

Publicaciones del Instituto Nacional de Segunda Enseñanza de Castellón

Volumen II

Fascículo II

Trabajos de divulgación

# Del átomo a las estrellas

por

**José M. Gallart Sanz**

Doctor en Ciencias



1934

IMPRENTA JOAQUÍN BARBERÁ  
CASTELLÓN

RC  
925



R. 1897

F-38  
10

Publicaciones del Instituto Nacional de Segunda Enseñanza de Castellón

Volumen II

Fascículo II

1925

Trabajos de divulgación

# Del átomo a las estrellas

por

José M. Gallart Sanz

Doctor en Ciencias

*Luis Quevedo*



1934

IMPRENTA JOAQUÍN BARBERÁ  
CASTELLÓN



**La ciencia puede definirse como un arte de acercar las cosas que parecen infranqueablemente separadas. Las teorías, las hipótesis, las concordancias son como puentes que franquean las orillas de un abismo.**

*R. Salillas. HAMPÁ Madrid 1898.*



AS hipótesis atómico moleculares así como las referentes a la constitución de los astros son tan antiguas como la humanidad y por tanto no podemos entretenernos en hacer aquí ni siquiera una breve reseña de las que han existido. Únicamente diré que aquellas teorías que emitieron filósofos de toda época asombran hoy, algunas veces, por la gran intuición que demuestran ya que las lanzaron sin base formal alguna y el valor que tenían era puramente especulativo. Estaban dentro del campo de la Filosofía, sin pretender, siquiera, invadir el dominio de las ciencias experimentales que casi puede decirse que no se conocían.

Pasemos por alto, digo, las ideas de Leucipo, Canada y Demócrito, sobre los átomos indivisibles y las transformaciones del Universo, ideas modificadas por Epicuro y Lucrecio, en cuya época se detiene el atomismo para renacer en pleno siglo XVII.

El gran genio de la Física, Newton, se hace partidario de la teoría atómica, pero ésta, considerada como ciencia, es hija del siglo XVIII si bien los más rápidos progresos se han efectuado recientemente con una velocidad realmente revolucionaria, y con unos métodos de investigación y comprobación de la teoría, tales, que ésta se asienta sobre bases tan sólidas, ha previsto tan gran número de hechos que, como dice Perrin, ya no podemos hablar de hipótesis, sino de realidad atómica.

No os puedo presentar un cuadro completo en el que figure al detalle la constitución de la materia y el Universo. Únicamente bocetos aislados que procuraré relacionar unos con otros componiendo un esquema en la misma forma que se compone un puzle. Por otra parte, el cuadro completo no existe aún, faltan piezas de ese puzle, en busca de las cuales andan los investigadores. Nos tenemos que conformar con las conocidas y tratar de sacar el mayor partido posible de ellas.

Es posible que preguntéis: ¿Por qué, si el panorama es amplio elegir de él para su contemplación dos cosas tan distantes como el infinitamente pequeño y el infinitamente grande?

La razón es sencilla: Tan alejados nos encontramos del uno como del otro y tan difícil es descender hasta el tamaño del átomo como crecer hasta la magnitud de las estrellas. Aproximadamente hacen falta tantos átomos para construir un hombre, como seres humanos para llenar el sistema solar. Este número viene a ser poco más o menos  $10^{27}$ . Por otra parte hay cierta semejanza entre la constitución de un átomo y la de un sistema planetario. Y por si todo esto fuera poco, nos encontramos con que los pasos más firmes en el estudio de cada una de estas dos ciencias, se han realizado contemplando la otra. Es fácil comprender esta afirmación ya que la luz recibida de una estrella no es, como dice Eddington «mas que un mensaje cifrado», para cuya interpretación tenemos que buscar en nuestro planeta la clave, que nos la puede suministrar la observación efectuada en el laboratorio, pero en éste no podemos disponer las cosas tal como nosotros queramos, teniéndonos que conformar con trabajar en las condiciones que podamos. Cuando llegamos, por ejemplo, a una temperatura de  $3.500^{\circ}$  C., nos parece que ya hemos hecho algo importante y sin embargo esta temperatura, comparada con la que necesitaríamos para trabajar con comodidad es tan baja que casi podemos despreciarla; es, como si necesitaríamos un horno eléctrico para volatilizar el acero y dispusiéramos como única fuente calorífica de un gusano de luz. Para disponer de temperaturas elevadas tenemos que trasladarnos al centro de las estrellas en las que el calor es algo más que sofocante: 40,000.000 de grados, centígrados. A esta conclusión se ha llegado, claro está, mediante el

cálculo y es un cálculo tan irreprochable que por ahora no nos podemos conformar con una temperatura inferior a ella de no ser que supusiéramos el Sol completamente hueco, lo cual es absurdo ya que en estas circunstancias se hundiría reduciéndose su volumen, que éste sí que podemos medirlo con grandes probabilidades de no equivocarnos. Además, esta temperatura no significa sino que las moléculas que constituyen el centro solar se mueven con una determinada velocidad. La física elemental nos enseña la dependencia que existe entre temperatura y velocidad, correspondiendo para ésta un valor de unos 100 km. por segundo. No os asustéis de esta velocidad, que para el astrónomo es corriente y para el físico despreciable ya que está acostumbrado a tratar con átomos que caminan 100 veces más deprisa y con electrones que lo hacen a un paso 2.000 veces mayor, resultándole los 100 km. por segundo, como una tortuga puesta al lado de un tren expreso.

He nombrado al electrón y la rapidez con que se mueve. Antes de pasar adelante quisiera ponerlos al tanto de algunas particularidades suyas, lo que juzgo necesario para que podáis daros cuenta de los fenómenos de que hablaremos dentro de un momento y comenzaré por contaros la historia de su descubrimiento.

El hombre veía saltar el rayo y al construir las primeras máquinas electrostáticas observó que en determinados momentos saltaban chispas eléctricas de naturaleza análoga a la de los relámpagos. Pasó algún tiempo y se propuso estudiar estas chispas con más detenimiento, viendo lo que ocurría al enrarecer la atmósfera en que se verifica la descarga eléctrica, encontrándose con que poniendo los dos conductores en el interior de un tubo, a medida que se va haciendo el vacío, la tensión necesaria para hacer saltar la chispa decrece hasta llegar un momento en que se va haciendo cada vez mayor, y el aspecto de la descarga se modifica progresivamente. Cuando la presión del gas se reduce a una millonésima de atmósfera, deja de verse luminosidad en el interior del tubo, observándose en la pared opuesta al cátodo una viva fluorescencia. Parece como si partieran del cátodo rayos invisibles que al chocar contra la pared del tubo lo calentasen excitando su fluorescencia. Este es el fe-

nómeno de los rayos catódicos. Veamos sus principales propiedades y la interpretación que es preciso darle a los mismos.

**Los rayos catódicos.**—En primer lugar los rayos catódicos salen normalmente a la superficie del cátodo y se propagan en línea recta, pudiendo producir efectos químicos, luminosos, caloríficos y mecánicos. (Impresionan las placas fotográficas, excitan la fosforescencia, calientan los cuerpos sobre que caen, hacen girar un molinete, etc.)

Transportan electricidad negativa, como demostró Perrin, y son desviados por un imán o un campo magnético en la misma forma como lo sería una corriente de electricidad negativa que partiera del cátodo, y por último, dan nacimiento a los rayos Roentgen (o rayos X), al chocar contra cualquier materia sólida.

**El electrón.**—Todas estas propiedades se explican admitiendo que los rayos catódicos están constituidos por partículas de electricidad negativa que se mueven con extraordinaria velocidad. Estas partículas eléctricas están dotadas de una masa ponderable siempre la misma en todas ellas, así como también es igual la carga eléctrica. Ambas cosas se han podido medir y lo mismo la velocidad con que caminan, si bien ésta varía con las circunstancias en que se verifica la descarga.

Estas partículas de electricidad es lo que hemos llamado electrones. Para dáros una idea de la enorme velocidad que llevan os diré que podrían llegar a la Luna en unos 5 segundos, cuando van despacio (30.000 a 60.000 km. por segundo), y es tal su energía cinética que, un milígramo de materia proyectada a esta marcha produciría, al chocar con un obstáculo, el mismo cataclismo que 20 trenes expresos al chocar simultáneamente cuando van lanzados a todo vapor (120 km. por hora).

Sin embargo, se han podido estudiar electrones animados de una velocidad bastante mayor; del orden de 260.000 km. por segundo. Con lo que antecede se comprenderá que la masa tiene que ser forzosamente muy pequeña y en efecto, así es, ya que su valor se estima en  $\frac{1}{1800}$  de la del átomo de hidrógeno, siendo necesarios  $60,6 \times 10^{22}$  de estos átomos para completar el peso de un gramo, resultando para  $m$  un valor  $m = 8,98 \times 10^{-24}$  gr. Esta masa del electrón es de naturaleza *electromagnética*, lo que



quiere decir que la *masa mecánica* es nula, o sea que es una partícula de electricidad negativa con cierta inercia pero sin soporte material.

La carga del electrón es  $e=1,59 \times 10^{-20}$  u. e. m. valor hallado no solo por Millikan sino por otros experimentadores, empleando métodos fundamentalmente diferentes.

Falta una de las constantes del electrón; su diámetro. Esta es del orden de  $10^{-15}$  cm., lo que quiere decir que si pudiéramos colocarlos en fila, uno junto a otro, cabrían en la longitud de 1 mm., nada menos que un billón de electrones, teniendo que aclarar que sabemos muy pocas cosas de su constitución, para que podamos asignarle una forma rígida y definida, queriendo decir únicamente que dentro de una esfera eléctrica de  $10^{-15}$  cm. no hemos podido penetrar, habiendo sido imposible acercarnos más al centro de esta masa, por medios experimentales.

Probablemente el electrón no es más que un punto matemático adimensional, alrededor del cual se crea en el éter un campo de fuerzas que es lo que en realidad lo constituye.

**El protón.**—Pero estas cargas negativas han salido de la materia, en estado primitivamente neutro y por tanto habrá quedado cargada positivamente. No nos importa de dónde han salido los electrones, si del cátodo o del gas encerrado en el tubo. Indudablemente han salido de los dos sitios y son siempre idénticos.

Si la masa del electrón es tan pequeña ( $1/1800$  de la masa del átomo menos pesado) es evidente que la masa, la inercia de la materia, reside en el resto que queda cargado positivamente.

La carga positiva elemental vale eléctricamente lo mismo que la del electrón, pero la masa, como queda dicho, es mucho más considerable. No creáis que su tamaño es también mayor, pues ocurre todo lo contrario. El diámetro del protón resulta ser unas mil veces inferior al del electrón, siendo precisamente en esta partícula de dimensiones tan grandiosamente pequeñas donde reside la *masa* de los cuerpos.

**El átomo.**—La constancia de propiedades de los cuerpos nos induce a la conclusión de que en un mismo elemento están siempre dispuestas las cargas eléctricas de una manera aná-

loga. Veamos cual es esta disposición: Desde el primer momento es preciso admitir que el protón o carga positiva está colocado en el centro del átomo y los electrones colocados a su alrededor y a gran distancia del núcleo atómico, pero no pueden estar distribuidos de una manera estática, ya que bastaría la menor perturbación para destruir la configuración externa del átomo. En estas circunstancias éste no tendría la estabilidad que la experiencia nos demuestra que posee.

La estabilidad de los sistemas planetarios le sugirió a Rutherford la idea de que los electrones estaban dispuestos alrededor del núcleo girando en órbitas análogas a las planetarias, a una velocidad de unos 1.000 billones de revoluciones por segundo, para que en esta forma se pueda equilibrar la atracción electrostática de las cargas de signo contrario con la fuerza centrífuga debida a la rotación.

Un átomo así constituido puede tener un diámetro variable, pues bastará que el electrón gire más o menos de prisa en una órbita más o menos grande para que exista el equilibrio, de la misma forma que el año puede ser más corto o más largo si la Tierra por una causa cualquiera, paso de un cometa por ejemplo, cambiara de pronto el diámetro de su órbita. En este caso, para conocer las propiedades de un cuerpo tendríamos que enterarnos previamente de su historia y vemos que no sucede así, sino que las características permanecen invariables, cualquiera que sea el tratamiento a que hayamos sometido los cuerpos simples.

**Los postulados de Bohr.**—Estas dificultades las resolvió Bohr postulando que:

1.º Los electrones no pueden recorrer órbitas cualesquiera, sino que únicamente son posibles unas pocas, perfectamente determinadas. En estas órbitas el electrón posee una cierta cantidad de energía, suma de la cinética y potencial, y tiene que ser forzosamente un múltiplo de una energía fundamental llamada el cuanto de acción de Planck que vale  $6,547 \cdot 10^{-27}$  erg. • seg. Efectuado un cálculo, en el que no me entretengo, resulta que los radios de los átomos crecen proporcionalmente a los cuadrados de los números enteros, esto es  $r_1 : r_2 : r_3 = 1^2 : 2^2 : 3^2$

Estos radios de los átomos ya constituidos resultan ser del or-

den de  $10^{-8}$  cm. ( $r_1=0,53 \times 10^{-8}$  cm.  $r_2=2,12 \times 10^{-8}$  cm.  $r_3=4,77 \times 10^{-8}$  cm.) lo que quiere decir que en un centímetro lineal caben cien millones de átomos puestos en fila.

Si comparais esta dimensión con la de los protones y electrones, que os dí antes, vereis que el electrón es unas cien mil veces más pequeño que el átomo, y el protón, que es donde reside la masa del átomo, es mil millones de veces menor que el total del átomo más pequeño.

Es difícil que podais daros cuenta, a primera vista, de lo que significan estas cifras y quisiera aclararlo un poco.

Suponed, por un momento, que el átomo empieza a crecer y proporcionalmente a él crece un cabello de 0,1 mm. de diámetro. Cuando el átomo tenga un tamaño igual al grosor del cabello primitivo éste tendrá un diámetro de 100 m. Abandonemos el cabello, y dejemos que el átomo siga aumentando de volumen hasta alcanzar un radio de 100 m. En este momento el electrón tendrá un diámetro aproximado de 1 mm., o sea menos que un perdigón pequeño. Dejémoslo que continúe creciendo hasta adquirir un radio igual al terrestre y cuando esto suceda el electrón se habrá hecho de un volumen semejante al de una catedral, y entonces, el protón, colocado en el centro de este átomo gigantesco, tendrá el tamaño de una naranja, en la cual reside toda la masa del conjunto.

La segunda hipótesis de Bohr es suponer que los electrones, al girar en sus órbitas no pierden energía, como debía ocurrir si obedecieran a las reglas de la teoría electromagnética clásica. Además de todas las órbitas posibles, la más estable es la primera, necesitándose suministrar al átomo una cierta cantidad de energía (excitarlo) para que el electrón pase de una órbita a otra.

La tercera de las hipótesis es consecuencia de los dos postulados anteriores. En ella se calcula la energía que absorbe o emite un electrón al saltar de una órbita a otra. Esta energía que pone en juego el electrón es radiante, o sea que se manifiesta como una radiación calorífica, luminosa, química, roentgeniana, etc., según sea la naturaleza del salto que verifica.

Con estas tres hipótesis ya se puede explicar la constancia en la radiación que emite un átomo al excitarlo. Para conse-

guir esta excitación basta llevar a la incandescencia el vapor de un metal y vereis como cada metal colorea la llama de un modo determinado. Echad al fuego sal común y la llama se coloreará de amarillo intenso. Uno de los electrones contenidos en el sodio, que compone la sal, comienza a saltar de una órbita a otra, y en estos saltos produce siempre una radiación amarilla. Estoy en una región eminentemente agrícola; muchos de vosotros tendreis en casa carnalita o cloruro potásico que lo habreis empleado como abono; pues bien, al arrojarlo sobre una llama, ésta tomará un tinte violáceo, por la misma razón cualitativa que en el caso anterior se tintaba en amarillo. Haced la misma experiencia con litines y la llama tomará color rojo.

Podría continuar citándoos casos análogos pero prefiero seguir por otro camino. La luz emitida por un cuerpo rara vez es monocromática, esto es, se compone de luces de diferentes colores, o sea de radiaciones de diferente longitud de onda, radiaciones que se pueden separar y analizar con un espectroscopio, obteniendo en esta forma los espectros característicos de los cuerpos.

Es natural que al llegar a la conclusión de que cada vapor incandescente emite un espectro característico, se haya pretendido analizar la luz que nos envían los astros, con el fin de identificar su composición y así, enfocando los espectroscopios en lugar de a un mísero arco eléctrico a las estrellas, nos encontremos con la agradable sorpresa de que sus componentes existen todos en nuestro planeta. La inversa no es cierta ya que existen mundos en los cuales no se pueden percibir más que muy pocos cuerpos simples, pero precisamente estos mundos primitivos, de una constitución tan elemental, estrellas muy brillantes hoy y en un futuro lejano planetas más fríos que el nuestro, es donde podemos estudiar cómodamente las propiedades del átomo. (Claro que solo por el hecho de no recibir de un astro el espectro de un cuerpo determinado, no podemos inferir que no exista en él).

El espectro de hidrógeno en Sirio nos dice que su corona está en condiciones favorables para que este espectro se produzca, o sea a unos 10.000° C.

Un espectro detallado del hidrógeno es cuando pueden

existir electrones corticales en el piso 30 para lo cual es necesario que el átomo de este elemento se encuentre excitado en tal forma que su radio llegue a ser una centésima de milímetro y se pueda mover con comodidad en este tamaño, tan exorbitantemente grande comparado con su diámetro normal. Para ello es necesario en primer lugar producir un vacío elevadísimo, y os diré que en el espacio de un tubo de rayos X a la presión ordinaria caben, aproximadamente, átomos cuyo número viene dado por un número de unas veinte cifras. El vacío más energético equivale a quitar cinco o seis ceros a este número de átomos y suprimirle uno o dos ceros mas parece casi humanamente imposible, y siendo necesario para nuestras observaciones que ese número de 20 cifras se quede reducido a cinco o seis cifras, comprenderéis que haya que desistir, por ahora, de intentar este enrarecimiento. Aunque lo consiguiéramos, con tan poco peso de materia como nos quedaría dentro del tubo, no había que esperar una intensidad luminosa suficiente para poder efectuar una observación y además se nos presenta la dificultad de calentarlo a 10.000 grados. Por estas razones es por lo que hay que ir a los astros a buscar el espectro de los átomos extraordinariamente excitados. En esta forma podemos conseguir todo el enrarecimiento que queramos, para lo cual bastará elegir uno a propósito o una parte de su atmósfera, la de Sirio por ejemplo, en donde además tenemos materia de experimentación abundante y temperatura que difícilmente conseguiríamos en el laboratorio.

**Descubrimiento de Balmer.**—Anteriormente a las teorías sobre el átomo, expuestas hasta aquí, existió un maestro, de una escuela elemental en Suiza, Balmer, que se dedicó a contemplar el espectro emitido por el hidrógeno y estudiarlo. Se veían en él una serie de rayas de las cuales no se sabía sacar gran partido ya que se desconocía, en absoluto, con arreglo a qué ley estaban distribuidas y ya es sabido que en el campo de las ciencias experimentales los hechos observados no pasan de ser curiosidades, sin valor científico, mientras se desconozca la causa de los mismos y la ley a que obedecen. Es preciso, en todo momento, medir los fenómenos para, una vez conocidos cualitativamente, determinar con precisión a qué leyes obede-

cen, cuál es la causa capaz de producirlos y con qué otros hechos pueden tener relación. La ciencia tiende a generalizar sintetizando, a reunir teorías y una de éstas tiene tanto más valor cuanto más fenómenos explica y hechos es capaz de prever. Dice Langevin (1) que «una tendencia profunda, a través de esta vida intensa, nos arrastra hacia una síntesis grandiosa». El genio, el talento, es profundamente universalista. No se detiene ante límites de espacio ni de tiempo; las fronteras no existen para él o tiende a borrarlas; la historia la crea él, incorporándose a la misma. Sólo los espíritus mezquinos son profundamente localistas, en el espacio y en el tiempo.

Balmer llegó a encontrar, de una manera empírica, la relación que liga la distribución de las líneas espectrales (2) y en la fórmula a que llegó entra una constante que por entonces no tenía significado. Había que buscar, de un modo teórico, la relación que permitiera calcular esta constante para el caso del hidrógeno y para todos los demás. Al establecerse la teoría atómica, sirvió de base la fórmula obtenida por Balmer, y por deducciones puramente teóricas se llegó a poder calcular la constante de dicha fórmula, encontrándose con que ambas coincidían con una exactitud astronómica. La teoría confirmaba el hecho anteriormente medido. Faltaba saber si era capaz de prever otros hechos, cosa que se verificaba ya que se podía aplicar a los espectros de los demás cuerpos. Y no solo esto, sino que con esta teoría se pudo predecir el hallazgo de nuevas rayas espectrales que los experimentadores no habían visto y se dedicaron a buscar encontrándolas en el sitio preciso en que debían aparecer.

Los progresos en la atomística fueron rápidos, pero no creáis que tan sencillos como a primera vista parece, ya que una discordancia pequeñísima entre las longitudes de onda calculadas y observadas, en una sola línea entre miles de las existentes, era suficiente para destruir la teoría. Esta discordancia fué

---

(1) Langevin.—Prefacio a *Où en est la Physique*, de Courtines.

(2) Esta relación es  $v=3,2905307 \times 10^{15} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{p^2} \right)$ , siendo  $p$  un número entero mayor que cuatro.

observada con frecuencia y en cada caso era preciso hacer una pequeña modificación en el cálculo o en los aparatos de medida, corregir un detalle. Con esto, la primitiva teoría lejos de fracasar se completaba, y subsistía perfeccionándose.

**El núcleo de las estrellas.**—Vivimos en un planeta muy frío en el cual la materia tiene propiedades demasiado complicadas para poder estudiarlas cómodamente. Los átomos y las moléculas están siempre tan cerca unos de otros que constantemente chocan entre sí en tal forma que en el momento que conseguimos obtener un átomo en condiciones de trabajo, tropieza con su vecino y se nos modifica. Estos choques se verifican muchas veces por segundo no siendo posible seguirle la pista a un elemento material. Además se mueven muy despacio y los núcleos positivos están rodeados de una serie de pisos eléctricos, están envueltos en tantas capas que nos es muy difícil despojarlos de ellas para llegar al interior, no siéndonos dado ni aun dejarlos en un cómodo *deshabillé* que nos permita contemplarlos a nuestro sabor.

Emprendamos un viaje, en un rayo de luz, a la Nube Menor de Magallanes (60.000 años de luz), o si os parece cerca y tenéis ganas de viajar, nos podemos ir a la nebulosa Andrómeda a 870.000 años de luz, o quedémonos en el Sol. Allí las condiciones de trabajo son ideales. Las temperaturas que reinan son del orden de decenas de millones de grados, lo que quiere decir que los átomos van disparados a velocidades de cientos de kilómetros por segundo. En las nebulosas el enrarecimiento es tan grande que un átomo puede estar viajando horas y días para que pueda saludar a un colega, y la cantidad de materia disponible puede ser muy superior a la que constituye todo el sistema planetario.

Betelgeuse, por ejemplo, tiene una masa que es unas 35 veces la masa del Sol y el tamaño es considerablemente mayor; aproximadamente el radio es de 480 millones de kilómetros, lo que quiere decir que dentro de ella podría estar instalada con olgura la órbita terrestre. Con estas dimensiones comprenderéis que su densidad tiene que ser forzosamente muy pequeña; aproximadamente una milésima de la densidad del aire. Su

temperatura externa es baja, 3.000° C., pero en su interior debe ser mucho más elevada.

En el interior del astro existen, pues, átomos libres en primer lugar y además una gran cantidad de electrones. Los choques entre unos y otros son incesantes y en este continuo bombardeo ocurre exactamente lo mismo que ocurría al bombardear la pared de un tubo de Crookes con una corriente electrónica; se origina una radiación y aparece un flujo de rayos X.

Según esto podemos comparar el interior de una estrella al interior de un tubo de rayos Roentgen, ya que en los dos existen las mismas cosas, con una pequeña diferencia. El enrarecimiento de un astro brillante es, en general, muy superior al que podemos obtener en el laboratorio. La naturaleza de los rayos X producidos es la misma y se ha originado en igual forma solo que la intensidad de ellos en el astro es enormemente mayor.

Claro que además de los rayos X se produce toda la serie de radiaciones electromagnéticas, desde las ondas hertzianas, de poca energía, que apenas salen del astro, hasta las cósmicas, ultrapenetrantes, capaces de atravesar, después del recorrido desde el Sol, no sólo la atmósfera, sino incluso una buena parte de la corteza terrestre, radiación en que tan rica es la estratosfera y tantos desvelos está ocasionando a los investigadores, así como radiaciones caloríficas, tan necesarias para nuestra vida, y luminosas, que no son más que una pequeñísima parte de todas las existentes, ya que no constituyen más que una octava del total.

**El átomo excitado.**—Con esta baraunda de radiaciones y electrones, que constantemente chocan con un átomo, me sospecho que su vida no debe ser paradisíaca precisamente y en efecto, sufre una profunda crisis, se halla en un estado de excitación extraordinario. Basta preguntárselo al encontrarnos con él e inmediatamente contesta: Es correctísimo. ¿Qué cómo se hace esta pregunta? Pues sencillamente, enfocando un espectroscopio al astro en que queremos saber qué tal les va a estas pequeñísimas partículas e inmediatamente nos aparecen dibujadas unas rayas que son el mensaje cifrado en que nos envían



su contestación, mensaje relativamente fácil de interpretar ya que conocemos la clave, si nó en su totalidad poco menos.

Anteriormente dije que si un átomo creciera hasta tener un diámetro de 100 metros veríamos que no constaba mas que de un electrón de 1 milímetro de diámetro rodando alrededor del núcleo, unas 10.000 veces más pequeño y el resto estaría completamente vacío. Esto es en el caso del átomo más sencillo, el del gas hidrógeno. Si contemplamos el átomo de oxígeno veríamos un núcleo en el centro algo mayor que el anterior y girando a su alrededor 8 electrones, dos de ellos en una órbita del mismo radio, aproximadamente, que en el caso anterior, esto es, de 100 m. y los 6 restantes en órbitas de 400 m. de diámetro. (1)

A primera vista nos parecería un sistema Solar en miniatura en el que 8 planetas giran alrededor del Sol, pero esto es un átomo en reposo, ya que cuando se excita, por el hecho de que sufra el choque con una radiación de otro átomo, puede ocurrir que uno de los electrones salga disparado al exterior, en cuyo caso el átomo queda transformado en un ión, con tendencia a capturar un nuevo electrón que pase por su proximidad.

El caso es análogo al que se presentaría si un día, por pasar cerca de nuestro planeta una serie de cometas, o iluminarse demasiado por llegar todo el sistema solar a la proximidad demasiado grande de una constelación, la Tierra no se encontrara ya tan a gusto, como parece que está dando vueltas alrededor del Sol y saliera disparada a buscar sitios donde tuviera mejor acomodo. El hecho es posible y el ejemplo lo tenemos bien cerca; la Luna no perteneció primitivamente al sistema Solar; vino danzando, quién sabe de dónde, pasó por cerca de la Tierra, le debió agradar nuestra vecindad y ahí la tenéis haciéndonos la corte, pero, todavía parece que no se ha estabilizado en su nuevo domicilio, dá muchos tumbos y cabezadas y no tendría nada de particular que el día menos pensado por una causa cualquiera se nos incomodara y se fuera en busca de lugares de mayor sosiego.

Ahora un consejo: No os alarméis por la posibilidad de

---

(1) Por el carácter de este trabajo no quiero precisar las cualidades de estas órbitas con sus cuantos radiales y acimutales, etc.

este hecho, ya que también es posible en todo momento que ocurra un cataclismo y se nos tragase a todos la tierra antes de diez minutos, y sin embargo, como es tan poco probable, podemos vivir muy tranquilos en la casi seguridad de que nada de esto ocurrirá. Pues bien, mucho menos probable es que la Tierra o la Luna salgan danzando en carrera desenfrenada.

En el átomo, como es muy pequeño, necesitamos gastar menos energía para mover un electrón de su órbita y separarlo, pero con esto no se queda tranquilo sino que se mueve, por efecto de la temperatura reinante, a una velocidad de unos 150 km. por segundo, en busca de otro electrón que sustituya al que se ha escapado y sucede que al fin se encuentra con una carga negativa que camina sola por su cuenta a una velocidad 100 o 200 veces superior a la del átomo; al encontrarse en presencia del átomo, nota la falta que está haciendo allá adentro y se zambulle de golpe, gira una porción de veces alrededor del núcleo y recorre todos o parte de los pisos como quien busca habitación donde colocarse. Este recorrido lo hace a saltos, lleva prisa, no tiene tiempo de detenerse en ninguna parte y puede ocurrir que al entrar en el átomo se vaya directamente al piso inferior, o se quede en el más externo y luego caiga al otro y así sucesivamente. Puede hacer, en fin, una gran serie de combinaciones, pero siempre en cada salto emite una radiación que es el mensaje que nos envía y nosotros lo recibimos en el espectroscopio en forma de una línea. Cada una de estas líneas equivale a una tarjeta de visita en la que nos anuncia cuál ha sido su último domicilio y adónde se ha mudado.

No debe necesitar, para su vida, mucho mobiliario, dada la rapidez con que se cambia de casa. Cómodamente puede hacerlo unos diez millones de veces por segundo.

Al instalarse el electrón ¿qué ha hecho? El, inocentemente, nos ha enviado una tarjeta en forma de una radiación luminosa o de rayos X y ya os he dicho que la presencia de estos rayos no la puede soportar el átomo con tranquilidad e inmediatamente, o este mismo electrón u otro, es expulsado y tiene que comenzar de nuevo a vivir por cuenta propia hasta encontrar otros sitios donde alojarse.

Como se comprende, esto es una zarabanda inconcebible, de todo lo cual lo único que llega a nosotros, y es estable, es una cantidad de tarjetas, o sea radiaciones, enorme y naturalmente dentro de un astro brillante la cantidad de radiación existente es extraordinariamente grande. Solo unas pocas, privilegiadas por la fortuna, consiguen escapar, no sin haber sido antes absorbidas y emitidas, incesantemente, durante periodos de miles y millones de años, siempre pugnando por salir hacia otros mundos.

**Presión de luz.**—En esta lucha constante se origina una presión dirigida al exterior que tiende a dilatar la estrella, en forma análoga a como un viento huracanado, hincha las velas de un navío, encontrándonos así, con una fuerza contraria a la gravitación universal que tiende a contraerla. Estas dos fuerzas, necesariamente se equilibran existiendo para cada cantidad de radiación una masa determinada o masa crítica, de la que es muy difícil pasar, ya que el mismo movimiento de rotación del astro, unido a la nueva presión de radiación, originada por la misma materia, tenderían a expulsar una parte de ésta, para que el equilibrio subsistiese, dividiéndose el astro en trozos mas pequeños.

No se crea que esta presión de radiación es una elucubración puramente teórica para explicar algunos fenómenos. Es real e intensísima, cuando la intensidad radiante es grande, pudiendo llegar un rayo de luz a mover los objetos. Claro que no se trata, aquí, de objetos materiales como los que estamos acostumbrados a manejar ordinariamente, pero sí de elementos que nos son relativamente familiares. Ya he dicho que al caer un haz luminoso sobre un átomo, puede empujar a uno o varios electrones y éstos salir al exterior. Otro caso se puede citar: Se han visto siempre pintados los cometas con una cabellera que tiene una cierta curvatura; esta cola se dirige siempre en sentido opuesto al Sol, cuando parece lo natural que se atrajeran en virtud de la ley de gravitación universal, explicándose esta contradicción por la enorme presión que ejerce la radiación solar sobre la ténue materia de que está constituida dicha cola.

**La edad de las estrellas.**—Las estrellas emiten, de un modo

continuo radiaciones luminosas, caloríficas, etc., y surge un problema. ¿Hasta cuándo, un astro determinado, estará perdiendo energía? o mejor aún: ¿Cuánto tiempo hace que la está radiando?

Esto equivale a preguntarle por su edad y ya no nos contesta con aquella facilidad y precisión que lo hacía el átomo al interrogarle por su estado. Se muestra reservado en su soberbia grandiosidad y tenemos que dedicarnos a indagarlo por nuestra cuenta.

En una estrella, la materia está en estado gaseoso y se sabe que cuando a un gas se le comprime sufre un calentamiento. Por otra parte, es un hecho conocido que los astros disminuyen paulatinamente de tamaño, y cabe la pregunta de si a esta contracción es debido el calor y la energía que constantemente envían.

**La contracción.**—Veamos lo que nos contestan los datos numéricos: El Sol posee una masa de  $2 \times 10^{32}$  toneladas y la cantidad de energía que envía por año viene a ser de 60 millones de ergios por cada gramo de masa.

Con la hipótesis de la contracción el Sol puede estar haciendo este derroche de energía desde hace 20.000.000 de años, cifra que al principio pareció aceptable, y las edades de todos los planetas se acomodaron a esta cifra que pronto comenzó a ponerse en duda, ya que en las estrellas muy luminosas, esto es, aquellas en que la intensidad de radiación es grande, su edad no sería más que de unos 100.000 años. Este hecho ya comenzaba a ser un poco molesto puesto que resulta que dichas estrellas desaparecerían antes de que su luz llegase a nosotros, pero si no había manera de demostrar otra cosa, nos teníamos que conformar con las cifras aducidas. Afortunadamente existe un método que nos permite ver que pecan por bajas.

Tenemos las estrellas Cefeidas que periódicamente se contraen y dilatan disminuyendo también su brillo alternativamente. Este período de pulsación es perfectamente medible y si la radiación que emiten fuera debido a la contracción, su período, por efecto de la gran pérdida de energía que sufren, debía disminuir unos 17 segundos cada año, mientras que el

dato que suministra la observación corresponde a una disminución en el período de menos de 0,1 segundos.

**Las transformaciones radioactivas.**—La edad antes asignada para el Sol, equivale a decir que durante su vida lleva radiadas 28,8 millones de calorías por cada gramo de su masa, y ahora nos encontramos con que esta cifra es todavía insuficiente, pues, además de la observación antes citada de las estrellas pulsantes, hay un hecho terrestre que está en contradicción, y es el simple análisis de ciertos minerales de uranio. Este elemento tiene la cualidad de descomponerse espontáneamente dando, como producto final de su desintegración, plomo, sin que se haya conseguido, hasta ahora, por medios experimentales, ni detener ni acelerar el fenómeno, teniéndonos que conformar con ser meros espectadores de como se verifica y contemplar como un trozo de uranio se nos va convirtiendo en plomo. Pero esta contemplación no es pasiva, ya que podemos medir la velocidad de transformación y de paso diré que no debemos alarmarnos ante la perspectiva de quedarnos pronto sin este mineral, ya que para que la mitad de su peso se transforme en el elemento siguiente, el torio, se requieren 4.670 millones de años y este torio se va transformando en otros cuerpos y así sucesivamente hasta llegar al plomo, extendiendo todavía períodos, para alguno de estos pasos, de millones de años. La destrucción se verifica con calma.

Si en un mineral se conoce la cantidad de uranio que existe, así como la de plomo procedente del mismo, y la velocidad con que se pasa del uno al otro, podremos determinar cuánto tiempo hace que el primero comenzó a descomponerse y así resulta que la edad del uranio sobre la tierra es de algo más de 1.000 millones de años.

Estos mil millones de años es el tiempo que hace que se depositaron las rocas, luego la edad de nuestro sistema planetario la tenemos que suponer muy superior y no podremos rebajar mucho de los 10.000 millones de años como edad del Sol.

He citado el caso de la metamorfosis del uranio en plomo y no he dicho que en esta transformación cada gramo de uranio emite en el transcurso de toda su larga vida 5.000.000.000 de

calorías por gramo, siendo ésta una cantidad de energía suficiente para mantener la incandescencia del Sol durante su existencia, o cuando menos, si nó suficiente, es del orden de la necesaria y podría pensarse que ya dimos con la fuente de calor que le permite ser tan espléndido para con nosotros, pero desgraciadamente no podemos presentar ninguna prueba que acredite que, al menos en la fotosfera, existe uranio, y nos vemos precisados a buscar otra hipótesis.

**La densidad de las estrellas.**—En la hipótesis de la contracción, hemos supuesto, al hablar del calentamiento de un gas, cuando se comprime, que eran aplicables las leyes de los gases perfectos, pero éstas lo son tan solo cuando se trata de gases a un estado de presión semejante al de la atmósfera en que estamos sumergidos, o para presiones más pequeñas, esto es, para densidades del orden de la milésima, y nos encontramos con que la densidad media del Sol es superior a la del agua y en su centro será superior a la de los cuerpos sólidos más pesados que conocemos, y si pretendemos apurar el análisis y nos vamos a Krueger 60, veremos que la densidad es mayor que la del hierro, y podríamos interpretar estos datos suponiendo que el interior es una masa mucho más sólida y compacta que cualquiera de las que conocemos.

¿Quiere esto decir que debemos prescindir de las leyes de los gases al hablar del interior de los astros?

Antes de contestar a esta pregunta hagamos otra. ¿Qué quiere decir estado gaseoso? Estado gaseoso no quiere decir, sino que las partículas discretas que constituyen el gas ocupan un volumen mucho menor que los espacios libres que dejan entre ellas.

¿Cuáles son las partículas discretas que constituyen el centro de un astro? Ya he dicho al principio que es preciso admitir para la temperatura, en el centro del Sol, un valor de 40 millones de grados, si se quiere que conserve su volumen y esplendor, y a este grado de calentamiento los átomos han perdido toda su corte de electrones no quedando más que los núcleos con individualidad propia, y solo muy pocos, de estos, pueden retener uno o dos electrones en su órbita mas interna y mucho menos todavía pueden soportar alguno en el segundo piso, de

donde resulta que el diámetro de las partículas se reduce, desde el correspondiente al piso 30, hasta el del piso 1 que es 900 veces menor, pero esto en un pequeño número ya que en la mayor parte, como digo, están los núcleos completamente desnudos y así nos encontramos con que los pobladores del astro, en lugar de ser átomos, de un diámetro de la cien millonésima de centímetro, lo son electrones libres, que son cien mil veces más pequeños y gran número de núcleos positivos cuyo diámetro es varios millones, y aun billones de veces inferior al del átomo, y como el límite de comprensibilidad de un gas está dado por la condición de que las partículas que lo constituyen lleguen casi a tocarse, y estamos en unas circunstancias en las cuales podemos comprimir hasta llegar a densidades correspondientes a cien billones de veces la del agua, en condiciones físicas tales, que todavía se pueden aplicar las leyes de los gases. Después de esto se comprenderá que sería ridículo sentir escrúpulos en aplicar las clásicas leyes de comprensibilidad cuando no tenemos densidades mas que del orden de las que manejamos en nuestro planeta, si bien la presión reinante en las regiones centrales del Sol es 1.330 millones de veces superior a la que existe en la superficie terrestre, por acción de la atmósfera. Como dice Eddington, habíamos calculado la sala de baile sin acordarnos que ya no se lleva el miriñaque y ahora nos la encontramos vacía. Para dar una idea de lo que significan estas densidades, diré que si pudiéramos llenar un dedal, hasta su mitad tan solo, de núcleos atómicos, en la misma forma que lo llenamos de perdigones, haría falta engancharle unas sesenta locomotoras, para arrastrarlo con la velocidad de un mercancías.

**La energía subatómica.**—En estas condiciones de presión, temperatura y enrarecimiento, no es extraño que las cosas sucedan de modo bastante distinto a como ocurren en la Tierra, en la que—al frío glacial existente, en comparación con el calor estelar,—ya es posible arrancar, al átomo, por calentamiento, algunos electrones, para transformarlo en un ión.

En condiciones astronómicas no solo es realizable el ionizarlo sino, también despojarlo de toda su corteza y aún pasar más adelante llegando a romper el núcleo de los átomos más

pesados en forma análoga a como hemos visto que se desintegra el uranio, transformándose en un gas,—el helio,—y plomo, transmutación de los elementos que, si nó con éstos, es posible realizarla hoy en el laboratorio, consiguiendo el sueño de los alquimistas; pero esta transformación no basta a explicar satisfactoriamente de donde sale el calor radiado por los astros.

Vayamos al procedimiento inverso de transmutación, o sea, a la síntesis, en lugar de la descomposición.

El átomo más sencillo, el de hidrógeno, está compuesto de un protón y un electrón y se le asigna un peso de 1,008 aproximadamente.

El elemento siguiente es el helio, compuesto de cuatro protones y otros cuatro electrones, dos de estos formando parte del núcleo, y parece natural que su peso había de ser exactamente el cuádruplo. Pues bien: en lugar de ser 4,032 es tan sólo 4, luego ha habido una pérdida de masa de 0,032 gramos por cada átomo gramo de helio formado.

**La energía, pesa.**—Nótese bien que digo que se ha perdido masa y no materia, ya que ésta permanece íntegra. Subsisten los cuatro protones y otros tantos electrones y lo que ha sucedido es, sencillamente, que al disponerse de manera distinta y pasar dos de estos últimos a formar parte del núcleo, las condiciones mecánicas han variado y una parte de la masa se nos ha escapado. ¿Qué ha sido de ella? Se ha transformado en energía, lo que equivale a decir que la energía es masa, esto es, pesa.

Esta conclusión tal vez asombre un poco, a algunos, pero por hoy hay que tomarla como cierta y al pié de la letra, aunque el peso de la energía como se comprenderá es pequeñísimo, pero no por eso deja de ser real. La prueba de su peso está en que la luz es capaz de ser atraída por un campo gravitatorio intenso, como se observa al contemplar, durante los eclipses, las desviaciones aparentes que sufren las estrellas, cuya luz pasa muy próxima al Sol antes de llegar a nuestros aparatos, y es atraída por él.

Podemos pasar de masa a energía, con la misma facilidad que se hace en Física el paso de calor a trabajo, bastando



para ello multiplicar por un factor que en este caso es igual al cuadrado de la velocidad de la luz, expresando esta velocidad (300.000 km. por segundo) en centímetros. Resulta, en esta forma, que si consiguiéramos, por medios experimentales, destruir un gramo de materia—o sea un centímetro cúbico de agua—y transformarlo en energía, la cantidad que obtendríamos de ésta sería suficiente para mantener funcionando, durante un año, un motor de 200 caballos o inversamente, para destruir 1 gr. de materia, sería preciso todo este esfuerzo.

Como consecuencia de ésto, si la luz se pudiera conservar en una caja, forrada de espejos para evitar que se escapara, y luego irla sacando a medida que las necesidades lo exigieran, podría comprarse a peso pero probablemente el precio que pedirían por un kilogramo desnivelaría nuestro presupuesto ya que, evaluada al mismo precio a que se suele vender la energía eléctrica, saldría por unos diez mil millones de pesetas.

**Evolución del Sol.**—El Sol pesa 2.000 cuatrillones de toneladas y anualmente pierde 120 billones de toneladas, cifra insignificante comparada con su peso. Esta pérdida de masa lo mismo se puede realizar en forma de energía, siendo evidente que en el transcurso de su vida no podrá perder más masa de la que tiene y si toda la energía que libera procede de la aniquilación de la materia, un sencillo cálculo hará ver que aún puede estar luciendo durante diez trillones de años, cifra que desde luego parece exagerada. Además, no sabemos si es posible llegar a la aniquilación total de materia, o sea si al encontrarse un protón con un electrón, en el interior del astro y en circunstancias determinadas, pueden anularse ambos, y no quedar de ellos, mas que una radiación flotando en el espacio.

La simple transformación de los elementos, el paso del estado de protones y electrones libres, al estado de átomos más pesados, con la consiguiente pérdida de masa, (pero sin destrucción de materia) ya nos suministra una fuente de energía suficiente para mantener el Sol encendido durante más de diez mil millones de años, plazo que ya es prudencial, y con seguridad no debemos pasar de unos cinco billones de años para la edad del Sol.

Queda por dilucidar la cuestión de si la pérdida de masa se realiza por átomos libres o esos 120 billones de toneladas los pierde simplemente por radiación.

Es evidente que, la pérdida de masa se realiza por los dos procedimientos a la vez, pero la cantidad de peso que pierde por el primero de ellos es insignificante, ya que para que la pérdida de átomos fuera apreciable se necesitaría que en cada segundo salieran del Sol un billón de ellos por cada centímetro cuadrado de su superficie, cosa improbable, ya que no se observa un flujo tan grande hacia el exterior.

En tiempos pretéritos el Sol era una estrella de dimensiones mucho más considerables, cuya temperatura exterior en lugar de los 6.000 grados actuales sería de unos 12.000, pero aun en estas estrellas gigantes que hoy vemos, se observa la presencia de elementos bastante pesados, como el potasio y wolframio, lo que ya indica un estado bastante avanzado de condensación de la materia, y por tanto de su evolución desde que existen como astros, de no ser que estén construídas sobre las ruínas de una creación anterior.

Partiendo de su estado actual, cuando el Sol haya perdido tres cuartas partes de su masa, nos lo encontraremos transformado en una estrella cuyo brillo será una centésima del que actualmente tiene y su temperatura, en la superficie, se habrá quedado reducida a la mitad y sin duda alguna su evolución será mucho más lenta, pudiendo continuar su vida como astro durante mucho más tiempo hasta llegar a transformarse en un cuerpo frío, en cuyo momento dejará de funcionar como estrella.

---

He procurado presentar, en rápida síntesis, la evolución paralela que siguen los dos elementos, quizá más asombrosos que puedan estudiar las ciencias experimentales, y en cuya vida nos es muy difícil intervenir, pero queda planteado el eterno problema de su primitivo origen y de cómo comenzaron a agruparse.

En un porvenir próximo habrán cambiado las teorías, las

ideas también habrán evolucionado pero no por esto dejarán de tener valor los trabajos realizados. Serán pasos dados en firme que nos habrán conducido a un futuro quizá más perfecto, pero la pregunta fundamental subsistirá siempre.

Los creyentes en una religión la contestarán invariablemente en la misma forma: Dios. Los incrédulos dirán: Acaso.

Lo que sí tenemos que reconocer es, según frase de Newton que «hoy como ayer, somos niños que jugamos en la playa mientras el Océano de la verdad se extiende inexplorado ante nosotros, y el fondo de la Naturaleza se desvanece siempre».

Lo único que nos cabe es seguir trabajando.



# PUBLICACIONES DE ESTE CENTRO

## VOLUMEN I

- Fascículo I. El Infinito numérico lineal, por **José Sanz de Bremond**.
- » II. La obra de Pasteur, por **Manuel Such**.
- » III. La variabilidad de las formas orgánicas a través de las edades geológicas, por **Vicente Martínez Gámez**.
- » IV. La llamada «Preceptiva Literaria» y su enseñanza en España, por **Joaquín de Entrambasaguas y Peña**.
- » V. Nuestro amigo el árbol, por **Francisco Sánchez Faba**.

## VOLUMEN II

Algo sobre clasificaciones lingüísticas, por **Francisco Almenar Suay**.

Del átomo a las estrellas, por **José M. Gallart Sanz**.

Psicología y Moral de Luis Vives, por **José María Conillera y Caballé**. (En preparación)

Los enemigos de los insectos fitófagos, por **Francisco Sánchez Faba**. (En preparación)

**Pedidos al INSTITUTO DE CASTELLÓN DE LA PLANA (ESPAÑA)**

