UNIVERSIDAD DE MURCIA

LA ENERGIA ATOMICA

DISCURSO LEIDO EN LA SOLEMNE APERTURA
DEL CURSO ACADEMICO DE 1947-48

POR EL

DR. D. JUAN SANCHO GOMEZ
Catedrático de la Facultad de Ciencias

MURCIA
TIP. SUC. DE NOGUES
1947

LA ENERGIA ATOMICA

Juan José Lourtur
Murcia - Octubre - 1947

UNIVERSIDAD DE MURCIA

LA ENERGIA ATOMICA

DISCURSO LEIDO EN LA SOLEMNE APERTURA

DEL CURSO ACADEMICO DE 1947-48

POR EL

DR. D. JUAN SANCHO GOMEZ

Catedrático de la Facultad de Ciencias

MURCIA
TIP. SUC. DE NOGUES
1947

DISCURSO DE APERTURA

DEL AÑO ACADEMICO DE 1947-48

Por el

DR. D. JUAN SANCHO GOMEZ

Catedrático de la Facultad de Ciencias

EXCMO. Y MAGNÍFICO SR.;

EXCMOS. E ILTMOS. SEÑORES:

SEÑORAS Y SEÑORES:

Damos hoy comienzo a un nuevo curso académico, hecho que debía ya parecernos rutinario a los que, año tras año, venimos presenciando este acto. Y, sin embargo, he de confesaros que para mí tiene siempre una emoción nueva, no en el sentido de diferente, sino de vuelta a estrenar, al dirigir la vista por la sala y ver los rostros, no de las personas conocidas, sino de aquellos muchachos que por primera vez asisten a esta ceremonia, que éstos sí que sienten una emoción recién nacida, al enfrentarse con un acto en la Universidad. Porque es esta Universidad la que, desde este momento, asume la gran responsabilidad de la formación y encauzamiento de esta juventud, que acude a ella en demanda de orientación y enseñanzas que el día de mañana le sirvan para cumplir su deber para con la sociedad. ¿Qué quieren, qué buscan, qué serán el día de mañana?, me pregunto en cada apertura de curso, al ver a estos recién llegados a nuestra Universidad. Entre ellos habrá quien venga como a

cumplir una penosa obligación; otros que pensarán pasar lo mejor posible los años universitarios hasta lograr conseguir el título, y otros, pocos o muchos, no lo sé, basta con uno, que llegarán a nosotros con vocación ilusionada, para los cuales la Universidad no será una pesada obligación, sino una alegre devoción. Estos son los que hacen que el profesor se sienta con más sentimiento en la responsabilidad de su misión; pues es imperdonable el delito que comete aquel profesor que es causa de que vocaciones de este tipo se tuerzan y agosten en la rutina de la explicación diaria. Porque la misión del profesor no es la de la mera enseñanza de su disciplina en su explicación oral; es algo más elevado que eso: tenemos que enseñar a crear, a hacer la Ciencia. No puede enseñar aquel que no sepa crear, ya que si se limita a enseñar "temas" puede ser sustituído, quizá con ventaja, por el disco gramofónico o la película sonora. Como ha dicho, con palabra justa, el profesor Jimeno: "La tarea principal del profesor de ciencias es preparar el tipo mejor de juventud, valiéndose de la ciencia, y no extender la ciencia valiéndose de la juventud".

Por eso me dirijo a estos nuevos estudiantes, diciéndoles: Venid a nosotros. No nos miréis como unos rígidos dómines que no están aquí mas que para ver si sabéis o no; miradnos como los encargados de enseñaros, de encauzaros; no veais en nosotros el juez encargado de juzgaros, sino el amigo, con más experiencia, capaz de orientaros. No esperéis que os enseñemos todo el contenido de una ciencia, ya que pasaron los años en que una misma persona podía llegar a poseer todos los conocimientos de su época. Nuestra misión es poneros en condiciones de poder abordar, el día de mañana, cualquier problema que se os presente en el ejercicio de vuestras actividades, no el dároslo resuelto desde las aulas. Para ello es necesario que los fundamentos de una ciencia queden bien cimentados, si no todo el edificio construído sobre ellos se desmoronará al primer contacto con la realidad.

Por eso os digo: Si venís a nosotros con ese espíritu de devoción alegre de que os he hablado, con espíritu de sacrificio y de trabajo, sed bienvenidos. Por el contrario, si venís a cumplir una penosa obligación impuesta, pensadlo antes de entrar y, sobre todo, que lo piensen vuestros tutores. Aún estais a tiempo de emprender otro rumbo; si no, dentro de unos años, cuando los fracasos en los exámenes se acumulen sobre vosotros, quizá sea tarde. Para ir por la vida y triunfar no es imprescindible un título universitario; por ello podéis enderezar vuestros pasos en otra dirección.

A esta emoción, un poco dolorosa, ante los nuevos estudiantes, se une este año otra totalmente alegre y gozosa, como es la de dar la bienvenida a nuestro nuevo compañero y antiguo amigo D. Adolfo Muñoz Alonso, catedrático por oposición de Fundamentos de Filosofía. Al ocupar

una persona un cargo se suele decir que el cargo da prestigio a la persona; en este caso permitidme que os diga que es el profesor Muñoz Alonso el que prestigia su nuevo cargo y que a los que ya llevamos bastantes años en nuestra cátedra nos enorgullece el ver llegar a nuestro escalafón personas con la sólida formación profesional y moral del Sr. Muñoz Alonso, el cual, al adquirir nuevas responsabilidades, ha de hacer honor a lo que de él esperamos todos.

Durante el último curso se ha incorporado a las tareas docentes de nuestra Universidad el hasta ahora catedrático de Derecho Civil de la Universidad de Oviedo, D. Diego-Eduardo Espín Cánovas, el cual, en virtud de concurso de traslado, desempeñará la cátedra de Derecho Canónico en nuestra Facultad de Derecho. El Dr. Espín viene a engrosar el nutrido grupo de catedráticos que se formaron en la Universidad murciana. Sea bienvenido el nuevo compañero, el cual retorna a su casa.

D. José-María Hernández Rubio, catedrático de Derecho Político, ha sido trasladado a la Universidad de La Laguna. Le deseamos toda suerte de triunfos en su nuevo destino. Tenga la seguridad el querido compañero que nos ha abandonado que su recuerdo perdurará entre nosotros largo tiempo.

El Dr. D. Alfonso Ródenas García, profesor de la Facultad de Filosofía y Letras, ha sido elevado a la dignidad episcopal, siendo designado titular de la Diócesis almeriense. La Universidad de Murcia desea al Dr. Ródenas toda clase de satisfacciones en su nueva dignidad y espera que ésta sea solamente un paso más en la consecución de los altos destinos a que la virtud y sabiduría del nuevo Obispo son acreedores.

El Excmo. Sr. Ministro de Educación Nacional tuvo a bien nombrar al Dr. Ródenas García profesor adjunto honorario de la Facultad de Filosofía y Letras, premiando de esta forma su labor docente en dicha Facultad.

La labor cultural de nuestra Universidad continuó su ritmo ascendente en el curso que ha terminado. El Secretariado de Publicaciones ha editado y puesto en circulación numerosos trabajos de profesores de las distintas Facultades. Organizadas por la dirección del Colegio Mayor del "Cardenal Belluga", tuvieron lugar una serie de conferencias que, con brillante éxito, explicaron diversos catedráticos.

Durante los días 4 al 7 de mayo se celebraron en el paraninfo de la Universidad las sesiones del III Congreso de Arqueología del S. O., con asistencia de un gran número de congresistas y aportación de comunicaciones y ponencias de gran interés científico.

Nota destacada de este Congreso fué la exposición realizada por el Iltmo. Sr. Decano de la Facultad de Ciencias de sus investigaciones sobre el análisis polínico y su valor en la investigación arqueológica. Los tra-

bajos del Dr. Loustau constituyen en realidad la primera aportación respecto a un problema de tan alto interés y tan destacada actualidad.

En el curso 1946-47 se han celebrado las oposiciones a profesores adjuntos, habiendo triunfado en ellas los siguientes señores: D. Enrique Monllor Matarredona, nombrado profesor adjunto de Química Técnica; D. Pedro Hernansáez Meoro, de Biología; D. José María Andreu Rubio, de Geología; D. Juan Hernández Cañavate, de Química Física; D. Octavio Carpena Artés, de Química Experimental; D. Antonio León Peñalver, de Matemáticas; D. Vicente Plá Guerrero, de Química Orgánica; D. Fernando Cárceles Martínez, de Química Analítica; D. José Sánchez Moreno, de Historia General del Arte; D. Juan Torres Fontes, de Geografía e Historia de España; D. Andrés Sobejano Alcayna, de Lengua y Literatura Española y Literatura Universal; D. Enrique Antón Cano, de Lógica y Criteriología; D. Jesús García López, de Metafísica; D. Antonio García Martínez, de Etica General y Especial; D. Francisco Lucas Fernández, de Civil y Mercantil; D. Juan Rosa Juan, de Civil y Mercantil; D. José Bernal Ferrero, de Penal y Canónico; D. Alfonso López Jiménez, de Administrativo y Trabajo; D. Juan Candela Martínez, de Político y Filosofía del Derecho; D. Julio Barthe Porcel, de Historia del Derecho y Romano; D. Miguel Jiménez de Cisneros Bernal, de Economía y Hacienda. A todos ellos nuestra enhorabuena.

Después de este recuerdo de los acontecimientos más salientes del curso 1946-47, heme aquí, por imperativo legislativo, dispuesto a leeros la oración inaugural del curso académico 1947-48. La Facultad de Ciencias debería estar exenta en este turno establecido, ya que sus componentes, salvo raras excepciones, no solemos ser oradores adecuados para públicos heterogéneos. Nuestros problemas pueden interesar, pero no apasionan más que a un círculo reducidísimo. No les ocurre lo que a los grandes temas filosóficos,históricos o artísticos, que a todos interesan y apasionan y sobre los que todo el mundo tiene, propio o de segunda mano, su punto de vista.

He escogido como tema de este discurso una materia que hoy interesa al mundo. La química nuclear se presenta ante nosotros como un ejemplo típico de que la labor investigadora no se pierde. Hasta hace bien pocos años, se creía, incluso por personas cultas, que los trabajos acerca de la desintegración atómica no tenían ninguna trascendencia, y que para lo único que servían era para que unos cuantos filósofos, entre los cuales se cuentan principalmente hombres de ciencia, hicieran especulaciones acerca del origen y fin del mundo. Sin embargo, los rompedores de átomos seguían silenciosamente su labor, como alquimistas póstumos en pleno siglo XX, buscando la transmutación de la materia e investigando su estructura íntima, intentando debelar sus secretos. Hizo falta

el estallido de la bomba atómica en Hiroshima para que estos hombres pasaran al primer plano de actualidad. El átomo se había convertido en materia noticiable y los periódicos se volcaron, insaciables, sobre todo lo relacionado con la energía atómica.

En este trabajo queremos dar una idea de cuáles son los métodos empleados y resultados logrados durante los últimos años en el estudio del núcleo atómico y de las reacciones nucleares.

LA ENERGIA ATOMICA

Desarrollo de la teoría atómica

El interés de los hombres por conocer la estructura íntima de la materia se remonta a los principios de la Humanidad. Desde la más remota antigüedad se preocuparon los hombres de averiguar esta constitución, por observación de los fenómenos naturales, y todos los sistemas filosóficos han abordado su estudio.

¿Es la materia continua o discontinua? Ya el hindú KÁNADA admitía, en el siglo V antes de Jesucristo, la discontinuidad de la materia, y parece que esta idea era recogida de generaciones anteriores.

De la India estas ideas pasan a Grecia, donde tiene su origen la teoría atómica fundamento de la Química moderna, afirmándose por LEUCIPO y su discípulo DEMÓCRITO que: «El universo es infinito y la parte llena y ponderal del mismo está constituída por partículas pequeñísimas, o átomos imperceptibles, materiales, que tienen forma variable de una a otra sustancia y se mueven chocando unos con otros y, accidentalmente, lo semejante se une a sus semejantes».

Esto fué combatido por ARISTÓTELES, que no admitía la discontinuidad de la materia, y el cual suponía la existencia de cuatro elementos, o mejor dicho, cuatro cualidades, que uniéndose entre sí, daban origen a todos los cuerpos. Según el estagirita, la materia era un todo continuo y suponía que, por

mucho que se dividiese, nunca se podría llegar a alcanzar algo individual, algo constitutivo. El predominio casi absoluto de la filosofía aristotélica hizo que cayese en el olvido la idea atomística de la materia. Hace falta llegar al siglo XVII para que aparezca un precursor de la teoría atómica actual; se trata del físico inglés BOYLE, que fué el primero que habló de gases, estableciendo su ecuación fundamental que relaciona las presiones y los volúmenes, y el cual dió, acerca de la constitución de la materia, ideas más concretas, incluso más atrevidas, que las de DALTON, más adelantadas que las de LAVOISSIER y más arriesgadas que las de MENDELEIEFF. Supone que la materia, que constituye los distintos elementos, proviene de uno fundamental, que por la distinta manera de unirse constituye los diferentes elementos, indicando que, con una fuente de energía suficiente, sería posible transformar unos elementos en otros.

Estas ideas no tuvieron gran preponderancia en su época, hasta que, ya en el siglo XX, se ha visto, al leer con detenimiento sus escritos, el gran interés que éstos presentaban.

En este orden, el químico ruso LOMONOSOFF, que fué el fundador del primer laboratorio químico de San Petersburgo, demostró la constitución atómica de la electricidad sobre bases experimentales. Pero sus manuscritos quedaron olvidados, hasta que un compatriota suyo los sacó a la luz.

En el siglo XVIII comienza la verdadera Química moderna con LAVOISIER, el cual en 1774 enuncia su célebre ley de la conservación de la masa, según la cual, la materia no puede ser creada ni destruída, sino únicamente transformada. Este principio, junto con el enunciado por HELMHOLTZ en 1847 de conservación de la energía, según el cual la energía no puede ser creada ni destruída, sino únicamente transformada, ha sido el fundamento de todo el colosal desarrollo de las ciencias físico-químicas en los últimos cien años. Hoy en día estas dos leyes que para todas las aplicaciones prácticas pueden continuar considerándose como independientes, deben resumirse en una sola, enunciado por EINSTEIN en 1905, de la equivalencia de la masa y la energía.

En la misma época de LAVOISIER publicó RICHTER (1792) su obra «Ueber die neuren Gengenstaende der Chemie», en la cual sienta el primer jalón de la estequiometría, estableciendo las leyes de la neutralización química y sentando las bases sobre las cuales pudo posteriormente enunciar PROUST su ley de las proporciones constantes.

Hipótesis de Dalton

Por el mismo tiempo que PROUST, se ocupaba DALTON de investigaciones semejantes, enunciando la ley de las proporciones múltiples. Pero DALTON fué más allá, y, para aclarar esta ley de regularidad, resucitó la antigua hipótesis atómica. Debido a esto, se considera a DALTON como el fundador de la moderna teoría atómico-molecular. Según DALTON, los elementos están formados por la reunión de átomos homogéneos, no descomponibles, de peso constante, y los compuestos se hallan formados por los átomos de los elementos, reunidos según relaciones numéricas simples.

Con esta hipótesis quedan perfectamente explicadas las leyes de las proporciones definidas y de las proporciones múltiples. En esta teoría no se tiene en cuenta la movilidad de la materia y se confunden al explicar la ley de las proporciones múltiples los átomos con las moléculas.

Pesos de combinación

La consecuencia inmediata que se dedujo de la teoría atómica fué el poder determinar con exactitud las proporciones en peso, según las cuales los elementos entran en combinación y con ello poder derivar a los pesos atómicos relativos, aunque de momento las determinaciones dieron números erróneos, debido a la confusión existente entre átomos y moléculas. WOHLLASTON propuso la denominación de «pesos equivalentes» o «equivalentes» para los pesos atómicos tal como los entendía DALTON. WOHLLASTON tenía parcialmente razón. Para determinar un peso atómico conviene hacer una determinación exacta del equivalente por métodos analíticos y determinar la relación entre el equivalente y el peso.

Ley de Gay-Lussac

Pocos meses después de haber expuesto DALTON su teoría atómica en la obra «New system of chemical philosophy», publicaba GAY LUSSAC investigaciones que trataban de las relaciones volumétricas de los gases, llegando a la conclusión siguiente: «Dos gases se combinan siempre según proporciones volumétricas sencillas, y la contracción que experimentan, es decir, el volumen del producto resultante, cuando éste es gaseoso, está en relación sencilla con los volúmenes de las partes constitutivas».

GAY LUSSAC hace notar aún, al final de su publicación, que el comportamiento análogo de todos los gases ante las variaciones de presión y temperatura se explica, admitiendo para ellos un estado molecular análogo, y que sus observaciones no

sólo están en consonancia con la hipótesis atómica de DALTON, sino que, además, constituyen un apoyo esencial de la misma. Esta idea no contó con el asentimiento de DALTON, debido a la confusión entre átomos y moléculas, ya que no podía explicar cómo al unirse dos volúmenes iguales de nitrógeno y oxígeno resultaban dos de óxido nítrico y no uno, como preconizaba DALTON.

Atomos y moléculas

Correspondió al italiano AVOGADRO explicar esta contradicción. Señaló éste, en 1811, la diferencia entre las «moléculas integrantes» y las «moléculas elementales», o, en nuestro lenguaje actual, entre moléculas y átomos, y fundándose en que los gases se conducen todos igual frente a los cambios de presión y de temperatura, admite que, a igualdad de volumen, todos los gases contienen el mismo número de moléculas, considerados en las mismas condiciones de presión y temperatura.

Pesos atómicos y moleculares

De aquí se deduce la posibilidad de determinar sin arbitrariedad los pesos atómicos relativos, ya que se puede saber exactamente el número de átomos contenidos en una combinación y, por otra parte, permite la determinación directa del peso molecular de las sustancias gaseosas por medio de sus pesos específicos, densidad gaseosa, ya que sus relaciones serán las mismas que las de los pesos de las partículas aisladas.

A este tenor debe recordarse que, partidarios y enemigos del atomismo, llamaron siempre molécula química al resultado de la combinación de un cierto número de dichos elementos, átomos, en cantidades definidas, múltiplos enteros de los llamados equivalentes. Quiere esto decir que cada elemento químico tiene un número característico que representa la cantidad mínima del mismo que interviene para formar cualquier compuesto, y cuando se halla en mayor cantidad será doble, triple, etc., que dicho mínimo. Si, como es lógico, se emplea la misma unidad para medir todas estas cantidades, se llamará masa o peso atómico de cada elemento al mínimo mencionado, y masa o peso molecular a las sumas de los pesos atómicos correspondientes, multiplicados por el factor numérico necesario para establecer la debida proporción entre ellos.

Unidad de pesos atómicos

Naturalmente, esta serie de masas moleculares y atómicas se determinan por métodos empíricos diversos, sin que para ello sea necesario traer a colación la realidad de las moléculas.

Sus valores pueden referirse a cualquier unidad, siempre que sea la misma para todos, pues se trata simplemente de un conjunto de números proporcionales. En tales condiciones conviene tomar por unidad el menor de todos, circunstancia que llevó primero a elegir la masa atómica del hidrógeno. Sin embargo, la mayor frecuencia de las combinaciones oxigenadas, que permite un mayor número de comparaciones directas, aconsejó, después, adoptar una unidad que no corresponde a ninguna masa atómica real, aunque es aproximadamente la misma del hidrógeno, en función de la cual la del oxígeno es 16,0000.

Volumen atómico

Las ideas de AVOGADRO permanecieron olvidadas. Fueron las investigaciones de BERZRLIUS las que las volvieron a sacar a la luz. Intentó éste relacionar la teoría volumétrica de GAY LUSSAC con la teoría atómica, admitiendo que en todo cuerpo simple transformado al estado gaseoso corresponde a cada átomo un volumen fijo, y designa después este pequeñísimo volumen por «volumen atómico». La ley de los volúmenes dió a BERZELIUS el medio para deducir el peso atómico de unos 50 elementos, mediante análisis efectuados por él mismo de dos mil combinaciones diferentes.

Los trabajos de BERZELIUS recibieron un complemento importante y una confirmación cuando, en el año 1819, se descubrieron la ley que relaciona el calor específico y el peso atómico, por DULONG y PETIT, y por MITSCHERLICH la que hace depender la constitución química y la forma cristalina.

Hipótesis de Prout

De esta época es también la hipótesis de PROUT de la unidad de la materia, en la que se supone que todos los elementos son resultado de la polimerización del más sencillo de todos, el hidrógeno, y, por ende, los pesos atómicos serían todos múltiplos enteros del hidrógeno unidad. Esta hipótesis fué defendida briosamente por THOMPSON e hizo que se efectuasen numerosas revisiones de los valores de los pesos atómicos, por creerse que los números fraccionarios obtenidos en las determinaciones de algunos elementos eran debidas a error. Los resultados, especialmente los de STAS, fueron poco favorables a la hipótesis de PROUT, llegándose a la conclusión de que se trataba de una quimera.

Si bien es verdad que los datos de STAS difieren de los números enteros, no difieren tanto que, en la mayoría de los casos, no puedan aceptarse como tales. MARIGNAC, a quien se

deben gran número de análisis, calculó que la diferencia media que presentan los pesos atómicos respecto a los números enteros es muchísimo menor de lo que sería si aquéllos estuvieran distribuídos al azar, y con ocasión de una razonada crítica de los primeros trabajos de STAS, planteó la cuestión de si los pesos atómicos podrían ser «variables dentro de límites estrechos». La existencia de los isotopos ha venido a confirmar brillantemente, setenta años más tarde, la clarividencia del gran investigador ginebrino.

Pesos atómicos enteros y fraccionarios

Lo que no consiguieron variar los números de STAS, aun recalculados por otros autores, es que en gran número de casos los pesos atómicos tuvieran valores próximos a números enteros. En la tabla actual, y sobre los 96 elementos, 60 difieren, lo más, en $\pm$ 0,2 de un número entero, y de ellos 42 difieren a los más en $\pm$ 0,1. Este resultado, que no puede deberse a mera casualidad, no permite el abandonar la antigua idea de PROUT.

Considerando los elementos como productos de condensación en grado diferente, es natural tener en cuenta, según hacía notar OSTWALD, ya en 1890, que estos fenómenos de condensación escapan de la región de las transformaciones químicas que nos son conocidas, y así como en éstas rige extrictamente el principio de conservación de la materia, las condensaciones deben acarrear pequeñas variaciones que expliquen las diferencias entre la hipótesis de PROUT y la realidad. OSTWALD hacía notar que, de ocurrir tales fenómenos de condensación, se conmoverían los cimientos de toda nuestra teoría de las combinaciones químicas. Como veremos más adelante, la radioquímica ha mostrado que éstas son posibles. Por lo demás, ya es sabido cómo la hipótesis de PROUT ha resucitado una vez más, bajo nuevo ropaje, en la nueva teoría de la génesis hidrogeno-heliana de los elementos, establecida por HARKINS.

Clasificación periódica

Toda otra especificación cualitativa de los átomos debió buscarse inicialmente en la Química, y a este propósito la clasificación periódica señala un avance importante. Ordenando los elementos, según pesos atómicos crecientes, se manifiesta una periodicidad patente en las propiedades de los mismos, hecho anotado por NEWLANDS al formular su ley de las octavas, e iniciado por DÖBEREINER con la regla de las tríadas.

SISTEMA PERIÓDICO DE LOS ELEMENTOS

1 H																	2 He
3 Li	4 Be	5 B											6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	13 Al											14 Si	15 P	16 S	17 Ce	18 A
19 K	20 Ca	21 Se	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Yt	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 X
55 Cs	56 Ba	LANTANIDOS	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Em
87 Fr	88 Ra	ACTINIDOS															

LANTANIDOS	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Il	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
ACTINIDOS	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm							

En 1869 publica MENDELEIEFF su sistema periódico de los elementos. En esta época se conocían solamente una sesentena de elementos, mientras que hoy conocemos 96. Pero cada elemento descubierto posteriormente encontró siempre su sitio normal en alguna de las lagunas del sistema periódico, es decir, en los lugares que MENDELEIEFF había dejado vacíos para no romper la periodicidad. Gran éxito obtuvo el autor cuando, al descubrirse el escandio, el galio y el germanio, sus propiedades coincidieron exactamente con las por él predichas para el eka-aluminio, el eka-boro y el eka-silicio.

LOTHAR MAYER puso de manifiesto esta periodicidad en su curva de los volúmenes atómicos.

La clasificación periódica ha experimentado diversas representaciones a través del tiempo, que no le afectan en lo fundamental, hasta llegar al actual sistema periódico largo.

Huelga todo comentario para valorar la importancia de las ideas que han presidido la construcción del sistema periódico. En él brilla con evidencia inmediata cómo los elementos químicos no son cantidades absolutamente independientes.

Pero, antes de ahondar en esta idea, conviene advertir que ella misma rectificó el principio que sirvió de base a los primitivos trabajos de MAYER y MENDELEIEFF: ordenación por los pesos atómicos crecientes. En efecto: la regularidad del mismo ha de romperse en las cuatro parejas A-K, Co-Ni, Te-I y Th-Pa, cuyos segundos términos tienen menor masa que los primeros. Por tanto, la variable independiente que rige las propiedades que se toman en consideración en el cuadro debe corresponder a diferente característica que la masa, siquiera ésta se halle íntimamente ligada a ella. Antes de que su sentido físico pudiera ser descubierto, RIDBERG y VAN DER BROECK notaron la necesidad de lo que hoy llamamos número atómico.

La clasificación referida carece de sentido, si no se ve en ella el reflejo de una organización intraatómica, cuyos elementos son únicos para todos y que resulta de la aplicación de leyes de valor general. El descubrimiento de aquéllos y éstas ha sido, y en parte continúa siendo, el verdadero problema del átomo. Ciertamente, desde un punto de vista general y filosófico, significa negar la primitiva concepción de la ciencia al crearse reflejada etimológicamente en su nombre. El átomo, en efecto, no es una cosa simple, sino de una gran complejidad, según veremos.

Teoría cinética

La teoría cinética de la materia, fundada por KRÖNIG (1865) y CLAUSIUS (1857), pero cuyo origen se remonta a BERNOULLI (1738), representó un apoyo formidable para los partidarios de la constitución atómica de la materia. En esta teoría se imaginan los gases formados por partículas aisladas, átomos o moléculas, las cuales son consideradas como esferas completamente elásticas, de dimensiones mínimas, pero finitas. Las distancias entre las moléculas que forman una masa gaseosa son considerables con relación a sus dimensiones, y así las moléculas sólo ejercen acción unas sobre otras cuando se encuentran. Las moléculas se hallan en estado de continuo movimiento. Para estas partículas componentes de los gases rigen los conceptos y leyes fundamentales de la mecánica.

Existencia real del átomo

Durante muchos años la teoría cinética, la ley de las proporciones múltiples y todos los éxitos deducidos de éstas fueron el más firme apoyo de la teoría atómica de la materia. No obstante, no eran pruebas irrefutables, y así al final del siglo XIX una pléyade de físicos y químicos famosos se declararon partidarios de la energética como base de toda la teoría química. Admitían, sí, la teoría atómica como instrumento de trabajo, pero sin atribuirle un valor experimental. A pesar de los energéticos, la Química no renunció a la teoría atómica ni aun en los momentos más críticos. Poco a poco surgieron pruebas materiales de la existencia real de átomos y moléculas. Una de las pruebas principales acerca de la existencia real de átomos y moléculas la suministró el movimiento browniano. Otra prueba irrefutable fué la difracción de los rayos röentgen a través de los sólidos cristalinos.

En los razonamientos de la teoría cinética no es necesario atribuirle a las moléculas ningún peso límite superior; basta que el diámetro de las moléculas sea pequeño comparado con sus distancias medias.

Magnitud de las moléculas

El límite superior de magnitud de las moléculas fué determinado por diversos métodos; así BUNSEN lo hizo determinando el límite de visibilidad con el espectroscopio de visión directa y BERTHOLLET con la percepción odorífera del almizcle. El estudio de las láminas delgadas ha conducido a resultados interesantísimos que no podemos detallar. Por otra parte, utilizando fenómenos que dependen del recorrido libre medio, como la conductividad calorífica y la viscosidad, también se

llega a la determinación del tamaño de las moléculas, así como por la determinación del azul del cielo. Resulta que el diámetro es del orden de magnitud de 10^{-8} cm.

Radioactividad

A finales del siglo XIX BECQUEREL efectuó el sensacional descubrimiento de la radioactividad, a cuyo estudio se dedicó el matrimonio CURIE. La radioactividad consiste en un fenómeno en el cual se emiten partículas materiales o radiación gamma, sufriendo una transformación el átomo que las emite. Hasta este momento la teoría atómica se había desarrollado de una manera estadística; los procesos en que intervenían sustancias químicas, por pequeño que fuese su peso, hacían intervenir millones de átomos, ya que no hay que olvidar que, por ejemplo, en un cienmiligramo de carbono, cantidad mínima que puede apreciar una balanza ultrasensible, existen, aproximadamente, 10^{18} átomos, o sea la unidad seguida de 18 ceros. Cuando se hace el vacío en un matraz de un litro de capacidad que contenga aire, hasta que la presión sea del orden de 10^{-6}mm. de mercurio, o sea una presión inferior a una diez millonésima de la presión atmosférica, todavía se encuentran en el interior del matraz, aproximadamente, 10^{14} moléculas de aire, o sea la unidad seguida de 14 ceros. Pues bien, con la radioactividad se presentan por primera vez fenómenos en los cuales el átomo toma realidad individual, ya que se trata de fenómenos típicamente atómicos, en los cuales en cada instante lo que se desintegra es un átomo aislado, emitiendo partículas aisladas que se pueden identificar y contar. La desintegración radioactiva es un fenómeno estadístico y la probabilidad de desintegración de un átomo varía considerablemente de un elemento a otro. El tiempo que tardan en desintegrarse la mitad de los átomos de un elemento, presentes en un momento dado, es lo que se denomina vida media del elemento. Estas vidas medias varían desde valores de millones de años en unos elementos hasta milésimas de segundo en otros. Con el descubrimiento de las transmutaciones radioactivas hubo que abandonar la idea antigua de la inmutabilidad de la materia. Los elementos se podían transformar unos en otros; por tanto, el número de átomos de cada elemento existentes en el Universo no había permanecido invariable desde el momento de la creación.

Poco después, en 1905, EINSTEIN echaba por tierra otro principio que parecía inmutable, el de la conservación de la ma-

Equivalencia de la masa y la energía

teria, al formular su ecuación de equivalencia de la masa y la energía. Según esto, la materia podía transformarse en energía de acuerdo con la ecuación $E = mc^2$, donde c es la velocidad de la luz. Por tanto, en todo proceso donde se desprendiese energía, había que suponer una pérdida de masa, que vendría dada por la ecuación anterior. Si la masa se da en gramos y la velocidad de la luz en centímetros por segundo, la energía aparecerá en ergios. Si lo traducimos a cifras, aparece que un kilo de materia transformado totalmente en energía suministraría veinticinco mil millones de kilovatios-hora. Un kilo de carbón, al quemarse totalmente, no produce más que 8,5 kilovatios-hora.

Esta ley, que al enunciarse parecía que no había de lograr su comprobación experimental, la podemos considerar como la agrupación de las dos leyes fundamentales de la conservación de la masa y la de la conservación de la energía. En las reacciones químicas exotérmicas es indudable que también existe una pérdida de masa, de acuerdo con lo anterior, pero es tan pequeña, que en las reacciones más enérgicas no llega a unas billonésimas de gramo por mol.

Por esta época fué también cuando PLANCK enunció su teoría de los cuantos de acción, en la cual quedaba demostrada la discontinuidad de la energía.

La radioactividad dió la demostración de que la materia estaba formada por la agrupación de partículas discretas, siendo por tanto la materia discontinua. Entonces surgió la pregunta de cómo estaban agrupadas estas partículas.

Discontinuidad de la materia

De las experiencias de la teoría cinética clásica, se sacaba la conclusión de que los átomos, así como las moléculas, al estado sólido, solamente dejaban pequeñísimos espacios intermedios libres, ya que se les suponía agrupados de la misma forma que se pueden agrupar una serie de bolas de billar apiñadas unas sobre otras. Si nosotros intentamos atravesar una tal agrupación por proyectiles del mismo orden de magnitud que los objetos que forman el montón, estos proyectiles, si tienen suficiente energía cinética, se introducirán un poco en la masa formada por las bolas apiñadas, pero no tardarán en ser detenidos. Los fenómenos radioactivos nos suministran partículas del mismo orden de magnitud que los átomos, así como los rayos catódicos también nos pueden suministrar electrones dotados de gran energía cinética.

Experimentos de Lenard

A LENARD se le ocurrió la idea de utilizar los rayos catódicos para investigar la estructura íntima de la materia. Si la materia estuviese constituída por esferas macizas en contacto unas con otras, y se lanzase sobre ella un haz de rayos catódicos (electrones), éstos deberían ser detenidos, por choque con los átomos. Sin embargo, con gran sorpresa por parte de LENARD y sus colaboradores, se encontraron con que la materia era casi transparente para los electrones. Una lámina metálica no era capaz de detener el haz electrónico, el cual la atravesaba perdiendo muy poco en intensidad. La materia se comportaba frente a los electrones, corpúsculos, igual que ante los rayos X, ondas. Entonces esto causaba sorpresa, ya que estaban perfectamente separados los conceptos corpusculares y ondulatorios.

En vista de ello, supuso LENARD que los átomos están formados por un centro impenetrable, rodeado de una esfera electrónica, de textura débil, que ofrece escasa resistencia a los rayos catódicos incidentes.

Bombardeo con partículas

En estas circunstancias comienza RUTHEFORD sus experimentos con un material más adecuado. Emplea éste en los bombardeos de la materia partículas más materiales, como son las partículas alfa, núcleos de helio con dos cargas positivas, lanzados a elevadas velocidades. Vió que las láminas metálicas —empleó el oro en sus primeros experimentos—aparecían como completamente transparentes a estas partículas alfa. Excepcionalmente se encontraban unas pocas que habían sufrido una gran desviación, y, en algunos casos rarísimos, se encontraban unas colas como si la partícula hubiese retrocedido.

Estas desviaciones bruscas de la dirección del rayo son una prueba evidente que las partículas atraviesan en realidad los átomos, en lugar de desviarlos lateralmente.

Posteriormente efectuó RUTHERFORD, ya con ayuda de la cámara de niebla de WILSON, experimentos con aire a presión normal, encontrándose con que las partículas alfa, con velocidades de 15.000 a 20.000 kilómetros por segundo, eran capaces de atravesar siete centímetros de aire sin sufrir desviaciones, y sólo al final de su trayectoria aparecían desviadas, formando ángulos distintos, según las circunstancias. A lo largo de la trayectoria de siete centímetros de aire, cada partícula debe atravesar 130.000 moléculas; si no las atravesara y las lanzase lateralmente, debería encontrar una resistencia tanto

más elevada cuanto mayor fuese su velocidad; pero se verifica el caso contrario, porque la partícula alfa ioniza más fuertemente hacia el final de su carrera que al principio, por lo cual pierde su propia energía más rápidamente cuando se mueve con menor rapidez. Todo ocurre como si realmente los corpúsculos alfa atravesaran un sistema solar en miniatura, en el cual los cuerpos constituyentes fuesen minúsculos en comparación con el sistema entero.

La experiencia destruyó, pues, el concepto de un átomo impenetrable que ocupara un volumen dado; un átomo puede ser atravesado por otro si la energía cinética que éste posee es suficiente. En los movimientos que corresponden a la agitación térmica, la energía cinética de un átomo es insuficiente para determinar la invasión del dominio de otro, y se presenta entonces lo que en la cinética de los gases se denomina choque elástico.

RUTERFORD suponía al núcleo atómico puntiforme y que entre él y las partículas alfa actuaban fuerzas electrostáticas de repulsión. Cuanto más cerca llega la partícula del núcleo, más fuerte es la desviación.

Magnitud y carga del núcleo

Por la difusión de las partículas alfa ha sido posible determinar la magnitud y carga de los núcleos. Se ha visto que los núcleos ocupan un espacio esférico de diámetro del orden de 10^{-12} cm. Como el diámetro de los átomos es del orden de 10^{-8} cm., resulta que el núcleo posee un diámetro 10.000 veces menor que el de la totalidad del átomo, y su volumen será 10^{12} veces menor, esto es, una unidad seguida de 12 ceros, lo cual hace que el átomo aparezca como prácticamente vacío en muchos experimentos.

Para darnos una idea de lo que significan estas magnitudes, podemos imaginar que un átomo creciese, proporcionalmente en todas sus dimensiones y constituyentes, hasta formar una esfera de 200 metros de diámetro, en cuyo interior cabrían varias catedrales. A este átomo gigantesco lo veríamos vacío, ya que el núcleo ocuparía un volumen no mayor que el de una cereza, en el centro de esta esfera y a su alrededor girarían los electrones del mismo tamaño, aproximado, que el núcleo.

Toda la masa está concentrada en el núcleo atómico; por tanto, la densidad de éste tiene que ser elevadísima. Un centímetro cúbico de núcleos puestos en contacto unos con otros, o sea lo que, según GAMOW, ocurre en el interior de algunas estrellas pesadas en contracción, y al que da el nombre de

estado «barotríptico», debería pesar más de ¡100 millones de toneladas!

Número atómico

El núcleo posee una carga eléctrica positiva, que viene exactamente compensada por los electrones que le rodean, apareciendo el átomo al exterior, en estado normal, como eléctricamente neutro. Esta carga nuclear, medida en función del cuanto elemental de electricidad, recibe el nombre de número atómico y coincide con el número de orden del elemento en el sistema periódico.

Existen núcleos con el mismo número atómico y masas distintas. A éstos se les denomina isótopos por tener que ocupar el mismo lugar en el sistema periódico, ya que, sus propiedades químicas, dependientes del número atómico, serán idénticas.

Zona cortical

Tendremos, por lo tanto, un núcleo positivo, en el que reside prácticamente toda la masa, rodeado de tantos electrones como cargas positivas existan en aquél, los cuales forman una atmósfera electrónica. Estos electrones forman una especie de coraza alrededor del núcleo, ya que las reacciones químicas más violentas no logran perturbar más que algunos electrones, de los más externos, del conjunto.

La estructura de esta zona cortical electrónica ha podido ser estudiada gracias a los datos suministrados por los espectros, tanto de rayos X como ópticos. Según las leyes de la electrodinámica clásica, estas cargas negativas deberían ser atraídas por el núcleo. Si, como se suponía, se trata de cargas eléctricas girando alrededor de la carga positiva, deberían ir perdiendo su energía de movimiento, que sería emitida en forma de luz, para acabar precipitándose en el núcleo. NIELS BOHR se dió cuenta de que, a las distancias atómicas, no deben de regir con la misma validez las leyes de la Física clásica, y emitió sus célebres postulados, fundados en una nueva mecánica basada en los datos suministrados por la espectroscopia. Según el físico danés «de toda la variedad infinita de tipos de movimiento considerados en la teoría clásica, solamente unos pocos privilegiados tienen lugar en la naturaleza». Para seleccionar estos movimientos privilegiados, hace uso BOHR de la teoría de PLANCK, cuantizándolos, introduciendo los números cuánticos que determinan las órbitas de los electrones. La mecánica cuántica, aplicada a los sistemas macroscópicos, da los mismos resultados que la mecánica clásica (principio de co-

Postulados de Bohr

rrespondencia), y es únicamente en las dimensiones atómicas cuando el desacuerdo entre las dos concepciones es total. En la teoría de BOHR los electrones giran en distintas órbitas, estados de energía.

Estados cuánticos

El estado de movimiento de cada electrón, ligado a un núcleo, se caracteriza por cuatro números cuánticos, que nos indican: el primero, la amplitud de la órbita, y se representa por n, pudiendo tomar todos los valores de los números enteros; el segundo nos indica el impulso de giro del electrón alrededor de su órbita, se representa por l y puede tomar todos los valores enteros desde 0 a $(n\text{-}1)$; el tercero, designado por j, es la suma vectorial del que mide el impulso de giro del electrón sobre sí mismo, spin, representado por s, el cual puede tomar sólo los valores $\pm$ 1/2, y el l, siendo por tanto el impulso total de giro del electrón; sus valores serán $l \pm 1/2$, estando excluídos los valores negativos; el cuarto, o sea m, nos indica la proyección del j, considerado como vector, sobre un campo magnético, o sea la orientación de la órbita. Los valores de m podrán ser todos los comprendidos entre j y $-j$, siendo las variaciones de los cuatro de unidad en unidad.

Principio de Pauli

PAULI completó la teoría de BOHR con su genial principio de exclusión, según el cual no pueden existir, ligados al mismo núcleo, dos electrones que tengan los cuatro números cuánticos iguales. Normalmente un electrón no ocupa un estado superior de energía mientras no estén cubiertos los inferiores. Al ir aumentando el número de electrones, a causa de aumentar la carga nuclear, éstos van ocupando los diferentes estados cuánticos. Debe mencionarse, en relación con esto, que desde el punto de vista de las fuerzas de enlace electrónico, los diferentes estados cuánticos de los electrones atómicos pueden estar unidos en grupos (o capas) separados, que poseen, aproximadamente, el mismo enlace. Si seguimos la serie natural de los elementos, vemos cómo los grupos se van llenando, uno después de otro, y, como consecuencia de irse completando estos pisos electrónicos, las propiedades de los átomos van cambiando también periódicamente. Esta es la explicación de las tan conocidas propiedades periódicas de los elementos químicos, que fueron expresadas en la tabla periódica de MENDELEIEFF de un modo empírico. El principio de exclusión de PAULI se extiende también a las moléculas y, en general, a

todas las organizaciones materiales efectivas, como han demostrado FERMI y DIRAC.

La teoría de BOHR ha sido extremadamente fructífera en la explicación de multitud de fenómenos y de propiedades de los átomos y las moléculas; sin embargo, no era totalmente satisfactoria, ya que resolvía el problema únicamente restringiendo los resultados de la mecánica clásica y añadiendo postulados totalmente extraños a aquélla y dejaba sin respuesta a multitud de problemas.

Mecánica ondulatoria

En 1925, trece años después de los postulados de BOHR y casi simultáneamente a la enunciación del principio de PAULI, presentó LOUIS DE BROGLIE su tesis doctoral, en la que sentaba las bases de la nueva mecánica ondulatoria, que había de resolver el problema. El electrón, según las ideas clásicas, era un corpúsculo; por lo tanto, debía ser posible determinar su posición y su velocidad. Sin embargo, la representación del electrón girando en su órbita es algo irrepresentable, si se le considera como corpúsculo. Todo sucede como si el electrón se encontrara, en un momento dado, no en un lugar de su trayectoria, sino ocupando simultáneamente toda su órbita. Esto parece la propiedad de una onda y no de un corpúsculo. Veamos ahora lo que dijo DE BROGLIE en la conferencia que pronunció en el acto de recepción del Premio Nóbel de Física: «Hasta ahora los únicos fenómenos en los cuales intervienen números enteros eran los fenómenos de interferencias y los de vibraciones propias. Esto me sugirió la idea de que los electrones tampoco podían representarse como simples corpúsculos, sino que era necesario atribuirles igualmente una periodicidad. Llegué así a la siguiente idea de conjunto que guió mis investigaciones: tanto para la materia como para las radiaciones, y en especial para la luz, es menester introducir a la vez la noción de corpúsculo y de onda. En otros términos, tanto en un caso como en el otro, hay que admitir la existencia de corpúsculos acompañados de ondas. Pero como corpúsculos y ondas no pueden ser independientes, sino que, según la expresión de BOHR, constituyen dos caras complementarias de la realidad, se debe poder establecer un cierto paralelismo entre el movimiento de un corpúsculo y la propagación de la onda que le está asociada».

Esta fué la gran idea de DE BROGLIE: asociar a cada partícula material una onda, cuya amplitud sea función del impulso

de aquélla. Mediante la teoría de De Broglie, las órbitas de Bohr surgen como un algo completamente lógico, ya que, si se trata de una órbita estable, quiere decir que la onda asociada al electrón que gira en ella debe ser también estable. Se tratará de una onda estacionaria, o sea una onda cerrada. Con esto los postulados de Bohr surgen de la misma teoría como un algo lógico, ya que las órbitas seleccionadas son precisamente aquellas que corresponden a una onda estacionaria. La mecánica ondulatoria, tal como fué fundada por De Broglie y desarrollada por Schrödinger, tiene una validez general, ya que sus fórmulas son válidas, tanto para el campo subatómico como para el macroscópico, donde dan los mismos resultados que la mecánica clásica. La longitud de la onda asociada a un corpúsculo en movimiento está ligada a la velocidad, *v*, y a la masa, *m*, de éste por la relación

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

donde *h* es la constante de Planck, cuyo valor es $6{,}624.10^{-27}$ erg. seg.

Difracción de los electrones

Se nos presenta la dualidad onda-corpúsculo, que es la que preside la Física moderna. La existencia de las ondas de la materia fué puesta de manifiesto por primera vez en 1927 por los experimentos de los norteamericanos Davisson y Germer y del inglés G. P. Thomson, hijo este último del Thomson descubridor del electrón. Según la ecuación de De Broglie, para los electrones con velocidades de 10^7 a 10^9 cm. por segundo la onda asociada debe tener una longitud de onda del mismo orden de magnitud que los rayos X, deduciendo de aquí Davisson y Germer la posibilidad de la difracción de los electrones, en fenómeno análogo al de la difracción de los rayos X por los cristales. Estos investigadores lograron difractar un haz de electrones por medio de cristales de níquel, obteniendo los clásicos anillos de difracción, típicos de los movimientos ondulatorios. Por primera vez se tenía que unas partículas típicamente materiales, los electrones, se manifestaban como un movimiento ondulatorio. El poder ser considerados los electrones como un movimiento ondulatorio es lo que ha hecho posible el microscopio electrónico de nuestros días.

Podemos efectuar la comparación con lo que ocurre en el

caso de un haz luminoso que se hace penetrar por un orificio estrecho. Si el orificio tiene un diámetro de una décima de milímetro, el haz se comporta como formado por rayos rectilíneos, obedeciendo perfectamente a las leyes de la óptica geométrica; si estrechamos el orificio cada vez más, llegará un momento en el cual el haz luminoso dejará de comportarse en esa forma, se difracta y aparece como un fenómeno ondulatorio. El primer fenómeno se puede explicar suponiendo el haz luminoso como formado por un conjunto de gránulos de luz, los fotones, y en el segundo la tenemos que considerar como un fenómeno ondulatorio exclusivamente.

Lo mismo ocurre con un haz de corpúsculos, electrones, por ejemplo. En todos los fenómenos macroscópicos se comporta como un conglomerado de puntos materiales, que siguen las reglas de la mecánica de NEWTON o de EINSTEIN. Si el haz de corpúsculos pasa por una rejilla suficientemente estrecha, como las mallas de un cristal, aparece su naturaleza ondulatoria.

Experimentos posteriores, especialmente los debidos a O. STERN, han demostrado la existencia de las ondas de materia en partículas de dimensiones atómicas, logrando obtener anillos de difracción con hidrógeno y helio.

Indeterminación

Tenemos, pues, que una partícula puede presentar propiedades ondulatorias; ahora bien, ambas propiedades, corpusculares y ondulatorias, no se pueden presentar simultáneamente. La noción de corpúsculo va unido al concepto de posición. En cambio, en la determinación del momento de la cantidad de movimiento hace falta utilizar la relación existente entre este momento y la longitud de onda, de acuerdo con la ecuación de DE BROGLIE. Según el principio de indeterminación de HEISENBERG, una de las bases fundamentales de la moderna Física: Es imposible la determinación simultánea de la posición y de la velocidad, u otra propiedad con ella relacionada, como, p. ej., el momento o la energía.

El principio de HEISEMBERG requiere que si Δx es el error existente en la determinación de la posición, del electrón, por ejemplo, y Δp el error cometido en la medida de su momento, debe verificarse

$$\Delta x . \Delta p \approx h.$$

donde h es la constante de PLANCK. Esto quiere decir que, cuan-

to mayor precisión obtengamos en la medida de una de las magnitudes, mayor indeterminación tenemos en la otra. Este principio nos indica que los aspectos corpuscular y ondulatorio de la materia son complementarios.

Teoría de Schrödinger

La idea de De Broglie fué desarrollada con todo su aparato matemático por Schrödinger, para el cual un punto material es el centro de un haz de ondas y su desplazamiento será la propagación de este haz, cuya dirección coincidirá con la trayectoria de la partícula, dada por la mecánica clásica. En el mundo macroscópico, al ser las dimensiones muy grandes, con relación a la longitud de onda dada por la ecuación de De Broglie, la nueva mecánica coincidirá con la clásica, al ser suficiente una primera aproximación.

Corrección relativista

La ecuación primitiva de Schrödinger no tenía validez para los corpúsculos dotados de grandes velocidades, siendo necesario que Dirac la modificase, haciendo intervenir los postulados relativistas. Al hacer la sustitución, en la ecuación de equivalencia de la masa y la energía, de la masa en reposo del electrón por la masa en movimiento, de acuerdo con la ecuación de Einstein, resulta

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

lo cual indica que, al tener la raíz cuadrada dos valores, uno positivo y otro negativo, deberán existir estados de energía negativos para el electrón.

Ecuación de Schrödinger

La ecuación de Schrödinger es aplicable a toda clase de partículas, ya sean electrones, protones, átomos o fotones, y si designamos por E la energía total de la partícula, por V su energía potencial, y por m su masa, siendo h la constante de Planck, toma la forma

$$\Delta^2 \psi + \frac{8 \pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0$$

donde ψ es la llamada función de ondas, que determina el comportamiento de la partícula y Δ es el operador de Laplace.

Para SCHRÖDINGER, en el interior del átomo no existe la partícula electrón, lo que existe es un campo eléctrico, que comprende los niveles energéticos. Los electrones se difuminan en una nube electrónica, y las ondas miden la densidad de esta nube electrónica. Si el electrón, en lugar de estar ligado a un átomo, es parte de un haz libre, un flujo de rayos catódicos, p. ej., consiste, entonces, en minúsculos paquetes de ondas superpuestas.

Probabilidad

Para BORN el cuadrado de ψ en un punto indica la probabilidad de encontrar a la partícula en ese punto. Esta idea probabilística es la que hoy domina, habiendo dado con ello un significado físico a lo que parecía que sólo tenía un significado matemático.

Después de esta breve divagación acerca de la dualidad onda-corpúsculo, vamos a continuar el estudio de los resultados experimentales en el estudio de la estructura nuclear, objeto principal de este discurso.

Vimos que el núcleo consiste en una esfera de tamaño diminuto, 10^{-13} cm. de diámetro, en la cual reside prácticamente la totalidad de la masa del átomo y cargado positivamente. De los resultados de la radioactividad se infiere que el núcleo es una partícula compuesta, ya que emite partículas, que no pueden proceder más que de la desintegración del mismo. Las masas individuales de los átomos pudieron ser determinadas con seis cifras significativas, mediante el aparato construído por ASTON denominado espectrógrafo de masas, que fué perfeccionado y modificado en parte por BAIMBRIGDE y por MATTAUSCH. Por este procedimiento se lograron determinar los pesos atómicos de los átomos aislados por primera vez, ya que los métodos químicos y físico-químicos dan pesos atómicos que son la media de los pesos de millones de átomos. Al efectuar estas determinaciones, se vió que la isotopia era una propiedad general de la materia y que no estaba circunscrita a los elementos radioactivos como se suponía en un principio. Según esto, los elementos químicos son mezclas de átomos de masas diferentes, que al estar siempre en la misma proporción, dentro del límite de la precisión de las medidas, hacen que posean un peso atómico químico constante.

Cuando se vió que el oxígeno estaba constituído por una mezcla de isotopos de masas atómicas, aproximadamente 16,

Unidad masica

17 y 18, se adoptó por los físicos como unidad de masas atómicas la dieciseisava parte de la del isotopo más ligero del oxígeno, recibiendo el nombre de unidad másica.

En esta escala física el peso atómico del oxígeno resulta 16,00435 $\pm$ 0,00008. De aquí se deduce que los pesos atómicos físicos están en la relación de 1,000272 a 1 con los correspondientes pesos atómicos químicos.

¿Cómo están constituídos estos núcleos? RUTHERFORD, para averiguarlo, continuó con sus experimentos de bombardeo mediante partículas alfa. Bombardeando nitrógeno encontró que entre miles de trayectorias había una que se bifurcaba al final lo cual no tenía más que una explicación. La partícula había chocado con el núcleo de nitrógeno, de masa 14, y había producido una verdadera reacción nuclear, en la que los productos resultantes eran hidrógeno y el isotopo de masa 17 del oxígeno. Esta reacción la podemos escribir de la siguiente forma:

$$_2He^4 + {}_7N^{14} = {}_1H^1 + {}_8O^{17}$$

Los subíndices indican la carga del núcleo y los exponentes la masa de los mismos. Por primera vez se había logrado la transmutación artificial de la materia. El sueño de los alquimistas estaba realizado. Este núcleo de hidrógeno recibió el nombre de protón y fué considerado como una de las partículas elementales constituyentes de la materia.

Protón

La masa del protón es de $1{,}67248.10^{-24}$ grs., o sea 1,007585 unidades másicas; su carga es igual, pero de signo opuesto, a la del electrón.

El resultado obtenido por RUTHERFORD echó por tierra el dogma científico, ya tambaleante desde el descubrimiento de los fenómenos radioactivos, de la absoluta permanencia de los elementos químicos. Se creía que los cuerpos simples podían reaccionar entre sí, pero conservaban su integridad de modo que el número de átomos de carbono, p. ej., existentes en el Universo era siempre el mismo. Al lograrse la transmutación artificial hubo que abandonar totalmente esta creencia.

Química nuclear

En esta transformación lograda por RUTHERFORD tenemos una gran analogía con las reacciones químicas, de las que sólo se diferencia en que las energías puestas en juego son mucho mayores en el caso de las reacciones nucleares. Esto justifica

el nombre de Química nuclear aplicado al estudio de estas transformaciones.

El éxito de RUTHERFORD tuvo una gran resonancia, y en todos los laboratorios de Física atómica se dedicaron al bombardeo mediante partículas radioactivas naturales y partículas artificiales aceleradas mediante toda clase de procedimientos. Estas investigaciones condujeron a resultados interesantísimos, de los cuales uno de los más importantes ha sido el descubrimiento del neutrón.

Neutrón

El descubrimiento de los neutrones fué debido a resultados puramente experimentales. Bombardeando elementos ligeros, como el berilio y el litio, por medio de partículas alfa, observaron, en 1930, BETHE y BECKER, que eran emitidos rayos alfa. Poco después, en 1932, el matrimonio JOLIOT, ella hija de los CURIE, notaron que la radiación producida en la excitación del berilio es capaz, a su vez, de producir otras desintegraciones. Para explicar este hecho, una vez realizado el estudio de los momentos cinéticos de las partículas resultantes, se vió que no había más remedio que admitir la existencia de una partícula de masa aproximadamente igual a la del protón y sin carga. La masa del neutrón es de 1,00895 unidades másicas.

Estos neutrones se han revelado como unos agentes desintegrantes muy enérgicos, ya que, a causa de carecer de carga, no son repelidos por los campos eléctricos del núcleo.

Constitución del núcleo

Una vez descubiertos los neutrones, se pudo construir una teoría coherente de la constitución nuclear. Se supone que el núcleo está constituído por la agrupación de protones y neutrones. Las dos características fundamentales del núcleo son, como hemos dicho, su carga y su masa. La carga eléctrica será igual a la suma de las cargas de los protones constituyentes. Si se toma como unidad de carga eléctrica la carga de un protón, el número de éstos nos dará la carga total del núcleo. La masa será igual a la suma de las masas de los protones y neutrones integrantes. Esto, sin embargo, no es cierto mas que en una primera aproximación, ya que, medidas precisas, han comprobado que las masas de los átomos son ligeramente inferiores a la suma de las masas de las partículas elementales que los forman. Esta pérdida de masa que se produce al unirse las partículas para formar un átomo es precisamente la que nos mide su energía de formación, ya que, al igual que en las

reacciones químicas exotérmicas, al formarse los átomos debe de producirse un desprendimiento de energía enorme y, en virtud de la ley de la equivalencia de la masa y la energía de EINSTEIN a que aludimos antes, esta energía se traducirá en una pérdida de masa.

A distancias tan pequeñas como las correspondientes a la magnitud del núcleo no rigen las fuerzas de COULOMB, y hay que suponer que será otro tipo de unión el que habrá que buscar para explicar la unión protón-neutrón, en las cuales se invierta el sentido del campo, convirtiéndose en fuerzas de atracción las que eran de repulsión.

Modelo de gota

Según la imagen de GAMOW, el núcleo, en lugar de tener una estructura lacunar como la totalidad del átomo, será comparable a una gota de agua, en la que cada partícula constituyente está sometida a fuerzas relativamente débiles en el interior de su volumen, mientras que estas fuerzas aumentan rápidamente cuando la partícula se aproxima a la superficie, donde la tensión superficial obliga la gota a mantener la forma esférica, e impide a las moléculas escaparse al exterior, a menos que posean una energía cinética elevada que les permita salvar esta barrera de potencial.

Barrera de potencial

El concepto de barrera de potencial puede explicarse fácilmente por analogía con el potencial de un campo gravitatorio, p. ej., el terrestre. El potencial de un punto cualquiera en el campo gravitatorio terrestre, viene dado por su distancia a la superficie terreste, esto es, por su altura. La barrera de potencial la podemos representar como un promontorio, cuya altura *h* es precisamente el potencial del punto (FIG. 1.ª). Si

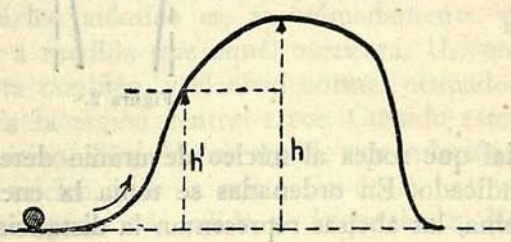

Figura 1.ª

lanzamos una esferita contra dicha montaña, subirá tanto más cuanto mayor sea la velocidad de que vaya animada, y, precisamente, hasta que toda su energía cinética se haya conver-

tido en potencial. A partir de la altura *h'* alcanzada, la esferita se deslizará hacia abajo. Esta montaña de altura *h* sólo podrá ser salvada por partículas dotadas de una velocidad tal, que puedan alcanzar un estado de energía potencial superior a *h*.

Barreras de potencial semejantes pueden representarse en cualquier campo de fuerzas, por ejemplo, en un campo eléctrico.

El interior de un núcleo está rodeado de una barrera de potencial análoga, que impide abandonarlo a las partículas que lo constituyen. La constitución de esta barrera ha sido determinada por los experimentos de difusión de las partículas alfa. Estos han indicado que hasta distancias superiores a 10^{-12} cm. rigen las fuerzas de COULOMB, esto es, existirá un potencial eléctrico cuya altura será inversamente proporcional a la distancia del punto al centro del núcleo atómico. Según esto, en el interior del núcleo no podrían existir partículas eléctricas del mismo signo, ya que su fuerza de repulsión sería infinita; por ello, hay que suponer que, a distancias inferiores a 10^{-12} cm. se invierte el sentido del campo, como lo demuestran los resultados. En la FIG. 2.ª está representada la barrera de poten-

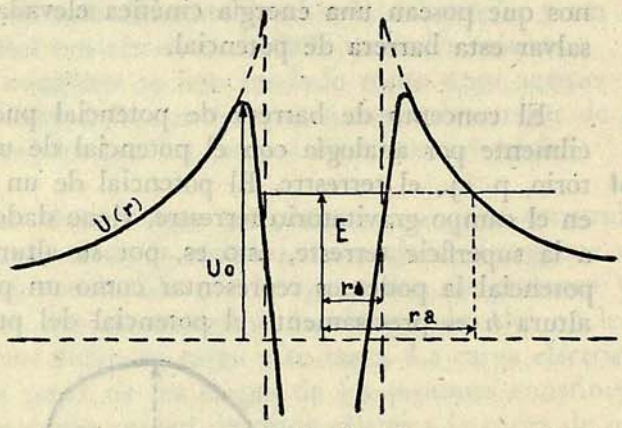

Figura 2.ª

cial que rodea al núcleo de uranio determinada como hemos indicado. En ordenadas se toma la energía potencial del sistema, las abcisas representan la distancia al centro del núcleo. Las curvas ascendentes representan la marcha del potencial, fuerza de repulsión, de una partícula alfa que se acerca al núcleo. Resulta que, a distancias del orden de 10^{-12} cms., la fuerza con que un núcleo de uranio, cuyo radio es $r_0 = 3.10^{-12}$ cms., repele a una partícula alfa, núcleo de helio con dos cargas po-

sitivas, es, de acuerdo con la ecuación de COULOMB, $4e^2/r_0$, de 14.10^{-6} ergs. La anchura del cráter será precisamente el diámetro del núcleo en cuestión. En ese cráter existe una región de potencial mínimo uniforme U_0 que corresponderá al estado normal. En las proximidades de r_0 el potencial crece hasta un máximo, a partir del cual decrece con arreglo a una ley que tiende rápidamente a la COULOMB. Según esto, y de acuerdo con la mecánica clásica, para que una partícula cargada, una alfa, p. ej., pueda abandonar el núcleo o llegar a él desde el exterior, será necesario que esté dotada de una energía superior a la del potencial máximo, con objeto de que pueda remontar la barrera de potencial. En el caso del uranio, acabamos de decir que una partícula alfa es rechazada con la energía de 14.10^{-6} ergios, o sea 8,73 Mev (*), siendo éste, por tanto, el valor de U_m.

Sin embargo, el átomo de uranio al desintegrarse emite partículas alfa cuya energía es de sólo 4,1 Mev. Según la mecánica clásica, este hecho es imposible, ya que ninguna partícula con tal débil energía puede ser capaz de salvar la montaña de potencial de valor más del doble. La Física clásica no podía más que sugerir que había un error en los experimentos de RUTHERFORD. Pero, como materia de hecho, no había ningún error, y si alguna equivocación existía, no era precisamente en LORD RUTHERFORD, sino en la mecánica clásica misma.

Teoría de Gamow

Simultáneamente, GAMOW y GURNEY y CONDON aplicando la mecánica ondulatoria, lograron explicar la aparente contradicción y explanaron una teoría, bastante satisfactoria del porqué unos cuerpos son radioactivos y otros no. Supongamos el caso de la emisión de la partícula alfa. Se estima que el volumen del núcleo atómico es, aproximadamente, proporcional a su masa; a medida que aquél aumenta, U_0, potencial normal, aumenta también, y el nivel normal ocupado por la partícula alfa en la región central crece. Cuando este nivel tiene un valor positivo, E, ya no es estable con relación a la región exterior del núcleo, y es la existencia de la barrera de potencial lo que se opone a la salida de la partícula alfa, de acuer-

(*) En Física nuclear se utiliza como unidad de energía el electrón-voltio, que corresponde a la energía cinética que adquiere un electrón cayendo libremente en una diferencia de potencial de un voltio. Se utiliza corrientemente el múltiplo: mega electrón voltio (Mev).

do con la mecánica clásica. En mecánica ondulatoria, por el contrario, existe siempre una probabilidad para el paso de una partícula alfa desde un punto de la región interna del núcleo a un punto de la región externa que posea la misma energía; entonces el elemento es alfa radiante, e inversamente. La frecuencia de penetración de la barrera de potencial disminuirá rápidamente al crecer su espesor. Como es natural, las partículas alfa rápidas, más ricas en energía, atravesarán la pared de potencial más frecuentemente, debido al corto túnel que tienen que atravesar a causa del alto nivel que ocupan, que las partículas lentas, pobres en energía, para las cuales el túnel es más largo. Esta probabilidad es idéntica a la constante de desintegración.

Esto nos indica también la existencia de niveles energéticos en el interior del núcleo, cuyo valor puede ser determinado por el estudio de las desintegraciones radioactivas.

Aunque exista la posibilidad de atravesar la barrera de potencial, esto tiene lugar con grandes restricciones; en la mayoría de los casos la probabilidad de cruzar la barrera es extremadamente pequeña y las partículas encerradas en el núcleo deberán lanzarse contra la barrera un increíble número de veces antes de que sea atravesada.

Esta teoría desarrollada para la emisión de una partícula alfa, es aplicable, en toda su extensión, para el caso de cualquier partícula cargada positivamente que se acerque al núcleo desde el exterior, la cual poseerá una probabilidad finita de poder atravesar la barrera de potencial, aunque su energía sea inferior a la altura de dicha barrera. Esto presenta un gran interés por permitir efectuar desintegraciones nucleares por intermedio de partículas de energía relativamente baja.

Radioactividad inducida

Las primeras reacciones nucleares conducían siempre a la obtención de núcleos isotopos estables, ya existentes en la Naturaleza. En 1934 el matrimonio IRENE CURIE (hija de los descubridores del radio) y F. JOLIOT, al bombardear boro, magnesio o aluminio mediante partículas alfa, observaron que se obtenía un núcleo que era radioactivo. A este fenómeno le denominaron radioactividad artificial o inducida, y consiste, en estos casos, en la emisión de positrones.

En el caso del bombardeo del magnesio se verifica la reacción

$$_{12}Mg^{24} + {}_{2}He^{4} \longrightarrow {}_{0}n^{1} + {}_{14}Si^{27}$$

El Si^{27} así formado no es un isotopo estable del silicio, sino que es un núcleo, no existente en la Naturaleza, tan inestable que se desintegra con una vida media de 4,92 segundos, según la ecuación

$$_{14}Si^{27} \longrightarrow {}_{13}Al^{27} + {}_{+1}e^{0},$$

dando un positrón y el núcleo Al^{27} completamente estable.

Investigaciones posteriores han conseguido obtener más de 500 núcleos inestables diferentes, que son isotopos de los elementos ordinarios, haciendo de la radioactividad inducida un fenómeno general. Aunque los primeros elementos con radioactividad inducida que fueron obtenidos emitían positrones, es más corriente encontrar en ellos, especialmente en los de elevado peso atómico, la emisión de electrones negativos.

Emisión alfa

Hemos indicado que los núcleos estaban constituídos por neutrones y protones. Era de esperar, por tanto, que los núcleos inestables, tanto naturales como artificiales, se desintegrasen con emisión de protones, ya que los neutrones, al no llevar carga, no serían repelidos por el núcleo. Hemos visto sin embargo, que los núcleos emiten partículas alfa, electrones o positrones. La emisión de las partículas alfa, formadas por dos neutrones y dos protones, estriba en la forma específica de agrupación de las partes constituyentes del núcleo. La combinación de dos neutrones y dos protones es particularmente estable, y por ello es mucho más fácil que se rompa el núcleo en grupos separados estables que no en protones y neutrones individuales.

Positrón

¿Cómo se explica la emisión de electrones y positrones, los cuales no existen en el núcleo? Antes indicaremos que el positrón o electrón positivo es una partícula, encontrada por ANDERSON en los rayos cósmicos el año 1932, de masa igual al electrón y de carga idéntica, pero de signo contrario. Estas partículas fueron previstas por DIRAC por consideraciones puramente teóricas.

Emisión de electrones

Efectivamente, en el núcleo no hay electrones, y sin embargo son emitidos por él en un gran número de transformaciones radioactivas. La explicación de esta aparente paradoja está en el hecho de que estos electrones se crean o nacen úni-

camente si hay suficiente carga eléctrica disponible. La situación es parecida a la creación de un par, transformación de un fotón en electrón negativo y electrón positivo, con la diferencia de que en lugar de formarse los dos electrones de carga opuesta y compensada, aquí tenemos la formación de un electrón cuya carga proviene del nucleón, encerrando en esta denominación común de nucleón al neutrón y al protón. Por ejemplo, si un protón nuclear se convierte en un neutrón, quedará libre su carga eléctrica positiva, que será expulsada del núcleo bajo la forma de un positrón. Considerando el proceso inverso en el cual un neutrón adopta carga positiva, transformándose en un protón, será expulsado un electrón negativo.

Pero cuando un electrón se forma en el núcleo, no nace aislado, pues sabemos que la creación de un electrón sencillo (positivo o negativo) va acompañada siempre por el nacimiento simultáneo de una partícula de propiedades muy peculiares.

Neutrino Se trata del neutrino, inventado por PAULI, que es una partícula sin carga eléctrica ni masa apreciable, a la que únicamente le es apreciada energía cinética. Debido a estas propiedades posee un poder de penetración casi ilimitado. No ha sido posible detectar esta partícula y únicamente experimentos indirectos nos pueden indicar algo acerca de su existencia. Esta partícula ha habido que introducirla en la Física nuclear para explicar ciertas pérdidas de energía experimentadas en las reacciones nucleares. Recientemente se ha propuesto una teoría según la cual las violentas explosiones estelares conocidas en astronomía por el nombre de fenómenos de las «supernovas» pueden muy bien ser debidos a la pérdida de energía en el interior de las estrellas como consecuencia de una emisión de neutrinos en gran escala.

Mesotón El japonés YUKAWA introdujo un nuevo tipo de partículas nucleares, los mesotones, las cuales poseen una masa intermedia entre la de los protones y la de los electrones, 180 veces la masa del electrón o 1/10 la masa del protón. La idea primitiva era explicar con estas partículas las fuerzas cohesivas del núcleo, suponiéndolas intermediarias en las transformaciones proto-neutrón. La carga de estos mesotones puede ser positiva o negativa y es la misma que la del electrón. La hipótesis del mesotón no ha sido admitida por los físicos nucleares hasta que ha sido demostrada experimentalmente su existen-

cia en los rayos cósmicos. La energía de los mesotones de los rayos cósmicos es enorme, mucho mayor que la de cualquier partícula que se pueda obtener en un laboratorio. La máxima energía obtenida, hasta ahora, en los laboratorios ha sido la de electrones con 100 Mev. logrados en el betatrón de la «General Electric». La energía de los mesotones al final de su recorrido es del orden de los 500 Mev.

Electrino

Hasta ahora se creía que el electrón era la mínima cantidad de electricidad que podía existir, el cuento elemental de electricidad. Sin embargo, recientemente, THIBAUD ha creído observar en la emisión radioactiva del RaC y RaE una nueva partícula, a la que denomina electrino, y la cual tiene una carga eléctrica, positiva o negativa, que es sólo una diez milésima de la del electrón y su masa en reposo es 10^{-14} la del electrón. Con esto parece resucitarse la idea de los subelectrones de EHERENHAFT, expuesta en 1909, y que tan mala aceptación tuvo entonces.

Una vez presentadas las partículas anteriores, volvamos a tratar sobre las reacciones nucleares.

Reacciones nucleares

Para verificar transformaciones nucleares se han utilizado como proyectiles protones, partículas alfa, neutrones, deutones (núcleo isotopo del hidrógeno de masa dos formado por un protón y un neutrón) y fotones. Se han estudiado también las desintegraciones producidas por los mesotones de los rayos cósmicos.

El empleo de los aparatos aceleradores de partículas, ciclotrón, betatrón, etc., ha permitido el empleo de partículas de gran energía perfectamente controladas.

Energía de las reacciones nucleares

En toda reacción nuclear existe un desprendimiento o absorción de energía de significación análoga a la tonalidad térmica de una reacción química. La única diferencia está en la magnitud, que es tan enorme en las reacciones nucleares que hace que en ellas se haga patente la no validez de la ley de conservación de la masa. Al combinarse 4 grs. de hidrógeno con 32 grs. de oxígeno para formar 36 grs. de agua, una de las reacciones de la Química en que se libera más energía, se desprenden 136 kilocalorías, y al quemar totalmente 100 gramos de carbón el máximo de calor desprendido es de 731 kilocalorías; en la reacción nuclear de siete gramos de Li^7 con 1 gra-

mo de H^1 para dar He^4, la energía desprendida alcanza la fantástica cifra de 400 millones de kilocalorías.

Comprobación de la ecuación de equivalencia

El conocimiento exacto de los pesos isotópicos ha permitido el establecer el balance energético de las reacciones nucleares por determinación de las variaciones de masa que tienen lugar en el proceso, de acuerdo con la ecuación $E = mc^2$.

Consideremos de nuevo la reacción del Li^7 y del H^1, que podemos escribir:

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \longrightarrow 2\,{}_2He^4$$

El peso de un átomo de Li^7 es 7,01816 UM, el de un átomo H^1 es 1,00813 UM; siendo, por tanto, la suma de las masas de los dos átomos reaccionantes 8,02629 unidades másicas. La masa de un átomo He^4 es de 4,00386 UM, luego el peso de los dos átomos de helio resultantes de la reacción será 8,00772 UM. Vemos, pues, que los átomos resultantes poseen una masa inferior en 0,01857 unidades másicas a la suma de las masas reaccionantes. Esto equivale a una pérdida de masa por cada reacción individual de $3{,}13.10^{-26}$ grs. Esto es igual, de acuerdo con la ecuación de EINSTEIN, a $2{,}76.10^{-5}$ ergs. (*). Esto equivale a 17,3 Mev. Esta energía es absorbida por los núcleos de helio en forma de energía cinética; por tanto, cada partícula alfa debe resultar de esta reacción con una energía cinética de 8,5 Mev. Los resultados experimentales de COCKROFT y WALTON confirmaron brillantemente esta suposición teórica. Esta fué la primera demostración experimental de la validez de la ecuación de equivalencia.

Reacciones endoérgicas

Existen también reacciones nucleares en las cuales la suma de las masas de los núcleos resultantes es superior a las masas de los átomos reaccionantes. Entonces la reacción absorbe energía, reacción endoérgica, que le es proporcionada por la partícula que efectúa el bombardeo. El núcleo resultante es inestable y se desintegra siguiendo las leyes de la radioacti-

(*) En Química nuclear se dan las energías por *átomos individuales* y no por moléculas gramo, como en el caso de las reacciones químicas ordinarias. Si queremos comparar los valores de energías dados en reacciones nucleares con los obtenidos en reacciones químicas, tendremos que multiplicar aquellos valores por el número de AVOGADRO, $6{,}02.10^{22}$.

vidad. Sirva de ejemplo el proceso que resulta al bombardear litio por protones. La reacción es:

$$_3Li^7 + {}_1H^1 \longrightarrow {}_4Be^7 + {}_0n^1 - 1{,}6 \text{ Mev}$$

La masa de los núcleos Li^7 e H^1 suma 8,02629 y la de los núcleos resultantes es 8,02803 unidades másicas. Tenemos, por tanto, un aumento de 0,00174 unidades másicas. Este aumento de masa no puede proceder más que de una transformación de energía en masa, esto es, de la materialización de la energía. Según la ecuación de equivalencia, este aumento de masa equivale a una pérdida de energía de 1,6 Mev. Esta energía debe ser suministrada por la partícula incidente. Esta reacción no podrá ser inducida por partículas cuya energía cinética sea inferior a 1,6 Mev. El núcleo resultante de Be^7 es inestable y se desintegra.

En el ciclotrón de BERKELEY se han logrado obtener deutones con 20 Mev. y partículas alfa de 40 Mev., que se han mostrado como agentes muy activos en las trasmutaciones artificiales.

Transmutaciones por radiaciones

No sólo las partículas se prestan a inducir reacciones nucleares, sino que también las radiaciones pueden efectuar estas trasmutaciones, ya que, según las teorías modernas, todo depende de la energía. Con electrones de 100 Mev. se han logrado obtener rayos X de hasta 100 Mev. de energía, los cuales se han mostrado como agentes desintegrantes muy activos.

La primera reacción inducida por radiación fué lograda por CHADWICK y GOLDHABER, en 1935, por la acción de rayos gamma procedentes del ThC sobre el isotopo pesado del hidrógeno, observando la desintegración de éste en sus componentes. A este proceso le denominaron fotodesintegración, y responde a la ecuación

$$_1H^2 + \gamma \longrightarrow {}_1H^1 + {}_0n^1 - 2{,}197 \text{ Mev.}$$

Materialización de la energía

Esta reacción es posible por materialización de la energía. Aunque ya hemos visto otro ejemplo en el cual la energía se materializaba, como ocurre en las reacciones endoérgicas, esta reacción es la que más se presta para el estudio de este fenómeno. La suma de las masas del hidrógeno y del neutrón es

superior en 0,00236 UM a la masa del deuterio. Esta diferencia de masa es equivalente a 2,197 Mev.; por tanto, si la ley de equivalencia es cierta, la reacción anterior podrá ser provocada por radiaciones de energía superior a 2,197 Mev. La energía de los rayos gamma se transforma en materia.

Transmutaciones por mesotones

No se conoce todavía ningún medio para producir a voluntad mesotones; las reacciones nucleares por ellos inducidas que conocemos son únicamente las producidas por los rayos cósmicos.

El mesotón puede producir trasmutaciones por simple captura. Como ejemplo podemos dar la siguiente reacción estudiada por PERKINS:

$$_{1}m^{0} + {}_{8}O^{16} \longrightarrow {}_{7}N^{16} \longrightarrow {}_{1}H^{3} + 2\,{}_{1}H^{1} + {}_{0}n^{1} + {}_{4}Be^{10}$$

La energía cinética del neutrón es de unos 4 Mev. Al parecer el mesotón es capturado por un núcleo y aniquilado. Con ello el núcleo se transforma en otro de número atómico una unidad inferior, a causa de la carga negativa del mesotón, que queda en un estado de excitación excepcionalmente elevado, a causa de la energía suministrada por el aniquilamiento del mesotón (0,1 UM = 93 Mev). Este núcleo, con tan gran exceso de energía se desintegra en la forma anormal indicada en el esquema.

Reacciones termonucleares

Para producir por medios térmicos reacciones análogas a las que hemos visto inducen las partículas aceleradas, harían falta temperaturas de varios millones de grados. Estas temperaturas son totalmente impracticables en los laboratorios, pero en cambio son usuales en el interior del sol y de muchas estrellas. En el interior del sol la temperatura es de veinte millones de grados; a esta temperatura las reacciones nucleares deben verificarse con toda facilidad. Según indicaron independientemente BETHE y WEIZACKER, la energía solar es proporcionada por un ciclo de reacciones que pueden sintetizarse en la ecuación

$$4\,{}_{1}H^{1} \longrightarrow {}_{2}He^{4} + \gamma \quad (28 \text{ Mev})$$

Energía solar

BETHE demostró que la energía liberada en el ciclo coincide exactamente con la irradiada por el sol. La cantidad de hidró-

geno existente en el sol asegura la continuación de este proceso durante mil millones de años.

Transmutaciones por neutrones

Los neutrones se han mostrado como unos agentes eficientísimos en las reacciones nucleares a causa de que, por carecer de carga, no son repelidos por la barrera de potencial del núcleo. La interacción de los neutrones con los núcleos no puede efectuarse, según esto, más que por choque.

En todas las reacciones que hemos visto hasta ahora se obtenían núcleos que diferían en una o dos unidades en el número de orden del elemento transmutado.

Escisión del núcleo de uranio

Hace pocos años, precisamente antes de que comenzara la última guerra, dos químicos alemanes, O. HAHN y F. STRASSMANN, descubrieron un nuevo tipo de transformación nuclear, en la cual un núcleo pesado se rompe en dos partes aproximadamente iguales con liberación de una cantidad formidable de energía, del orden de los 190 Mev. por reacción individual.

Este fenómeno de escisión nuclear fué observado por primera vez en el uranio, bombardeándolo con un haz de neutrones, pero muy pronto se vió que otros elementos vecinos de aquél y del final del sistema periódico poseían propiedades similares.

No parece sino que estos núcleos pesados han llegado al límite de su estabilidad y que la provocación más pequeña, causada por colisiones con un neutrón, es suficiente para romperlos en dos, como se rompe una gota de mercurio.

Estabilidad nuclear

Hemos dicho varias veces que los núcleos están compuestos por neutrones y protones, y hemos visto cómo en la emisión radioactiva natural se emiten partículas alfa. Esto quiere indicarnos que en el interior del núcleo los neutrones y protones tienden a agruparse en formaciones estables. Entre neutrones y protones deben de existir fuerzas de intercambio de naturaleza análoga a las de la Química. No olvidemos que las dos partículas se consideran como dos estados energéticos diferentes de la misma entidad. Por tanto, en un núcleo tenderán a formarse tantas parejas protón-neutrón como sea posible; siendo, además, probable que se encuentren dos pares protón-neutrón, formando una partícula alfa, cuantas veces sea factible. Sin embargo, a menudo que va creciendo el número atómico del elemento se hacen notar las fuerzas de repulsión

de los protones, por lo cual el número de neutrones aumenta más de prisa que el de los protones para atenuar dicho efecto. Por tanto, la relación neutrón-protón va creciendo lentamente con el número atómico, hasta que llega un momento, según HEISEMBERG cuando la relación es superior a 1,5, en que el núcleo se convierte en inestable por contener un exceso de neutrones. Entonces tiende a restablecer el equilibrio emitiendo una partícula o una radiación. Puede ocurrir que emita una partícula alfa o que uno de los neutrones se convierta en protón con emisión de un electrón negativo. De esta manera, por emisiones sucesivas, se lleva al núcleo estable.

Esquema de la escisión

¿Qué ocurre en la escisión? El neutrón llega a un núcleo inestable por exceso de neutrones y, al ser capturado, aumenta aún más esta desproporción, formándose un núcleo compuesto que inmediatamente se escinde en dos pedazos. Según BOHR y WHEELER, al golpear el neutrón al núcleo de uranio inestable, este núcleo se estira, adoptando una forma de ocho; la masa se va acumulando en los extremos y, como tienen carga del mismo signo, se produce una repulsión de las dos partes. Vencida la unión, el cuello se estrecha hasta llegar a la ruptura, de modo semejante a la división de una célula.

Neutrones lentos

Se vió que el uranio se escinde al ser bombardeado por neutrones lentos, pero también sufre la escisión por neutrones muy rápidos, pero no por los intermedios. La explicación de este fenómeno fué difícil, pero al fin fué dada por BOHR. En el uranio existe, en la proporción de 0,7 %, el isotopo U^{235}, el cual es muy inestable, y basta un neutrón lento, de poca energía, que choque con él para provocar su escisión. Por tanto, con neutrones lentos se provoca la escisión del U^{235}. Si se emplean neutrones rápidos, se produce la escisión del U^{238}. Si el bombardeo se efectúa con neutrones intermedios, entonces se efectúa una absorción por resonancia, obteniéndose el isotopo U^{239}. Este es inestable y se desintegra con vida media de 23,5 minutos, y emisión de un electrón, transformándose en el elemento transuránido 93, al que se le ha dado el nombre de neptunio, según el esquema

Neptunio

$$_{92}U^{238} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{92}U^{239} \xrightarrow{-e} {}_{93}Np^{239}$$

Este neptunio es también inestable, y por emisión de otro

electrón se transforma en el elemento número 94, que ha recibido el nombre de plutonio.

Plutonio

$$_{93}Np^{239} \xrightarrow{-e} {}_{94}Pu^{239}$$

Este plutonio es un elemento que se escinde con facilidad. El plutonio es alfa radiante, transformándose, con vida media de veinticuatro mil años, en uranio 235, el cual también es, como hemos dicho, fácilmente escindible.

Productos de la escisión

Al escindirse el núcleo de uranio en dos partes, resultan núcleos de la parte intermedia del sistema periódico. HAHN encontró bario entre los productos de la escisión, en los cuales la relación neutrón-protón es inferior que en el caso del uranio, debido a lo cual deberán quedar neutrones en libertad.

Si, como indican HAHN y STRASSMANN, en la escisión del U^{235} se produce bario, de número atómico 56 y número másico entre 135 y 140, según el isotopo que se obtenga, el otro producto formado debe tener como número atómico 92—56=36, o sea que debe tratarse de un núcleo de kriptón, del cual existen isotopos con masas entre 78 y 86. Supongamos como caso más desfavorable que se obtienen los isotopos más pesados, la reacción sería:

$$_{92}U^{235} \longrightarrow {}_{56}Ba^{140} + {}_{36}Kr^{86} + 9\,{}_{0}n^{1}$$

Al mismo tiempo existe una pérdida de masa considerable que se traduce en la enorme energía desprendida en este proceso.

Emisión de neutrones

El número de neutrones producido no es tan elevado como aparece en la ecuación anterior, pues lo probable es que se obtengan núcleos inestables con gran proporción de neutrones, que se desintegrarán con emisión de electrones negativos. Se han identificado más de cincuenta núcleos distintos procedentes de la escisión del U^{235}, comprendidos entre el $_{35}Br^{83}$ y el $_{62}Sm^{151}$. En la inmensa mayoría de los casos se obtiene isotopos radioactivos.

Energética de la escisión

En la escisión de un núcleo de uranio 235 la energía liberada es el orden de los 200 Mev. Esto quiere decir que en la escisión de un gramo de uranio se obtienen 25.000 kilovatios-hora.

En el U^{238} la escisión producida por los neutrones rápidos es análoga a la producida en el U^{235} por los neutrones lentos.

Si los neutrones lentos chocan con un núcleo de U^{238} son capturados por él, dando el U^{239}, que, como ya hemos indicado, se transforma en neptunio y plutonio.

Conocimientos acerca de la escisión en 1940

H. D. SMITH, en su «Atomic Energy Report», redactado a instancia del mayor general L. R. GROVES, jefe de la comisión encargada del proyecto de bomba atómica, da una idea completa de cuáles eran los conocimientos sobre la escisión del uranio en 1940, cuando la citada comisión se puso a trabajar. Los datos conocidos entonces eran los siguientes:

1. Tres elementos—uranio, torio y protoactinio—a veces se dividen en fragmentos aproximadamente iguales cuando son bombardeados por neutrones, y estos fragmentos son isotopos de elementos del centro de la tabla periódica, que están entre el selenio ($Z=34$) y el lantano ($Z=57$).

2. La mayoría de estos fragmentos de la escisión son inestables, descomponiéndose radioactivamente por sucesiva emisión de electrones a través de una serie de elementos, en átomos estables.

3. Estos fragmentos de la escisión poseen una gran energía cinética.

4. La escisión del torio y del protoactinio sólo se puede obtener por medio de neutrones muy rápidos.

5. La escisión del uranio se puede obtener por medio de neutrones rápidos o lentos; en particular los neutrones térmicos provocan la escisión del isotopo U^{235}, pero no del otro, y los neutrones rápidos tienen menor probabilidad de causar la escisión en el U^{235} que los neutrones lentos.

6. Para ciertas velocidades de los neutrones existe una gran probabilidad de que sean capturados por el U^{238}, produciendo el U^{239}, pero no la escisión.

7. La energía liberada en la escisión de un núcleo de uranio es aproximadamente de 200 Mev.

8. En el proceso de la escisión se emiten neutrones de gran velocidad.

9. El promedio de neutrones liberados por escisión está entre uno y tres.

10. Los neutrones de gran velocidad pueden perder energía, transformándose en neutrones lentos, por choque inelás-

tico con núcleos de uranio, sin que se produzca ninguna reacción nuclear.

11. La mayoría de estos datos están de acuerdo con la teoría semiempírica de la estructura nuclear de BOHR y WHEELER.

El plutonio obtenido en la desintegración radioactiva del U^{239} debería de ser también escindible. La experiencia demostró que este aserto era cierto.

Reacción en cadena

El poder utilizar una reacción nuclear como fuente de energía tiene la limitación de la enorme cantidad de partículas necesarias para conseguir una transformación. La escisión presenta una reacción en cadena, a causa de la producción de neutrones. Cada uno de estos neutrones es capaz de inducir la escisión en otro núcleo de uranio, y así sucesivamente se podría obtener un proceso multiplicativo de carácter explosivo. ¿Qué impide que este proceso no conduzca a una tremenda explosión cada vez que un neutrón choca con un núcleo de uranio? No hay que olvidar que siempre existen neutrones volantes procedentes, sin duda, de reacciones secundarias de los rayos cósmicos con la materia. Supongamos que un neutrón lento produce la escisión de un núcleo U^{235} y que, además de los fragmentos de la escisión, resultan tres neutrones. A cada uno de estos neutrones les caben cuatro posibilidades:

1) Pérdida por no encontrar en su camino ningún núcleo.
2) Captura por el uranio sin escisión.
3) Captura por impurezas.
4) Captura con escisión.

En el caso del uranio ordinario, el U^{238}, que está en la proporción de 140 a 1, produce el proceso 2 de captura sin escisión. Si el proceso 4 predomina sobre los demás, tendremos la posibilidad de una reacción en cadena, en caso de predominar los otros procesos aquélla no se verifica. Esta condición se expresa por medio del factor de multiplicación k, que nos da la relación entre el número de neutrones aprovechables para la escisión y el número de los que se pierden en cualquiera de los tres primeros procesos. Si k es igual a 1, tendremos una reacción en cadena controlada; si es mayor que 1, la reacción será explosiva, y si k es inferior a 1, no existirá reacción en cadena.

La pérdida de neutrones de una determinada cantidad de uranio por fuga, proceso 1, puede disminuirse extraordinaria-

mente alterando su forma y tamaño. En una esfera la superficie es proporcional al cuadrado del radio y el volumen es proporcional al cubo del radio. La fuga de neutrones es función de la superficie, mientras que el número de choques del neutrón con los núcleos de uranio es función del volumen que ocupe el material. Por tanto, cuanto mayor sea la cantidad de uranio, la probabilidad de captura del neutrón será mayor.

Tamaño crítico

Se denomina tamaño crítico de un artificio que contenga uranio, al tamaño correspondiente a una producción de neutrones libres, por escisión, en número igual a los perdidos por fuga y por captura sin escisión. Si el tamaño es menor que el crítico, no podrá originarse una reacción en cadena autosostenida.

Separación de isotopos

Para suprimir el proceso 2 de captura sin escisión se pensó, desde el primer momento, en separar el isotopo 235 de los demás. Este proceso de separación de isotopos es muy difícil, especialmente en núcleos cuya diferencia relativa de masa es tan pequeña.

A pesar de las dificultades, se emprendió la empresa de separar los isotopos del uranio, lográndose éxitos considerables en los métodos de difusión y electromagnéticos.

Moderadores

Los neutrones que producen la escisión del U^{235} son los lentos, y los neutrones producidos en la reacción en cadena son rápidos; por lo tanto, poseen pocas probabilidades de producir la escisión. Para obviar esto se propuso el empleo de moderadores, que absorbiendo la energía cinética de los neutrones, redujesen su energía hasta límites aprovechables. Para ello se empleó grafito.

Obtención del plutonio

Después se pensó en la posibilidad de emplear el plutonio, que también sufre la escisión por los neutrones. Además como el plutonio procede de la transformación del U^{238}, se elimina éste sin necesidad de acudir a los métodos de separación de isotopos de poco rendimiento. Sabemos ya que el plutonio se obtiene por la captura de neutrones de velocidad media por el U^{238}. No se podía pensar en obtener los neutrones de las fuentes ordinarias y se pensó en utilizar los neutrones resultantes de la escisión de U^{235}. El proceso sería el siguiente: Supongamos un neutrón ambulante que choca con un núcleo

U^{235} y produce la escisión de éste en dos pedazos, dando lugar, por término medio, a tres neutrones. Estos neutrones suelen ser bastantes veloces; por lo tanto, si se pone un moderador, se podrá reducir su velocidad hasta que sean capaces de producir la escisión de un nuevo núcleo de U^{235}. Ahora bien, lo más probable es que, como existe U^{238} en proporción de 140 a 1, algún neutrón sea captado por éste para dar el U^{239}. Este es el que sabemos que, por emisiones sucesivas de electrones, se convierte en el plutonio. También algún neutrón se escapará. Esta reacción debe ser controlada, y para ello se construyó la denominada pila de grafito.

Pila de grafito

La pila era un bloque de grafito con una serie de agujeros espaciados simétricamente. En estos orificios se introducían cilindros de uranio puro. En otros orificios se ponían barras de boro que hacían de reguladores de la reacción por su gran poder absorbente para los neutrones. El grafito hace de moderador y reduce la velocidad de los neutrones hasta los límites necesarios. Entrando y sacando las barras de boro se logró un control perfecto en la marcha de la pila. El éxito logrado fué completo. Por primera vez se había logrado, por el hombre, una reacción nuclear autosostenida.

Obtención de isotopos radioactivos

Una pila de este tipo se hace funcionar durante algún tiempo, al cabo del cual se rompe y por métodos químicos se extrae el plutonio formado. Aparte del plutonio existirán allí uranio no transformado, neptunio en vías de desintegración y los numerosos isotopos radioactivos producidos en la escisión. Estos cuerpos radioactivos son aprovechables en terapéutica y en investigaciones científicas, por ello la obtención de estos isotopos radioactivos, en cantidades que no había que soñar cuando se utilizaba sólo radio, sea quizá uno de los mayores éxitos de la pila de uranio. La primera pila funcionó sólo con una energía de 200 vatios.

Posteriormente se hicieron pilas mayores que funcionaron con mucho mayor rendimiento.

Todo lo anterior, descrito en breves líneas dejando de lado detalles técnicos interesantísimos, consumió el trabajo de más de 125.000 hombres, entre los que se contaban los mejores físicos y químicos del mundo. Los gastos declarados sobrepasan la cifra de los 2.000 millones de dólares. Un trabajo tal, con tan enorme dispendio, no hubiese sido nunca comenzado

por nación alguna en tiempos de paz ni con fines pacíficos. La tarea fué emprendida por la dura necesidad de la guerra.

El propósito de lo anteriormente descrito era conocer la posibilidad de crear una bomba atómica y producir los materiales concentrados, lo que la comisión de la energía atómica designa con el nombre de «combustible nuclear», necesarios para la fabricación de dichas bombas.

Bomba atómica

Esta bomba atómica debe producir una repentina y violenta liberación de energía en una pequeña región. Para producir una explosión eficaz en una bomba atómica las partes de esta bomba no deben separarse de una manera apreciable antes de que se libere una parte importante de la energía nuclear disponible, puesto que la expansión lleva a un aumento en la pérdida de los neutrones del sistema y se interrumpe prematuramente la reacción en cadena.

Ya hemos indicado que la eficacia depende del factor *k*, que relaciona el número de neutrones formados en cada escisión y el de los perdidos por diversas causas. Para producir una pila basta el artificio ya indicado con un moderador. Para producir una bomba explosiva este proceso no es satisfactorio: primero, porque los neutrones tardan demasiado (microsegundos) en actuar y la explosión sería muy pequeña, y, segundo, porque una pila de este tipo es demasiado grande para transportarla. Por lo tanto, se planteó el problema de que había que utilizar o U^{235} puro o plutonio.

El tamaño crítico, mínimo para que la reacción en cadena no se interrumpa, puede ser reducido considerablemente envolviendo la bomba en una capa de grafito que reflejara los neutrones devolviéndolos al interior. El empleo de este retardador hace la explosión más intensa y eficiente.

Cuando el tamaño de la pila o de la bomba es superior al crítico, no hay forma de impedir que se inicie la reacción en cadena, ya que en la atmósfera existen siempre neutrones errantes en número suficiente para iniciar la cadena. Así que hasta que llega el momento en que se desea provocar la explosión, la bomba tiene que consistir en un número de partes separadas, cada una de las cuales es inferior al tamaño crítico. Para producir la explosión se tienen que juntar rápidamente las partes de la bomba. Durante el proceso de unión de las diversas partes, la reacción en cadena está a punto de arrancar, antes que la bomba haya alcanzado forma compacta, debido

a los neutrones errantes. Este hecho puede provocar una explosión ineficaz. Por tanto, había que reducir el tiempo de reunión al mínimo.

La bomba se hace explotar en el campo de batalla a una altura tal sobre el suelo como para obtener el máximo efecto destructivo y para desparramar los productos radioactivos en una nube. Debido a la altura de la explosión, todos los productos radioactivos son prácticamente llevados hacia arriba en una columna ascendente y desparramados sobre una superficie amplia sin peligro. En el ensayo de Nuevo Méjico, donde la altura de la explosión fué necesariamente baja, sólo muy pequeña fracción de productos radioactivos se depositó inmediatamente debajo de la bomba.

En el proyecto de la bomba atómica fueron invertidos por los Estados Unidos más de 2.000 millones de dólares y dedicaron sus actividades al mismo unas doscientas mil personas, como ya hemos indicado. Sin embargo, los norteamericanos, buenos economistas, han comprendido que ese capital y trabajo, aparte de haberles dado el secreto en precario de la bomba atómica, les ha producido mayores intereses que si se hubiese destinado a otros usos. Los dos mil millones gastados en el proyecto de la bomba atómica están siendo devueltos con creces por la industria americana, que ha podido beneficiarse con los perfeccionamientos introducidos en las diferentes técnicas utilizadas en la consecución del proyecto.

Podemos hacer un pequeño resumen de las industrias que han visto enormemente incrementados sus rendimientos a causa de las mejoras que han podido introducir en sus instalaciones gracias a los trabajos de los científicos que trataban de separar el uranio 235:

1. Refinerías de petróleo:

   a) Mejoras en las bombas.

   b) Nuevos tipos, más eficaces, de cambiadores de calor.

   c) Espectroscopio de masas (control analítico continuo de las operaciones).

   d) Posibilidad de nuevos métodos para la separación de fracciones de gasolina.

   e) Mejoras en el control automático.

2. Industrias químicas en general:

Las mismas ventajas que la industria del petróleo.

3. Fabricación de vasijas para vacío y presión:

a) Control de soldaduras.
b) Mejora en las técnicas de vacío.

4. Industrias de alto vacío:

a) Mejoras en los métodos para destilación en vacío de vitaminas.
b) Nuevos métodos para determinar alto vacío en los tubos electrónicos.
c) Deshidratación de alimentos a baja presión y baja temperatura.

5. Industrias de gases:

a) Separación del helio por difusión del gas natural.
b) Separación eficaz del hidrógeno en los procesos gaseosos.
c) Separación por difusión del oxígeno y gases nobles del aire.

6. Industria eléctrica:

a) Nuevas técnicas electrónicas en alto vacío.
b) Mejoras en instrumentos microsensibles.

7. Medicina:

a) Cuerpos radioactivos abundantes y baratos.
b) Mejora en los métodos protectores en las industrias tóxicas.
c) Extensión de la terapia del cáncer.

8. Industrias de la refrigeración:

a) Mayor seguridad en los equipos.
b) Mejoras en el uso de fluoruros como refrigerantes.

9. Industrias que emplean productos corrosivos:

a) Nuevas bombas y válvulas lubricantes y métodos de envase.
b) Nuevos tratamientos anticorrosivos de superficies metálicas.
c) Mayor seguridad en el trabajo.
d) Bombas totalmente aisladas manejadas desde el exterior por inducción.

10. Industria óptica:

a) Métodos de medida de gran sensibilidad, billonésimas de centímetro, utilizando rayos radioactivos aplicables, por ejemplo, al pulimento de lentes.

Aparte de estas ventajas obtenidas por la industria, existe la posibilidad de utilizar la pila atómica como fuente de energía aprovechándola directamente. Una de las aplicaciones más interesantes de la energía nuclear será, sin duda alguna, en los motores de retropropulsión, tanto para la aviación como para la marina.

El Dr. Keller, director de investigaciones de una de las casas más importantes de Suiza, ha presentado un proyecto de construcción de una fábrica que, mediante turbinas de gas helio, pueda producir una potencia de 35.000 caballos de vapor.

En esta breve reseña hemos podido apreciar el avance conseguido en el conocimiento acerca de la constitución íntima de la materia y las aplicaciones de él derivadas. Este progreso fué rápido desde la crisis de la Física aristotélica y tomó caracteres de progresivamente acelerado a partir de la crisis de la llamada Física clásica. Todas las ciencias físico-naturales han experientado un avance igualmente considerable. La Física, la Química, la Biología, etc., han conseguido en estos dos últimos siglos más conquistas que en doscientos siglos anteriores de civilización.

Se dice que la Física actual está en crisis; es posible. Se tienen que

inventar recursos para mantener incólumes los principios fundamentales, como la ley de conservación, la de causalidad, etc., a las cuales no se ajustan los últimos descubrimientos. Pero no hay que olvidar que de cada crisis la ciencia ha resurgido más pujante. De la crisis de la Física aristotélica nació aquella maravillosa síntesis de Galileo, Newton y Huyghens, que hicieron posible todos los decubrimientos y aplicaciones del siglo XIX. Este siglo pasará a la historia de las ciencias físico-naturales, quizá como el más fecundo de todos. De la crisis de esta Física, denominada clásica, a principios del siglo XX, resultaron las mecánicas cuánticas y ondulatorias, con sus prodigiosos resultados en la electrónica y en la desintegración atómica. Esta Física está también en crisis; sus postulados ya no aciertan a explicar los últimos hechos experimentales observados. Y en las ciencias físico-naturales, desde su independización de la Filosofía, cuando una teoría no es capaz de explicar un resultado experimental, efectuado con todas las garantías, quiere decir que la teoría necesita una modificación.

La ciencia necesita de estas crisis, que son la prueba fehaciente de su progreso. Una ciencia estancada, sin avance, sería aquella que lo conociese todo. Hubo un momento en que el hombre, en su soberbia, lo creyó así para la Física, y a finales del siglo XIX proclamaba que ésta era un edificio totalmente terminado, a falta sólo de pequeños detalles. Uno de estos detalles, la radiación del cuerpo negro, produjo el nacimiento de la nueva Física. Una ciencia terminada no tendría interés más que por sus aplicaciones. Lo bello en la ciencia es precisamente su misterio y el avanzar en su conocimiento con el convencimiento de encontrarse con lo inesperado.

Hemos indicado antes algo acerca de la independización de la Ciencia de la Filosofía. Queremos aclarar esto para evitar torcidas interpretaciones. Las ciencias físico-naturales han conseguido, desde que se separaron de la Filosofía, en los siglos XVI y XVII, una serie de triunfos con los cuales no hubiesen podido soñar con anterioridad. Fué entonces cuando comenzó la época de las ciencias experimentales con métodos de trabajo propios. La separación no se verificó sin lucha, a causa de la falsa interpretación que los filósofos dieron al espíritu que animaba a los científicos de aquella época. Estos no atacan a Aristóteles, ya que reconocen que ningún pensador de la antigüedad, ni de los tiempos modernos, fué tan universal ni abarcó campos tan variados como el estagirita. Pero, sin duda a causa de la época en que fué llevada, está plagada de errores. Galileo, p. ej., dice Papp, es un sincero admirador del auténtico espíritu de Aristóteles. Aquello que combate no es el estagirita, es la ceguera de sus acólitos, escolásticos de manual, es la falsa creencia de que la ciencia podría ser un libro cerrado, un sistema de dogmas definitivos, inquebran-

tables en todos los tiempos. Desde este instante, la Filosofía marcha desfasada con la Ciencia. Y la razón es clara, incluso para los filósofos. Y es que la Filosofía–los filósofos–elaboran sus doctrinas sobre las conclusiones científicas ya clásicas. Y como quiera que la Ciencia es evolución constante y progresiva, cuando un filósofo expone sus teorías, la Ciencia ya ha alcanzado una nueva meta.

Los filósofos, sin embargo, han acabado por darse cuenta de que su cometido no era el poner cortapisas al espíritu emprendedor del hombre de ciencia, y, según frase feliz del profesor Muñoz Alonso, "La Filosofía ha dimitido su autoridad por incompetencia" en estas cuestiones.

A pesar de ello, es hoy lugar común el achacar al progreso material de la Humanidad, debido a los hombres de ciencia, la mayoría de los males que nos afligen. En el caso concreto de la bomba atómica, se culpa a los científicos de haber contribuído a la creación de un instrumento de muerte y destrucción de poder tan enorme, que hará las guerras futuras tan destructivas, que la primera puede señalar el fin de nuestra civilización. Es posible. Pero la culpa no será de los hombres de ciencia, sino de aquellos que no saben emplear sus conquistas mas que para aniquilar al que consideran su enemigo. La mentalidad humana está todavía conformada de tal manera, que en cada nuevo descubrimiento científico, en lugar de ver en él una posibilidad para mejorar el nivel de vida y aminorar los sufrimientos de la Humanidad, no ve más que la utilidad que podrá sacar de ese invento en una guerra en la cual pueda destruir a su enemigo circunstancial. Durante la guerra, y tememos que durante la paz también, no rige más ley que la de la fuerza, y si una nación que está en poder de un arma, de las que hemos dado en llamar inhumanas, como la guerra bacteriológica o la guerra química, no la emplea, no será por humanidad, sino por miedo a que el enemigo pueda emplear la misma arma. Pues no son los principios de derecho los que rigen las relaciones internacionales, en tiempos de guerra, sino la ambición de la victoria, a la que subordinan todo. Podríamos decir que late una psicosis de guerra en la Humanidad frente al estado de paz y serenidad de la ciencia. Y no ha correspondido todavía, que sepamos, a los físicos y químicos el formar esa mentalidad. Son otros, políticos ambiciosos, economistas con miras particulares, historiadores deformadores de la Historia, filósofos alejados de la verdadera sabiduría, etc., los que dirigen los pueblos, para desgracia de la Humanidad. No quiere decir esto que si los hombres de ciencia dirigieran las naciones éstas irían mejor; porque la virtud política y la prudencia rectora no se aprenden precisamente en los laboratorios, aunque de ellos no esté ausente.

Queremos indicar con esto que el progreso moral de la Humanidad no ha seguido al avance de la ciencia. Por lo demás, el que una guerra

sea más o menos brutal creemos que no tiene importancia. La guerra es brutal por sí misma; y los pueblos que ven convertir en ruinas su grandeza, en poco tienen que sea una explosión quien los destruya o el paso militar de un guerrero ambicioso. A cualquiera se le alcanza que no pretendemos con estas frases definir la moralidad o inmoralidad de la guerra en sí misma, que compete a los juristas.

La ciencia ha puesto a disposición de la Humanidad un cúmulo tal de descubrimientos, que la permitiría vivir en la abundancia y con sus dolores bastante atenuados si en el mundo hubiese un poco de buen sentido e imperase en todas partes un criterio de hermandad y justicia que no hay que inventar, pues hace veinte siglos que nos fué dado desde lo alto de una cruz.

Por lo demás, las investigaciones prosiguen y el día que se llegue al aprovechamiento de la energía de los rayos cósmicos, se podrán llegar a producir, con toda seguridad, bombas cuyo poder sea mil veces superior al de la bomba atómica, y el día que se logre aprovechar la desintegración total de la materia, la Humanidad habrá encontrado un procedimiento para suicidarse en masa si así es su deseo.

ANALES DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

EL PERCLORATO DE ALUMINIO ANHIDRO COMO DESECANTE

(NOTA DE LABORATORIO)

POR

J. SANCHO

1944
TIP. SUC. DE NOGUÉS
MURCIA

EL PERCLORATO DE ALUMINIO ANHIDRO

COMO DESECANTE

EL PERCLORATO DE ALUMINIO ANHIDRO COMO DESECANTE

(NOTA DE LABORATORIO)

Por J. SANCHO

En un trabajo anterior de E. Moles y C. Roquero (1) se inició el estudio del poder desecante para los gases de algunos óxidos y sales anhidras. Se vió que la eficacia como desecante era comparable a la del anhídrido fosfórico entre ciertos límites hasta la formación de hidratos determinados. Así la eficacia del gel de sílice activo resultaba comparable a la del P_2O_5 hasta la formación del ácido disilícico $2SiO_2.H_2O$, la del perclorato de magnesio anhidro lo era hasta la formación de un tetrahidrato, y la del óxido bárico era casi comparable a la del fosfórico hasta la formación del hidróxido $BaO.H_2O$, em-

(1) E. Moles y C. Roquero: Estos A. Sc. Esp. Fís. Quím., 31, 11, 1933.

pleando producto calcinado a temperatura elevada y en pequeños fragmentos.

El excelente resultado obtenido en el caso del perclorato magnésico hizo pensar en proseguir el estudio de los desecantes, orientándolo en el sentido de las sales anhidras capaces de formar hidratos elevados. El haberse estudiado los hidratos del perclorato de aluminio (2), revelando la existencia de un trihidrato que retiene tenazmente sus moléculas de agua, ya que para obtener el compuesto anhidro es necesario calentarlo a 150° C. sobre fosfórico y en vacío, nos ha inducido a ensayarlo como desecante.

PARTE EXPERIMENTAL

El perclorato de aluminio anhidro lo hemos preparado a partir del 15-hidrato, siguiendo las indicaciones de Moles y González Barcia (3).

El 15-hidrato lo preparamos disolviendo $Al(OH)_3$ en ácido perclórico de 30-35%. El $Al(OH)_3$ lo obtuvimos por precipitación, pasando corriente de gas amoníaco por una disolución concentrada de sulfato de aluminio puro; el precipitado se lavó hasta que no dió reacción con el cloruro bárico. El emplear corriente de gas amoníaco, en lugar de hidróxido amónico, como recomiendan Dobrosserdow y Pschenichni (4), tiene por objeto el evitar el manejo de grandes cantidades de líquido, de uso siempre engorroso para las filtraciones.

El producto anhidro lo preparamos calentando, en

---

(2) E. Moles y J. González Barcia: A. Sc. Esp. Fís. Quím., 34, 802, 1936.

(3) E. Moles y J. González Barcia: Loc. cit.

(4) Dobrosserdow y Pschenichni: Ukrainskii, Khem. Zhurnal, 2, 109, 1926.

vacío, el 15-hidrato a 100°C. sobre sulfúrico primeramente y después sobre anhídrido fosfórico, también en vacío de 0,001 mm. y a 150°C. hasta pesada constante.

El poder desecante del producto anhidro lo hemos determinado según la técnica ya conocida (5), consistente en hacer pasar una corriente de aire procedente de un gasómetro, cuya velocidad se mide mediante un anemómetro de Venturi, por un borboteador que contiene agua, a la temperatura ambiente, en donde se satura de humedad y después por el tubo que contiene el desecante, finalmente por un tuvo testigo conteniendo anhídrido fosfórico. Las diferencias de peso en el tubo que contiene el perclorato nos darán la cantidad de agua absorbida y las diferencias del peso en el del P_2O_5 nos indicarán la humedad no retenida por el desecante.

Hemos efectuado cuatro ensayos distintos, cuyos resultados están resumidos en las tablas adjuntas. Hemos operado en todos ellos con una capa de desecante de unos 100 mm. de longitud por 15 mm. de sección. La velocidad de paso del aire fué de 2 litros/hora en los dos primeros ensayos y de unos 8 litros/hora en los dos últimos. Como puede verse en el caso de los dos primeros ensayos, con velocidad de paso pequeña, el producto presenta un poder de absorción para la humedad casi de 100% hasta la formación del trihidrato, después hasta la formación del exahidrato la eficacia es de más del 99%, bajando luego ésta rápidamente. En los dos últimos la eficacia es menor, pero las cosas suceden igual que antes, resultando la curva paralela a la anterior. En la columna 8 de las tablas hemos introducido el concepto de «eficacia actual», designando con este nombre el cociente de la cantidad de agua absorbida por el desecante, entre dos puntos determinados, por la cantidad total de agua y mul-

---

(5) E. Moles y C. Roquero: Loc. cit.

tiplicado por 100. En la columna 9 damos los resultados en eficacia total por 100.

Nos proponemos proseguir el estudio de los desecantes para intentar fijar lo que pudiéramos llamar *eficacia límite* de los distintos desecantes en relación con la velocidad de paso del gas, longitud y sección de la capa de desecante empleado, etc., que creemos es de interés en el caso de los desecantes empleados en la industria.

TABLA 1.ª

PRIMER ENSAYO

$Al(ClO_4)_3$ empleado, 5'8108 grs. Velocidad de paso del aire húmedo, 1-2 litros/hora.

RESULTADOS PARCIALES			*RESULTADOS TOTALES*						
a H_2O *total*	*b* H_2O *absorbida*	*c* H_2O *no retenida*	*a'* H_2O *total*	*b'* H_2O *absorbida*	*c'* H_2O *no retenida*	$Gr.H_2O / Al(ClO_4)_3$	$Mol\ H_2O / Al(ClO_4)_3$	*b.100/a = Eficacia actual %*	*b'.100/a' = Eficacia total %*
0,1334	0,1334	0,0000	0,1334	0,1334	0,0000	7,46	0,415	100,0	100,0
0,3886	0,3886	0,0000	0,5220	0,5220	0,0000	29,23	1,63	100,0	100,0
0,2528	0,2520	0,0008	0,7748	0,7740	0,0008	43,35	2,40	99,6	99,8
0,2114	0,2082	0,0032	0,9862	0,9822	0,0040	55,01	3,05	98,6	99,5
0,2796	0,2772	0,0024	1,2658	1,2594	0,0064	70,54	3,95	99,1	99,5
0,6354	0,6266	0,0088	1,9012	1,8860	0,0152	105,63	5,90	98,6	99,2
0,0980	0,0960	0,0020	1,9992	1,9820	0,0172	111,01	6,20	98,1	99,1
0,3342	0,3272	0,0070	2,3334	2,3092	0,0242	129,34	7,20	97,9	98,9
0,4162	0,3872	0,0290	2,7516	2,6984	0,0532	151,14	8,50	93,0	98,0
0,3196	0,1956	0,1240	3,0712	2,8940	0,1772	162,09	9,00	72,0	94,2
0,6076	0,3164	0,2912	3,6688	3,2004	0,4684	179,95	10,00	67,2	87,2

TABLA 2.ª

SEGUNDO ENSAYO

$Al(ClO_4)_3$ empleado, 6'1750 grs. Velocidad de paso del aire húmedo, 1-2 litros/hora.

RESULTADOS PARCIALES			*RESULTADOS TOTALES*						
a H_2O *total*	*b* H_2O *absorbida*	*c* H_2O *no retenida*	*a'* H_2O *total*	*b'* H_2O *absorbida*	*c'* H_2O *no retenida*	$\frac{Gr.H_2O}{Al(ClO_4)_3}$	$\frac{Mol\ H_2O}{Al(ClO_4)_3}$	*b.100/a=* *Eficacia actual %*	*b'.100/a'=* *Eficacia total %*
0,7654	0,7654	0,0000	0,7654	0,7654	0,0000	40,34	2,25	100,0	100,0
0,4556	0,4522	0,0024	1,2200	1,2176	0,0024	64,17	3,50	99,4	99,8
0,5982	0,5916	0,0066	1,8182	1,8092	0,0090	95,35	5,30	98,9	99,5
0,4314	0,4166	0,0148	2,3896	2,3658	0,0238	124,69	7,00	96,5	99, 0
0,5336	0,4878	0,0458	2,7832	2,7136	0,0696	143,02	8,00	91,4	97,5
0,6226	0,5220	0,1006	3,4058	3,2356	0,1702	170,54	9,50	83,8	95,0
0,6872	0,2434	0,4438	4,0930	3,4790	0,6140	183,37	10,20	35,4	84,9

TABLA 3.ª

TERCER ENSAYO

$Al(ClO_4)_3$ empleado, 7'1238 grs. Velocidad de paso del aire húmedo, 8-9 litros/hora.

RESULTADOS PARCIALES			*RESULTADOS TOTALES*						
a H_2O *total*	*b* H_2O *absorbida*	*c* H_2O *no retenida*	*a'* H_2O *total*	*b'* H_2O *absorbida*	*c'* H_2O *no retenida*	$\frac{Gr.H_2O}{Al(ClO_4)_3}$	$\frac{Mol\ H_2O}{Al(ClO_4)_3}$	*b.100/a = Eficacia actual %*	*b'.100/a' = Eficacia total %*
0,6804	0,6766	0,0038	0,6804	0,6766	0,0038	30,91	1,73	99,4	99,4
0,9990	0,9874	0,0116	1,6794	1,6640	0,0154	76,02	4,25	98,8	99,0
0,2408	0,2218	0,0190	1,9202	1,8858	0,0344	86,15	4,80	92,1	98,2
0,5190	0,4890	0,0300	2,4392	2,3748	0,0644	108,49	6,05	94,2	97,3
0,5256	0,4942	0,0314	2,9648	2,8690	0,0958	131,07	7,30	94,0	96,8
0,4808	0,4534	0,0274	3,2456	3,1224	0,1232	142,65	8,00	94,3	96,2
0,3958	0,3238	0,0720	3,6412	3,4462	0,1952	157,44	8,75	81,8	94,6
0,3794	0,2260	0,1534	4,0208	3,6722	0,3486	167,77	9,30	59,5	91,3
0,5864	0,3208	0,2656	4,6072	3,9930	0,6142	182,43	10,20	54,7	86,6

TABLA 4.ª

CUARTO ENSAYO

$Al(ClO_4)_3$ empleado, 7'1766 grs. Velocidad de paso del aire húmedo, 8-9 litros/hora.

RESULTADOS PARCIALES			*RESULTADOS TOTALES*						
a H_2O *total*	*b* H_2O *absorbida*	*c* H_2O *no retenida*	*a'* H_2O *total*	*b'* H_2O *absorbida*	*c'* H_2O *no retenida*	$\frac{Gr.H_2O}{Al(ClO_4)_3}$	$\frac{Mol\ H_2O}{Al(ClO_4)_3}$	*b.100/a = Eficacia actual %*	*b'.100/a' = Eficacia total %*
0,2800	0,2800	0,0000	0,2800	0,2800	0,0000	12,69	0,70	100,0	100,0
1,6904	1,6584	0,0320	1,9704	1,9384	0,0320	87,90	4,85	98,1	98,3
0,5096	0,4846	0,0250	2,4800	2,4230	0,0570	109,88	6,20	95,1	97,7
0,6684	0,6056	0,0528	3,1384	3,0286	0,1098	137,35	7,60	90,6	96,5
0,7486	0,5958	0,1428	3,8870	3,6344	0,2526	164,82	9,20	79,6	93,5
0,3904	0,2120	0,1784	4,2674	3,8364	0,4310	173,98	9,60	54,3	89,9

Murcia, junio de 1944. LABORATORIO DE QUÍMICA-FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD