

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN

POR EL

EXCMO. SR. D. WENCESLAO BENITEZ INGLOTT

y

CONTESTACIÓN

DEL

EXCMO. SR. D. JOSE MARIA TORROJA MIRET

EL DÍA 5 DE MAYO DE 1943



DOMICILIO DE LA CORPORACIÓN:

VALVERDE, 22, MADRID

Teléfono 12529

1943

DISCURSO

DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

D. WENCESLAO BENITEZ INGLOTT

SEÑORES ACADÉMICOS:

AL levantarme por vez primera aquí, donde tantos nombres ilustres distingo, alcanzo en toda su magnitud el honor que se me ha dispensado señalándoseme un puesto en este glorioso hogar de la Ciencia Nacional. No creo que en mi oscura vida, nada haya merecido galardón tan desproporcionado, como no sea la fidelidad con que la he consagrado al cumplimiento del deber y a las tareas de un estudio que, a pesar de mis años, no puedo vanagloriarme de haber terminado. Pesa sobre mi pobre persona la gratitud a la Real Academia, a cuya benevolencia sólo puedo responder con la promesa de conservar como un tesoro inapreciable el título que me otorga y que considero como algo que realmente me hace superior a mí mismo.

Descubro aún otro motivo más alto en la designación de que se me ha hecho objeto. Pienso, con la seguridad de no equivocarme, que la Real Academia ha querido honrar a la Marina Española, llamándola a formar parte de su Cuerpo. Permitidme, pues, creyendo reflejado en mí, y simplemente por azar, el honor que la Real Academia ha deseado otorgar a la Marina, manifieste en nombre de la Armada, a la que sin pecar de temerario creo poder representar en este solemne acto, el más respetuoso reconocimiento.

No es esta, ciertamente, la primera vez que la Marina paga su tributo de ciencia a la Real Academia. Perdurable memoria han dejado en ella marinos insignes, de los cuales me corresponde así ser sucesor, aunque indigno. Los Brigadieres de la

Armada D. Francisco Chacón y Orts, D. José Sánchez Cerquero y D. Francisco Paula Márquez y Roco, estos dos últimos mis ilustres antecesores en la Dirección del Observatorio de Marina; el Capitán de Navío D. Salvador Moreno y Miranda, y en fin, los Generales de Ingenieros de la Armada D. Hilario Nava y Caveda y D. Gustavo Fernández Rodríguez; todos figuraron con méritos indiscutibles en el número de los Académicos, y el elogio que de ellos se hiciera hoy nada podría añadir al respeto y al agradecimiento con que se guarda justamente su memoria. Yo me pongo bajo la protección de ese recuerdo, que invoco, pidiendo al espíritu de tan altos nombres me sirva de guía, siempre para mayor honor de la Marina en la obra que en medio de vosotros me resta cumplir.

Tócame evocar en este acto la ilustre memoria de la eminente personalidad que me ha precedido en la ocupación de este sillón; el sabio catedrático D. Luis Octavio de Toledo y Zulueta que en 18 de Febrero de 1934 rindió su tributo a la Muerte, dejando en la Real Academia un vacío que en vano se pretende reponer. Nacido en 1857, su vocación al cultivo de las Ciencias Exactas, prontamente manifestada y decidida, fué guía cierto y eficaz de sus destinos. En 1882, ya doctorado en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, obtuvo su primera cátedra, comenzando su formidable labor pedagógica, que, en el Instituto de León, y en las Universidades de Sevilla, Zaragoza y Madrid habría de prolongarse por más de 40 años, con una robusta fecundidad de que son vivo testimonio las numerosas personalidades que hoy enaltecen la Ciencia Matemática Española en cuyos difíciles caminos supo iniciarlos y conducirlos Octavio de Toledo con maestría insuperable, allanándoselos, tanto con su extenso y profundo saber, como con la claridad de exposición que esmaltaban singularmente su cortesía y su bondad.

Su prestigio firmemente cimentado en el ejercicio de sus cá-

tedras, fué reafirmado con la publicación de obras meritísimas, entre las que me limito a citar la Teoría de las Formas, los Tratados de Álgebra y Trigonometría, los magníficos Elementos de Aritmética Universal y los Estudios de Análisis Matemáticos.

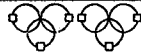
Fundador y propulsor decidido de la Sociedad Matemática Española, en su Revista ha quedado patente prueba de sus altos merecimientos.

La Real Academia le abrió sus puertas en 1914. De su labor académica queda hecho el mayor elogio al decir que fué digna de su alto renombre y prestigio.

No faltó al hombre sabio y bueno la aureola que el dolor, cuando es digna y serenamente sobrellevado, pone en aquellos que la mano de Dios ha tocado. Dolorísimas pérdidas familiares pusieron a prueba su fortaleza que, al fin, se rindió a la muerte cargada de años y servicios, en medio del general sentimiento.

La sucesión a figura tan eminente, pesa gravemente sobre mis débiles hombros. Pido a Dios me ilumine y me guíe para no hacerme del todo indigno de ella.

Recibid, Sres. Académicos, la salutación del recién llegado a quien sobrecoge la legítima emoción del instante. Con vuestra venia, cumplida la cortesía para con los presentes y consagrado el recuerdo para los que fueron, me decido a entrar en el tema de carácter científico que por precepto de los Estatutos debo desarrollar, no sin encomendarme a vuestra benévola y paciente atención.



El Universo Sideral

Cuando en la primera mocedad del Mundo llegaron los pueblos a la Mar, la noche cerrábales el camino de enlace entre las tierras. Hasta entonces, ante la amplitud del Firmamento cubierto con la esplendidez de las constelaciones, no acertaba el hombre a cosa que no fuera la sobrecogida admiración de la belleza sideral. Pero el cielo libró pronto su secreto y el navegante, tomando las estrellas como punto de referencia, supo dirigir sus pasos sobre las aguas, cobrando así el espacio estrellado la decisiva importancia de lo eterno como guía y destino. Los astros presidían desde la altura la enérgica aventura de los marinos; las proas comienzan a abrir caminos desconocidos, y con el descubrimiento de nuevas tierras se reúne a los hombres hijos de Dios. Cada vez más fuerte va haciéndose el hombre que avisora en cada amanecer costas hasta entonces desconocidas e insospechadas; pero en todas las naves, mientras las tripulaciones se entregan al sueño, en la profunda noche solitaria, hay siempre al timón un hombre que, manteniendo vigorosamente el gobernalle, busca en el alto cielo la estrella inmóvil que marca su ruta.

Los primeros años de la Historia escriben en el espacio las más bellas fábulas mitológicas, por que la misión providencial de las estrellas las identifica con cuanto de heróico, de prodigioso y de seductor ocurre en el conturbado ámbito de aquellos siglos. Los astros perpetúan la historia de Andromedæ y Casiopeæ, de Perseo y Orion, de Cánope y los Dioscuros. Canta-

ron los rápsodas antiguos la gloria de los luceros y atribuyeron a su influjo directo cuanto de bueno o malo ocurriera a la Humanidad. La victoria de los reyes se anuncia por signos celestes, y las catástrofes de los imperios van precedidas de augurios estelares. Y cuando el mundo pagano toca a su fin, sobre el cielo de Nazaret aparece el divino resplandor de la estrella de Belén. Y cuando el hombre asoma por vez primera a las desconocidas esferas australes, muertos ya definitivamente los dioses de Grecia y Roma, sobre el limpio firmamento que cubre las tierras recién descubiertas por la católica fé, surge con incomparable esplendor, presidiendo el maravilloso espectáculo de las noches meridionales, el signo de la Redención y la Salvación: la Cruz del Sur.

Pero persigue al hombre la curiosidad de lo desconocido, el afán siempre insatisfecho de descubrir, de averiguar, de saber, de profundizar en la obra de Dios. Si la inteligencia se lanza audazmente a alcanzar lo que le parece fin de su carrera en su ciega presunción, sólo consigue encontrarse siempre en un nuevo punto de partida. Grande es el esfuerzo de la inteligencia humana y poderoso su alcance; sin más información que el sutilísimo rayo de luz que astros lejanísimos nos envían, los analiza, los mide y los pesa; halla las distancias de vértigo que de nosotros los separan, les interroga con apremio de donde proceden, cual es el origen de su energía al parecer inagotable, e intenta adivinar su fin. Pero ¿qué empresa es ésta frente a la terrible amplitud de la que se ofrece después a la ambiciosa y casi frenética pasión del Astrónomo?. Es preciso ir más allá, siempre más allá. El hombre busca los límites del Universo, indaga su forma y sus movimientos, y, salvando abismos que se creerían insondables, distancias donde el horror de la profundidad supera todas las posibilidades de la imaginación más absurda, encuentra en las lejanísimas e incontables nebulosas espirales la perspectiva de algo semejante a lo que nos rodea.

La historia de la Astronomía, hasta hoy mismo, y quizás hoy más que nunca, está hecha por hombres tan dominados por esa impaciencia por conocer que es estímulo poderosísimo de la Ciencia, que adelantándose siempre a los medios de que han dispuesto, entran atrevidamente en caminos inexplorados, ansiosos de alcanzar un fin que vagamente vislumbran. No es extraño que aquí y allá, tropiecen y caigan, ni que tomen derroteros cuyo extravío les sea de pronto revelado por un hecho de experiencia, obligándoles a una rectificación en la que, muchas veces, va envuelta la ruina de un edificio trabajosamente levantado. Pero esta ruina no es casi nunca total; en la Vía Dolorosa de la Ciencia, no hay, generalmente hipótesis que, al tener que ser abandonada, no deje un residuo, una pequeña parte de verdad, que nuevas teorías pueden aprovechar eficazmente.

Hasta fines del siglo XVIII hubo de resignarse la Astronomía a considerar infinitamente distantes a las estrellas que resistían inmóviles a todo intento de descubrir en ellas la variación de posición relativa que, de encontrarse a distancias finitas, era forzosa consecuencia del movimiento ánuo de la Tierra.

El concepto del Universo, en tal creencia, o se perdía en las insondables profundidades de un inaccesible Infinito, o se reducía a los estrechísimos, casi despreciables límites del Sistema Solar. Al genio de Willian Herschel, el oscuro hannoveriano, de poderosa inteligencia y heroica perseverancia que es el precursor de la Astronomía Moderna, se deben los primeros pasos en el conocimiento científico del Universo en el concepto actual, es decir, como una inmensa organización de dimensiones finitas y estructura definida, que forma en el innumerable ejército de Universos semejantes que puebla el Espacio.

Componentes principales y más importante de tal organización, son las estrellas; pero no he de referirme a ellas en este Discurso sino como partes del todo, sin intentar describir su

constitución y su evolución; campos en que los maravillosos descubrimientos de la Física moderna y el prodigioso adelanto de la técnica instrumental, hacen diariamente nuevas conquistas que ya constituyen un extensísimo acervo de conocimiento.

A la investigación de la figura y dimensiones del Universo, hubo de haber precedido la idea de su limitación a la que no puede bastar la consideración de las distancias de las estrellas; pues aunque existiera la posibilidad de medir las de las que por su lejanía están al alcance extremo de nuestros telescopios, ese sería el límite observado, pero más allá del cual pudieran extenderse indefinidamente las estrellas sin posibilidad de percepción por nosotros.

Aunque el número de estrellas visibles a simple vista sobre un horizonte no pasa de unos millares, es curioso que el hombre, desde la antigüedad más remota, haya creído que son tantas que no pueden llegar a ser contadas. Este sentimiento intuitivo es casi cierto; el simple auxilio del más modesto telescopio, de unos sencillos gemelos, aumenta enormemente el número de estrellas visibles, llevándolo a más de 50.000. Argelander, con un telescopio de poco más de 6^s/_m, observó las 324.000 que figuran en su Catálogo. El telescopio de Yerkes, de 1 metro de diámetro, permite que se alcance a más de 100 millones, y el gigantesco reflector de Mt. Wilson, de 2,50 metros, es capaz de hacer registrar en la placa fotográfica la luz de más de mil millones de estrellas.

Pero por impresionante que sea la enorme progresión de estas cifras, la limitación del número de estrellas pueden ser evidenciada. Es fácil demostrar que si las estrellas estuviesen uniformemente distribuídas en un volumen infinito, en el supuesto

de que no exista absorción sensible, la iluminación que producirían sería también infinita. Es, en efecto, evidente, que en tales supuestos, el número de estrellas comprendidas en cierta distancia crece proporcionalmente al cubo de ésta, mientras que la luz que de ellas recibimos, disminuye en proporción sólo al cuadrado de la misma distancia; y por lo tanto, mientras más grande sea ésta, mayor será la luz recibida.

Un argumento semejante, pero referente a la atracción gravitacional pudiera presentarse a los que, al razonamiento anterior, opusiesen la objeción de la existencia de la absorción cósmica de la luz, a no ser que también se admita la absorción de la fuerza de gravitación que algunos estiman haberse experimentalmente demostrado.

El problema, del más alto interés, ha sido tratado en otra forma y parece definitivamente resuelto.

La magnitud aparente m , de una estrella cuya distancia, (en parsecs), es D , está ligada a la magnitud absoluta M por la relación de Pogson, $m - M = -5 + 5 \log. D$. Al fin que perseguimos, es lícito suponer en todas las estrellas el mismo brillo intrínseco, y considerar por lo tanto la magnitud aparente como función exclusiva de la distancia, siendo $m = M - 5 + 5 \log. D$, representándose por M la magnitud absoluta media de todas las estrellas.

Si el número de estrellas fuese ilimitado, la densidad estelar, δ , se mantendría constante en todas las regiones del espacio, y en una esfera de radio D_1 , estarían comprendidas en número $N(m)$, igual á $4/3 \pi D_1^3 \delta$, todas las estrellas de magnitud igual ó inferior á las de la aparente $m = M_0 - 5 + 5 \log. D_1$. El logaritmo de ese número de estrellas es pues,

$$\log. (4/3 \pi \delta) + 3 \log. D_1 = \log. (4/3 \pi \delta) + 3/5 (m_1 - M_0 + 5).$$

De igual modo hallaríamos que el número $N(m+1)$ de estrellas cuya luz nos llega con una intensidad igual ó superior á las de

magnitud aparente $(m + 1) = M_0 - 5 + 5 \log. D_2$, será $4/3 \pi D_1^3 \delta$, cuyo logaritmo viene dado por $\log. (4/3 \pi \delta) + 3/5 (m - M_0 + 6)$. La diferencia entre los logaritmos así determinados, o sea el logaritmo de la relación existente entre el número de estrellas de magnitud aparente $(m + 1)$ al número de estrellas de magnitud aparente m , sería: $\log. \frac{N_m}{N_{m+1}} = 3/5$, ó lo que es lo mismo, $N_{(m+1)} = 4 N_{(m)}$.

Resulta pues, que si el espacio estuviese uniformemente poblado de estrellas, la relación entre el número de estrellas que nos aparecerían de una magnitud determinada sería 4 veces mayor que el número de estrellas de magnitud inferior en una unidad a la precedente. Este cómputo de estrellas se ha verificado, y la relación encontrada es inferior a 4; próximamente igual a 3 para las estrellas visibles a simple vista, es inferior a 2 para las de magnitud de 20 a 21 accesibles á modernos instrumentos. Es decir, que el número de estrellas, á medida que aumenta su distancia, es menor en proporción progresiva al que habría si la densidad estelar fuese constante. Es pues, evidente, que el tal número es limitado.

Los infatigables trabajos de Kapteyn, secundados por Van Rhijn, continuados por Chapman y Melotte, han conducido a la siguiente fórmula empírica que dá el número de estrellas N_m de magnitud aparente m : $N_m = 10^{(a + bm - cm^2)}$; según se empleen para los coeficientes a , b y c los valores $-0,18$; $+0,72$; $+0,016$ ó los valores, $-0,01$; $+0,68$; $-0,014$, se obtienen dos límites aproximados de N_m .

Siendo finito el número de estrellas, la extrapolación de la fórmula empírica de Chapman y Melotte, para $m = \infty$, podría dar con la reserva consiguiente a la exagerada libertad que semejante extrapolación significa, el número de estrellas existentes. Las estimaciones hechas de este modo conduce a calcularlo en unos 30 mil millones, cifra probablemente excesiva, como

induce a creer el que hasta la magnitud 20, límite actualmente del mayor telescopio en uso, el número observado apenas alcanza a 500 millones.

Un Universo limitado debe, sin duda, tener una figura. Sin necesidad de auxilio de instrumento alguno, vemos destacarse en el cielo la Vía Lactea, llamada vulgarmente entre nosotros «El Camino de Santiago», que cruza todo el Firmamento y sobre la que se observa una marcada concentración de estrellas, muchísimo mayor de la que se percibe en la dirección perpendicular. La desproporción, ya notable a simple vista, se hace enorme al considerar estrellas débiles hasta la magnitud que hoy es capaz de registrar la placa fotográfica, alcanzando a 40.000 estrellas por grado cuadrado en la Vía Lactea contra 1.200 en la dirección normal. Parece pues, como si al mirar hacia la Vía Lactea, pasase nuestra visual a través de una profundidad muchísimo mayor en esa dirección que en otra cualquiera.

La Vía Lactea se nos presenta como una cintura luminosa de anchura y brillo muy variables en su extensión. En ella se suceden numerosas agregaciones locales de estrellas o nubes estelares y de nebulosas irresolubles. En casi una tercera parte de su extensión, desde el Cisne hasta el Centauro, una banda oscura irregular la divide en dos ramificaciones próximamente paralelas. La línea central, no puede, desde luego, ser definida con precisión, pero es posible aceptar como tal la que resulta de la consideración de sus más notables peculiaridades, que es un círculo máximo de la esfera inclinado 63° sobre el Ecuador, y cuyos polos, los polos galácticos, se encuentran en $12^{\text{h}} 40^{\text{m}}$ de A. R. y $+28^{\circ}$ de Declinación (constelación de Coma Berenice), y en $0^{\text{h}} 40^{\text{m}}$ de A. R. y -28° (constelación Sculptoris).

El plano galáctico, precisado por dicho círculo máximo, es

el más fundamental de referencia al presente conocido, y representa en el Universo Sideral, un papel análogo al que la Eclíptica representa en el Sistema Solar; es, pues, lógico que a él se refieran todos los estudios sobre la distribución estelar, y a dicho fin, se ha adoptado un sistema de coordenadas, latitudes y longitudes galácticas, medidas las primeras desde el plano ó Ecuador galáctico, y las segundas sobre éste y a partir de su nodo ascendente sobre el Ecuador celeste de 1900, que se encuentra en $18^h 40^m$ de A. R. en la constelación del Águila.

El cómputo de estrellas en zonas esféricas de iguales latitudes galácticas, Norte y Sur, demuestran que la Vía Lactea determina un plano de simetría del Sistema estelar. En rigor, se manifiesta una pequeña diferencia sistemática, según la cual el círculo galáctico fundamental no es un círculo máximo, sino uno menor paralelo, ligeramente desplazado hacia el Sur, lo que interpretamos fácilmente por encontrarnos con el Sol un poco al N. del plano central del Universo.

Tal cómputo, pone de manifiesto la concentración ya señalada de las estrellas sobre el plano galáctico, aunque se consideren exclusivamente estrellas brillantes, circunstancia que dice algo sobre la estructura del Sistema. Tales estrellas, en efecto, se encuentran a distancias relativamente cortas, siendo imposible admitir que, en ninguna dirección, tocan el límite del Universo; deducimos, pues, que la concentración estelar sobre el plano galáctico no es solo aparente, sino que responde a un mayor número de estrellas por unidad de volumen, es decir, a una mayor densidad estelar.

Pero la concentración galáctica es tanto más señalada cuanto más débiles, es decir, más lejanas, sean las estrellas que se consideren. Este hecho tiene sencilla explicación en un Universo considerablemente aplanado sobre la Galaxia. Supongámosle en efecto, perfectamente limitado en forma de esferoide muy acha-

tado del que ocupásemos el centro, y consideremos la esfera concéntrica que lo tangentea interiormente y cuya radio sea la distancia a la cual, la estrella de brillo intrínseco medio, nos parezca de magnitud m . Todas las estrellas aparentemente más brillantes, estarán incluidas en dicha esfera, y ninguna en su exterior. La concentración galáctica que tales estrellas brillantes manifiestan, es debida exclusivamente al real aumento de densidad estelar sobre la Vía Láctea. Las estrellas aparentemente más débiles, son exteriores a la esfera, y no existirá ninguna en la dirección de los Polos galácticos, ya que hemos supuesto a la esfera tangenteando en dicha dirección los límites del Universo. En cambio, en la dirección de la Galaxia podemos percibir estrellas de tal magnitud y en número tanto mayor por unidad de superficie, cuanto más débiles sean, es decir, cuanto más se acerquen a los límites del Universo en la dirección de la Galaxia, siendo la concentración aparente no sólo debida al real aumento de la densidad estelar, sino también a la forma del Sistema que, como pensó Herschel, desde sus primeras exploraciones de la Vía Láctea, es la de un esferoide muy aplanado.

No debe, sin embargo, suponerse la realidad de un límite definido, traspasado el cual no existen estrellas; más bien, pensamos en un gradual esparcimiento, de tal modo que las superficies de igual densidad estelar media, conservando próximamente la forma esferoidal, se sucedan con aplanamiento creciente al alejarse del centro.

En muchas partes, pero muy principalmente en las proximidades del plano galáctico, enormes aglomeraciones estelares de variados géneros, e ingentes masas nebulares, rompen la regularidad de tales superficies hipotéticas, y derraman su colosal riqueza sobre la Vía Láctea que, con tales aportaciones, irregularmente repartidas, parece desafiar todo intento de señalársele límites definidos.

Las conclusiones a que hemos llegado, fundamentadas en cálculos de estrellas y en medidas de magnitudes aparentes, parecen no poder ser aceptadas sin reserva, ya que la exactitud de ambas operaciones puede ser seriamente afectada por la indudable absorción de la luz en el espacio. La existencia de materia opaca y de cuerpos oscuros en el Universo, está fuera de toda duda, pero, su consideración no trae consecuencias para nuestro presente punto de vista; no podemos, en efecto, pretender contar todas las estrellas del cielo, y las regiones elegidas como típicas a los fines considerados, están, con toda probabilidad, libres de tales masas oscuras. De mucha mayor importancia es la existencia de polvo cósmico que, sin oscurecer las estrellas enteramente, las hace disminuir de brillo introduciendo un nuevo factor, en las relaciones entre sus magnitudes aparentes. Según Macmillan, en la hipótesis de estar las estrellas distribuidas uniformemente en un infinito, la existencia de una partícula de polvo en 3.500 kilómetros cúbicos bastaría para reducir la relación de estrellas de las magnitudes sucesivas a las cifras que, como resultado de la observación, nos han conducido a demostrar la limitación del Universo, dejando por tanto sin valor nuestras conclusiones. Pero, aunque tal partícula única en 3.500 kilómetros cúbicos parece una cantidad inconcebiblemente pequeña, el espacio interestelar es tan vasto que en los 40 parsecs cúbicos que serían el patrimonio del Sol si el espacio se repartiese equitativamente entre las estrellas, tal distribución de polvo equivaldría próximamente a 7 veces la masa solar. Es imposible admitir que el «espacio vacío» contenga materia en tal grado. El efecto del polvo cósmico sobre la luz es el de una difusión selectiva tanto más eficaz cuanto se trate de ondas más cortas. Si el espacio contiene suficiente polvo para afectar sensiblemente a nuestras medidas fotométricas, las estrellas lejanas nos parecerían más rojas que las más cercanas del mismo

tipo espectral, porque la difusión debe de privarles de gran parte de sus rayos azules; aunque recientísimas observaciones han comprobado este efecto en las proximidades del plano galáctico confirmando la existencia de la materia interestelar que otros fenómenos han evidenciado, el efecto es tan débil que pudo escapar a la profunda investigación hecha por Shapley, en el lejísimo cluster globular de Hércules, donde no encontró diferencias sensibles entre los índices de color de las estrellas del enjambre y los de las estrellas próximas de los mismos tipos; y más aún, algunas estrellas del cluster de la clase B, es decir, azules, con índices de color negativos, que serían imposibles si existiese cantidad notable de polvo cósmico en el espacio intermedio. Shapley extendió sus investigaciones a varias regiones del espacio con resultados semejantes, y, en consecuencia, se admite hoy generalmente que, no obstante ser un hecho indudable la existencia de la materia interestelar, su influencia es demasiado pequeña para poder viciar las conclusiones alcanzadas respecto a la estructura general del Universo.

Como resultado de sus famosas «Star gauges», Herschel estimaba el Universo con un diámetro en su sección principal equivalente a 850 veces la distancia, entonces ignorada, de una estrella de 1.^a magnitud, y la altura total en 155 veces la misma medida. Si suponemos dicha distancia de 10 años de luz, resulta el diámetro del Universo de Herschel de 8.500 años de luz, magnitud que, aún siendo tan enorme, no es casi nada en comparación de las que nos han hecho conocer los descubrimientos posteriores.

Kapteyn, que dedicó toda su maestría y constancia insuperables a la investigación estadística del cielo, estimaba que la densidad estelar podría considerarse despreciable á distancias

que fijaban los diámetros del Universo en 55.000 y 11.000 años de luz. Estas cifras hubieron de considerarse excesivamente reducidas como resultado de los trabajos de Seares, que estimó el diámetro total del Sistema entre 200.000 y 300.000 años de luz. Basados estos estudios en las magnitudes estelares aparentes sin tener en cuenta la absorción cósmica que los afecta tanto más fuertemente cuanto se trate de estrellas más alejadas, han debido ser revisados al reconocerse la realidad de tal absorción que haciendo parecer más débiles a las estrellas, conduce á evaluar erróneamente por exceso sus distancias. Seares, en la hipótesis de una absorción constante y de 0,2 de magnitud por cada millar de años de luz, rehizo sus cálculos que hicieron reducir á la mitad las cifras anteriormente citadas.

Una determinación más precisa del diámetro galáctico parece deducirse de la observación de más de 100 estrellas Cefeideas galácticas en ciertas regiones de la Vía Láctea, que Shapley señaló en 1936, que parecen constituir, entre las nubes estelares, verdaderas ventanas abiertas sobre el espacio a cuyo través se perciben nebulosas extra-galácticas cuyo estudio demuestra que la absorción en tales direcciones, es muy débil; de esas Cefeideas, las 5 más alejadas, distan 75.000 años de luz, lo que teniendo en cuenta la excentricidad del Sol, conduce a una estimación del diámetro galáctico de 110.000 años de luz.

La notable discrepancia entre las cifras citadas, que es ya indicio de lo árduo del problema de que son resultados, encuentra fácil explicación en la misma estructura de caótica apariencia de nuestro Universo en la Vía Láctea; probablemente, como dice el P. Rodés en «El Firmamento», el señalar límites al Universo resultará siempre tan indeterminado como el señalarlos a nuestra Atmósfera ó a nuestro Sistema Planetario; siempre puede registrarse una aurora á mayor altura ó un cometa más lejano que nos obligue a ensancharlos; ó inversamente,

siempre quedamos expuestos á que un nuevo coeficiente de absorción influya en las magnitudes aparentes y nos conduzca á reducirlos.

En números redondos, los 100.000 y 10.000 años de luz, deducidos de las investigaciones de Seares, parecen representar bastante bien los diámetros del Universo, no siendo probable que precisen de rectificaciones notables.

En este conjunto, nuestro Sol, con su cohorte de planetas y cometas, ocupa una posición bastante excéntrica. El número de estrellas por grado cuadrado en el plano galáctico, varía notablemente con la longitud, manifestándose claramente una concentración máxima y una mínima en direcciones opuestas; parece pues, como si estuviésemos fuera del centro del Sistema que debe encontrarse en la dirección de la mayor concentración que es de 320° , en la región de Sagitario. Los trabajos de Seares le condujeron a estimar que dicho centro que, razonablemente debe de señalar un máximo en la densidad estelar, se encuentra a 20.000 años de luz, cifra que investigaciones posteriores, apoyadas por consideraciones de otro género, han elevado hasta 30.000.

Los soles que integran esta inmensa formación, se nos manifiestan, gracias á los poderosos medios de observación modernos, animados de fantásticas velocidades, á despecho del apelativo de «fijas» que les fué dado en la antigüedad en contraposición al de «vagabundos» con que se distinguió á los planetas.

Las distancias que nos separan de las estrellas, son tan grandes (la más próxima dista 4,3 años de luz o sea más de 40 billones de kilómetros), que, en el transcurso de los siglos y hasta

finés del XVIII, escapó a los medios de observación existentes todo cambio en sus posiciones relativas, claramente revelado actualmente, siendo objeto de meticulosa medida la velocidad angular de la dirección en que vemos la estrella, que se llama «movimiento propio». En esta tarea, toma parte activa el Observatorio de Marina en las zonas celestes que en el Convenio Internacional de París de 1887 le fueron asignadas para la Carta Fotográfica del Cielo y el Catálogo Astrofotográfico.

Conocido el movimiento propio de una estrella y su paralaje ó distancia, la deducción de la componente tangencial de su velocidad es inmediata.

Por otra parte, el espectroscopio, mediante la aplicación del principio de Doppler, permite la medida de la componente de la velocidad en sentido radial.

La composición de las velocidades tangencial y radial de una estrella nos hace conocer su velocidad espacial; la mayor que se ha determinado es la de la variable RZ, de Cefeo, que se desplaza á razón de 1.200 kilómetros por segundo.

Los movimientos expresados son relativos al Sol, es decir, considerado éste como fijo. Pero el Sol, como sus hermanas las estrellas, tiene también movimiento que forzosamente hemos de referir á un sistema, siendo lógico que sea el conjunto de las mismas estrellas. Tal sistema de referencia no es, naturalmente, absoluto; el movimiento medio de un grupo de estrellas varía considerablemente con las peculiares características de las que lo constituyen; pero una vez elegido el sistema de referencia el problema está claramente definido.

Entre un grupo muy numeroso de estrellas, es lícito suponer una distribución de sus movimientos absolutos, es decir relativos al sistema de referencia elegido, tal que la velocidad media del grupo resulte nula. Si el Sol permaneciera en reposo relativamente al mismo sistema de referencia, los movimientos propios

medios en cualquier dirección del espacio serían también nulos; pero si nos moviésemos en una dirección determinada, aunque en esta dirección y en la opuesta continuaríamos encontrando movimientos propios medios nulos, en todas las demás direcciones y principalmente en las de la normal á la de nuestro movimiento, observaríamos movimientos propios medios preponderantes en sentido contrario al de nuestra velocidad, y tanto mayores cuanto mayor sea esta velocidad.

De modo semejante, las velocidades radiales medias del grupo de estrellas que se encuentra en la dirección de nuestro movimiento nos dará una resultante negativa, es decir, como si el grupo se acercase, mientras el grupo de estrellas en dirección opuesta á la de nuestra velocidad la tendrá positiva, es decir, de alejamiento. Las velocidades radiales resultantes de los grupos en dirección normal á la de nuestro movimiento continuarán siendo nulas.

Ambos procedimientos conducen a demostrar que el sistema solar se dirige, dentro de la Galaxia, á un «apex» que, cuando se toma como de referencia el sistema integrado por las estrellas visibles á simple vista, resulta encontrarse en 18^{h} de A. R. y $+28^{\circ}$ de Declinación N. (constelación de Hércules) con una velocidad de 19 kilómetros por segundo.

Estos resultados, como ya hemos advertido, varían apreciablemente con el sistema de estrellas que como de referencia se haya adoptado. Independientemente de que existan en la Galaxia los conjuntos de estrellas llamados, según su denominación en inglés «clusters», que aún pareciéndonos a veces enormemente extendidos y entremezclados con estrellas que al cluster no pertenecen y marchan en formación invariable a través del espacio, es un hecho sobre el cual insistiremos, la existencia de dos corrientes estelares muy diferentes por las que en general manifiestan preferencia todas las estrellas que pudieran ser ob-

jeto de medida, con la natural consecuencia de amenazar destruir nuestra hipótesis básica de considerar nulo el movimiento medio del sistema aceptado como de referencia.

Aparte de esto, parece estar demostrado que, quizás por un efecto de selección, las estrellas débiles se mueven más rápidamente que las más brillantes.

Por último, el movimiento del Sol deducido resulta ser diferente según la clase espectral de las estrellas que constituyen el sistema de referencia; las de la clase B, conducen a una velocidad de 22,1 kilómetros por segundo, mientras las de la clase G. hacen reducir esa velocidad á 18,8 kilómetros por segundo. De ello es responsable el llamado término «K», de Campbell, al que seguidamente aludiremos.

No obstante estas diferencias, parece que, en resumen, pueden aceptarse como los mejores valores hasta ahora obtenidos para el movimiento solar, los primeramente expresados; y su composición con las velocidades radiales, movimientos propios y paralajes observadas, permite la determinación del movimiento peculiar de cada estrella relativo al sistema de comparación adoptado.

Si con relación a este sistema se moviesen indistantemente las estrellas en todas direcciones, el valor medio de los movimientos peculiares sería nulo. Campbell descubrió que lejos de ocurrir esto así, la media de las velocidades radiales peculiares de las estrellas tenía un valor positivo llamado el término «K», como si el sistema estelar tendiese á una expansión. El término K es variable con la clase de estrellas que se tome en consideración; máximo para las clases B y M, y mínimo para las A, F y G. Actualmente se cree que la aparición del término K se debe á pequeños errores en las medidas de laboratorio de las longitudes de onda, ó á un efecto relativista, siendo muy improbable la existencia de la expansión del sistema á que hemos aludido.

Como se ha visto, las determinaciones del movimiento solar están basadas exclusivamente en el conjunto de estrellas cuya velocidad relativa al Sol nos es conocida, es decir, á las suficientemente cercanas para que su paralaje haya sido medida, ó para que su espectro se obtengan con la dispersión suficiente para la estimación de la velocidad radial. La estadística no puede pues fundarse más que en estrellas cercanas, distantes á lo más unos cuantos centenares de años de luz, lo que es muy poco en comparación á los 30.000 años de luz que dista el Sol del centro de la Galaxia.

El extremado aplanamiento de ésta sugiere inmediatamente la idea de que debe de estar en su conjunto animada de rotación alrededor del eje normal al plano galáctico; ó más exactamente aún, que las estrellas, de modo semejante á como lo hacen los componentes del anillo de Saturno, deben de describir en planos próximos, órbitas newtonianas en torno al centro atractivo del sistema que integran. Esta idea ha inducido á Lindbland y á Oort á la teoría llamada de la «rotación diferencial» que, con sus interesantes consecuencias, es hoy generalmente aceptada.

En la expresada hipótesis, aunque las velocidades de las estrellas próximas á determinado punto del espacio sean diferentes en dirección y magnitud, según la excentricidad de las órbitas respectivas, la media de todas esas velocidades deberá de resultar perpendicular á la dirección del centro de atracción y de valor correspondiente á la órbita circular en el punto del espacio considerado.

Según este razonamiento, la velocidad antes deducida para el Sol de 19,5 kilómetros por segundo en dirección al apex, es la diferencia geométrica entre su propio vector velocidad y el

vector velocidad V_0 que en la rotación galáctica, corresponde á la órbita circular que la posición del Sol determina.

La relativa modestia de esta cifra nos autoriza a considerar que la velocidad que nosotros observamos en una estrella es la diferencia geométrica entre el vector velocidad que le es propio y el vector velocidad V_0 . Pero como ya se ha dicho, en una región determinada del espacio, las velocidades de todas las estrellas que la pueblan deben de tener por media la correspondiente á la órbita circular en tal punto del espacio de la rotación galáctica; luego, la media de las velocidades por nosotros observadas en dicha región, debe de ser la diferencia geométrica entre el vector representativo de esta velocidad del movimiento circular en dicha región V y el vector velocidad V_0 que representan el movimiento circular en la región del Sol.

Dada la enorme distancia á que se encuentra el centro de la Galaxia y la en comparación á esta pequeñísima á que se encuentran las estrellas cuyas velocidades podemos medir, los dos vectores V y V_0 son próximamente iguales, y las diferencias geométricas á que nos hemos referido, velocidad media de las estrellas de cada región, deben por consiguiente resultar prácticamente perpendiculares al vector V_0 , es decir, paralelos á la dirección del centro de la Galaxia.

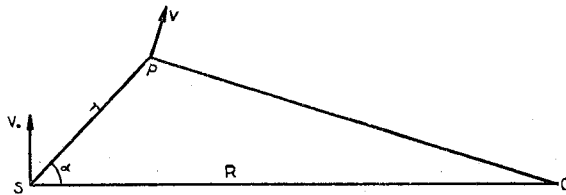
Supongamos que trazamos á partir de un punto, vectores iguales á los vectores representativos de las velocidades observadas de todas las estrellas; resultarán en todos los sentidos y direcciones, pero según lo dicho, deberá el conjunto de manifestar cierta preferencia en la dirección del centro de la Galaxia. Este trabajo, verificado por Schwarzschild, para distintas clases espectrales, demostró que los vectores resultan contenidos en elipsoides de ejes desiguales, siendo el menor normal al plano galáctico, y el mayor, en dirección variable con la clase espectral, entre 320° y 335° de longitud, que debe de ser,

por consiguiente, la del centro de la Galaxia; resultado de acuerdo con la dirección deducida del cómputo estelar.

La preferencia del movimiento de las estrellas en dicha dirección constituye la corriente estelar de Kapteyn, que la descubrió en 1905.

El reparto elipsoidal de Schwartzschild, no comprende a las estrellas de gran velocidad espacial, cuyos vectores representativos resultan emergiendo del elipsoide, y agrupándose en la vecindad de la semi-recta del plano galáctico de 230° de longitud, es decir, en dirección casi perpendicular á su eje mayor. Tales estrellas constituyen la llamada «corriente asimétrica de Stromberg», cuya interpretación puede buscarse en la consideración siguiente. Las grandes velocidades espaciales observadas, manifiestan que la real de que van animadas las estrellas es muy diferente de la que corresponde al movimiento circular; pero como no puede ser mucho mayor que ésta, pues en tal caso escaparían á la atracción del sistema, debe de ser mucho menor, y en este supuesto, la diferencia geométrica entre su vector velocidad propio y el vector velocidad del movimiento circular, debe de resultar próximamente en la dirección de éste y en sentido contrario, es decir, próximamente perpendicular á la dirección del centro galáctico y en sentido opuesto al del movimiento de rotación galáctica, que por consiguiente, resulta ser retrógrado.

Es posible deducir una relación analítica entre las velocidades observadas y la de la rotación galáctica. Supongamos en P



un punto del espacio donde la velocidad del movimiento circular esté representada por el vector V perpendicular á la dirección del centro galáctico O . Si en S situamos al Sol á la distancia R del centro, siendo V_0 su vector velocidad en el movimiento circular, el ángulo α es igual á la diferencia entre la longitud L de P y la L_0 del centro de la Galaxia.

Por la pequeñez relativa de r con respecto a R , podemos considerar $OP = R - r \cos \alpha$, y escribir, $V = V_0 - \frac{dV_0}{dR} r \cos \alpha$.

Proyectando sucesivamente V y V_0 sobre SP y SO , y teniendo en cuenta la pequeñez de $POS = \frac{r}{R} \sin \alpha$ y la de $\frac{r}{R} \cos \alpha = 1 - \frac{OP}{R}$, resultará que la componente radial v_r y la tangencial v_t de la velocidad de P relativa á S , serían:

$$\begin{aligned} v_r &= (V_0 - \frac{dV_0}{dR} r \cos \alpha) (\sin \alpha + \frac{r}{R} \sin \alpha \cos \alpha) - V_0 \sin \alpha \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{V_0}{R} - \frac{dV_0}{dR} \right) r \sin 2\alpha. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_t &= (V_0 - \frac{dV_0}{dR} r \cos \alpha) (\cos \alpha - \frac{r}{R} \sin^2 \alpha) - V_0 \cos \alpha \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{V_0}{R} - \frac{dV_0}{dR} \right) r \cos 2\alpha - \frac{1}{2} \left(\frac{V_0}{R} + \frac{dV_0}{dR} \right) r. \end{aligned}$$

Los resultados de la observación confirman el carácter sinusoidal explícito en las fórmulas, y permiten la deducción de la longitud L_0 del centro de la Galaxia, y de las magnitudes $\frac{V_0}{R}$ y $\frac{dV_0}{dR}$. Para la primera, resulta un valor próximo á 330° , de acuerdo con el que han proporcionado otros métodos. La velocidad angular del movimiento circular del Sol, $\frac{V_0}{R}$, resulta ser de 0,006 por año, lo que corresponde á un período del orden de 200 millones de años. Admitiendo como distancia del Sol al centro la de 30.000 años de luz, la velocidad V_0 media de las estrellas próximas, resulta ser del orden de 300 kilómetros por segundo; y también que la masa cuya atracción produce el movimiento, es decir, la de la Galaxia, es del orden de 160 mil

millones de veces la del Sol. Para $\frac{dV_0}{dR}$ se obtienen valores negativos, es decir, que la velocidad del movimiento circular, decrece al alejarnos del centro de la Galaxia, característica de los movimientos consecuentes á una atracción central; su magnitud, ha permitido deducir que la masa de la condensación central, es 2 ó 3 veces la repartida en el resto del espacio galáctico.

Las estrellas, revelan cierta tendencia a aglomerarse, que se manifiesta en las nubes estelares de la Vía Láctea, en algunas formaciones tan visibles como las Pleiades y las Hyadas conocidas desde la antigüedad, y principalmente, en los curiosos conjuntos llamados enjambres ó «clusters» globulares. A éstos, apenas discernibles á simple vista, el telescopio los presenta como un enorme apiñamiento central de millares de estrellas, que concentradas en el centro tan fuertemente que, en muchas de ella no llega á ser resuelto por los instrumentos más poderosos, van espaciándose enderredor, en densidad decreciente, presentando, sin rastro alguno de nebulosidad, la apariencia de un blanco de tiro herido por inmenso número de disparos de tiradores de selección.

De estos verdaderos enjambres de estrellas, se conocen actualmente 103; ninguno tiene una magnitud aparente superior á 12, lo que unido á que solamente uno ha podido ser añadido á los 102 que ya figuraban en el «New General Catalogue», publicado en 1887, da motivo para sospechar que todos los existentes se encuentran al alcance de los modernos instrumentos.

De estos 103 clusters, 10 pertenecen á las Nubes de Magallanes; los otros 93, casi totalmente confinados en un hemisferio celeste, se reparten simétricamente al plano galáctico con marcadísima concentración hacia los 327° de longitud, es decir, en la dirección del centro de la Galaxia.

El auxilio de los potentes instrumentos de Mt. Wilson han permitido á Shapley el estudio directo de los espectros y de los índice de color de un considerable número de estrellas de los clusters más brillantes, llevándolo á la conclusión de que en éstos existen los mismos tipos de estrellas que en nuestras proximidades; es, pues, razonable deducir que las magnitudes absolutas de las estrellas del cluster son las mismas de las de la misma clase que figuran en los catálogos y con ello se tiene el dato necesario para la determinación de la distancia. Si el estudio se hace sobre estrellas de la clase B, en la que gigantes y enanas tienen una magnitud absoluta común, se evita el riesgo de error á que puede inducir el hecho sobre otros tipos, en los que la variación de magnitud entre gigantes y enanas es muy importante. Las determinaciones son concordantes con los resultados de los otros métodos.

Las distancias medidas por Shapley, varían desde la ya indicada para ω Centauri de 23.000 años de luz hasta la de 220.000 años de luz encontrada para N. G. C. 7.006; pero estas cifras, considerando la absorción cósmica, parece que deben reducirse á 18.000 y 140.000 años de luz respectivamente.

Como resultado de sus investigaciones, Shapley admite que los clusters globulares forman una vasta agrupación de forma próximamente elipsoidal de unos 200.000 años de luz de diámetro mayor, cuyo plano ecuatorial coincide con el galáctico y cuyo centro dista más de 60.000 años de luz del Sol en la dirección de Sagitario. Encontrándonos así en el límite de esta agregación, se explica como los clusters nos aparecen casi en totalidad confinados en una mitad de la Esfera.

Estudios más recientes, confirman en sus líneas generales las conclusiones de Shapley, pero parecen deber reducirse en cantidad importante las dimensiones, por el efecto de la absorción cósmica cuya importancia fué puesta de manifiesto por

determinaciones comparativas de los índices de color de los clusters en varias latitudes galácticas, hechas por el mismo Shapley. Fundándose en ésta, Stebbins estima que el sistema de los globulares es próximamente esférico con diámetro del orden de 100.000 años de luz, cuyo centro se encuentra á 30.000 años de luz del Sol hacia los 327° , es decir, próximamente en la posición ya señalada como centro de la Galaxia.

Obtenido un valor, siquiera aproximado, de sus distancias, queda abierto el camino para calcular la imponente grandeza de estos enjambres. El diámetro del M 3, por ejemplo, alcanza á 450 años de luz; en el volúmen que esta cifra determina, que apenas contendría 4.000 estrellas en la vecindad del Sol, se comprenden en el cluster, más de 40.000, estimándose que en el centro, es tal la aglomeración, que las distancias interestelares deben ser allí del orden de las interplanetarias en el sistema solar.

Para 18 de estas aglomeraciones, Slipher y otros, han medido velocidades radiales que pasan en casi todas de 100 kilómetros por segundo y llegan á 350, y que evidencian en el Sol un movimiento relativo al sistema de clusters globulares dirigido hacia los 41° de longitud y $+12^\circ$ de latitud galácticas de unos 270 kilómetros por segundo. Si se recuerda que mediante el estudio de la rotación diferencial de Oort, se dedujo para el Sol, en el supuesto de que describe una órbita circular alrededor del centro galáctico, una velocidad de 300 kilómetros por segundo en dirección á los 55° de longitud, parece lógico deducir que los clusters globulares son los puntos lejanos de referencia que ponen en evidencia directamente el movimiento del Sol con relación al conjunto de la Galaxia.

La concentración de las aglomeraciones globulares sobre la dirección del centro galáctico y su distribución simétrica con relación al plano de la Galaxia, unido á la propiedad que de

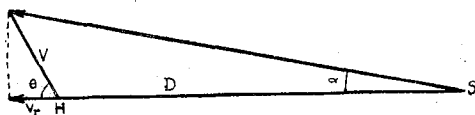
ellos parece característica de moverse hacia el plano galáctico como si fuesen atraídos por la enorme masa de la Galaxia, dejan pocas dudas de que á éstas pertenecen, y que, como dice el malogrado é inolvidable P. Rodés, en su magnífica obra *EL FIRMAMENTO*, «lejos de volar al azar por el espacio son meros tributarios ó cautivos de nuestro sistema que, irresistiblemente los atrae hacia sí, como el Sol á los lejanos cometas».

Si esto es así, en el transcurso de las edades, algunas de estas aglomeraciones debieran haber penetrado en la Vía Láctea, y, como ninguna formación de esta clase se apercibe en ella, Shapley ha propuesto en explicación, la hipótesis de que, cuando un enjambre globular penetra en el sistema galáctico, las fuerzas gravitacionales con que se encuentra, tienden a romperlo; las estrellas veloces de su periferia, son las primeras en abandonar la aglomeración, mientras las demás, aunque su separación mútua aumente, conservan su asociación, llegando a ser de hecho, lo que se llama un cluster abierto.

Son estos últimos, agrupaciones de algunos centenares, ó á lo más, pocos millares de estrellas suficientemente apartadas para ser fácilmente resueltas telescópicamente; su forma es muy irregular, y algunas de ellas nos aparecen tan abiertas que sólo el estudio en magnitud y dirección de las velocidades observadas en las estrellas que los constituyen han podido conducir á su descubrimiento; tales por ejemplo, el formado por gran parte de las estrellas de la Osa Mayor y el de Orion. Las Pleiades, Las Hyadas, la constelación de Coma Berenice y el llamado Praesepe en Cáncer, fueron tenidos desde remotos tiempos por aglomeraciones. Hoy están catalogadas unas 250. Los clusters abiertos son, sin duda alguna objetos galácticos, y casi todos se encuentran en latitudes galácticas inferiores á 15° ; las po-

cas excepciones se interpretan fácilmente por su proximidad al Sol.

La distancia de las Hyadas ha sido medida á favor de la circunstancia de parecer los movimientos propios de las estrellas que constituyen el grupo, un sistema de vectores convergentes en un punto, cuya dirección, por efecto evidente de perspectiva, es paralela á la dirección real del movimiento de las estrellas con relación al Sol. Nos es, pues, conocido el ángulo θ que la dirección real del movimiento forma con la dirección aparente de la estrella. Si el espectroscopio ha medido la velocidad radial, v_r , la velocidad espacial real es $V = v_r / \sec. \theta$, y la distan-



cia resulta ser $D = V_0 \frac{\text{sen}(\theta - \alpha)}{\text{sen} \alpha}$, siendo α el movimiento propio medido. De este modo han sido calculadas las distancias de unas 80 estrellas de esta aglomeración, que forma un cluster próximamente esférico de unos 20 años de luz de radio, distando el centro de nosotros, 135 años de luz.

El cluster de la Osa Mayor, comprende 5 estrellas del Carro distantes de 70 á 80 años de luz, y otras en partes muy apartadas del cielo, incluido Sirius; parecen estar sus componentes próximas á un plano que pasa por el Sol, lo que explica su gran dispersión aparente.

También la mayor parte de las brillantes estrellas de la constelación de Orion forman una agrupación, moviéndose en la dirección de nuestra visual, es decir, sin que sean sensibles sus movimientos propios y revelando una velocidad radial de + 20 kilómetros por segundo. Su distancia es de unos 500 años de luz.

Las distancias de muchas otras aglomeraciones abiertas han podido también ser evaluadas en la razonable hipótesis de que las estrellas que las forman de determinada clase espectral son de igual magnitud absoluta que otras estrellas conocidas del mismo tipo.

Resulta, en resumen, que la mayor parte de estos clusters se encuentran á distancias comprendidas entre 1.500 y 6.500 años de luz, pero el más débil y distante de los conocidos se encuentra á 10.000 años de luz de nosotros.

Se ha sugerido la idea, cada vez más generalmente admitida, de la existencia de un cluster solar ó local que se mueve en el espacio al compás del Sol; sus componentes deben, pues, de aparecérsenos próximos y con velocidades radiales y movimientos propios insensibles; no se ha logrado hasta ahora hacer evidente su realidad.

Aparte de las citadas aglomeraciones que forman sistemas que pudiéramos llamar «organizados», se observan en el cielo otras llamadas muy justamente y gráficamente «nubes estelares», que comprenden frecuentemente varios grados cuadrados de superficie, limitando regiones celestes en que las estrellas son excepcionalmente numerosas. La mayor parte se encuentran en la Vía Láctea, y principalmente, en la región de Sagitario, en la dirección ya repetidamente señalada del centro de la Galaxia.

Por medios estadísticos se ha podido evaluar la distancia de las nubes estelares galácticas. Es, en efecto, posible obtener el espectro de la luz global de una nube que, desde luego, no es más que el espectro medio de las estrellas que la integran; generalmente es de tipo semejante al solar. Refiriéndonos especialmente á la nube de Sagitario, resulta ser del tipo F. 5, de acuerdo con los resultados de las medidas fotométricas hechas

por Pannekoek. A esa clase corresponde una magnitud absoluta media de + 3. Por otra parte nos es posible deducir la iluminación I_m debida á N_m estrellas de magnitud aparente m por la fórmula $I_m = I_o \cdot N_m \cdot 10^{-0.4m}$, que resulta inmediatamente de la relación de Pogson. Por tanto, mediante el cómputo de estrellas de las diversas magnitudes aparentes, podemos deducir cual es, entre éstas, la que produce el máximo de iluminación; este máximo, para la nube de Sagitario, se alcanza para la magnitud aparente 15, lo que autoriza á decir que son las estrellas de esta magnitud á las que debemos principalmente la luz que de la nube estelar recibimos. Ya con este dato, por comparación con la magnitud absoluta + 3 que hemos citado, es inmediata la deducción de la distancia que resulta ser de 8.000 años de luz.

La densidad estelar, que en esta nube es como 30 veces la existente en los alrededores del Sol, varía irregular y grandemente á lo largo de la Vía Láctea, y aún en una misma dirección puede presentar varios máximos, revelando la existencia de otras tantas nubes diferentemente distantes. Por ejemplo, en el Cisne, se encuentra una primera nube estelar á 2.000 ó 2.500 años de luz y otra mucho más lejana á más de 15.000 años de luz; y en la dirección de η Carinæ, hay también dos nubes á 800 y á 4.000 años de luz respectivamente.

Una nube estelar parece estar en nuestra inmediata vecindad, comprendiendo en ella al Sol; inducen á ello las investigaciones que Gould, Shapley y Charlier han hecho, principalmente sobre el reparto de las estrellas de la clase B, y los laboriosos cómputos y estadísticas de Seares en Mt. Wilson, llevados hasta la magnitud 18 en las zonas de Kapteyn. Este grupo, que Shapley ha llamado «sistema local», se estima de una estructura esferoidal aplanada cuya porción más densa tiene un diámetro del orden de 2.000 años de luz, y la tercera parte de altura. El centro,

hacia los 210° , parece encontrarse á menos de 300 años de luz.

Con el aspecto de nubes estelares, se observan en el cielo austral bastante alejadas de la Vía Láctea, las dos curiosas aglomeraciones llamadas «Nubes de Magallanes», en honor del célebre navegante al ocurrir su muerte. La masa principal de ambas está constituida por una inmensa multitud de estrellas débiles, á partir de la 11 magnitud. Shapley ha estimado en más de 500.000 las más brillantes que la magnitud 18 existentes en la Pequeña Nube. Si se considera que innumerables estrellas más débiles escapan a la observación, no parece exagerado que, como dicen algunos autores, la Gran Nube contenga como 400 millones de soles.

En ellas se encuentran todos los cuerpos y formaciones que se manifiestan con tendencia á acumularse en la Galaxia, y aún algunos que solo pueden observarse en la Vía Láctea; aglomeraciones estelares, globulares y abiertas, nebulosas amorfas y planetarias, estrellas Wolf-Rayet, Novas y variables del tipo Cefeideo..., induciendo á estimar las nubes como partes destacadas ó desprendidas de la Galaxia.

De 107 Cefeideas de la Gran Nube y de 50 de la Pequeña ha deducido Shapley, como valores de las respectivas distancias, 85.000 y 95.000 años de luz, de lo que resultan ser sus dimensiones lineales del orden de 18.000 y de 1.000 años de luz respectivamente. Las distancias son pues comparables y aún superiores al radio del sistema de clusters globulares, debiendo de admitirse, como pensó ya Herschel, que se trata de formaciones separadas del sistema galáctico por una región vacía de estrellas.

Los espectros de emisión de algunas de las nebulosas gaseosas que contienen las Nubes, han permitido la medida de su ve-

locidad radial, resultando que ambas se alejan de nosotros, la Grande con velocidad de 270 kilómetros por segundo y la Pequeña á razón de 168 kilómetros por segundo. Pero la corrección de estas cifras, teniendo en cuenta la velocidad de 300 kilómetros por segundo del Sol en la rotación galáctica dirigida en sentido casi opuesto á la dirección de las Nubes, reduce la velocidad de éstas con relación al centro galáctico, á pocas decenas de kilómetros por segundo.

Este resultado sugiere que, si bien las Nubes son formaciones exteriores á la Galaxia, están sin embargo ligadas á esta, acompañándola como satélites en su movimiento a través del espacio.

En muchas regiones de la Vía Láctea se observan conjuntos luminosos que el más potente telescopio no puede resolver y cuya naturaleza gaseosa ponen en evidencia las características de sus espectros. Son estas las nebulosas galácticas que tienen dos manifestaciones completamente diferentes, constituyendo las nebulosas amorfas ó difusas y las nebulosas planetarias ó globulares.

Sus espectros presentan frecuentemente la curiosa particularidad de ser muy visibles, no obstante el débil brillo, lo que se debe á que su luz formada por un pequeño número de radiaciones monocromáticas, en lugar de repartirse en un largo espectro, se concentra en contadas rayas aisladas cuyo brillo apenas depende de la fenda del espectroscopio.

Las rayas más conspicuas de este espectro son dos, en el verde, que no han podido ser reproducidas en el laboratorio y que, en un principio, fueron atribuídas á un elemento desconocido que se llamó «Nebulium», cuya existencia demostró pronto la investigación física ser imposible. Hoy, mediante sólidas con-

sideraciones teóricas, está definitivamente establecido que las rayas del Nebulium son originados por la doble ionización del oxígeno que hace posible la extrema pequeñez de la densidad nebular de la que pronto hemos de hacer referencia.

Las nebulosas planetarias son escasas; se conocen unas 150. Aparecen como un pequeño disco débilmente luminoso en cuyo centro existe, casi siempre, una estrella de la clase O de la que parecen ser corona ó aureola que, con frecuencia, se compone de dos ó tres anillos más ó menos concéntricos, cuya parte central, aunque no oscura, es mucho menos luminosa; probablemente la forma anular es aparente y debida á la proyección sobre la bóveda celeste de un globo gaseoso débilmente luminoso cuya periferia se presenta más brillante como efecto de perspectiva; si tuviesen realidad los anillos ó discos, siendo la posición completamente fortuita, se nos presentarían algunos de soslayo y aún enteramente reducidos á una línea como ocurre con las nebulosas extra-galácticas.

La mayor parte están situadas en la Vía Láctea y las que aparecen lejos del plano galáctico están, á juzgar por sus diámetros, bastantes próximas al Sol para que pueda esa particularidad explicarse como efecto de perspectiva. En cambio, las de más pequeña apariencia están notablemente concentradas sobre la región de Sagitario, lo que sugiere con fuerza la idea de que se trata de objetos galácticos.

Las paralajes de algunas de las estrellas centrales han tratado de ser medidas astrográficamente, pero los resultados obtenidos son poco concordantes; se admiten hoy, en general, para las más próximas, distancias de 300 á 600 años de luz y unos 30.000 para las más apartadas. Siendo los mayores diámetros aparentes variables entre 3' y 12' y los de la mayoría del orden de 1', y existiendo algunas tan pequeñas que sólo se distinguen de las estrellas por su característico espectro, se deduce que

sus dimensiones medias deben de ser del orden de un par de años de luz.

Las velocidades radiales, salvo algunas excepciones, son, como las de las estrellas, de algunas decenas de kilómetros por segundo.

Gran parte de estas nebulosas son distintamente elípticas, haciendo sospechar un movimiento de rotación que, en efecto, ha sido comprobado por el espectroscopio en 19 de ellas, con velocidades de 1,4 á 18 kilómetros por segundo á la distancia media aparente de 5",7 del centro. Variando la velocidad con la distancia al centro, es lógico deducir que el movimiento no es del conjunto, sino que la masa nebular gira al modo de satélites alrededor del núcleo central. En la hipótesis de que la fuerza centrífuga equilibre á la atracción gravitacional, puede deducirse de aquellos datos la masa media si se conoce la paralaje.

Admitiendo para esta un valor medio de 0",008, resulta:

$$a = \text{Distancia al centro en unidades astronómicas} = \frac{5.7}{0.008} = 712.$$

$$P (\text{Período en años}) = \frac{2\pi \cdot 712 \cdot 149 \cdot 10^6}{31536 \cdot 5.3 \cdot 10^3} = 4,10^3.$$

La masa resulta pues ser de, $\frac{a^3}{p^2} = \frac{712^3}{16 \cdot 10^6} = 2.2$ veces la del Sol, es decir, considerablemente más grande que la de la mayoría de las estrellas y comparable á las de éstas que tienen mayor masa. La densidad calculada sobre los mismos datos es extraordinariamente baja, como de 6×10^{-18} veces la del Sol, apenas más de la que se obtendría expansionando $1 \text{ } ^\circ/\text{m}^3$ de aire en un volúmen de un millón de metros cúbicos.

De tales condiciones y teniendo en cuenta la altísima temperatura que al tipo de la estrella central corresponde, Bowen ha deducido una teoría que explica aceptablemente las singularidades de los espectros de estas nebulosas que se manifiestan como si las diferentes capas nebulares no emitiesen las mismas radiaciones, no obstante ser el único manantial de luz la estrella

central. El espectro continuo de esta es rico en radiaciones de corta longitud de onda, capaces de ionizar fuertemente en las condiciones de presión que se han citado, á la atmósfera nebular, por efecto foto-eléctrico, debiendo de producirse colisiones entre iones positivos y negativos seguidos de captura con la correspondiente liberación de energía. Como el efecto foto-eléctrico significa una absorción de las radiaciones que lo producen, á cierta distancia de la estrella central las de cortísima longitud de onda han desaparecido totalmente, y la ionización y la excitación van sucesivamente disminuyendo en las capas menos profundas de la nebulosa con la consiguiente variación de la apariencia del espectro.

Las nebulosas amorfas ó difusas son objetos de forma muy irregular y variable; mientras unas, como la de Orion, tienen la apariencia de una nube, otras, como las del Cisne, se presentan en forma de ligerísimo y magnífico encaje.

Su luminosidad, como la de las nebulosas planetarias, proviene de su iluminación por estrellas con ellas estrechamente asociadas, no reflejando la luz que éstas emiten, sino por otro proceso que varía con las características de la estrella asociada. Cuando esta es una Wolf Rayet ó de la clase B 0 de alta temperatura é intensa radiación ultravioleta capaz de ionizar los átomos que encuentra por efecto foto-eléctrico, la luz es como absorbida por la nebulosa y reemitida en radiaciones de diferente longitud de onda. Si la estrella asociada es del tipo B 1 ó siguientes, la luz proveniente de la nebulosa es simplemente la luz estelar difundida por la materia nebulosa, sin cambio de longitud de onda; el espectro entonces, es continuo con rayas de absorción idéntico al de las estrellas asociadas.

Las nebulosas difusas están casi en absoluto confinadas á las proximidades inmediatas del plano galáctico.

Su distancia, que es desde luego la de las estrellas asociadas, no son muy grandes; la de la de Orion, se estima en menos de 600 años de luz.

En cuanto á sus dimensiones, extraordinariamente grandes, son de difícil evaluación, por la insegura delimitación de sus contornos, que es natural consecuencia de su propia naturaleza.

En las de espectro de emisión, puede fácilmente medirse la velocidad radial, que, en general, resulta ser del orden que debe esperarse en objetos galácticos. La de Orion resulta moverse á razón de 17,5 kilómetros por segundo con relación al Sol y teniendo en cuenta el movimiento de éste, sólomente de 0,1 kilómetro por segundo. Estas velocidades radiales varían frecuentemente en una misma nebulosa de un punto á otro, demostrándonos la existencia de fuertes movimientos interiores que, en algunos casos, han hecho apreciar cambios sensibles en sus contornos en plazos relativamente breves.

El análisis polarimétrico de la luz de estas nebulosas ha demostrado la abundancia en ellas de polvo en partículas de diámetro bastante grande con relación á las longitudes de las ondas luminosas.

La frecuente y estrecha asociación de nebulosas difusas con nebulosidades que se destacan como manchas oscuras sobre el fondo brillante de la Vía Láctea ó se manifiestan ocultando á nuestra vista los astros más lejanos haciendo resaltar las nebulosas luminosas en región que parece privada casi en absoluto de estrellas, demuestra la idéntica naturaleza de unas y otras, siendo la luminosidad de las primeras resultando de la existencia meramente fortuíta, de estrellas en su seno.

Entre las nebulosas oscuras las de apariencia más impresionante son: la llamada «Saco de Carbón», en las inmediaciones de la Cruz del Sur, y la «Bahía Negra», al Sur de φ Orionis.

Se ha podido evaluar la distancia y el espesor de algunas nubes absorbentes mediante el cómputo de estrellas en su interior y en las regiones vecinas del cielo. Este estudio, hecho sobre la nebulosa oscura próxima a la difusa «América del Norte», por Müller y Hufnagel, demostró que mientras las estrellas más brillantes de la magnitud 10 se encuentran en la misma proporción, sin duda por encontrarse más próximas que la nebulosa, las de magnitud superior á 10,6 sufrirían en esta una absorción, la misma para todas las magnitudes, correspondiente á un incremento de magnitud de 1,8, ó sea, una reducción de brillo equivalente á $1/5$ de su valor inicial. La nebulosa se extiende pues entre las distancias que corresponden á las magnitudes aparentes 10,0 y 10,6, ó sea, que comienza á 2.000 años de luz de nosotros y termina á unos 2.600.

Se ha encontrado también que la absorción es más fuerte para las estrellas azules que para las rojas, evaluándose la absorción selectiva en un 15 por ciento de la absorción total. La aplicación á estos resultados de la teoría de la difracción por partículas esféricas, permite el cálculo del diámetro de las que pueden producirlos y el del número de las que ha de contener la unidad de volúmen para que la intensidad del haz luminoso sufra la reducción indicada, encontrándose así que las partículas tienen de 60 á 70 millonésimas de milímetro de diámetro y que la densidad media es de $5,10^{-26} \text{ gm/cm}^3$.

Las nebulosas amorfas evidencian la existencia de materia gaseosa y polvo cósmico, cuya presencia en toda la extensión del espacio fué claramente revelada por las rayas «estaciona-

rias» de los espectros estelares, que en 1904 fueron descubiertas por Hastman. Observaba éste el espectro de δ Orionis, estrella doble muy cerrada, advirtiendo que la raya K del Calcio no participaba del movimiento que, por efecto Doppler, debían tener, y efectivamente tenían, las otras rayas del espectro. No podía pues, tal raya, proceder de la atmósfera estelar, y no siendo tampoco de las «telúricas», originadas por absorción de la atmósfera terrestre, fué forzoso deducir la realidad de la absorción debida á una nube de Calcio interpuesta entre la estrella y nosotros. Desde entonces, las rayas estacionarias H y K han sido observadas en un gran número de estrellas sin que pueda haber duda de la realidad de su existencia y de la certeza de su interpretación. Advertidas en todas las regiones del espacio y con tanta mayor intensidad cuanto más lejana sea la estrella en cuyo espectro aparecen, hay que aceptar la existencia de la materia interestelar.

La estimación absoluta de la intensidad de las rayas con relación á la teoría cuántica de la absorción, ha conducido á Struve y Gerasimovic á evaluar la densidad de dicha materia entre $5 \cdot 10^{-27}$ y $5 \cdot 10^{-28}$, cifra tan extraordinariamente baja que corresponde á la existencia de solo un átomo en 3 cm^3 .

Por pequeña que sea esta densidad las dimensiones del Universo son tan enormes que, el efecto de la absorción, acumulándose en el curso de los cientos y miles de años de luz de la que los astros nos envían, se hace, al cabo, sensible. Esta absorción contribuye sin duda con la espesa aglomeración de estrellas y nebulosas de la Vía Láctea, á que en las proximidades del plano galáctico que determina las mayores dimensiones del Universo, no se observen clusters globulares ni nebulosas estragalácticas.

Del inmensísimo Universo que hemos tratado de describir en sus líneas principales son imágenes, en creencia hoy generalmente admitida, las nebulosas espirales que, con extraordinaria profusión, aparecen en todas las regiones del cielo sin más excepción que la de la Vía Láctea, donde nos las ocultan las nubes estelares y las nebulosas allí concentradas y la gran masa de materia interestelar interpuesta.

Se nos presentan, las que por su relativa proximidad han podido ser estudiadas, con un núcleo central más ó menos elíptico, del que emergen en los extremos opuestos de un diámetro dos brazos espirales, irregulares, aparentemente constituídos por materia nebular con condensaciones brillantes á intervalos á lo largo de su curso. Muchas de ellas aparecen vistas de perfil, en forma de huso muy alargado, muchas veces cruzado en su mayor longitud por una banda de nebulosidad oscura.

Son extraordinariamente numerosas; el New General Catalogue reunía ya á fines del pasado siglo unas 11.000; hoy se evalúan en 30.000 las accesibles al gigantesco telescopio de Mt. Wilson.

Su reparto en el cielo, parece responder exclusivamente al azar, y su cómputo por magnitudes aparentes demuestra que su número aumenta en proporción al volúmen explorado, es decir, que no hay indicio alguno del límite del Universo que constituye la reunión de estas nebulosas, que es hoy á mi juicio, lo que al hombre se revela con carácter más acusado de Infinito.

Gracias al descubrimiento en la nebulosa espiral de Andromeda (M 31), la de mayores dimensiones aparentes, y en la del Triángulo (M 33), de cierto número de variables Cefeideas, ha sido posible evaluar sus distancias, que alcanzan, una vez tenido prudentemente en cuenta el efecto de la absorción, á las enormes cifras de 680.000 y de 720.000 años de luz respectivamente.

En unas 40 espirales han podido distinguirse estrellas de tipos conocidos y cuyo brillo intrínseco puede conjeturarse; la medida de sus magnitudes aparentes ha conducido a evaluar distancias que rebasan el millón de años de luz, llegando hasta la inconcebible de ocho millones de años de luz.

La observación de más de 100 Novas, con magnitud aparente máxima media de 16,5, conduce á estimar la magnitud absoluta en el paroxismo de la estrella en $-5,7$, valor semejante al que alcanzan las Novas galácticas. De aquí se ha deducido otro modo de evaluar las distancias de las espirales donde son frecuentes las apariciones de Novas. Sin embargo, la repetida observación de Super-Novas de magnitudes absolutas de -12 ó de -15 , hacen sospechosos los resultados de este método.

Existe aún otro, fundado en que los diámetros reales de aquellas espirales cuya distancia es conocida, son comparables entre sí. Estimándolos, pues, todos iguales, la medida del diámetro aparente conduce inmediatamente á la obtención de distancias que llegan á alcanzar centenares de millones de años de luz.

Adviértase, sin embargo, que es muy difícil definir el diámetro de una nebulosa espiral cuyo brillo decrece de una manera muy progresiva á partir del centro, dependiendo en mucho su aprecio por la medida de las imágenes fotográficas, de las condiciones de la observación. Parece que mejores resultados pueden obtenerse partiendo de la medida fotométrica de la magnitud total aparente de la nebulosa, á la que puede, sin gran error, considerarse como de magnitud total absoluta media de $-14,9$, según los estudios hechos en más de 40 de ellas. Las nebulosas más lejanas accesibles á los instrumentos actuales tienen una magnitud total aparente de 21, lo que lleva á estimar sus distancias en más de 300 millones de años de luz.

Todos estos resultados y el reparto de estas formaciones en el cielo, no dejan la menor duda sobre su carácter extragaláctico.

Las dimensiones reales, resultantes de la estimación de sus diámetros aparentes y de las distancias, resultan ser del mismo orden de las de nuestra Galaxia.

La forma de las nebulosas espirales induce á suponerlas animadas de rotación alrededor del eje normal a su plano, lo que, en efecto, fué descubierto, espectroscópicamente, por Wolf y confirmado por Slipher, en aquéllas en las que por presentárseles de perfil, es más apreciable el efecto de Doppler. Las velocidades resultantes son notablemente grandes, pero del mismo orden de 300 kilómetros por segundo que resulta para el Sol en la rotación galáctica.

A valores mucho menores ha llegado Pease en un estudio detenido de la de Andromeda, para la que ha deducido un período de rotación del orden de 20 millones de años, muchísimo menor que el obtenido para la Galaxia en la región vecina al Sol; pero debe de advertirse que las medidas de Pease se han hecho en una región mucho más cercana al centro de lo que lo está el Sol del centro de nuestra Galaxia, siendo pues muy diferentes las condiciones del campo de gravitación en ambos casos.

La aplicación de los resultados obtenidos por Pease á la ley de la gravitación, da una estimación de la masa de la nebulosa de Andromeda contenida en un radio de 650 años de luz, en $2,4 \times 10^8$ veces la del Sol, pudiendo admitirse como valor próximo de su masa total 3×10^9 . Análogos cálculos dan para masas de otras espirales valores más próximos y aún mayores del que para nuestra Galaxia se ha deducido.

Las medidas de las velocidades radiales de estas nebulosas han conducido á resultados sorprendentes; las encontradas por Slipher en unas 40 en 1914, variaban de -300 á $+1800$ kilómetros por segundo; pero si se tiene en cuenta que las escasas nebulosas que han resultado con velocidad negativa, es decir,

que parecen aproximarse, están relativamente cerca del plano galáctico y próximamente en la dirección hacia la que marcha el Sol en su rotación galáctica, resulta que en realidad, todas las espirales parecen apartarse de nuestra Galaxia. En 1924 fué observado que la velocidad de este movimiento era tanto mayor cuanto mayor era la distancia, y Hubble, emitió la hipótesis de una proporcionalidad entre ambas magnitudes que la observación ha confirmado en espirales lejanísimas, gracias á un espectrógrafo especial puesto en servicio por Mt. Wilson y que ha permitido á Humason determinar en unos 170 kilómetros por segundo por millón de años de luz el factor de proporcionalidad de Hubble. La mayor velocidad radial observada es de 42.000 kilómetros por segundo, en una nebulosa de la Osa Mayor distante 235 millones de años de luz.

Parece, pues, como si todo el sistema de espirales se dispersa por el espacio; ha dado esto origen á la famosa teoría de la «Expansión del Universo», discutidísima y lejos de ser generalmente adoptada. El P. Rodés, en su ya citada obra «EL FIRMAMENTO», pone en guardia contra la aplicación imprudente del principio de Doppler-Fizeau, en los siguientes términos: «Si bien es cierto que todo cambio continuo de distancia produce un corrimiento de las rayas espectrales, no lo es que todo corrimiento provenga de un movimiento de aproximación ó alejamiento del foco luminoso, ya que en el mismo influyen, como es sabido, multitud de factores, tales como presión, campo magnético, etc... ¿Puede influir asimismo la mera distancia, si bien su influjo sea tan pequeño que no pueda ponerse de relieve á no ser en el caso de las mayores distancias astronómicas?. Nosotros, «dice», lo creemos muy probable, y la idea al principio tan generalizada de que el corrimiento hacia el rojo es efecto de la velocidad radial, comienza á perder terreno».

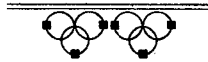
En las nebulosas espirales encontramos las características

propias de nuestra Galaxia. Se encuentran en ellas todos los tipos notables de estrellas por nosotros conocidos, nebulosas gaseosas y una capa ecuatorial de materia absorbente; en las espirales M 31, M 33 y M 101, se han observados enjambres globulares que se destacan como estrellas de diámetro aparente perceptible sobre la estructura espiral y que rodean, sin duda, á ésta, como rodea a nuestra Galaxia el sistema de clusters globulares. Las regiones ricas en estrellas forman una sucesión de nubes que se reparte en un disco aplanado semejante al de la Vía Láctea; mientras las regiones exteriores, más pobres en estrellas donde se encuentran las aglomeraciones globulares, tienen una forma más esférica.

Las semejanzas son suficientes para suponer que, como hoy está generalmente admitido, nuestro sistema galáctico sea una nebulosa espiral. Situados con el Sol en el plano ecuatorial del sistema, no hubiéramos sido nunca capaces de adivinar la estructura espiral, si la Naturaleza no nos hubiera proporcionado imágenes de nuestro Universo con tan generosa prodigalidad.

Formando parte de este incontable ejército de nebulosas espirales, nuestro Universo marcha, sin duda, por el espacio, llevando consigo miles de millones de estrellas girando con velocidad vertiginosa alrededor de un centro común de atracción; como satélite de poca significación de una de esas estrellas que cuenta entre las modestas del vastísimo conjunto, la Tierra, que un día se creyó centro del Universo, no es más considerable de lo que nos parece el grano de arena en el desierto. Causa estupor pensar que el hombre, insignificancia dentro de esa insignificancia, puede con el auxilio del divino destello que es su inteligencia, salvar los abismos que le rodean sin otros puentes que los debilísimos hilos de luz que los astros nos envían.

Ha emprendido la audaz exploración hace apenas ciento sesenta años, primero con el paso inseguro y vacilante de quien sigue un camino desconocido y temeroso; después, cada vez más firme y con ritmo más acelerado, a la luz de maravillosos descubrimientos que su misma empresa estimula; pronto, quizás, llegará a la alta cima que le revele el rumbo exacto a seguir, y por él se lanzará en carrera vertiginosa, ansioso de resolver el enigma de la existencia de los Universos. Parece esto la meta del conocimiento humano, porque, en frase de Sir James Jean, “en el Principio, fué el dedo de Dios agitando el éter...”.



CONTESTACIÓN

DEL EXCELENTÍSIMO SEÑOR

DON JOSÉ MARÍA TORROJA Y MIRET

SEÑORES ACADÉMICOS:

Muy grato hubiera sido para mí seguir el discurso que con tanta justicia hemos aplaudido, mostrándome, punto por punto, de acuerdo con él.

Mas he aquí que sus primeras palabras han de suscitar otras más que las contradigan. Porque comenzó el Almirante Benítez manifestando que nada hay en su “oscura vida” que merezca el galardón que hoy recibe, “como no sea —añadía— la fidelidad con que la ha consagrado al cumplimiento del deber”. ¡Ah! ¿es que este cumplimiento, realizado como él ha sabido hacerlo, no es ya heroico, en el campo de la Ciencia, como en otros muchos? ¿Es banal el hecho de dedicar una vida dilatada al estudio, en el desempeño de los puestos que le han sido confiados, con absoluto desprecio de los halagos de la política y del brillo, que, no sólo no buscó, sino que hubo de abandonar a los pocos días cuando, por disciplina y no sin violencia, se había visto forzado a admitirlos?

Oíd su *curriculum vitae* y así podréis juzgar quién está en lo cierto: si su modestia o mi justicia.

El Excmo. Sr. D. Wenceslao Benítez e Inglott nació en

Las Palmas de Gran Canaria el 30 de abril de 1879, ingresó en la Escuela Naval en 1893 y obtuvo el nombramiento de Oficial el 16 de enero de 1899, habiendo destacado siempre entre sus compañeros de estudio por su inteligencia y laboriosidad.

Sucesivamente tuvo el mando del torpedero número 3, del buque auxiliar de aviación *Dédalo* y del crucero *Reina Victoria Eugenia* y fué Jefe del Estado Mayor de la División de cruceros.

Cursó, entre tanto, los estudios de Ingeniero hidrógrafo.

Entre sus cargos docentes citaremos el de profesor de la Escuela de Guardias Marinas, de la de Aplicación y de la Academia de Ingenieros Hidrógrafos. Desde noviembre de 1929 hasta abril de 1931 fué Director de la Escuela Naval Militar.

El 5 de noviembre de 1933 tomó posesión de la Subsecretaría del Ministerio de Marina, cargo que dimitió el 19 de diciembre del mismo año.

Pero donde sus relevantes dotes de organizador e investigador han tenido más cabal aplicación ha sido en el Instituto y Observatorio de Marina instalados en San Fernando (Cádiz), y del que en 1931, al cesar en el servicio activo de su profesión, fué nombrado Subdirector y, nueve años más tarde, Director, en sustitución del Excmo. Sr. D. León Herrero, que durante muchos lo regentara.

Las múltiples actividades que a este Centro científico están encomendadas se reparten en las tres secciones de Astronomía, Efemérides y Geofísica e instrumentos náuticos. Desde 1927 le está adscrito el Servicio Hidrográfico de la Armada, que así viene a constituir una cuarta sección.

La Sección de Astronomía tiene a su cargo el servicio de hora y la preparación, verificación y reducción de todas las observaciones astronómicas que son posibles con los medios de observación de que actualmente se dispone. Su programa comprende, además de la determinación y conservación de la

hora, que es objeto de señales visuales y radiotelegráficas diarias, la observación sistemática de la latitud y de la longitud, la determinación de movimientos propios de las estrellas en las zonas del Catálogo Astrofotográfico asignadas al Observatorio por acuerdos internacionales, la observación meridiana de planetas y estrellas con fines de posición, la determinación fotográfica de posiciones de estrellas fijas, planetas y cometas y la observación y reducción de ocultaciones de estrellas por la Luna.

En la Sección de Efemérides se calculan las que, como colaboración internacional, fueron asignadas a este Observatorio en el Congreso de París de 1911 y en la reunión que en 1935 celebró la Unión Astronómica Internacional. Tiene, asimismo, a su cargo la redacción y publicación del *Almanaque Náutico* y la predicción de ocultaciones.

La Sección de Geofísica e Instrumentos Náuticos atiende a las observaciones meteorológicas, magnéticas y sísmicas y publica sus resultados en los *Anales* de la misma. Se ocupa también de la adquisición, examen, conservación y reparación de cronómetros, sextantes, agujas magnéticas, correderas mecánicas, taxímetros, relojes, anteojos, gemelos e instrumentos meteorológicos de los buques y dependencias de la Marina de guerra.

La cuarta Sección (Servicio Hidrográfico) tiene a su cargo el grabado, estampación y publicación de cartas y planos hidrográficos y la redacción, impresión y publicación de derroteros, libros de faros y señales marítimas y avisos a los navegantes. La reducción de observaciones de marea y determinación de constantes armónicas, que también corresponde a esta Sección, se halla en estos momentos suspendida por falta de personal.

Momentáneamente, se hallan cerradas las Academias de Ingenieros Hidrógrafos, de Oficiales Hidrógrafos y de Ob-

servadores y Calculadores, que radican asimismo en el Observatorio.

La Academia de Ingenieros Hidrógrafos, que puede considerarse como continuación de la antigua Academia de Ampliación de San Fernando (1885), en la que se formaban también los Ingenieros y Artilleros Navales, tenía distribuídas en tres cursos sus enseñanzas teóricas, completadas con las prácticas que se realizaban en el Observatorio Astronómico y en el buque planero, y en ella desempeñó durante muchos años la cátedra de Astronomía y Geodesia el Almirante Benítez.

Entre la multiplicidad de actividades del Observatorio que hemos enumerado es preciso destacar, por su especial significación e importancia, dos, ya citadas: la de la Carta del Cielo y la del Almanaque Náutico.

La Carta del Cielo, debida a la iniciativa del Almirante Mouchez (1887), constará de 22.000 placas fotográficas, en las que se representarán unos 30.000.000 de estrellas, y de las que se obtendrá un catálogo de las diecisiete primeras magnitudes de éstas. Para tan interesantísimo trabajo se dividió el cielo en dieciocho zonas, por declinaciones, adjudicándose cada una de ellas a un observatorio, habiendo cabido al de Marina de San Fernando el honor de ser uno de los elegidos para esta difícil e importante misión.

El Congreso Internacional de Efemérides, reunido en París en octubre de 1911, acordó que el cálculo de éstas se encargara a cinco observatorios: los de Berlín, Greenwich, París, Washington y San Fernando.

Das Astronomische Rechen Institut, de Berlín; The British Nautical Almanac Office, de Greenwich; Le Bureau des Longitudes, de París, y The American Nautical Almanac Office, de Washington, junto con la Sección de Efemérides del Observatorio de Marina de San Fernando, se reparten esta importante labor, en la que corresponde al último el cálculo de las posiciones medias y aparentes de 396 estrellas no cir-

cumpolares. Además de estos cálculos, y para adaptar a su forma de publicación los elementos facilitados por las Oficinas antes indicadas, así como para la inclusión de algunos otros, calcula la precesión general y nutación en longitud y oblicuidad; las constantes para el cálculo de las posiciones aparentes de las estrellas, previo el de la longitud verdadera del Sol; semidiámetro del mismo y tiempo que emplea en atravesar el meridiano; ecuación de tiempo y semidiámetro a cero horas de tiempo verdadero; elementos para determinar la posición, magnitud y aspecto del anillo de Saturno; tablas para hallar la latitud por alturas observadas de la Polar; azimutes de la misma; coeficientes de las mareas, etc.

Cinco son, por consiguiente, las efemérides que se publican con carácter internacional, a saber:

Astronomisches Jahrbuch, de Berlín.

Nautical Almanac, de Greenwich.

Connaissance du Temps, de París.

Almanaque Náutico, de San Fernando, y

American Ephemeris, de Washington.

La inclusión del observatorio español entre los encargados de misión tan delicada es altamente halagüeña para España y para su Marina, siendo de notar el hecho de que el *Almanaque* de San Fernando es el único que hoy circula por el mundo, ya que los otros cuatro, aunque se redactan, quedan reclusos en sus países respectivos, temeroso cada uno de ellos de que su trabajo pueda favorecer al enemigo. España es, una vez más, el oasis en el incendio que hoy consume tantos valores espirituales y científicos.

Por todo este extenso campo de estudio y de trabajo ha repartido el Almirante Benítez su incansable actividad, dando las directrices para el trabajo, resolviendo las dificultades que en éste se presentan, no sólo las de carácter científico, sino

también las ineludibles, y a las veces insolubles, de la escasez de personal y penuria de recursos.

Y ello un día y otro día y un año y otro año, desde las primeras horas de la mañana hasta las últimas de la noche, realizando aquello que tan modestamente juzgaba él mismo: consagrando su vida entera al cumplimiento del deber.

Y si la labor de toda una vida como la de nuestro compañero, a quien hoy recibimos, fué, a la fecha de su nombramiento, suficiente para otorgarle la medalla académica, no se hace menos patente la justicia de nuestra elección después de haber escuchado el discurso que acaba de leernos y que lo acredita de bien aventajado en el conocimiento del universo estelar, que con tan vivos colores y sólidas razones nos ha hecho admirar y conocer.

Poco más podré decir sobre este tema, y con gusto lo dejaría intacto si un precepto consuetudinario no me obligara a detenerme en él, tratando, siquiera sea por breves instantes, una pequeña parte de su vasto programa. A este efecto he elegido el de las

INVESTIGACIONES TEORICAS SOBRE LAS NEBULOSAS ESTELARES

El número, prácticamente infinito, de elementos que constituyen cada una de las nebulosas hace totalmente imposible el planteamiento de las infinitas ecuaciones que en teoría serían precisas para su estudio.

La solución aproximada del problema se ha logrado partiendo de la idea sugerida por Lord Kelvin a fines del siglo XIX y desarrollada más tarde por Poincaré (1906), de aplicar al estudio de las nebulosas las leyes del movimiento en una masa gaseosa recurriendo a los potentes recursos de la Mecánica estadística, que debe a ello uno de sus éxitos más resonantes.

Conocida es la ecuación de Boltzmann, en la teoría de los gases

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} + w \frac{\partial f}{\partial z} + X \frac{\partial f}{\partial u} + Y \frac{\partial f}{\partial v} + Z \frac{\partial f}{\partial w} = \nabla + \square,$$

en la que X, Y, Z con las componentes de la fuerza y ∇ y \square , los efectos de las conjunciones y escisiones de masas, y los de choques, respectivamente.

En la teoría de los gases desempeñan un importante pa-

pel los choques entre las moléculas de la masa considerada. En cambio, en el estudio dinámico de las nebulosas, las estrellas que los constituyen están sometidas predominantemente a las acciones gravitatorias.

Jeans (1919) ha demostrado que, en una primera aproximación, se puede prescindir de los choques interestelares, limitándose a considerar las fuerzas derivadas de la gravitación universal.

Charlier (1913-17), por su parte, simplifica el problema prescindiendo de las funciones ∇ y \square por su escasa influencia.

Sustituyendo las componentes X, Y y Z, que ahora son las de la gravitación, por sus valores

$$X = \frac{\partial V}{\partial x} \quad Y = \frac{\partial V}{\partial y} \quad Z = \frac{\partial V}{\partial z},$$

la ecuación de Boltzmann tomará la forma

$$\frac{\partial f}{\partial t} + u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} + w \frac{\partial f}{\partial z} + \frac{\partial V}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial u} + \frac{\partial V}{\partial y} \frac{\partial f}{\partial v} + \frac{\partial V}{\partial z} \frac{\partial f}{\partial w} = 0;$$

siendo $f(x, y, z, u, v, w, t)$ la función de frecuencia de velocidades y $V(x, y, z, t)$ el potencial newtoniano.

Jeans demuestra también que el sistema en rotación tiene una forma simétrica con relación al eje de giro y que éste es el eje menor de figura, y entonces la ley de distribución toma la forma $f(E_1, \bar{\omega}_3)$, función solamente de la integral de la energía y de la integral de las áreas

$$\begin{cases} E_1 = u^2 + v^2 + w^2 - 2V \\ \bar{\omega}_3 = xv - yu \end{cases}$$

únicas integrales primeras uniformes del movimiento existentes en este caso.

Nuestro sabio compañero D. Esteban Terradas dió a luz hace treinta años, en la conocida revista *Scientia*, de Milán, un interesante trabajo de investigación sobre el tema "Le problème de la figure d'équilibre d'une masse fluide homogène en rotation", que está citado en la obra de Veronnet sobre figuras de equilibrio de una masa flúida.

Naturalmente, los choques entre las estrellas del sistema dan lugar a perturbaciones en el movimiento de conjunto, pero estas perturbaciones disminuyen al aproximarse la nebulosa a un estado de régimen. Al llegar a él, según las leyes de la Mecánica estadística, se obtiene como forma de la función f la

$$f(E_1, \bar{\omega}_3) = A e^{-2hm(E_1 + \omega \cdot \bar{\omega}_3)}$$

siendo A , h y m tres constantes y ω la velocidad angular de rotación. Sustituyendo aquí los valores de E_1 y $\bar{\omega}_3$ e integrando para todos los valores de u , v y w , desde $-\infty$ a $+\infty$, llegamos a obtener como expresión de la densidad estelar

$$\rho = C e^{2h[V + \frac{1}{2}\omega^2(x^2 + y^2)]}$$

siendo C una nueva constante. Las superficies de igual densidad quedan, pues, definidas por la expresión general

$$V + \frac{1}{2}\omega^2(x^2 + y^2) = \text{constante.}$$

El estudio de las formas de equilibrio de una masa flúida en rotación no es nuevo. Los nombres de Newton, Mac-Laurin, Clairaut, Laplace, Jacobi, Poincaré, Liapounoff, Darwin, Jeans, Roche, etc., son buena prueba de ello, ya que todos estos autores se ocuparon de él.

Los resultados obtenidos hasta hoy en esta interesante cuestión permiten considerar los casos siguientes:

1.º Una masa flúida e incompresible, de densidad uniforme. Las formas de equilibrio son sucesivamente, al aumentar la velocidad de rotación, el elipsoide de revolución (Mac-Laurin), un elipsoide de tres ejes (Jacobi), figuras piriformes de garganta cada vez más acentuada (Poincaré) y, finalmente, la ruptura por excisión.

2.º Una masa fuertemente concentrada alrededor de un punto y rodeada por una atmósfera muy tenue.

La figura de equilibrio es la de una lente biconvexa (Roche), que se achata cada vez más al aumentar ω , hasta llegar a la emisión de materia por el borde ecuatorial.

Estos son los dos casos límites; ni uno ni otro se presentan en la realidad.

Jeans considera un tercer caso, de equilibrio adiabático para una masa gaseosa compresible, sometida a las leyes de los gases perfectos. Admite entre la presión y la densidad la ley $p = C \cdot \rho^\kappa$ y llega a la conclusión de que siempre que sea $\kappa < 2,2$ habrá emisión de materia por el borde ecuatorial. Si $\kappa \geq 2,2$ habrá ruptura.

Consideremos, finalmente, un cuarto caso, que es el de Roche, generalizado. Un núcleo central de grandes dimensiones y densidad uniforme, rodeado de una atmósfera.

Si la razón entre el volumen de la atmósfera y el del núcleo es $\frac{Vol_A}{Vol_N} = 0$ nos hallaremos en el caso de Mac-Laurin-Jacobi-Poincaré; habrá ruptura. Si $\frac{Vol_A}{Vol_N} = \infty$ será el caso de Roche; habrá emisión ecuatorial. Y para valores intermedios, según que sea $\frac{Vol_A}{Vol_N} < \frac{1}{3}$ habrá ruptura o emisión ecuatorial.

En el caso de las nebulosas, se verifica que $\frac{Vol_A}{Vol_N} > \frac{1}{3}$ luego hay en ellas emisión de materia por el borde ecuatorial. Jeans señala, además, que esta emisión de materia es facili-

tada por las mareas producidas por masas próximas, iniciándose de este modo la formación de los brazos de las nebulosas.

Queda así justificado teóricamente el principio de la clasificación de las nebulosas hecha por Hubble y sentadas las bases para una posible teoría de la formación y evolución de las mismas.

Las dificultades que se presentan en su estudio teórico aumentan considerablemente al tratar de explicar la forma en espiral de los brazos de las mismas.

Las teorías que se han dado para explicar la existencia de estos brazos pueden dividirse en dos grupos:

1.º Teorías que los consideran como trayectorias de estrellas constitutivas de la nebulosa en su movimiento originado por la rotación de ésta.

2.º Teorías que consideran los brazos como líneas de condensación de las estrellas lanzadas fuera del núcleo.

Los interesantes trabajos de Jeans, Smart, Lindblad, Armellini, etc., no han llegado hasta el momento presente a resultados definitivos.

LA VÍA LÁCTEA.

Incluído el sistema solar en la Vía Láctea, es ésta, entre todas las nebulosas espirales, aquella cuyo estudio más directamente nos interesa y, por otra parte, la que mejor podemos estudiar.

Como hace un momento habéis oído al Almirante Benítez, nuestra Galaxia está constituida, según múltiples investigaciones, por una serie de superficies de igual densidad estelar formando elipsoides de revolución cada vez más aplanados al alejarse del centro, en el cual existe una fuerte concentración de masas. Nuestro Sol se halla a una distancia de

este centro igual a los $2/3$ del radio y casi en el plano de simetría, ya que su latitud galáctica es sólo de unos minutos.

Por otra parte, las observaciones sobre la distribución estelar y la de velocidades en nuestra Vía Láctea hacen ver que hay grandes diferencias entre la realidad y la teoría anteriormente expuesta. A explicarlas tienden los trabajos de Kapteyn, Lindblad, Oort, Van der Pahlen, Freundlich y otros.

Refiriéndose las determinaciones de movimientos de las estrellas de la Vía Láctea al Sol, es preciso empezar por la determinación del movimiento de éste, que influirá en el de todas las estrellas observadas, traduciéndose en ellas en un movimiento aparente de la misma dirección y magnitud, pero de sentido contrario. De aquí la importancia del primer problema previo: la determinación, lo más exacta que sea posible, de la situación del Apex y de la velocidad del movimiento del Sol acompañado de todo el sistema solar. Este problema fué atacado por primera vez por Herschell (1783) y su solución fué obtenida por Homann (1885); Kempf (1893), Comstock (1913), Wilson (1926 y 1938), Campbell (1928), Mineur (1929), Nordström (1936), Gliese (1940) y Hagemann (1940), llegando a valores ligeramente diferentes, pero próximos a los hoy más generalmente admitidos:

$$\text{Apex} \begin{cases} \alpha = 270^\circ & \delta = 30^\circ \\ \lambda = 23^\circ & \beta = 22^\circ \end{cases} \quad \text{Velocidad} = 19,5 \text{ km./seg.}$$

La mayor dificultad de estas determinaciones reside en el pequeño número de velocidades transversales de estrellas que se conocen. Por otra parte, el hemisferio sur está mucho menos estudiado que el norte, por lo cual los datos conocidos en la actualidad no presentan la homogeneidad debida sobre toda la esfera celeste que un buen estudio estadístico requeriría.

Un resultado inesperado se obtuvo al determinar las características del movimiento del Sol con relación a objetos ce-

lestes de distintas categorías: los resultados obtenidos al tomar como material de trabajo movimientos de estrellas de distinto tipo espectral, estrellas variables, estrellas dobles, nebulosas planetarias, etc., no eran concordantes.

Campbell, Gyllenberg, Lindblad, Malmquist, Wilson, Charlier, Nordström, Pearce, Strömberg, Plaskett y otros astrónomos se han ocupado de este problema.

Nordström llegó a la conclusión de que las estrellas de los tipos A y F presentan un movimiento de conjunto. En las de los tipos G y K se obtienen resultados distintos, según que se consideren estrellas enanas o estrellas gigantes. Strömberg encontró valores distintos para las estrellas P, estrellas O, estrellas dobles, variables, cefeidas, etc. Se hicieron asimismo determinaciones tomando como referencias grupos formados por estrellas con la misma velocidad y también se llegó a resultados distintos.

En estas determinaciones se admitía en un principio que los movimientos estelares dentro de las nebulosas espirales debían presentarse regularmente repartidos en todas direcciones, de modo que la distribución estadística de velocidades debía venir representada por una ley de Maxwell.

Pero ya en 1890 había señalado Kobold el hecho de que esta uniformidad no existía, sino que, por el contrario, había direcciones de movimiento preferentes: las dos corrientes estelares de que nos ha hablado el Almirante Benítez.

Kapteyn (1905), Eddington (1906), Gyllenberg (1915), Charlier (1917-25), Schwarzschild (1907) y otros se han ocupado de esta cuestión.

Schwarzschild ha demostrado que los resultados de las observaciones de Kapteyn podían representarse por una distribución elipsoidal de velocidades de la forma

$$e^{-k^2 u^2 - k^2 v^2 - l^2 w^2}.$$

Adoptó primeramente para esta representación un elipsoide

de dos ejes ($h = k$); pero luego, al amentar el material de observaciones, fué preciso recurrir a un elipsoide de tres ejes. Wilson y Raymond obtuvieron un elipsoide cuyo eje mayor queda dirigido hacia el centro galáctico y el menor es normal al plano de simetría de la galaxia. Es decir, que entre las estrellas próximas al Sol, el número de las que se mueven con una velocidad dada en dirección al centro de la galaxia y en la dirección opuesta es mayor que el de las que se mueven en la dirección perpendicular a ella y paralela al plano de la Vía Láctea; y éste es, a su vez, mayor que el correspondiente a la dirección normal a dicho plano de simetría.

Considerando grupos de estrellas definidos por caracteres físicos o cinemáticos comunes se han obtenido (Wilson, Raymond, Nordström) elipsoides de distribución de velocidades cuyos ejes coinciden sensiblemente, si bien el aplanamiento de estos elipsoides varía, aumentando con la velocidad del grupo de estrellas que se considera.

Esto parece indicar que las estrellas que forman cada uno de estos grupos han de tener un movimiento de conjunto.

En particular, Wilkens (1939), tomando como punto de partida los movimientos transversales de unas 4.500 estrellas de paralajes conocidas (prescinde de las paralajes dinámicas), situadas a distancias comprendidas entre los 60 y los 140 parsecs, obtiene resultados, en parte, discordantes. Llega a una distribución de velocidades análoga a la de Raymond y Wilson, pero la velocidad del Sol es solamente de 9 kilómetros por segundo, o sea un 45 por 100 del valor generalmente admitido, si bien la dirección del movimiento es la misma.

EL EFECTO K.

En una de las determinaciones del movimiento del sistema solar utilizaron Kapteyn y Frost, en 1910, estrellas B situadas en las regiones del Apex y del Anti-Apex, llegando al

sorprendente resultado de que el Sol se aproximaba al Apex con una velocidad de $18,4 \pm 1,4$ kilómetros por segundo, en tanto que se alejaba del Anti-Apex con una velocidad mayor, de $28,4 \pm 1,4$ km/seg. Más tarde, Campbell (1911) comprobó que análogos resultados se obtenían con todas las estrellas de los tipos B y O₁. Este notable fenómeno, que se ha llamado "efecto K", parecía exigir que la media de las velocidades de estas estrellas (corregidas del efecto del movimiento del Sol) no fuera nula, sino de $+ 4$ km/seg.

La interpretación del efecto K es un problema que queda aún por resolver. Las investigaciones de Albrecht aconsejaron abandonar la idea de achacarlo a errores sistemáticos cometidos en la interpretación del "efecto Doppler". Campbell dió una explicación que admitía la existencia de una corriente radial desde la atmósfera de las estrellas hacia el interior de las mismas. Por otra parte, la teoría de la relatividad quiere explicarlo como un efecto de la diferencia de potencial en las distintas capas de las estrellas sobre las rayas espectrales.

Pero todas estas causas, de ser ciertas, no llegarían a dar una explicación completa de los hechos observados, tendiéndose a darla por una interpretación puramente cinemática del efecto K, admitiendo que, realmente, las estrellas B muestran una tendencia a alejarse del Sol con una velocidad de 4 km/seg.

Plaskett (1930) ha comprobado que el efecto disminuye notablemente en las estrellas del hemisferio Norte y magnitud inferior a 5,5. Este hecho desautoriza las tres hipótesis anteriores, ya que, de ser ellas ciertas, los corrimientos que originarían en las rayas espectrales habrían de ser independientes de las distancias que de las estrellas nos separan. Dió, por su parte, una explicación del efecto K admitiendo la existencia de una corriente formada por estrellas B y O del hemisferio Sur, lo que equivale a identificar el efecto dinámico con la componente radial de la corriente de Kapteyn. Esta explica-

ción ha sido rechazada por Smart (1936) y Nordström (1936), que suponen que estos efectos son debidos a alteración de la masa del sistema estelar.

El problema se ha complicado con las investigaciones de Seyfert y Popper (1941), ya que al estudiar estos autores las velocidades radiales de 118 estrellas débiles de la clase B comprobaron la existencia de un término K, negativo, de $-4,4 \pm 1,5$ km/seg.

VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LAS ESTRELLAS CON SU LONGITUD GALÁCTICA.

Al estudiar Gyllenberg (1915) la variación del efecto K con la longitud galáctica de las estrellas, pudo observar que las velocidades radiales de las estrellas B (corregidas de la componente del movimiento del Sol) acusaban una dependencia indudable de dicha longitud. Freundlich, V. der Pahlen (1923), Bermanar (1937), Hayford (1932), Plaskett y Pearce (1933) han obtenido idéntico resultado estudiando estrellas de otros tipos. Oort (1928) formuló para esta dependencia la expresión

$$v_r = k r \operatorname{sen} 2(\lambda - \lambda_0) \quad [1]$$

siendo v_r la velocidad radial, λ la longitud galáctica y k y λ_0 dos constantes; los máximos de esta función corresponden a los valores $\lambda = 10^\circ$ y $\lambda = 190^\circ$.

Oort dedujo teóricamente que esta variación debería apreciarse asimismo en la componente transversal del movimiento de las estrellas, en el sentido de la longitud galáctica. Utilizando las velocidades de 800 estrellas, comprobó que el efecto se presentaba también, pero apareciendo la curva de variación desfasada 45° con relación a la correspondiente a las velocidades radiales

$$v_t = 4,74 r \mu_\lambda$$

siendo

$$\mu_\lambda = \frac{R}{4,74} \cos 2(\lambda - \lambda_0) + \frac{R'}{47,4}$$

de modo que

$$v_t = k r \cos 2(\lambda - \lambda_0) + 4,74 k' r \quad [\text{II}]$$

con máximos en $\lambda = 55^\circ$ y $\lambda = 235^\circ$.

TEORÍA DINÁMICA DE LA VÍA LÁCTEA.

La teoría dinámica de nuestra Galaxia habría de abarcar el estudio de los fenómenos observados, tanto en lo referente a la distribución de las estrellas que la forman como a las propiedades cinemáticas del sistema en conjunto.

Lindblad y Oort, que fueron sus iniciadores, señalaron ya que la Vía Láctea está dotada de un movimiento de rotación alrededor de un eje normal a su plano de simetría.

Para poder determinar la naturaleza de las órbitas descritas por las estrellas del sistema podemos distinguir dos casos límites:

1.º Movimiento de las estrellas sometidas a la atracción de la gran masa concentrada en el núcleo del sistema, suponiendo despreciable la influencia de las masas restantes. El problema sería análogo al de los movimientos en el sistema solar. Las estrellas describirían órbitas keplerianas y sus velocidades disminuirían al aumentar su distancia al centro de rotación.

2.º Movimiento de las estrellas supuesta una distribución uniforme de masas en todo el sistema de la Vía Láctea. En este caso se llegaría a una velocidad angular uniforme

para todas las estrellas, de modo que el sistema entero giraría como un cuerpo sólido.

Evidentemente, la realidad no corresponde a ninguna de estas hipótesis, si bien se encuentra más próxima a la primera.

La teoría de la rotación diferencial de la Galaxia, de Oort y Lindblad, estudia el movimiento de un sistema en el que las estrellas se encuentran dispuestas en capas de igual densidad, formando elipsoides de gran aplanamiento y moviéndose bajo la acción de una fuerza variable con la distancia al centro y debida a la atracción de la gran masa central. Con esta teoría se han explicado, en gran parte, los fenómenos observados.

El Almirante Benítez nos ha indicado las fórmulas que nos dan las componentes radial y tangencial de la velocidad, expresiones que podemos escribir en la forma simplificada

$$v_r = A r \operatorname{sen} 2\alpha \qquad v_t = A r \operatorname{cos} 2\alpha + B \cdot r.$$

Pero estas fórmulas son del mismo tipo que las [I] y [II], es decir, que con esta teoría puede explicarse el fenómeno antes enunciado de la variación de las velocidades estelares con su longitud galáctica.

Para terminar el estudio del problema de la rotación diferencial de la Galaxia falta determinar los valores numéricos de las constantes A, B y λ_0 , que entran en las fórmulas. Para lograrlo, bastará determinar directamente los valores de v_r y v_t para distintos grupos de estrellas y deducir, de las ecuaciones obtenidas, los valores citados, determinación que ha sido efectuada repetidas veces por diversos autores. Como valores medios podemos tomar los siguientes, de Oort:

$$\begin{aligned} A &= 0,0155 \pm 0,0009 \text{ km./seg. ;} & \lambda_0 &= 325^\circ \pm 2^\circ \\ B &= 0,0128 \pm 0,0014 \text{ km./seg. ;} & V &= 285 \text{ km./seg.} \end{aligned}$$

Esta misma teoría nos da a conocer el valor de la distancia R del Sol al centro del sistema

$$R = \frac{V}{A - B} = 10.000 \text{ parsecs,}$$

valor que coincide muy aproximadamente con el determinado por Shapley en su estudio de la constitución de la Vía Láctea.

Análogamente obtenemos como valor de la fuerza k ejercida por la concentración nucleal sobre el Sol, el de

$$k = - 2,5 \times 10^{-6} \text{ dynas.}$$

Conociendo la distancia R , y la fuerza k , podemos determinar el valor de la masa central, que resulta ser de unas 10^{11} veces la masa del Sol, valor muy próximo al encontrado por Lindblad y Oort.

Plaskett y Pearce han hallado valores ligeramente superiores al anterior.

Y, finalmente, como período de revolución del Sol alrededor del centro, se obtiene el valor

$$P = 224 \times 10^6 \text{ años.}$$

La teoría de la rotación diferencial de la Galaxia justifica, además, la asimetría de la distribución de las velocidades.

Lindblad considera el sistema constituido por una serie de elipsoides concéntricos cuyo aplanamiento disminuye con su distancia al centro, que giran todos alrededor de un eje común normal al plano galáctico, con velocidades angulares variables con la distancia. La rotación más rápida es la de las estrellas más próximas al centro, cuyo sistema presenta el máximo aplanamiento. Vistas desde el Sol, las estrellas pertenecientes a distintos elipsoides, más o menos aplanados, formarán corrientes de estrellas con distintas velocidades y en dirección normal a la del centro de la galaxia.

Pasemos ahora a la interpretación de la distribución de

velocidades observada, la cual, como antes supusimos, viene representada por un elipsoide de tres ejes.

La teoría de Lindblad y Oort de la rotación diferencial de la Galaxia nos lleva también, admitiendo un estado de régimen en el sistema, a la existencia de una distribución elipsooidal de velocidades; pero las direcciones de los ejes del elipsoide no coinciden con las obtenidas directamente mediante los estudios estadísticos de los datos de observación, obteniendo un elipsoide de revolución con el eje principal en la dirección del polo galáctico. Ahora bien, si prescindimos de imponer la condición rigurosa de haber alcanzado el sistema su estado de régimen, la coincidencia reaparece; el eje menor coincide con el de rotación y la relación entre los semiejes es

$$\frac{h^2}{k^2} = -\frac{B}{A-B} = 0,45 \quad , \quad \frac{h}{k} = \frac{1}{1,5} ,$$

valor muy próximo al encontrado empíricamente, que es $\frac{1}{1,6}$.

Aunque la teoría de Lindblad y Oort explica la mayor parte de los hechos observados, hay dos que hasta ahora se han resistido. Por una parte, el efecto K y, por otra, la existencia en la Vía Láctea de zonas en las que apenas existen estrellas, en tanto que otras presentan concentraciones de gran densidad. La rotación de la Vía Láctea parece debía de haber suprimido estas diferencias, cuya persistencia no se ha logrado explicar.

TEORÍA DE VAN DER PAHLEN Y FREUNDLICH.

No es la teoría de Lindblad y Oort la única que intenta explicar los fenómenos observados en nuestra Vía Láctea.

Van der Pahlen y Freundlich (1928) han abordado el problema desde un punto de vista distinto, logrando explicar además los dos hechos ante los que la teoría de la rotación

diferencial ha fracasado: el efecto K y la distribución asimétrica de estrellas.

Suponen primeramente a las estrellas B circunscritas a nuestro sistema local y, en cuanto a sus movimientos, admiten que las estrellas, bajo la acción de la gran concentración en el centro del sistema, recorren órbitas elípticas muy excéntricas y con arreglo a la ley de las áreas. Al recorrer sus órbitas, las estrellas, pasando del punto más próximo al centro (perigaláctico) al más lejano (apogaláctico), se reúnen, ya que, según la ley de las áreas, la velocidad de las más adelantadas es, en este trayecto, menor que la de las más atrasadas. Lo contrario ocurrirá en la otra mitad de la órbita. Esta consideración daría lugar a concentraciones y dispersiones de determinados grupos de estrellas, que aparecerían así irregularmente distribuidas.

Si admitimos que, actualmente, el grupo de las estrellas B recorre su órbita aproximándose al apogaláctico, quedaría explicado el efecto K.

Los recientes avances de la dinámica estelar parecen dar solución al problema dinámico de nuestra Galaxia; esperemos que, en fecha breve, se confirme tal esperanza.

LA VELOCIDAD RADIAL DE LAS NEBULOSAS ESPIRALES.

Nos acaba de decir el Almirante Benítez que las primeras determinaciones de velocidades radiales de nebulosas extragalácticas, efectuadas por Slipher en 1914, estudiando el corrimiento de las rayas espectrales según la interpretación dada por el efecto Doppler, acusaron velocidades considerablemente superiores a las obtenidas para los restantes cuerpos celestes.

Humason extendió las investigaciones de Slipher, llegando, con el telescopio de 100 pulgadas de Mount Wilson, y posteriormente con el espectrógrafo Rayton, a la obtención de no-

tables resultados; consiguiendo en 1935 fotografiar una nebulosa de magnitud 18, cuya velocidad resultó ser la octava parte de la velocidad de la luz, habiendo sido preciso, para alcanzar este impresionante resultado, exposiciones hasta de cien horas. Esperemos verlos ampliamente rebasados por los que se obtengan, en fecha próxima, con el refractor que se está ultimando para el Observatorio, también americano, de Monte Palomar.

Esta clase de determinaciones presenta siempre grandes dificultades por la poca luminosidad de los espectros. El hecho de que las mayores velocidades medidas correspondan a nebulosas elípticas puede explicarse por el hecho de presentar éstas un denso núcleo central que facilita la observación, que no es posible para nebulosas de otros tipos situadas a aquella distancia.

Las velocidades indicadas se han utilizado para obtener, por el mismo procedimiento aplicado a las estrellas de la Vía Láctea con relación al Sol, el movimiento de traslación de nuestra Galaxia, teniendo en cuenta que los movimientos obtenidos directamente de los datos de observación son resultante de los movimientos del Sol en la Vía Láctea y de ésta con relación a las nebulosas consideradas. Determinaciones de esta naturaleza han sido hechas por Wirtz (1927), Hubble (1929) y Strömberg (1926). Este último, utilizando los datos de 44 nebulosas, encontró como coordenadas del Apex y velocidad de nuestra Galaxia los valores siguientes:

$$\lambda = 59^\circ \quad ; \quad \beta = 10^\circ \quad ; \quad V = 60 \text{ km./seg.}$$

Pero, aparte de la mayor magnitud de estas velocidades, se encontró una propiedad notable, cuya interpretación ha dado lugar a profundas investigaciones y sugestivas teorías.

Slipher observó que la casi totalidad de las 50 velocidades

que había calculado en 1925 correspondía a movimientos de alejamiento.

El enigma se hace aún más oscuro al considerar la dependencia en que la velocidad radial se halla respecto de la distancia que de ella nos separa. Representando por V la velocidad radial en kilómetros por segundo y por D la distancia expresada en megaparsecs, se verifica la ecuación

$$V = 600 D \quad \text{[III]}$$

expresión a la que se ha dado el nombre de “ecuación de velocidad”. Hubble adopta el valor $V = 560 D$.

Este hecho sorprendente, de que todas las nebulosas parecían alejarse de nosotros, podría explicarse admitiendo que nuestra Galaxia constituyera para ellas un centro de repulsión; pero pareció más lógico considerarla como uno de tantos sistemas que tomaban parte en aquel movimiento de alejamiento, constituyéndose así la base de la teoría de la “expansión del universo”, formulada por el abate Lemaître, según la cual el radio del universo aumenta constantemente; hecho supuesto ya por De Sitter (1917) como una propiedad inherente al universo relativista, en contraposición con el universo estático de Einstein, cuya imposibilidad quedaba así demostrada.

Naturalmente, la teoría de la expansión del universo ha tenido sus detractores. Opinan unos que el corrimiento hacia el rojo de las rayas espectrales podía ser debido a otras causas distintas del efecto Doppler; el efecto Compton, el efecto Zwicky, la transformación de materia en energía, etc., podían producir análogas desviaciones.

Por otra parte, investigaciones posteriores han demostrado que la ecuación de velocidad [III] no subsiste para nebulosas muy alejadas ni para los enjambres de nebulosas, sino que en estos casos el cociente $\frac{V}{D}$ disminuye al aumentar la dis-

tancia D , siendo $\frac{V}{D} = 400$ para los enjambres de nebulosas.

Este hecho hizo pensar en sustituir la citada ecuación por la

$$V = 513 + 4,98 D - 0,0025 D^2$$

adoptada en 1932 por la Unión Astronómica Internacional, en la que la distancia D viene medida en millones de años de luz.

La interpretación de la desviación de las rayas en el espectro de las nebulosas es, pues, un curioso fenómeno cuya explicación no se ha logrado todavía y que presenta, al lado de las mayores dificultades de investigación, el máximo interés científico por hallarse íntimamente ligado con las hipótesis cosmogónicas, con intercambios de masa y energía y con las ideas sobre la configuración y estructura del Universo.

Comenzaba yo esta tarde mis palabras disintiendo de una apreciación que la modestia sugirió a nuestro nuevo compañero.

Pero, llegando a este punto, he de asentir a otra, dictada también por la misma bella cualidad.

Cree que la Academia, al elegirle, ha querido honrar a la Marina española, llamando a uno de sus miembros a formar parte de ella. Y he aquí que en este punto estamos de acuerdo; porque los méritos personales —bien notorios— del Almirante Benítez, unidos a los colectivos de la Entidad a que pertenece, han hecho del día de hoy uno de los más gratos para esta Casa.

Los nombres de los Brigadieres de la Armada Chacón y Orts, Sánchez Cerquero y Márquez y Roco; del Capitán de Navío Moreno Miranda, y de los Generales de Ingenieros Nava y Caveda y Fernández Bastos, fallecido el último hace ya tres lustros, son, no obstante el mérito personal de cada uno de ellos, escasa representación de la Marina en un siglo de existencia de nuestra Corporación; quizá sea ello efecto del individualismo que nuestra raza ha padecido siempre, no sólo en las personas, sino también en las colectividades, y que no tiene en cuenta que el valor de la conjunción de éstas, como

de la de aquéllas, no es la suma, sino el producto de los valores de sus componentes y que, por ello, es del mayor interés la colaboración de las que, por su especial significado, se complementan.

No porque sea preciso refrescar vuestra memoria, sino sólo para que en el folleto que ha de recordar la solemnidad que ahora celebramos quede de ello la debida constancia, voy a señalar brevemente algunos de los jalones de la historia científica de la Marina española, comenzando por la labor de sus precursores.

* * *

Como si hubiera presentido su destino de descubridora de un mundo, España parece que a serlo se preparaba desde remotos tiempos.

Ya en el siglo XIII poseía las dos únicas escuelas de náutica que en Europa —y, por tanto, en el mundo— existían: la de la Cofradía de Mareantes de Sevilla y la de la Cofradía de Pilotos Vizcaínos, instalada en Cádiz.

Recientemente se ha demostrado que el origen de la Cartografía medioeval, atribuído hasta hace poco a catalanes e italianos, se debe a los mallorquines. Uno de éstos, Raimundo Lulio, es el primero que aplica la Geometría a la navegación de estima y en su “árbol cuestiona” habla de “cartas” (geográficas) y dice que los navegantes tienen “su instrumento”, “su compás” y su “aguja” (brújula) y cita la “estrella del mar”.

Hacia la misma época, nuestro Alfonso X el Sabio publica sus *Tablas alfonsinas* y los *Libros del Saber de Astronomía*, espléndidamente editados éstos por nuestra Academia (1863-69), reuniendo un cuerpo de doctrina que, en lo que a la Cosmografía y Navegación se refiere —como en otras mu-

chas ciencias—, es punto de arranque para cuanto en varios siglos hubo de saberse.

Colón, el español adoptante —no adoptivo—, descubre en 1492 las variaciones de la declinación magnética, que hasta él habían pasado ignoradas.

Martín Fernández de Enciso da a luz (1519) en Sevilla la *Suma de Geografía*, “que trata de todas las partidas et prouincias del Mundo: en especial de las Indias. et trata largamête del arte del marear; juntamête con la esphera en româce: con el regimiêto del Sol et del Norte; nueuamête hecha”, obra que constituye el primer tratado de Geografía de la Tierra por entonces conocida.

El portugués, al servicio de España, Francisco Falero publica en 1535, también en Sevilla, un *Tratado del Esphera y del Arte de marear*, “con el regimiêto de las alturas: con algunas reglas nueuamente escritas muy necessarias”, en el que habla ya de los distintos valores de la desviación de la brújula en los diferentes lugares de la Tierra, y propone, para evitar los errores a que puede dar lugar en la navegación, algunos razonables y curiosos procedimientos.

Pedro Medina escribió su *Arte de nauegar*, publicado por vez primera en Valladolid el año 1545, con dos errores inexplicables: el de defender la bondad de las cartas planas, criticadas ya por Enciso, y el de dudar y casi negar la existencia de las variaciones de la declinación magnética, reconocidas explícitamente por Falero.

Pocos años transcurrieron hasta que Martín Cortés dió a luz en Sevilla, el año 1551, su *Breue compendio de la Sphera y de la Arte d' nauegar*, en que enseña a construir las cartas, y para explicar las anomalías de la aguja imagina la existencia de un punto, distinto del polo terrestre y situado “fuera de todos los cielos contenidos baxo del primer móbile...”, en el que reside una “virtud attractiua que attrae assi el fierro tocado cô la parte d' la piedra ymâ”, curiosa adivinación de

la teoría del magnetismo terrestre, cuya primera carta había sido trazada el año anterior por Morales.

Por la misma época floreció en Portugal —el otro España— Pedro Núñez, el primero que expuso la teoría de las líneas loxodrómicas y que dió a la navegación su fundamento matemático, cerrando con ello, durante más de un siglo, la brillante pléyade de los hispanos en cuyas obras, traducidas a todos los idiomas, aprendieron a navegar cuantos surcaban los océanos.

* * *

Tras cuatro siglos de hegemonía absoluta, España deja transcurrir el siglo XVII sin hacer a la ciencia náutica aportación alguna definitiva. Las obras de Andrés de Poza, Diego García de Palacios, Pedro de Syria, Andrés García de Céspedes, Antonio de Nájera, Lázaro de Flores y Antonio de Gaztañeta constituyen modestos cauces por los que sigue discurriendo el saber de los precursores.

Pero este adormecimiento del genio náutico de nuestra Patria no era, en manera alguna, agotamiento, sino breve descanso para surgir de nuevo con el brillo potente que le dieron dos jóvenes adolescentes, cuya fama llenó pronto los ámbitos de ambos mundos e hizo a éstos admirar el nombre de España y de su Marina de guerra, a la que pertenecían.

Para presentar su obra, recordemos el marco en que hubo de desarrollarse.

El problema de la forma y dimensiones de la Tierra ha preocupado al hombre desde la más remota antigüedad. Túvola primero por inmensa llanura cuyos límites se perdían en las sombras de la noche. Según Aristóteles, fué Parménides el primero que demostró su redondez. Y sobre esta idea de la redondez hubieron de operar durante más de veinte siglos las cábalas del vulgo y los métodos, más o menos científicos, de

los que luego se llamaron geodestas. Los resultados dispares de sus mediciones continuaron, siempre dudosos y contradictorios, hasta que Luis XIV y la Real Academia de París encargaron a Piccard el estudio del problema. Midió un arco de meridiano, entre París y Amiens, para de él sacar el valor del radio de la Tierra, a la que, como todos los que hasta entonces se habían ocupado de ella, suponía esférica. Pero los Cassini, padre e hijo, efectuaron idéntica operación y obtuvieron resultados no concordantes con los de aquél. Surgió la duda sobre la citada esfericidad, confirmada por los resultados de las observaciones del péndulo, que no batía con el mismo intervalo en París y Cayena, como pudo notar Richard.

Por otra parte, Newton, en su obra cumbre, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, obtenía, entre otras consecuencias de su Ley de la Gravitación Universal, la de que la forma de nuestro planeta debía ser la de un elipsoide de revolución achatado por los polos. Cassini, por el contrario, la suponía alargada en la dirección de su eje de rotación.

¿Cuál sería, entonces, la forma de nuestro planeta? Largas y enconadas fueron las discusiones sobre este punto. Para resolverlo de modo seguro, Godin propuso la medición de dos arcos de meridiano, uno en Finlandia, que verificaron Clairaut y Maupertuis, y otro en el Ecuador, que había de efectuarse en Quito, y de la que se encargó al propio Godin, con La Condamine y Bouger.

Tratándose de territorio de soberanía española, a nuestro Rey Felipe V hubo de dirigirse el soberano francés en demanda del oportuno permiso. Otorgólo de buena gana aquél, previo informe del Consejo de Indias, y quiso tener también, *con sus caudales y trabajos, toda la parte en tan grande obra, que bastase a asegurar su execución contra los peligros de la guerra, y contra las contingencias de mar y tierra; y que al mismo tiempo fuese un solemne testimonio de su consideración por la Francia y por la Academia: que a este fin quería destinar*

dos de sus más hábiles oficiales, que acompañasen y ayudasen a los académicos franceses en todas las operaciones de la medida, no sólo para que así pudiese hacerse con mayor facilidad y brevedad, sino también para que pudiesen suplir la falta de cualquier académico, o de todos, temible en tantas navegaciones, y diferencias de climas, y para continuar, y aun hacer enteramente ellos solos, en caso necesario, la medida proyectada, para dar después cuenta de ella a la Academia Real. Me he detenido en la copia del Decreto por la importancia que su concepto tuvo en las operaciones de la medida del meridiano y por mostrar la confianza que el Monarca depositaba en los, incógnitos aún, geodestas españoles.

Veamos los elementos con que Felipe V podía contar en aquella ocasión para la realización de proyecto de tanta envergadura.

Corría el año de 1734, y la Matemática de nuestra Patria se hallaba repartida entre la Escuela de Artillería de Cádiz, el Colegio de San Telmo, de Sevilla, y la Universidad de Valencia. Desaparecida con la Casa de Austria nuestra Marina de guerra, quiso el Cardenal Alberoni restablecer sus enseñanzas, implantando la Real Compañía de Caballeros Guardias Marinas, instalada en 1717 en el castillo de Cádiz, donde más tarde se albergó un observatorio astronómico, en el que se hicieron célebres Tofiño, Churruca, Ciscar, Espinosa y Bauzá, así como una rica biblioteca y una excelente imprenta.

Con tales elementos pronto se colocó la nueva Escuela a la cabeza de los centros científicos de España. Nada de particular tuvo, pues, que Felipe V y su ministro Patiño acudieran a ella como cantera de los futuros geodestas, compañeros de los académicos de París. Pero no deja de ser curioso que los elegidos no lo fueran, como parecía lógico, entre los profesores, sino entre los alumnos. Fueron designados primeramente los guardias marinas D. Jorge Juan y Santacilia y D. José García del Postigo; pero como el último se hallaba

embarcado en lejanas tierras y había de tardar, fué sustituido por D. Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral. Tenían estos muchachos veintiuno y diecinueve años, respectivamente, y hubo que ascenderles cuatro grados, hasta Tenientes de Navío, para que la prestancia exterior pudiera ampararles hasta que su talento y su carácter les encumbraran a la altura que luego supieron conquistar.

Se les dió también una instrucción reservada ordenándoles que: *Además de las observaciones que quedan expresadas y de las que, en compañía de los académicos franceses deben practicar, ejecutarán en particular todas aquellas otras que les parezcan consecuentes y que puedan ser útiles para perfeccionar la Geografía y Navegación... y que hiciesen de común acuerdo con los franceses, y guardando con ellos la mayor atención y buena armonía, todas las observaciones astronómicas necesarias para la medida de los grados, apuntando cuanto se executase por todos, por si acaso fuese menester; ... que en caso necesario, supliese el lugar y veces de cualquier Académico que faltase o muriese; ... que aun quando faltasen todos los Académicos, concluyesen ellos la obra de la medida, si quedase empezada, y si fuese menester la hiciesen por sí solos toda entera con los instrumentos que llevaban y los demás que se les habían de remitir. Y al nombrarles se les repetía que habían de desempeñar su misión para que con la mayor gloria, reputación y utilidad, concurriesen a las observaciones que se habían de practicar y el fruto de esta obra pudiese esperarse directamente de ellos mismos, sin mendigarlos de ajena mano.*

Perdonad lo largo de la cita, pero ella os demostrará la confianza que en los jóvenes guardias marinas ponía España y que ellos supieron merecer largamente en éste y en otros no menores empeños.

Desarrolláronse, entre 1737 y 1744, los minuciosos trabajos de medición de bases, triangulaciones y determinación de

la diferencia de latitudes de los extremos del arco de meridiano; los resultados obtenidos por los operadores españoles y franceses, fueron concordantes; pero, comprobados muy recientemente (1899-1906) todos los cálculos por una comisión del Servicio Geográfico del Ejército francés, con los modernos métodos y aparatos de que hoy dispone la Ciencia, tan superiores a los de hace dos siglos, se comprobó que de los cinco valores obtenidos por los miembros de aquella comisión, el más exacto era el de nuestro Jorge Juan.

Terminada su misión, y después de largos y accidentados viajes, en los cuales no dejaron de desempeñar otras comisiones no geodésicas, pero no menos delicadas, y de haber sido agasajados en las Academias de Londres y de París, llegaron ambos a Madrid en el verano de 1746, y, lejos de recibir análogas demostraciones de consideración en su Patria, donde más las hubieran agradecido..., fueron recibidos fríamente por ella. No obstante, el Marqués de la Ensenada los ascendió a Capitanes de Fragata y ordenó la impresión de sus memorias. La de Juan se hizo a todo lujo, con tipos nuevos y papel especial, en 1748. Cuatro tomos análogos formaron la de Ulloa, los dos primeros de carácter científico, y los restantes, con los viajes por varios países de Europa que le ordenó el primer Ministro; por cierto que en uno de ellos habla de la *Platina*, que no es otra cosa que el metal, entonces despreciado, y que al valorizarse cambió de sexo, y en lugar de considerarlo, como era corriente hasta entonces, como impureza que acompañaba al oro, dijo era *metal propio, que tenía sus minas propias*.

La importancia de estas obras fué tan universalmente reconocida, que la de Juan se publicó por la Academia de París, y la de Ulloa por la de Londres.

A partir de este momento, Ulloa, sólidamente preparado por sus profundos conocimientos científicos y por su talento y simpatía, visita el puerto militar de Tolón y el Canal del Lan-

guedoc, recluta en Francia relojeros y tintoreros; visita hospitales y asilos; envía desde Holanda cáñamo, terciopelo, papel y lacre y visita su red de canales; traba amistad con Federico V de Dinamarca, Adolfo Federico II de Suecia y Federico el Grande, de Prusia, de los que recibe especiales muestras de consideración, y regresa a España en 1751, aportando un sinnúmero de noticias e ideas que habían de ser muy útiles para su desarrollo en aquella época.

Director de una mina de azogue en Guancavélica, en Perú (1758), Almirante de las Escuadras, fué el introductor en España de los estudios de electricidad y magnetismo, el que hizo visible la circulación de la sangre en los peces, proyectó el Canal de Castilla, dió la pauta para el mapa nacional, fundó el Museo de Historia Natural de Madrid y propugnó el desarme naval, adelantándose en dos siglos, ya que no en eficacia, a tantas modernas y utópicas iniciativas.

En sus largos viajes por Europa, se ocupó también Ulloa, por encargo de Ensenada, de estudiar el funcionamiento de la Academia Nacional que en París había fundado Colbert, y de la *Royal Society*, de Londres, de la que, desde cinco años antes, era *fellow*, con objeto de preparar en Madrid la creación de una *Academia Real de Ciencias*, cuyos estatutos fueron redactados, pero que no llegó a constituirse por la caída de aquel Ministro. La que, con menor categoría, pero estimable eficacia, se constituyó en Cádiz, en la casa de Jorge Juan, que la presidió, fué la *Asamblea Amistosa Literaria*; sobre cuyo funcionamiento, así como sobre los antecedentes de la *non nata* Academia Madrileña, puede verse curiosa noticia en un trabajo publicado recientemente por Guillén en la Revista de nuestra Corporación.

Jorge Juan, por su parte, no tuvo vida menos fecunda.

Nombrado en 1751 Capitán de la Compañía de Guardias Marinas, publicó, seis años después, su magnífico *Compendio de Navegación*, en el que dió a estas disciplinas un aspecto

científico, de que antes carecían. Detalló la construcción y uso de las cartas planas y esféricas, poniendo en evidencia algunos errores que se cometían al trazar las líneas de rumbos. Expuso asimismo las inexactitudes que los navegantes de la época cometían en el uso de la *mediana paralela o latitud media*, probando que la diferencia en longitud deducida por él era siempre menor que la verdadera, con error no siempre despreciable, explicando luego la determinación exacta de la diferencia de longitud por el *método de las partes meridionales* y por el teorema de Halley. Explica el método que practicaban los marinos de su época para reducir las derrotas compuestas a simples, demostrando que, en general, es erróneo, pudiendo llegar la diferencia con el valor verdadero hasta 20' en la navegación de un día. Asimismo hace ver que el que servía para determinar la alteración producida por las corrientes del mar daba errores hasta de 4° 21' en la derrota de sólo cinco días. Hace también un detenido estudio del octante de reflexión, ideado pocos años antes por Halley, y que los constructores ingleses fabricaban torpemente.

Más tarde se entrega a los estudios de la arquitectura naval, limitada entonces a un sabio empirismo. Huygens, Bernouilli, Newton, Euler y los contemporáneos de Juan, Bouguer (1727) y Mac Laurin (1742), habían desarrollado interesantes teorías, pero —como gráficamente dice D. Julio Guillén, de cuya interesante y sugestiva obra *Los Tenientes de Navío Jorge Juan y Santacilia y Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral y la medición del meridiano* (Madrid, 1936), he tomado muchos de estos datos— ni poseían la práctica necesaria, *ni sabían lo que pedía la mar*. El más preparado para llenar esta laguna era, sin duda, Jorge Juan, el *Sabio español*, como ya por entonces se le llamaba, que en América había luchado ventajosamente con las dificultades que en este difícil arte se presentan. Convencido de ello, Ensenada le envió a Inglaterra con encargo de traer de allí cuantos elementos de

todo género pudiera reunir para la implantación de los astilleros cuyo proyecto acariciaba hacía tiempo.

Nada tenía de fácil la empresa, ya que Inglaterra era muy celosa de los suyos y no veía con buenos ojos los ambiciosos planes del ministro de Felipe V. Oculto bajo nombre inglés, comenzó Jorge Juan a introducirse en los astilleros y a reclutar en ellos los elementos que consideraba más útiles. Entre tanto, remitía a España fórmulas para el lacre, matrices de imprenta, relojes para la colección del Rey, modos de empa-car el azogue, máquinas para limpiar fondos, blanqueo de la cera, bomba de fuego (vapor) para elevar agua, fabricación de paños —que por cierto se hilaban con lanas españolas—, libros e instrumentos científicos, etc. Entre tanto, iban saliendo para España los ingenieros, los maestros y obreros que reclutaba, hasta que una de las expediciones fué descubierta y presos todos sus componentes. Jorge Juan hubo de cambiar de nombre y de domicilio, pero no se arredró por este contra-tiempo, ni abandonó su empeño. Descubierta nuevamente, hubo de abandonar ya Inglaterra, disfrazado, y regresó a España, donde se puso a la cabeza de los elementos que había enviado por delante, para dedicarse de lleno al vastísimo campo que es hoy la ciencia del buque, sobre la que escribió su *Examen marítimo*, que fué traducido inmediatamente al francés por Levêque, y se extendió por toda Europa.

Propuso a Carlos III la creación —pronto realizada— de los Observatorios Astronómicos de Madrid y San Fernando, y presentó un estudiado proyecto de Mapa Nacional de la Península, con su correspondiente triangulación y medidas de una base central, que fué aprobado, si bien su realización quedó por entonces aplazada por la dificultad de disponer de personal adecuado y del necesario material científico.

Siguió desempeñando diversas comisiones, incluso una embajada cerca del Sultán de Marruecos, de quien consiguió la

cesión del territorio de Ifni, y entregó su alma a Dios el 21 de junio de 1773.

De propósito me he detenido en la obra ingente de estos dos marinos, que durante muchos años pasearon en triunfo por ambos mundos el nombre de su Patria. El impulso que ellos habían dado fué seguido por otros muchos, que descollaron en diversas ramas de la Ciencia y de la Técnica.

Limitándome, por no abusar más de vuestra benévola atención, a los que dedicaron su actividad a la Astronomía y ciencias afines, recordaré los nombres del almirante D. Vicente Tofiño y Vanderwalle (1732-1705), que sustituyó a Godín en la dirección de la Compañía de los Guardias Marinas de Cádiz y dirigió asimismo el Observatorio de Marina de San Fernando, en el que desarrolló notables trabajos de organización e investigación, muchos de los cuales continuó en sus largos viajes y campañas, dando cima a su notable *Atlas marítimo de España e islas adyacentes* (1785-1788), en el que no se sabe qué admirar más, si la exactitud de sus datos o la finura con que están grabados, bajo su inmediata dirección, por artistas y métodos que seleccionó cuidadosamente.

En muchos de sus trabajos, y desde luego en el últimamente citado, intervinieron sus constantes y eficaces colaboradores D. José Varela y Ulloa (1739-1794), quien aprovechó sus largos viajes por todos los mares para hacer determinaciones de longitud y latitud de las islas de Fernando Poo y Annobón, de las que tomó posesión en nombre de España, de las de Santo Tomé y Príncipe y de otros muchos puntos de ambos hemisferios, y D. José de Espinosa y Tello (1763-1815), que se encargó de la costa cantábrica desde Fuenterrabía al Ferrol, preparó la famosa expedición de Malaspina, tomando parte en ella en su segunda etapa y desempeñando más tarde la jefatura de la Dirección de Hidrografía hasta su muerte.

Asimismo fué auxiliar de Tofiño y expedicionario con Malaspina D. Dionisio Alcalá Galiano (1760-1805), descubri-

dor, más tarde, de la falsedad del mito del Estrecho de Fuca, que se suponía unir el Atlántico con el Pacífico por el norte del Continente americano, último descubrimiento geográfico de importancia mundial que a España se debe.

No sería justo omitir aquí el nombre del virtuoso sacerdote y teniente de Artillería D. Cipriano Vimercati, sucesor de Tofiño en la dirección de las tres Academias de Guardias Marinas de Cádiz, Ferrol y Cartagena (1789) y autor de notables estudios sobre Astronomía y Arquitectura naval.

El héroe de Trafalgar, D. Cosme Churruca y Elorza (1761-1805), tomó parte en la expedición al Estrecho de Magallanes, realizando sus trabajos astronómicos y geográficos (1788-1790). Después de una corta estancia en el Observatorio de San Fernando, se encargó de los trabajos hidrográficos de las costas del Seno Mejicano (1792-1794), si bien no pudo terminarlos a causa de la guerra con Francia, que no impidió que, simultaneando los trabajos científicos con los bélicos, fijara muchos puntos de las islas de Cuba, Puerto Rico, Santo Domingo e islas de Barlovento, levantara las cartas de Puerto Rico y Caribes y observara el paso de Aldebarán por el disco de la Luna, operación mediante la cual rectificó la longitud de aquélla y enlazó sus trabajos de América con los que había realizado en Europa. En París visitó el Observatorio Astronómico, Depósito Hidrográfico y otros centros científicos, recibiendo todo género de distinciones de los sabios franceses y un sable de honor del cónsul Bonaparte. El *Almanaque Náutico de San Fernando* de 1804 publica dos magistrales memorias suyas.

No es menos interesante que las anteriores la figura del almirante D. Gabriel Ciscar y Ciscar (1769-1829), director de la Compañía de Caballeros Cadetes de Cartagena, colaborador del *Bureau International des Poids et Mesures*, de París (1805); a su regreso determinó la longitud del péndulo simple que bate segundos en Madrid. Antes había publicado su

Examen marítimo adicionado, reedición del de Jorge Juan, en el que había corregido algunas deficiencias notadas al explicarlo a sus discípulos.

El Alzamiento de 1808 contra los franceses le encontró desempeñando el puesto de capitán interino de la citada Compañía; los nombramientos de individuo de la Junta de Gobierno, secretario del Consejo Supremo de Guerra y Marina y gobernador militar y político de Cartagena le fueron apartando de los trabajos científicos, en los que tanto había descollado ya y sobre los que publicó buen número de obras de subido valor, especialmente sobre Matemáticas, Cosmografía y Pesas y Medidas. Dos veces Regente del Reino, acabó sus días en Gibraltar, donde los vaivenes políticos le obligaron a refugiarse.

Primer maestro de la Compañía de Guardias Marinas de Cartagena y numerario de nuestra Real Academia fué don José Sánchez Cerquero (1798-1858), quien ocupó (1826) la Dirección del Observatorio de Marina de San Fernando, cuyos métodos e instalaciones hubo de mejorar con la experiencia adquirida en sus viajes por Francia, Inglaterra y Bélgica.

A su sucesor en la Dirección del Observatorio, D. Saturnino Montojo y Díaz (1796-1856), se debe una bien estudiada reforma de su *Almanaque*.

La Dirección del citado Centro fué desempeñada, sucesivamente, por otras figuras destacadas de la ciencia: D. Francisco de P. Márquez y Roco (desde 1857 a 1869), que también figuró en nuestras listas de Numerarios; D. Cecilio Pujazón y García, nuestro académico corresponsal, y los contemporáneos D. Juan Bautista Viniegra, D. Miguel García Villar, D. Tomás Azcárate y D. León Herrero, a cuya jubilación, como antes dije, fué nombrado el nuevo académico.

En la relación de nombres que acabáis de oír y que por orden cronológico, jalonan la historia científica de la Marina española, habréis supuesto quizá una omisión inexplicable; pero no fué tal, sino el deliberado propósito de que el capitán de

Fragata D. Martín Fernández de Navarrete aparezca en el lugar destacado a que tiene derecho, no sólo como investigador y publicista naval, sino como trabajador incansable que, dentro y fuera de España, en Academias, revistas y Congresos, hizo que el nombre de nuestra Patria quedase a la altura que merece.

Don Martín Fernández de Navarrete (1765-1844) obtuvo a los quince años el título de Guardia Marina, tomó parte en tres combates con la escuadra inglesa, y en 1786 Ciscar lo llevó de ayudante a la Academia de Cartagena, donde su fama de investigador en las más variadas disciplinas traspuso pronto los ámbitos docentes y le elevó, a los veintiséis años, a numerario de las Reales Academias Española y de Bellas Artes de San Fernando. Secretario de Despacho de Marina en 1795, director del Depósito Hidrográfico dos años más tarde, ingresó el 1802 en la Real Academia de la Historia, leyendo en el acto de su recepción un magnífico "Discurso histórico sobre los progresos que ha hecho en España el arte de navegar". Consiliario de la de Bellas Artes el 1824 y director de la de la Historia el siguiente año, dió comienzo a su obra más notable: *La colección de los viajes y descubrimientos que hicieron por mar los españoles desde fines del siglo XV, con varios documentos inéditos convenientes a la historia de la Marina castellana y de los establecimientos españoles en Indias*, obra a la que Humbolt calificó como "uno de los monumentos históricos más importantes". En otros terrenos, Navarrete desarrolló incansable actividad: fué el primer biógrafo de Cervantes, publicó buen número de trabajos astronómicos, algunos de ellos en la *Correspondence astronomique, géographique, hydrographique et statistique*, que por aquella época dirigía el Barón de Zach; se ocupó de difíciles puntos de lingüística, redactó gran número de biografías de hombres de su época y murió, de edad muy avanzada, sin haber dado tregua a su incansable actividad hasta que su naturaleza hubo de rendirse, porque, como decía,

inexorable: “el hombre debe trabajar, y el que no pueda hacerlo, debe morir”.

Ante vuestra vista he hecho desfilar las figuras más destacadas, en el terreno científico, de la Marina española en los últimos siglos, deteniéndome al llegar a los que hoy viven, pero todos sabéis que entre éstos destacan valores consagrados y esperanzas de superación merecedores, unos y otros, de homenajes tan altos como el que en estos momentos recibe, y por muchos años recuerde, el almirante Benítez.

He dicho.