdo con la ley periódica, en donde ya se habían notado estas anomalías.

Después se ha sabido que los pesos atómicos eran promedios estadísticos de mezclas de isótopos. Es importantísimo notar que los espectros Moseley, o por otro nombre de rayos X, que se observan recibiendo esos rayos sobre las redes difractivas que ofrecen los cristales, no son cíclicos o periódicos, como lo son los de los metales alcalinos o los de los alcalino-térreos; como lo son también los del hidrógeno, helio monicónico y litio biiónico. La significación de los diagramas de Moseley es que todos los átomos ofrecen la misma estructura en la capa electrónica K que envuelve al núcleo. Luego si el más sencillo, el hidrógeno, sólo tiene un electrón planetario, y al helio le corresponden dos, caen por tierra las hipótesis de hidrogenoides intermedios entre esos dos cuerpos, hipótesis que se apoyaban sobre los espectros del *nebulium* de ciertas nebulosas, y en los llamados *orthelio* y *parhelio*, cuyos espectros se presentaban como inajustables al del helio, problema ya resuelto en las nuevas mecánicas.

De ahí arranca la teoría de Bohr, tan plausible y acre-

ditada por tantos hechos, de que a los periodos químico-físicos corresponden ciertos periodos electrónicos, revelando estructuras que obedecen a una pauta única. Y el hecho de que los espectros de los astros coinciden con los de los laboratorios en los detalles más nimios da base a la idea de que el plan constructivo del Universo es único.

El esquema estructural de Bohr, en cuanto al número y disposición de los electrones en las diversas capas o pisos, es materia de incesante estudio, pues los problemas son muy hondos y muy difíciles. Ya hemos dicho que las nuevas mecánicas convergen y tienen como piedra de toque interpretar cada vez mejor los espectros en sus más finos detalles. Y como quiera que las doctrinas clásicas se quedan al umbral del átomo, en cuyas *interioridades* nunca habían pensado, sin dejar de ser muy útiles y exactas esas doctrinas en su propio terreno, que es el macroscópico, les faltaba el complemento que podemos llamar de la micro-mecánica, como les ha venido muy bien el otro complemento de la Relatividad.

* * *

El apoyo físico que facilitó Moseley a Bohr, acerca de la unidad estructural del átomo en su capa interior bielectrónica, se amplió con otras noticias posteriores importantísimas sobre los espectros de absorción; p. ej., el de la estrella Σ Tauri con sus 31 rayas de la serie Balmer del hidrógeno, debidas a la capa superior relativamente fría de la cromosfera de esa estrella, que absorbe esas mismas rayas emitidas por capas inferiores más calientes, documento astro-físico analizado por Foote y Mohler; así también sirvieron a Bohr las noticias, ya de laboratorio, facilitadas

por los nuevos espectro-copistas de los rayos X, ofreciendo con sus diagramas de pronunciados alti-bajos luminosos escalonados, cada uno en correspondencia con un voltaje necesario para imprimir determinada dureza ν al rayo X', obtenidos al atravesar una delgada capa de vapores o gases.

El especialista Wood, encontro 50 rayas de absorción en los vapores de sodio, cuyo escalón K (1106-1111 voltios) lo estudió Fricke; el escalón L (33-38 voltios) lo estudió Hertz, y el escalón M (0-5 voltios) lo analizó el sueco Stenstrom.

En el cesio, el fenómeno K de excitación plena de su vapor, cuesta unos 39.500 voltios; el escalón L se presenta a los 8500 y el M a los 4200, etc. etc.

Todo esto se interpretó mediante la fórmula foto-eléctrica de Einstein. Si la dureza ν (o, mejor, frecuencia vibratoria) del rayo X excitador es la suficiente en cada caso, (y aun mejor, sobrada) el electrón m desplazado de las capas planetarias interiores del átomo herido por el fotón o rayo X, podrá salir del átomo con una velocidad v , tal que se cumplan las relaciones:

$$\frac{1}{2} m v_k^2 = h(\nu - \nu'_k); \quad \frac{1}{2} m v_L^2 = h(\nu - \nu'_L); \quad \frac{1}{2} m v_M^2 = h(\nu - \nu'_M)$$

y todavía esa energía cinética del electrón lanzado fuera del átomo puede pasar a los inmediatos, y provocar en éstos excitaciones energéticas, no superiores a la energía del proyectil.

Surgieron, pues, los niveles energéticos K, L, M, N, O, P...; es decir, órbitas cuantizadas con las energías representadas por los voltajes del respectivo escalón, voltajes que se llaman de ionización cuando se trata de arran-

car un electrón de la capa menos resistente, que es la más alta o periférica.

Mirando Bohr, tanto a estos espectros de absorción, ópticos y de rayos X (en el hidrógeno y helio se confunden ambos), como a las propiedades físico-químicas, ya tenidas en cuenta por Mendeleieff y Meyer, propuso su esquema orbitario de los átomos, cuyos núcleos de carga libre positiva Ze sirve de enlace a los electrones planetarios, distribuidos en zonas 'K, L, M, N...; capas, pisos o niveles, donde, asignando un sólo electrón a cada órbita, éstas, circulares en unos casos y elípticas generalmente, habrían de presentar en cada piso o capa un conjunto orbitario todo lo simétrico y estable posible.

No es este el sitio para entrar de lleno en tan delicado asunto.

* * *

El problema del núcleo es de altísimo interés. Ya había dicho Prout en 1815, creyendo interpretar a Dalton y Berzelius, que todos los átomos debieran estar construidos a base del más ligero, el hidrógeno. Tomando su peso atómico como unidad no resultaban números enteros los demás pesos atómicos, como tampoco resultan sobre la base actual 16 para el del oxígeno y 1'008 (aprx.) para el hidrógeno.

Hoy día, la desintegración del núcleo, que es fenómeno secular, rápido o lento *ab initio* en muchos procesos radiactivos, procesos en los que todavía somos impotentes para intervenir, está en nuestras manos en cambio si se trata de átomos ligeros como el nitrógeno, etc.; que, bombardeados por los rápidos proyectiles α (núcleos de

helio) procedentes de las explosiones del radio o torio C, si hieren el núcleo del nitrógeno (peso atómico 14 veces el del hidrógeno) le arrancan protones o sea núcleos del hidrógeno. En cambio los átomos de peso atómico múltiplo de 4, se muestran muy resistentes a la dislocación nuclear y los menores fragmentos resultan ser el gas helio, de peso 4.

Esto sugiere que la construcción del núcleo sea a base de dos tipos de unidades, protones y núcleos de helio. La idea genérica de Prout resulta pues confirmada, y también hasta cierto punto el sueño de los alquimistas de la transmutación de las sustancias.

Las ideas de Jeans se conforman con las de los *criaderos* de los antiguos metalurgistas en cuanto significan que el *crisol* donde los átomos se constituyen y destruyen debe ser el interior de las estrellas, crisol a millones de grados de temperatura y a la vez sometido a presiones colosales.

Nuestra serie atómica, cuyo tope alto es el uranio (92), probablemente se prolonga en muchas estrellas. Para estos nuevos cuerpos, desconocidos por nosotros, probablemente muy inestables, el esquema de Bohr les ha previsto sus lugares y constitución planetaria; así p. ej., en el período de 32 elementos a partir del 86 o nitón (radon o emanium) hasta el último, 118, las zonas se ajustarían al esquema siguiente:

	K	L	M	N	O	P	Q
Nitón (86)	2	4-4	6-6-6	8-8-8-8	6-6-6	4-4	—
? (118)	2	4-4	6-6-6	8-8-8-8	8-8-8-8	6-6-6	4-4

es decir, los pisos N del nitón y del átomo 118 tendrían cuatro grupos de ocho órbitas, cada uno, al todo 32 órbi-

tas ocupadas por otros tantos electrones, apareciendo desocupado el piso Q del nitón y completado con los ocho electrones periféricos (grupo típico de los gases nobles a partir del neon) el del átomo 118 hipotético.

Las primeras noticias de que en el núcleo existen cuantizaciones del tipo orbitario se deben a Ellis, quien en 1921 utilizó los duros rayos gama que facilitan los procesos radiativos para extraer electrones de las entrañas de los átomos muy pesados: tungsteno platino, plomo y uranio. En estos cuerpos, la fórmula Einstein antedicha revela emisiones nucleares cuya dureza se corresponde con los rayos excitadores, expresadas en milésimas de Angstrom (nueva unidad llamada X). Posteriores estudios de Ellis confirman la hipótesis de los movimientos orbitarios en el propio núcleo. ¡Acaban de aparecer los electrones positivos!

La hipótesis de Prout de que con cuatro átomos de hidrógeno: $4 \times 1.008 = 4.032$ resulta un átomo de helio $= 4$, implica una pérdida de masa de 0.032 en esa operación. Las ideas de Einstein de que toda energía supone masa expresada por $W = \frac{1}{2} mc^2$ siendo c la velocidad de la luz, explican que el proceso de concentración nuclear, descontados

los electrones de ligadura $\left[\frac{2}{1146} = \frac{1}{923} \text{ en el helio} \right]$, sea tan fuertemente exotérmico que baje la masa 0.031 aproximadamente por cada núcleo de helio formado con cuatro átomos de hidrógeno.

El hecho de que el número atómico Z quede pronto por debajo de la mitad del peso atómico (salvo el hidrógeno) obliga a pensar que los núcleos que ofrecen libres Z cargas positivas necesitan Z electrones externos de neutralización. Asociando otros Z (*neutrones*) provistos cada uno de su

electrón de ligadura, resultan al todo $2Z$ protones que no bastan para dar el peso atómico. Se supone por algunos, como Janet, que el déficit se cancela con $P-2Z$ neutrones nuevos alojados en la periferia del núcleo. (P =peso atómico).

Hoy día se cuenta con un proyectil, ignorado hace pocos años, que es precisamente el proyectil que puede salvar, gracias a su neutralidad eléctrica (pues es un átomo de hidrógeno completo) los espacios interiores del átomo, donde reinan fuertísimos campos eléctricos, y provocar desmoronamientos de los núcleos inestables o poco ligados y aun unirse e incrustarse en los núcleos.

He aquí un sector donde se trabaja afanosamente hoy día y del cual se esperan grandes novedades.

* * *

¿Y qué decir de las estructuras moleculares?

Por de pronto, el rayo X se comporta con las mallas atómicas en los cuerpos cristalinos a la manera que los rayos ópticos sobre espejos surcados de numerosas rayas paralelas. Los fenómenos de interferencia traducidos por rayas brillantes en óptica y por fuertes rayas fotográficas, o por las correlativas pulsaciones iónicas en la cámara de ionización de Bragg, nos dicen que entre el fotón o rayo X excitador, de longitud de onda λ , la separación d de los estratos atómicos y el ángulo α de rasancia (complemento de incidencia) del rayo incidente o reflejado, existe la relación $n\lambda = 2d \sin \alpha$ siendo n entero, relación que ha permitido calcular d dado λ , y al revés. Cada malla tiene tres espaciamientos d en relación con las aristas del paralelepípe-



do fundamental de la malla cristalina. Si a cada una de esas células de la malla se adscribe una molécula, se tiene una idea del tamaño de ésta por el de la celda en que se aloja.

Por otros caminos ya se tenía noticia del tamaño de las moléculas más sencillas; pero ahora, los espectros de bandas facilitan nuevos datos, que se amplían más y más con los nuevos métodos de ataque de tan magno problema. Son de citar los llamados de los momentos eléctricos y magnéticos, o sea el estudio de los efectos Stark y Zeemann, y en general la medida de los momentos eléctricos y magnéticos, naturales e inducidos, de las moléculas. Se calculan, por de pronto, momentos de inercia, respecto a ejes diversos, en modelos sencillos.

Las moléculas conviene dispersarlas en forma de vapor o en disoluciones más o menos diluidas; pero, el método por excelencia, si se trata de vapores o gases, es el llamado de los *rayos moleculares*.

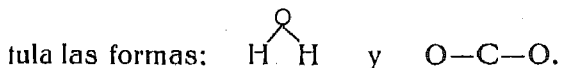
El foco de estos estudios es el laboratorio de Stern en Hamburgo y aunque el descubridor del rayo molecular fué el francés Dunoyer (1911) el estudio persiste y los mejores resultados se vinculan, por hoy, en aquel laboratorio.

El rayo molecular es una molécula que se mueve rectilíneamente, con su velocidad térmica, en un espacio muy enrarecido. Más bien es un flujo de ellas, formando una cinta, laminada por dos o más rendijas estrechísimas alineadas, que hacen el oficio de los colimadores ópticos. Al final, las moléculas chocan con una tarjeta, produciendo un depósito tenuísimo, o sobre una placa fotográfica, u otro receptor adecuado. En el trayecto han sufrido la acción de intensos campos eléctricos o magnéticos, de fuerte variación; y hasta han podido seleccionarse por razón de su velocidad, es decir, constituyendo lo que se llama el *rayo*

monocromático, imitando un cierto modo al rayo óptico puro.

Desde luego, el llamado *dipolo simple*, semejante al sistema de la doble bola de los gimnastas, cuya traducción molecular son los haluros metálicos, p. ej. Cl Na (cloruro sódico) han sido estudiados mecánicamente como rotores y vibradores, encontrando fórmulas que relacionan las energías correspondientes con su efecto espectral, en el cual, los efectos térmicos, de Zecman y de Stark, tienen repercusiones que se sabe calcular para el dipolo ideal, y aún para esas moléculas reales sencillas. No es de este lugar el entrar en ese laborioso y delicado terreno.

Pero, siquiera, indiquemos algunos resultados interesantes. Las moléculas del agua y del gas carbónico, *a priori*, pueden escribirse en la forma $\left\{ \begin{array}{c} \text{H—O—H} \\ \text{O—C—O} \end{array} \right.$; pues bien, el estudio de los momentos eléctricos inducidos postula las formas:



La molécula del amoníaco N—H_3 debe ser un tetraedro aplastado.

La molécula del metano CH_4 que tradicionalmente se mira como un cuerpo tetraédrico, regular, en cuyo centro está el C y los hidrógenos en los 4 vértices, no parece compatible con su espectro infrarojo, que más bien se conforma con un tetraedro irregular tomado de un prisma de base cuadrada, más chato que el cubo, donde el C ocupa el centro, dos hidrógenos en los extremos de una diagonal del cuadrado de base y los dos sobre la diagonal ortogonal superior; etc. etc.

Pero los rayos moleculares han traído grandes novedades de otro orden. Han dado la prueba *directa* experi-

mental de la ley de distribución de velocidades de Maxwell, tan fecunda en los fenómenos estadísticos. Están en camino de revelarnos la verdanera naturaleza de la condensación superficial y de la adsorción; pero, sobre todo, vienen a probar de modo magnífico la realidad de la teoría del duque de Broglie, de que toda masa m que se mueve con la velocidad v lleva asociado un sistema de ondas de longitud $\lambda = \frac{h}{m v}$ siendo h la constante de Planck.

Y todavía más. La reflexión del rayo o cinta molecular monocromática, sobre la cara de exfoliación de un cristal (p. ej. fluoruro de litio), debe orientarse en el sentido de las filas iónicas homogéneas para obtener el efecto máximo, de acuerdo con la teoría del fenómeno. Los rayos moleculares utilizados por Estermann y Stern, con técnica complicada, fueron de helio e hidrógeno.

La diferencia esencial entre el fenómeno con el rayo X y el rayo moleculanlar, es que aquél resulta de la intervención concordante de miles de estratos atómicos, mientras que la reflexión del rayo molecular parece ser puramente superficial, jugando el proyectil incidente y sus ondas asociadas primero y después los iones de la red y sus ondas provocadas en el instante del impacto.

Otro nuevo método de ataque para el estudio de átomos y moléculas se basa en la difracción de electrones, fenómeno bastante semejante a la difracción del rayo X, con la diferencia de que, mientras el fotón X es desviado casi únicamente por el cuerpo atómico, principalmente por sus capas electrónicas externas, el rayo electrónico de alta velocidad (electrones acelerados por campos no inferiores a 30 kilo voltios) sufre la acción preponderante del núcleo.

Estos fenómenos difractivos, intramoleculares, postulan la dispersión molecular en forma de gas o vapor, o siquiera en forma de láminas delgadísimas como son los panes de oro, plata, aluminio, etc. El fenómeno difractivo es un sistema de anillos concéntricos que rodean un núcleo.

Para el cálculo de la densidad I de la energía dispersada en cierto rumbo α se supone una distribución atómica, o molécula ideal, donde dos átomos i y j están situados a la distancia l_{ij} , siendo ω_i y ω_j sus coeficientes dispersivos para la onda de longitud λ . Los átomos ideales son del tipo Thomas-Fermi, o sea una distribución continua aléctrica en todo el cuerpo atómico. Se calcula dicha intensidad I por la fórmula de Debye:

$$I = K \sum_{i,j} \omega_i \omega_j \frac{\text{sen } x_{ij}}{x_{ij}} \quad \text{siendo} \quad x_{ij} = 4\pi l_{ij} \frac{\text{sen } \alpha/2}{\lambda}$$

Si se hacen los cálculos sobre un modelo tetraédrico, se podrá aplicar al metano, tetrahaluros del carbono, etc. El modelo pentagonal o exagonal se aplicará a los ciclos correspondientes, al benceno, etc. Desde luego, la

función $I = \frac{\text{sen } x}{x}$ es periódica, y es sencillo construir

la gráfica correspondiente. Si se desprecia el efecto difractivo del carbono en el $C Cl_4$ basta el 1.º periodo de la fórmula anterior, el 1.º máximo anular se ofrece si

$x = 7.73 = 4\pi l \frac{\text{sen } \alpha/2}{\lambda}$; luego, sabiendo el ángulo α para ese

máximo, se deduce la distancia l entre dos átomos de Cl , dada . Mediante una asociación de términos del tipo an-

terior se logra tratar los casos en que no sea despreciable el efecto del átomo central tetraédrico.

Una suma de términos de igual tipo, pero provistos de diferentes coeficientes, sirve para los modelos cíclicos.

Para el efecto difractivo sobre los electrones rápidos que penetran en la zona de preponderancia del núcleo.

Rutherford dedujo la fórmula $I = K \frac{1}{\sin^4 \theta/2}$; y en cuanto a la relación entre el voltage V , acelerador de los electrones y su efecto fotónico, se utiliza la fórmula de Broglie:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \left(\frac{150}{V} \right)^{1/2}$$

angstroms si V es dado en voltios.

Entre otros resultados muy interesantes pueden citarse los trabajos de Goldschmidt sobre los tetracloruros de carbono, silicio, estaño, etc. donde se dan las distancias entre dos átomos contiguos de cloro de 2'97—3'38—3'92 angstroms, respectivamente. A los carbonos del anillo bencénico se les asigna una distancia de 1'4 A., distancia que pasa a ser de 1'5 A para la de los carbonos contiguos de las alifáticos. Otro resultado sorprendente es el asignar dos formas al ciclo-exano, una abarquillada y otra, no plana tampoco, quizás diedral, a diferencia del ciclo-pentano y el benceno cuyos anillos son planos.

* * *

Cerremos este capítulo dando una ligera noticia sobre las nuevas mecánicas. Por de pronto, ya hemos visto, al tratar de los rayos moleculares, las difracciones selectivas

que emparejan, hasta cierto punto, el rayo molecular con el rayo X, el rayo electrónico y el rayo óptico.

En la tesis del doctorado de Luis de Broglie, a fines de 1924, aparece la idea, de carácter balístico e hidrodinámico, de asociar ondas al movimiento de los puntos materiales. Utiliza la primera teoría de la relatividad, pero asigna a sus ondas una velocidad individual que supera a la de la luz aunque el paquete de ondas, asociadas al punto, como conjunto, se adapta a la velocidad de éste. Desde luego rigen los principios de Fermat y Hamilton fundamentales para la Óptica y la mecánica. La condición de Bohr, llamada mecánica, o sea, conservación del momento angular, viene a ser una condición de la *renovación*, tal como se entiende en Acústica y Óptica.

No tardaron estas ideas en ser recogidas, antes que en Francia, en Alemania.

Venían trabajando Kramers e Heiseuberg en el magno problema de la estructura fina de las rayas espectrales, por razón de su intensidad, distribución, polarización y niveles energéticos de las transiciones.

Sobre todo, el estudio del fenómeno Zeeman, normal y anómalo, del cual ya hemos hecho mención, había roto en cierto modo los estrechos moldes de los esquemas de Bohr Sommerfeld. No bastaban los tres números cuánticos n, l, j asociados a la magnitud orbitaria del electrón, a su movimiento azimetal sobre ella y a cierto movimiento lento de libración del cuerpo atómico, parecido al de una peonza, ligado al número j y cierto momento J .

Si el átomo completo sufre la acción de un campo magnético H , se pensaba que el número j traducía realmente dos efectos: un efecto precesional (momento) L (traducido por l) del electrón de Dirac y otro S que se atribuía al cuer-

po atómico y se traducía por el número cuántico s ; de suerte que, el vector J era el resultante de L y S .

Las fórmulas cuánticas, a base de números enteros y observando las reglas de selección, no alcanzaban a dar el ajuste exacto para determinadas estructuras finas. Gracias a una fórmula empírica deducida trabajosamente por Landé, su famosa fórmula— g —, donde aparecen números fraccionarios sencillos para l y s , por primera vez se logró dicho ajuste. El número variable— g —es un coeficiente que se aplica con éxito completo a las estructuras finas de tipo Zeeman, y nos da el escalonamiento en los componentes finales, a base del intervalo fundamental del triplete normal. El número— g —se calcula por la fórmula de Landé:

$$g = 1 + \frac{j(j+1) + s(s+1) - l(l+1)}{2j(j+1)}$$

Precisamente, Heisenberg, con su mecánica de las matrices aplicadas a las ecuaciones de Hamilton, ha logrado demostrar que los momentos D , S y J se evalúan con términos del numerador; p. ej., $J = \frac{h}{2\pi} \sqrt{j(j+1)}$ y ha justificado aquella fórmula.

Pero antes de esta demostración de Heisenberg, Pauli, en 1924, discurriendo que las fuertes cargas nucleares Ze deberían alterar las masas de los electrones interiores, y esto debería repercutir en el número— g —, calculó un coeficiente de corrección γ para el quebrado que entra en— g —. Así, en los alcalinos, $\gamma = \begin{cases} 1 - 0'005 & \text{para el sodio} \\ 1 - 0'078 & \text{» » cesio} \end{cases}$

Estudiado el efecto Zeeman sobre estos metales alcalinos, fracasó la formula de Pauli. Pensó entonces que el cuerpo atómico de los alcalinos—*precisamente un gas noble*— carecía de momento magnético, y que sólo e-

electron de serie vinculaba todos los números cuánticos, — ahora cuatro, n, l, j, m — pues el electrón debería girar como un planeta ordinario, al recorrer su órbita kepleriana basculante.

Esta hipótesis del electrón giratorio, había sido adoptada por Compton en 1925 en sus ideas sobre el magnetón; pero vino a escena traído en 1925 para resolver el pleito Landé-Paulí, por Uhlenbeck y Goudsmit. Aparecieron los dobletes llamados de rotación, originados por la acción magnética debida a la rotación que podríamos llamar diurna del electrón dependientes de las inclinaciones (cuantizadas y discretas) que tome el eje del electrón respecto al plano de la órbita.

De momento, los cálculos daban escalones de estructura fina de doble amplitud que los observados; pero se había olvidado la corrección relativista, y, cuando se tuvo en cuenta, se logró el ajuste exacto perseguido.

Pero quedaba en pié el problema de las intensidades, evidentemente estadístico.

Heisenberg pensó que la realidad espectral. esto es, distribución e intensidad de las líneas, son datos físicos muy precisos en cuanto a la distribución y seriación, y menos precisos y documentados en cuanto a las intensidades, que dependen de multitud de circunstancias mal conocidas, Puesto que existe un fenómeno selectivo entre los factores energéticos, correspondientes a los grados de libertad, de acuerdo con Lagrange-Hamilton, propone que dentro de las infinitas posibilidades, a priori, expresadas por términos del tipo:

$$A(n, m) e^{ik \cdot \mathbf{r} - i\omega t}$$

donde $\left\{ \begin{matrix} n=1, 2, 3, \dots \\ m=1, 2, 3, \dots \end{matrix} \right\}$ están sin duda las rayas de cualquier espectro, de suerte que una raya tiene su intensidad expresada por A_{nm} y su transición orbitaria dada, a la manera de Bohr, por n y m , y en fin, el ritmo o periodo vibratorio por el exponente ik_{nm} que, por necesidades del cálculo es de forma compleja ($i=\sqrt{-1}$) y admite el despliegue en función del seno y coseno de arcos que contienen la frecuencia, es decir, las conocidas series de Fourier, tan utilizadas en el análisis armónico. Resultan así matrices de filas y columnas de infinito número de términos. De gran utilidad fueron a Heisenberg y sus colaboradores Born y Jordan los trabajos matemáticos previos de Cousant y Hilbert.

Las primeras aplicaciones de la mecánica de las matrices fueron a las teorías de los osciladores armónico y anarmónico; a las perturbaciones planetarias de sistemas degenerados o no; a las dispersiones espectrales y al cálculo de las intensidades. Esto ocurría en Alemania;

Mientras tanto, venía trabajando en Inglaterra, Dirac, quien pudo adaptar los operadores de Poisson, a las condiciones cuánticas, trasladando el problema a la Mecánica clásica, con la ventaja además de quedar orilladas ciertas dificultades de cálculo para obtener formas hamiltonianas en las matrices, quedando casi excluidas, salvo cuando se trata de los números q , que por cierto no tienen carácter conmutativo en general, cosa también peculiar de la mecánica de las matrices.

Como resultados de estas dos teorías de Heisenberg y Dirac, se obtuvo la justificación de los números electrónicos de Bohr: 2, 8, 18, 32— asignados algo empíricamente a los pisos K, L, M, N—del átomo, y de paso la de la

regla de Paulí que asigna a cada electrón su órbita propia, específica, de números cuánticos no asignables a otro electrón. Además, para el electrón rotatorio resulta también justificado el parametro g de Landé, y, en fin, demuestran también el efecto Paschen-Bak, ya mencionado.

En 1926 aparecen los primeros trabajos de Schrodinger basados en las ideas de Broglie, y muestra que los árduos problemas anteriores son tratables mediante una cierta función de ondas X ligada a valores discretos de la energía E mediante ecuaciones diferenciales de tipo conocido. Son las *auto funciones* que conducen a las soluciones físicas mediante ciertos *auto valores* de la energía.

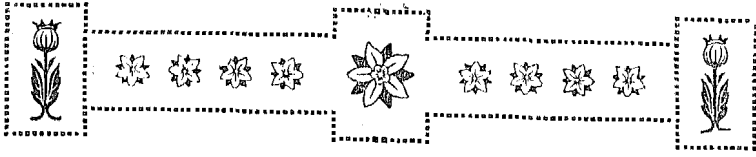
En ese año consigue obtener Dirac con sus métodos de cálculo, casi todos los resultados logrados con la mecánica de matrices, y aun logra mejorar la teoría de Compton sobre el choque de un fotón con un átomo, del que se sigue una pérdida en frecuencia y un cambio de dirección para el fotón incidente, y el lanzamiento de un electrón del átomo.

En ese fecundo año 1926, trata Heisemberg, el problema del helio, y aclara el misterio de la irreductibilidad espectral del llamado ortohelio y parahelio, por un fenómeno de pulsación interna que producen los dos electrones autónomos, pero que interfieren periódicamente. Su cálculo es mixto, pues utiliza sus propios métodos, o sea las matrices y también, por primera vez, los *autovalores* de Schrodinger.

Por su parte, este físico-matemático, demuestra que su mecánica, lejos de ser antagónica con la de matrices, conduce a resultados concordantes; y esto lo corrobora Dirac al utilizar los recursos que proporcionan las tres teorías, matrices, paréntesis Poissón y funciones de ondas. En fin

el mismo Dirac logra empalmar la mecánica estadística de Einstein-Bose, sobre gases ordinarios, *gases electrónicos* *gases fotónicos*, a las nuevas mecánicas.





qué decir, con tan escaso tiempo, del Cosmos, tal como lo vé la Ciencia actual?

Por de pronto, nos dice el eminente profesor de Astronomía de Cambridge, Eddington, que nuestro Sol tiene unos

300 millones de compañeros; la mayoría, del mismo tamaño, poco más o menos, relativamente; algunos, tan gigantescos, que llegan a ser unas 30 veces mayores, y algunos pocos, apenas más grandes que la Tierra. En estado gaseoso, tenue, como *Capella*, gigantescas y relativamente jóvenes, hay algunas estrellas; muchas, cuya densidad no discrepa gran cosa de la del agua, como nuestro Sol; y en

fin, casos hay como la estrella muy poco luminosa llamada *Sirio B*, cuya densidad se estima en millares de veces (2.000) la del platino!

Respecto a su brillo, función de la temperatura distancia y magnitud de la superficie de emisión de la envoltura estelar, se ha construido una curva teórica para las estrellas puramente gaseosas que relaciona su masa y su luminosidad; curva que se ajusta satisfactoriamente con multitud de estrellas más o menos estudiadas, la cual además es precioso auxiliar en ciertos casos. Por otra parte, ya dijimos que entre el color de una superficie emisora (no reflectora) y su temperatura se tiene la relación $\lambda T = 0.2885$; siendo λ la longitud de onda de la radiación y T su temperatura absoluta.

Respecto a las temperaturas de las estrellas de tipo gaseoso confiesa Eddington que ese problema lleva más de 50 años de planteado y cree tenerlo resuelto. Dichas temperaturas internas deben ser del orden de millones de grados; así, a nuestro Sol, cuya superficie está a unos 6.000 grados, se le suponen unos 40 millones en el centro.

Semejante diferencia de temperatura, por tratarse de unas masas esféricas tan colosales como la del Sol, cuyo radio se acerca a los 700.000 km., o sea un salto término medio de unos 57° por km., ya no nos parece cosa extraordinaria.

Desde el momento que se sabe medir la Tierra, es decir, cubicarla y computar su masa, m , que está en relación con la del Sol, según expresa la fórmula de Newton $k \frac{m M}{r^2}$ los datos k , m y r permiten deducir M en primera proximación. Se puede expresar M por la relación $M = 333.432 m$. La intensidad de la gravedad en lo super-

ficie del Sol se estima en unas $27 \frac{1}{2}$ veces la terrestre, y el valor medio de r unos 150 millones de km. A esta distancia vemos al diámetro solar bajo un ángulo de unos 32 minutos de arco; por consiguiente, el tamaño verdadero del Sol resuelta inmediatamente.

La estrella más próxima a nosotros, *α Centauri*, dista unos 4'4 años—luz a razón de $0'3 \times 31'557$ billones de km. aproximadamente cada año—luz. Hay nebulosas que distan 100 millones de años—luz!

Para resistir las enormes presiones centrípetas de las estrellas, en el estado totalmente gaseoso, el único recurso es la energía cinética de sus componentes. Pero, en la moderna Física, hay que incorporar, siguiendo a Einstein y Bose, a los gases clásicos, cuyas energías cinéticas crecen proporcionalmente a sus temperaturas absolutas (el cero absoluto equivale a unos $-273.^\circ$ c), los *nuevos gases, fotones y electrones*, y sus respectivas energías cinéticas. Esos fotones y electrones son probablemente captados y liberados por los átomos de las sucesivas capas estelares, y poco a poco, van ganando, algunos, nivel, hasta llegar a la superficie, de la cual no podrán huir, sino después de vencer los poderosos campos gravitatorio y eléctrico que los solicitan. Las fotografías de la cromosfera solar, con sus colosales erupciones y remolinos que hoy día se obtienen, son documentos altamente impresionantes y ellas nos dan alguna idea de lo que allí sucede. Los potentísimos telescopios y anteojos hoy en uso, particularmente en Mont Wilson (Estados Unidos), han permitido desplazar el interés de los astrónomos del simple campo solar inmediato a nosotros, (en armonía con los modestos instrumentos en uso antes) al campo de las nebulosas, que han surgido a millares en todas partes

del cielo; y al estudio de los movimientos de éstas y su estructura, así como la observación de las misteriosas *novas*, cada vez más abundantes; y a los problemas de la composición de los sistemas binarios, ternarios, etc., de estrellas, para deducir sus masas respectivas de las órbitas que recorren.

Si se llega a construir el (a medias proyectado) telescopio americano de 100 pulgadas (unos $2\frac{1}{2}$ metros) de diámetro de su objetivo, construcción que se estima muy difícil, habrá de ser enorme el avance en la exploración de los cielos.

En recientes años se ha descubierto una radiación mucho más dura que los rayos γ procedentes del torio C", y radio C (para cuya génesis en tubos de rayos X serían menester $2\frac{1}{2}$ millones de voltios) y tales rayos, llamados *cósmicos*, son estudiados, particularmente por Millikan y Cameron, en América, y por Hess, Kolhorster y otros, en Europa; rayos importantísimos, que vienen, no de las estrellas, sino de los aparentemente espacios vacíos interestelares.

Cree Millikan que nacen esos rayos en los procesos sintéticos de protones para formar partículas de helio, sumamente enrarecidas, y libres de colisión prácticamente. Interesantísimo es también el saber que dichos rayos, cuya dureza viene a ser de 25 millones de voltios, forman la mayor parte de la radiación cósmica, clasificable espectralmente, habiendo una debil proporción de rayos 40 veces más penetrantes, que cree nacidos al formarse en la soledades interestelares los átomos de hierro.

¿Y el calor y luz del Sol, y en general de las estrellas, cómo explicar su persistencia, no por miles sino por muchísimos millones de años?

Las antiguas teorías de la condensación y contracción de las masas no bastan a dar cuenta del fenómeno. No son, ciertamente, esas causas la fuente principal que surtan tan colosales derroches de radiación. Hoy día, siguiendo a Jeans, principalmente, se cree que las masas, a temperaturas altísimas, irradian energía en forma de fotones de Einstein de suerte que se cumpla su ecuación $h\nu = mc^2$ siendo m la masa del fotón, c su velocidad (la de la luz); h la constante de Planck y ν la frecuencia. Luego los soles están perdiendo masa, desde que sus *madres*, las nebulosas, los fueron engendrando. En el seno de las estrellas, es decir *crisoles* a temperaturas de millones de grados, se estiman imposibles los átomos completos; deben estar altamente mutilados, reducidos en gran parte a un núcleo y aun deben desmoronarse y aniquilarse en parte para dar radiación equivalente.

Hay estrellas, llamadas *enanas blancas*, (pequeñas y de luz blanca), p. ej. *Sirio B*, cuya luz es, para nosotros, $\frac{1}{600}$ de la del Sol, y ofrece el fenómeno relativista del corrimiento espectral hacia el rojo (ya mencionado) tan pronunciado en este caso, y algunos otros de estrellas *enanas*, que sus radios se miden fácilmente, gracias a la relación de Einstein, según la cual el desplazamiento espectral es proporcional al cociente de masa al radio de la estrella. Pero en este caso de *Sirio B*, ha resultado un sistema parecido al del Sol-Tierra-Luna y se ha descubierto que hay otro astro, *Sirio C*, apenas luminoso, que hace de cuerpo central, girando alrededor de éste la hermosa estrella *Sirio A*, que lleva a manera de satélite a *Sirio B*. Los eclipses que se producen, dan noticia de las revoluciones y de la relación de masas. Por este camino, y por

el del diagrama de Eddington *masa-luz*, se dedujo que *Sirio B* debe tener una densidad ¡unas 2.000 veces la del platino! ¡Una caja de cerillas rellena con tal masa pesaría una tonelada!

¿Cómo explicar semejante densidad?

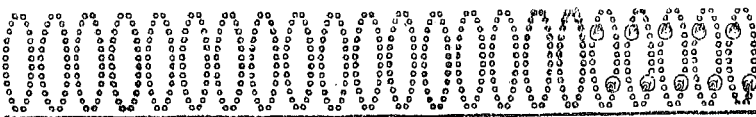
Para Eddington, la masa de *Sirio B* consiste en núcleos atómicos pesados, mondados de sus capas electrónicas, estrechamente interpuestos, que emiten luz blanca, sin que por ello tengan excesivas energías cinéticas. Según Fowler estos núcleos se portarían como un *superperfecto gas*, es decir, más compresible que los perfectos y mucho más que nuestros gases ordinarios.

Otra de las grandes novedades actuales es el descubrimiento de que todas las nebulosas, (y se han descubierto millares de ellas, interesantísimas), emiten luz, cuyo corrimiento espectral hacia el rojo lo explica el abate Lemaitre, astrónomo de Lovaina, por una fuga, a grandes velocidades, de las nebulosas (sistemas autónomos de miríadas de estrellas) apartándose unas de otras, incluyendo en el fenómeno nuestra *galaxia* (vía láctea) en cuyo cinturón estelar nuestro Sol casi ocupa posición central.

Si se admite con Millikan que el rayo cósmico nace de síntesis de protones, parece lógico admitir que debieron esos rayos aparecer ya en enormes cantidades —en escala astronómica— al formarse los átomos de las estrellas. Para Lemaitre, la energía de estos fotones extraduros puede ser la fuente de energía que, actuando como presión de radiación, sea la causa de la disgregación del Cosmos. Las nebulosas, dice Jeans, al huir unas de otras con velocidades crecientes, ya actualmente enormes, al parecer, podrían superar a la de la luz, con lo cual ni los mismos rayos cósmicos pudieran alcanzarlas, perdiendo todo enlace de

unas con otras. Como se ve, estas ideas y otras sugerencias, debidas a hombres eminentes, como Jeans, Eddington, De Sitter, Milne y otros, (expuestas en la sesión del 29 de Septiembre de 1931, en Londres, conmemorando el primer centenario de la Asociación británica para el progreso de las Ciencias), colocan a la siempre bellísima Astronomía en las cumbres del éxtasis científico.





IV



VOLVAMOS al punto de partida. Nuestro deseo, o el de nuestro sociólogo científico, ha sido e construir un esquema social que tenga las características de las regulaciones científicas. Quisiera, de un lado, la precisión matemática y, como colectividad viva, dinámica, seguir las pautas deterministas, que, en lo macroscópico, las señalan las leyes relativamente sencillas de estos procesos. Al analizarlos, ha aparecido un mundo antes insospechado, que en vez de llamarle mundo atómico se le podría llamar mundo celular.

Pero bien entendido; las leyes del mundo celular son más prolijas y mucho más difices y oscuras que las ma-

croscópicas, salvo que extrapolemos nuestros problemas planetarios y los hagamos cósmicos. Además, esas leyes tan prolijas, tienen tal campo de acción que, como casos particulares y de enlace con muchos otros similares aunque no idénticos, degeneran en las leyes clásicas, que son las primeramente descubiertas. En general, el simplismo no es lo real; al contrario, en cualquiera parte asoma lo profundo, encerrando un más allá misterioso.

Si nuestro sociólogo quiere aplicar a su esquema el orden, la armonía, la exactitud, y la pluralidad incontable de funciones que la Química primero y la Biología después saben o sospechan de que son capaces los átomos y las moléculas, será, indudablemente a base de conocer y cumplir las leyes de tan complejo dominio, en donde se asienta lo espiritual.

¡No pensemos, pues, que pueda construirse una sociedad viable con unos céntimos de cultural!

He dicho.



NOTAS

(1) La incesante campaña de «Natura» propugnando la urgente intervención científica, sobre todo en las funciones económicas del estado Inglaterra y sus dominios) cuya regulación debe ponerse en manos de hombres de ciencia eminentes, y el extracto de los numerosos artículos publicados, sólo desde el pasado año, llenaría muchas páginas.

Para quienes se interesen en este tema palpitante, *visto a la inglesa*, son de citar, en primer término, el artículo, (sept. 3 de 1932) titulado «The Contribution of Science to the Future.»

He aquí algunos otros:

«Science and Social economics» (23 julio 32).

«Scientific leadership in Industry» 16 id.)

«Towards Unity» (id. id.)

«Towards a new World order» (18 junio id.)

«Science and Society» (5 marzo id.)

«International cooperation» (13 febrero id.)

«Science and Imperial affairs» (2 enero id.)

«Science and Politics» (9 id. id.) etc. etc.

En la sección de Ingeniería en la asamblea de la Asociación Británica, (31 de agosto al 7 de septiembre de 1932), el profesor Walker propuso se invitara al Gobierno inglés a que funde una colonia de unos cien mil habitantes, gobernada por ingenieros, que habría de bastarse a sí misma; colonia experimental, donde el esquema de vida que se adoptase, podría retocarse o modificarse por vías científicas. Nada sabemos sobre el esquema que haya podido pensarse por los ingenieros ingleses

(2) Sabido es que Pitágoras fué el primero que sistematizó en Grecia la Geometría, haciendo de ella un cuerpo científico, en el que aparece la personalidad de Pitágoras con luz propia. Su célebre teorema sobre los cuadrados sobre lados del triángulo rectángulo (celebrado con el sacrificio del buey) parece que no debía ser del todo desconocido desde su estancia anterior en Egipto, de donde, dice Calimaco, (unos 250 a. a. J. C.) introdujo en Grecia conocimientos geométricos. Estos no eran insignificantes; desde luego conocían que el triángulo de lados 3, 4, 5, es caso particular del teorema enunciado después por Pitágoras. Pero, además, el estudio reciente del papiro de Moscú, coloca a los geómetras egipcios a una altura insospechada, como lo indica el llamado problema 10, donde se calcula paso a paso, mediante una fórmula complicada y concreta, el área de un hemisferio. Y caso parecido, pero más sencillo, para la cubicación del tronco de pirámide de base cuadrada.

Aun más extraordinario es lo que se deduce de los estudios en Gotinga y Strasburgo (Neugebauer y otros) sobre tabletas cuneiformes babilónicas de unos 2000 a. a. J. C.; donde aparecen problemas difíciles para aquella época, que exigen la extracción de raíces y cálculos de tipo algébrico complicados; siendo notable que los griegos no se asimilaran la matemática algébrica babilónica; si bien, en la parte geométrica, llegaron con Euclides, Arquímedes, Apolonio, etc. a alturas no bien conocidas, que trabajosamente se van deduciendo de la rebusca de documentos que den alguna luz sobre los desaparecidos. Sabido es que en

la parte aritmética, Pitágoras con sus números figurados, perfectos y amigos, inició la teoría superior de los números; y que después, los famosos problemas de la duplicación del cubo, la trisección del ángulo, etc., produjeron la incipiente Geometría superior.

En la parte algébrica, la carencia de signos de las operaciones basta que trajo algunos Diofanto (250 a. d. J. C.) ya es sabido que fué obstáculo grande, y explica la endeblez griega en esta parte de las matemáticas.

(3) En los tiempos de la época paleozóica (Devoniano) y terciario antiguo, se cree que los mares y tierras estaban distribuidas de modo muy diferente al actual. Según Haug, el actual Mediterráneo, muy ensanchado hacia el N., se empalmaba con el Báltico, cubriendo a España, Francia, Italia, Austria y el Este alemán; resultando un océano angular, cuya rama atlántica (el Tetis) llegaba a cubrir la América central y comunicaba con un amplísimo canal orientado de Norte a Sur, que cubría casi toda la América, salvo una gran isla, cuyo núcleo era los actuales Apalaches. Resultaban tres continentes; uno ecuatorial, cuyo núcleo tectónico (masas de gran resistencia) era el Africa actual, llevando como aledaños tierras atlánticas y otras simétricas por el costado oriental, enlazadas las primeras con las del Brasil y Venezuela, resultando entre éstas una gran ensenada del lado del Pacífico, cuyo océano quedaba reducido al canal norte-sur antedicho. La rama norte de este canal y el mar angular europeo, formaban una irregular quedando dentro de ella un vastísimo continente, el del N-Atlántico; al costado oeste otro que rellenaba casi todo el Pacífico actual, y al sur el continente cuatorial que se prolongaba por oriente hasta incorporar media Australia, quedando sus costas al borde de otro canal irregular marcado por las islas de Nueva-Guinea, Borneo, Filipinas y el Japón, que ya lo eran en aquellos remotísimos tiempos devonianos.

Pero, en los tiempos terciarios, se hunden casi todas las tierras del Pacífico y surgen por el norte las asiáticas y americanas soldadas y formando el gran continente Norte, cuyo borde oriental arrancaba, por el sur, de las viejas montañas del norte inglés, quedando un océano en forma de calceñín, cuya planta era el Tetis, casi intacto, y surgiendo en el cuello del calceñín el pequeño continente del Báltico. Seguían sumergidas, salvo islotes insignificantes, España, Francia, Italia, Austria y Polonia. Las costas orientales de Africa se hundieron, y entre éstas y el continente australiano quedó un gran archipiélago, cuyo núcleo era el actual Magdagascar.

No es de este lugar el entrar en más detalles sobre tema tan interesante.

(4) Las doctrinas atomísticas no parecen ser inicialmente griegas, sino más bien una trasferencia india; pues el filósofo Kanada, unos 1000 años antes de J. C., en la India, sostenía ya una doctrina atómica, según la cual, ciertas mónadas o últimas partículas invisibles venían a ser los principios fundamentales de los cuerpos. Al parecer, la doctrina de Kanada la adoptaron las sectas budistas y la propalaron por Asia, mucho antes de que cobrase auge la civilización griega, siquiera en sus orígenes cretenses. Esa doctrina resurge en los tiempos de Leucipo y Demócrito (450 y 425 años antes de J. C.) y a éstos se les atribuye, en unión de Epicuro, la invención de tal doctrina. Sin embargo, Platón, al recibirla de Sócrates, a la vez que las enseñanzas matemáticas de los pitagóricos, logrando de su discípulo que tomara gusto por el saber matemático y aun hiciese alguna labor original, asoció a los átomos de Demócrito las virtudes numéricas que, según Pitágoras, eran la razón

profunda de las cosas. Así, Platón, consideraba como átomos privilegiados o fundamentales los asociados cabalísticamente con los vértices de los cinco poliedros regulares (400 a. J. C.)

Epicuro, excéptico, *antitrascendente* o antimetafísico, negaba el principio y el fin de los átomos, no pudiendo éstos destruirse, y sólo diferenciarse por su peso, color, sabor, etc. Por sus agregaciones variadísimas darían lugar, no sólo a los minerales, sino también al reino vegetal y animal, íntegramente, sin excluir al hombre. Como se comprende, no nos interesa gran cosa la obra de Epicuro, ni sus ideas, de pura hipótesis, si bien en él es notable su inclinación a lo objetivo, como fuente principal del saber.

Obras consultadas:

- Eddington: Stars and Atonrs. = Oxford 1927.
Jeans. = The Universe around us. = Cambridge 1929.
J. Johnstone. = A Study of the oceans. = London 1930.
E. Stenhouse & A. Simmons. = Physical Geography. = London 1932.
E. Schrödinger. = Wave mechanics. = London 1928 (traducción).
G. Birtwistle. = The quantum theory of the atom. Cambridge 1926.
Ibid. = La Nouvelle mécanique des quanta (traducción). = París 1929.
E. Bloch. = L'ancienne et la nouvelle théorie des quanta. = París 1930.
L. de Broglie. = Ondes et mouvements. = París 1926.
Ibid. = Physique des rayons X et gamma. = París 1928.
Foote and Mohler. = The origin of spectra. = New York 1922.
Sommerfeld. = La constitution de l'atome et les raies spectrales (traducción). = París 1923.
P. Debye. = The dipole moment and chemical structure (traducción). = London 1931.
Ibid. = The interference of electrons (traducción). = London 1931.
Peddie. = Molecular magnetism. = London 1929.
R. Fraser. = Molecular rays. = Cambridge 1931.
Fermi. = Introduzione alla Fisica atomica. = Bologna 1928.
W. Whewell. = The mechanics of engineering. = Cambridge 1841.
Main Smith. = Chemistry and atomic structure. = London 1924.
T. Heath. = Greek mathematics. = Orford 1931.

