

# DISCURSOS

LEÍDOS ANTE LA

## REAL ACADEMIA DE CIENCIAS

EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

EN LA RECEPCIÓN PÚBLICA

DEL

SR. D. VICENTE VENTOSA Y MARTÍNEZ DE VELASCO

el día 5 de Noviembre de 1905.



MADRID

Imprenta de la «Gaceta de Madrid».

Calle de Pontejos, núm. 8.

—  
1905

# DISCURSO

DEL

**SR. D. VICENTE VENTOSA Y MARTINEZ DE VELASCO**

SEÑORES ACADÉMICOS:

Confieso que, con rubor, me presento hoy harto tardíamente ante vosotros á cumplir con la deuda de gratitud contraída por la honra, ni merecida, ni solicitada, que tiempo ha me otorgasteis llamándome á formar parte de esta sabia Corporación.

Diversas circunstancias, que no es del caso referir ahora, dificultaron y retrasaron el cumplimiento de este sagrado deber, y por esta grave falta, ajena por completo, sin embargo, á mi voluntad, sólo os pido aquella benevolencia que en casos análogos al mío, aunque muy raros por fortuna, generosamente concedisteis. Hallábame, además, en permanente lucha con dos tendencias opuestas: de una parte, el deseo de no parecer desdeñoso y altivo ante merced tan señalada; y de otra, el miedo de no poder corresponder debidamente á ella. ¿Por qué no he de confesarlo, si ese miedo procede del convencimiento de la propia pequeñez? Miedo tanto más justificado, cuanto que yo venía á substituir y llenar el puesto antes dignamente ocupado por persona de tanta valía y de merecimientos tantos, en todos

conceptos, como mi predecesor el Sr. D. Manuel Becerra.

Vosotros, que durante algunos años, pocos en verdad, lograsteis la suerte de tenerle por compañero, pudisteis apreciar, mejor que yo, las brillantes cualidades de su carácter y las condiciones especialísimas de su inteligencia; su indomable energía y su perseverancia en los trances más difíciles de la vida, merced á las cuales pudo honrosamente elevarse desde humilde origen, que él mismo, casi con complacencia, recordaba, á los más altos puestos de la Nación; y, sobre todo, su amor nunca desmentido á la Ciencia, y, singularmente, á la sublime Astronomía, por la cual sentía pasión verdadera, como por todo lo que se levanta y sobresale de la limitada esfera en que se agitan los espíritus vulgares. Sus grandes méritos científicos consignados quedan en sus imperecederos trabajos, en la contestación á su discurso de ingreso en esta Real Academia, y en uno de los Anuarios de la misma. ¡Quién, al desaparecer del mundo de los vivos, pudiera ostentar galardón semejante! Del aprecio en que él tenía el honor de pertenecer á esta Corporación dió buena prueba legándole al morir, como inestimable recuerdo, su rica biblioteca.

Por mi parte, algunas palabras he de añadir para pagar otra deuda de gratitud á la memoria de D. Manuel Becerra. Una circunstancia fortuita me proporcionó años ha la señalada honra de conocerle personalmente, y, desde los primeros momentos, con su bondad característica, y acaso también por su afición á la ciencia astronómica, que yo profesaba, quiso distinguirme con singular afecto, demostrado en diferentes ocasiones. No llegué entonces á prever que su sentida muerte pudiera algún día abrirme las puertas de este alto Centro del saber, donde nunca podré reemplazarle, ni representar otro papel que el de modesto obrero de la Ciencia, lo único que he sido siempre, con escaso caudal de conocimientos, pero con entusiasmo ferviente por

sus progresos. Y si en este concepto me admitís en vuestra compañía, consideraréme dichoso, y me hallaréis decididamente resuelto á hacer cuanto de mí dependa para corresponder á vuestra generosidad.

Debo ahora, apelando á ella, cumplir con el precepto reglamentario, que obliga al académico electo, en el acto de su recepción, á leer un discurso alusivo á las circunstancias. Puedo aseguraros que quizás ninguno de los trabajos que durante mi ya larga vida me he visto precisado á emprender hame costado tanta fatiga y tanta perplejidad como éste. Porque, si él ha de ofreceros algo de nuevo, sazonado fruto de una fecunda labor intelectual, como conviene á vuestra altura científica, ¿qué puede enseñaros, que ya no sepáis, quien en árido terreno nada acertó á sembrar, ni recoger? Y, por otra parte, si dada la vaguedad de redacción de aquel precepto, el discurso, á mi entender, y siguiendo la costumbre establecida, más bien debe revestir el carácter de mera conferencia, en la que se haga rápida reseña del estado actual de nuestros conocimientos ó de lo nuevamente averiguado acerca de algún interesante asunto científico, ¿cómo no cansarós, cómo dar amenidad á sus palabras, quien, habitualmente dedicado á oscuros y rutinarios trabajos de laboratorio, y poco acostumbrado á perorar en público, carece por completo de dotes oratorias?

No porque las ciencias de la Naturaleza, y en particular la ciencia astronómica — á la cual por mis estudios especiales habré de ceñirme ahora — no ofrezcan en sus asombrosos descubrimientos dilatado campo donde dejar explanyarse la imaginación. Lejanos están los tiempos en que con visos de verdad podía repetirse el vulgar estribillo *el mentir de las estrellas...*, que todavía las personas menos versadas en los modernos adelantos científicos, en son de duda, por parecerles imposible que de tan lejanas regiones

haya medio de llegar á adquirir con certidumbre noción alguna, murmuran á veces.

Por el contrario, lejos de ser seguro tal mentir, como reza el estribillo, provisto el hombre de los sutiles instrumentos que su ingenio le ha sugerido, ha preguntado á las estrellas y éstas han respondido, dándonos á conocer, en muchos casos, su tamaño, su figura, su estado físico, la composición química de las substancias de que están formadas, las leyes admirables que presiden á sus movimientos y las relaciones de distancia, orden, posición y dependencia de unas con otras. Tales nociones, adquiridas con inequívocos caracteres de verdad, han repercutido sobre las ideas que teníamos acerca del mundo que habitamos, y al cerciorarnos de la magnificencia real del Universo, nos hemos sentido más pequeños. Sin embargo, muchos habitantes de nuestro planeta, por extraño que parezca, han vivido hasta ahora sin levantar los ojos al cielo, sin saber donde moran y sin sospechar ni preocuparse siquiera de conocer las maravillas que encierra el Cosmos, tan portentoso en lo infinitamente grande como en lo infinitamente pequeño.

He oído alguna vez á personas verdaderamente ilustradas afirmar que la Astronomía es una *ciencia cara*, poco menos que de puro lujo, como queriendo dar á entender que el cultivo de ella sólo conviene á las naciones ricas, y, por lo tanto, que las pobres deben limitar sus aspiraciones y consagrar sus recursos á cosas de menos monta y más inmediatamente útiles. No es posible negar que los actuales instrumentos cuestan muchos miles de pesetas, y la creación de un Observatorio exige cuantiosos desembolsos, si ha de estar convenientemente dotado; que las expediciones científicas, ahora tan frecuentes, si han de emprenderse con probabilidades de buen resultado, necesitan de larga y costosa preparación en personas y aparatos.....

¿Cómo, pues, se explica entonces que se gasten en los estudios astronómicos sumas cada día más considerables, y que el número de personas é Instituciones á ellos dedicadas crezca incesantemente?

Por una parte, es cosa generalmente sabida, y ante vosotros yo no debiera ocuparme de ella, que muchos de los problemas que la Astronomía resuelve ó se propone resolver, tienen aplicación inmediata á multitud de usos importantes de la vida. Sin la observación de los astros nos sería imposible medir el tiempo que regula nuestras acciones, y no tendríamos noción alguna verdadera de la figura de nuestro planeta, como sucedía en las épocas primitivas de la civilización. La pasmosa facilidad de comunicaciones que en la nuestra enlaza y pone en contacto á los pueblos más distantes, transmitiendo velozmente las ideas y desarrollando por todas partes el comercio y la riqueza, débese, en primer término, á la perfección á que se ha llegado en la resolución de aquellos problemas; ni de otra manera se hubieran dilucidado tantos puntos oscuros de la Historia antigua, fijando con precisión inesperada las fechas remotas de acontecimientos memorables. Ahora mismo adviértense coincidencias que, por su repetición, no pueden ser fortuitas, antes bien, acusan una relación de causa á efecto entre ciertas variaciones advertidas en algunos fenómenos astronómicos, como las que periódicamente experimenta la actividad solar, y las alteraciones atmosféricas; relación que da alientos á la esperanza de lograr algún día, acaso no lejano, con gran provecho de la agricultura, la navegación y la higiene, *prever el tiempo á larga fecha*, por lo menos en sus caracteres generales: problema importante, hasta hoy no resuelto todavía, aunque muchas personas presuman lo contrario, y los calendarios continúen publicando sus pronósticos.

Pero, además — como dijo poco ha el sabio Poincaré en

ocasión solemne, — “ la Astronomía es, sobre todo, útil, porque nos eleva; es útil, porque es grande; es útil, porque es bella. Esta ciencia nos demuestra que, si el hombre es pequeño por el cuerpo; es grande por el espíritu, puesto que, á pesar de ser su cuerpo un insignificante punto obscuro perdido en la resplandeciente inmensidad que le rodea, su inteligencia puede abarcarla por entero y apreciar su silenciosa armonía. Adquirimos así la conciencia de nuestra fuerza, conquista que nunca podremos comprar demasiado cara, porque esta conciencia es la que nos hace más fuertes „.

Permitidme todavía que á mis pobres palabras substituya otras pronunciadas con análogo motivo por eminentes autoridades científicas. El venerable astrónomo Jansen, en su magnífico discurso titulado Ciencia y Poesía, exclama: “ El Universo se revela á nuestras miradas presentándonos los espectáculos más sublimes: génesis de soles engendrados por nebulosas, y que sirven de centros y reguladores á sistemas de mundos que nacen, se desenvuelven, decaen y mueren, para dar origen á evoluciones nuevas é incesantes en el espacio y en el tiempo... Si la contemplación de nuestro mundo terrestre — añade — ha producido ya tantas bellas y sublimes inspiraciones poéticas y filosóficas, ¿qué sucederá cuando el Universo entero con sus espectáculos, sus leyes y sus armonías se ofrezca á nuestra imaginación? La Poesía será entonces transformada, ó por decir mejor, transfigurada „.—“¿Qué es, en definitiva, la Ciencia — acaba de decir elocuentemente uno de nuestros sabios compañeros, — sino una poesía honda, clarividente, infinitamente ambiciosa? Penetrando en el fondo de las cosas, se nos aparece el científico, cual vate inspirado que, arrastrado por la sed inextinguible de ideal, rasga irreverente, con el escalpelo del análisis, el misterioso velo que nos oculta las realidades eternas „.—Vértigo

generoso que todos los espíritus superiores han sentido, y, en su anhelo de saber, repiten con nuestro dulcísimo poeta:

“ ¿Por qué...? La mente se ahoga,  
Y á par que atónita admira,  
Más y más que admirar halla,  
Y más cuanto más medita. „

A ellos, por sus transcendentales descubrimientos, sus fecundas teorías ó sus escritos sugestivos, débese, principalmente, el extraordinario impulso que han recibido las Ciencias naturales, y, con especialidad, la Astronomía, en naciones más adelantadas que la nuestra, donde la vulgarización de los nuevos conocimientos ha excitado en todas las personas ilustradas el deseo de aprender y de contribuir con labor propia al aumento de los mismos, aportando cada cual su óbolo al tesoro de las verdades adquiridas.

Merced al concurso desinteresado y eficaz de tantas voluntades erígense por todas partes nuevos Observatorios, mejorando al par la dotación en instrumentos y personal de los antiguos, unos con la alta categoría de nacionales, otros con la más modesta condición de universitarios, y no pocos sostenidos por corporaciones particulares ó por entusiastas aficionados. Organízanse numerosas sociedades astronómicas, en variada y extensa escala; desde aquellas que, como la Real Sociedad Astronómica de Londres, imprimen á sus trabajos riguroso carácter científico, hasta otras que limitan sus aspiraciones á la difusión de la ciencia, sin distinción de sexos, entre las clases sociales menos instruidas. Todas, sin embargo, cada cual dentro de su esfera de acción, son igualmente útiles para el progreso general, al que también coadyuvan los libros, revistas y periódicos que con diversos fines en número cada vez creciente se publican.

Esta universal conjunción de ideas, al hacer intervenir en los métodos de investigación el auxilio de la Física, de

la Química y de otras ciencias afines, ha producido además una revolución radical en la teoría y en la práctica de la Astronomía, dándoles nuevas orientaciones y más amplios derroteros, cuya fecha inicial fija el astrónomo inglés Mister Turner por el año 1875. De esta revolución ha surgido en realidad otra ciencia, antes sólo ligeramente esbozada: la *Astrofísica* ó Física de los Astros, que muchos llaman también *Nueva Astronomía*, para distinguirla de la *Vieja Astronomía*, Astronomía de posición ó Astronomía física, cuyo objeto, á pesar del último apelativo, se limitaba al estudio y determinación de los movimientos celestes, y en particular los de los cuerpos de nuestro sistema planetario. La separación entre ambas divisiones de la ciencia no es, sin embargo, absoluta como algunos pretenden; antes bien sus campos no están perfectamente deslindados, y con sus métodos de observación y cálculo préstanse mutuo y eficaz apoyo, porque, en último término, todos los fenómenos que el mundo material nos presenta se reducen á manifestaciones y metamorfosis de la energía en su estado actual ó potencial; ó, como dijo, años ha; uno de nuestros sabios compañeros, el movimiento y la vida son el atributo general de la Naturaleza.

Al llegar aquí ocurre preguntar: ¿Qué participación ha tomado España en este admirable desenvolvimiento científico? Doloroso es decirlo, pero, más que ocultar la verdad, conviene exponerla para ver de hallar seguro remedio en lo sucesivo: nuestra nación, favorecida con el cielo más hermoso de Europa, ha ido, como á menudo en esta senda le sucede, á la zaga de otras naciones más afortunadas. Llegando sólo á ella como lejano eco el rumor de aquel movimiento extraordinario, ha aportado escasos trabajos originales al progreso de la ciencia. Voces más autorizadas que la del que tiene la honra de hablaros han resonado varias veces en este mismo recinto para lamentar nuestra carencia

de iniciativa científica, tratando de inquirir la causa de tan lastimoso apartamiento, de tan incomprensible apatía. Y al notar que en distintos ramos del saber: en Filosofía, en Literatura, en Teología y en Bellas Artes, el genio español ha despedido luminosos destellos, logrando remontar su vuelo en algunas épocas de su historia á comparable altura con los más encumbrados de otros países, nace la sospecha de que la causa de esa especie de atavismo no radica del todo en las especiales condiciones de su meridional temperamento, ni en la falta de capacidad intelectual, sino más bien en una educación de antiguo deficiente y mal orientada. Parece confirmar esta sospecha lo que ahora mismo acontece en lo concerniente á la enseñanza de la Cosmografía. Averígüese en qué edad y con qué preparación aprenden nuestros jóvenes en los centros docentes de España los rudimentos de dicha ciencia, únicos que suelen recibir en el resto de su carrera; de qué modo son éstos difundidos entre las diversas clases sociales; cómo se estimula su entusiasmo, y nadie podrá maravillarse de la indiferencia del público español en general por los adelantos de la Astronomía, cuyo estudio convenientemente dirigido "abre el espíritu á la contemplación de la Naturaleza grandiosa y predispone religiosamente á la admiración de la obra de Dios „. Ni se asombrará de que á estas horas Madrid, y otras grandes capitales españolas, no cuenten con sociedades astronómicas, á semejanza de las que poblaciones menos importantes del extranjero tienen.

Pruebas existen, con todo, de que en nuestro país no faltan personas dispuestas á emprender en tal materia estudios útiles, pero diseminadas y sin conexión ni enlace unas con otras, y que no teniendo ahora quizás donde hacerlo, ó creyendo que allí serán mejor comprendidos, publican sus trabajos en revistas extranjeras; fuerzas vivas, latentes, por decirlo así, que sólo esperan una ocasión oportuna para manifestarse. Ciertos hechos significativos, tales como la crea-

ción reciente, por iniciativa particular, de algunos Observatorios, en Granada, en Tortosa, y el de Fabra en Barcelona, acaso presagien la aurora de nuevos y más venturosos días para nuestra desgraciada patria.

---

Hecha esta digresión sobrado larga y enojosa, aunque á mi pobre entender no del todo inoportuna, y que os pido me perdonéis, voy á entrar en materia sometiendo á vuestra benévola atención el siguiente tema que, llevado de mis personales aficiones, he elegido para mi desaliñado discurso, entre los muchos que en el vasto campo astronómico pudieran espigar: *Exposición de los conocimientos adquiridos acerca de los movimientos estelares*. Asunto que hace medio siglo, y en ocasión análoga á la presente, expuso ya, con la poca amplitud que los resultados hasta entonces obtenidos permitían, un sabio compañero nuestro y venerado maestro mío; pero en la actualidad de suma transcendencia filosófica por el considerable número de importantes hechos de diversa índole observados, y que en conjunto modifican radicalmente las ideas antes recibidas como axiomáticas sobre la constitución y estructura del Universo.

## I

“De todas las ciencias naturales, la Astronomía — dice Laplace, refiriéndose al limitado concepto que de ella en su tiempo se tenía,— es la que presenta mayor concatenación de descubrimientos. Hay gran distancia desde el aspecto del cielo, tal como se nos ofrece á primera vista, hasta la ojeada general con que se abarcan hoy los estados anteriores y venideros del mundo. Para llegar á este resultado ha

sido menester observar los astros durante muchos siglos consecutivos; discernir en sus apariencias los movimientos reales de la Tierra; elevarse á las leyes de los movimientos planetarios, y de estas leyes al principio de la gravitación universal; descender, en fin, de este principio á la explicación completa de todos los fenómenos celestes hasta en sus más minuciosos pormenores. Ciertamente, desde el descubrimiento por Newton de dicho principio general, presentido por Kepler al formular sus famosas leyes, la Astronomía, relegando al olvido las fantásticas y absurdas concepciones de la Astrología, comenzó á revestir el carácter de ciencia exacta y, hasta cierto punto, el de profética, que es el mayor grado de perfección á que puede llegar toda ciencia.

Sin embargo, hasta mediados de la pasada centuria, la Mecánica celeste se limitó, casi exclusivamente, á considerar los movimientos de los cuerpos celestes que constituyen nuestro sistema planetario; de manera que, si bien en su conjunto comprende muchos de los procedimientos que luego han de aplicarse á más amplias esferas, debe propiamente llamarse *Mecánica planetaria*, siendo justo confesar que, en este concepto, los progresos realizados han sido grandísimos, venciendo enormes dificultades de observación y de cálculo. Porque, si los cuerpos cuya acción mutua se estudia fueran solamente dos, el problema, como es sabido, se resolvería con relativa sencillez en virtud de la ley de Newton, determinando la naturaleza y posición de la curva plana de segundo orden, ó sección cónica, que cada uno de ellos debe describir alrededor de su centro común de gravedad, situado en uno de los focos de la misma. Pero si, como de hecho sucede, el número de cuerpos llega á tres ó excede de tres, las atracciones mutuas de todos ellos complican el problema en tanto grado, que los recursos del análisis matemático, á pesar de los admirables perfeccionamientos que, precisamente con el fin de vencer tan grandes

dificultades, recibió de los sabios más eminentes de nuestra época, fueron hasta ahora ineficaces para resolverlo directamente.

Ha sido preciso utilizar algunas circunstancias favorables que por feliz acaso presentan los cuerpos de nuestro sistema en la distribución de sus masas y de sus distancias, para llegar por senderos tortuosos al fin propuesto: substituyendo á las fórmulas finitas desarrollos en serie, que, por aproximaciones sucesivas, y agregando en ciertos casos pequeños coeficientes empíricos, cuya significación real se desconoce todavía, permiten poner de acuerdo, dentro de muy ceñidos límites, las posiciones aparentes calculadas de los cuerpos celestes aquí considerados, con las que la observación directa de los mismos proporciona.

Pero, en suma, de estas y otras dificultades, puramente teóricas, que el problema llamado de los tres cuerpos, ó, en general, de los  $n$  cuerpos ofrece, han triunfado al fin la sagacidad y el tenaz empeño de los sabios astrónomos y matemáticos que á estos arduos estudios han consagrado su talento; y la determinación exacta de las posiciones aparentes sucesivas de los cuerpos que comprende nuestro sistema planetario, de acuerdo con la observación, no constituye ya sino un lento trabajo de lima, por decirlo así, llevado á un grado tal de perfección que parece inverosímil.

Quedan todavía, ciertamente, algunos puntos oscuros acerca de los cuales la ley de la gravitación de Newton no arroja luz bastante para explicarlos. Sabemos, por ejemplo, que dicha ley está modificada en los movimientos de la materia tenue que forma la cola de los cometas, la cual parece estar además sometida á la acción de otras fuerzas distintas de la gravitación. Ésta tampoco explica hasta ahora una anomalía advertida en la teoría de Mercurio; y la de la Luna, muy difícil y complicada, principalmente por la fuerte acción perturbadora del Sol sobre nuestro satélite, presenta

otras que no han sido salvadas sino mediante la introducción de los coeficientes empíricos antes mencionados. Hasta tanto, pues, que esas anomalías lleguen á obtener explicación satisfactoria, sin recurrir á expedientes arbitrarios, de manera que las ecuaciones del movimiento puedan aplicarse rigurosamente á largos períodos de tiempo, la prueba de la ley de Newton no será decisiva, por más que, en general, ese gran principio haya sostenido perfectamente la crítica desde hace ciento cincuenta años, y por más que la creencia casi unánime de los astrónomos sea que resistirá al tiempo y al cabo dará razón, no sólo de los movimientos de los cuerpos de nuestro sistema, sino también de los de las estrellas.

Pero si tan grande es el adelantamiento conseguido ya en la Mecánica celeste planetaria, hállase todavía, por el contrario, en estado casi embrionario, formando extraño contraste, otra Mecánica celeste más general: la que abarque y explique los movimientos, apenas hoy vislumbrados, de la innumerable multitud de astros que constituyen el portentoso universo sidéreo, del cual nuestro sistema solar, con todos los mundos de que se compone, no obstante su aparente grandiosidad, es sólo en rigor un agregado de átomos impalpables, casi un punto perdido en las profundidades del espacio.

Al verificarse la transcendental revolución, operada en la ciencia astronómica por el genio inmortal de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton, con tomar como base única de sus indagaciones los resultados de la observación; rotas las cristalinas esferas, y deshecho el artificioso y complicado mecanismo de círculos excéntricos, deferentes y epiciclos, con que los astrónomos de la antigüedad, guiados por una pretendida sencillez de los movimientos uniformes y circulares, *únicos que convenían á los cuerpos celestes*—según la frase entonces consagrada,— y por singulares teorías acerca de la *armonía de las esferas* y de la *incorruptibilidad de los*

*cielos*, querían explicar *à priori* el sistema del mundo, varió por completo el concepto que de éste se tenía formado.

Semejante revolución, inevitable en la época del renacimiento de las artes y de las letras, vino á derrumbar definitivamente la filosofía peripatético-escolástica de la Naturaleza, que imperó durante tantos siglos, imposibilitando los progresos de la Astronomía. Al asignar al globo que habitamos el modesto papel que le corresponde de planeta subordinado, como los demás de su especie, á la acción avasalladora del Sol, y al determinar las leyes á que los movimientos de todos están sometidos, no sólo contribuyó á ensanchar los mezquinos límites que antes al Universo se atribufan, sino que intuitivamente difundió la idea de que ninguno de los cuerpos que lo constituyen podía estar en reposo. Dejaron las estrellas de ser consideradas como brillantes clavos adheridos á una cristalina y diáfana bóveda, cuyo centro ocupaba la Tierra, y concibióse que podían hallarse separadamente en movimiento, situadas á enormes distancias muy diferentes unas de otras, en el espacio inmenso, y ser cada una un Sol como el nuestro, probable centro de energía de otro sistema planetario. Y al confirmar semejante conjetura las observaciones hechas, cada vez con medios más perfectos, en épocas posteriores, las estrellas perdieron el calificativo de *fijas* con que antes se las designaba, y que todavía, por efecto de la tradición y sólo en sentido relativo, impropriamente se les da algunas veces.

No obstante la antigua creencia general en la relativa inmovilidad de las estrellas, no faltaron en ciertas ocasiones sagaces pensadores que se aventurasen á indicar la posibilidad de que todos los cuerpos celestes estuvieran dotados de movimiento propio, antes que las observaciones de los astrónomos adquiriesen suficiente grado de precisión para poner su existencia real fuera de duda. Entre otros, merece citarse el célebre filósofo italiano Giordano Bruno, quien

creía que las estrellas son todas iguales al Sol en magnitud y esplendor, y que el Universo está poblado de innumerable muchedumbre de tales cuerpos. Sostenía, además, que no estamos autorizados para suponer que permanecen fijos unos respecto de otros, pues siendo su distancia á la Tierra inmensamente grande, sus movimientos sólo podrían ser estimados en el transcurso de muchos siglos. Con su penetrante genio, Roberto Hooke, el ilustre rival de Newton, no sólo afirmó el estado de movimiento de las estrellas, sino que de él también debía ser participe todo el sistema solar. Tales afirmaciones eran, sin embargo, meras conjeturas, intuiciones con que frecuentemente los primeros destellos de la verdad iluminan el cerebro del hombre antes de llegar el momento en que brote la luz que la muestre claramente.

Si fuera exacta la interpretación de ciertas palabras, escritas por el astrónomo persa Al-Sûfi en su interesante «Descripción de las estrellas fijas», el nombre dado por los árabes á Sirio y una historia mitológica—transmitida quizá por tradición—según la cual Sirio había atravesado la Vía Láctea dirigiéndose hacia el Sur, indicarían, en opinión de Mr. Gore, que los hombres de las edades primitivas habían visto dicha estrella en una posición muy diferente de la que en la actualidad tiene. Pero el primero que, basándose en observaciones más exactas, tuvo sospechas fundadas de la existencia de los movimientos propios de las estrellas fué el astrónomo Halley. Comparando las posiciones aparentes de Arcturo, Aldebaran y Sirio, dadas por Ptolomeo en su Catálogo, con las asignadas á las mismas estrellas por los observadores modernos, no vaciló en afirmar que éstas, en el intervalo comprendido entre ambas épocas, habían avanzado lentamente hacia el Sur. Faltaba averiguar si estos movimientos eran individuales ó peculiares á cada una, ó bien colectivos y sólo aparentes, debidos á un

simple cambio en la posición de la eclíptica. Esta duda quedó desvanecida por J. Cassini, quien demostró en una Memoria comunicada á la Academia de Ciencias de París en 1738, que, mientras la latitud de Arcturo había variado unos cinco minutos desde el tiempo de Tycho-Brahe, la estrella llamada  $\eta$  Bootis, situada cerca de la primera, no había experimentado en igual intervalo desviación apreciable. El movimiento de Arcturo debía, pues, ser individual, porque, al variar de posición la eclíptica, habría producido casi la misma variación en la latitud de ambas estrellas.

Desde la época de Cassini, la observación, cada día más exacta, de las posiciones aparentes de las estrellas, puso de manifiesto en algunos millares de éstas cambios relativos de lugar, atribuibles sólo á movimientos reales de las mismas en el espacio, vistos en proyección sobre la esfera celeste. Y aunque sea comparativamente pequeño todavía el número de estrellas, cuyo movimiento propio, con mayor ó menor grado de precisión, actualmente se conoce, militan razones poderosas para suponer que el hecho aludido es universal.

La determinación de los movimientos propios, que por su condición de aparentes tienen que ir expresados en medida angular, constituye un problema muy difícil de resolver con los imperfectos medios de observación que para ello poseemos, dadas las enormes distancias, inconcebibles para nuestro limitado entendimiento, que nos separan de las estrellas, cuya paralaje—deducida de su oscilación anual, representación en miniatura del movimiento de revolución de la Tierra en su órbita—es insensible para la mayor parte de ellas; como por idéntica causa, sumamente lentos, en apariencia al menos, son los movimientos propios de las mismas, únicamente discernibles comparando sus posiciones en dos épocas separadas por largo intervalo de tiempo. Acaso no lleguen á ciento las estrellas cuyo movimiento

propio excede anualmente de un segundo de arco; siendo el mayor de todos, conocido hasta ahora, el de una estrellita de octava á novena magnitud, situada en el hemisferio austral, que alcanza  $8'',7$ . «Si Hiparco y Ptolomeo—dice con este motivo el sabio astrónomo Newcomb—despertasen de su sueño de dos mil años; más aún, si los primitivos sacerdotes de Babilonia pudieran volver otra vez á la vida y mirar al cielo, no llegarían á percibir ninguna variación en las posiciones relativas de las estrellas. Las configuraciones generales de las constelaciones serían exactamente las mismas que ellos estaban acostumbrados á ver. Aun suponiendo que hubieran sido observadores exactos, á lo sumo habrían notado un pequeño cambio en la posición de Arcturo, pero no en la de ninguna otra estrella.» Y, sin embargo, la velocidad real de Arcturo, á juzgar por la pequeñez de su paralaje anua, excede probablemente de 300 kilómetros por segundo!

Cuando en las observaciones de una estrella se hallan variaciones de lugar diferentes de las que la precesión de equinoccios origina, atribúyese la diferencia al movimiento propio del astro. Supónese, en general, que este movimiento lo realiza el cuerpo celeste con velocidad constante y recorriendo un círculo máximo de la esfera, hipótesis que lógicamente debe discrepar un poco de la verdad si, conforme puede suceder, el movimiento indicado es orbital; pero siendo éste apenas sensible en el exiguo tiempo que comprenden las observaciones de precisión hechas hasta ahora, y probablemente, por el contrario, muy grandes las dimensiones de la órbita que el cuerpo describe, sólo nos es dable conocer un elemento de la curva ó la dirección actual de la tangente á la misma. Otra cosa ocurre si la estrella está físicamente enlazada con otra ú otras cercanas, formando sistemas análogos á nuestro sistema solar, como más adelante veremos.

La determinación del movimiento aparente de una estrella se efectúa por comparación de dos ó, mejor aún, de muchos lugares medios suyos observados en diferentes épocas, después de reducirlos á una época común, aplicando para ello á cada uno el efecto correspondiente de la precesión. Si se hace separadamente el cálculo para las ascensiones rectas y para las declinaciones, se tendrán los movimientos propios respecto de cada una de estas coordenadas, y por combinación de ambos el movimiento resultante en magnitud y dirección, tal como se presenta á los ojos del observador, y que, por lo tanto, será en parte real y en parte aparente ó paraláctico.

Por la pequeñez de las cantidades que buscamos compréndese la importancia suma que para el conocimiento de los movimientos estelares tiene la exactitud de las observaciones. No cabe en los estrechos límites de un discurso exponer, ni mencionar siquiera, las innumerables causas de error á que las delicadas observaciones astronómicas están sujetas. Proceden unas de la imperfección, hasta cierto punto inevitable, de los instrumentos; otras, del estado á todas horas inseguro y vario de la atmósfera, y no pocas son de origen puramente fisiológico y diferentes en cada observador, según su temperamento, y su perspicacia y esmero para notar y tener en cuenta todas las circunstancias que pueden influir en la bondad de los resultados. Alguien dijo, y así lo acredita la experiencia, que en el orden de prelación de las tres categorías de errores mencionadas debía otorgarse el primer lugar á la última, y que lo necesario, ante todo, es un buen observador, pues éste, con instrumentos defectuosos y medianas condiciones atmosféricas, puede llegar con perseverancia y celo á obtener resultados de valía. Por el contrario, el mejor instrumento no tiene valor alguno en manos de un observador poco escrupuloso. Bessel declaró, con memorables palabras, que «todo ins-

trumento debía estar construído dos veces: la primera, por el artista, y la segunda, por el observador»; indicando así la necesidad de estudiar previa y minuciosamente las condiciones de los medios materiales de que se dispone, cuando se ha de emprender la investigación de cualquier problema científico.

Grandes son los progresos que en el último siglo realizó el arte de construir instrumentos, y, sin embargo, ante la imposibilidad de alcanzar en él una perfección absoluta, contra la creencia equivocada del vulgo, en las modernas ciencias de observación se prefiere, como más factible, investigar con la mayor escurpulosidad todas las causas de error sistemático que puedan falsear los resultados directamente obtenidos, y corregirlos del efecto de las mismas determinando previamente en cada caso su cuantía. Los errores de carácter fortuito llegan á eliminarse en gran parte, como es sabido, acumulando observaciones hechas de tal suerte que su precisión relativa pueda conocerse.

Los instrumentos meridianos, por la estabilidad de su instalación, son los que en primer término se destinan á determinar las posiciones absolutas y, por lo tanto, los movimientos propios de los cuerpos celestes. Proporcionan, pues, los materiales que sirven para edificar las teorías, y son la piedra de toque de su exactitud. Mas, para llegar á este resultado, hay que tener en cuenta en tales instrumentos, no obstante sus indudables ventajas, multitud de errores posibles, como los de posición; los de la graduación de los círculos; la flexión, á causa de la gravedad, de las diversas partes de que consta cada aparato; sin olvidar la influencia de la presión, temperatura y humedad del aire; la del estado de agitación de la atmósfera, y, por fin, ese efecto fisiológico conocido con el nombre de *ecuación personal*, que lo mismo hace apreciar diferentemente por cada individuo el momento del paso de una estrella por uno de

los hilos del retículo, que el ajuste ó coincidencia de una raya de la graduación de un círculo con otra raya de un nonio ó con el hilo de un tornillo micrométrico.

No exige menos cuidado la determinación exacta de las variaciones, hasta cierto punto inevitables, en el movimiento de los péndulos y cronómetros que sirven para señalar rigurosamente la *hora*, factor imprescindible en toda observación astronómica. Las personas ajenas á esta clase de estudios no suelen comprender el motivo de tantas precauciones, necesarias, sin embargo, para llegar á obtener aquélla depurada de todos los errores que pueden falsearla, y la diferencia capital que existe entre *observar* y *contemplar* simplemente el cielo con auxilio de un antejojo.

Mérito grande fué el que alcanzó Bessel con someter al cálculo la teoría de los errores instrumentales, creando así un nuevo arte de observación y sentando los cimientos de la astronomía de precisión en su memorable obra titulada *Fundamenta Astronomiae* y en las *Tabulae Regiomontanae* derivadas de la misma: libros ambos basados en las observaciones que á la posteridad legó Bradley, como observador calificado por aquél de *vir incomparabilis*, en razón á sus relevantes y excepcionales aptitudes, antes por ningún otro igualadas.

De mediados de la décimoctava centuria datan no más, en efecto, las primeras observaciones de precisión, hechas por cierto con instrumentos bastante rudimentarios, si se los compara con los que actualmente se usan: tiempo muy escaso para poder medir con certidumbre movimientos que á nuestra vista se muestran con una pequeñez inconcebible, y que justifican la incesante repetición de unas mismas observaciones. El Observatorio de Greenwich, que lleva de existencia más de dos siglos, y con justicia figura en primera línea entre los más renombrados, publica anualmente abultados tomos de observaciones meridianas, y todos los

años reparte á los astrónomos de todos los países una nota de las correcciones, mínimas en verdad, que deben aplicarse á las efemérides de las estrellas fundamentales ó de *estado* contenidas en el *Nautical Almanac*; ejemplo que en mayor ó menor escala imitan muchos Observatorios.

Así y todo, las posiciones de las estrellas fundamentales, especialmente las de las próximas á los polos, difieren en los diversos almanaques de cada año en cantidades, aunque muy pequeñas, todavía apreciables, lo mismo que los valores de las constantes de la precesión, nutación y aberración empleados en cada oficina astronómica para el cálculo de aquellas posiciones. Tales divergencias pusieron de manifiesto la necesidad de uniformar los valores de dichas constantes, eligiendo, siquiera provisionalmente y sin perjuicio de modificaciones posteriores, aquellos que parecieran más aproximados á los verdaderos. A este fin, en el mes de Mayo de 1896 congregáronse en París varios renombrados astrónomos, y, después de discusión muy detenida y razonada, decidieron, entre otras cosas, basar los cálculos de las efemérides astronómicas más conocidas—*Nautical Almanac*, *Connaissance des Temps*, *Berliner Jahrbuch* y *American Ephemeris*— en un mismo sistema de constantes y en un mismo catálogo de estrellas fundamentales. Adoptáronse valores comunes para la nutación, aberración y paralaje solar. Convínose en emplear el Sol como astro único para determinar por sus observaciones la posición del equinoccio vernal, á partir del cual se cuentan las ascensiones rectas, fuente no escasa de las discordancias encontradas, y, por fin, en deducir las posiciones de dichas estrellas del Catálogo provisional encargado á Newcomb, tomando en cuenta, para su preparación, los resultados de las observaciones más fidedignas hechas hasta el año 1896, el cual fué publicado en 1899. La Conferencia confió al mismo Newcomb la investigación de los valores definitivos que debe-

rían adoptarse para la precesión lunisolar y para la precesión planetaria, y consideró de interés científico de primer orden que el astrónomo Auwers, de Berlín, continuase sus trabajos emprendidos con el propósito de terminar su Catálogo fundamental definitivo. El Dr. Auwers había efectivamente completado ya en 1886 una obra de relevante mérito: la de reducir de nuevo, con auxilio de los datos modernos más depurados, las estrellas observadas por Bradley, y comparar sus lugares así obtenidos para el año 1755 con los asignados para ellas según las observaciones hechas en Greenwich noventa años después. Como debía esperarse, muchas de las estrellas referidas habían en ese intervalo variado patentemente de posición en el cielo, con lo que resultó un caudal de casi tres mil movimientos propios del todo auténticos.

El deseo de resolver el sublime problema de la constitución ó estructura del cielo dió origen á estudios de suma importancia, y los catálogos de estrellas más ó menos completos y exactos surgieron por todas partes, siendo en la actualidad su número incalculable.

Merece especial mención el trabajo comenzado á mediados del siglo xix por el célebre Argelander en el Observatorio de Bonn, de catalogar todas las estrellas del hemisferio boreal hasta la  $9\frac{1}{2}$  magnitud, y que una vez terminado comprendió nada menos que 324.000 de aquellos astros. Este censo, conocido en la ciencia con el nombre de *Durchmusterung* fué ampliado después por Schönfeld hasta los  $22^{\circ}$  de declinación austral. El trabajo de Argelander le están completando en el Observatorio americano de Córdoba, extendiéndolo hasta el polo Sur, y por los resultados hasta ahora adquiridos, se calcula que el número de estrellas visibles en todo el cielo hasta la magnitud arriba expresada será superior á 800.000.

Claro es que trabajo tan colosal efectuado por pocas per-

sonas y en el transcurso de pocos años, aunque sumamente útil, sólo puede considerarse como preliminar ó de mero reconocimiento, y que las posiciones de él deducidas para las estrellas serán no más que aproximadas. Deseando que este *Durchmusterung* adquiriera toda la precisión que las necesidades actuales de la ciencia reclaman, la Sociedad astronómica alemana se propuso la determinación *exacta* de los lugares de todas las estrellas de Argelander, hasta la 9.<sup>a</sup> magnitud inclusive, observándolas de nuevo y distribuyéndolas por zonas de declinación, como ya hizo Argelander, y encargando separadamente de ellas á varios Observatorios que en esta tarea se prestaron á tomar parte. Trece son los de Europa y América que cooperan en tan importante labor, ya virtualmente terminada, y de la que se espera obtener abundante colección de movimientos propios, é indirectamente amplio conocimiento de las relaciones mutuas que deben existir entre los soles y los sistemas del espacio.

Únicamente recurriendo á tantas minuciosidades y precauciones es como, en efecto, se llegará á determinar con exactitud los movimientos propios de las estrellas, cuyo valor anual no excede generalmente, como arriba se dijo, de algunas *décimas de segundo de arco*; cantidad bien exigua y casi imposible de apreciar si se considera que en un círculo graduado de un metro de diámetro (dimensión aproximada que tienen los de los grandes instrumentos astronómicos de nuestros días) un segundo de arco está representado por una magnitud lineal de unas *dos milésimas de milímetro*, es decir, el espesor de un finísimo hilo de araña. Pero si del pequeño diámetro de nuestro círculo pasamos á las enormes distancias de las estrellas, el segundo de arco estará allá representado por muchos millones de leguas; de manera que nos vemos precisados—si vale la expresión—á medir lo infinitamente grande con lo infinitamente pequeño. Como

dice una ilustre escritora, «tales son los refinamientos de los cuales depende el progreso de la astronomía moderna: ciencia basada en residuos, en fracciones de segundo y espesores de cabello, y que no existe sino merced al rígido impulso de la exactitud difícil y de la más incansable diligencia. Sólo así puede el hombre aspirar á conocer los secretos que todavía le reserva el Universo».

Acaso en ninguna ciencia tiene que ser por estas razones tan lento el progreso como en la Astronomía: obra enorme, superior á las fuerzas de una generación sola, que siembra para que las venideras cosechen. Trabaja el astrónomo con abnegación generosa, sin sospechar muchas veces el fruto que de sus afanes recogerán los que le sucedan, proporcionándoles datos que los conduzcan á inesperadas y fecundas revelaciones, á ensanchar el horizonte sin límites del saber.

Digna también de los más nobles impulsos de la naturaleza humana es la colosal empresa científica, acometida con el mismo intento en el siglo XIX y que por sí sola bastaría para darle justo renombre: la formación de una carta fotográfica general del cielo.

Conocida es la historia de este grandioso proyecto. Ocupábanse los hermanos Henry, Astrónomos del Observatorio de París, prematuramente arrebatados á la ciencia, en completar la colección de cartas eclípticas comenzada por Chacornac, valiéndose de medidas y dibujos hechos directamente á mano, cuando al llegar á ciertas regiones del cielo, donde se extiende la Vía Láctea, el número de estrellas que encontraron era tan considerable, que desafiaba y hacía estéril la sorprendente habilidad que aquellos artistas para tales trabajos poseían. Pensaron entonces en ensayar la fotografía, en cuyo arte eran también habilísimos, y los resultados así obtenidos fueron tan notables, que inmediatamente surgió la idea de construir la carta general del cielo, aplicando el procedimiento fotográfico y distribuyendo entre

los observatorios que ofrecieran su concurso la realización de tan enorme trabajo, con el fin de abreviarlo. Comunicada la idea por el entonces Director del Observatorio de París, Almirante Mouchez, á los más autorizados astrónomos de nuestra época, fué por todos acogida con entusiasmo, y en número de 56, representantes de diez y seis países, celebraron en París, durante el mes de Abril de 1887, una conferencia, en la cual se sentaron las bases de la grandiosa labor que iba á emprenderse. Convínose, después de discusión razonada y minuciosa, en hacer dicha labor por duplicado, tirando de cada región del cielo dos placas con tiempo de exposición diferente: una donde quedarían reproducidas todas las estrellas hasta la 14.<sup>a</sup> magnitud inclusive, ó sea las últimas discernibles visualmente con los más poderosos telescopios, y otra, con exposición más breve, que sólo contendría hasta las de 11.<sup>a</sup> magnitud y serviría, determinando exactamente en los clichés las coordenadas de las estrellas fotografiadas, para formar un catálogo de las mismas mucho más extenso que los hasta ahora existentes. Compondrán las placas de más larga exposición la verdadera Carta del Cielo, fiel representación del estado actual del mismo, y, una vez terminada, constituirá un imperecedero monumento que la generación actual, menos afortunada por falta de antecedentes, lega á las venideras, quienes, auxiliadas quizás por nuevos métodos de observación, podrán sorprender así la estructura de los sistemas siderales y las diferentes fases de su evolución en el transcurso de los siglos: al modo que las inscripciones cuneiformes y los geroglíficos grabados en los antiguos monumentos, una vez descifrados, han permitido rehacer la historia ignorada de la Asiria y del Egipto en aquellas remotas edades. Nada menos que 22.000, sin contar las que resulten inservibles, serán las placas fotográficas que necesitará hasta su conclusión semejante trabajo, sostenido con indomable perseve-

rancia y energía, venciendo las múltiples dificultades de diverso origen y muchas veces inesperadas, que forzosamente han de surgir en empresa que no sin razón podría calificarse de temeraria.

## II

El *movimiento propio* de las estrellas de que hasta ahora venimos tratando, representa sólo la proyección del movimiento real ó paraláctico de cada una en el espacio, sobre un plano tangente á la esfera celeste en el punto que ocupa el astro. Expresado necesariamente en medida angular este movimiento proyectado, no es posible averiguar su valor lineal mientras no conozcamos la distancia de la estrella, deducida de su paralaje. El telescopio ordinario, á pesar de lo admirable de su invención, no puede proporcionarnos, á lo sumo, más que una de las componentes de la velocidad real de la estrella, su velocidad transversa ó tangencial; mientras que, para precisar la dirección de su camino por el espacio, necesitaríamos conocer también el valor de la otra componente en el sentido del rayo visual, ó la velocidad, por este motivo llamada *radial*, con que la estrella se acerca ó se aleja de nosotros.

La resolución de tan importante problema vino impensadamente á darla, no hace muchos años, otro maravilloso instrumento, el espectroscopio, que, descomponiendo y analizando el débil hacecillo luminoso que envían las estrellas, nos ha revelado ya muchos misterios acerca de la estructura del Cosmos y de su estado primitivo, presente y futuro.

Al hablar de la faja luminosa que desenvuelve el espectroscopio, dice un insigne escritor, con sus mágicas palabras, que "lo que en el sonido son las notas del pentagra-

ma, son en la luz los colores del arco iris, ese otro pentagrama sublime de los cielos, . Notas que, en uno y otro caso, sólo se diferencian entre sí por el número de vibraciones más ó menos frecuentes que dé el manantial de sonido ó de luz, y el medio elástico que, ondulando á su vez, las transmite á nuestros sentidos. Si, pues, del número de vibraciones que en un tiempo dado recibimos, y no de la absoluta longitud de onda, depende el *tono* de la nota sonora ó luminosa percibida, el movimiento *relativo* del observador y del origen productor de las vibraciones ¿no hará variar sensiblemente dicho tono? Fácilmente se ve que el número de vibraciones recibidas debe de aumentar si el manantial de luz ó de sonido se acerca al observador, supuesto en reposo; y disminuir, por el contrario, si el manantial se aleja. En el primer caso el cuerpo vibratorio parece como que persigue y amontona las ondas que de él dimanar; en el segundo caso se retira de ellas y aumenta el espacio que ordinariamente las separa. Si bien se considera, el resultado será el mismo, aunque de diferente cuantía, cuando es el observador el que se mueve. Combinando analíticamente ambos efectos se tendrá el efecto total del movimiento relativo del observador y del mencionado cuerpo.

Concretándonos al espectro luminoso, ese efecto total se traducirá en una alteración general, y en el mismo sentido, de todas las notas del sublime pentagrama; en una modificación de la longitud de onda de todas las radiaciones elementales cuyo conjunto forma la hermosa banda irisada; en una desviación de todas ellas hacia la extremidad roja ó hacia la violácea del espectro, según sea la dirección del movimiento del cuerpo respecto del observador; hacia la violácea por disminuir la longitud de onda, cuando el cuerpo se aproxima, ó hacia la roja por aumentar la misma, cuando el cuerpo se aleja.

Basándose en estas consideraciones, dedujo el Profesor Doppler, de Praga, en 1842, que en virtud de esa desviación general del espectro luminoso las estrellas variarían de color según los casos; por transformarse unas veces las radiaciones rojas en anaranjadas ó amarillas, ó convertirse otras veces las violáceas en azules ó verdes. Pero atinado Doppler en el principio que sentaba, se torcía en las consecuencias, porque no tomaba en consideración las vibraciones invisibles que prolongan el espectro luminoso por sus dos extremos, las cuales, por su aparición en uno de éstos, al desviarse longitudinalmente el espectro en cierto sentido, compensan del todo la pérdida de las vibraciones que dejan de ser visibles en el otro extremo, de manera que la suma total de impresiones que recibe la retina continúa siendo la misma.

La escala cromática que insensiblemente va cambiando de matiz á lo largo del espectro no serviría, pues, por sí sola para medir esas variaciones de refrangibilidad, si no estuviera, por fortuna, transversalmente surcada por las enigmáticas rayas de Fraunhofer, como simple objeto de curiosidad miradas cuando fueron advertidas en 1802 por Wollaston, y que en tiempos posteriores han sido fuente inagotable de transcendentales descubrimientos. Constituyen, en efecto, las líneas de referencia que necesitábamos, supuesto que, por la indicada causa, han de experimentar desviaciones análogas, que podrán determinarse comparando la posición de dichas líneas con las de otras del mismo origen producidas por incandescencia de algún elemento terrestre y que para el observador conserven su posición normal.

M. Fizeau, en una notable Memoria leída en 1848 ante la Sociedad Filomática de París, puso de relieve el verdadero aspecto de estos fenómenos, indicó los medios de observarlos y definió el concepto y alcance del principio sentado por

Doppler, llamado á veces por esta razón y con justicia principio de Doppler-Fizeau, independientemente descubierto por ambos sabios.

La demostración de este principio no presenta dificultades cuando la velocidad relativa de traslación del cuerpo vibratorio es una fracción del mismo orden de magnitud que la de propagación de las ondas. En el sonido una velocidad del cuerpo sonoro de 10 metros por segundo basta para hacer sensible y fácil de medir la alteración de tono, por no exceder en el aire de unos 332 metros por segundo la velocidad de las ondas sonoras; así es que para éstas pudo M. Buijs-Ballot obtener en 1875 la confirmación experimental del principio de Doppler, haciendo sonar el silbato ó una campana colocada sobre una locomotora durante la marcha de ésta; experimento repetido después muchas veces satisfactoriamente del mismo modo ó con diferentes aparatos especiales, y que sin apelar á complicados medios puede ensayar con éxito cualquier persona curiosa.

Tratándose de la luz la dificultad sube de punto. Basta considerar la enorme velocidad de propagación de las ondas luminosas, que las más recientes evaluaciones fijan en unos 300.000 kilómetros por segundo, de manera que, aun suponiendo una estrella animada de una velocidad de 1.000 kilómetros en la misma unidad de tiempo, caso que en la práctica no se ha presentado todavía, la raya del espectro cuya desviación se intentara medir sólo experimentaría una variación de  $\frac{1}{300}$  en la longitud de su onda respectiva. Para alcanzar, pues, en estas difíciles condiciones resultados tan precisos como la resolución del problema astronómico en que nos ocupamos demanda, requiérense potentes y costosos medios de observación, tales como ahora se usan en los Observatorios de primer orden, merced á los progresos de la Física moderna y á la energía y constancia para realizarlos desplegadas por eminentes sabios.

Pero no sólo dificultades prácticas nacidas de la falta de esos eficaces medios, sino también objeciones graves, y no sin motivo puestas, á los cimientos teóricos en que se asienta el principio de Doppler, retrasaron durante mucho tiempo su aplicación y la conquista de resultados exactos. Estos, efectivamente, sólo pueden derivarse del concepto fundamental de que la velocidad de propagación de la onda luminosa en el éter sea independiente del movimiento del cuerpo vibratorio; hipótesis que en absoluto no debe de ser cierta, pues tanto la amplitud como la ley de la vibración quedarán modificadas, si entre el centro de perturbación, al moverse con gran velocidad, y el medio transmisor, se produce fricción y consiguiente mudanza en la densidad del medio en las inmediaciones del primero. Discútese todavía acerca de la importancia que puede tener tal efecto, pero de las observaciones hechas hasta ahora, principalmente por el Profesor Michelson, viene á deducirse que para velocidades de traslación muy lentas, como las de los cuerpos celestes, con relación á la velocidad de la luz, el efecto indicado es sumamente pequeño y merece ser considerado como de orden superior en la expresión matemática ordinaria del principio de Doppler, la cual, por lo tanto, puede emplearse con el mismo derecho con que en muchos desarrollos en serie sólo se utilizan los términos de primer orden.

Distinguíéronse en la oposición á admitir la realidad de dicho principio Petzval, Van der Willigen y el astrónomo Klinkerfues. El mismo P. Secchi, uno de sus primeros y más entusiastas defensores, y que con su actividad y ardor característicos trató, aunque infructuosamente por la imperfección de sus instrumentos, de determinar las velocidades radiales de algunas estrellas, llegó á dudar de él en vista de las objeciones teóricas presentadas, y de las enormes discrepancias en los resultados primeramente obtenidos por

otros observadores, opinando, no sin razón, aunque quizás con algún apasionamiento, que muchas de las desviaciones espectrales observadas debían atribuirse á meros errores y defectos de los aparatos empleados.

En medio de tantas contrariedades, cúpole en 1868 á Mr. Huggins, provisto de instrumentos más perfeccionados, la gloria de realizar la primera medición de velocidades radiales, eligiendo para ello la estrella Sirio, en cuyo espectro halló la raya *F* desviada hacia el rojo, respecto de la raya correspondiente del hidrógeno encerrado en un tubo de Geissler: resultado que indicaba un movimiento de retroceso en la estrella, el cual, tres años después, fué confirmado por las observaciones de Vogel y Lohse. El intento de Huggins al emprender este trabajo no fué, sin embargo, el de reunir datos cuantitativos exactos, sino establecer como practicable el método de obtenerlos, y en este sentido justo es reconocer que alcanzó éxito completo, y gran resonancia, llamando la atención de los astrónomos á este género de investigaciones. A su ejemplo emprendiéronlas también sistemáticamente en 1874 en el Observatorio de Greenwich, donde durante trece años trabajó sin descanso en ellas el astrónomo Maunder; en el de Rugby, Seabroke, desde 1877 á 1886, y Vogel, en el de Bothkamp, á partir del año 1871.

Trabajo tan ímprobo fué, desgraciadamente, casi infructuoso, por las múltiples y raras divergencias que en los valores individuales de la velocidad radial de cada estrella se encontraron. El método de comparación directa del espectro estelar con el de una substancia terrestre, entonces empleado, puso de manifiesto grandes causas de error, muy difíciles algunas de perseguir y eliminar. Desde luego influía desfavorablemente en gran manera el estado de agitación de la atmósfera, que producía en las rayas espectrales continuas vibraciones más ó menos intensas, y desviacio-

nes variables hacia uno ú otro lado del espectro, según los casos. Además, analizando las numerosas observaciones hechas en Greenwich y las de Huggins, se advierte que los resultados de ellas, no solamente adolecen de errores instrumentales constantes, cuya cuantía Klinkerfues trató ya de averiguar, sino también de otros de carácter periódico, relacionados, sin duda, con las variaciones de temperatura del aire exterior, y acaso alguno más, dependiente, al parecer, del horario de la estrella en el momento de realizarse la observación espectroscópica. Contribuyó también á ocasionar tales discordancias la variabilidad, asímismo periódica, ni remotamente sospechada entonces, de los movimientos radiales de no pocas estrellas, y con posterioridad descubierta y satisfactoriamente explicada, como más adelante veremos.

A pesar de todo, llegó á quedar demostrada la realidad de las desviaciones de las rayas espectrales en el sentido indicado por el principio de Doppler, comparando las que *experimentan los espectros procedentes de puntos opuestos del limbo en astros cuya rotación es conocida*, como el Sol y Júpiter, y más tarde púsose fuera de duda la posibilidad de aplicar el mismo principio en general, por ensayos hechos con algunos planetas y cometas, cuya velocidad de traslación es grande.

Al bellissimo arte de Niepce y Daguerre, de nacimiento humilde, como muchas grandes invenciones, en el primer tercio del siglo XIX, pero llamado en el actual, y probablemente más en los venideros, á representar transcendental papel en el desenvolvimiento de las artes y de las ciencias de observación, débese, no obstante, la resolución, en lo posible perfecta, del problema en que nos ocupamos. La aplicación de la fotografía iniciada en 1837 por el Dr. Vogel, en Potsdam, abrió efectivamente inmenso horizonte en la determinación de las velocidades radiales de los astros

por la gran exactitud que el nuevo método, llamado *espectrográfico*, dió desde luego á los resultados.

Las grandes ventajas que ofrece este método en tal género de observaciones pueden condensarse en las siguientes: en primer lugar, la observación fotográfica está exenta de cierta predisposición personal á exagerar el valor de las medidas directamente hechas, y, en gran parte, de la influencia ejercida por la agitación del aire, pues tendiendo á formarse la imagen sobre la placa en los puntos donde es más largo el tiempo de exposición, corresponden éstos á la posición verdadera, intermedia entre las extremas debidas al centelleo del astro; en segundo lugar, cabe escoger en ambos espectros, estelar y artificial, varias líneas de comparación con más facilidad que por el método antiguo, y repetir cómodamente las comparaciones sobre la placa cuantas veces se quiera, en menos tiempo, y sin el apresuramiento y zozobra que el observador experimenta al verificarlas directamente, expuesto á tropezar en el preciso momento con imprevistas dificultades.

En estos últimos años diversos perfeccionamientos realizados en los aparatos han permitido eliminar notoriamente la influencia dañosa de las variaciones de la temperatura, y disminuir, bien estudiada, la de los errores instrumentales. Las velocidades radiales de las estrellas resultan ahora, por el procedimiento espectrográfico, con valores mucho menos exagerados que los que directamente se obtenían, y muy acordes para cada estrella; tanto, que los errores probables de cada medida individual no exceden ya de algunas décimas de kilómetro por segundo, y de seguro han de reducirse más todavía.

Resentíanse aún los trabajos espectrográficos, de la imposibilidad de comparar las velocidades radiales de una misma estrella determinadas en varios Observatorios, por ser en escaso número las publicadas; pero esta compara-

ción, de suma conveniencia para descubrir los errores constantes, peculiares á los métodos empleados en cada observatorio, era ya factible á la altura á que se había llegado, y debía emprenderse porque el progreso en otras mediciones fundamentales enseña que las diferencias sistemáticas entre los resultados procedentes de distintos Observatorios se hacen más perceptibles conforme aumenta la exactitud de las determinaciones.

Tales ideas movieron á Mr. Frost, del Observatorio Yerkes á dirigir en Febrero de 1902 una circular á los Sres. Béliopolsky, de Pulkowa; Campbell, del Monte Hamilton (Observatorio Lick); Deslandres, de Meudon; Gill, del Cabo de Buena Esperanza; Lord, de Columbus (Ohío); Newall, de Cambridge (Inglaterra), y Vogel, de Potsdam— todos peritísimas autoridades en la materia— pidiéndoles su concurso para emprender sistemáticamente la observación de un cierto número de *estrellas fundamentales*, con el fin de cotejar luego los resultados por cada observador conseguidos. Conformes dichos señores en tomar parte en labor tan delicada, llegóse á un acuerdo, según el cual serán diez las estrellas, con criterio elegidas entre las magnitudes 1.<sup>a</sup> y 4.<sup>a</sup>, y distribuídas en ascensión recta y en declinación, que han de observar todos tres veces al año por lo menos.

Mucho puede esperarse, para el adelanto de esta rama importante de la Astronomía, del estudio comparativo de las velocidades radiales de las indicadas estrellas que, por su carácter de *fundamentales*, recuerdan las estrellas de estado, base para la rigurosa determinación de las posiciones aparentes de los astros en la esfera celeste. Los señores Frost y Adams publicaron en el número de Noviembre de 1903 del *Astrophysical Journal* las observaciones, notables por su exactitud, que durante los últimos meses de 1902 y primeros de 1903 hicieron en el Observatorio Yerkes, cerca de Chicago.

Los números publicados por todos los observadores no son los que la observación instrumental proporciona, aun después de corregidos los errores que pueden contener. Así como las coordenadas de las estrellas, para ser catalogadas, deben referirse á un punto de partida en la esfera celeste, que es el equinoccio medio para una época determinada, descontando el efecto de la precesión, nutación y aberración, y del movimiento propio, si se conoce, así también con los movimientos radiales hay que realizar algo parecido.

La velocidad radial observada es la que resulta del movimiento combinado de la estrella y del observador. Pero como de ordinario aquélla suele referirse al centro del Sol, es menester corregirla del efecto de la rotación de la Tierra sobre su eje, y del que produce la revolución anual de la misma, para cuyo más fácil cálculo están dadas las fórmulas y construídas las tablas necesarias. En rigor la velocidad radial debería también ser corregida del efecto de la revolución de la Tierra alrededor del centro común de gravedad de ésta y su satélite; pero el mayor valor de tal corrección no excedería de *una centésima de kilómetro por segundo*, y en el grado de precisión que actualmente tienen las observaciones puede del todo despreciarse.

### III

La determinación, conforme vimos en los párrafos anteriores, de las dos componentes, tangencial y radial del movimiento relativo de una estrella, único que directamente no es dado discernir, puede llevarnos al conocimiento de la dirección y la velocidad con que realmente se transporta en el espacio. Problema importante que desde luego llamó la atención de los astrónomos, y acerca del

cual la Real Sociedad Astronómica de Londres emitió años ha su autorizada opinión, diciendo que los resultados positivos del nuevo método espectroscópico “cuando se combinen con los movimientos propios ordinariamente observados en las estrellas nos darán indicaciones sobre la verdadera estructura del cielo”.

Esta idea de combinar los dos modos de observación, pero limitada á inquirir las dimensiones reales de las órbitas de las estrellas dobles, entre sí físicamente enlazadas, formando *sistemas binarios*, y las distancias de éstos al sistema solar, emitióla por primera vez Fox Talbot en 1871, siendo después realizada en teoría merced á los notables trabajos analíticos de diferentes astrónomos, entre los que sobresalen Niven, E. C. Pickering, See, Palisa y Rambaut.

Con un objeto de mayor transcendencia, el de investigar el movimiento general del sistema sidéreo, el Sr. Maxwell Hall, de Jamaica, trató asimismo, aunque prematuramente, de combinar las velocidades tangencial y radial de las estrellas, si bien de la última sólo se valía para comprobar los resultados obtenidos con la primera. Pero ninguno de los astrónomos citados se propuso establecer con toda generalidad la relación, susceptible de ser expresada matemáticamente, que por necesidad debe existir entre el movimiento radial y el movimiento angular aparente de una estrella, supuesto que, conforme se ha dicho, no son ambos sino los componentes del movimiento relativo de la misma en el espacio.

A principios de 1878 publicóse en las *Monthly Notices* de la Real Sociedad Astronómica de Londres una nota en que precisamente se trataba de plantear la relación mencionada, de lo cual intentaremos dar aquí una sucinta idea.

En el movimiento relativo de una estrella, suponiendo al observador situado en el centro del Sol, es menester considerar los movimientos absolutos de ambos astros, en magni-

tud y dirección, su distancia mutua y los movimientos angular y radial observados en la estrella, así como el lugar aparente de ésta en la esfera celeste. Hállanse por la observación expresados de diferente manera los dos movimientos componentes referidos: en unidades lineales la velocidad radial, y en medida angular la velocidad tangencial; de suerte que para hacer en el cálculo homogéneos los valores de ambos componentes, sería preciso conocer la distancia de la estrella. Además, la velocidad tangencial, ó el hasta ahora impropriamente llamado *movimiento propio*, sólo puede averiguarse, como antes se dijo, comparando las posiciones sucesivas de la estrella en la esfera celeste en dos épocas separadas por largos intervalos de tiempo, y, por lo tanto, puede únicamente proporcionar, previo el conocimiento de la paralaje, la proyección de la *velocidad media* del astro en el referido intervalo; no así la componente radial, que da desde luego la velocidad lineal de aquél *en el momento de la observación*, circunstancia que permite hallar, por rápidas que sean, todas sus variaciones sucesivas, por lo cual se presta á grande y provechosa aplicación en el estudio de los sistemas binarios llamados espectroscópicos. También el movimiento angular es variable; tanto en magnitud como en dirección, en los sistemas binarios visuales; pero aparte de estos casos particulares, cuando las velocidades tangencial y visual son constantes, sólo determinan un elemento de la trayectoria del cuerpo celeste, si bien este dato es de la mayor importancia cuando se quiere relacionar unos con otros los movimientos reales de varias estrellas.

En la nota que analizamos, el procedimiento para plantear las ecuaciones fundamentales del problema, consiste en lo siguiente: las posiciones sucesivas ocupadas por el Sol y la estrella en dos instantes, suficientemente próximos para que puedan tomarse, en el intervalo, como rectilíneos

los movimientos elementales de ambos astros en el espacio, son proyectadas sobre un sistema de coordenadas ortogonales, cuyo origen, para mayor sencillez, se pone en coincidencia con la posición inicial del Sol, haciendo luego pasar uno de los ejes por el segundo lugar del mismo astro, y uno de los planos, llamado *paraláctico*, por la primera posición de la estrella. Como resultado de esta proyección se obtienen tres ecuaciones rigurosas de forma análoga á las que enlazan las posiciones relativas de cualquier cuerpo celeste, el Sol y la Tierra.

Es posible, sin embargo, introducir en ellas algunas simplificaciones, reparando en la pequeñez del movimiento angular de la estrella, y en la variación, también pequeña, que experimenta la distancia al Sol, relativamente á la magnitud de ésta. Simplificadas así las ecuaciones, dicha variación, que no es sino la velocidad radial deducida de la observación espectroscópica, aparece en ellas taxativamente expresada, y la relación que se busca entre las dos velocidades componentes queda con claridad establecida.

Tales fórmulas, y otras auxiliares, cuya obtención es fácil, permiten, por su generalidad, resolver gran número de problemas especiales, como el importantísimo de la traslación de nuestro sistema solar en el espacio, por cualquiera de los principales métodos conocidos; el antes mencionado de la determinación de las dimensiones reales de las órbitas de las estrellas dobles y su paralaje, y el de las relaciones que se sospecha pueden existir entre los movimientos de las estrellas pertenecientes á un mismo grupo sidéreo, etc. Mejor dicho, todos los problemas enumerados, y otros, sobre los cuales sería enojoso insistir, parece que, planteados de este modo, sólo vendrían á ser casos particulares de un procedimiento general, cuya transcendencia en sus aplicaciones únicamente al tiempo toca decidir.

#### IV

Desde que quedó comprobada la existencia de los movimientos propios de las estrellas, tenidas antes por *fijas*, muchos astrónomos—como arriba dije,— juzgando por razón de analogía, extendieron esta noción al Sol; pero ninguno pasó del terreno de las conjeturas.

Lalande miraba la traslación del Sol como consecuencia necesaria de su rotación. Lambert, Prévost; Mayer y Fontenelle emitieron ideas muy ingeniosas sobre dicho movimiento combinado con el de las estrellas. El primero, en sus *Cartas cosmológicas*, ya decía en 1761 que los movimientos propios de las estrellas son debidos á dos causas combinadas: al movimiento efectivo de ellas y al del Sol, “habiendo en esto, quizás, un medio de averiguar hacia qué región del Cielo nuestro Sol se dirige”. Bradley creía, con razón, que el descubrimiento de las leyes del movimiento solar exigiría algunos siglos de observaciones. Michell, en las *Philosophical Transactions* de 1767, expresaba que el efecto del mismo en las estrellas podía considerarse como una *paralaje secular* de tal especie, que si pudiera en algún tiempo descubrirse la paralaje anua de algunas y determinarse también la dirección y la velocidad con que se mueve nuestro sistema, servirían estos datos para informarnos acerca de la distancia de muchas de ellas, lo cual sería imposible de conseguir por otros procedimientos.

Algún ensayo, no del todo infructuoso, hizo Prévost en 1781; pero William Herschel, por tantos títulos inmortal, fué el primero que en 1783, por cierto con bien escasos é imperfectos medios, mas con sagacidad incomparable, logró descubrir la dirección en que se traslada el sistema solar.

Para comprender su método, veamos primero qué carac-

terés nos presentará la paralaje secular debida á esta traslación. Suponiendo que las estrellas estuvieran realmente *fijas* ó en reposo, y que, por lo tanto, sus movimientos propios fueran exclusivamente producidos por el movimiento progresivo del sistema solar en el espacio, *todas* describirían en la esfera celeste arcos de círculo máximo, de amplitud inversamente proporcional á la distancia de las mismas á la Tierra, y convergentes hacia un solo punto, opuesto á aquel adonde el Sol se dirigiese. Se ha comparado, con bastante propiedad, este efecto aparente ó *paraláctico* al que percibiría un observador caminando en línea recta por un extenso y poblado bosque: pareceríale que los árboles situados delante de él se apartaban unos de otros, que los que tenía á derecha é izquierda corrían en sentido opuesto al suyo, y que los que tras de sí dejaba iban agrupándose, siendo tal efecto más sensible en los objetos más cercanos.

La observación demuestra, sin embargo, que las estrellas efectúan sus movimientos aparentes en todas direcciones, de manera que éstos no pueden ser *exclusivamente* debidos á la traslación del sistema á que pertenecemos. Mas, por otra parte, es también indudable, y W. Herschel ya lo hizo ver de un modo ingenioso, que las variaciones de lugar de aquellos astros no se verifican *indiferentemente* en cualquier sentido, y que si bien sus trayectorias, prolongadas, no concurren en un mismo punto de la esfera celeste, se advierte en la generalidad cierta *tendencia* á verificarlo; lo cual, en otros términos, significa que los cambios de posición que echamos de ver en las estrellas son, en parte, reales ó verdaderos, y, en parte, aparentes ó paralácticos.

A este propósito convendrá quizás adelantar una reflexión del sabio astrónomo Airy. En el espacio ilimitado—dice—no puede existir ningún punto *fijo* ó de referencia; de

suerte que, para determinar la posición de un cuerpo en el espacio, nos vemos obligados á tomar como *cero* ú origen el lugar de otro cuerpo, ó el promedio de los lugares de muchos cuerpos. Lo que también quiere decir que las posiciones sucesivas del Sol que por cualquier procedimiento obtengamos, no expresarán al cabo sino la traslación de este astro *relativamente* á las estrellas de que nos hayamos servido para deducirlo; por manera, que si los movimientos peculiares á las mismas no son en absoluto independientes unos de otros; si todas poseen un movimiento común, sea de revolución alrededor de un centro de gravedad, hasta ahora desconocido, sea de traslación en la inmensidad de los cielos, lo único que de las observaciones podrá inferirse es que nuestro Sol camina, ó bien hacia un lugar determinado, ó bien hacia el lugar opuesto, según se le conceda una velocidad superior ó inferior á la velocidad media de las estrellas que componen nuestro sistema sidéreo. Sin embargo, siendo natural y lógico suponer que el Sol marcha en el mismo sentido que las estrellas que inmediatamente le rodean, una vez averiguado el de éstas, el de aquél quedará determinado.

Cabe esperar que con el tiempo llegue á conocerse el movimiento común referido, acerca del cual no se tiene todavía más que vagas conjeturas. A falta de más seguros datos es preciso, en consecuencia, suponer, como suele hacerse en todas las investigaciones de la traslación solar, que las estrellas se mueven en el espacio con entera independencia en todas direcciones, sin obedecer á ley general alguna; hipótesis que permite considerar sus movimientos reales como errores fortuitos de observación, cuyo influjo, empleando en el cálculo un gran número de estrellas, es de presumir tienda á desaparecer ó eliminarse, quedando en toda su integridad los movimientos paralácticos.

El método ideado por Herschel, á que antes he aludido,

consistía esencialmente en trazar sobre un globo celeste, desde cada estrella, un círculo máximo que representara la dirección del movimiento propio de ésta, y hallar los puntos de intersección de cada dos de dichos círculos: estos puntos, en el supuesto de que el movimiento referido fuese sólo aparente, deberían todos coincidir é indicarían la dirección de nuestro sistema solar. Pero no coincidiendo, en realidad, unos con otros dichos puntos, aunque se presentaran agrupados en la misma región del cielo, tomaba Herschel, mediante tanteos sucesivos, como dirección más probable del Sol, otro punto intermedio, á modo de centro de gravedad, en el cual la suma de los movimientos paralácticos fuese un máximo. De esta manera obtuvo, para la posición de este punto, que suele llamarse *vértice paraláctico* ó *polo de traslación*, y más generalmente *apex*, las coordenadas ascensión recta =  $260^{\circ} 34'$ ; declinación =  $26^{\circ} 17' N.$ , correspondientes al año 1783. Más adelante, en 1805, al cabo de nuevos ensayos, creyó poder fijar estos otros valores: ascensión recta =  $245^{\circ} 53'$ ; declinación =  $40^{\circ} 22' N.$

El método acabado de explicar sucintamente, como primer ensayo, convenía muy bien á los pocos hechos de observación entonces conocidos, y al aplicarlo su autor alcanzó, sin duda alguna, feliz éxito; pero es, á todas luces, insuficiente para la discusión de los movimientos propios de un gran número de estrellas. Una de las objeciones que suscita es que en él hay que dar el mismo *peso* ó importancia á los movimientos propios de mucha amplitud que á los más pequeños, siendo evidente que estos últimos pueden ser completamente falsos si adolecen de un error, por diminuto que sea. Objétase, además, que se prescinde en absoluto de las distancias de las estrellas, sin cuyo dato, valiéndose de las desviaciones *angulares* de las mismas, es imposible averiguar la velocidad *lineal* de la traslación del Sol en el espacio.

Sea por estos ú otros motivos, sea por lo atrevido y nuevo de las conclusiones, lo cierto es que los trabajos de Herschel, sancionados en tiempos posteriores, no obtuvieron la mejor acogida de los astrónomos contemporáneos; y entre varios que podríamos citar, Burkhardt en la *Connaissance des Temps* para 1809; Biot en su *Astronomie Physique*, y Bessel en su *Fundamenta Astronomiae*, consignaron que en los escritos de Herschel no hallaban una confirmación palmaria del movimiento del Sol en el espacio.

Verdad es que Gauss la apoyó mediante la discusión de los movimientos propios de 71 estrellas, precisamente entresacados de la citada obra de Bessel; pero la demostración más decisiva, la que llevó el convencimiento al ánimo de la mayoría de los astrónomos, la dió Argelander, autor de otro método, que ha sido después el más conocido y empleado, y del que quisiera dar aquí, con la mayor claridad posible, una sucinta idea, aun á riesgo de abusar de vuestra benévola atención.

Sienta primero Argelander como cierto el movimiento del sistema solar, y suponiendo también sabida aproximadamente su dirección, ó, lo que es igual, la posición del *apex* ó vértice paraláctico en la esfera, une este punto con cada estrella por medio de un arco de círculo máximo, y traza, además, otro arco que coincida con la dirección del movimiento propio de la misma. Los ángulos que ambas direcciones forman, por el mero hecho de ser reputados los movimientos reales de las estrellas como errores fortuitos de observación, conforme antes dije, pudo el mismo eminente astrónomo tratarlos cual si fuesen pequeños errores residuos, análogos á los que resultan siempre en la combinación de las observaciones, y someterlos al método de cálculo, de uso frecuentísimo en las ciencias experimentales, y entre nosotros más ignorado de lo que fuera

menester, y que lleva el nombre de *método de los mínimos cuadrados*. Este le permitió hallar las correcciones de las coordenadas supuestas del *apex*, y de consiguiente, con los datos de que disponía, el valor *más probable* de la dirección del movimiento del Sol.

Tratando además de dar en la investigación á cada movimiento propio la importancia debida, sentó también Argelander como hipótesis muy verosímil que las estrellas que poseen mayores movimientos propios deben ser las más cercanas á nuestro sistema, y en consecuencia, introdujo la condición de su proximidad relativa, repartiendo las 390 estrellas que servían de base á su cálculo en tres clases, asignando á los astros incluídos en cada una de éstas la misma distancia media. Contení la primera clase 21 estrellas, cuyos movimientos propios exceden de 1" al año; la segunda 50, con movimientos comprendidos entre los límites 1",0 y 0",5 y la tercera las 319 restantes, en las cuales el movimiento es inferior á 0",5 y superior á 0",1. De esta manera, y dando diferente y adecuado peso á cada clase, obtuvo para el punto adonde el Sol se dirige las coordenadas siguientes, referidas al año 1792: ascensión recta =  $259^{\circ} 52'$ ; declinación =  $32^{\circ} 29' N$ . Números que concuerdan bien, en cuanto puede esperarse de tan difícil y espinoso problema, con los primitivamente hallados por Herschel.

Acabo de decir que la ascensión recta y la declinación del *apex* se referían á un año determinado. Efectivamente, debe recordarse que la precesión hace variar de una manera progresiva la posición de un punto cualquiera de la esfera celeste respecto de los planos fundamentales (ecuador, eclíptica, etc.), y por eso á las coordenadas del punto debe siempre acompañar la fecha á que corresponden. Cabalmente el influjo de la precesión es una de las cosas que más complican este problema, porque un error en el valor de la misma altera los de los movimientos propios de las estrellas

de un modo sistemático, y vicia, por tanto, los resultados obtenidos referentes á la dirección del movimiento solar.

Notando el sabio astrónomo ruso O. Struve que los movimientos propios, al par que dependen de la precesión, varían también con la velocidad aparente de la traslación solar, tuvo la ingeniosa idea de determinar la última, sirviéndose de la relación que debe existir entre dichas cantidades. Para ello supuso, como Argelander, conocida la situación del *apex*; estableció luego la expresión matemática que enlaza los tres órdenes de fenómenos, y, con las variaciones observadas en ascensión recta y en declinación de cada estrella, buscó los valores más probables de la precesión y del arco que el Sol describiría durante un año, si pudiéramos verle, colocados perpendicularmente á la dirección de su movimiento y á la distancia media de las estrellas de primera magnitud. Como fruto de sus laboriosos cálculos halló Struve que el arco referido tendría una amplitud de  $0'',339$ . Si concedemos, con Peters, que la paralaje de las últimas vale, por término medio,  $0'',209$ , resultará que el Sol, con su sistema, recorre anualmente en el espacio un camino representado por el cociente de ambas cantidades, ó sea 1,6 veces el radio de la órbita terrestre; valor que, dada la indudable autoridad del célebre director del Observatorio de Pulkowa, mereció hasta ha poco, acaso con excesiva confianza, el crédito de verdad demostrada é indiscutible. Pero si en vez de la paralaje media de las estrellas de primera magnitud calculada por Peters prefiriésemos el número  $0'',084$ , dado por el no menos autorizado astrónomo sueco Gylden, la velocidad lineal de nuestro sistema excedería algo de cuatro radios de la órbita terrestre; valor que, según los trabajos realizados en este género de investigaciones, parece más verosímil y aceptable.

Para efectuar su trabajo, claro es que Struve tuvo que adoptar algún criterio relativamente á las distancias de las

estrellas, mas no se valió, como Argelander, de los movimientos propios, sino que supuso que dichas distancias eran inversamente proporcionales á las magnitudes aparentes de aquellos astros, y repartió las últimas, como ya lo hiciera su ilustre padre W. Struve, desde la primera á la séptima inclusive, en doce clases, asignando á la primera clase una distancia media igual á 1, á la de la segunda 1,71, y así sucesivamente aumentando hasta la duodécima, cuya distancia, según la hipótesis adoptada, llegaría á ser 11,34 veces mayor.

Prescindiendo de la incertidumbre, por no decir ignorancia, que existe acerca de las distancias absolutas de las estrellas, y cuya influencia es inevitable cuando para resolver el problema de que tratamos se recurre á los movimientos *angulares* de las mismas, el eminente astrónomo Airy halla muchas objeciones á estos métodos, y con especialidad al de Argelander. Censura en primer término que se parta de la hipótesis de ser aproximadamente conocida la dirección del movimiento de traslación del sistema solar, porque, dejando á un lado lo irregular de semejante proceder, cualquier error que hubiera en la posición supuesta podría ocasionar, en ciertos casos, gran confusión en el modo de contar los ángulos que el *círculo paraláctico*, trazado desde cada estrella, forma con el círculo que ésta recorre en virtud de su movimiento propio, y precisamente tales ángulos sirven de base, como antes dije, á la investigación.

En su consecuencia, propone el Sr. Airy otro método, al parecer más racional y lógico, cuya parte esencial consiste en emplear, no los movimientos *angulares* de las estrellas, trazados en la superficie de una esfera, sino los movimientos *lineales* correspondientes, proyectados sobre un sistema de coordenadas rectangulares, cuyo origen coloca en el Sol, tomando por plano de las *xy* el plano que, paralelo al ecuador terrestre, pasa por el centro de dicho astro; dirige

el eje de las  $x$  al primer punto de Aries, el de las  $y$  al punto cuya ascensión recta es  $90^\circ$ , y el de las  $z$  paralelo al eje de la Tierra, contando esta última coordenada positivamente hacia el Norte.

Los movimientos estelares que la observación revela sobre la esfera celeste, transportados de este modo al centro del Sol, paralelamente á sí mismos, forman un sistema de velocidades concurrentes, que es descompuesto y reducido á otras tres, perpendiculares entre sí, como en casos análogos se acostumbra para hallar con más facilidad su resultante. Acumulando un gran número de datos, tenderá ésta á ser nula en la parte del movimiento propio peculiar á cada estrella, según el principio generalmente adoptado, mientras que, por el contrario, el movimiento único, debido á la traslación solar, se manifestará con toda evidencia.

Para establecer con el correspondiente peso las ecuaciones de condición y expresar los movimientos angulares en medida lineal, introduce el mismo autor el dato de la distancia de las estrellas, dividiéndolas en siete clases de magnitudes con arreglo á la escala de Struve, citada más arriba. Tiene además en cuenta el influjo que en los resultados puede ejercer un error en el valor admitido de la precesión, así como el de los errores sistemáticos posibles en las observaciones. Las ventajas de este método—dice—consisten en que es del todo independiente y completo, que no requiere el conocimiento previo de un punto determinado por anteriores investigaciones, y que da con exactitud á cada observación la importancia merecida.

Hizo Airy un ensayo de su método con 113 estrellas elegidas entre las que tienen movimiento propio angular más considerable. La dirección así obtenida difiere poco de la que Herschel, Argelander y otros astrónomos hallaron por distintos métodos, pero la velocidad anual, expresada en arco, igual á  $1'',912$ , con que se verían mover esas estrellas

á la distancia media de las de primera magnitud, ofrece discrepancia notabilísima si se compara con el valor  $0'',339$  dado por Struve, pues aquella velocidad resulta casi seis veces mayor. Esta diferencia procede principalmente de la inseguridad que existe acerca de las distancias absolutas de las estrellas y del corto número de éstas empleado en la investigación. Con efecto, si no puede negarse que las distancias relativas de las mismas obedecen, en conjunto, á cierta ley, función de su magnitud ó brillo aparente, ley que se pone de manifiesto cuando se examina una muchedumbre de estrellas, hay algunas de éstas que son excepciones á la regla común, y que, por ejemplo, ofreciendo escaso brillo, distan de nosotros mucho menos que otras más resplandecientes; de modo que no están unas ni otras con acierto colocadas en la escala admitida para las distancias. Tales excepciones, que apenas influyen en los resultados de las investigaciones efectuadas con datos muy numerosos, tienen preponderancia excesiva en los ensayos hechos con pocas estrellas.

Buena prueba de ello es la segunda aplicación del mismo método, realizada poco tiempo después por el Sr. Dunkin, astrónomo también del Real Observatorio de Greenwich. Válese este señor de los movimientos propios de 1.167 estrellas, comprendidas entre la primera y la séptima magnitud, y de la escala de Struve para la distribución de las distancias relativas. Conduciendo el cálculo por los mismos senderos que su predecesor, llega á resultados muy parecidos á los de éste, en cuanto á las coordenadas de la dirección del movimiento solar, pero muy diferentes en lo que se refiere al valor de su velocidad, pues le resulta igual á  $0''410$ , que, en cambio, concuerda bastante con el hallado por Struve.

Conviene, pues, emprender esta investigación con gran copia de datos bien comprobados, y que las estrellas que los proporcionen pertenezcan á toda clase de magnitudes y

estén distribuídas con la mayor regularidad posible en la esfera celeste. Muchos astrónomos modernos, siguiendo el consejo del Profesor Safford, opinan que es más exacto suponer las distancias estelares inversamente proporcionales á los movimientos propios, como hizo Argelander, que basarlas en una distribución hipotética de las magnitudes aparentes de las estrellas. Newcomb cree preferible incluir sólo las estrellas que tienen movimientos propios pequeños, pues juzga que la ventaja de su gran número compensa con creces el inconveniente de su mayor distancia probable. W. Monk, por otra parte, insiste mucho en la necesidad de abandonar por completo todas las hipótesis acerca de las distancias estelares, y limitarse tan sólo á determinar las coordenadas del *apex*, examinando las direcciones de los movimientos propios, porque operando así cree acercarse más á la verdad. Todas las precauciones indicadas no tienen otro fin que eliminar la influencia de los errores inevitables en las observaciones y la de las irregularidades en los movimientos propios, pues de este modo es como cabe reducir á un mínimo la que pudiera ejercer el movimiento general de que acaso esté animado nuestro sistema sidéreo.

El conocimiento, cada vez más acabado, de los movimientos propios, y las adiciones de continuo hechas al número de estrellas utilizables para el objeto propuesto, han conducido en los últimos años á una conclusión interesante sobre la posición del *apex*. Las primeras investigaciones daban para su ascensión recta valores próximos á  $260^\circ$ , mientras que las últimas la aumentan en unos  $20^\circ$ , acercándola á los  $280^\circ$  y aun excediendo de esta cifra. Respecto á la declinación del mismo punto, existe mayor disparidad; pero casi siempre resulta esta coordenada en el hemisferio boreal y las más veces comprendida entre los  $30$  y  $40$  grados. En otros términos, podemos decir que hasta hace poco se tenía por cosa definitivamente averiguada, y así se en-

V

Al tratar de los movimientos reales de las estrellas hemos visto la necesidad de conocer con exactitud el valor de la paralaje de cada una, para poder expresar en unidades lineales la componente transversal dada por la observación en medida angular: problema todavía erizado de dificultades prácticas punto menos que insuperables.

Desde el momento en que fué generalmente admitido como cierto el sistema de Copérnico, según el cual la Tierra no podía ocupar el centro del Universo, buscóse la prueba de la movilidad de nuestro globo en la oscilación anual que por tal concepto debía cumplir el lugar aparente de las estrellas. Los astrónomos de aquellos tiempos, desconociendo las consecuencias á que más tarde condujo el estudio de la fotometría celeste, é imbuídos en el prejuicio, bien lógico entonces, de que la Naturaleza derrocharía sus recursos si dejara vacío un espacio millares de veces mayor que el ocupado por el sistema solar, suponían las estrellas mucho más cercanas de lo que realmente están, y más fáciles de hallar, por consiguiente, sus paralajes. Horrebow, Hooke y otros emprendieron trabajos en ese sentido con los instrumentos rudimentarios usados entonces; pero en labor tan delicada los resultados tenían que ser por completo ilusorios, porque los errores de observación superaban mucho á la pequeñez del elemento cuyo valor se trataba de determinar. Sabido es que con el mismo intento Bradley comenzó sus observaciones de la estrella  $\gamma$  Draconis, y que, á pesar de la precisión, hasta entonces no igualada, de sus instrumentos, como fruto de sus afanes sólo consiguió descubrir el fenómeno de la aberración, en vez de la paralaje que buscaba.

El primer resultado concluyente de la extremada pequeñez de la paralaje estelar, obtúvole W. Struve en Dorpat hacia el año 1830. Observando diariamente, y en épocas determinadas durante el período anual, un numeroso grupo de estrellas, elegidas á propósito, en sus dos pasos por el meridiano, si no llegó á determinar la paralaje de ninguna estrella, porque con semejante método era imposible lograrlo, pudo, á lo menos, fijar el límite superior de la paralaje media del conjunto de estrellas observadas, y sentar la conclusión de que este límite no podía exceder de  $0'',1$ , y que, *por lo tanto, la distancia media del grupo referido no debía de ser muy inferior á dos millones de veces la distancia de la Tierra al Sol.*

Por singular coincidencia — repetida, no obstante, en los descubrimientos científicos, como sucedió, por ejemplo, en el del planeta Neptuno, á un mismo tiempo teóricamente realizado por Leverrier y Adams — el primer éxito positivo alcanzado en la determinación de las paralajes sidéreas debióse, casi en idéntica fecha, á tres célebres astrónomos; á Bessel en Königsberg, Struve en Dorpat y Henderson en el Cabo de Buena Esperanza; todos, próximamente, al terciar la pasada centuria, y valiéndose de procedimientos distintos. Bessel aplicó el heliómetro á la pequeña estrella doble, desde entonces famosa, llamada la 61 del Cisne; Struve utilizó las medidas micrométricas de la hermosa Vega ó  $\alpha$  de la Lira, y Henderson empleó las observaciones meridianas de otra doble brillante, situada en el hemisferio austral y conocida con el nombre de  $\alpha$  del Centauro. El criterio que presidió en la elección de estas estrellas fué su considerable movimiento propio, que hasta cierto punto justificaba la hipótesis de su relativa proximidad á nuestro sistema. Así y todo, la paralaje de las tres se mide sólo por fracciones de segundo, siendo la mayor la de  $\alpha$  Centauri, que, según las más recientes y exactas investigaciones,

llega á valer  $0'',75$ . Esta estrella es hasta ahora la más cercana á nuestro Sol que se conoce, del cual dista unas 275.000 veces el radio de la órbita terrestre, tardando, de consiguiente, la luz que nos envía algo más de cuatro años y tres meses en llegar hasta nosotros.

El método en la actualidad con más frecuencia practicado para resolver el problema de que tratamos es el de las *paralajes relativas*, el mismo que iniciaron Bessel y Struve. Consiste, como se sabe, en medir micrométricamente y en días adecuados del año, la distancia angular de la estrella, cuya paralaje se busca, á otra ú otras de menor brillo, próximas á ella en el campo del anteojó y perceptiblemente desprovistas de movimiento propio. La carencia de éste y la diversidad de magnitudes hacen presumir que las estrellas de comparación se hallan mucho más lejos que la estrella principal, cuyo desvío paraláctico relativo es posible medir de consiguiente. Pero en esta hipótesis estriba el punto débil del método, porque *a priori* no podemos estar seguros de que las estrellas de comparación carecen de paralaje apreciable. A las veces, en efecto, la paralaje buscada resulta con signo negativo, indicio casi seguro, ó de existir grandes errores en la observación, ó de ser dicha paralaje menor que la de la estrella de referencia. En general, sin embargo, las últimas investigaciones tienden á demostrar que la distancia de las estrellas pequeñas, sin movimiento propio perceptible, es tan enorme, que su paralaje puede reputarse nula. Para este método se emplea con preferencia el heliómetro, que en manos de Sir David Gill y de Elkin ha conducido á resultados notabilísimos.

El procedimiento fotográfico ha proporcionado también en este caso, como sucedió en el del problema de las velocidades radiales, resultados cuya perfección rivaliza con las del heliómetro, sustituyendo á las medidas directas hechas con éste las que con toda comodidad y gran rapidez

pueden efectuarse en cualquier momento sobre la placa impresionada, utilizando mayor número de estrellas de comparación, y evitando la dificultad capital al investigar paralajes, consistente en la trepidación ó centelleo de las imágenes estelares producidas por movimientos de la atmósfera. Entre los astrónomos que más se han distinguido en la aplicación de la fotografía á este problema merece citarse en primer lugar el Profesor Pritchard, de Oxford, quien después de realizarla con gran éxito en la 61 Cygni, llevó á cabo su proyecto de extenderla á unas 30 estrellas de segunda magnitud, para las cuales halló una paralaje media de  $0''{,}056$ , valor bastante probable, aunque no exento de incertidumbre. El Profesor Kapteyn, de Groningen, convencido de la posibilidad de efectuar una revisión paraláctica del cielo por medio de la fotografía, empresa que servirá de complemento á la Carta Astrográfica que, según dijimos, se está construyendo, aplicó su método, por vía de ensayo, con estimulante éxito, á 248 estrellas.

A pesar de lo dicho no fué del todo abandonado el procedimiento de las investigaciones absolutas. Recientemente Kapteyn, en Leyden; Belopolsky, en Pulkowa, y Flint, en Madison, empleando el círculo meridiano, y Brünnow y Ball, la ecuatorial, observaron diferencias de ascensión recta, y hallaron por este, á primera vista defectuoso método, los paralajes de casi un centenar de estrellas con alguna precisión, merced á la habilidad desplegada por dichos observadores. Pero las únicas que merecen confianza todavía quizás no lleguen á 50, y aun los valores de algunas de éstas carecen de la exactitud que sería de desear. Lo que en otros términos equivale á decir que la inmensa mayoría de las estrellas brillan tan apartadas de nosotros, que sus distancias son inaccesibles á nuestros actuales medios de observación.

## VI

El atento examen del cielo estrellado; la concentración, muchas veces advertida, de las estrellas que lo pueblan formando grupos naturales; el significativo aspecto de la grandiosa cintura luminosa, conocida con los nombres de Galaxia ó Vía Láctea, que, casi siguiendo un círculo máximo, rodea la esfera celeste, cintura hacia la cual parece que tienden aquéllas á reunirse; todos estos hechos conspiran de consuno á sugerir la idea de que no al mero acaso obedecen tales apariencias, y que un lazo común debe de existir entre los innumerables cuerpos que constituyen el sistema sidéreo.

No fué tal, sin embargo, la opinión predominante entre los primeros astrónomos que estas cuestiones estudiaron, pues atribuyeron á mero fenómeno óptico la proximidad aparente de dos estrellas, suponiendo que sólo por efecto casual de perspectiva podían verse contiguas, aunque en realidad estuviesen sumamente distantes una de otra. El mismo Sir William Herschel, á pesar de su poderoso genio, participó al principio de la misma opinión, y basándose en ella emprendió su admirable *sondeo* del cielo, en cuyo trabajo entraba, como parte del plan, averiguar por el método diferencial la paralaje relativa de las estrellas más cercanas. “Es demasiado pronto —decía prudentemente en 1782— para formular teorías acerca de la revolución de las estrellas pequeñas alrededor de las grandes.” Pero la experiencia adquirida después durante cuarenta años de infatigables observaciones modificó sus primeras ideas, y ya en 1802 pudo presentar á la Real Sociedad de Londres pruebas del movimiento orbital de unas 50 estrellas dobles, declarando que éstas debían reputarse como

combinaciones binarias reales íntimamente mantenidas por el lazo de una mutua atracción.

Por la misma época, algunos entendimientos perspicaces, antes que las observaciones de Herschel condujeran á la conclusión mencionada, habían ya expresado su sentir de acuerdo con ella. El Rdo. John Michell, apoyándose en la doctrina de probabilidades, escribía en 1767 que era sumamente probable que dos ó más estrellas, al parecer muy cercanas unas de otras, lo estuviesen en realidad bajo el influjo de alguna ley general. Considerando, por ejemplo, el grupo de las Pléyades que, en pequeña extensión, contiene seis estrellas principales, mientras que en todo el cielo no se cuentan sino unas 1.500 cuyo brillo con el de aquéllas ofrezca semejanza, halló que sólo había una probabilidad de  $\frac{1}{500.000}$  para que las seis estrellas pudieran por casualidad estar concentradas en tan exiguo espacio, y, de consiguiente, que debía admitirse la proximidad real de unas á otras, formando una agrupación física, como las observaciones posteriores plenamente confirmaron.

No es menos significativo que los grupos binarios, cuyos elementos constituyentes distan en apariencia muy poco uno de otro, sean relativamente más numerosos que aquellos en que dichos elementos están más separados. Herschel, al emprender su laborioso estudio de los sistemas dobles, los dividió en cuatro clases, según que las estrellas componentes distaban entre sí menos de 4", de 4" á 8", de 8" á 16" y de 16" á 32". En la hipótesis de una independencia absoluta entre todos los astros esparcidos por el cielo, indica el cálculo de probabilidades y hasta el simple buen sentido, que la primera clase de estrellas dobles debería ser menos numerosa que la segunda, menos aún que la tercera y mucho menos que la cuarta. Pues precisamente sucede lo contrario, porque, de las 445 estrellas dobles que contenían los primeros catálogos de Herschel, 97 pertenecían á la clase

1.<sup>a</sup>, 102 á la 2.<sup>a</sup>, 114 á la 3.<sup>a</sup> y 132 á la 4.<sup>a</sup>: números casi iguales. A la misma conclusión se llega examinando los trabajos de W. Struve y otros. Según Newcomb no cabe duda alguna de que cuando las estrellas brillantes parecen dobles en el telescopio son realmente compañeras. No cabe decir lo mismo respecto de los millares ó millones de estrellas telescópicas, pues entonces se presentarán casos en que las dos estrellas de un par no tengan conexión real y estén de hecho á distancias muy diferentes de nosotros, formando lo que se llama un par *doble ópticamente*, por oposición á los verdaderos *sistemas binarios*.

Señal casi segura de la dependencia mutua de dos estrellas es la igualdad, en dirección y magnitud, de sus movimientos propios, é indudable si la observación demuestra que aquéllas describen trayectorias perceptiblemente curvilíneas.

Después que W. Herschel dió tan poderoso impulso á la observación de las estrellas dobles, descubriendo nuevos horizontes acerca de la estructura del Universo, fué seguido en esta vía por otros muchos astrónomos, y especialmente por William Struve, quien durante veinte años se dedicó con empeño á este género de trabajos, cuyos resultados condensa y discute en su célebre obra *Mensurae Micrometricae*. Lejos me llevaría el deseo de citar los nombres de cuantos observadores y calculadores contribuyeron al esplendoroso desenvolvimiento de esta rama de la ciencia astronómica. La conclusión más importante de labor tan extensa fué el hallazgo de muchos grupos de estrellas que forman realmente sistemas binarios, cuyo número se cuenta hoy por centenares. El Dr. See afirma que de 5.000 estrellas dobles interesantes catalogadas por los observadores modernos, 500 lo menos presentan evidentes señales de movimiento orbital, el cual se efectúa describiendo las estrellas componentes de cada grupo elipses, alrededor del centro común de

gravidad, y de acuerdo con la ley de la gravitación universal.

Al considerar las órbitas de los sistemas binarios debemos distinguir entre la órbita real ó verdadera, que puede tener una posición cualquiera en el espacio, y la órbita aparente, proyección de aquélla sobre el plano tangente á la esfera celeste en el punto ocupado por la estrella principal. Dicha proyección, si se atiende al pequeño arco que separa las estrellas componentes, es sin duda una elipse producida por la intersección con aquel plano de un cilindro, cuya directriz es la elipse real y cuyas generatrices son rectas paralelas al rayo visual.

Conforme á la naturaleza de las secciones cónicas y á las propiedades proyectivas de las figuras, el centro de la elipse real se proyecta en el centro de la elipse aparente, pero, en general, los focos de ésta no coinciden con los focos de aquélla, ni los ejes de la una con los ejes de la otra. Sin embargo, si se traza una recta por el centro de la elipse aparente y por la estrella principal, y se prolonga en opuestos sentidos hasta su intersección con la curva, dicha recta define la proyección del eje mayor real. El diámetro conjugado con ella representa entonces la proyección del eje menor, siendo de esta manera fácil fijar las posiciones de los dos ejes reales en la elipse aparente. Y como todas las partes del eje mayor, al proyectarse, quedan reducidas en la misma proporción, la excentricidad de la órbita real puede deducirse de la órbita aparente dividiendo la distancia que hay entre el centro de la misma y la estrella principal por el semieje mayor visto en proyección. El extremo de este eje más próximo á la estrella principal se llama *periastro* ó *pericentro*, y el más lejano *apastro* ó *apocentro*. Es claro que sólo hay un diámetro de la elipse real que en la proyección conserva la misma magnitud y es el diámetro paralelo á la línea de los nodos. Si á este diá-

metro y desde los puntos de la elipse aparente se bajan perpendiculares, multiplicando la longitud que en ella tienen por la secante de la inclinación de la órbita real, se obtendrán otros tantos puntos de ésta, cuya forma verdadera quedará así determinada.

Todo el razonamiento anterior reposa en la hipótesis de la universalidad de la gravitación newtoniana, la cual, en el caso de las estrellas dobles es difícil de comprobar por la observación directa, y sólo por analogía con lo que en el sistema planetario sucede puede admitirse. Ciertamente es que, según demuestra dicha observación, en la órbita aparente los radios vectores, de acuerdo con la segunda ley de Kepler, describen áreas proporcionales á los tiempos, y que, en virtud de una propiedad de las proyecciones, la misma ley ha de regir necesariamente en la órbita real; pero de este hecho cabe sólo inferir la existencia de una fuerza central productora del movimiento de revolución del sistema. No coincidiendo los focos de la órbita aparente con los de la órbita real, la inclinación de ésta sobre el plano de proyección queda indeterminada, y, sin recurrir á una hipótesis, es imposible fijar la ley de fuerza como en el caso del movimiento planetario.

Sabemos que si un cuerpo describe una elipse conforme á la ley de Newton la fuerza central ha de residir en uno de los focos. Sabemos también que el cuerpo describirá otra elipse cuando la fuerza resida en el centro de esta curva, pero entonces la fuerza es directamente proporcional al radio vector y el tiempo periódico no depende de la distancia.

¿Hay otras leyes de fuerza en virtud de las cuales la órbita descrita por un punto material será una cónica? Esta cuestión fué propuesta por Bertrand á la Academia de Ciencias de París en Abril de 1877 y obtuvo inmediata respuesta por Darboux y por Halphen. De los trabajos analíticos

de estos señores resulta que existen diversas leyes, susceptibles de expresarse por una fórmula general, según las que un cuerpo, sometido á cualquiera de ellas, describiría una elipse alrededor de un centro de fuerza, siendo los dos casos señalados en el párrafo anterior las soluciones particulares más sencillas de dicha fórmula, cuando la fuerza depende únicamente de la distancia á aquel centro y no de la dirección del radio vector.

El primer impugnador de la extensión por analogía de la ley Newtoniana á los sistemas estelares parece haber sido Augusto Comte, fundador de la Filosofía positiva, en su *Traité Philosophique d'Astronomie*, apoyándose en que, á su juicio, las observaciones no son bastante exactas para determinar la verdadera figura de la órbita, y, sobre todo, en que no podemos decidir si la estrella principal está en el foco ó en el centro de la elipse real. Ambas objeciones deben ya descartarse: la primera, si se atiende á los numerosos y concordantes trabajos hechos por muchos observadores desde la época en que el renombrado filósofo escribió, y la segunda, porque hasta ahora no se ha presentado caso alguno en que la estrella principal ocupe el centro de la elipse aparente.

La prueba palpable de la extensión de la ley de Newton á tan remotos sistemas dióla el espectroscopio, pues con auxilio de este maravilloso instrumento es posible hallar la diferencia de velocidades radiales de las estrellas componentes en tantos puntos de la órbita aparente como se quiera, proporcionando así los elementos necesarios para calcular la inclinación de la órbita real.

Las observaciones de una estrella doble, expresadas de ordinario en coordenadas polares (separación ó distancia angular de los cuerpos componentes del sistema en segundos de arco de círculo máximo y ángulo de posición de la estrella secundaria respecto del meridiano que pasa por la

estrella principal) sólo permiten fijar puntos de la órbita relativa descrita por el satélite al girar en torno del astro preponderante, ó que se toma por tal en caso de ser ambos cuerpos en apariencia iguales. Las órbitas absolutas de las dos estrellas alrededor del centro de gravedad común tienen figura semejante á la de la órbita relativa, pero se presentan una respecto de otra en posición invertida, y sus dimensiones lineales están reducidas en la razón de cada masa individual á la suma de las masas.

La determinación de las órbitas absolutas y, en consecuencia, la de las masas relativas de las estrellas componentes, tropieza con la dificultad de fijar en cada caso la posición de ese centro de gravedad, que sólo podría hallarse si se conociera con exactitud el movimiento propio del sistema; mas, siendo este movimiento generalmente muy pequeño y hasta dudoso muchas veces, por la inseguridad de las posiciones absolutas de los astros, obtenidas con los instrumentos meridianos, el problema es casi imposible de resolver, salvo en algunos casos excepcionales, viéndose hasta ahora precisados los astrónomos á contentarse con la investigación de las órbitas relativas.

Varios son los métodos ideados para el cálculo de las órbitas de los sistemas binarios. El primer método fué propuesto por Savary en 1827, y modificado después por Encke. Análogo á los que basados en el análisis sirven para resolver el mismo problema en el caso de los planetas y cometas, era poco adecuado para el fin á que se destinaba. Sir John Herschel se propuso evitar los inconvenientes de que adolecía inventando un método gráfico con el cual era posible eliminar los errores de más bulto inherentes á las observaciones individuales de este género. Trátase, en efecto, de medir entre dos estrellas distancias angulares pequeñísimas—tan pequeñas, que en muchas ocasiones no exceden de algunas décimas de segundo de arco—y el ángulo de posi-

ción de una línea cuyos extremos casi se tocan. Cométense, además, errores de carácter personal no siempre fáciles de advertir, bastando todo lo dicho para que se comprenda lo arduo y espinoso del problema.

Herschel consideraba más seguro para obtener órbitas aceptables, el empleo exclusivo en esta labor de los ángulos de posición, desechando las distancias (excepto para determinar el valor del eje mayor de la elipse), y corregir aquéllos interpolándolos por medio de una curva referida á dos ejes coordenados, uno de ellos que representase el tiempo y el otro el ángulo correspondiente. Por aproximaciones sucesivas llegaba luego á deducir lugares normales para los ángulos, hasta que sus resultados gráficos corregidos le permitieran construir una elipse y obtener al fin una órbita aparente satisfactoria. Este método, del cual se hizo mucho uso, fué después de manera ventajosa modificado, opinando el Sr. See que dada la potencia extraordinaria de los mayores telescopios actuales, que permiten desdoblar las componentes muy cercanas de un par binario, deben combinarse á la vez los ángulos de posición y las distancias de las mismas.

Tanto para determinar la órbita aparente, como para de ésta deducir la órbita real de un sistema doble, pueden emplearse diversos métodos gráficos, en los cuales se prescinde en parte del análisis, y otros métodos, por el contrario, basados en éste casi exclusivamente. De los primeros merece especial predilección de los astrónomos el ideado por Klinkerfues, de grandes condiciones en la práctica, y que—según el Dr. See—en el presente estado de esta rama de la ciencia, será generalmente preferido. De los segundos—en opinión del mismo Dr. See,—quedará al fin adoptado por los astrónomos el elegante método de Kowalsky, simplificado para casos especiales por el profesor Glasenapp. En la imposibilidad de dar aquí idea de ninguno

de ellos, me limitaré á añadir que la principal dificultad experimentada por los calculadores consiste en hallar una órbita aparente que con la mayor fidelidad posible satisfaga á todas las observaciones.

Circunstancias notables ofrecen las órbitas reales de las estrellas dobles. Una de ellas es su grande excentricidad que, variando entre amplios límites, es, en general, muy superior y forma significativo contraste con la muy pequeña de la mayoría de los planetas de nuestro sistema. Otra circunstancia es la igualdad aproximada en muchos casos del brillo aparente de las dos estrellas, lo que parece indicar también igualdad ó siquiera magnitud parecida de sus masas respectivas, como si muchos de aquellos sistemas careciesen de un centro de fuerza preponderante, que representase allí el papel que aquí ejerce nuestro Sol respecto de los cuerpos á su avasalladora acción sometidos. Por fin, el período de revolución difiere mucho de unos sistemas á otros.

Así, mientras el período de la estrella doble  $\delta$  Equulei no llega á seis años, según las recientes observaciones hechas en el Monte Hamilton y discutidas por Hussey, hay otros seculares, como el de Castor ó  $\alpha$  Geminorum — par hermosísimo compuesto de dos estrellas de 2.<sup>a</sup> magnitud y fácilmente resoluble con anteojos de mediana fuerza, — que no se conoce todavía con aproximación por la lentitud del movimiento orbital, aunque se conjetura que debe medirse por centenares ó quizás por millares de años. Es, de otra parte, evidente que ambas estrellas forman un par físico si se atiende á la igualdad de sus movimientos propios, de los cuales participa también en el mismo grado otra estrellita de 9.<sup>a</sup> magnitud, distante unos 70'' de las dos mayores; de suerte que en rigor las tres constituyen un sistema ternario, combinación más complicada, de la cual existen en el cielo bastantes ejemplos, según la observación demuestra.

Entre los dos extremos de magnitud del período de revolución de los sistemas binarios que he mencionado, concóncense valores muy variados, y que forman como una escala progresiva sin solución de continuidad. En general debe lógicamente esperarse que cuanto más cercanas se encuentren las estrellas componentes de un par, más rápido ha de ser su movimiento orbital, y por consecuencia más corto el período. Partiendo de esta consideración, el Profesor See en su notable obra *Rescarches on the Evolution of the Stellar Systems* ha investigado las órbitas de 40 estrellas dobles, en las cuales hay 28 con períodos inferiores á cien años, siendo en 31 casos menor de 2" el valor angular del semieje mayor de la órbita real. A medida que el poder óptico de los telescopios aumenta, crece también el número de los pares estrechos que los telescopios desdoblan, de manera que es imposible fijar ningún límite al número de estrellas que pueden tener compañeras ó satélites. A estos pares apretados es, de consiguiente, donde la atención de los astrónomos con más empeño se dirige, porque allí es donde habrá mayor probabilidad de obtener resultados más positivos en el problema de que tratamos.

Entre los sistemas compuestos de más de dos estrellas hay algunos que merecen mención especial. En la constelación de la Lira, por ejemplo, la simple vista distingue una estrella de cuarta magnitud, designada con la letra griega  $\epsilon$ , que en potentes anteojos se desenvuelve en un bellísimo sistema cuádruple, ó mejor, doblemente binario, pues está formado por dos pares simétricos, distantes uno de otro 207". Cada par consta de dos estrellitas de quinta á séptima magnitud, separadas por un pequeño intervalo de 3". Desde el año 1779, en que fueron por Herschel primeramente observadas, los ángulos de posición, en ambos pares, han experimentado cambio muy apreciable, que demuestra la existencia en cada uno de ellos de un movimiento

orbital, cuyo período debe de abarcar algunos millares de años: por otra parte, la igualdad de los movimientos propios de las cuatro estrellas pone fuera de duda que su conjunto constituye un sistema físico situado en las profundidades del espacio. Además, aunque los dos pares, llamados  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$ , conservan próximamente su posición relativa, sospéchase en ellos un movimiento orbital alrededor de su centro común de gravedad. Si esta conjetura se confirma, ¿cuál será el período de revolución del sistema? Notabilísima como es esta singular combinación de estrellas, no constituye, sin embargo, sino una de tantas maravillas que admiramos en el cielo.

Sorprendente también es un grupo ternario de la constelación del Cangrejo.  $\zeta$  Cancri, como se le llama, consta de dos estrellas, de quinta magnitud la una y de sexta la otra, cuya separación en sus máximas elongaciones no llega á 2", y que completan su revolución en sesenta años con movimiento retrógrado. Cerca de las dos, á unos 5" de distancia del punto medio de la recta que las enlaza, hay otra estrellita algo más débil, que desde su primera observación hecha por W. Herschel ha descrito en torno de ellas un arco de 57° y deberá, por lo tanto, recorrer su órbita en seiscientos ó setecientos años. Pero lo más notable es que este satélite no se mueve con regularidad, sino describiendo una curva al parecer formada por una serie de epicicloides que se reproducen cada diez y ocho años. Creyóse al principio que estas irregularidades podían proceder de errores de observación, ó bien de perturbaciones producidas por las atracciones recíprocas de los tres cuerpos; pero un estudio más profundo y detenido de los fenómenos observados indujo después á O. Struve y á Seeliger á buscar la causa de ellos en la existencia de otro cuerpo, relativamente obscuro y muy próximo á la tercera estrella, que por su atracción la hiciera girar en diez y ocho años en derredor suyo. El

sistema de  $\zeta$  Cancri sería, pues, si se confirmara esta hipótesis, cuaternario, no constituyendo ejemplo único en el Universo la coexistencia, en un mismo grupo, de cuerpos muy diversamente luminosos, y, sin embargo, de masas parecidas en magnitud unas á otras; lo suficiente para producir en los movimientos de aquéllos perturbaciones que, á pesar de la pequeñez con que por efecto de la enorme distancia se presentan á nuestra vista, nos es dable todavía apreciar.

## VII

Aunque sea asunto más conocido, al llegar á esta parte de mi discurso tengo necesidad de decir algo acerca del descubrimiento de los satélites de las estrellas Sirio y Proción, las más brillantes, respectivamente, de las constelaciones Can mayor y Can menor, porque en este descubrimiento, como en el del planeta Neptuno, el resultado del cálculo precedió al hallazgo de la observación, constituyendo una nueva prueba de la perfección alcanzada en estos problemas de la Astronomía teórica.

Durante los célebres trabajos de observación y discusión que condujeron á Bessel á fijar posiciones muy precisas para cierto número de estrellas fundamentales, este astrónomo advirtió en los movimientos propios en ascensión recta de Sirio y en declinación de Proción, deducidos de observaciones hechas en épocas sucesivas, diferencias que, á su juicio, no podían achacarse á errores de instrumento, pues subsistían sistemáticamente al comparar las posiciones de ambas estrellas con las de otras varias, también fundamentales y á ellas bastante cercanas.

En efecto, una estrella que no esté sometida á ninguna fuerza exterior, ó permanecerá fija en el espacio, ó se trans-

portará en línea recta con velocidad constante; de manera que para un observador, situado en el centro de gravedad de nuestro sistema planetario, la estrella, ó conservará la misma posición en la esfera celeste, ó se la verá mover uniformemente (dada la pequeñez del movimiento) sobre un círculo máximo de la misma. Todo desvío bien comprobado en la dirección del movimiento propio, revela, pues, la existencia de aquella fuerza exterior, y, si las desviaciones presentan en su manifestación sucesiva carácter periódico bien patente, lógico será afirmar, como hizo Bessel, que son probablemente debidas á la atracción de uno ó varios astros cercanos, sobre cuya existencia no quedará al cabo la menor duda, aunque sean invisibles para el observador. Hizo más el sabio astrónomo, pues, como consecuencia de sus investigaciones analíticas, pudo demostrar que la variabilidad de los movimientos propios de Sirio y Proción tenían por origen en cada caso la atracción de un *compañero* próximo, inaccesible á los instrumentos ópticos de más poder existentes en 1844, año en que Bessel dió á conocer su opinión sobre este asunto. Poco después expresaba á Humboldt su convencimiento de que Proción y Sirio pertenecían á sistemas binarios reales, compuestos de una estrella visible y de otra invisible, “ porque no hay razón — añadía — para suponer que la luminosidad es carácter esencial en los cuerpos cósmicos, ni la visibilidad de innumerables estrellas es argumento contrario á la invisibilidad de otras también innumerables. De esta suerte fundaba lo que se ha llamado después *Astronomía de lo invisible*.

Como toda idea nueva, la hipótesis del ilustre astrónomo no fué por otros bien acogida, especialmente por W. Struve; pero otra profunda discusión llevada á cabo en 1851 por Peters en lo que concierne á Sirio, y por Mädler respecto de Proción, confirmaron con vigor tal idea, y de un

modo decisivo los concienzudos trabajos efectuados algunos años después por Auwers.

Los resultados de tan laboriosos cálculos recibieron inesperada demostración experimental por Alvan Clark, célebre constructor de instrumentos de Boston, quien, ensayando el 31 de Enero de 1862 un nuevo objetivo de 46 centímetros de diámetro, dirigiólo á Sirio, y quedó sorprendido al verlo en el acto acompañado de un satélite de 10.<sup>a</sup> magnitud próximamente, y cuyo ángulo de posición correspondía bastante bien con el deducido de la órbita calculada por Peters. Desde entonces este satélite fué asiduamente observado hasta con anteojos de mucha menor potencia óptica, y su órbita calculada con gran exactitud.

El tiempo de revolución excede algo de cuarenta y nueve años, y el semieje mayor de la órbita *relativa* del satélite vale 7'',57, mientras que el semieje mayor de la órbita *absoluta* de la estrella principal, deducido de las variaciones periódicas del movimiento propio de la última, sólo asciende á 2'',33, de cuyos datos se saca inmediatamente la razón de la masa mayor á la menor igual á 2,25. Como, además, por fortuna, la paralaje de Sirio se conocía con aproximación bastante, fué posible determinar también el valor de cada masa, resultando la del satélite casi la misma que la del Sol, y más del doble la de la estrella brillante, y, por lo tanto, tres veces mayor la suma de las masas de tan admirable sistema, cuyos dos cuerpos gravitan uno sobre otro á una distancia poco diferente de la que entre nuestro Sol y Urano existe. Es, por otra parte, circunstancia atendible y de mucha importancia en la teoría de la evolución de los sistemas sidéreos la considerable diferencia de brillo de las dos estrellas comparada con la relativamente pequeña de sus masas, corroborando así la idea genial de Bessel.

Cuanto á Proción, el comprobar visualmente su movi-

miento giratorio no llegó á obtenerse sino muchos años después, cuando en 13 de Noviembre de 1896, el Profesor americano Shaeberle, con auxilio del gran refractor del Observatorio Lick, cuyo objetivo mide 91 centímetros de abertura, pudo descubrir el cuerpo infructuosamente buscado durante tanto tiempo, bajo la forma de una estrellita de 13.<sup>a</sup> magnitud. Los cálculos del Dr. See demostraron que el satélite de Proción tiene la 5.<sup>a</sup> parte de masa que éste, ó sea la mitad de la de nuestro Sol, si se adopta como exacta la paralaje revisada por Elkin. Y, sin embargo, apenas emite  $\frac{1}{20.000}$  de la luz solar, de manera que todavía se acerca más á la obscuridad completa que el pálido satélite de Sirio. El Profesor Auwers, en el cálculo de la órbita de este sistema binario, asignó como período de revolución un intervalo de cuarenta años, al parecer muy ajustado á la verdad.

En los dos sistemas acabados de bosquejar, el conocimiento de las paralajes respectivas permitía determinar sus masas, comparadas con la del Sol. Pero la mayoría de los demás sistemas no se hallan en el mismo caso. Afortunadamente, el espectroscopio, que tantas sorpresas ha dado y tanto contribuído á los recientes progresos de la Astronomía, ha venido también á suministrar inesperado auxilio para la resolución de ese importante problema. Compréndese desde luego que si fuera posible medir la velocidad *lineal* de una estrella al describir su órbita relativa, y estuviesen ya averiguados los elementos de esta órbita, quedarían también sus dimensiones *lineales* y por comparación con éstas mismas, expresadas en medida angular, tal como la observación directa con el telescopio ordinario las proporciona, deduciríase el valor de la paralaje.

La medición de la velocidad radial de las dos estrellas componentes trae consigo algunas conclusiones interesantes. Una simple medida no daría el valor de las masas rela-

tivas de ambas componentes, porque el efecto producido por el movimiento propio del sistema no podría separarse del efecto procedente de la desigualdad de las masas. Pero sería dado eliminar el movimiento propio si se repitieran las observaciones en diferentes partes de la órbita, porque entonces su efecto sería siempre el mismo, mientras que el debido á la desigualdad de las masas variaría continuamente, anulándose y cambiando de signo dos veces durante cada revolución. Contando, pues, con los elementos de la órbita, el espectroscopio permitiría hallar en cada punto de la misma la componente radial del movimiento giratorio, y como principal resultado determinar por su medio el verdadero tamaño de la elipse, de donde como consecuencia se deduciría la distancia del sistema binario á nuestro sistema.

Emitida esta idea por Fox Talbot en 1871 ante la Asociación Británica reunida en Edimburgo, fué desenvuelta luego por Niven, Rambaut, Wilsing, E. C. Pickering, See y otros calculadores, que de diversos modos dieron solución teórica al problema. El astrónomo ruso Belopolsky aplicó con éxito el método espectrográfico á las estrellas dobles  $\gamma$  Virginis y  $\gamma$  Leonis, y recientemente Mr. Hussey, del Observatorio Lick, al notable par citado arriba, por la excepcional brevedad de su período. Las paralajes deducidas con carácter de probabilidad en estos tres casos sólo llegan á valer unas cuantas *centésimas de segundo de arco*, resultados que demuestran la delicadeza del espectroscopio empleado como micrómetro, y la utilidad de este método para averiguar las distancias remotísimas de algunos astros, inaccesibles á los otros procedimientos conocidos. La mayor dificultad de su aplicación consiste en hallar velocidades radiales bastante grandes para poder medirlas con la exactitud necesaria, y una suficiente separación de las estrellas del sistema binario para que sus respectivos espectros no aparezcan confusamente mezclados.

El Dr. See indicó otro método—que ignoro si se ha puesto en práctica—para hallar las masas relativas de las componentes de un sistema estelar. Consiste en medir en diferentes épocas, sea con el micrómetro ó con el heliómetro, según convenga, la distancia y el ángulo de posición de cada componente á otra estrella cercana ó visible simultáneamente con las del sistema en el campo del antejo. La serie de posiciones relativas así deducidas, darían á conocer el lugar que ocupa en el sistema su centro de gravedad, suponiendo el movimiento de este uniforme, y la consiguiente conservación de las áreas respecto de la estrella cercana.

## VIII

Con fenómenos de distinta naturaleza, aunque íntimamente relacionados con los antes descritos, debo ocupar ahora vuestra benévola atención. Sabido es que, así como las estrellas están animadas de movimientos propios, muchas de ellas, por no decir todas, presentan también variaciones singulares en su brillo ó magnitud aparente, con caracteres peculiares en cada astro. En unos casos las variaciones son extremadas; en otros sólo con minuciosa y atenta observación llegan á hacerse perceptibles; en no pocos el período en que tales alteraciones ocurren es corto y suele ofrecer regularidad notable, mientras que en bastantes el período es desconocido, ó largo é irregular. Además, alguna vez, aunque rara, aparece de pronto una estrella en cierto sitio del cielo donde antes ninguna era visible, adquiere en breve tiempo resplandor inusitado—como la que surgió en la constelación de Perseo en Febrero de 1901—y tras de varias alternativas decrece lentamente hasta llegar á extinguirse por completo ó dejarse ver sólo con los ante-

ojos de mayor potencia. El espacio celeste, donde tan sorprendentes fenómenos se producen, el *firmamento estrellado*, lejos de ser incorruptible ó estar exento de alteración, conforme los filósofos de la antigüedad lo describían, es, por el contrario, región donde por doquier se nota la palpitación de la vida, el movimiento incesante, la evolución continua en la existencia de los seres, cuya finalidad misteriosa acaso no esté al alcance de la limitada inteligencia humana vislumbrar.

Sin embargo, es un hecho curioso—como apunta Newcomb—que los antiguos astrónomos, á pesar del cuidado con que escudriñaban el cielo, nunca advirtieran cambio de brillo en ninguna estrella. El primer recuerdo de tal observación data del año 1596, cuando David Fabritius llamó la atención de sus contemporáneos hacia las periódicas desapariciones de la estrella  $\alpha$  Ceti, por esta circunstancia llamada también la *Maravillosa de la Ballena* (Mira Ceti). En 1669 Montanari descubrió también variaciones de resplandor, mucho menores, pero con caracteres bien interesantes, en otra estrella perteneciente á la constelación de Perseo, denominada Algol por los astrónomos árabes, y en el lenguaje técnico de los modernos catálogos  $\beta$  Persei. Pero el estudio sistemático de las estrellas variables no llegó á hacerse sino en la primera mitad del siglo XIX por Argelander, quien con sus pacientes observaciones logró crear una nueva rama de la Astronomía, que, objeto de mera curiosidad al principio, viene revelando desde hace veinte años hechos importantísimos y consecuencias inesperadas y transcendentales acerca de la estructura del Cosmos.

Aunque las estrellas variables presenten grandes diferencias, tanto en el carácter de sus variaciones como en la duración del ciclo ó período en que se cumplen, cabe distribuir las en cierto número de grupos bien definidos. La cla-

sificación más aceptada, si bien con leves modificaciones, es la que en 1880 propuso el sabio Director del Observatorio de la Universidad de Harvard, E. C. Pickering. Divide este señor las estrellas variables en las siguientes cinco clases, por otros astrónomos enumeradas en orden inverso:

1.<sup>a</sup> Componen este grupo las estrellas *temporarias*, que aparecen de improviso y decaen luego gradualmente durante algunos meses. De estas apariciones súbitas la historia registra 16 ó 17 casos ocurridos desde 1500 hasta la fecha, la mayor parte de ellos observados en el último siglo, sin duda por ser ya más crecido el número de personas que á mirar al cielo se dedicaban.

2.<sup>a</sup> Gran parte de las estrellas variables de esta clase pasan de un máximo á un mínimo, y de este mínimo al máximo siguiente en un período no siempre regular, pero comprendido en la mayoría de los casos entre seis y quince meses. Las variaciones de luz en las estrellas de este grupo, al cual pertenece la  $\alpha$  Ceti, son las más veces considerables.

3.<sup>a</sup> Inclúyense en esta clase estrellas, como la  $\alpha$  Orionis y la  $\alpha$  Cassiopeiae, cuyas variaciones suelen ser pequeñas é irregulares, ó están por lo menos recogidas por ley que se desconoce todavía.

4.<sup>a</sup> Las estrellas de este grupo varían continuamente de resplandor, pasando por una serie de alternativas que se repiten con notable exactitud en el transcurso de algunos días ó, á veces, de algunas horas. Como ejemplos de este género pueden señalarse  $\beta$  Lyrae y  $\delta$  Cephei.

5.<sup>a</sup> Hay estrellas que durante gran parte del tiempo permanecen invariables en brillo; pero que á intervalos regulares pierden por espacio de algunas horas parte de su luz, y la recobran luego con la misma rapidez y regularidad. El ejemplo más sorprendente de esta clase es Algol ó  $\beta$  Persei.

Las dos últimas clases de estrellas variables, que recién-

tes descubrimientos tienden á refundir en una sola por la identidad de la causa que da origen á tan extrañas mutaciones, son las que á mi propósito juzgo más interesantes, y nada lo es tanto, en efecto, como la peregrina historia de Algol.

Las variaciones de luz de esta estrella, cuya ley dió á conocer el astrónomo aficionado inglés Goodricke en 1783, ofrecen una regularidad matemática. Ordinariamente Algol se presenta á la vista sin mudanza perceptible como de segunda magnitud durante dos días y doce horas, al cabo de los cuales decrece progresivamente en cuatro horas y media hasta la cuarta; permanece con este brillo algunos minutos, y después vuelve á recobrar el primitivo en otras cuatro horas y media. El período total comprende cosa de dos días, veinte horas y cuarenta y nueve minutos.

La idea más sencilla y que naturalmente ocurrió ya á los primeros observadores para explicar estos hechos, es que vemos un eclipse parcial de la estrella producido por la interposición de un cuerpo obscuro que á su alrededor gira. Pero no fué hacedera hasta tiempos recientes la comprobación de esta teoría. Era antes necesario, como labor preparatoria, enlazar fotométricamente la serie de variaciones del brillo de Algol con el tiempo en que sucesivamente se efectúan: trabajo que fué realizado con el mayor esmero por Argelander, en primer lugar, y en segundo, por Schmidt y Schönfeld. Utilizando las curvas de luz halladas por estos observadores, y principalmente la del último, Pickering, en una admirable discusión, comparó los resultados de las mismas con los números que se obtendrían en la hipótesis de haber eclipse en determinadas condiciones; y al cabo de varios tanteos, llegó á encontrar concordancia casi completa entre unos y otros. Pudo hasta precisar las dimensiones relativas de la estrella luminosa, de su satélite obscuro y de la órbita relativa del último, ya supo-

niéndola circular, ya elíptica, ya con diversas inclinaciones respecto del rayo visual.

Con las conclusiones del estudio de Pickering alcanzó mucha probabilidad la teoría del eclipse parcial de  $\beta$  Persei, propuesta por Goodricke. Faltaba, sin embargo, una prueba decisiva, una confirmación experimental de distinto género, pero la dió en 1889 el también ilustre astrónomo de Potsdam, C. Vogel, valiéndose del espectroscopio. Su razonamiento fué el siguiente:

Si el menguante de luz de la estrella es originado en realidad por la interposición entre ella y nosotros de un cuerpo obscuro, este cuerpo debe de tener casi el mismo tamaño que la estrella — conforme dedujo también Pickering— porque de lo contrario no podría privarla de una parte tan considerable de su resplandor como la observación acredita. En tal caso es probable que las masas de los dos cuerpos difieran entre sí poco, y, por tanto, que la atracción del satélite haga perceptible el movimiento orbital de la estrella primaria. Entonces, cada vez que el satélite pase por delante de la estrella, obscureciéndola, la dirección del movimiento de ambos cuerpos en su órbita respectiva será perpendicular al rayo visual, y la velocidad radial, de consiguiente, nula. Pero *después* de efectuar  $\frac{1}{4}$  de revolución, en lo que empleará unas diez y siete horas, la estrella brillante se moverá casi paralelamente al rayo visual, *acercándose* á nosotros, y por análoga razón se *alejará*, moviéndose en sentido opuesto, diez y siete horas *antes* de verificarse el eclipse. Si estas variaciones en la velocidad radial son harto grandes, las rayas del espectro de la estrella, en virtud del principio de Doppler, parecerá que efectúan una doble oscilación respecto de su posición normal, durante el tiempo comprendido entre dos mínimos consecutivos, y el espectroscopio, determinando la amplitud del movimiento oscilatorio, dará á conocer la velocidad lineal de la estrella en su órbita.

Confirmó plenamente la observación espectroscópica el anterior razonamiento y permitió á Vogel hallar con alguna aproximación las masas de los dos cuerpos, sus dimensiones *lineales* y las de las órbitas respectivas. En efecto, dicho astrónomo halló por medio del espectroscopio, que *antes* del eclipse el astro luminoso se *alejaba* del Sol con una velocidad de 39 kilómetros por segundo, y que *después* del eclipse se *acercaba* á él con la de 47. Por consecuencia, la velocidad orbital de la estrella brillante es de 43 kilómetros y sólo de 4 la de traslación del centro de gravedad del sistema suyo hacia el nuestro.

Estos resultados espectroscópicos, combinados con los obtenidos antes por la observación visual, le condujeron, además, á estos otros notabilísimos. El diámetro de la estrella principal mide 1.700.000 kilómetros y el del satélite 1.300.000. Este tiene, pues, casi igual tamaño que el Sol. La distancia que separa ambos cuerpos, medida de centro á centro, es de unos 5 millones de kilómetros nada más, y sus masas respectivas valen cerca de la mitad y la cuarta parte de la de nuestro luminar; de manera que las densidades de los primeros son bastante menores que la del último. Finalmente dedúcese también que la velocidad orbital del satélite asciende á 89 kilómetros por segundo.

He aquí cómo hechos simplicísimos, discutidos por hombres de genio, pueden conducir á consecuencias tan extrañas, que más parecen producto de la fantasía que de la realidad. Podrán sufrir modificación los números hallados, si nuevas y más precisas observaciones así lo imponen; pero siempre quedará en pie este resultado fundamental: la posibilidad de medir y pesar, de deducir la figura y los movimientos de cuerpos gigantescos, situados á distancias tan considerables, que, no obstante su gran tamaño, aun en el caso de ser por sí mismos luminosos, sólo puntos más ó menos brillantes llegan á parecernos.

No es único este ejemplo en el Universo, pues hasta ahora pasan ya de 25 los sistemas binarios conocidos pertenecientes al tipo de Algol; y tales sistemas deben de ser numerosos si se advierte que los eclipses, de los cuales provienen las periódicas alteraciones de brillo, solamente pueden producirse cuando los planos de las órbitas, susceptibles de tener una posición cualquiera en el espacio, están poco inclinados respecto del rayo visual. Es circunstancia notable la brevedad del período de revolución de todas las variables bien comprobadas del tipo de Algol. De seis días y algunas horas excede sólo en un caso excepcional, mientras que en tres el período es menor que un día. Pero semejante brevedad, después de todo, por la naturaleza misma del problema, es un resultado *probable*, dado que, cuanto más cerca se halle el satélite obscuro de la estrella, tanto más fácilmente ha de poder ocultar la luz de ésta á un observador situado á gran distancia de ambos cuerpos.

Cabe, sin embargo, que existan otros sistemas del mismo tipo cuyo período tenga duración mucho mayor, pero que todavía no se haya podido averiguar por falta de tiempo suficiente para estudiar repetidas veces y con la exactitud necesaria la periodicidad de las variaciones de resplandor en los astros que á dicho tipo pertenezcan.

Un ejemplo bien reciente vino á comprobar el fundamento de estas conjeturas. En Diciembre de 1903, el señor Ludendorff, astrónomo del Observatorio Astrofísico de Potsdam, dió á conocer en las "Astronomische Nachrichten," los resultados de una extensa discusión, que él hizo de todas las observaciones fotométricas hasta la fecha asequibles de la estrella  $\epsilon$  Aurigae, variable que también figura en algunos almanaques entre las de estado. Este escrupuloso y completo estudio condujo á su autor á las siguientes conclusiones:

Los cambiantes de brillo de  $\epsilon$  Aurigae se suceden con la

mayor regularidad en un período de 9.905 días ó 27,12 años. Por lo general la estrella tiene la magnitud 3,35, que en el mínimo decrece hasta ser algo inferior á la cuarta, empleando en el descenso 207 días. Permanece luego el astro sin alteración en este mínimo durante 313 días, al cabo de los cuales vuelve paulatinamente á recobrar su primitivo resplandor en otros 207, manteniéndose, por último, con este brillo por espacio de 9.178 días ó 25,13 años. La duración completa de las fluctuaciones de la luz comprende, por lo tanto, un intervalo de dos años próximamente.

Parece, pues, indudable que  $\epsilon$  Aurigae pertenece al tipo de Algol, pero con caracteres hasta ahora únicos y excepcionales. Por otra parte, cree Vogel, por el examen del espectro, que en  $\epsilon$  Aurigae estamos viendo dos cuerpos luminosos, por lo cual bien pudiera ocurrir que el período verdadero fuera doble del arriba indicado, y que en tal caso los mínimos pares y los impares no fuesen enteramente iguales; circunstancia interesante que las observaciones espectroscópicas venideras pondrán en claro algún día.

No son menos dignas de examen las estrellas comprendidas en la cuarta clase, cuyas alteraciones de brillo son continuas y se reproducen en períodos cortos. La curva de luz varía muchísimo de una á otra estrella de este grupo, desde la doble oscilación de  $\beta$  Lyrae hasta la oscilación única de  $\zeta$  Geminorum, pasando por todas las formas intermedias. Pero, en general, la variación de brillo es regular y constante en los períodos sucesivos; relativamente pequeña, de dos á tres magnitudes á lo sumo, y mucho menor en la mayoría de los casos. Además, el paso del mínimo al máximo de luz suele ser más rápido que el paso inverso del máximo al mínimo.

Como ejemplo característico de las variables de este tipo puede tomarse  $\beta$  Lyrae, observada y discutida con especial esmero por Argelander. Esta estrella, en el término

de unos trece días, experimenta en su magnitud aparente una doble fluctuación que consta de dos mínimos desiguales separados por un máximo que se repite en los siguientes períodos casi con la misma intensidad; es decir, que en todos los máximos  $\beta$  Lyrae alcanza próximamente el mismo brillo ó la magnitud 3,4, mientras que en el mínimo principal desciende hasta la 4,5, y en el secundario no baja de la 4,0.

Dada la continuidad de las variaciones de luz durante todo el período, y atendido lo desigual de los mínimos consecutivos, es imposible explicar semejantes cambios por la simple interposición de un cuerpo obscuro. Pickering, por la duplicación y desvío periódico de las líneas espectrales de  $\beta$  Lyrae, dedujo que en realidad había allí dos estrellas girando una alrededor de otra. Y el Profesor americano G. W. Myers, desarrolló para explicar tales apariencias una teoría matemática, no menos notable por lo ingeniosa, que por poner de relieve la singular constitución de éste y otros sistemas análogos.

Según dicho Profesor,  $\beta$  Lyrae se compone de dos cuerpos gaseosos, que gravitan uno sobre otro animados de movimiento orbital, pero tan juntos que casi se tocan. Son de tamaño desigual, ambos luminosos por sí mismos, y el menor más brillante que el mayor. Además, por efecto de su mutua atracción á tan corta distancia, los dos cuerpos se han alargado en dirección de la línea de sus centros tomando la figura elipsoidal. De esta manera—supone el autor—cuando los vemos lateralmente ostentan su máximo brillo, pero, á medida que giran, van presentando menor sección, y entonces la luz disminuye. Al llegar á cierto punto, uno de los cuerpos comienza á ocultar al otro y su luz combinada continúa decreciendo, hasta que el movimiento de ambos se efectúa en dirección perpendicular al rayo visual, en cuyo instante ocurre un mínimo. Después

los fenómenos se reproducen en orden inverso, y como los dos cuerpos, según Myers, no son de igual brillantez, al proyectarse uno sobre otro en la siguiente conjunción, el mínimo no tendrá la misma intensidad que el anterior.

La teoría brevemente aquí bosquejada, y que ha recibido confirmación experimental con el espectroscopio, permitió á su autor establecer algunas conclusiones interesantes, entre las cuales se destacan las siguientes:

El cuerpo mayor no tiene más que las 4 décimas partes del brillo intrínseco del menor. El achatamiento de las masas elipsoidales es próximamente igual á 0,17. La distancia entre los centros es  $1 \frac{7}{8}$  veces el semieje de la estrella más voluminosa, ó igual á unos 50 millones de kilómetros. La masa de la última es doble de la de la pequeña y  $9 \frac{1}{2}$  veces mayor que la del Sol. Pero, ¡cosa aún más sorprendente, la densidad media del sistema es algo menor que la del aire!

Por más que estos números reposen en resultados espectroscópicos susceptibles todavía de ulterior afinamiento, quedará siempre subsistente la constitución extraña de un sistema de cuerpos celestes que ninguna analogía guarda con nuestro sistema solar, y que — como advierte Newcomb — nunca habríamos podido sospechar que existiese, á no habérsenos sido revelado por las observaciones de esta estrella.

Muchas se conocen con variaciones análogas á las de  $\beta$  Lyrae, pero con caracteres que difieren algún tanto de un astro á otro; por manera que la laguna antes existente entre las variables del tipo de Algol y las del tipo de  $\beta$  Lyrae, tiende á llenarse con nuevos descubrimientos, haciendo cada vez más difícil la distinción rigurosa entre ambas clases. A ello contribuye, además, la dificultad de emplear el espectroscopio cuando las estrellas carecen del brillo necesario para poder medir las desviaciones periódicas.

cas de su espectro en las placas fotográficas como en la mayoría de los casos todavía sucede.

La variable  $\epsilon$  Aurigae antes mencionada podría quizás presentarse como ejemplo transitorio ó intermedio de las estrellas correspondientes á los tipos aludidos. Otro ejemplo, interesante en alto grado, nos lo ofrece la llamada Y Cygni, estrellita telescópica, cuya variabilidad fué descubierta por Chandler en 1886, y luego estudiada cuidadosamente por Dunér, de Lund. Desciende la estrella dos veces de la magnitud 7,1 á la 7,8 en tres días menos cinco minutos, siendo iguales en intensidad los dos mínimos consecutivos. La variación total de luz en torno de cada mínimo se efectúa en 5<sup>h</sup> y 24<sup>m</sup>, conservándose constante el máximo brillo en el tiempo restante del período. La duración de éste resulta de la desigualdad de los intervalos comprendidos entre los mínimos sucesivos, que son: uno de 1<sup>d</sup> y 9<sup>h</sup>, y otro de 1<sup>d</sup> y 15<sup>h</sup>, reproduciéndose en este orden indefinidamente.

En Febrero de 1900, el mismo astrónomo, Sr. Dunér, presentó á la Real Academia de Ciencias de Suecia, como síntesis de sus largas investigaciones, el cálculo de los elementos de la órbita de este sistema estelar, y su notabilísimo trabajo concluye deduciendo que "la estrella Y Cygni consiste en dos estrellas del mismo tamaño y brillo, que se mueven alrededor de su centro de gravedad en una órbita elíptica, cuyo plano pasa por el Sol y cuyo semieje mayor es ocho veces más grande que los radios de las estrellas. El período de la revolución anomalística es de 2,996933 (casi tres) días, y la excentricidad de la órbita 0,143. La línea de los ápsides de la órbita gira en el plano de la misma con tal velocidad que describe 360° en 41,1 años trópicos „

Las observaciones en que estos estudios se fundan fueron practicadas con los medios más sencillos: con pequeños anteojos ordinarios, sin fotómetro y por el célebre método de Argelander. A pesar de esto condujeron al conoci-

miento de un sistema de estrellas, ignorado hasta ahora, en el cual, el período de revolución, la excentricidad y la situación del plano de la órbita quedan determinados con una exactitud hasta cierto punto satisfactoria. Conócese, además, aproximadamente la relación entre el eje mayor de la órbita y el diámetro de las estrellas, y, por consiguiente, el ángulo que subtiende una estrella vista desde la otra. Por último, púdose establecer que en este sistema actúa una fuerza perturbadora que obliga á la línea de los ápsides á describir en el intervalo de cuarenta y un años un giro completo en el plano de la órbita. Las dimensiones lineales de ésta, y el diámetro de los dos cuerpos habrían podido averiguarse por la observación de los espectros, si este no fuera uno de los casos en que por la debilidad de aquéllos ha sido hasta ahora impotente el empleo del espectroscopio.

Nueva sorpresa proporcionó este instrumento con el hallazgo de otra clase de sistemas binarios, no distinta en esencia de las anteriormente examinadas. En la del tipo de  $\beta$  Lyrae, según la teoría del Profesor Myers, basta la figura elipsoidal de los astros luminosos para que, en ciertas condiciones, sin necesidad de eclipse, se produzcan los alternativos máximos y mínimos de luz. En la del tipo de Algol, en que es obscuro uno de los cuerpos del sistema, se necesita, por el contrario, para esos cambiantes que el eclipse se verifique. Mas, por efecto de la diversa inclinación que respecto del rayo visual pueda tener el plano de la órbita, acaso haya, como antes dije, numerosos sistemas binarios, cuyo brillo permanezca constante. Tal sucede con la estrella de primera magnitud,  $\alpha$  Virginis, en la que, á pesar de no ser variable, descubre el espectroscopio una alteración periódica en la velocidad radial, que se cumple en cuatro días y diez y nueve minutos. La velocidad del astro en su órbita es muy grande, de unos 91 kilómetros

por segundo; de donde se deduce que el radio de aquélla no excede de 5 millones de kilómetros, y que debe de ser enorme la masa del satélite invisible.

Hay otras muchas estrellas, como la  $\beta$  Aurigae, compuestas de dos cuerpos luminosos — ó de dos pares de cuerpos, si se confirman las observaciones hechas en Pulkowa por M. Tikhoff en el año 1903, — cuya luz combinada permanece constante; pero sometida al análisis espectroscópico, presenta dos ó cuatro espectros, en los cuales las líneas respectivas, alternativamente, oscilan en direcciones opuestas; hecho que por sí solo, sin necesidad siquiera de medir la velocidad radial, revela el carácter binario del sistema. No se produciría este fenómeno si el plano de la órbita fuese perpendicular al rayo visual, por manera que entonces el espectroscopio no nos daría la menor noticia acerca de la existencia de tales sistemas estelares. Muchos puede haber en estas condiciones, que permanecerán ignorados mientras no se inventen nuevos métodos de observación.

## IX

Las tres clases de sistemas binarios, fotométricos y espectroscópicos, en la sección anterior enumeradas, presentan como principal diferencia respecto de los otros sistemas binarios que se resuelven ó desdoblan con los anteojos usuales, la brevedad del período en que los astros componentes efectúan sus revoluciones. En parte este resultado procede de ser de fecha tan reciente la perfección actual del método espectrográfico, que no ha sido posible todavía aplicarlo á determinar las órbitas de largo período por medio de los movimientos radiales; pero no cabe duda en que casi todas las estrellas dobles, cuyo espectro sea suficientemente intenso para poder medirlo con la requerida exactitud, que-

darán con el tiempo sometidas al examen espectroscópico, y las desviaciones de posición de las rayas de aquél serán eficaces y minuciosamente estudiadas. Entonces se llenará el vacío que aún parece existir, como si no hubiera relación alguna entre las diversas clases de sistemas binarios, por ser distinto el método que ha servido para descubrirlos y explicarlos.

Tienden á dicho fin las observaciones espectrales últimamente realizadas con el poderoso instrumento del Observatorio Lick, por su infatigable Director Mr. Campbell, quien ha conseguido ya determinar en algunas estrellas la duración del período, mucho más largo que los anteriormente conocidos: 240 días emplea en su revolución la  $\epsilon$  Librae, 282 la  $\chi$  Draconis, 412 la  $\beta$  Herculis, 818 la  $\eta$  Pegasi, y de 1.000 pasa tal vez la  $\beta$  Capricorni. Antes vimos que por años se contaba el período de  $\epsilon$  Aurigae.

Pero más interesante, por otras razones, que todos estos es el período hallado para *Capella* ó  $\alpha$  Aurigae, estrella esplendorosa en que el espectroscopio reveló la existencia de dos espectros sobrepuestos, de diferente tipo, y entre sus rayas un movimiento oscilatorio relativo con período de 104 días.

Aprovechando las excelentes cualidades ópticas del nuevo refractor de 71 centímetros, perteneciente al Observatorio de Greenwich, los astrónomos de este renombrado establecimiento científico intentaron en 1900 comprobar visualmente la duplicidad de *Capella*, y fueron bastante hábiles para lograrlo, pues la hallaron alargada, y no bajo la apariencia ordinaria de un diminuto disco circular. Medido de tiempo en tiempo, durante algunos meses, el ángulo de posición de la parte prolongada, encontraron que éste efectuaba un giro completo en un período que substancialmente coincidía con el deducido de los movimientos radiales. Las dos estrellas componentes estaban demasiado juntas para que se pu-

diera medir con exactitud su distancia angular, pero los observadores la estimaron, á lo sumo, en una décima de segundo, valor casi igual al de la paralaje,  $0'',08$ , hallada por Elkin. Si esto es así, la distancia lineal entre ambos astros no debe discrepar mucho en la actualidad de la que hay de la Tierra al Sol, y como en su revolución tardan menos de la tercera parte del tiempo empleado por la Tierra para completar la suya, la suma de las masas de los dos cuerpos ha de ser unas diez veces mayor que la de nuestro astro luminoso. Sorprende, sin embargo, que las observaciones de Greenwich no hayan recibido hasta ahora confirmación de las emprendidas con el mismo fin en el Observatorio Lick y en el Jerkes, á pesar de la favorable situación de estos dos Observatorios y de la mayor potencia óptica de los anteojos que ambos poseen.

Sea como quiera, va estableciéndose entre las estrellas binarias visuales y las espectroscópicas una escala gradual demostrativa de que entre unas y otras no hay en rigor esencial diferencia. Por otra parte, cada día, según los medios materiales de observación se perfeccionan, descúbranse nuevos sistemas de período cada vez más corto, sin que á esta disminución se vea límite posible. Hasta ahora los más cortos no bajaban, y eso sólo en tres casos, de siete horas; pero poco ha los Sres. Müller y Kempf, del Observatorio Astronómico de Potsdam, han descubierto en la constelación de la Osa Mayor una estrellita, que varía incesantemente de magnitud, desde la 7,9 á la 8,6, completando su período en  $4^h 0^m 13^s$  nada más. Apuntan los referidos astrónomos que, á su entender, la explicación más apropiada de la variabilidad en este caso es la de existir dos cuerpos brillantes muy próximos, animados de un movimiento giratorio alrededor de su centro común de gravedad, estando el plano de revolución situado casi en coincidencia con el rayo visual. Sería, pues, muy

interesante poder analizar el espectro de esta variable, y ver si experimenta desvíos periódicos de su posición normal.

Conforme insinuamos al hablar del sistema de  $\beta$  Lyrae, los de período tan corto deben de componerse de dos cuerpos que estén casi en contacto, aunque separados, ó realmente unidos uno á otro. En ambos casos, si, como en algunos ejemplos se ha visto, sus masas son iguales ó poco diferentes, la atracción mutua tiene que ser en ellas tan grande que los dos cuerpos se habrán alargado en la dirección de la línea que una sus centros, tomando, cuando haya separación, la figura de dos elipsoides, cuyos ejes mayores coincidan con dicha línea. Además, M. H. Poincaré, que en profundo estudio ha investigado recientemente las figuras de equilibrio de las masas flúidas en rotación, ha hallado una que llama *apioidal*, ó parecida á la de una pera, forma que deben tomar dos cuerpos, todavía unidos, antes de verificarse la ruptura. Tal es el estado en que, según Myers, se halla el sistema constituido por la U Pegasi.

Esta figura singular revela, sin duda, que los sistemas así producidos se encuentran aún en vía de formación, ó en una fase primitiva de su existencia. A este propósito convendrá decir aquí algo de una teoría de relevante mérito acerca del origen de las estrellas binarias, expuesta en 1892 por el Dr. See, y basada, á su vez, en otra especulación importantísima, debida al Prof. G. H. Darwin, hijo del célebre naturalista, sobre el papel que en el proceso de la evolución de los astros ha representado el rozamiento por las mareas en los mismos, cuando se hallaban todavía en estado flúido y en condiciones especiales. Mas no es posible exponer ahora detalladamente esta doctrina, ya esbozada por el filósofo Kant en 1754, para explicar la génesis de la Luna, y habré de contentarme con señalar algunos puntos esenciales de la misma.

Ampliando algunas ideas arriba apuntadas, supongamos dos cuerpos flúidos, unidos originariamente, formando una sola masa y girando con rapidez sobre un eje que pase por el centro de gravedad de la misma. Al verificarse, sea por la excesiva velocidad de la rotación, sea por otra causa cualquiera que coadyuve al propio fin, su separación ó ruptura, se hallarán los dos tan cerca uno de otro, que su mutua gravitación producirá en ellos enormes mareas, extensivas á toda la masa (*bodily tides*), y ésta se deformará tomando los cuerpos la figura de elipsoides algo achatados paralelamente al eje de giro y prolongados en dirección de la recta que enlace sus centros. Ambos cuerpos girarán entonces como un sólido rígido ó invariable, presentándose mutuamente la misma cara, de manera que la revolución de uno de ellos—considerado como satélite—en su órbita relativa, y la rotación del otro sobre su eje se verificarán en el mismo tiempo.

Tal estado de cosas subsiste mientras la fluidez de las masas es perfecta; pero si hay en ellas un principio de viscosidad, prodúcese en las mismas un rozamiento que tiende á retardar las oscilaciones rítmicas de las mareas y á disminuir, como consecuencia, por la atracción del cuerpo secundario, la velocidad angular de giro del cuerpo principal. Como la reacción debe ser igual y contraria á la acción, este efecto origina á su vez otro en el cuerpo secundario: la aceleración de su movimiento giratorio, que le obliga á describir una espiral alejándole del cuerpo primario. El último resultado de esta serie de acciones recíprocas es aumentar de continuo el período de revolución del satélite, y las dimensiones y la excentricidad de su órbita, casi circular en su origen. Los fenómenos en resumen descritos son necesariamente tanto más intensos cuanto más iguales las masas de los dos cuerpos puestos en presencia uno de otro.

El Dr. See se fija, en primer término, para aplicar la teoría de Darwin á la evolución de las estrellas binarias, en los caracteres que presenta la manera de ser de las mismas. No halla ninguna propiedad esencial en la duración de sus períodos, pues—incluyendo en un solo grupo las estrellas dobles visuales y las espectroscópicas—los hay, como hemos visto, comprendidos en una vastísima escala que abarca desde algunas horas hasta centenares ó millares de años. Tampoco la encuentra en la posición de los planos de las órbitas, los cuales, por lo menos en los que ha podido someter al cálculo, tienen toda clase de inclinaciones unos respecto de otros y con relación al plano medio de la Vía Láctea que toma por plano fundamental. Pero halla otros dos elementos que, á su parecer, ofrecen caracteres muy significativos en el proceso de la evolución de los sistemas estelares, á saber: la igualdad aproximada de sus masas componentes, y la notable excentricidad de las órbitas que describen, circunstancias ambas observadas en repetidos casos.

Las grandes excentricidades en las estrellas dobles constituyen, según el Dr. See, una ley fundamental de la Naturaleza por estar relacionadas con causas físicas. Son de magnitud intermedia entre las planetarias, tan pequeñas, de nuestro sistema y las de los cometas de largo período, cuyas órbitas, casi de forma parabólica, indican que estos cuerpos—como ya sospechó Laplace—proceden de las regiones estelares y son de origen extraño á los planetas.

Al discutir el movimiento de  $\gamma$  *Virginis* Sir John Herschel advirtió, mucho tiempo ha, que “la excentricidad es en alto grado, físicamente hablando, el más importante de todos los elementos”, y ahora vemos que este elemento, cuya determinación depende por completo de las medidas micrométricas, y de ningún modo de las paralajes y masas relativas de las estrellas, es la única guía para llegar al co-

nocimiento de la evolución de los sistemas sidéreos, y algún día nos permitirá establecer sobre base firme la Cosmogonía científica. Por su medio podrá, en efecto, inferirse entonces el origen de cada sistema, sus condiciones de estabilidad y las fases sucesivas de su existencia.

En vista de estos caracteres peculiares, deduce See de sus cálculos que las estrellas binarias se formaron por la condensación progresiva de las nebulosas dobles, de las cuales ofrece el cielo variados y numerosos ejemplos, hasta constituir dos soles girando casi en contacto. Sus órbitas, casi circulares al principio, gradualmente se extendieron y alargaron en el transcurso de edades inmensurables por la acción poderosa del rozamiento interno de las masas de los cuerpos sometidos á sus atracciones mutuas.

Nuestro sistema planetario ofrece en cierto modo carácter excepcional respecto de los antedichos. Las masas de todos los cuerpos que le componen no suman sino  $\frac{1}{745}$  de la del Sol, y la excentricidad media de sus órbitas es 12 veces menor que la deducida hasta ahora para las de las estrellas dobles. Según M. du Ligondés, que ha modificado la hipótesis nebular de Laplace, hasta hacerla verosímil en sus bases fundamentales — desvaneciendo las objeciones de más peso que se le habían presentado — cada planeta tiene su historia propia, esencialmente distinta de las de los otros, sin perjuicio de la unidad original del conjunto.

Hay, sin embargo, en el mismo sistema dos cuerpos cuyo proceso evolutivo ha debido efectuarse de modo análogo al de las estrellas binarias. A pesar de haber sido objeto de la crítica la teoría de Darwin, arriba con brevedad expuesta y basada en difíciles cálculos matemáticos, parece indudable que hubo primitivamente un planeta — de cuya disgregación nacieron la Tierra y la Luna — el cual se hallaba en rápido movimiento giratorio, y además muy agitado en toda su masa por las mareas solares. Al verificarse la fractu-

ra, la Tierra y la Luna quedaron al formarse casi juntas, de centro á centro sólo separadas por una distancia que Mr. Nolan, aunque contradictor de las ideas de Darwin, estima en unos diez mil kilómetros. El período común de revolución alrededor del centro de gravedad de ambos cuerpos debía de ser entonces de tres á cinco horas. Al alejarse después uno de otro en el curso de los siglos, crecieron simultáneamente el período de revolución de la Luna y el de rotación de la Tierra, ó lo que es lo mismo, la duración del mes y la del día; más aprisa; al principio, la primera que la segunda, y más despacio luego, á partir de cierta época crítica en esta singular historia. Según la teoría, el incremento de los dos períodos aún continúa, por más que en la edad presente sea casi imperceptible, y no debe cesar hasta que ambos períodos se igualen, lo que sucederá cuando el día dure cincuenta y cinco veces más que uno de los actuales. Entonces la Tierra y la Luna volverán á presentarse mutuamente la misma cara, conforme les aconteció en su origen, como si estuviesen enlazadas por rígida barra.

¿Qué sucederá después? Tal situación sería estable, puesto que cesarían las mareas lunares de la Tierra, si en futuro tan remoto no existiesen ya océanos en su superficie; de lo contrario, el rozamiento debido á la marea solar ha de seguir prolongando la duración del día, haciéndolo más largo que el mes. Desigualados los dos períodos, volverán las mareas lunares á producirse y una nueva serie de fenómenos, pero en sentido inverso, á manifestarse, en virtud de los cuales la Luna se acercará de nuevo, pero con lentitud suma, á la Tierra, describiendo su revolución alrededor de ésta en períodos cada vez más cortos, y acabando por precipitarse en ella. No es posible predecir el número de centenares de siglos que se necesitarían para llegar á este resultado final; pero sí cabe asegurar que la serie de aconte-

cimientos ocurridos desde el principio de ellos hasta hoy ha de haber exigido para desarrollarse un intervalo de 50 á 60 millones de años, por lo menos.

Podrán parecer poco firmes los cimientos en que Darwin ha asentado su teoría, pero de todas maneras es ingeniosa en alto grado y fascina con los nuevos horizontes que abre á la especulación científica. Por otra parte, nada tiene de inverosímil, puesto que enlaza causal y cuantitativamente los períodos de la revolución lunar y de la rotación terrestre, la oblicuidad de la eclíptica, y la inclinación y excentricidad de la órbita de nuestro satélite. Difícilmente podrá sostenerse que tal cúmulo de concordancias es fortuito.

## X

Existen también en el cielo estrellas que, al parecer, caminan en línea recta, paralelamente unas á otras, sin haberse podido hasta ahora advertir en ellas indicios seguros de movimiento orbital.

La famosa doble 61 Cygni quizás se encuentra en este caso. Animadas las dos componentes de un movimiento propio rápido, que excede de 5" al año, y en la misma dirección, una de ellas avanza con velocidad algo superior á la de la otra. Distantes entre sí, á principios del pasado siglo, unos 15", apártanse cada día más, lo que dió motivo á creer que formaban un sistema binario. Pero, efectuado el cálculo de la órbita en épocas diferentes y con datos nuevos, la trayectoria relativa no discrepaba de la línea recta dentro de los límites del error probable de las observaciones, y los períodos para la revolución obtenidos fueron cada vez mayores. Bessel halló para el período una duración de cuatrocientos años, que por estudios posteriores ha ido progresivamente en aumento, sin que á la hora presente se pue-

da asegurar cuál sea. En vista de tales resultados, no faltan astrónomos que ponen en duda, y hasta niegan, toda conexión física entre las dos estrellas; opinión que está, sin embargo, en pugna con los hechos demostrados por la observación, de la comunidad de sus movimientos propios y de la perceptible igualdad de sus paralajes. Nueva confirmación del próximo parentesco de los dos astros gemelos diéronla las observaciones espectroscópicas de este par interesante, llevadas á cabo en 1902 y 1903 por Mr. W. S. Adams, del Observatorio Harvard, quien halló para ambas componentes las velocidades radiales — 62 y — 63 kilómetros, ó de aproximación al Sol, por segundo, con un error para el promedio que, en opinión del autor, no excede en ningún caso de unos tres kilómetros. Más lógica y verosímil parece, por tanto, la teoría propuesta por Pickering, según la cual, las observaciones micrométricas de la 61 Cygni hechas hasta ahora quedarían bien representadas suponiendo que el plano de la órbita se presenta á la vista con mucha oblicuidad ó como de canto, por manera que el arco descrito durante el siglo XIX sería sólo la parte de la elipse aparente más cercana al extremo de su eje menor. En esta hipótesis, el período comprenderá algunos millares de años, y el radio medio de la órbita será bastante mayor que la visible separación actual de las dos estrellas.

No obstante, esta teoría se hace muy difícil de acomodar á otros sistemas. En la misma dirección, por ejemplo, y con igual velocidad al parecer, caminan las estrellas llamadas 36 Ophiuchi y 30 Scorpü, de quinta magnitud la primera y de séptima la segunda, á pesar de distar una de otra nada menos que 14', ó casi la cuarta parte de un grado. Viajan, pues, las dos paralelamente por el espacio insondable, como si ambas tuvieran origen común, yendo acompañadas, además, de otro par de estrellitas más débiles. Pero, si bien la igualdad de sus movimientos propios

induce á presumir que los cuatro astros están entre sí físicamente enlazados, la enorme distancia lineal que debe de separarlos quita mucha probabilidad á que en ellos sea sensible cualquier efecto debido á sus atracciones mutuas.

Otro ejemplo de este género lo constituyen cinco de las siete más brillantes estrellas de la Osa Mayor —  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\zeta$  — que también recorren juntamente el cielo en direcciones paralelas y describiendo iguales arcos de círculo en el mismo tiempo. Que esta concordancia de movimientos transversales no es casual pruébalo la que existe además en sus velocidades radiales, pues las cinco estrellas se aproximan al Sol á razón de 29 kilómetros por segundo. Si se admitiera para este grupo la paralaje media, un tanto hipotética ciertamente, hallada por el Dr. Höffler en 1897, según la cual la luz emanada de dichos astros tardaría en llegar hasta nosotros ciento noventa y dos años, la extensión longitudinal abarcada por el grupo valdría por lo menos catorce veces la distancia que hay del Sol á  $\alpha$  Centauri.

En la misma constelación de la Osa Mayor existen también tres estrellas notables por otro concepto. Son la 1.830 de Groombridge, y las 21.185 y 21.258 de Lalande, todas de sexta á octava magnitud, que brillan en la esfera celeste situadas á algunos grados de distancia unas de otras. Las tres poseen movimientos propios considerables, pero en direcciones divergentes, y sus paralajes, aunque bastante grandes, discrepan también entre sí. En conjunto, estas circunstancias parecen poco favorables para sugerir la idea de una conexión física en tales astros. Mas, por otra parte, si prolongáramos sus trayectorias respectivas en sentido retrógrado, advertiríamos que todas tienden á cortarse ó coincidir en un mismo punto del cielo, como si en edad remotísima las tres estrellas, á semejanza de las ramas de un árbol, hubieran nacido del mismo tronco. Cabe pensar si hay aquí algún problema que merezca detenido estudio.

No solamente sistemas formados por unas cuantas estrellas, sino grupos en que éstas se aglomeran por centenares ó millares son los que presentan el antes indicado paralelismo de movimientos propios. En el grupo de las Pléyades, por ejemplo, donde la simple vista sólo distingue seis ó siete estrellas (las Cabrillas), y con anteojos potentes ó en la placa fotográfica se cuentan más de dos mil, la mayor parte caminan en la propia dirección y casi con la misma velocidad aparente. En la constelación del Toro, entre las Pléyades y Aldebaran, registranse, en muchas de las estrellas observadas con exactitud, movimientos positivos en ascensión recta y negativos en declinación, pero que, por ser desiguales, no permiten afirmar rotundamente la pertenencia de dichas estrellas á un sistema único. Repárese además, que en los movimientos propios, tal como los vemos, va envuelto el movimiento paraláctico debido á la traslación del sistema solar, el cual en los grupos más cercanos á éste puede hacerse sensible y en ciertos casos hasta ser preponderante. Esta tendencia á moverse paralelamente muchas estrellas es un fenómeno, al cual Proctor dió el nombre de *corriente de estrellas* (Star-drift), de importancia suma en los problemas cosmogónicos, porque revela comunidad de origen, que sin él no se habría sospechado pudiera existir entre astros tan apartados unos de otros.

Los grupos de las Pléyades, del Praesepe en la constelación del Cangrejo, de la Cabellera de Berenice y otros accesibles á la simple vista, pertenecen á la categoría de esos enjambres ó *conglomerados* de estrellas, universos en miniatura (si es permitida la frase), que con profusión ofrece el cielo á los ojos atónitos del que contempla tantas maravillas. Aquéllos grupos, sin duda por estar más cerca de nosotros, se *resuelven* en estrellas con el auxilio de anteojos de pequeño alcance; pero en los verdaderos conglomerados las estrellas que los constituyen aparecen tan débiles, vero-

símilmente, no por ser pequeñas, sino por hallarse muy lejanas, que los instrumentos más poderosos bastan apenas para separarlas. Sin éstos, los conglomerados son invisibles ó se divisan á lo sumo como insignificantes manchas luminosas, que los telescopios de gran potencia óptica desenvuelven, mostrándolos como ricas agrupaciones de diminutos soles de diversa manera condensados, esparcidos en los bordes del grupo y gradualmente cada vez más apiñados hacia el centro, donde, por lo general, es imposible distinguirlos uno á uno.

Los movimientos aparentes de tales agrupaciones son imperceptibles; pero, sin embargo, en algunas la atenta observación descubre señales de vida, como si también allí se estuviese realizando la misma evolución que en los sistemas estelares conocidos. El Profesor Bailey, que durante varios años se dedicó á estos estudios en la estación astronómica de Arequipa, en el Perú, sucursal del Observatorio Harvard, encontró más de 500 estrellas variables en 20 conglomerados de los 23 que había sometido á su examen. Tres de ellos, en particular, son en este concepto de una riqueza excepcional: en el magnífico conglomerado  $\omega$  Centauri, el más hermoso del cielo, dicho Profesor halló 125 estrellas variables en 3.000 que fueron examinadas, ó sea una por cada 24; en el llamado Messier 5 hasta 85 en 900, ó una por cada 11; y en el Messier 3 nada menos que 132 en 900, ó una por cada 7! Llama desde luego la atención que en un espacio tan pequeño, que á lo sumo ocupa la  $\frac{1}{20.000}$  parte del área total de la esfera celeste, se haya catalogado un número de variables tan grande como el de las que han sido registradas en el resto del firmamento.

Merece citarse además, por lo menos en el caso de  $\omega$  Centauri, mejor estudiado, la brevedad del período de estas variables. De las 125 encontradas, 98 tienen períodos cuya duración no llega á veinticuatro horas, y en 70 está com-

prendida entre 7 y 15. El Sr. Pickering ha dividido en cuatro clases las curvas de luz de las 98 estrellas, conforme á los caracteres peculiares que en el curso de cada período presenta la sucesión de las variaciones de brillo.

Pero lo más notable es la perfecta regularidad de estas variaciones en casi todas las estrellas aludidas, de manera que en algunos casos el período puede determinarse con una aproximación inferior á un segundo de tiempo. Tal regularidad obliga á presumir, casi con certidumbre, que las variaciones de luz en estas estrellas están producidas por la gravitación mutua de dos cuerpos muy cercanos uno á otro, de acuerdo con las ideas de Myers; pero sin haber duda alguna de que estos sistemas no pertenecen á la clase de Algol, ó lo que es igual, que dichas variaciones son irreconciliables con la teoría de un eclipse, como causa productora de ellas.

Mr. Bailey llega á adelantar en sus conclusiones, como hecho no improbable, que la revolución orbital de las estrellas dobles, en ciertos conglomerados, se efectúe en planos casi paralelos, y que lo sean también aproximadamente los ejes de rotación de las mismas estrellas. Esto podría dar razón del hallazgo de tantas variables en unos conglomerados, mientras que en otros, igualmente ricos en estrellas, apenas se encuentra variable alguna. Todo dependería de la posición del observador respecto del plano general del movimiento. Parece natural, por otra parte, que agrupaciones tan concentradas posean gran número de sistemas binarios muy apretados, y hasta es probable que en ellas las estrellas aisladas constituyan la excepción más bien que la regla. Únicamente las observaciones espectroscópicas, suponiendo que sean hacederas, llegarán á decidir si tales conjeturas tienen fundamento; ó sí, aunque parezca menos verosímil, las curvas de luz pueden explicarse con más sencillez por la rotación axial de un cuerpo cuya superficie

estuviese desigualmente iluminada y su eje inclinado respecto de la línea visual.

Me he detenido, demasiado quizás, en la reseña de las observaciones del Profesor Bailey, no sólo por su indudable importancia teórica, sino porque, refiriéndose á estrellas cuyo débil brillo aparente no excede de la 12.<sup>a</sup> á la 14.<sup>a</sup> magnitud, prueban la perfección á que en la actualidad ha llegado el arte de la fotografía celeste, el cual ha de proporcionar todavía mayores sorpresas en lo sucesivo. Los fotogramas y las curvas de luz que ilustran este trabajo son de lo más admirable que puede imaginarse.

## XI

En las nebulosas propiamente dichas, de naturaleza en general gaseosa, según su espectro discontinuo, compuesto á lo sumo de cuatro rayas brillantes, lo demuestra, no se ha podido observar todavía ningún movimiento propio. Objetos tales, de aspecto difuso, aunque tienen formas muy variadas, no suelen ofrecer, menos todavía que los conglomerados, ningún punto de referencia que sirva para efectuar, con la exactitud necesaria en observaciones tan delicadas, medida alguna. Ningún cambio indudable de situación ha llegado, de consiguiente, á comprobarse hasta ahora en ellos por medio de los micrómetros.

Sin embargo, el espectroscopio, en éste como en otros casos, ha podido suplir con ventaja al telescopio, proporcionando resultados inmediatos por no necesitarse del transcurso del tiempo para obtenerlos. Infructuosas fueron las tentativas hechas en 1874 por Huggins; pero con más poderosos elementos, recurriendo al método espectrográfico, pudo Keeler en los años 1890 y 91 conseguir satisfactoria evidencia de movimientos radiales en 10 nebulosas plane-

tarias, de las cuales, la más veloz, situada en la constelación del Dragón, se acerca á la Tierra á razón de 64 kilómetros por segundo. También halló que la nebulosa de Orión se aleja con la velocidad de 18 kilómetros, aunque este resultado bien podría atribuirse á la traslación del sistema solar que, como antes vimos, se efectúa, casi con la misma rapidez, en sentido opuesto hacia la constelación de la Lira.

El Dr. J. Hartmann, del Observatorio de Potsdam, observando de nuevo las velocidades radiales de las nebulosas estudiadas por Keeler, ha obtenido resultados que concuerdan con los de éste, y, además, valores un poco discrepantes entre la velocidad de la parte central y la de los bordes de las nebulosas; por otro lado, la figura curva é inclinada de sus rayas espectrales, comparada con la que presentan las rayas del espectro de comparación, indican todavía más claramente movimientos relativos en el seno de tan singulares objetos.

En los siglos venideros, cuando los astrónomos de aquel tiempo, más afortunados que los actuales, dispongan de los elementos precisos que ahora faltan y sus antecesores hayan ido acumulando, llegarán, sin duda alguna, á comprobar cambios apreciables en la figura ó en la posición de las nebulosas en la actualidad solamente sospechados. La simple estructura de una nebulosa basta ya en determinadas ocasiones para dar señales inequívocas de movimientos intestinos en su masa. Tal es la configuración de las llamadas nebulosas espirales, semejantes á inmensos remolinos, en los cuales parece palpable una vertiginosa rotación alrededor de un centro de simetría, como si en él tendiera á reunirse toda la materia de que están ellas formadas.

Entre la multitud de magníficas fotografías celestes debidas á Mr. Isaac Roberts, fijó, principalmente, la atención

de este astrónomo una que representa la brillante nebulosa espiral *Messier 51 Canum Venaticorum*; nebulosa que, como otras de su especie, contiene en su seno, y, sin duda alguna, con ella físicamente enlazadas, varias estrellitas de débil magnitud. Comparando dicho señor los ángulos de posición de algunas de estas estrellas, actualmente medidos por él, con los mismos ángulos determinados por lord Rosse muchos años antes, encontró diferencias sistemáticas, de las que parecía inferirse que toda la nebulosa había descrito en torno de su núcleo, como centro, un ángulo de ciento cuatro minutos de amplitud en el intervalo de cuarenta y siete años, lo que daría para el giro completo, si continuara el movimiento rotatorio con la misma velocidad, un período de diez mil años. Pero el propio autor opina que este resultado debe aceptarse con cierta reserva, porque las diferencias advertidas, ó parte de ellas al menos, pudieran proceder de errores inevitables, cometidos al medir con los instrumentos, más imperfectos que los de ahora, usados hace cincuenta años, ángulos de posición y distancias de objetos sumamente débiles y de contornos irregulares.

Manifiestos indicios de que en las nebulosas, como en la Naturaleza toda, nada hay estable ni en perpetuo reposo, son las variaciones de luz observadas en algunas sin causa conocida. Ejemplo muy notable de esta especie es la alteración advertida en la bella nebulosa llamada *trífida*, de la constelación del Sagitario. Está fuera de duda que una estrella triple, situada á principios del siglo pasado, según las observaciones de los dos Herschel, en el centro del espacio obscuro que hay entre los tres *lóbulos* de la nebulosa, hállese ahora envuelta en uno de ellos; y como la hipótesis de un movimiento relativo, perceptible en tan breve tiempo, parece por muchos motivos infundada, la mudanza evidentemente ocurrida debe de haber sido en la distribución de la luz dentro de la masa. Si así fuese, esa inmensa

expansión gaseosa habrá en unas partes adquirido mayor brillo, obscureciéndose mientras en otras poco á poco hasta desaparecer de la vista, aunque materialmente continúe existiendo allí.

Fenómenos del mismo género, que han dado motivo á muchas discusiones, ocurrieron durante los primeros meses siguientes á la aparición súbita de la estrella temporaria conocida con el nombre latino de *Nova Persei*. Descubierta en la noche del 21 al 22 de Febrero de 1901 por el doctor Anderson, astrónomo aficionado de Edimburgo,—á cuya perspicacia se debe también el hallazgo de la *Nova Aurigae* en 1892—presentóse de improviso en el cielo con el aspecto de una estrella de tercera magnitud, creciente por momentos. El día 23 excedía su brillo al de Capella y Rigel y sólo era inferior al de Sirio; fenómeno extraordinario comparable nada más á las apariciones de las estrellas de 1572 y 1604, observadas respectivamente por Tycho-Brahe y Kepler, y que en esplendor llegaron á superar á Júpiter. Pero la *Nova Persei*, lo mismo que todas las estrellas de esta clase, declinó muy pronto desde la primera magnitud hasta la quinta ó la sexta en el inmediato mes de Abril, no sin haber experimentado en el intervalo fluctuaciones periódicas en su luz, que más tarde desaparecieron. En la actualidad continúa decreciendo, si bien lentamente, y su brillo no excede ya de la 11.<sup>a</sup> magnitud.

Dado el origen misterioso, aún no puesto en claro, de las estrellas temporarias, natural pareció averiguar si ésta existía antes del 21 de Febrero, en que por primera vez su presencia fué advertida. Afortunadamente, la región donde se mostró había sido fotografiada varias veces durante dicho mes en el Observatorio Harvard. Las placas, en las que no se notó rastro de la *Nova*, dejaban ver, no obstante, el de las estrellas de 11.<sup>a</sup> magnitud: por consiguiente, aquélla debió de crecer en el término de tres días desde una magnitud

inferior á la 11.<sup>a</sup>, hasta la primera, es decir, que su luz se hizo diez mil veces mayor. Pero el examen de otras placas fotográficas, tomadas en el mismo Observatorio á partir del año 1890, donde se ven reproducidas estrellas mucho más débiles, demuestra, según el Profesor Pickering, que durante algún tiempo fué visible una, cuya luz variaba de la 13.<sup>a</sup> á la 14.<sup>a</sup> magnitud, y cuya posición difería sólo de uno á dos segundos de arco, de la ocupada por la Nova, cantidades inferiores á los errores de medida. Es de presumir, pues, aunque en tales conclusiones se deba proceder con suma cautela, que el nuevo astro, conforme se supone de otras estrellas temporarias, existía antes de la catástrofe que ocasionó su rápido y pasajero incremento.

No están acordes los astrónomos acerca de la causa productora de tan extraordinarios fenómenos. Las sucesivas alteraciones de color de estas estrellas indican desde luego grandes cambios en su estado físico ó químico. La Nova Persei, de blancura deslumbradora y hasta con matiz azulado en los primeros días posteriores á su aparición, degeneró en rojiza desde principios de Marzo: como una barra de hierro sometida á elevada temperatura resplandece con luz blanca, y tórnase roja á medida que se enfría. El espectroscopio puede dar todavía informes más minuciosos y exactos sobre lo que en estos misteriosos astros acontece. El espectro de la Nova Persei era al principio continuo con las rayas brillantes del hidrógeno *desviadas hacia el rojo*, y al lado de ellas otras rayas negras de absorción *desviadas hacia el violado*, acusando al parecer la yuxtaposición de dos espectros. Los mismos caracteres presentó en los primeros días el espectro de la Nova Aurigae, dando á entender que es una misma la causa de la colosal conflagración, por decirlo así, de un mundo entero, que en circunstancias desconocidas ocurre y con admiración contemplamos de vez en cuando.

Las particularidades observadas en el espectro inducen á admitir como explicación más natural, basada en el principio de Doppler, la existencia de dos cuerpos animados de movimientos veloces en direcciones opuestas, y que, sin llegar acaso á encontrarse y chocar, pasan muy cerca uno de otro. Las mareas intensas que necesariamente han de producirse entonces explican bastante bien la irrupción de los gases interiores y la incandescencia súbita de uno de los cuerpos. M. Seeliger, Director del Observatorio de Munich, presume que el otro cuerpo debe de ser una nebulosa. Lockyer, partiendo de su ingeniosa, aunque generalmente no aceptada, hipótesis *meteorítica*, según la cual los astros luminosos por sí mismos serían vastos agregados de meteoritos en rápido movimiento relativo, lo que daría lugar á frecuentes colisiones de unos con otros, se propuso también explicar por su medio la repentina aparición y rápido, aunque fugaz, incremento de luz de las estrellas temporarias.

Otros astrónomos, como Wilsing, del Observatorio de Potsdam, han explicado de distinta manera la duplicación del espectro de las mismas, sin recurrir á las velocidades relativas de dos cuerpos, que, en el caso de que tratamos, se acercarían á la cifra enorme de *mil* kilómetros por segundo. A juzgar, en efecto, por los resultados del análisis espectral, parece verosímil que las estrellas semejantes á nuestro Sol sean inmensas burbujas, análogas á las de jabón, llenas de gases sometidos á elevadísimas temperaturas, y, por su propio peso, á presiones considerables. Trabajos recientes han demostrado el influjo de la presión de un gas sobre su espectro. Cuando ésta aumenta, las rayas espectrales se ensanchan y desvían hacia el rojo, como sucede en el espectro de las estrellas nuevas, siendo el desvío proporcional á la presión. Wilsing supone que ciertas acciones eléctricas intensísimas pueden elevar notablen-

te la misma en los gases de dichas estrellas y producir la explosión y el incendio de estas últimas.

Confesemos ingénuamente que la causa verdadera del fenómeno permanece todavía oculta, como también se ignora por qué el espectro continuo primitivo de una estrella temporaria pierde poco á poco, cual sucede en cuadro disolvente, las bandas brillantes y oscuras que al principio lo surcaban, y al cabo de algún tiempo queda transformado en el característico de una nebulosa. En la Nova Persei, desde el mes de Julio de 1901, la transformación nebular puede decirse que era ya completa. Pero tales cambios espectrales no parece que se limitan á eso; porque, según observaciones hechas en el Observatorio Lick, el espectro de la Nova Cygni, que en 1876 era del tipo propio de toda estrella nueva, y que después se transformó en el tipo nebular, ha vuelto ahora á ser continuo, sin rastro alguno de rayas brillantes. Y del mismo modo las rayas brillantes del espectro nebular de la Nova Aurigae son en la actualidad relativamente débiles, y el espectro se acerca de nuevo al tipo continuo. ¿Será acaso que la evolución lenta y progresiva de estas estrellas fué por una catástrofe repentina momentáneamente interrumpida, y, una vez pasado el acontecimiento extraordinario, volvió á seguir su curso normal? Pregunta es ésta que, como tantas otras, no tiene todavía contestación satisfactoria.

La famosa Nova Persei ha proporcionado además nuevas é importantes sorpresas. El Profesor Max Wolf halló en unas fotografías de dicha estrella, hechas con prolongada exposición durante las noches del 22 y 23 de Agosto de 1901, en el Observatorio Königstuhl de Heidelberg, indicios de una gran nebulosa finamente ramificada que se extendía en gran parte por el SE de la Nova, y cuya imagen completa obtuvo Mr. Ritchey el 20 de Septiembre en el Observatorio Yerkes. Según las fotografías, la nebulosa tenía la forma de

una gran espiral, constituída por varios anillos, y en la apariencia emanaba de la estrella. Otra fotografía tomada por Mr. Perrine en el Observatorio Lick en los días 7 y 8 de Noviembre, puso de manifiesto cambios asombrosos en la forma y extensión de la nebulosa. En cuarenta y ocho días, cuatro condensaciones parciales de la misma, fáciles de identificar, se habían alejado de la Nova, y, como si irradiasen de ella, unos 90 segundos de arco, con algún indicio de rotación á su alrededor. Semejante velocidad angular supone un desvío anual de 11' por lo menos; es decir, 80 veces más grande que el mayor movimiento propio estelar conocido. Suponiendo que la Nova estuviese á una distancia de nosotros correspondiente á una paralaje de 0'',1, la velocidad lineal del movimiento observado en su nebulosa sería igual á 30.000 kilómetros por segundo, que se elevaría á 300.000, ó sea la velocidad de propagación de la luz, si la paralaje fuese 10 veces menor que la dicha; cosa no improbable, pues las observaciones á este fin efectuadas después han confirmado que la paralaje era insensible, y, por tanto, la distancia sumamente remota.

Velocidades de traslación tan prodigiosas y antes nunca registradas parecieron, desde luego, inverosímiles á los astrónomos. El Sr. Wilson, de Yerkes, y el Prof. Kapteyn, aquí varias veces nombrado, concibieron, casi al propio tiempo, la idea de atribuir el movimiento aparente de la nebulosa de Nova Persei á la iluminación sucesiva de sus diversos estratos por el destello de luz vivísima emitido por la estrella en el instante de su conflagración. Kapteyn, que ha explanado una teoría completa de dichos fenómenos partiendo de esa hipótesis, admite que la nebulosidad que circunda á la estrella carece de luz propia, ó, si la tiene, es, á lo sumo, muy débil, de suerte que la impresión obtenida en la placa fotográfica deberíase sólo á luz reflejada procedente de la estrella misma. Al verificarse la explosión debió

de salir de este astro una onda luminosa enérgica, pero casi momentánea, la cual, por tiempo breve, alumbró las nebulosidades inmediatas á aquél, y extendiéndose luego hizo sucesivamente visibles otras más lejanas, mientras que las primeras poco á poco se obscurecían, dando así al conjunto la apariencia de un movimiento real de toda la masa.

Esta teoría tan sencilla se presta bien para explicar los hechos más esenciales observados. Por su medio se llega, además, á determinar con alguna aproximación la paralaje de la Nova Persei, tomando como bases del cálculo, fácil después de todo, el movimiento aparente de la nebulosa en un tiempo dado y la velocidad de la luz. De este modo halló Kapteyn para dicha paralaje  $0''011$ , del cual se desprende otra consecuencia en extremo curiosa: que el acontecimiento extraordinario presenciado ahora por nosotros debió de verificarse hace más de trescientos años, ó sea á fines del siglo xvi. Adviértase, en efecto, que no vemos el estado actual del cielo, sino que, por no ser instantánea la propagación de las ondas luminosas, cada estrella nos refiere su propia historia, más ó menos antigua, anti-*quísima* probablemente en muchas, según sea su distancia.

No ha dejado de tener contradictores la teoría expuesta por Kapteyn, y otras más ó menos plausibles han sido ideadas con el fin de salvar algunas objeciones hechas á la misma. Consiste la objeción principal en no haber hallado Perrine polarización apreciable en la luz enviada por la nebulosa, como debería de suceder si esta luz fuera puramente reflejada. A cuyo argumento, Seeliger, aduciendo diversos hechos conocidos, replica que es generalmente muy difícil de comprobar por la observación la existencia de luz polarizada en los cuerpos cósmicos, aun en los casos en que por otras razones una polarización parcial sea indudable. El propio Perrine, examinando el espectro de la misma nebulosa en una negativa obtenida en el Observa-

torio Lick á principios de Noviembre de 1902, halló que no era el espectro peculiar de las nebulosas gaseosas, ni el de la Nova después de haberse transformado en nebulas, y que, por el contrario, se asemejaba mucho más al espectro que presentó esta estrella en el momento de su aparición. “La evidencia espectroscópica mencionada — añade — no es inconsistente con la teoría de que la nebulosidad reflejó la luz emitida por la Nova *en la época de su máxima brillantes.*”

He aquí nuevos y admirables hechos que los instrumentos, cada vez más perfeccionados, dan á conocer todos los días, ensanchando hasta límites inconcebibles y modificando sin cesar nuestras ideas acerca de la estructura de los mundos que son la obra portentosa de la mano del Omnipotente.

## XII

El hecho indudable de que las estrellas están en movimiento relativo — pues el movimiento absoluto no podemos discernirlo — sugiere la idea de que acaso todas pertenezcan á un mismo sistema, en el cual cada estrella se mueva, obedeciendo á la ley de la gravitación universal, en una órbita fija, alrededor de un centro común muy distante, y con un período de revolución que pudiera abarcar muchos millares ó millones de años. La forma misma de la Vía Láctea, su importancia evidente en la estructura del Universo visible, y la tendencia de las estrellas á aglomerarse en el plano medio de aquel anillo luminoso, parecen confirmar tales conjeturas.

Varias han sido las tentativas que hicieron algunos astrónomos para resolver este problema transcendental; pero la más célebre de todas, por la sagacidad que en ella desplegó su ilustre autor, fué la realizada por Mädler en 1846, con

el fin de hallar la posición del *Sol central* del sistema sidéreo. Tomó este astrónomo en su trabajo como punto de partida el hecho casi indudable de no existir en la colección inmensa de estrellas y de grupos más ó menos complejos de estrellas, ningún cuerpo celeste cuya masa sea preponderante con relación á la masa media individual, al contrario de lo que sucede con nuestro Sol respecto de los planetas que rige. Resultó entonces que todos los movimientos parciales podían considerarse como si procedieran de un centro de acción común, que á pesar de no residir en ninguno de los astros considerados, y no siendo en rigor sino un punto ideal, una simple expresión matemática, representara, sin embargo, para todos ellos el mismo papel que el Sol dentro de su sistema.

Cualquiera que sea la verdadera distribución de las masas estelares en el espacio ocupado por ellas, puede admitirse — á juicio de Mädler — que todas, tanto las que forman la Vía Láctea como las que componen el vasto conglomerado de estrellas situado en el interior de la misma, constituyen un sistema atractivo único, en el cual la hipótesis de estar las estrellas regularmente distribuídas tampoco debe de apartarse mucho de la realidad. En tales supuestos, sea que el conjunto tenga la forma globular esférica, sea la de un estrato limitado por dos planos paralelos, ó una forma intermedia entre ambos extremos, la ley que entonces define la atracción en tal sistema exige que la velocidad orbital de cada cuerpo componente sea nula en el centro común de gravedad; pequeña en los que estén situados á corta distancia de él, y vaya progresivamente aumentando en todas direcciones desde el centro hasta los límites exteriores del sistema, en los cuales la velocidad alcanzaría su valor máximo.

Como la observación sólo da, en general, los valores angulares de los movimientos de las estrellas vistas desde el

Sol, y sus valores reales nos son desconocidos, vémonos obligados á considerar nada 'más que su dirección; pero, teniendo en cuenta las consideraciones precedentes, advertiremos que toda estrella colocada en el punto central, ó muy cerca de él, deberá tener por dirección de su movimiento propio la misma que le señalaría el movimiento paraláctico, exclusivamente producido por la traslación del Sol. Y habiendo sido ésta determinada con bastante exactitud, el centro atractivo del sistema estará situado en algún punto del círculo máximo de la esfera celeste, uno de cuyos polos es el *apex*, en la hipótesis, única *à priori* admisible, de que la órbita descrita por el Sol sea circular.

Mädler demostró que no había en el cielo región alguna donde los movimientos propios fueran excepcionalmente veloces, tales como deberían resultar de la acción de un cuerpo gigantesco preponderante, aunque por carecer de luz propia fuese invisible; y que, en cambio, existía, sin duda alguna, una acumulación de movimientos muy lentos, y acordes con los paralácticos, en el grupo de las Pléyades y en sus inmediaciones, donde, de consiguiente, creyó que podía colocar el centro dinámico del sistema sidéreo. La estrella más brillante de este grupo, Alcione, sería en esta hipótesis el *Sol central*, cuya distancia al nuestro, por ingeniosas consideraciones, fijó el distinguido astrónomo de Dorpat en 34 millones de radios de la órbita terrestre, á 537 años de luz equivalentes. Nuestro Sol, por su parte, debería describir su órbita alrededor de dicho centro en unos diez y ocho millones de años.

Aunque fuera muy notable la investigación de Mädler, sus deducciones no parecieron, sin embargo, terminantes, ni recabaron el asenso general de los astrónomos, por más que haya todavía alguno que las crea plenamente justificadas. Antes bien, á medida que los movimientos propios se estudian con más esmero, y su velocidad y dirección con

más exactitud se determinan, va pareciendo indudable que aquellas ideas, consideradas en tan vasta escala, carecen de realidad cuando se trata de aplicarlas á todo el Universo. Por el contrario, los trabajos más recientes tienden á demostrar que las masas estelares están organizadas en grupos, hasta cierto punto sin enlace unos con otros, de manera que la comunidad de movimientos propios en la región de las Pléyades pudiera tener significación por entero distinta de la que Mädler se imaginaba.

No quiere decir esto que entre los diferentes grupos no exista relación alguna. Al revés; cuando este estudio se ejecuta con arreglo á un plan meditado de antemano, pero sin prejuicio de ningún género, obtiéndose resultados importantes como los conseguidos por Kapteyn, cuyos últimos y notables trabajos siento, por falta de tiempo, no poder referir con la minuciosidad que merecen.

Considera el sabio astrónomo de Groningen suficientemente grande el número de estrellas cuyo movimiento propio se conoce bien para emplear en su examen un método que llama *estadístico*, en el cual, como en todas las investigaciones de la misma especie, los valores finales dan á conocer la ley general del fenómeno, mientras que las discrepancias ó errores individuales, de carácter fortuito, conforme van siendo más numerosos tienden á eliminarse. De la propia manera vimos antes que se había llegado á definir, con grandes probabilidades de certidumbre, el movimiento de traslación de nuestro sistema en el espacio.

Comienza Kapteyn por analizar el movimiento real de cada estrella, dividiéndole en sus componentes radial y angular, y prescinde de la primera, no empleando en su labor sino los movimientos angulares. Introduce luego la noción del movimiento del Sol, y, como consecuencia de sutiles razonamientos, que no es posible indicar aquí siquiera, y apoyándose en el resultado numérico de la velocidad de

traslación de nuestro sistema, hallado por Campbell, establece la regla general siguiente:

“La paralaje de una estrella situada en la esfera celeste á  $90^\circ$  de distancia del *apex* solar, ó sea en el ecuador paraláctico, es igual á la *cuarta parte* del movimiento paraláctico anual. En las estrellas situadas fuera de dicho ecuador y con la misma paralaje, ese movimiento debe disminuir proporcionalmente al seno del ángulo comprendido entre la posición de la estrella y la del *apex*.”

Partiendo el autor de la hipótesis, en tantas ocasiones empleada, de que los movimientos de las estrellas en el espacio se efectúan indistintamente en cualquier dirección, supone que la componente radial tiene por término medio el mismo valor que las componentes en ascensión recta y en declinación (expresadas todas en la misma unidad), y la regla precedente le permite, como primera y más sencilla aplicación de ella, calcular la paralaje media de las estrellas cuyos movimientos radiales han sido determinados. Concretando su cálculo á los de las 47 estrellas medidas por Vogel, halla que la paralaje media de las estrellas de segunda magnitud es  $0'',04$  próximamente: número bastante aproximado al  $0'',056$  que obtuvo el Profesor Pritchard por el método espectrográfico, conforme dije en el lugar respectivo.

De la misma manera, y al cabo de otra discusión también muy ingeniosa, llega Kapteyn á encontrar la siguiente relación notable entre el tipo espectral de las estrellas y sus movimientos propios. Las estrellas del tipo I (según la clasificación de Secchi), ó sean las estrellas blancas ó algo azuladas, como Sirio y  $\alpha$  Lyrae, cuyo espectro continuo se presenta atravesado por cuatro rayas principales, anchas y oscuras, pertenecientes al hidrógeno, tienen en general movimientos propios menores que las estrellas amarillentas del tipo II, semejantes á nuestro Sol, como Capella

y Arcturo, y en las cuales el espectro está surcado transversalmente por innumerables líneas finas y negras.

Dos hipótesis pueden hacerse para explicar esa diferencia: ó que las estrellas del tipo II se mueven en realidad con más rapidez que las del tipo I; ó que, siendo el movimiento actual casi el mismo en todas, las estrellas del tipo I son las más distantes. La última conclusión parece mucho más verosímil y se corrobora por estar sensiblemente más agrupadas las estrellas del tipo I en las inmediaciones de la Vía Láctea.

Los astrónomos alemanes Stumpe y Ristenpart — que también se han ocupado en estos problemas — y Kapteyn, dando nuevo sesgo á la investigación, tratan luego de hallar el valor medio del movimiento paraláctico. Al efecto reparten las estrellas en tres clases: una, que comprende las estrellas con movimiento propio muy pequeño, pero indudable; otra, las que lo tienen casi igual á su valor medio, y la tercera, las de movimiento propio grande; clasificación, después de todo, un tanto vaga y arbitraria. A las veces se agrega una cuarta clase que incluye varias estrellas cuyo movimiento es de magnitud excesiva. Para cada una de estas clases se puede determinar el movimiento medio en la dirección del *apex* solar, es decir, el movimiento medio paraláctico que se busca, y debe tener un valor invariablemente proporcional á la distancia media de las estrellas incluídas en la clase respectiva.

El resultado numérico de esta labor demuestra que la razón del movimiento propio de las estrellas al movimiento paraláctico mengua conforme el primero crece. Esto, al pronto, parece indicar que las estrellas más distantes caminan con mayor velocidad que las más cercanas; pero contra tal inferencia ha de tenerse presente que en las estrellas muy lejanas, los movimientos propios más veloces son los únicos accesibles á nuestros actuales medios de observación.

Otro error en sentido contrario se comete al clasificar las estrellas según la cuantía de su movimiento propio, porque fácilmente se ve que el movimiento paraláctico medio ha de resultar demasiado grande con las estrellas que tienen movimiento propio aparente excesivo.

Para evitar estos errores decidióse Kapteyn á utilizar en su empresa la totalidad de las estrellas consideradas, sin clasificarlas ni elegir las, según la magnitud de sus movimientos propios. De esta manera, y por un procedimiento muy difícil é intrincado, llega dicho astrónomo á la siguiente conclusión definitiva: que la velocidad media de una estrella en el espacio es igual á la velocidad del movimiento del Sol multiplicada por el factor 1,86; ó, en términos generales, que nuestro Sol es una estrella cuyo movimiento es relativamente muy pequeño.

Mucho más pequeño resulta todavía este movimiento si se le compara con otros considerables observados en algunas estrellas, como la 1.830 Groombridge y Arcturo; cuya velocidad real respectiva, que probablemente excede de 260 kilómetros por segundo en la primera, y de 450 en la segunda, varios astrónomos, entre ellos Newcomb, consideran imposible de explicar por la sola energía de gravitación de todo el sistema sidéreo. Sin embargo, lord Kelvin, en un trabajo, profundo como todos los suyos, presentado á la “British Association,” en su reunión anual celebrada en Glasgow en 1901, trata, no sólo de hallar la razón de tan excepcionales movimientos, sino también de calcular la cantidad de materia ponderable necesaria para producirlos.

Supongamos—dice—una esfera de radio igual á  $3,09 \times 10^{16}$  kilómetros—distancia enorme que la luz tardaría 3.250 años en recorrer, á razón de 300.000 kilómetros por segundo, y corresponde á la paralaje 0',001,—que contuviese en su interior, uniformemente distribuída, una cantidad de materia igual á *mil millones* de veces la masa del Sol. La velocidad

adquirida por un cuerpo primitivamente colocado en reposo en la superficie de esa esfera, al cabo de *cinco millones* de años sería de unos 20 kilómetros por segundo, y en veinticinco millones de años alcanzaría la de 108 kilómetros, si la aceleración permaneciese casi constante durante tanto tiempo. El mismo razonamiento demuestra que *diez mil millones* de soles, incluidos en la misma esfera, producirían velocidades mucho mayores que las velocidades más grandes observadas en las estrellas, y, por tanto, es probable que la masa total de la esfera no llegue á valer los 10.000 millones de veces la del Sol supuestos. Por otra parte, un teorema general, hallado por Green setenta y cinco años ha, demuestra que una distribución *no uniforme* de la misma cantidad total de materia daría origen á velocidades todavía mayores que las debidas á una distribución uniforme, de suerte que, en último término, no podemos evadirnos de la conclusión que limita, á mil millones de veces la masa solar, la cantidad total de materia ponderable contenida dentro de la esfera cuyo radio es igual á  $3,09 \times 10^{16}$  kilómetros, equivalente á 206 millones de veces la distancia de la Tierra al Sol.

Admitiendo, como cálculo bastante probable, que la masa de cada estrella, por término medio, se diferencia poco de la del Sol, busca Lord Kelvin la posibilidad de que realmente existan en *nuestro* Universo 1.000 millones de estrellas al Sol en tamaño parecidas. Newcomb estima en 30 ó 50 millones, nada más, el número de estrellas visibles en los modernos telescopios, y Young hace subir á 100 millones el de las que se perciben con el gran refractor del Observatorio Lick. No siendo esta última apreciación sino la décima parte de los 1.000 millones que reclama el cómputo de Lord Kelvin, conjetura este señor que los 900 millones restantes pueden ser astros oscuros (cuya existencia han revelado las modernas observaciones), ó no bastante luminosos por sí

mismos para ser visibles, estando ahora separados de la Tierra por distancias tan enormes. Ideas que están de acuerdo con las recientemente sustentadas en la *Royal Institution* por el Profesor Turner, en cuya opinión las manchas ó espacios oscuros, al parecer casi del todo desprovistos de estrellas, y perceptibles por un efecto de contraste en diversos parajes de la celeste bóveda, es muy improbable que sean profundas aberturas ó prolongados surcos en el Universo estelar donde haya en realidad carencia absoluta de astros. Cree más bien que en esos espacios oscuros debe de haber abundante materia actualmente no luminosa, cuya interposición impide ver los objetos situados detrás de ella.

Como quiera que sea, de la prolija investigación de Lord Kelvin resulta, por último, que sus conclusiones son también aplicables al caso de suponer reducida á átomos la materia ponderable, “de modo que — añade — al principio de esta vigésima centuria nos vemos inducidos á admitir ideas concernientes al origen atómico de todas las cosas, análogas á las desenvueltas en tiempos antiguos por Demócrito, Epicuro y su augusto expositor romano el poeta Lucrecio”.

### XIII

La serie admirable de descubrimientos realizados en la astronomía estelar; la rica variedad de fenómenos observados en estos últimos tiempos, tanto en lo que concierne á los movimientos de las estrellas, que de modo bien imperfecto he tratado de bosquejar en las páginas anteriores, cuanto en otros órdenes de hechos, que por falta de espacio no he podido mencionar siquiera, me obligan á exponer someramente, como complemento de mi modesto trabajo, las ideas en la actualidad con más aplauso admitidas acerca de la estructura y evolución del Universo: problema cos-

mogónico, el más transcendental que la mente humana puede proponerse, y cuya solución, objeto final de la astronomía estelar, si bien se considera, han buscado con afán los espíritus pensadores desde los comienzos de la civilización, y sido motivo de las lucubraciones de los filósofos en todas las edades.

Al dirigir nuestras miradas al Cielo, entre la inmensa muchedumbre de estrellas de que aparece como tachonados, destácase en primer término la Vía Láctea; ese río celeste, como Flammarion la llama, argentado cinturón de irregulares y mal definidos contornos, de intensidad luminosa muy varia de unos lugares á otros, y que bajo la forma general de un círculo casi máximo divide la celeste esfera en dos mitades próximamente iguales. Advínase por este sólo hecho — como ya hice notar antes — la importancia capital que la Vía Láctea debe de tener en la constitución del Universo estrellado.

Sin embargo, para la clásica antigüedad, la Vía Láctea ó Galaxia, como lo indican estos dos nombres que indistintamente lleva, sólo era producto de algunas gotas de leche caídas de los labios de Hércules amamantado por Juno, ó abrasada huella del carro del Sol dirigido por Faetón; camino, para unos, que conducía á la morada de los dioses; para otros, línea de soldadura de los hemisferios celestes, mientras se creyó que eran sólidos los cielos. ¡Simple meteoro colocado en la región media, á juicio del gran Aristóteles! ¿Quién es capaz de enumerar las infinitas, y muchas veces absurdas, conjeturas que acerca de la significación de la Vía Láctea han sido hechas desde los tiempos más remotos? ¡Y qué distantes de la realidad y cuán pequeñas parecen ahora esas infantiles concepciones, aunque se les dé interpretación alegórica, puestas al lado del magnífico edificio sobre inquebrantables bases erigido por los astrónomos y los filósofos modernos!

Desde que Galileo pudo valerse de un anteojo, advirtió que la materia blanquecina, que á la simple vista constituye la Vía Láctea, se *resolvía* ó aparecía compuesta de innumerables y diminutas estrellas, idea fecunda ya avanzada por Demócrito. William Herschel, con más poderosos medios, y como resultado de observaciones asiduas y concienzudas, aseguró que la Vía Láctea se compone en su mayor parte de estrellas demasiado lejanas y agrupadas para poder distinguirlas una á una; pero que al propio tiempo hay cierta materia tenue y nebulosa, esparcida en abundancia por todo el firmamento; ó, como se dice ahora, soles ya completamente formados, otros en vía de formación, y tal vez restos de materia cósmica, impropia para llegar á condensarse en globos, según el sentir de varios astrónomos.

El propio W. Herschel, deseando fundar sobre resultados numéricos su concepto de la figura y dimensiones de la Galaxia, dedicóse durante treinta y ocho años, desde 1780 hasta 1818, con infatigable constancia y excelentes instrumentos construídos por él mismo, á *sondear el cielo* — según su feliz expresión — dirigiendo el telescopio sucesivamente á diversos puntos de aquél, y contando en cada posición el número de estrellas visibles á la vez en el campo del instrumento. Este número, variable entre muy amplios límites, adquiere un valor máximo extraordinario en la Vía Láctea, y disminuye gradual, pero rápidamente, conforme nos alejamos de esta zona. En tan colosal tarea, con no menos empeño y éxito continuada por su hijo, Sir J. Herschel, no se trata ya de apreciaciones en cierto modo vagas y arbitrarias, ni de ideas más ó menos ingeniosas y profundas, sobre la constitución del Universo, como las que con su penetrante genio concibieron Kepler, Kant y Lambert, sino de observaciones exactas, hechas con un plan premeditado, y susceptibles de ser luego sometidas al cálculo.

Dos períodos distintos hay que considerar en los trabajos de W. Herschel. Durante el primero, fué de opinión el eminente astrónomo, que las estrellas, consideradas en conjunto, estaban uniformemente distribuídas en el espacio, aisladas ó sin conexión física unas con otras, y que en todas partes las había de todos tamaños; dando en consecuencia por cosa cierta que su magnitud media dependía solamente de su distancia á la Tierra, así como que el número de las visibles á la vez en el campo del telescopio era proporcional al cubo del espesor de la masa de estrellas en la dirección observada. Para llegar á este resultado definitivo fuéle preciso suponer también que su telescopio penetraba más allá de los confines de la Vía Láctea.

Partiendo de estas premisas dedujo de sus observaciones que la misma, con todas las estrellas que en su seno encierra, debía de tener la figura de un disco aplastado y dividido en dos hojas en casi una mitad de su contorno, cerca de cuyo centro y de cuya separación estaría situado el Sol. El espesor de disco tan enorme había de ser igual á 155 veces, por lo menos, la distancia de una estrella de primera magnitud, y su diámetro máximo á 850 veces la misma distancia, es decir, á 817 millones de veces el radio de la órbita terrestre, extensión prodigiosa que la luz recorrería en unos trece mil años.

Ideas tan grandiosas, acogidas en su parte principal por Struve, y apoyadas en observaciones intachables, hicieron tal impresión en la mente de los astrónomos, que han quedado en la ciencia como verdades demostradas, sin advertir el cambio esencial operado en el modo de pensar de Herschel á consecuencia de nuevos estudios hechos en los años posteriores. Pues, tan pronto como descubrió que muchas estrellas formaban verdaderos sistemas físicos, y que la cercanía aparente de unas á otras no era mero efecto de perspectiva, sino de una agrupación real de soles en dife-

rentes puntos del espacio, vióse obligado á renunciar á sus primitivas hipótesis, y admitió que las estrellas, lejos de estar con regularidad distribuídas en aquél, tienden generalmente ó aglomerarse en un plano fundamental, formando una capa ó estrato de magnitud ilimitada y de figura indefinida, cuya traza en el cielo es la Vía Láctea. En rigor, la inmensa colección de estrellas que constituye nuestro sistema sidéreo no obedece á una condensación uniforme; antes bien se presenta repartida en montones de tamaño y forma irregulares y más ó menos numerosos y apiñados, cuyo conjunto, semejante á una cadena de grupos de estrellas, da origen á todas las apariencias y á todos los grados de resplandor que la observación enseña.

Los resultados obtenidos por Herschel, en los cuales van englobadas las estrellas de todas las magnitudes, dan á conocer, de una manera general, la considerable agrupación de éstas en la faja ó zona de la Vía Láctea, relativamente á las restantes regiones del Cielo; pero no bastan para determinar con la escrupulosidad necesaria la ley del incremento desde los polos de la Galaxia hasta la faja misma, cuyo plano medio está inclinado unos  $60^\circ$  respecto del ecuador celeste, al cual corta en dos puntos opuestos: uno situado en la constelación de Orión, entre 6 y 7 horas de ascensión recta, y otro en la del Aguila, entre las 18 y 19 horas. El polo boreal de la Vía Láctea tendría, según esto, por coordenadas 12 horas 47 minutos en ascensión recta y  $27^\circ$  en declinación, pero éstas y la consiguiente traza del *círculo galáctico* en la esfera celeste son algo inseguras por bifurcarse la Vía Láctea en una tercera parte de su circunferencia entre la constelación del Cisne y la del Escorpión.

Para el problema indicado es en primer término muy interesante averiguar si las estrellas que podemos llamar *lúcidas*, ó sea las comprendidas entre la primera y la sexta

magnitud inclusive, perceptibles á simple vista, están distribuídas de tal manera que la zona de su máximo apiñamiento coincide en posición con la Galaxia. Estudios notables sobre este problema han hecho Pickering, Gould en su *Uranometría Argentina* y Schiaparelli, siendo el de este último el más completo por estar basado en los trabajos de los otros dos astrónomos aludidos.

De este estudio aparece indudable la tendencia general de las estrellas lúcidas á agruparse hacia la región ocupada por la Vía Láctea, cuyo curso, aunque ésta no fuera visible, podría trazarse bastante bien por tal medio. Pero, si se mira este asunto con más detenimiento, se infiere, además, que el círculo de condensación máxima de dichas estrellas no coincide del todo con el círculo galáctico, sino que forma con él un ángulo de unos cinco grados; conclusión de gran transcendencia si se la compara con otras halladas por diferentes métodos.

Importa, por ejemplo, ver si dicha tendencia se verifica también para las estrellas que tienen movimiento propio apreciable. Kapteyn ha examinado esta cuestión con las estrellas de Bradley, y su dictamen es que las estrellas cuyo movimiento propio secular es grande ó excede de 5", están casi uniformemente distribuídas en la esfera celeste, pero que, cuando se incluyen las de movimiento propio pequeño, resalta al punto la tendencia, cada vez mayor, á agruparse todas hacia el plano galáctico.

Pudíérase tachar de poco seguro el resultado obtenido por Kapteyn, vista la incertidumbre que debe de existir sobre la realidad de los movimientos propios calculados con las observaciones de Bradley, algo defectuosas necesariamente, por la época en que fueron hechas. Pero tomando datos más fidedignos, como los contenidos en dos listas preparadas por Auwers y Boss, que basan su estudio en las observaciones de zonas de estrellas hechas para el catálogo

internacional de la *Astronomische Gesellschaft*, se llega á idéntica conclusión; así es que Newcomb, después de discutir estas investigaciones, no vacila en afirmar que “las estrellas pertenecientes á la Galaxia, están situadas mucho más lejos que aquellas cuyo movimiento propio puede evidenciarse”: afirmación que viene en apoyo de las ideas sustentadas por Stratonoff, Director del Observatorio de Tachkent (Turquestán), para quien la Vía Láctea, á lo menos en sus regiones más cercanas á nosotros, ó hasta la distancia media de las estrellas de  $9\frac{1}{2}$  magnitud, es una aglomeración de nubes estelares que se tocan por sus bordes. De uno de estos enormes sistemas globulares, cuyo diámetro debe de ser próximamente dos veces mayor que la distancia media de las estrellas de  $6\frac{1}{2}$  magnitud, forma parte nuestro Sol, ocupando en él un lugar algo excéntrico, por lo cual la traza del plano de máxima condensación de la Vía Láctea no es en rigor un círculo máximo de la esfera celeste, sino más bien un paralelo distante  $92^\circ$ , poco más ó menos, de su polo boreal. Conjeturas estas que ya en 1761 había adelantado Lambert en sus célebres Cartas Cosmológicas.

Por grande que sea la indecisión que reine todavía en estos arduos problemas, otros hechos de diversa índole contribuyen á dar carácter de verosimilitud á las mismas ideas. Si de averiguar se trata, por ejemplo, cuál es la riqueza en estrellas diminutas, contenidas dentro de uno de esos grupos formados en su mayor parte por estrellas bastante luminosas, como los de las Pléyades, Coma Berenices, Praesepe y Orion, y que por este motivo parece que han de estar cerca relativamente, la observación demuestra que el número de estrellas muy pequeñas no es en ellos mayor que el de las que se cuentan en una misma área de las regiones que inmediatamente les circundan; de donde se debe inferir que las numerosas estrellitas que se ven en la

propia dirección no tienen enlace alguno con los mencionados grupos. Otra cosa sucede al aplicar el mismo procedimiento á los conglomerados de la Galaxia; pues si bien la riqueza ó densidad de estrellas de la décima magnitud en adelante crece á medida que nos acercamos á ella, el incremento es leve al principio, pero grande y repentino tan pronto como se llega á los límites de la zona en que la misma se extiende.

La conclusión definitiva que de tal estudio se deriva es que el Universo estelar, ó, por lo menos, en su parte más densa, está realmente achatado entre los polos galácticos, conforme suponían Herschel y Struve. Según las palabras de Seeliger “la Vía Láctea no es un mero fenómeno local, sino que está íntimamente relacionada con la entera constitución de nuestro sistema sidéreo”. Hecho muy significativo y en apoyo de este modo de pensar, es que casi todos los conglomerados de estrellas se agrupan y concentran con preferencia en el plano medio de la Vía Láctea, mientras que las nebulosas irresolubles ó gaseosas parece que huyan de él y tiendan á acumularse en los polos del círculo galáctico. Otro hecho singular y en la apariencia contradictorio del anterior, es que las nebulosas difusas y generalmente muy extensas, que con sus irregulares y prolongadas ramificaciones enlazan unas estrellas con otras en ciertas regiones del cielo, como se nota en el grupo de las Pléyades y en la constelación de Orión, sean precisamente más numerosas dentro ó cerca de la Vía Láctea. ¿Debemos suponer, como opinan diversos astrónomos, que las nebulosas no forman parte de *nuestro* Universo y admitir la coexistencia de dos principios distintos, uno que pudiera llamarse *nebuloso* y otro *estelar*? Ó ¿no es más lógico afirmar que tal colocación armónica de objetos tan diferentes, ese enlace misterioso de unos con otros, no son puro efecto del acaso, y que la totalidad de los que presenta el cielo estrellado debe de

constituir un sistema único, cuya perspectiva es consecuencia necesaria del modo de condensarse la materia cósmica en el proceso de la formación de los mundos? Aunque sin datos bastante seguros todavía para seguir paso á paso las fases de esa evolución, parece, no obstante, posible trazar á grandes rasgos la génesis del Universo por las transformaciones lentas de la materia, gaseiforme en su origen, y tomando formas definidas en el transcurso de los tiempos para constituir soles, que por su concentración progresiva llegan á convertirse en astros oscuros.

El examen espectroscópico de las nebulosas revela que su espectro está compuesto, á lo sumo, de cuatro rayas brillantes, ninguna de las cuales ha podido hasta ahora ser con certidumbre identificada con las de ninguna substancia terrestre, por lo que la materia desconocida que las produce ha recibido el nombre de *nebulum*. Quizá esta materia se halle todavía en su estado primitivo, anterior á la formación de los elementos que llamamos simples. Posible es también que las nebulosas oscuras, como la recientemente observada alrededor de la estrella Nova Persei, representen un estado de agregación de la materia todavía anterior al de las nebulosas visibles. Pero, aparte del hecho general é indudable que la luz de una nebulosa no procede de materia en estado sólido, sino de materia gaseosa ó, en otra forma sutil, carecemos de noción exacta acerca de la constitución física de estos cuerpos.

La transformación de las nebulosas en estrellas, producida por la concentración lenta y gradual de la materia difusa, al principio esparcida en vasto espacio, fué sospechada por Tycho-Brahe, Kepler y otros astrónomos, y su teoría sobre más firmes cimientos establecida por William Herschel, como resultado de sus pacientes observaciones. Apenas hay región del cielo que no dé testimonio del estrecho parentesco que entre las nebulosas y las estrellas existe: frecuente-

mente las últimas, sobre todo si se hallan formando grupos, aparecen rodeadas de espacios oscuros, como los que en la Vía Láctea llevan el sugestivo nombre de *sacos de carbón*, donde el telescopio más poderoso no basta para dejar percibir astro alguno; precisamente en lugar inmediato al ocupado con profusión por las estrellas, indicando así como que éstas han sido formadas á expensas de la masa nebulosa que las circundaba.

El espectroscopio ha venido, además, á establecer nuevas relaciones de afinidad entre ambas categorías de cuerpos celestes y permitido rastrear con signos auténticos las fases sucesivas de la vida de las estrellas, análogas á las de un ser humano: su infancia, su juventud, su edad madura y su vejez. Los espectros de estos cuerpos luminosos, aunque en sus caracteres generales han podido distribuirse, para facilitar su estudio, en unas cuantas clases, forman en rigor una serie, cuyos términos, de un extremo á otro de la misma, pasan casi sin solución de continuidad por innumerables matices, cual sucede en la gama de los colores y en la escala de los sonidos. El examen comparativo de los espectros conduce á fijar la *edad relativa* de cada estrella, ó el estado actual de su desenvolvimiento.

Toda estrella, en su infancia, es simplemente masa nebulosa que se contrae poco á poco, calentándose al propio tiempo hasta alcanzar cierto grado máximo de temperatura, desde cuyo instante comienza á enfriarse. La duración de su vida no tiene límite fijo, ni acerca de ella se puede formar juicio exacto, aunque ciertamente ha de contarse por millones, y con más probabilidad por decenas ó centenares de millones de años. Depende enteramente de la masa del cuerpo. En general, cuanto mayor es ésta, más larga es la vida; por manera que una estrella pequeña podrá pasar de la infancia á la decrepitud en mucho menos tiempo que otra grande. De aquí se infiere que en el cielo habrá si-

multáneamente estrellas de todas edades, y, lo mismo que en los seres vivos, por sus caracteres diferenciales podremos llegar á conocer las épocas sucesivas de su evolución.

En el primer período las estrellas son de color blanco azulado, que en los posteriores gradualmente pasa al amarillo y al rojo. Su espectro experimenta también en el intervalo grandes variaciones: en las estrellas más jóvenes, las rayas de absorción, aunque anchas, son pocas en número, como si estos astros estuviesen casi desprovistos de fotosfera y la luz que emiten procediera del interior de la masa hasta una profundidad considerable. Pero, cuanto más se contrae la estrella, mayor es la gravedad en su superficie y más rápido, en consecuencia, el incremento de la densidad en el seno de la masa gaseosa; por lo que la emisión de luz debe entonces proceder de capas menos hondas y quedar á la vez más interceptada por la atmósfera exterior, como lo prueba la multitud de rayas oscuras que en este caso transversalmente surcan el espectro; al modo que — si vale la analogía — las arrugas, con el tiempo más numerosas y señaladas, surcan la piel de los seres orgánicos durante su vejez.

Sir William Huggins da la siguiente serie de estrellas, como tipo de los sucesivos grados de su desenvolvimiento, comenzando por las más jóvenes:

Sirio; $\alpha$ Lyrae.	.....
$\alpha$ Ursae Majoris.	Capella; el Sol.
$\alpha$ Virginis.	Arcturo.
$\alpha$ Aquilae.	Aldebaran.
Rigel.	$\alpha$ Orionis.
$\alpha$ Cygni.	.....
.....	

El grado máximo de temperatura créese que corresponde á las estrellas amarillas, y, según Huggins, si su luz no es

blanca azulada, como parece debería serlo en este caso, consiste en la fuerte absorción selectiva ejercida en ella por los gases que rodean á la fotosfera. Sir Norman Lockyer, en consonancia con sus propias ideas, presenta la misma serie ordenada de modo algo diferente.

Conócida es la teoría ideada por Helmholtz en 1854, y admitida hasta ahora como cierta, para explicar el origen de la enorme radiación calorífica del Sol y su permanencia durante muchos millones de años sin llegar á agotarse. De acuerdo con las leyes de la termodinámica, para producir efecto tan considerable basta la cantidad de energía acumulada por la contracción del volumen del Sol en virtud de la gravitación mutua de todos los elementos de su masa. El Sol se enfría á medida que se contrae, pero la caída de su materia hacia el centro del astro engendra energía que incesantemente se transforma en calor. Según Helmholtz, el trabajo de condensación tiene por medida los  $\frac{3}{5}$  del trabajo que haría una masa igual á la del Sol, cayendo desde la superficie de éste al centro, bajo la acción de la gravedad en dicha superficie. Los cálculos más exagerados sobre la pérdida de calor del Sol, por radiación, demuestran fácilmente que la contracción anual del diámetro de nuestro lumínar no debe de exceder de unos cien metros, cantidad demasiado pequeña para poder apreciarla con el auxilio de ningún instrumento; como que, si la radiación solar se mantiene constante, sólo hará disminuir el diámetro angular del mismo astro en un segundo de arco en el transcurso de seis mil años.

Radiación tan considerable no puede mantenerse sino participando de ella toda la masa, y estableciéndose, del interior al exterior y viceversa, corrientes incesantes de *convección* ó difusión producidas por los cambios de densidad de la misma. Esta movilidad molecular extraordinaria exige á la vez que el Sol se halle en estado gaseoso, si bien

á la presión y á la temperatura enormes que allí debe de haber, la distinción entre gas y líquido en rigor desaparece, pudiendo decirse que la materia conserva la elasticidad del primero, mientras adquiere la densidad del segundo. No quiere esto significar que la superficie visible del Sol sea también gaseosa, porque el repentino enfriamiento que una masa de gas ha de sufrir al ponerse en contacto con el espacio exterior, puede liquidarla y hasta solidificarla momentáneamente. No es, pues, absurda la idea de que el Sol, y lo mismo cabe suponer, en general, de las estrellas, se asemeja á una inmensa burbuja.

La contracción progresiva del Sol trae consigo el aumento de densidad de su masa, pero este proceso tiene que terminar alguna vez y con él la vida del astro como cuerpo luminoso. En menos de cinco millones de años, según Newcomb, se habrá reducido el Sol á la mitad de su actual volumen. Al cabo de otros siete millones será tan denso como la Tierra, en cuyo estado es difícil de concebir cómo podrán efectuarse las corrientes de convección necesarias para mantener la radiación calorífica en su actual intensidad, mucha parte de la cual, no sabemos á qué fin, se disipa en el espacio.

Por otra parte, la misma radiación ha de haber tenido principio en lo pasado, porque no es posible admitir para ella una duración sin límites. La energía radiante emitida está equilibrada por la energía potencial que origina la contracción, y este resultado de la teoría permite estimar, aproximadamente al menos, la edad del Sol. Tomando un promedio de los cálculos de Helmholtz, Kelvin, Langley y otros astrónomos, el tiempo durante el cual puede haberse mantenido la radiación solar en su actual intensidad no excede de unos veinte millones de años, intervalo que, á lo sumo, cabría duplicar. Número—aunque para nosotros de magnitud inconcebible—bien exiguo en

comparación con las exigencias de los geólogos, que, para explicar el desenvolvimiento de los diversos estados y las múltiples vicisitudes por que ha pasado la Tierra desde las edades primitivas, necesitan centenares y aun millares de millones de años. Hasta ahora, el conflicto entre resultados tan contradictorios continúa en pie; mas hay motivos para esperar que nuevos é inesperados descubrimientos lo solucionen satisfactoriamente.

La condensación de las nebulosas por la mutua gravitación de sus elementos, dada la extremada tenuidad de ellas y su estructura casi inmaterial, por decirlo así, es también muy difícil de explicar. Apunta Newcomb la posibilidad de que todos los cuerpos celestes luminosos contengan en sí mismos algún manantial de energía, de cuya causa la ciencia no puede dar razón hasta ahora. Pero “ van acumulándose hechos — añade — que convergen hacia la idea de que existen formas de substancia que no son materia ni éter, sino *algo* entre los dos; acaso substancia primitiva, cuya evolución dió origen á la materia misma. En esta substancia etérea está almacenada una provisión casi inagotable de energía, de cuyo desprendimiento resulta la condensación de la substancia en materia „.

A este propósito quizá no esté fuera de lugar, ahora que los sorprendentes fenómenos de los cuerpos radio-activos llaman con justicia tanto la atención, apuntar una idea enunciada poco ha por el Sr. W. E. Wilson, apoyándose en las observaciones de monsieur y madame Curie: que la energía calorífica del Sol pudiera muy bien provenir de la presencia del *radio* en este astro. Según los cálculos de aquél, bastaría que nuestro centro planetario contuviese en toda su masa 3,6 gramos de radio por metro cúbico para proporcionar la misma energía. Dicha cantidad podría ser aún más pequeña si á la elevada temperatura solar ese cuerpo enigmático fuera capaz de una radiación más inten-

sa. Por otra parte, esta teoría parece confirmada por el análisis espectral. Sir William Huggins y Lady Huggins, en una comunicación reciente presentada á la Real Sociedad de Londres, establecen que una sal de radio da en el espectro ocho rayas, de las cuales cuatro, ó acaso cinco, se confunden con las del espectro del helio. Este cuerpo sería, pues, un producto de la desintegración atómica del radio, y su presencia en la atmósfera del Sol indicaría también la de la última substancia, cuyas enérgicas propiedades radioactivas es posible que fueran suficientes para la producción del calor solar.

Más explícito se muestra todavía acerca de este asunto Mr. G. H. Darwin en una nota publicada recientemente en la revista inglesa *Nature*. A su juicio, desde el momento en que las singulares propiedades emisivas del radio nos han dado á conocer que un átomo de materia es capaz de almacenar una enorme provisión de energía, carecemos de derecho para presumir que el Sol no puede desprender energía atómica en cantidad, comparable al menos con la que emitiría si todo él estuviera compuesto de radio. Por tanto no hay motivo para que dudemos de la posibilidad de multiplicar la duración del calor del astro luminoso, derivada de la teoría de la gravitación, por un factor tal como diez ó veinte. Lo que también quiere decir que se podría aumentar en la misma escala la vida asignada al Sol, ó mejor aún, que en tal punto con certidumbre nada sabemos, ni es posible fijar todavía la época inicial del calor solar, ni cuánto tiempo podrá éste durar en lo futuro.

Cada día, según se ve por lo expuesto, surgen de la observación nuevos hechos, que ensanchan de manera imprevista los horizontes de la ciencia; mas para su racional explicación exigen nuevas teorías, que á menudo destruyen, ó modifican al menos, las anteriormente recibidas como verdaderas, elevándose así, gradual y trabajosamente

te, es cierto, pero cada vez sobre más sólidos cimientos, el templo de Minerva. En lo que á la estructura del Universo atañe, cabe—como antes dije—afirmar en términos generales la teoría de su desenvolvimiento por la condensación progresiva de sus elementos, en virtud de la ley de gravitación, desde el estado de tenue nebulosa hasta el de planeta obscuro, pasando por la fase de sol resplandeciente. En nuestro mismo sistema planetario, la célebre hipótesis cosmogónica de Laplace, con formidables argumentos tan combatida, ha vuelto á revivir y adquirir crédito, merced á los recientes trabajos de M. du Ligondés, que ha introducido en ella importantes modificaciones, dejando en pie la idea fundamental, y á las investigaciones de Mister Darwin, algunas de las cuales he reseñado más arriba.

¿Cuál será el término, el estado último de la universal evolución? Científicamente nada se sabe, ni acaso la limitada inteligencia humana, por más poderosos esfuerzos que haga, logre nunca descifrar el tremendo enigma. Nuestra ávida curiosidad tiene que darse por satisfecha con más ó menos verosímiles conjeturas acerca de la suerte reservada á la incomparable obra de la Sabiduría divina. Pero el hombre, en su incesante anhelo de más altos destinos, no se aviene fácilmente con la idea de la muerte, y sabios hay que opinan que el Universo, á semejanza del ave Fénix, que renacía de sus cenizas, puede reconstituirse al llegar al estado de mortal reposo. El Doctor Isaac Roberts, por ejemplo, como consecuencia del examen comparativo de sus magníficas fotografías celestes, y prescindiendo del origen de la materia misma, cree que, reducido el Cosmos, en su decadencia y ruina, á una muchedumbre de agregados oscuros ó luminosos de materia, ya en forma globular, cometaria, meteórica ó pulverulenta, ya en la de nubes gaseosas aisladas y esparcidas por el espacio, es susceptible de renovarse, por efec-

to de colisiones **entre los cuerpos mencionados**, y por la consiguiente **recombinación de sus elementos**, formando nuevas nebulosas, en su mayor parte del tipo espiral, y más tarde estrellas, comenzando así ordenadamente otro ciclo ó período de sus evoluciones sucesivas: ideas que hasta cierto punto concuerdan con las sustentadas por Sir Norman Lockyer.

Lo único positivo es que el cielo nos ofrece á la vez la materia constituida en diferentes formas de agregación, y en estados de desarrollo diversamente avanzado. Examinando, como ya antes hicimos, la distribución tan notable de las estrellas y de las nebulosas respecto á la Vía Láctea, los hechos se presentan como si las fuerzas que han presidido á la evolución general de nuestro Universo sidéreo hubieran obrado con más energía y actividad mayor en la zona ecuatorial ó cerca del plano galáctico, que en las zonas distantes, las cuales estarían atrasadas aún en su desenvolvimiento.

Esta regla no es absoluta. Fuera de la Vía Láctea existen otras dos galaxias en miniatura, las célebres Nubes de Magallanes, que en su seno compendian las maravillas que aquélla contiene. La nube mayor, cuya extensión en la esfera celeste es de unos 42 grados cuadrados, comprende, según J. Herschel, nada menos que 582 estrellas entremezcladas con nebulosidad difusa, 291 nebulosas propiamente dichas y 46 conglomerados estelares. La menor, que abarca sólo una superficie de 12 grados, no es tan rica como la otra en maravillosos objetos, pero tiene la particularidad de estar por rara coincidencia situada en una de las regiones más pobres del cielo, como si toda la materia cósmica, primitivamente esparcida en sus contornos, hubiera ido á condensarse en un reducido volumen. Posteriores observaciones, hechas con más refinados instrumentos y empleando la fotografía, revelaron en 1890 á Mr. Russell, astróno-

mo de Sydney, la conformación, altamente significativa, en espiral compleja, con dos centros, de las Nubes de Magallanes. Las nebulosas espirales, por su figura característica, y por hallarse distribuídas indistintamente en todas las regiones del cielo, sin enlace alguno, al parecer, con las estrellas, pudieran representar acaso un importante papel en la creación por su semejanza con la Vía Láctea.

Preséntase ahora otro problema no menos trascendental. ¿Es nuestro Universo estelar limitado?, ó las estrellas que lo forman ¿están esparcidas por el espacio infinito? El filósofo moderno debe tratar de resolver esta clase de cuestiones apelando exclusivamente á la observación, sin prejuicios sistemáticos de ningún género. Pero observación tan delicada exige, si ha de efectuarse con resultados positivos, instrumentos de una precisión y un alcance harto superiores á los que en la actualidad usamos. Suponiendo, en efecto, que todas las estrellas tuvieran el mismo brillo medio, las que se hallen más allá de cierta distancia serán siempre invisibles en nuestros telescopios, aun empleando el auxilio poderoso de la placa fotográfica. Podrían existir sin que de su existencia nos fuera dable adquirir conocimiento alguno.

En rigor, se sabe que las estrellas difieren mucho unas de otras en tamaño y luminosidad intrínseca, por manera que el aumento de objetos visibles á la vez en el campo de un telescopio, no sólo significa que las estrellas demasiado débiles por efecto de la distancia llegan á hacerse perceptibles mediante el poder amplificador del instrumento, sino también que otras estrellas cercanas y pequeñas ó poco luminosas revelan al propio tiempo su presencia.

El problema es, por tanto, muy complejo, y lo único que por ahora podemos deducir de ambos razonamientos es que el Universo estelar es para nosotros, y sólo en este sentido, limitado, cualquiera que sea su verdadera extensión.

Por otra parte, si las estrellas estuviesen uniformemente distribuidas en el espacio, los principios más elementales de óptica geométrica demuestran que en la hipótesis de extenderse indefinidamente el sistema sidéreo, todo el cielo resplandecería con una luz tan intensa como la del Sol, lo cual no es cierto. Lo que más se aproxima á esa apariencia es la luz amortiguada ó difusa de la Vía Láctea, pero su debilidad suma, prueba que los astros de donde aquélla dimana no están esparcidos por un espacio infinito, sino que, aun cuando traspasen mucho los límites de las estrellas visibles, su número debe de disminuir rápidamente con la distancia. Este resultado parece, por tanto, contrario á la hipótesis de que las estrellas accesibles á nuestra vista formen parte de un Universo indefinidamente extenso.

A este aserto hay, sin embargo, que poner alguna restricción, pues no está demostrado, tratándose de distancias tan enormes, que la luz de las estrellas atravesase el espacio sin experimentar en su intensidad pérdida alguna por la transparencia absoluta del medio; antes bien, algo tiene que debilitarse, siquiera parcialmente, por la interposición en su camino de cuerpos celestes oscuros y materia cósmica informe no luminosa, cuya existencia es indudable. Pero en todo caso, la singular distribución—á que tantas veces he aludido—de las estrellas y nebulosas en el sistema sidéreo, cuya base es la Vía Láctea, y otros hechos no menos significativos que sería prolijo enumerar, conducen á admitir como muy probable, según el general asenso de los astrónomos, y mientras investigaciones posteriores no demuestren lo contrario, que *nuestro Universo*, como dice lord Kelvin—por más que estas dos palabras parece que repugnan hallarse juntas—es de extensión limitada.

Ocurre ahora preguntar: Si el Universo visible es limitado, ¿concluye aquí la Creación, ó qué hay más allá? Quizás el vacío absoluto, la nada; quizás, realizándose en cierto

modo la grandiosa concepción de Lambert, ó como sospechaba Kant, y como quiere todavía la imaginación, á pesar de hallarse ya confundida ante tamaña grandeza, pero impulsada en alas del amor hacia Dios omnipotente; quizás la Vía Láctea no es más que un humilde individuo de otra agrupación superior, inaccesible á nuestras miradas y extendida en el espacio infinito.

---

# APÉNDICE

---

## SOBRE LOS MOVIMIENTOS REALES DE LAS ESTRELLAS EN EL ESPACIO (1)

Uno de los problemas más interesantes que la aplicación del espectroscopio al estudio de los cuerpos celestes ha suscitado, es, sin duda, la determinación de los movimientos de las estrellas en la dirección del rayo visual, por medio de la desviación observada de las rayas de su espectro. Varios astrónomos han enunciado la idea de una relación, susceptible de ser expresada matemáticamente, y que por necesidad debe existir entre el movimiento *radial*, así obtenido, y el movimiento angular aparente de una estrella, supuesto que ambos no son sino los componentes del movimiento relativo de la misma en el espacio. La Real Sociedad Astronómica de Londres ha emitido su autorizada opinión acerca del nuevo método, "cuyos resultados positivos — dice — cuando se combinen con los movimientos propios ordinariamente observados en las estrellas, nos darán indicaciones sobre la verdadera estructura del cielo". Han llegado á proponerse algunas aplicaciones de los movimientos radiales á diversos problemas, tales como la determinación de la paralaje de las estrellas dobles; pero no conozco todavía trabajo alguno donde con toda generalidad la relación mencionada haya sido desenvuelta.

En el movimiento relativo de una estrella, único para nosotros directamente discernible, y suponiendo además al observador situado en el centro del Sol, es menester considerar los movimientos absolutos de ambos astros en magnitud y en dirección, su distancia mutua, y los movimientos radial y angular observados en la estrella, así como su lugar aparente en la esfera celeste. Como algunas de estas cantidades han de ir expresadas en unidades lineales, mientras que las otras lo estarán en medida angular, he procurado, para mayor cla-

---

(1) Nota á que se alude en la pág. 36 del texto, publicada en el vol. 38, página 90 de las *Monthly Notices*, y que ha sido ligeramente modificada, especialmente en los ejemplos numéricos.

ridad, distinguir las primeras por los caracteres de nuestro alfabeto, y las últimas por letras griegas, conservando en lo demás, siempre que ha sido posible, la notación establecida y sancionada por eminentes astrónomos.

He aquí, primeramente, de qué manera deduzco las ecuaciones fundamentales. El triángulo esférico formado por el polo del ecuador celeste, el punto del cielo (*apex*) hacia el cual nuestro Sol se dirige, y una estrella, da las expresiones conocidas:

$$\left. \begin{aligned} \text{sen } \psi \text{ sen } \chi &= \text{sen } (\alpha - \alpha_0) \cos \delta_0, \\ \cos \psi \text{ sen } \chi &= \cos (\alpha - \alpha_0) \cos \delta_0 \text{ sen } \delta - \text{sen } \delta_0 \cos \delta, \\ \cos \chi &= \cos (\alpha - \alpha_0) \cos \delta_0 \cos \delta + \text{sen } \delta_0 \text{ sen } \delta, \end{aligned} \right\} \quad (\text{A})$$

donde  $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$ , son respectivamente la ascensión recta y la declinación de la estrella y del *apex* ó *vértice paraláctico*:  $180^\circ - \psi$  el ángulo en la estrella, y  $\chi$  la distancia de ésta al vértice.

El movimiento propio angular  $\rho$ , determinado por los movimientos en ascensión recta y en declinación, y proyectado sobre el *circulo paraláctico*  $\chi$ , da también como es sabido:

$$\left. \begin{aligned} \rho \text{ sen } \psi_1 &= \Delta \alpha \cos \delta, & \beta &= \rho \text{ sen } (\psi - \psi_1), \\ \rho \cos \psi_1 &= \Delta \delta, & \gamma &= \rho \cos (\psi - \psi_1), \end{aligned} \right\} \quad (\text{B})$$

donde  $\gamma$  es la proyección del movimiento y  $\beta$  la componente perpendicular.

Consideremos ahora las relaciones en el espacio. Sean dos posiciones sucesivas del Sol y de la estrella en los instantes  $t$  y  $t'$ , suficientemente próximos el uno al otro para que se pueda, en el intervalo, tomar como rectilíneos los movimientos elementales de ambos astros. Concibamos además un sistema de coordenadas rectangulares, cuyo origen, para mayor sencillez, pondremos en coincidencia con la posición inicial del Sol, haciendo luego pasar uno de los ejes por el segundo lugar del mismo astro, y uno de los planos (el *plano paraláctico*) por la primera posición de la estrella. Ordinariamente los cuatro puntos referidos no estarán situados en el mismo plano; de manera que si se les proyecta sobre los ejes coordenados, fácilmente se hallarán las ecuaciones siguientes:

$$\left. \begin{aligned} r \cos \chi + n \cos \zeta \cos (\chi + \theta) &= m + r' \cos \beta \cos (\chi + \gamma) \\ r \text{ sen } \chi + n \cos \zeta \text{ sen } (\chi + \theta) &= r' \cos \beta \text{ sen } (\chi + \gamma) \\ n \text{ sen } \zeta &= r' \text{ sen } \beta \end{aligned} \right\} \quad (\text{C})$$

llamado  $m$  y  $n$  á los elementos rectilíneos de las trayectorias del Sol y de la estrella;  $r$  y  $r'$  á las distancias entre estos dos cuerpos en los instantes  $t$  y  $t'$ ;  $\zeta$  al ángulo que hace la dirección de la estrella en el espacio con su proyección en el plano paraláctico; y  $\theta$  al ángulo formado en este plano por la misma proyección y el rayo visual inicial.

Estas fórmulas son rigurosas; mas como  $\beta$  y  $\gamma$  son siempre dos ángulos muy pequeños, pueden deducirse otras suficientemente aproximadas y que serán más útiles. Póngase para esto

$$\text{sen}\beta = \beta \text{ sen } 1'', \quad \text{cos}\beta = 1, \quad \text{sen}\gamma = \gamma \text{ sen } 1'', \quad \text{cos}\gamma = 1:$$

y después de transformaciones muy sencillas, haciendo  $r' - r = s$ ,  $r' = r$  (en los términos en que  $r$  multiplique á  $\gamma$  ó á  $\beta$ ), y, por último,  $r \text{ sen } 1'' = p$ , resultará:

$$\left. \begin{aligned} n \cos \zeta \cos (\chi + \theta) &= -p\gamma \text{ sen } \chi + s \cos \chi + m \\ n \cos \zeta \text{ sen } (\chi + \theta) &= p\gamma \cos \chi + s \text{ sen } \chi \\ n \text{ sen } \zeta &= p\beta \end{aligned} \right\} \quad (\text{D})$$

La cantidad indicada por  $s$  (inicial de *spectrum*) no es más que el *movimiento radial* observado, y  $p$ , que podríamos llamar *distancia reducida* (1), parece un genero de medida muy conveniente para las magnitudes sidéreas. Las ecuaciones (D) pueden todavía recibir esta otra forma más concisa:

$$\left. \begin{aligned} n \cos \zeta \cos \theta &= s + m \cos \chi \\ n \cos \zeta \text{ sen } \theta &= p\gamma - m \text{ sen } \chi \\ n \text{ sen } \zeta &= p\beta \end{aligned} \right\} \quad (\text{E})$$

En los dos sistemas (D) y (E),  $m$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $s$ , han de ir expresados en radios medios de la órbita terrestre:  $\beta$  y  $\gamma$ , que sólo representan ya números abstractos, deben estarlo en segundos de arco. Hemos tomado el *año* por unidad de tiempo, de manera que si  $s$  está dado en kilómetros por segundo, será menester multiplicarlo por

$$\frac{t' - t}{a} = 0,2111,$$

siendo  $a$  la distancia media de la Tierra al Sol.

(1) El P. Secchi la llama *unidad paraláctica*, y otros astrónomos *unidad sidérea*.

Cuando se trata de comparar entre sí los movimientos de dos estrellas en el espacio, es preciso emplear nuevas expresiones. El mismo triángulo esférico antes considerado da también las ecuaciones siguientes:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{sen} \omega \operatorname{sen} \chi &= \operatorname{sen} (\alpha - \alpha_0) \cos \delta \\ \cos \omega \operatorname{sen} \chi &= -\cos (\alpha - \alpha_0) \cos \delta \operatorname{sen} \delta_0 + \operatorname{sen} \delta \cos \delta_0 \\ \cos \chi &= \cos (\alpha - \alpha_0) \cos \delta \cos \delta_0 + \operatorname{sen} \delta \operatorname{sen} \delta_0 \end{aligned} \right\} \quad (F)$$

donde  $\omega$  es el ángulo en el vértice paraláctico. Tracemos por el centro del Sol paralelas á las direcciones *actuales* de las trayectorias de las estrellas: cada paralela cortará á la esfera celeste en un punto, que podrá ser considerado como una nueva estrella. Aplicando, pues, las mismas fórmulas (F) á este punto, y distinguiendo con un acento las cantidades análogas, se hallará:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{sen} (\alpha' - \alpha_0) \cos \delta' &= \operatorname{sen} \omega' \operatorname{sen} \chi' \\ \cos (\alpha' - \alpha_0) \cos \delta' &= -\cos \omega' \operatorname{sen} \chi' \operatorname{sen} \delta_0 + \cos \chi' \cos \delta_0 \\ \operatorname{sen} \delta' &= \cos \omega' \operatorname{sen} \chi' \cos \delta_0 + \cos \chi' \operatorname{sen} \delta_0 \end{aligned} \right\} \quad (G)$$

Según esto, una vez conocidas  $\omega'$  y  $\chi'$ , se obtendrían las coordenadas  $\alpha'$  y  $\delta'$  de la traza de la trayectoria. Ahora bien; no es difícil ver, que, proyectando esta traza sobre el círculo paraláctico de las estrellas, se tendrá finalmente:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{sen} (\omega - \omega') \operatorname{sen} \chi' &= \operatorname{sen} \zeta \\ \cos (\omega - \omega') \operatorname{sen} \chi' &= \cos \zeta \operatorname{sen} (\chi + \theta) \\ \cos \chi' &= \cos \zeta \cos (\chi + \theta) \end{aligned} \right\} \quad (H)$$

Como aplicación numérica de las anteriores fórmulas, he aquí los resultados obtenidos en las estrellas  $\alpha$  Tauri y  $\alpha$  Bootis. Tomando como datos, para  $\alpha$  Tauri ó Aldebaran, los números:

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= 277^\circ 30' & \alpha &= 67^\circ 33' & \Delta\alpha &= +0'', 075 \\ \delta_0 &= +35^\circ & \delta &= +16^\circ 18' & \Delta\delta &= -0'', 19 \\ m &= 4 & \pi &= 0'', 109 = \frac{1}{p} & s &= +48, 6 \text{ kilómetros,} \end{aligned}$$

sucesivamente se obtiene:

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 159^\circ 15' & \rho &= 0'', 203 & s &= +10, 259 & \theta &= 349^\circ 8' & \alpha' &= 225^\circ 8' \\ \psi &= 151^\circ 23' & \beta &= -0, 027 & p &= 9, 174 & \zeta &= -1^\circ 45' & \delta' &= +24^\circ 51' \\ \chi &= 121^\circ 21' & \gamma &= +0, 201 & n &= 8, 331 & \chi' &= 110^\circ 28' \\ \omega &= 34^\circ 3' & & & & = 39, 5 \text{ km.} & \omega' &= 36^\circ 0' \end{aligned}$$

Y para  $\alpha$  Bootis ó Arcturo, con los datos

$$\begin{aligned} \alpha &= 212^{\circ} 46' & \Delta\alpha &= -1'', 17 \\ \delta &= + 19^{\circ} 42' & \Delta\delta &= -2, 00 \\ \pi &= 0', 026 & s &= -7, 7 \text{ kilómetros,} \end{aligned}$$

se hallará

$$\begin{aligned} \psi_1 &= 208^{\circ} 51' & \rho &= 2'', 283 & s &= -1, 625 & \theta &= 89^{\circ} 38' & \alpha' &= 320^{\circ} 58' \\ \psi &= 240^{\circ} 19' & \beta &= +1, 192 & p &= 38, 462 & \zeta &= + 32^{\circ} 40' & \delta' &= - 56^{\circ} 19' \\ \chi &= 58^{\circ} 30' & \gamma &= +1, 948 & n &= 84, 930 & \chi' &= 135^{\circ} 38' \\ \omega &= 273^{\circ} 4' & & & &= 402, 2 \text{ km.} & \omega' &= 222^{\circ} 32' \end{aligned}$$

Estas conclusiones suponen, sin embargo, exactamente conocidos todos los datos numéricos del problema, que en tal caso sería determinado. Mas, en realidad, ignórase la paralaje  $\pi$  de la mayor parte de las estrellas, y, por consiguiente, los valores de  $r$  y  $p$ ; y aun los que han sido hallados por la observación no son hasta ahora muy seguros. Además, las distancias relativas basadas en diversas hipótesis acerca de la magnitud aparente de las estrellas, así como sobre sus movimientos propios angulares, son todavía objeto de continuos debates. Por otra parte, si puede admitirse como suficientemente conocida la dirección del movimiento del Sol, no sucede lo mismo con la velocidad lineal  $m$  de este movimiento, que depende de las mismas distancias hipotéticas; de manera que en nuestras fórmulas sería preciso considerar á  $m$  y  $p$  como incógnitas, juntamente con  $n$ ,  $\zeta$  y  $\theta$ . Sin embargo, de una discusión que no es posible reproducir en este lugar, resulta que debiendo ser  $m$ ,  $n$  y  $p$  cantidades esencialmente positivas, y sus valores numéricos estar comprendidos entre ciertos límites; estas condiciones, y otras procedentes de la estructura misma de las ecuaciones fundamentales, permitirán en la mayoría de los casos determinar aproximadamente la región del espacio hacia la cual una estrella se mueve, con auxilio de sus movimientos propios observados, radial y angular.

He aplicado también las fórmulas precedentes á la cuestión importante del movimiento del Sol. En efecto, todos los procedimientos empleados hasta ahora para esta investigación se desprenden de alguna de ellas, y el que fué hábilmente desenvuelto por los señores Airy y Dunkin puede deducirse con facilidad de las dos últimas ecuaciones (E) sustituyendo  $\chi$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  en (A) y (B). La primera ecuación (E) paréceme muy conveniente para la solución del mismo

problema, pues sólo contiene el movimiento radial y no depende de las distancias de las estrellas. Dicha ecuación, al cabo de substituciones fáciles, toma la forma

$$s' = s + x_0 \cos \alpha \cos \delta + y_0 \operatorname{sen} \alpha \cos \delta + z_0 \operatorname{sen} \delta \quad (1)$$

donde

$$\begin{aligned} x_0 &= m \cos \alpha_0 \cos \delta_0, \\ y_0 &= m \operatorname{sen} \alpha_0 \cos \delta_0, \\ z_0 &= m \operatorname{sen} \delta_0, \end{aligned}$$

y

$$s' = n \cos \zeta \cos \theta.$$

$s'$ , no es más que la parte del movimiento radial debida al movimiento real de la estrella, ó, lo que es lo mismo, la proyección de este movimiento sobre el rayo visual.

Suponiendo, como suele hacerse, que los movimientos particulares de las estrellas tienen lugar indiferentemente en todos los sentidos posibles, considero á  $s'$  como un error accidental que debe desaparecer de las ecuaciones normales. Examino luego el efecto de los errores constantes en la determinación de  $\alpha_0$ ,  $\delta_0$  y  $m$ , y hago separadamente la aplicación del método á las series numéricas de los movimientos radiales halladas en Greenwich y por Mr. Huggins. Los resultados así obtenidos son, á mi juicio, notables, á pesar del corto número de estrellas empleadas, su desigual distribución en la esfera celeste, y la existencia posible de errores sistemáticos en las observaciones. No creo, sin embargo, que los antiguos métodos deban ser abandonados, pues la comparación de sus resultados con los del que me atrevo á proponer podrá acaso conducir á darnos alguna idea del movimiento general del sistema sidéreo.

---

# INDICE

---

	<u>Páginas.</u>
Preámbulo.....	1
I Movimientos propios angulares de las estrellas.....	10
II Velocidades radiales de las estrellas.....	26
III Movimientos reales de las estrellas en el espacio.....	35
IV Traslación del sistema solar.....	39
V Paralaje anua de las estrellas.....	52
VI Estrellas dobles y binarias visuales.....	56
VII Idem íd. íd. (continuación).....	67
VIII Estrellas binarias espectroscópicas.....	72
IX Idem íd. íd. (continuación).....	84
X Movimientos de los grupos estelares.....	92
XI Movimientos de las nebulosas.....	98
XII Movimiento general del sistema sidéreo.....	107
XIII Estructura del Universo.....	114
Apéndice.....	135

---

# DISCURSO

DEL

EXCMO. SR. D. JUAN NAVARRO-REVERTER

SEÑORES:

Tocaban á su fin los venturosos días que immortalizaron el próspero reinado de Carlos III, cuando, por afortunada inspiración del insigne marino D. Jorge Juan, ordenó el Monarca á su inteligente arquitecto, D. Juan de Villanueva, que levantara en Madrid un edificio destinado á Observatorio astronómico; y con acertada previsión envió al extranjero, para que se perfeccionara en el estudio de aquella ciencia, al notable matemático D. Salvador Jiménez Coronado, más tarde Director y Jefe de la nueva institución científica de España.

Tras los tiempos de bonanza llegaron las perturbaciones y las guerras con que nuestra accidentada historia cierra el siglo XVIII y comienza el XIX; pronto sigue la invasión napoleónica; estallan más tarde las enconadas luchas civiles, tan funestas para nuestro progreso, y calmadas, al fin, tan rudas é implacables tormentas, cincuenta y ocho años después de colocada la primera piedra lució gallardo, coronando el cerrillo de San Blas y las vecinas arboledas del Retiro, el templete de jónicas columnas que sostiene la airosa cúpula con que remata el Observatorio astronómico de Madrid.

Cuarenta años ha servido al Estado en aquel templo de

la ciencia D. Vicente Ventosa y Martínez de Velasco, como Ayudante en plaza de oposición, primero; como Astrónomo después, y como Director interino, siendo propuesto para efectivo por nuestra misma Academia.

¡Cuarenta años en perpetua contemplación del espectáculo sublime de los cielos! ¡Cuarenta años en constante relación con los gigantescos é inflamados globos, pobladores del espacio infinito!

Así se comprende la variedad de sus copiosos trabajos astronómicos; así se explica la profundidad que en sus obras resplandece. Porque se comprende y se explica bien que cuarenta años, esto es, lo más florido y lo más granado de la vida humana, exclusivamente dedicados al estudio del mundo sideral, conviertan al hombre en un singular anacoreta.

El astrónomo, como el asceta, como el alquimista, fortalecidos con las supremas energías de una fe inquebrantable en su lejano ideal, recorren el breve camino de su peregrinación terrena, sin darse apenas cuenta de la vida de relación que los liga á las sociedades humanas.

Todavía el asceta, el cenobita, el ermitaño, puede ser el hombre alegre, turbulento, atrevido, mujeriego y pendenciero, que hastiado del mundo y de sus efímeros goces, ó acaso lacerado por las espinas desgarradoras del desengaño, busca en las severidades de la penitencia, en las crueldades del sacrificio y en la sinceridad de su arrepentimiento, algo tan personal y tan ansiado como el perdón de sus culpas, la paz de su atribulada conciencia, y luego la salvación de su alma al término de su tormentoso vivir.

Todavía el alquimista de los tiempos medioevales, fanático Sacerdote del Hermes Trismegisto, sepultado en las penumbras del sótano misterioso, con la retorta en el hornillo durante años y lustros, ensayando las fórmulas gorgíficas de una ciencia quimérica, viviendo una vida de per-

petua reclusión en su escondido calabozo, podía ser un egoísta ambicioso y avariento que, en sus delirios de dominación universal, persiguiera la soñada transmutación de los metales, para someter á la tiranía omnipotente de las inagotables riquezas surgidas de la piedra filosofal los poderes, las grandezas y el imperio del mundo entonces conocido.

Sublimado en la pureza de sus fines, está el ideal del astrónomo limpio de esos interesados egoísmos, sin duda legítimos, de la pasión humana. Ni persigue, aguijoneado por místicos arrobamientos, la bienandanza eterna, ni aspira, impelido por codicias, á la disputada posesión de las riquezas, Monje profeso de una Abadía laica, prefiere el austero silencio de los espacios interplanetarios

“ al bullicio del mundo y su ruido. „

Concentrado en el ejercicio de integraciones y de logaritmos, parécele la vida una función compuesta de tiempo y de energía, desarrollada en una serie finita, cuyos términos extremos son la cuna y la tumba. Sacerdote de la verdad, emplea la ciencia como medio para investigarla, sin otro estímulo que la íntima satisfacción de una conciencia gozosa del deber cumplido. Por eso considera la ambición, la influencia, el poderío, la opulencia como unos monomios, con exponente negativo, que jamás pudo intercalar en la fácil ecuación de su propia eclíptica. Si el astrónomo no dejara huellas tan útiles de su paso por la Tierra en la Cronología, en la Náutica, en la Geografía, en la Cosmografía, en la Gnomónica y en tantas otras aplicaciones del saber humano, podría decirse que su vida es una oración romántica y estéril, elevada á las ciencias de lo cierto en un altar ennoblecido con la abnegación del iluminado. Cuando su inclinación alcanza tales exageraciones, su vo-

luntario apartamiento del mundo y su frecuente trato con los cuerpos celestes se suman para separar su espíritu de lo transitorio y de lo pasajero, acercándolo á lo perdurable y á lo eterno.

Analizad, si no, la vida del astrónomo por vocación.

En la alborada de su existencia, cuando el porvenir sonríe con los encantos halagadores de la esperanza, y el alma siente ansias indefinibles de dilatarse en los horizontes tentadores de la felicidad y de la dicha, domínale una secreta y nobilísima ambición de saber; á sus impulsos llega afanoso hasta el Templo sagrado de Minerva; con los sentidos agigantados por el telescopio, penetra en los misterios imponentes del firmamento; con la razón plantea ó resuelve las ecuaciones del equilibrio y del movimiento de los astros y de los mundos; siente el éxtasis de una poesía rítmica y arrebatadora, cuyos versos son las constelaciones, cuyas palabras son las estrellas, cuyas sílabas son fuego y luz, y absorto en su científica delectación, sólo advierte el correr del tiempo cuando al blanquear sus cabellos mira, con dulce serenidad, el cercano crepúsculo, fatídico precursor de la noche eterna, y escribe una nueva página en la historia del progreso humano, revelando el fruto de sus investigaciones acerca de las leyes matemáticas que rigen el eterno rodar de los mundos por la inmensidad aterradora del espacio infinito.

A esta típica silueta del astrónomo que pone en su profesión los amores del ideal supremo, se acercan cuantos pasan su vida entre ecuatoriales, espectroscopios, péndulos y cronómetros, y así sus trabajos, cualquiera que su importancia sea, revisten la más estrecha precisión, la más severa exactitud, y liga sus conceptos férrea cadena de ordenada argumentación.

Prueba de ello hallaría, si me faltara, en las obras que á la vista tengo de nuestro nuevo compañero.

Si estudia las manchas del Sol, es para fijar sus posiciones heliográficas, medir su tamaño y delinear sus contornos. ¡Lástima es que semejantes estudios realizados durante un cuarto de siglo, con la paciencia de un benedictino, queden inéditos y olvidados en los polvorientos estantes de un archivo! Sin duda que su publicación, además de honrar la un tanto desmedrada ciencia española, contribuiría á la investigación de las leyes que regulan las misteriosas variaciones periódicas de la actividad solar.

Estudia nuestro Observatorio de Madrid el gran cometa de 1881 y calcula el Sr. Ventosa su órbita parabólica más probable, cuyo trabajo reproducen las Revistas científicas alemanas é inglesas.

«Los movimientos reales de las estrellas en el espacio», interesan tanto á nuestro astrónomo, que á ellos dedica parte de sus provechosas vigiliass; obtiene resultados notables de sus asiduas observaciones, y los publica en una interesante «Nota» que si examináis en el apéndice de su concienzudo discurso, de cierto añadiréis vuestros justos plácemes á los que recibíó, entre otros, del renombrado astrónomo Mr. Christie, Director del Observatorio de Greenwich.

Pero su trabajo más notable, el que mejor le acredita como sabio y como filósofo, es su «método para determinar la dirección del viento en las capas superiores de la atmósfera, por la observación de las ondulaciones aparentes del borde de los astros». Publicado por las más importantes Revistas especiales de Europa y de América y presentado en el «Congreso de la Atmósfera», de 1894, fué á poco impugnado por varios atmosferólogos, entre los cuales se cuenta el sabio Exner, reputado Profesor de la Universidad de Insbruk. De acicate para nuevos estudios sirvió esta oposición al Sr. Ventosa, y su nueva Memoria, publicada en 1899, fué victoriosa refutación de los contrarios argu-

mentos, y abrió nuevo camino á estos estudios, seguidos con interés por el mundo científico.

Paréceme que estos trabajos, entresacados al azar, de entre la copiosa lista de los realizados por el Sr. Ventosa, son títulos sobrados para diputarle hombre de ciencia y de valer entre los más notables de nuestra patria. Yo, sin embargo, no correspondería con toda lealtad al singular honor que me habéis otorgado, designándome para darle en vuestro nombre la cordial bienvenida, si no entregara á vuestro alto juicio un error que entre sus muchos aciertos he registrado. El Sr. Ventosa, que habrá aplicado en tantas ocasiones apropiados coeficientes para corregir los errores de la visión, de la ecuación personal, de la aberración, de los movimientos aparentes y de los simultáneos y desiguales del observador, de las paralajes y de otros muchos, ha dejado en pie uno que resalta en el preámbulo de su discurso. El de la pobreza de sus méritos para sentarse entre vosotros, señores Académicos. Apliquemos á este error como coeficiente de corrección, los rayos Roëntgen de vuestro autorizado juicio, que atravesando envolturas de modestia, han descubierto la opulencia de sus probados merecimientos para ocupar, honrándolo, el sitio que vuestra justicia le ha destinado.

\* \* \*

Acabáis de oír lo más nuevo de cuanto acerca de *Los movimientos estelares* conoce hoy la parte de la ciencia astronómica que el insigne Kepler llamó *teórica*, para distinguirla de la *esférica* y de la *física*.

*Los movimientos estelares*, tema con tanto acierto desenvuelto por nuestro nuevo compañero, han sido, desde la aparición del hombre sobre el planeta, motivo constante de sus hondas preocupaciones.

Y se explica este hecho con suma naturalidad.

Cuando en una apacible noche del templado otoño, clara y diáfana la atmósfera, tibio y sosegado el viento, se contempla el grandioso espectáculo del firmamento estrellado, sembradas las tenebrosas lejanías de la bóveda celeste con millones incontables de astros luminosos, cuyo vivo centelleo embelesa la vista y asombra el espíritu, el hombre de todas las épocas, el ser racional de todos los períodos planetarios, queda sobrecogido de estupor ante la inmensa belleza de una tan pasmosa Creación. ¿Quién será capaz de distinguir tantas estrellas fulgurantes con diversos brillos, revueltas y mezcladas en la inmensidad de los cielos? ¿Quién osará contarlas? Ni ¿quién será tan temerario que intente conocer su curso, su figura, su composición, su tamaño? ¿Cómo acercarse á esos astros ígneos, que parecen tan reducidos, á través de la distancia, por los espacios desconocidos de un probable vacío?

Esto debió preguntarse el primer espectador que discurreó un poco, allá en los remotos días del planeta, cuando envolvían á la humanidad naciente las tinieblas del entendimiento. Pero después, y con el correr de los tiempos, aquel atónito espectador de las interrogaciones habría podido ver cómo la Cosmografía agrupaba las estrellas en pintorescas constelaciones, cómo la Astronomía formaba catálogos de los cuerpos celestes, fijaba sus posiciones y determinaba las leyes, teóricas y gráficas, de su eterno viajar; cómo la Cosmogonía abarcaba el sistema del Universo; y entonces, desvanecidas sus dudas, allí donde veía caótica confusión, hallara ordenada armonía, luz donde creía obscuridad, y donde suponía variables caprichos del azar, registrara las supremas leyes de la mecánica celeste.

Pero ¡cuánto tiempo y cuánto estudio necesitó el hombre para descifrar el inmenso enigma que impresionó sus sentidos en la callada noche de sus asombros!

El afán insaciable de investigar la verdad, con los medios que la Providencia pone á su alcance, llevó al hombre, por sucesivos grados, hasta penetrar en los secretos de la Naturaleza y explicarse, admirándolas, las maravillas de la Creación. Así la ciencia astronómica nace en la propia cuna de la humanidad, y sus progresos siguen, como la civilización, el curso aparente del Sol radiante. En las dilatadas vegas paradisiacas, regadas por las aguas del Éufrates y del Tigris, observa la casta privilegiada de los caldeos babilónicos la marcha aparente de los astros, para fundar, sobre unidades siderales extrañas á la Tierra, la división del Tiempo. De esta alborada de la ciencia, mezcla confusa de intuición y de estudio, surgen creaciones tan atrevidas y tan acertadas como el Zodiaco, con sus doce constelaciones, y la imperfecta observación de algunos eclipses de Luna, realizados en los comienzos de la Era famosa de Nabonasar. Caracterizan este primer período, que dura hasta el segundo siglo de nuestra Era cristiana, la dificultad de las observaciones por la insuficiencia de los medios, y la exuberancia asombrosa de las creaciones imaginativas. Solamente Hiparco de Nicea, gloria de la famosa Escuela alexandrina, impulsa la Astronomía por el camino racional de la experiencia, mide la duración del año trópico, construye las primeras tablas del Sol, determina la paralaje de la Luna, explica sus eclipses, forma el primer catálogo de estrellas, descubre la precesión de los equinoccios é inventa el astrolabio. ¡Asombroso prodigio de observación, único durante los nueve siglos de aquel período histórico de la antigüedad! Con estos resultados del método experimental, sólo de los iniciados conocidos, crea la sabiduría griega fantasías siderales y sistemas cosmogónicos á medida de la fecundidad imaginativa de sus innumerables escuelas. Buscan sus filósofos ideas, noticias y secretos en la India, la Fenicia y el Egipto; interrogan á los brahmanes, á los sa-

cerdotes de la casta sagrada y á los oráculos; interpretan y traducen los signos cabalísticos y las leyendas geroglíficas de las ciencias ocultas; elevan su espíritu hasta los éxtasis místicos y religiosos de los ensueños orientales, y visitando estas revelaciones con los delicados perfiles del arte helénico, asombran al mundo con una explosión de sistemas filosóficos y de escuelas sabias, que encierran tesoros inagotables de ideología, de retórica, de dialéctica, de elocuencia, de poesía, de religiones, de teogonías, de ética y de moral; pero que, faltos de realidad positiva, no contribuyen al progreso de las ciencias físico-matemáticas, ni al conocimiento racional de la Naturaleza.

Aparece entonces Ptolomeo, cuyo *Almagesto* se ha considerado como el más sublime esfuerzo del saber astronómico. Pocas veces el ingenio del sabio ha hecho con tanta maestría una exposición de errores, en forma de cuadro sistemático de doctrinas conocidas. Favorecía el testimonio de los sentidos su teoría de la Tierra fija en el centro del sistema sidereal, y Sol y planetas girando como corte esplendorosa á su alrededor; describiendo círculos, en los cuales, la desigualdad del movimiento aparente se explicaba por otra serie de círculos excéntricos, por los propios centros descritos y completados con epiciclos cuyas magnitudes absolutas se desconocían. A estas teorías se rindieron sabios y escuelas, árabes y cristianos, el Oriente y el Occidente, durante catorce siglos, en los cuales el rudo batallar de los guerreros, la superstición y la ignorancia, el absoluto predominio de la fuerza y el valor insignificante de la vida, obscurecen la razón, suspenden el progreso de las ciencias, y fomentan las patrañas farisaicas del arte conjetural, llamado *Astrología judiciaria*, patrimonio de impostores que florece y se propaga

«cual hierba ponzoñosa entre arenales».

Avanza al fin, pujante y avasallador, el impulso feliz del Renacimiento. Comienza la razón á destruir el despotismo de las inspiraciones intuitivas; el método experimental se sobrepone á los delirios imaginativos de una tradición dogmática; sacude la inteligencia su prolongado letargo hablando con la voz atronadora del libro, vehículo universal del pensamiento; y en sucesión, no interrumpida, de progresos, derrumban Copérnico, Rético y Tycho-Brahe el erróneo sistema de Ptolomeo; el telescopio inventado por Galileo abre á la investigación científica horizontes sin fin en los espacios siderales; las nuevas observaciones descubren fenómenos apenas iniciados en los sistemas misteriosos de los pitagóricos; establece Kepler las relaciones entre las órbitas elípticas de los astros y los tiempos tardados en describirlas, y llega el inmortal Newton á condensar tan prodigiosos adelantamientos, en su filosofía matemática, revelando las leyes racionales de la gravitación universal. Dos siglos de procedimientos experimentales para la investigación de la verdad, han derrumbado la montaña de errores acumulados en 2.300 años de hipótesis imaginativas.

A partir de este momento, es imposible encerrar en un discurso los progresos asombrosos de la Astronomía, fundados en los inventos sorprendentes de la Física, la Mecánica, la Óptica y la Química. Ciencias de aplicación, escaso es su vuelo cuando las observaciones están limitadas por el reducido alcance de la visión humana, y se pretende suplir el hecho con la hipótesis; la experiencia con la conjetura; la realidad con la retórica. Restablecido el método experimental como base del raciocinio, recorre la Astronomía el camino triunfal de su rápido progreso.

El Sr. Ventosa nos trae las últimas noticias de otros mundos. Ante vuestra inteligencia han desfilado teorías, doctrinas, sistemas, procedimientos, medios y elementos de ob-

servación los más modernos, los más exactos, todo ello aplicado al descubrimiento y á la medida del doble aspecto angular y radial del movimiento que impulsa á los astros en su incansable caminar por la inmensidad de los espacios. Conocéis los métodos de observación directa con los anteojos colosales y los gigantes refractores, que ensanchan cada día más el campo del estudio experimental, creando la Astronomía de lo invisible y enriqueciendo la ciencia con sus descubrimientos.

Conocéis también los admirables adelantos de la espectrografía sideral, y el proyecto, en camino de realidad, del mapa fotográfico del Cielo, comprendiendo en él la posición y coordenadas de las estrellas hasta de la 14.<sup>a</sup> magnitud.

Habéis oído lo que por más cierto se tiene acerca de los movimientos aparentes y de los movimientos reales de los astros; de la translación de los grupos estelares y de la continua mudanza de nuestro sistema solar en el espacio; de las estrellas binarias visuales y espectroscópicas, y finalmente de la estructura y evolución del Universo.

Asombrosos progresos de la ciencia, que enorgullecen, con razón, á la humanidad.

¿No lo habéis oído?

A través de distancias inmensas, imposibles de abarcar en los límites de la comparación de magnitudes, la ciencia todo lo ve, todo lo investiga, todo lo pesa, todo lo analiza..... Los movimientos sidéreos, las fotosferas y las manchas de los soles; las dimensiones y volúmenes de los astros; las densidades de sus masas; la composición de su materia; sus orígenes y transformaciones; su porvenir y su destino, todo, todo eso lo investiga el hombre, todo lo conoce, todo lo sabe.

Pero hay más, aún más, que revela la perfección de sus medios y el alcance de su saber.

Sin los falsos sortilegios y sin la magia cabalística de la

farisaica Astrología, con los procedimientos y las fórmulas rigurosamente matemáticas, la ciencia moderna no sólo pesa y mide los astros que se presentan ante el objetivo del anteojo, sino que antes de verlos los adivina; más que presumirlos los deduce, los anuncia, los afirma, los determina y los acierta.

Los cálculos de Le Verrier indican la existencia de un nuevo astro en nuestro propio sistema solar, cuyos elementos determina el sabio; y poco después contempla asombrado el mundo incrédulo el planeta Neptuno, 85 veces mayor que la Tierra, sorprendido en su perezoso andar dentro de su larga eclíptica, por el telescopio de Galle.

No es éste el único caso. Recordó acertadamente el señor Ventosa los admirables trabajos del insigne alemán Bessel sobre los movimientos de las brillantes estrellas Sirio y Procion, de los cuales dedujo la existencia de otras dos estrellas, invisibles con los medios ópticos de que, antes de mediar el último siglo, se disponía. Un objetivo más poderoso, ensayado por Clarke diez y ocho años después, descubrió el desconocido y ya calculado satélite de Sirio, que aún pudo contemplar el sabio Director del Observatorio de Königsberg, y todavía, con el poderoso refractor del Observatorio de Lick, vió Shaeberle, cincuenta y dos años después de anunciado, el satélite y compañero de Procion.

El cálculo se adelantó á las observaciones; la razón, triunfante, señaló caminos al método experimental, creando la prodigiosa *Astronomía de lo invisible*.

Ya lo véis. La ciencia va más allá de los límites de lo real. Un ser casi imperceptible de este humilde grano de arena que transitoriamente habitamos, penetra con su inteligencia en los senos inacabables del Cosmos; determina las leyes que siguen los astros gigantescos en sus perpetuos viajes; señala las ignoradas causas de las perturbaciones; abre en los espacios interestelares el compás de su saber; tra-

duce sus estudios al algoritmo infinitesimal, y de la X ve-  
lada de sus sistemas analíticos, surgen globos y mundos  
desconocidos, jamás vistos, describiendo sus eclípticas du-  
rante millares de siglos, y señalados por la inteligencia an-  
tes que apreciados por los sentidos.

Tiene razón la Ciencia astronómica en ufanarse con sus  
maravillosos descubrimientos, y legítimo es el entusiasmo  
de sus sabios al creer que se hallan en posesión de la ver-  
dad sideral. Alborozado un astrónomo francés, citado por  
el Sr. Ventosa, exclama: “la conciencia de nuestra gran-  
deza nos hace fuertes,”. He aquí la apoteosis que de sí mis-  
mo hace ese mago terrenal que se apellida, en su inmodes-  
tia, Rey de la Creación. Los prodigios de su inteligencia en  
el conocimiento del universo estrellado son leve muestra de  
su omnipotencia y de su sabiduría en el planeta mismo. El  
triunfo del hombre, cantado por el hombre, llega á desbor-  
darse en exaltaciones de orgullo; y si la antigüedad reputó  
*divinos* á Thales de Mileto, á Platón y á Ptolomeo, ahora  
se deifica la ciencia, y se la convierte en esclava humilde  
del ser inteligente. Recogiendo estos himnos ardientes y fo-  
gosos entonados á la sublimidad del saber humano, pienso  
y medito que acaso tenía razón mi malogrado amigo Bar-  
trina de Aixemús, al escribir en su inspirada poesía *De  
omni re scibili* (1) esta primera estrofa:

¡Todo lo sé! Del mundo los arcanos  
ya no son para mí  
lo que llama misterios sobrehumanos  
el vulgo baladí.

\*  
\* \* \*

Pero el mismo poeta, que arranca á su lira ditirambos en

---

(1) Inserto completa esta hermosa composición que fué traducida á varios idiomas.

¡Todo lo sé! Del mundo los arcanos  
ya no son para mí

honor de la omnipotente sabiduría humana; el mismo fanático que dice altanero

“ Sólo la Ciencia á mi ansiedad responde „,

llega al fin de su himno apologético, y entre dudoso y vacilante, añade:

“ Mas ¡ay!, que cuando exclamo satisfecho  
¡todo, todo lo sé!.....  
Siento aquí, en mi interior, dentro mi pecho,  
un algo..... ¡un no sé qué!..... „

¿Qué algo es ese? ¿Qué desmayo invade su exaltada fantasía? ¿Qué dudas asaltan su espíritu? ¿Qué sombras nublan la luz vivísima de su fe en el poderío de la Ciencia humana?

---

lo que llama misterios sobrehumanos  
el vulgo baladí...

Sólo la ciencia á la ansiedad responde,  
y por la ciencia sé  
que no existe ese Dios que siempre esconde  
el último por qué.

Sé que soy un mamífero bímano  
(que no es poco saber)  
y sé lo que es el átomo, ese arcano  
del ser y del no ser.

Sé que el rubor que enciende las facciones  
es sangre arterial;  
que las lágrimas son las secreciones  
del saco lacrimal;

que la virtud que al bien al hombre inclina  
y el vicio, sólo son  
compuestos de albúmina y fibrina  
en corta proporción;

que el genio no es de Dios sagrado emblema,  
no, señores, no tal,  
el genio es un producto del sistema  
nervioso cerebral,

Parece que los entusiasmos ceden y se aplacan ante las dudas de una reflexiva razón. No es extraño.

La propia convicción del Sr. Ventosa, sacerdote de la Religión sideral, alienta vacilante y recelosa en las últimas páginas de su erudita labor, cuando aspira á abarcar, en gigantesca síntesis, el origen y la estructura del Universo. La seguridad con que nos habla al tratar de los cálculos puramente astronómicos, se convierte en cuidadosa reserva cuando tímidamente apunta diversas opiniones sobre lo finito y limitado del Cosmos.

La inseguridad palpita en la mayor parte de las observaciones á inmensas distancias realizadas, y la incertidumbre se revela en las deducciones que sobre ellas se fundan. Veámos algún caso, aun dentro de nuestro sistema solar.

---

y sus creaciones de sin par belleza  
sólo están en razón  
del fósforo que encierra la cabeza,  
¡no de la inspiración!

Amor, misterio, bien indefinido,  
sentimiento, placer...  
¡palabrotas vacías de sentido  
y sin razón de ser!...

Gozar es tener siempre electrizada  
la médula espinal,  
y en sí el placer es nada ó casi nada,  
un óxido, una sal.

¡Y aún dirán de la Ciencia que es prosaica!  
¿hay nada, vive Dios,  
bello como la fórmula algebraica  
 $C = \pi r^2$ ?

¡Todo lo sé! Del mundo los arcanos  
ya no son para mí  
lo que llama misterios sobrehumanos  
el vulgo baladi...

Mas ¡ay! que cuando exclamo satisfecho:  
¡todo, todo lo sé!...  
siento aquí, en mi interior, dentro mi pecho,  
un algo..., un no sé qué!...

Probado parece, y la lógica matemática lo impone, que no existen estrellas fijas. La que sirve de inflamado centro á nuestro sistema planetario, gira también y se mueve sin cesar, arrastrando consigo los cuerpos todos de su grupo sidéreo. Las eclípticas se reproducen, y sus focos son siempre los mismos, pero la situación del conjunto varía en cada momento, como el tren cambia de lugar constantemente, sin que se altere la posición relativa de carruajes y de viajeros. ¿Hacia dónde vamos? ¿Cuál camino seguimos? La Ciencia, esa Ciencia que lo sabe todo, determina y fija el *apex* ó vértice paraláctico, y deduce que nuestro Sol nos arrastra por los espacios interestelares con una velocidad de 38.000 kilómetros por hora, ó según otros sabios, de 93.000 kilómetros. ¡Qué enorme diferencia en la Ciencia de los cálculos sutiles! ¿Cuál de ambas cifras será cierta?— ¡Quién lo sabe!—De dos trenes caminando con aquellas marchas, uno daría vuelta á la Tierra en veintiséis minutos, y el otro tardaría más de una hora.

Análoga incertidumbre existe en cuanto á la dirección del movimiento. Situábase el *apex* solar en la constelación de Hércules, más allá de la Cabeza; pero nuevas observaciones lo trasladan hacia la deslumbradora Wega, la estrella  $\alpha$  de la Lira. ¿Será ésta la última rectificación?

Por donde se vé que no sabemos con exactitud en dónde estuvimos ayer, ni dónde nos encontraremos mañana (1), ni

---

(1) Caso grave y comprometido fuera que en estas vacilaciones nos sorprendiese la visita de una temible nebulosa que por la constelación del Dragón, vecino de la Osa menor, corre con un desenfreno de 55 millones de kilómetros diarios, en dirección de la Tierra. Ciertamente que el choque resultaría definitivo para nuestro humilde planeta. Tranquilizanos, sin embargo, la misma Ciencia, pues aparte de que en su vértigo atropellador pudiera tropezar la veloz nebulosa con alguna de las 80 estrellas visibles que por lo menos cuenta el Dragón, tardará en llegar por nuestras vecindades así como unos tres ó cuatro mil años, y de seguro que para entonces ya no hallará á nuestro planeta en su dirección actual, y más cierto es todavía que nosotros, y con nosotros hasta el vestigio de los presentes días, habrá desaparecido de la humanidad que exista en tan lejana fecha.

con qué velocidad corre este vehículo terrenal que nos arrastra, ni tampoco, á punto fijo, hacia dónde nos dirigimos..... No es poco ignorar para la Ciencia que todo lo sabe.

No es menos vago cuanto se refiere á la teoría del Sol, fuente y manantial de nuestra vida planetaria. El admirable, inmenso, incesante trabajo de su radiación calorífica y de las sucesivas condensaciones de su materia fluída, por el trabajo molecular del enfriamiento, lo explica y lo calcula la *termodinámica*, otra afortunada aplicación de la Ciencia matemática al movimiento corpuscular, cuando no se altera la composición de su materia. Por ella sabemos que el astro ígneo ha vivificado el mundo con sus rayos caloríficos durante unos veinte millones de años, que otros cálculos hacen subir á cuarenta millones. ¡Otra vez una diferencia enormísima, que ahora se eleva á veinte millones de años! No os alarme, sin embargo, esta increíble ancianidad; todavía el Sol es joven; aún ha de transcurrir la friolera de doce millones de años hasta que la concentración de su materia le dé una densidad semejante á la de nuestro planeta. Esto, al menos, se creía hasta ahora.

Pero de reciente, hace poco, preséntase en el campo experimental un nuevo elemento que produce estupefacción, asombro, espanto y terror. Guerrero desconocido, altivo y brioso, baja la visera, sin empresa en su escudo, salta al palenque de la Ciencia, arremete á cuantos esforzados paladines proclamó invencibles la fama; los derriba y atropella; siembra el pánico y el temor entre las apiñadas huestes de antiguos combatientes, y sereno y tranquilo, descansando en el universal respeto, goza, sin oposición, de su inmenso y rápido triunfo. Desconocido continua el victorioso caballero, pero amable y generoso á la vez, dispensa con largueza los favores de su colosal poderío. *El radio* le han llamado; y de él se sabe que es un metal hipotético, todavía enmascarado y presentándose en compañía de meta-

loides ó de ácidos para formar sales, sea halóideas, sea ordinarias. Centellea con penetrantes rayos catódicos, que atraviesan cuanto se opone á su paso; con vivos fulgores fosforece; otorga propiedades nuevas á los cuerpos; enriquece las facultades de la materia neutra, y es depósito permanente, manantial inextinguible de energía. Caso único, sorprendente, inverosímil, de producción fabulosa de calorías por reducidísimo y apagado foco producidas, sin que se vea su fin. Esponja de radiaciones, que se empapa en fuentes misteriosas, desconocidas y al parecer inagotables y las vierte en el mundo real, ha estallado *el radio* en el templo fastuoso de la Ciencia moderna, con estampido aterrador, haciéndole temblar hasta en sus viejos sólidos cimientos. Con este descubrimiento no contaba la termodinámica al calcular la pasada y la futura vida del augusto luminar de nuestro sistema, y ya unos sabios, suponiendo que el radio existe en la atmósfera solar, y algún indicio espectrográfico hay de ello, aumentan hasta cien millones de años el tiempo de su futura actividad calorífica, mientras que otros, menos fáciles á la impresión, aseguran que es demasiado pronto para traducir en cifras ideas tan oscuras y observaciones tan incompletas. Estas y tantas otras indecisiones, aunque naturales y justificadas de la Ciencia moderna, enfrían y debilitan las exageraciones de un entusiasmo nervioso y exaltado.

Porque es lo cierto que la Ciencia, en su noble afán de adelantar, donde la observación no alcanza, inventa la hipótesis. ¡Y qué cantidad de hipótesis! Necesita hipótesis para todo, y justo es declarar que sin ellas no existiría ningún adelanto. Una vez adoptadas, si el método experimental las comprueba, y las observaciones directas las confirman, ascienden á la categoría de principios en el riguroso raciocinio.

Este argumento tiene, sin embargo, dos refutaciones de

hecho. Durante veintitrés siglos admitieron los astrónomos teorías erróneas, y sus observaciones, á pesar de ello, revestían exactitud. ¿Bastó ésta para dar á aquéllas la certeza de que carecían? Claro está que no. La observación era exacta; la deducción, esto es, la hipótesis, no. ¿Cuántas de las hipótesis actuales se derrumbarán con los sucesivos adelantos? Esto es, por necesidad, el campo movedizo de la vacilación y de la duda.

La cuestión actual, la novísima, reviste aspectos más graves y de mayor transcendencia.—No se trata de una reciente observación que pone en peligro de naufragio una hipótesis, no; esto es de todos los días y de todas las épocas.—Es un inesperado suceso, que *experimentalmente*, contradice los principios de la Ciencia por todos admitidos, los mejor demostrados, aquellos que la razón humana no habría osado someter á nueva revisión.—Los momentos son solemnes.

La aparición *del radio* ha engendrado muchedumbre de dudas tumultuosas en la Ciencia moderna, y todos los signos concuerdan para anunciar una próxima y profunda evolución en las ideas.

La Astronomía, en lo que podríamos llamar infinitamente grande, como la Físico-matemática en lo infinitamente pequeño, aplican iguales leyes á los movimientos atómicos y á la dinámica estelar. Pues bien; fundados en recientes experimentos, algunos sabios modernos llevan sus dudas á las fronteras de la negación de los grandes principios en que descansan las teorías de la mecánica celeste y de la dinámica corpuscular. Ahí está el *radio*, siempre el *radio*, para amparar sus avances revolucionarios. No, no es la crítica de lo existente; es más, llégase á intentar la demostración de su inexactitud. El gran principio de la conservación de las energías; el de la acción igual y contraria á la reacción; el de la conservación de la materia; la teoría

de la aberración de la luz; los movimientos aparentes de los astros.....; todo está ya en tela de juicio, y todo anuncia, como pocos días ha lo proclamaba elocuentísima y autorizada voz, una crisis profunda en las mismas Ciencias Astronómica y Físico-matemática.

.....  
Ante estos sucesos estúpidos é inauditos, el ánimo desmaya, la duda congojosa y disolvente mina y socava las más fuertes creencias; aquel anterior entusiasmo de la impresión se debilita, y, como el poeta, formula sus vacilaciones murmurando:

“ siento aquí, en mi interior, dentro mi pecho  
un algo....., ¡un no sé qué!.... ”

\* \* \*

Ambos extremos son equivocados; contienen ambos el vicio de su exageración.

A las ridículas exterioridades de una vanidad tan ostentosa como estéril de ciertas sectas filosóficas, opuso la sabiduría de Sócrates el correctivo de su humildísima frase *sólo sé que no sé nada*. Un exceso como castigo de otro exceso.

A las orgullosas arrogancias de una Ciencia que pretende explicarlo todo, sucede ahora un injustificado decaimiento precursor del cobarde abandono de sus antiguos principios, ó vecino de la desconsoladora incredulidad.

No; esto no será. Las conquistas de la Ciencia vivas están; en el mundo real se revelan; la humanidad las goza y las disfruta, y no las borrarán los aludes de los futuros descubrimientos, sean los que fuesen.

Cierto es que ignoramos, y probablemente lo ignorará siempre el hombre, las *causas*, la esencia y el origen de las

grandes realidades y de los fenómenos visibles del mundo material, llamados elementos, agentes, materia en movimiento; luz, calor, electricidad, magnetismo, gravitación, fuerza, energía, atracción, afinidad, catálisis, *nebulum* y otras tantas esfinges como en su camino encuentra. Pero conoce algunos de sus efectos, los aprovecha, los utiliza, transforma la materia y llega, con su inteligencia, á convertirla en esclava de su voluntad. ¿Que sus hipótesis, sus teorías, sus principios, resultan alguna vez erróneos? De errores está sembrado el áspero sendero del progreso de las Ciencias, y el error supuesto ha sido el prólogo de la verdad probada. Así van ensanchándose los límites del saber humano, y la ley consoladora del progreso sigue su marcha augusta y triunfal á través de los obstáculos y de los tiempos.

Alguna vez parece vacilar y detenerse; pero observado bien: casi siempre es en las deducciones, en la abstracción.

Cuando el Sr. Ventosa cambia la ecuación por la opinión, también se detiene, también vacila y acaba por pensar que el Universo es limitado.....

¡Qué desencanto! ¿En dónde está esa barrera que limita el Universo? ¿Será la bóveda celeste que, entre obscuridades, percibe el ojo humano? Pero ésa se ensancha y se agranda con la visión del anteojo. ¡¿Qué está más allá? Pues volemos á las lejanías inconcebibles de la Vía Láctea. ¿La véis? Ese es el Río Celeste que, si la vista alcanza confuso y blanquecino, la imaginación apenas lo concibe. Es el cinturón de la bóveda universal. ¿Es ése su límite? Pues acerquémonos; veamos su muro ciclópeo, su sillería colosal. Venid. Volar, siempre volar. ¡Cuántos millares de años! Ya hemos llegado. Descanemos. La vista no alcanza el fin del horizonte luminoso. Estamos en el centro de otra bóveda celeste más espaciosa todavía. Tomemos el anteojo mayor que la mente sueña; el refractor de un diámetro que el

deseo forje: ahí está. Observemos. Visión mágica, incomprendible, sublime. Una faja de una anchura, ¿cómo os lo diré?, de 820 millones de veces la distancia que separa la Tierra del Sol; una distancia que la luz, aun sin desgastarse en su camino, tardaría trece mil años en recorrer, poblada de muchedumbres incontables de nubes estelares contiguas, con millones de millones de soles refulgentes, entre los cuales nuestro antejo formidable no llega á distinguir el fin, la bóveda límite, el muro ciclópeo que busca, la anunciada barrera que persigue.

No se ve; no se adivina. Agigantada la potencia de la visión, todavía se alcanza, más con la imaginación que con los ojos, otro Universo confuso, inmenso, revuelto, Cosmos de agitadas nebulosas, que corren, chocan, se estrellan, estallan; gases inflamados en ráfagas apocalípticas; ríos en ignición; masas que se condensan; caos que se organiza, algo tremendo, increíble, aterrador, sublime; pero nada de límite, ni de barrera, ni de muralla, que ni se alcanza, ni se presiente, ni se adivina, ni aun se concibe. Porque, detrás de ese límite, ¿no habría nada? ¿El vacío? Pues, si el vacío existe, ya hay algo detrás del fin.....

No divaguemos. Razonemos.

El concepto del infinito matemático no es el mismo del infinito metafísico. Aquél es un símbolo de lo indefinido; éste una afirmación de lo absoluto.

Cierto es que lo limitado no puede abarcar lo infinito; lo perecedero no concebirá jamás lo eterno; y cuanto al hombre se refiere es limitado y es perecedero. Pero el espíritu humano, al conocer ese conjunto de inexplicables maravillas, presiente, dentro de su razón, la existencia necesaria de un Creador.

No es posible que la materia del Cosmos se haya dado la vida á sí misma. Luego alguien la creó. Ése es el Creador, ése es Dios.

No es posible que las armonías sublimes del Universo, el orden asombroso de la materia y de las facultades del espíritu, sean fruto de la casualidad y del azar. Luego alguna suprema inteligencia les dió las leyes que los rigen y gobiernan. Esa sabiduría es el mismo Creador, es Dios.

La unidad de la Creación, como lo infinito y lo eterno, tiene su esencia en el Ser único, absoluto, necesario, inmutable, infinito, eterno.

Ya lo dije ante vosotros en ocasión á la presente análoga.

“Donde la Ciencia acaba, la Religión comienza. Donde la razón se obscurece, la fe ilumina.”

¡Bendita sea la Ciencia humana que, mejorando sin cesar la condición del hombre sobre la Tierra, nos hace vislumbrar la grandeza, la omnipotencia, la inmensidad y la sabiduría absolutas del Creador del mundo!

---