

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

MAGNITUDES ESTELARES

DISCURSO

LEÍDO EN EL ACTO DE SU RECEPCIÓN.

POR EL SEÑOR

D. ANTONIO VELA HERRANZ

y

CONTESTACIÓN

DEL SEÑOR

D. LUIS OCTAVIO DE TOLEDO

EL DÍA 13 DE JUNIO DE 1920



MADRID

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE FORTANET

IMPRESOR DE LA REAL ACADEMIA DE LA HISTORIA

Libertad, 29. — Teléff. 621

1920

DISCURSO

DEL SEÑOR

D. ANTONIO VELA HERRANZ

SEÑORES ACADÉMICOS:

CONFIESO sin ambages que el premio que me otorga esta docta Corporación llamándome a su seno, me halaga extraordinariamente y satisface las aspiraciones de toda mi vida; pero esta circunstancia no me envanece hasta el extremo de hacerme olvidar la desproporción que existe entre el honor recibido y los escasos méritos que yo puedo alegar para ocupar un puesto entre vosotros. Por consiguiente, contraigo la obligación de hacerme, con mi proceder futuro, digno sucesor del ilustre varón que me precedió en este sitio; y he de procurar cumplirla, si no con obras notables, reservadas a los ingenios privilegiados, con una labor asidua, que, por modesta que sea, nunca resulta estéril en las ciencias de observación y está al alcance de todos los hombres de buena voluntad.

La circunstancia de haberme dedicado por espacio de largos años a trabajar, siquiera sea como modesto obrero, en la misma especialidad científica a que mi llorado antecesor consagró con fruto su existencia, ha podido, tal vez, influir en vuestro ánimo, haciéndoos pensar en mi modesto nombre para sustituir al digno representante de la ciencia astronómica, que la muerte nos arrebató para siempre. Y si es costumbre lógica en estas ocasiones rendir un tributo de admiración al Académico difunto, para mi se convierte en una obligación sagra-

da, porque D. Vicente Ventosa fué durante muchos años mi jefe cariñoso, consejero de inestimable valor y amigo entrañable, con esa amistad que, dadas las cualidades morales que le adornaban, jamás pudo debilitarse.

Es triste que, con frecuencia, sólo podamos llegar a ciertos cargos que satisfacen nuestras aspiraciones y son una compensación a las fatigas y contrariedades de la vida, a costa de la desaparición de seres respetados y queridos; mas no podemos torcer el curso de los acontecimientos, y sólo nos queda, para honrar la memoria de aquellos, el consuelo de imitar los ejemplos de su vida laboriosa, procurando conservar el espíritu que supieron infundir en las instituciones a las que consagraron su ingenio y sus desvelos.

A éstos perteneció el hombre sabio y laborioso que ha dejado en la Academia un vacío difícil de llenar cumplidamente. Fué Ventosa, ante todo, un observador escrupuloso y concienzudo, lleno de entusiasmo por su profesión y dotado de una perseverancia que resistía a toda clase de contrariedades. Su colección de observaciones de manchas solares, medida de las respectivas superficies y determinación de las coordenadas heliográficas de los núcleos, es una de las más completas, la más numerosa quizás que se conoce en la historia de la Astronomía, y los dibujos, sin faltar a la fidelidad que se exige en el estudio de esta clase de fenómenos, son una verdadera obra de arte.

Y hay que tener en cuenta las circunstancias difíciles en que Ventosa realizaba su labor: el Observatorio se encontraba falto de personal, de material científico y hasta de recursos pecuniarios para dar la conveniente publicidad a las investigaciones, y estimular al observador. En el último tercio del siglo pasado, y por razones que no hemos de examinar en esta ocasión, los Poderes públicos prestaron poca atención a las exigencias de índole científica, y así se explica nuestro atraso relativo en las ciencias exactas; como consecuencia, el de las físicas y químicas, con el consiguiente perjuicio en sus deri-

vaciones industriales y, naturalmente, el estancamiento en los trabajos de investigación en una época en que los Observatorios y Laboratorios extranjeros aumentaban constantemente su material, para responder a las exigencias de los recientes descubrimientos de la Física y la Astronomía.

No debe olvidarse que la publicidad de las observaciones astronómicas estimula al observador, que ve confirmados los resultados de su labor científica por otros análogos, realizados en muy diversos países, o que encuentra discrepancias que le obligan a nuevas investigaciones, y son un poderoso acicate para que renueve con brío sus faenas. En cambio, el que llena cuadernos y más cuadernos, a sabiendas de que sólo han de servir para ocupar un lugar en los estantes, se desilusiona y adocena, y acaba por dejarse caer tranquilamente en brazos de la rutina.

Pues en estas condiciones trabajaba nuestro inolvidable compañero, que, sin embargo, nunca perdió la fe, coleccionando cuidadosamente todos sus apuntes y publicando con frecuencia, en varias revistas extranjeras, lo que por su oportunidad o importancia consideraba digno de darse a conocer. Con frecuencia se recibían en el Observatorio de Madrid consultas relativas a trayectorias, formas u otras particularidades de manchas, que sólo raras veces, o con grandes interrupciones, debidas a la impureza del cielo, se habían podido observar en otras localidades, y siempre se encontraba en nuestra copiosa colección manera de contestar satisfactoriamente.

En el verano de 1876 se promovió gran algarada astronómica por haber anunciado Weber, astrónomo alemán, que en la tarde del 4 de abril, durante breves momentos, había visto proyectada sobre el disco solar una manchita de forma extraña, que podía muy bien ser originada por el disco del problemático planeta intramercurial, bautizado en otra ocasión con el nombre de Vulcano. Unos acogieron con júbilo la noticia, otros la pusieron en tela de juicio, y otros la negaron rotundamente; pero Ventosa, consultando sus dibujos y sus cuader-

nos de observaciones, probó que no se trataba de una mancha efímera y pasajera debida a la interposición de ningún planetá, puesto que el mismo día, y cinco horas antes que Weber, la había él observado en la misma región del disco del Sol. Pocos días después, el Director del Observatorio de Greenwich dedujo del examen de las fotografías solares efectuadas en aquel Centro que, en efecto, se trataba de una mancha solar, como había asegurado el astrónomo español.

Este no concretó su actividad al registro y estadística de manchas solares, sino que realizó numerosas observaciones de planetas, cometas y asteroides, seguidas de cálculos prolijos, para los cuales tenía especial aptitud.

No es posible hacer una descripción completa de los trabajos de Ventosa, en la mayoría de los cuales resalta una originalidad y un ingenio nada comunes. Su *Método para determinar la dirección de los vientos superiores por las ondulaciones del borde de los astros* es un estudio difícil en que se pretende conocer la circulación atmosférica, no en las capas superpuestas a la corteza terrestre y sujetas, por tanto, a múltiples variaciones locales, sino a grandes distancias de la superficie del planeta, con intento de sacar partido para la resolución del intrincado y eternamente perseguido problema de la predicción del tiempo. No se ha resuelto, ni sabemos si algún día se resolverá satisfactoriamente, este enigma tan arduo, en que queremos determinar *a priori* los valores de una función dependiente de muchas variables, cuyo número no podemos fijar con exactitud y cuyas leyes de variación tampoco conocemos con la precisión necesaria; pero el esfuerzo de Ventosa, por su originalidad y por su ingenio, bien merece colocarse en primera línea entre los muchos que en todos los países y en todas las edades se han encaminado al mismo propósito.

El nuevo método para determinar el diámetro del planeta Venus es original, o al menos yo no he visto jamás expuesta la idea en libros ni periódicos profesionales. Las fases que presenta este hermoso

planeta y las grandes variaciones que ofrece su diámetro aparente en el curso de la revolución sinódica, dificultan la determinación exacta de aquel elemento, y se aprovechan, para poderlo conocer con relativa exactitud, los pasos del planeta por el disco del Sol. Pero éstos tienen lugar muy de tarde en tarde; el próximo ocurrirá el año 2004; de modo que, probablemente, ninguno de los presentes podremos disfrutar del espectáculo. Pues bien: el procedimiento ideado por Ventosa, consiste en utilizar para el intento todas las conjunciones inferiores del planeta, que ocurren cada diez y nueve meses, aproximadamente. Es claro que la observación es delicada y ofrece dificultades, que yo mismo he experimentado; pero, en cambio, se puede efectuar con gran frecuencia y por muchos observadores, recurriendo, para adoptar un valor definitivo, al promedio de los resultados particulares, procedimiento lícito y corriente en las ciencias de observación cuando las diferentes determinaciones no ofrecen discrepancias notables.

Como prueba de las excepcionales aptitudes de nuestro inolvidable compañero para el cálculo numérico, podemos citar su *Método para la extracción de raíces de los números sin el auxilio de los logaritmos*, y una especie de complemento práctico al excelente trabajo de D. Miguel Merino, acerca de la Memoria de Gräffe sobre la resolución numérica de las ecuaciones. En la Revista de esta Real Academia publicó también interesantes artículos, y esta tarea científica no la interrumpió nunca, en términos que de D. Vicente Ventosa puede decirse que murió trabajando.

En efecto: pocos días antes de su muerte escribía, con pulso seguro, unas cuartillas que no han visto la luz pública, lamentándose de una omisión del P. Sechi al dar cuenta de los resultados de su observación del eclipse total del Sol ocurrido el 10 de Julio de 1860. En aquella fecha memorable, consiguieron obtener, por primera vez, la fotografía de las protuberancias solares Warren de la Rue, en Ribabellosa, y el P. Sechi en el Desierto de las Palmas. Todas las

manipulaciones fotográficas de la observación de este último corrieron a cargo de D. José Montserrat, Rector a la sazón de la Universidad de Valencia, ilustre químico y fotógrafo experimentado; y es de advertir que en aquella época la fotografía de fenómenos tan raros y fugaces ofrecía serias dificultades, pues había que preparar las placas en el momento preciso y en condiciones de servir para el objeto especial a que se destinaban. Y así como el Sr. Montserrat por su propia cuenta no hubiera pensado siquiera en el problema que el P. Sechi perseguía, es de presumir que éste no hubiera alcanzado el éxito que obtuvo sin la valiosa cooperación del químico valenciano.

No hace al caso insistir sobre esta cuestión, y la cito sólo para que se vea qué clase de preocupaciones embargaban el ánimo de Ventosa cuando ya la muerte le acechaba muy de cerca; como que a los pocos días murió, con la tranquila resignación cristiana que debía poner fin a la vida de aquel perfecto caballero.

* * *

Con el fundado temor de no poder llenar mi cometido con la perfección que yo quisiera y que la ocasión y el sitio merecen, paso ahora a cumplir un precepto reglamentario que me obliga a leer una disertación científica, y es claro que he de elegir un asunto propio de la ciencia astronómica. De las diversas ramas en que ésta se divide, me inclino desde luego a la Astronomía física, ciencia modernísima, cuyos problemas preocupan hoy a los sabios de todo el mundo, y tienen derivaciones que exigen el concurso de todas las ciencias afines.

Aun cuando puede decirse que la Astronomía física nació el día en que Newton realizó el experimento de la dispersión de la luz, realmente esta ciencia, con su verdadero carácter y significado actual, no comienza hasta 1859, cuando Kirchhoff dió a conocer sus célebres leyes, fundamento del análisis espectral.

Problemas que hoy se acometen y estudian de un modo sistemático en todos los Observatorios, hubieran parecido pavorosos e inatacables antes de aquella fecha, y el abordarlos sólo se hubiera considerado como la más loca temeridad. Por este motivo, aun cuando ya se conocía el fenómeno de la dispersión y se tuvo noticia de las siete rayas oscuras del espectro solar, descritas por Wollaston en 1802, y de las 600 observadas por Fraunhofer en 1814, pudo Augusto Comte decir en su célebre obra de *Filosofía positiva*, publicada entre los años 30 y 40: «Nunca tendremos medio hábil de estudiar la composición de los cuerpos celestes. Nuestros conocimientos positivos respecto de los mismos están necesariamente limitados al estudio de los fenómenos mecánicos y geométricos, y siempre será imposible toda investigación acerca de sus propiedades físicas y químicas.»

Publicadas las leyes de Kirchhoff, relativas a las diversas clases de espectros que los focos luminosos pueden producir, las investigaciones de laboratorio demostraron que los vapores de varios cuerpos llevados a la incandescencia producían un espectro cuyas rayas brillantes ocupaban las mismas posiciones o tenían la misma longitud de onda que las oscuras observadas en el espectro del Sol o de las estrellas. Y cuando en los eclipses totales, y durante un tiempo brevísimo, se puede obtener el espectro de la capa inversora, yuxtapuesta a la fotosfera, las rayas oscuras aparecen brillantes, conservando sus posiciones e indicando la presencia en el astro de multitud de cuerpos conocidos.

Como consecuencia inmediata, antes que transcurriera medio siglo desde la afirmación del célebre filósofo, que ponía una especie de veto a las exploraciones astronómicas de carácter físico, una pléyade de espectroscopistas reconocía la presencia de muchos cuerpos terrestres en el Sol, estrellas, cometas y nebulosas, y proclamaba ufana la unidad de la materia que constituye el Universo.

Los problemas de Astronomía física son los más curiosos e inte

resantes en que pueden emplearse los afanes y viglias de la inteligencia humana. La resolución de los mismos exige el concurso de la Física y la Química, impulsando el progreso de estas ciencias, a las cuales en ocasiones se adelanta la Astronomía, suministrando datos y descubrimientos de positivo valor, y con frecuencia se suscitan en esta modernísima rama de conocimientos, cuestiones en que hay que poner a contribución todos los recursos del Análisis matemático y de la Mecánica.

¿Y a cuál de los curiosos problemas de esta ciencia nueva e interesante daré la preferencia para cumplir mi deber con menos dificultades? Me es igual. Todos ellos, por su importancia y atractivos, merecen ser tratados en una ocasión como la presente; y cualquiera que sea el elegido, me pone en el trance forzoso de faltar al precepto de Horacio que dice:

Sumite materiam vestris
qui scribitis æquam viribus...

Pero tales problemas pueden dividirse en dos grupos: 1.º Los que han surgido en época reciente, como consecuencia de los progresos y nuevas orientaciones de las ciencias físicas, y en los cuales ni siquiera hubiera sido posible pensar hace poco más de medio siglo. Nadie, en efecto, se hubiera aventurado a emitir hipótesis acerca de los elementos químicos que constituyen la masa de los astros ni del estado físico de sus atmósferas, ni hubiera pretendido conocer la velocidad radial de las estrellas y el sentido de la misma, para saber si se aproximan o se alejan del sistema solar, ni a hacer una determinación espectroscópica de la translación del Sol en el espacio, fijando su valor en unidades longitudinales, obstáculo ante el cual se detuvo el genio de Herschell, que sólo pudo expresar dicho valor en segundos de arco de radio desconocido. Para atacar estas cuestiones y otras de índole análoga que pudiéramos citar, ni se conocían principios científicos que sirvieran de base, ni procedimiento de ejecución, ni

instrumentos adecuados para tan misteriosas investigaciones. 2.º Los que, por el contrario, han constituido la preocupación de los astrónomos antiguos, los cuales han buscado soluciones aproximadas, mediante la paciente observación a simple vista o con material muy deficiente; y estos problemas, en el transcurso del tiempo, se han ido tratando cada vez con mayor éxito, a medida que se disponía de mejores medios de trabajo, y aún se estudian en la actualidad, utilizando los progresos de las ciencias auxiliares de la Astronomía y gran número de instrumentos, cuya variedad ofrece medios seguros de comprobar la bondad de los resultados. Y éstos, que en un principio no eran ni podían ser más que groseramente aproximados, se expresan hoy, mediante fórmulas matemáticas, con toda la aproximación deseable. A esta clase de problemas, que por las diversas fases que han atravesado, marcan decisivos avances de la ciencia a través del tiempo, pertenece el que, para cumplir un precepto y por cariño al asunto, más que por vana pretensión de dominarle, voy a tratar en esta ocasión solemne: me refiero a las *Magnitudes estelares*.

I

Una simple ojeada por la esfera celeste, en una noche despejada, acusa inmediatamente las profundas diferencias de brillo que ofrecen las estrellas; unas cuantas, muy pocas, se destacan como en relieve sobre el fondo obscuro del cielo, y proyectan en todas direcciones el centelleo de sus rayos resplandecientes; otras, por el contrario, apenas son visibles, y son imperceptibles desde luego para individuos de vista poco perspicaz; y entre estos dos límites se encuentran todas las demás, de brillo variable, diseminadas por todo el cielo, sin ley alguna perceptible. Estos hechos, que cualquiera puede percibir a

primera vista, llamaron la atención de los astrónomos antiguos, y muy especialmente de Hiparco, el cual comprendió que una clasificación de las estrellas con arreglo a sus brillos, contribuiría, juntamente con la agrupación en constelaciones, a facilitar el reconocimiento de cualquier astro nuevo, o la modificación o desaparición de alguno de los existentes.

Él fué el primero que dividió las estrellas en magnitudes, estableciendo seis clases, la primera de las cuales comprende las estrellas más brillantes; la sexta, las de menor brillo, que constituyen el límite de visibilidad, y las restantes forman las otras cuatro clases, agrupadas de manera que la impresión producida sobre el ojo, al pasar de la segunda magnitud a la tercera, sea sensiblemente la misma que al pasar de la tercera a la cuarta, y así sucesivamente.

A primera vista se comprenden las dificultades que lleva consigo esta clasificación: la impresión producida en el órgano visual cuando se pasa de un foco a otro de distinta intensidad, puede variar de uno a otro individuo, y aun para una misma persona, según la edad o las condiciones de observación. Pero cuando Hiparco estableció su clasificación, ciento treinta años antes de J. C., no se conocía el fundamento de la Fotometría, ni sus leyes, ni instrumento alguno capaz de apreciar los brillos relativos de los astros. No es, pues, de extrañar que en aquellas edades se asignasen a una misma estrella, por diferentes observadores, magnitudes que diferían en más de una unidad, mientras que hoy se expresa la magnitud en unidades y décimas, y existe perfecto acuerdo entre las determinaciones efectuadas en diferentes sitios y por distintas personas.

Acaso en los primeros tiempos se guiaron para la clasificación por los intervalos que median entre la puesta del Sol y la aparición de las sucesivas clases de estrellas; pero estos espacios de tiempo no guardan relación alguna perceptible con las diversas magnitudes, y además varían con la época del año, altitud sobre el nivel del mar y pureza variable de la atmósfera. De numerosas

observaciones realizadas en Atenas dedujo Schmidt las siguientes conclusiones:

Magnitudes	1. ^a	2. ^a	3. ^a	4. ^a	5. ^a	6. ^a
Tiempos	—8 ^m	28 ^m	32 ^m	45 ^m	1h	1h 21 ^m

Es decir, que las estrellas de primera magnitud se perciben ocho minutos antes de ponerse el Sol; las de segunda, veintiocho minutos después, y así sucesivamente. Pero estos datos, variables con la localidad y otra porción de circunstancias, son tan imprecisos para fundar en ellos una agrupación metódica como la simple impresión ocular.

Bien comprendieron los antiguos los defectos de la clasificación, cosa que fatalmente tenía que ocurrir, tratándose de magnitudes que no se sabía medir y representar con exactitud, numéricamente. Por eso en el *Almagesto*, al lado del número que indica la magnitud asignada por Hiparco a las estrellas, figuran, con frecuencia, los signo *más* o *menos*, indicando que la estrella es de mayor magnitud o de menor brillo que la de la clase correspondiente en el primer caso, y de menor magnitud o mayor brillo en el segundo. Todos los astrónomos que se ocuparon en el asunto antes de la invención de los anteojos, reconocieron las dificultades que lleva consigo la clasificación, y trataron de orillarlas, admitiendo la media magnitud, o dividiendo cada clase en tres grupos, o introduciendo diversos signos para representar las diversas magnitudes y brillos entre estrellas de cada grupo; pero ninguno de estos artificios resolvía la dificultad satisfactoriamente, y siempre observadores distintos obtenían resultados sensiblemente discrepantes.

Nada digno de mención podemos decir respecto a este problema, en los siglos que preceden a la invención de los anteojos; los sucesores de Hiparco y Ptolomeo se limitaron a aumentar el número de estrellas incluidas en la clasificación por magnitudes, conservando algunos, como Ulugh Beigh, Ticho Brahe y Hevelio, los grupos intermedios, y conformándose otros, como Kepler, con las unidades enteras;

pero en todos estos trabajos subsistían los defectos relativos a la naturaleza del asunto y a la escasez de medios de observación, que daban lugar a frecuentes discrepancias en la apreciación de las magnitudes.

II

Periodo posterior al descubrimiento de los anteojos.

El descubrimiento del antejo astronómico paralizó durante algún tiempo las investigaciones en el problema que nos ocupa. El micrómetro, que acompaña a dicho instrumento, permite determinar la posición de las estrellas con tal exactitud, que se consideró innecesario acompañar el detalle de la magnitud, para poder apreciar cualquier modificación que los astros sufriesen en lo sucesivo.

Flamsteed fué el primero que se tomó el trabajo de comparar los resultados de las apreciaciones efectuadas a simple vista, y con auxilio de los anteojos; hizo una revisión seria de los trabajos anteriores, y publicó un catálogo con las magnitudes de 2.913 estrellas, determinadas por ambos procedimientos.

William Herschell se consagró, después, a la misma faena, con la tenacidad que ponía en todos sus estudios el fundador de la Astronomía estelar. Hizo ver que las magnitudes adoptadas por Flamsteed eran contradictorias entre sí y con las de otros observadores, y trató de indagar las causas de este desacuerdo, emprendiendo para ello una revisión completa del cielo. Sin entrar en detalles acerca de su procedimiento, solamente diremos que él achacaba los errores de sus antecesores a que comparaban los brillos de las estrellas con un tipo puramente subjetivo e indeterminado, en lugar de buscar siempre las diferencias de brillo entre estrellas muy próximas, visibles simultáneamente, y expresar las diferencias de magnitud mediante una no-

tación adecuada, pasando por grados sucesivos desde las estrellas más débiles a las más brillantes, o viceversa.

Una estrella D se comparaba con otras dos, C y E, de modo que las tres se pudieran ver simultáneamente y apreciar sus diferencias en buenas condiciones. La notación CDE indicaba que C era más y E menos brillante que D; después, se comparaba C con B y con D, observando el grupo BCD; luego otro grupo, ABC, y así sucesivamente hasta agotar las estrellas de cada constelación y enlazarla con otra inmediata. Una notación, por cierto complicada, compuesta de puntos, comas, trazos y diversas combinaciones de estos signos, servía para indicar las diferencias de brillos estelares, partiendo de cero, o igualdad de brillo, hasta llegar a la mayor diferencia observada. Herschell consignaba el resultado de sus trabajos en catálogos parciales, cada uno de los cuales abarcaba un cierto número de constelaciones. Desgraciadamente, la mayor parte de esta labor ha quedado manuscrita, y la circunstancia de expresar las magnitudes mediante una notación complicada, en lugar de utilizar las unidades y décimas de magnitud, dificulta la comparación con trabajos posteriores.

Entre las estrellas comunes a los catálogos de Flamsteed y Herschell notó este último que eran muy pocas las que tenían magnitudes concordantes, y aunque las discrepancias en muchos casos eran imputables, a su juicio, al procedimiento defectuoso de observación, había estrellas que ofrecían diferencias hasta de una magnitud y media, lo que le indujo a pensar que podía haber variaciones en la luminosidad intrínseca de las estrellas, y en 1796 presentó a la Real Sociedad Astronómica de Londres una Memoria sobre el «Método de observar los cambios que ocurren en las estrellas fijas, con algunas consideraciones sobre la estabilidad de la luz solar y un catálogo de brillos relativos para comprobar la fijeza de la luz estelar». En esta Memoria se afirma por vez primera la completa analogía del Sol con las estrellas, considerándole como una de tantas.

No es ésta la primera ni la única vez que las observaciones astronómicas encaminadas a un objeto determinado han conducido a interesantes descubrimientos, a veces inesperados y ajenos al fin que se perseguía, lo que prueba que rara vez resulta estéril la labor de los observadores de buena fe, y hasta se ha dado el caso de que hombres de verdadero ingenio han sacado gran provecho científico de observaciones realizadas por sus antecesores, que nunca pudieron soñar la utilidad que, andando el tiempo, había de reportar su asiduidad y su constancia.

Juan Herschell continuó los trabajos de su padre, introduciendo modificaciones ventajosas en el método y en la notación. Heis revisó y continuó la labor de sus antecesores, publicando un Atlas que contenía 5.421 estrellas, llegando hasta las de séptima magnitud, que su vista perspicaz le permitía distinguir directamente; pero en precisión no se ganaba gran cosa, y las discrepancias continuaban al comparar diversos catálogos o uranometrías de distinta procedencia.

El asunto recibió un impulso decisivo cuando Argelander, acompañado de sus discípulos, ideó la formación del célebre catálogo de Bonn, empleando el método de los *grados*. Aunque siguió las huellas de Herschell, representando por signos convencionales las diferencias de brillos estelares, estableció la escala de tal manera, que dichas diferencias pudieran fácilmente reducirse a números y expresarse en unidades y décimas de magnitud.

Definió el *grado* como la más pequeña diferencia de brillo que puede apreciarse entre dos estrellas, y procedió a formar los cuadernos de observación de la siguiente manera: Cuando mirando sucesiva y alternativamente dos estrellas a y v , jamás se percibe que una brilla más que la otra, se dice que tienen igual grado, y se escribe en el libro de observaciones $a v$. Si, a primera vista parecen iguales, pero al cabo de un examen atento, en que la vista pasa reiteradamente de a a v y de v a a , resulta que a brilla más que v la mayoría de las veces, se dice que a tiene un grado más que v , y se escribe $a1v$,

siempre delante la estrella de más brillo. Si a pesar de una igualdad aparente a primera vista, la estrella *a* resulta siempre más brillante que *v*, ante un examen constante, se dice que la primera excede a la segunda en dos grados, y se escribe *a* 2 *v*. Una diferencia manifiesta a primera vista representa tres grados, y se escribe *a* 3 *v*. Por último, una diferencia más manifiesta que la anterior a favor de *a*, se escribe *a* 4 *v*. No se deben observar estrellas que presenten mayores diferencias de cuatro grados, porque decrece la seguridad de apreciación y porque una prudente elección de estrellas permite pasar de unas a otras y enlazar las de las constelaciones inmediatas, pasando por grados insensibles desde las estrellas más débiles a las de primera magnitud. Procediendo de este modo, se encuentra el número de grados que media entre una estrella de sexta y una de primera magnitud. Argelander encuentra 55; Schönfeld, 66, y números muy concordantes con éstos, otros varios astrónomos; de modo que, dividiendo el número total de grados por el de magnitudes, resulta que el grado de Argelander vale, muy aproximadamente, una décima de magnitud.

El trabajo de Argelander fué ardientemente proseguido por Gould en Córdoba (República Argentina), donde dicho astrónomo, con la ayuda de cuatro jóvenes auxiliares, formó un Catálogo de 7.730 estrellas del cielo austral, llamado *Uranometría argentina*, que contenía muchas estrellas de la *Uranometría nova*, de Argelander, que servían de patrones o tipos de comparación.

Gould empieza por afirmar que es posible, con práctica y asiduidad suficientes, apreciar el brillo relativo de los astros a simple vista, y formar una escala en que consten las magnitudes de las estrellas en unidades y décimas de magnitud.

El trabajo consistía en elegir una serie de estrellas contenidas en la *Uranometría nova*, determinar sus magnitudes cada uno de los observadores, y cuando los resultados eran concordantes entre sí y con los de Argelander, tomar dichas estrellas como tipos para referir a ellas las magnitudes de todas las próximas.

Cada uno de los cuatro observadores procedía aislada e independientemente, a la determinación de magnitudes estelares, repitiendo la observación lo menos cuatro veces, comparando los números obtenidos por los cuatro para cada estrella y desechando todos los resultados discordantes. Al poco tiempo de comenzar el trabajo, los resultados eran altamente satisfactorios. La práctica para apreciar diferencias de brillo y la unidad del procedimiento condujeron pronto a discrepancias nulas o prácticamente insensibles, y Gould formó un cuadro-resumen de las magnitudes obtenidas por sus cuatro colaboradores, en que consta, al lado del valor promedio de los cuatro para cada estrella, el valor particular de cada uno y la diferencia que puede considerarse como error individual.

La insignificancia de tales errores prueba cuál es el grado de exactitud a que puede llegarse en la resolución del problema que nos ocupa, por observación directa, y cuál, el de confianza que puede concederse al ojo humano como aparato fotométrico.

El trabajo de Gould puede considerarse como el último grado de perfección alcanzado con los procedimientos primitivos. Pero aún se le puede achacar un inconveniente, y es la desigual precisión con que se evalúan las magnitudes de estrellas de muy distinto brillo. En efecto: desde la cuarta magnitud a la primera, las estrellas escasean con rapidez creciente, sus distancias angulares aumentan y las miradas simultáneas y alternativas para aplicar el método de los grados son cada vez más difíciles y ofrecen menos garantías de seguridad en la apreciación.

En algunos tratados de Astronomía estelar figuran cuadros comparativos de las magnitudes asignadas a una misma estrella en todos los catálogos conocidos, desde Ptolomeo, que nos dió a conocer los trabajos de Hiparco, hasta el final del siglo XIX, y las discrepancias son mucho menores de lo que fuera de temer, tratándose de procedimientos de simple apreciación, ajenos a los principios fotométricos y en que la impresión personal ejerce un influjo directo.

Por lo expuesto, se comprende que, con posterioridad al descubrimiento de los anteojos, se siguió aplicando el método primitivo a la clasificación en magnitudes. Cuando, a principios del siglo xvii, el empleo de los instrumentos aumentó extraordinariamente el número de estrellas conocidas, los astrónomos se limitaron a continuar la clasificación antigua, respetando la agrupación de las estrellas visibles, llamadas brillantes, en las seis clases de Hiparco, y asignando a las demás, llamadas telescópicas, magnitudes de orden creciente a medida que el brillo disminuía. En un mismo antejo, las estrellas cuyas imágenes focales guardaban con las de sexta magnitud la misma relación que las de quinta con las de sexta, constituían la clase séptima; de esta clase se pasaba a la octava, y así sucesivamente, procediendo por grados o mínimas diferencias de brillo sucesivas, sin más apreciación fotométrica que las impresiones del ojo. Por este procedimiento, Galileo había distinguido en 1610 seis clases de estrellas telescópicas, y posteriormente Herschell asignó la magnitud 20 a las más débiles que podían percibirse con su telescopio de cinco metros de distancia focal.

Recientemente, Struve y Bessel emitieron ideas más interesantes, que sirvieron, y aun se utilizan hoy día, para la determinación exacta de las magnitudes. Consideró el primero como de magnitud 12-13 las estrellas que forman el límite de visibilidad en un antejo de 24 centímetros de abertura, y Bessel llama magnitud 9-10 la de las estrellas en el límite de visibilidad con el buscador de cometas de Fraunhofer, de 76 milímetros de abertura.

Desde luego se comprende la importancia de hipótesis o definiciones de esta índole, para marchar con paso firme en la resolución del problema que nos ocupa; porque si convenimos en designar con números de orden determinados las magnitudes estelares, como límites de visibilidad en dos anteojos de abertura distinta y de dimensiones y cualidades ópticas bien definidas, podemos aspirar a expresar numéricamente la relación entre las magnitudes y las aberturas; y si la

Fotometría nos facilita el medio de medir los brillos, podemos relacionarlos con las magnitudes, y obtener para éstas, expresiones numéricas y relaciones matemáticas.

III

Enunciado matemático.

Habiendo dado una idea de las principales etapas por que ha pasado el curioso problema de que tratamos, y antes de ocuparnos en las fórmulas que enlazan los brillos con las magnitudes, conviene recordar que, partiendo del principio, por todos y en todo tiempo admitido, de que las magnitudes crecen cuando el brillo disminuye, surge inmediatamente esta pregunta: ¿Hay una relación definida entre el brillo de una estrella de magnitud n y el de otra estrella de la magnitud inmediata, $n + 1$? En otros términos: ¿En qué relación varía el brillo de las estrellas cuando se pasa de una magnitud a la siguiente? Tratándose de brillos imposibles de apreciar antes de conocerse los instrumentos fotométricos, y difíciles de aquilatar aun hoy día en ciertos casos, y por otra parte, de magnitudes definidas como sensaciones que no pueden sujetarse a peso y medida, la contestación parece, desde luego, que debe ser negativa; y, no obstante, veremos que dicha relación se obtiene en la actualidad mediante fórmulas legítimas, deducidas con todo rigor, y admitiendo algún postulado que todos reconocen como cierto.

Más difícil es contestar a otra pregunta, que se le ocurre inmediatamente a todo el que se preocupa en este asunto, a saber: ¿Por qué dividió Hiparco las estrellas brillantes en seis clases? ¿Obedeció la clasificación al capricho o pura casualidad, o presidió a la agrupación en seis clases algún principio científico, relacionado con el decrecimiento de la luz al pasar de una clase a la inmediata? Nada se sabe

acerca del particular, porque Ptolomeo, que nos dió a conocer los trabajos de Hiparco, debió formularse la misma pregunta, y nada dice sobre este asunto, lo que hace suponer que no encontró referencia alguna entre los documentos del astrónomo de Bitinia. Lo cierto es que desde entonces, y como obedeciendo a un convenio tácito, todos los astrónomos han adoptado la distribución en seis grupos de las estrellas directamente visibles, pues la séptima clase, admitida por Heis, sólo era achacable a la perspicacia de su vista, y la consignada en la Uranometría argentina obedecía a la elevación del observatorio y a las condiciones privilegiadas de la atmósfera en aquella localidad. Las estrellas señaladas como de séptima magnitud en uno y otro caso no son perceptibles en condiciones ordinarias, para la generalidad de los observadores.

Sentados estos preliminares, veamos cómo los astrónomos y físicos han llegado a obtener fórmulas matemáticas de uso frecuente, y que dan resultados satisfactorios y concordantes en la resolución de múltiples problemas.

Cuando un foco luminoso, que actúa sobre el ojo humano, sufre una variación de intensidad, determina en nuestra vista una sensación particular, que, si se trata de estrellas, da lugar a las diferencias de magnitud. Fechner ha demostrado que los cambios experimentados por la sensación no dependen de la diferencia absoluta de intensidad del foco o agente excitante, sino solamente de la relación entre la *variación* de la intensidad y la *intensidad* misma. Si, pues, miramos a un foco de intensidad E , y a otro que difiere del anterior en dE , la medida de la impresión que sufre la vista por este cambio es la relación $\frac{dE}{E}$; si se trata de estrellas, y llamamos μ la magnitud correspondiente al foco E , y $d\mu$ el cambio de magnitud debido al de intensidad dE , podemos escribir, teniendo en cuenta que $d\varepsilon$ y $d\mu$ son de signos contrarios:

$$\frac{dE}{E} = -a d\mu,$$

fórmula que nos dará a conocer la relación entre el cambio de brillo y el de magnitud cuando sepamos determinar la constante a .

Para otra estrella de brillo E' y magnitud μ' , el estímulo tendrá por expresión, al cambiar de estrella, $\frac{dE'}{E'}$, y la ecuación anterior se convertirá en $\frac{dE'}{E'} = -a d\mu'$.

Integrando, se deduce:

$$IE = -a\mu + C, \quad IE' = -a\mu' + C, \quad IE' - IE = -a(\mu' - \mu),$$

$$I \frac{E'}{E} = -a(\mu' - \mu); \quad \frac{E'}{E} = e^{-a(\mu' - \mu)} \dots \dots \quad (a)$$

Si consideramos una serie de estrellas de magnitudes

$$1, 2, 3, \dots, m, r, \quad \text{y de brillos} \quad E_1, E_2, \dots, E_m, E_r,$$

la fórmula toma la forma general

$$\frac{E_r}{E_m} = e^{-a(r-m)}$$

y en particular, para estrellas de magnitud consecutiva, p y $p+1$:

$$\frac{E_{p+1}}{E_p} = e^{-a} = \frac{1}{e^a}$$

fórmula que nos dice que la cantidad e^{-a} es la variación constante de brillo cuando se pasa de una magnitud a la siguiente.

Si hacemos $e^{-a} = \varphi$, o, $-a = I\varphi$, la fórmula general toma la forma

$$\frac{E_r}{E_m} = \varphi^{(r-m)} \quad \text{o} \quad I \frac{E_r}{E_m} = (r-m)I\varphi$$

de donde

$$(1) \quad \dots r - m = \frac{IE_r - IE_m}{I\varphi}$$

fórmula que nos dice que la diferencia de magnitudes es proporcional a la diferencia logarítmica de los brillos, y será de gran utilidad práctica cuando se determinen la constante φ , o la a de la fórmula inicial.

IV

Ley de las aberturas límites.

Procedamos, pues, a la determinación de esta cantidad, que desempeña un papel importantísimo en nuestro problema, como que, una vez conocida, se podrá pasar de los brillos a las magnitudes, o viceversa, por procedimientos fijos, y sometiéndose a una fórmula que excluye la vacilación o titubeo propio de las apreciaciones particulares de cada individuo.

No negaremos que al procedimiento que vamos a seguir se le puede hacer alguna objeción, hasta cierto punto legítima, porque el razonamiento se funda en admitir que las estrellas más débiles, perceptibles con anteojos de una abertura fija, tienen una magnitud determinada. Evidentemente, no podemos asegurar que los números que representan dichas magnitudes tengan el mismo peso y ofrezcan la misma garantía que los obtenidos con los actuales procedimientos de medida para representar longitudes, masas y tiempos; pero cuando varios astrónomos experimentados están de acuerdo en que las más pequeñas estrellas, visibles en un antejo de abertura O , son de magnitud m , o que la magnitud m es el límite de visibilidad de la abertura O , hay motivos para conceder a su aserto, sobre todo desde el punto de vista práctico, la misma garantía de exactitud que a los procedimientos ordinarios de medida, y para aplicar a los números obtenidos, los recursos físicos y matemáticos que conduzcan a fórmulas utilizables en la práctica. Los resultados que se obtengan, contrastados por la experiencia, juez definitivo en las ciencias de observación, nos dirán si es o no lícita la parte que nuestras lucubraciones puedan tener de hipotéticas.

Designemos por E y E' los brillos reales de dos estrellas, límites

respectivos de visibilidad de las aberturas O y O' . En los planos focales de ambos anteojos, las cantidades de luz, evidentemente iguales, serán fracciones α y β de los brillos totales, de modo que

$$\alpha E = \beta E',$$

pero

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{O^2}{O'^2};$$

luego

$$\frac{O}{O'} = \frac{\sqrt{\alpha}}{\sqrt{\beta}} = \frac{\sqrt{E'}}{\sqrt{E}} = e^{-\frac{a}{2}(u' - u)},$$

según la fórmula (a). De aquí se deduce:

$$\frac{O'}{O} = e^{\frac{a}{2}(u' - u)}$$

y, en general,

$$(2) \quad \dots \frac{O_r}{O_m} = e^{\frac{a}{2}(r - m)},$$

siendo r y m las magnitudes límites de visibilidad para las aberturas O_r y O_m . De esta fórmula se deduce que las aberturas límites varían en progresión geométrica cuando las magnitudes varían en progresión aritmética. De la misma se deduce:

$$2(IO_r - IO_m) = a(r - m); \quad r - m = \frac{2(IO_r - IO_m)}{a}$$

$$r - m = - \frac{2(IO_r - IO_m)}{I\varphi};$$

y, finalmente,

$$(3) \quad \dots I\varphi = - \frac{2(IO_r - IO_m)}{r - m}.$$

Esta es la fórmula práctica que multitud de veces se ha utilizado para determinar la constante φ , cuyo valor numérico es un dato de uso frecuentísimo en Astronomía física. El cálculo se efectúa, desde luego, con logaritmos ordinarios, puesto que la sustitución de los ne-

perianos por éstos, introduce un factor numérico, que se suprime en los dos miembros de la ecuación.

Si la observación, la experiencia y la autoridad de reputados astrónomos nos aseguran que a determinadas aberturas corresponden estrellas límites de visibilidad de magnitudes fijas, conoceremos las cantidades O_r , O_m , r y m de la fórmula (3) y obtendremos el valor de ρ con todas las garantías de acierto apetecibles.

Los datos que principalmente se han utilizado para el objeto figuran en el siguiente cuadro:

Abertura O	Magnitud límite M	Autoridad.
7 ^{cm} 6	9.5	Bessel.
12 5	10.5	Thome.
24 0	12.0	Struve.

Aplicando la fórmula (3) a los números de las filas 1.^a y 2.^a, 1.^a y 3.^a, 2.^a y 3.^a se obtiene para $\log \rho$, y por consiguiente para ρ , tres valores numéricos, cuyo promedio, limitándonos a la primera cifra decimal, es $\log \rho = -0.4$, o

$$\rho = 0.4, \quad e^{-a} = 0.4;$$

luego de una magnitud a la siguiente, la intensidad luminosa o el brillo estelar disminuye en la relación de 1 a 0.4.

Apoyándonos en el valor de esta constante, determinada con el grado de exactitud que puede esperarse en esta clase de investigaciones, se llega a consecuencias tan curiosas como interesantes. El valor de $\log \rho$, llevado a la fórmula (3), nos da:

$$0.4(r - m) = 2(\log O_r - \log O_m); \quad r - m = 5 \log O_r - 5 \log O_m;$$

$$r - 5 \log O_r = m - 5 \log O_m;$$

es decir, que la diferencia entre la magnitud límite de visibilidad y cinco veces el logaritmo de la abertura correspondiente es cons-

tante, y si llamamos M una magnitud en general, y O la abertura correspondiente, podemos escribir:

$$(4) \quad \dots \quad M - 5 \log O = C;$$

y como esta constante, determinada con los datos del estado anterior, vale 5.07, la fórmula (4) se convierte en

$$(5) \quad \dots \quad M = 5 \log O + 5.07.$$

Esta ecuación tan sencilla permite calcular las aberturas límites correspondientes a las estrellas de cada magnitud; y viceversa: dada una abertura, deducir cuál será la magnitud de las más débiles estrellas perceptibles. Si en la ecuación (5) damos a M valores enteros consecutivos a partir de 1, obtendremos las aberturas límites correspondientes a las magnitudes enteras, y ya se comprende con cuánta seguridad y confianza se puede proceder a trabajos de esta índole cuando se parte de una base fija, general y única para todos los observadores.

Entre los métodos fundados en el empleo de fórmulas y tablas de ellas deducidas y los antiguos, puramente psicológicos y sujetos a las impresiones particulares de cada observador, hay una ventaja manifiesta a favor de los procedimientos modernos, que se puede calificar de verdadero progreso científico. Pero no debemos olvidar que en cuestiones de Astronomía física sería empeño inútil pretender llegar a la perfección o a la exactitud matemática de los resultados, pues las causas que pueden influir sobre éstos con frecuencia, pueden difícilmente someterse a reglas fijas que aquilaten sus efectos. Así, por ejemplo, en el problema que nos ocupa, aparte de muchas circunstancias que pueden tenerse en cuenta y prever sus efectos con gran exactitud, la magnitud límite de visibilidad puede ser muy distintamente modificada por la absorción luminosa en la atmósfera terrestre, difícil de apreciar cuantitativamente en algunos casos.

V

Fórmula de Pogson.

Llevando a la fórmula (1) el valor de $\log \rho = -0.4$, se tiene:

$$\log E_m - \log E_r = 0.4 (r - m),$$

o

$$(6) \quad \dots \quad r - m = 2.5 (\log E_m - \log E_r).$$

fórmula interesante que dice: «La diferencia de los números que indican las magnitudes estelares es igual a 2.5 veces la diferencia logarítmica de sus brillos.»

Esta fórmula, debida al astrónomo Pogson, es de uso frecuentísimo para determinar el brillo de las estrellas débiles y la magnitud de las más brillantes. En el primer caso, las estrellas abundan, la comparación es facilísima y las magnitudes relativas se pueden obtener con gran comodidad, pasando de éstas a los brillos por la fórmula de Pogson.

Tratándose de las magnitudes primera, segunda y tercera, las estrellas escasean y la comparación es más difícil; pero los procedimientos fotométricos modernos permiten fijar los brillos con gran exactitud, y de ellos se pasa a las magnitudes, por aplicación inmediata de la misma fórmula.

Por medio de la misma se ha conseguido fijar de un modo claro y categórico el concepto de magnitud estelar, antes vago e impreciso, como resultado de una sensación. Para ello se ha elegido como tipo una estrella cuyo brillo sea sensiblemente el promedio de los de las estrellas de primera magnitud, y a ella se han referido los brillos y magnitudes de todas las demás. Esta estrella es Vega o α Lirae, cuyo brillo se toma por unidad y su magnitud es

representada por cero, $E_r = 1$, $r = 0$. En este caso la fórmula (6) se reduce a

$$0 - m = 2.5(\log E_m - \log 1)$$

o

$$(7) \quad m = -2.5 \log E_m.$$

y determinando los brillos estelares por los varios procedimientos fotométricos que hoy se conocen, y que aumentan cada día, por los inventos de la Física y la Química, se obtienen sin vacilación las magnitudes, sin más que dar valores a E_m y sacar los correspondientes de m en la fórmula (7). Así se ha formado la llamada *escala normal de magnitudes*.

De aquí se deduce que todas las estrellas más brillantes que el tipo, tienen magnitud negativa, porque siendo E_m mayor que 1, su logaritmo es positivo, y el producto por -2.5 , o sea la magnitud m de la fórmula (7), es una cantidad negativa.

El razonamiento de Pogson, poco distinto en su esencia del que dejamos consignado, es anterior a 1859, época en que Fechner dió a conocer su célebre ley psicofísica, que dice: «La impresión producida sobre el órgano visual es proporcional al logaritmo del incentivo», entendiendo por tal, en nuestro caso, el mayor o menor brillo de las estrellas, y por impresión, la sensación que hemos convenido en llamar magnitud. El mismo Fechner declara que la fórmula de Pogson le sirvió de acicate para continuar sus delicados experimentos. Cabría discutir si la magnitud estelar es o no realmente una sensación, y por qué cambia y se modifica con las alteraciones del brillo; pero tales disquisiciones, muy interesantes, sin duda, desde el punto de vista filosófico, no influyen para nada en los fines que persigue la ciencia astronómica. Una vez de acuerdo en la definición de magnitud, lo esencial es poderla expresar numéricamente, de modo que para una misma estrella se encuentre siempre el mismo número, y esto vemos que se ha conseguido mediante la ley de las aberturas y las fórmulas que quedan establecidas. El hecho es que con la fórmula (6), tal como

está escrita, o ligeramente modificada, según convenga en cada caso, se resuelven continuamente en los Observatorios multitud de problemas relativos al asunto que nos ocupa.

VI

Magnitudes fotométricas.

Al aplicar los procedimientos fotométricos a la determinación de magnitudes estelares, el problema se complica y se relaciona de modo íntimo e inseparable con otras cuestiones de Astronomía física, que tienen para el astrónomo tanta o más importancia y atractivos que el número representativo de la magnitud estelar: nos referimos a la variabilidad del brillo de los astros y la coloración de los mismos. El cambio de intensidad luminosa de las estrellas ha dado lugar a la interesante teoría de las estrellas variables, y a una clasificación de las mismas con arreglo a las fases y particularidades de esta variación; y el color ha sido también motivo de otra clasificación estelar, y debe tenerse en cuenta en los trabajos fotométricos si no se quiere incurrir en errores notables en la determinación de brillos y magnitudes. Puede decirse, por consiguiente, que la determinación numérica de esta última cantidad sólo tiene hoy una importancia relativa, relegada a segundo término; y más que indagar un número que, como un dato nuevo, acompañe a las coordenadas de las estrellas y ayude a su identificación, se utiliza como elemento auxiliar en el estudio de la variabilidad de las mismas, formación de curvas de luz y clasificación de estrellas variables. Esto nos indica que en las ciencias de observación unas cuestiones suscitan otras imprevistas; un problema perseguido a través de los siglos, con ayuda de pacientes y reflexivas observaciones origina otros problemas nuevos. Ya dijimos que Herschell, aplicando su procedimiento a la determinación de diferencias

de magnitud entre estrellas próximas y comparando sus resultados con los de otros observadores, afirmó la variabilidad de los brillos estelares, y hoy se sabe que esta variación y el color están en relación con el tipo espectral y con la edad o fase de la vida de los astros. Por otra parte, los trabajos de observación y de cálculo, consagrados a problemas tan curiosos a través de los tiempos, siempre dejan algún rastro científico utilizable, y hoy mismo se aplica la fórmula de Pogson de un modo sistemático en la determinación fotométrica de brillos estelares.

La aplicación de la Fotometría a la medida de magnitudes y a la resolución de los problemas consiguientes de variación de luminosidad, puede hacerse de dos maneras: o examinando directamente las imágenes de los astros que el anteojo y el fotómetro suministran en el plano focal del instrumento, o fotografiando estas mismas imágenes para someterlas a un examen ulterior; y estos dos procedimientos dan lugar, respectivamente, a la fotometría visual y a la fotometría fotográfica.

La fotometría visual consiste en obtener la igualdad de brillo de dos astros, una estrella real, y otra real o artificial, disminuyendo gradualmente la intensidad luminosa de una de ellas, hasta que se consiga la igualdad de brillos o se llegue a la extinción de ambas.

Sin entrar en detalles minuciosos de descripción de aparatos fotométricos, diremos a grandes rasgos cómo se consigue este objeto con el fotómetro de Zöllner, utilizado por Müller y Kempf, en los trabajos sobre el cielo boreal efectuados en Potsdam.

El anteojo astronómico da la imagen focal de las estrellas sometidas a comparación, al mismo tiempo que por un tubo lateral, normal al eje del instrumento, llega la luz procedente de un foco artificial, que, mediante un iris o abertura de amplitud variable, forma una estrella artificial de la intensidad luminosa que se desea. Esta luz lateral, reflejada en un espejo plano, colocado en el cubo del anteojo, produce una imagen de la estrella artificial, en el plano focal del mis-

mo, y la cuestión queda reducida a disminuir el brillo de dicha estrella hasta que el ojo juzgue que se ha igualado al de la estrella real inmediata.

La igualdad de brillo se consigue mediante un polarizador compuesto de dos *nicoles*, colocados en el trayecto que recorre la luz procedente del foco artificial. Para una posición determinada de los nicoles, cuando son paralelos los planos de las secciones principales, la intensidad de la luz del rayo emergente es máxima; cuando dichos planos son perpendiculares, se produce la extinción, y girando un nicol de modo que varíe el ángulo de dichas secciones principales, la intensidad luminosa varía en razón del cuadrado del seno del ángulo de rotación. En un giro completo, la luz emergente pasa por dos máximos, y dos mínimos de intensidad nula, y toma cuatro veces un mismo valor determinado.

Si, pues, llamamos X el brillo de la estrella artificial, y para igualarlo al de la estrella real es preciso hacer girar el nicol un ángulo z , el brillo de la estrella será $X \text{ sen}^2 z = A$, siendo A el brillo de la estrella verdadera. Si ahora, conservando la misma estrella artificial, apuntamos a otra estrella, cuyo brillo llamamos B , y es preciso hacer girar el nicol un ángulo z' para igualar las intensidades luminosas, por la misma ley de Malus, relativa a la polarización, se tendrá: $X \text{ sen}^2 z' = B$. De donde

$$\frac{A}{B} = \frac{\text{sen}^2 z}{\text{sen}^2 z'}$$

Pero la fórmula de Pogson puede ponerse bajo la forma

$$\frac{E_r}{E_m} = 2.5^{r-m} = 0.4^{m-r}$$

en donde E_r y E_m representan los brillos, y r y m las magnitudes respectivas. Luego para nuestras estrellas A, B tendremos:

$$\frac{A}{B} = 0.4^{\Delta m}$$

Y, en definitiva,

$$\frac{\operatorname{sen}^2 \alpha}{\operatorname{sen}^2 \alpha'} = 0.4^{\Delta m}$$
$$\Delta m = \frac{\log \operatorname{sen}^2 \alpha - \log \operatorname{sen}^2 \alpha'}{0.4},$$

fórmula sencillísima que nos da la diferencia de magnitudes de las estrellas A y B, proporcionando cuatro determinaciones en cada giro completo del nicol. El círculo en que se leen las rotaciones de éste, está graduado independientemente en los cuatro cuadrantes, de modo que señale directamente las lecturas correspondientes a las cuatro observaciones de cada estrella.

Observemos que la fórmula solamente da diferencias de magnitud en función de la constante 0.4 y de los datos α y α' de observación.

Es preciso, por consiguiente, partir de una estrella normal o tipo cuya magnitud se conozca, y referir a ella todas las demás. Para la formación del catálogo fotométrico de Potsdam se eligió como tipo la estrella polar; mas como quiera que las diferencias en altura con muchas de las estrellas a ella referidas eran considerables, y podían dar cierto carácter de inseguridad a las correcciones por absorción atmosférica, que siempre se tenían en cuenta, los observadores alemanes hicieron un trabajo preliminar, consistente en elegir 144 estrellas de diversas declinaciones, que compararon primero con la polar, y después, unas con otras, sirviéndose, después, de aquellas estrellas como tipos para referir a ellas todas las del cielo norte, dividido en zonas. Tomaron para magnitud de cada estrella el promedio de los valores obtenidos por Müller y Kempf, en general perfectamente concordantes, y en 1894 publicaron, bajo el título *Potsdam Photometrie Durchmusterung of the Norther Heavens*, el resultado del trabajo comenzado en 1886, que contiene las magnitudes de 14.199 estrellas, hasta la magnitud 7.5.

No es esta ocasión de entrar en detalles relativos a las causas de

error que pueden afectar a los resultados; en todas las obras profesionales se tratan con el debido detenimiento, se dan consejos a los observadores novicios, y se indican las precauciones que deben tomarse para dar el mayor peso posible a estas observaciones delicadas; pero sí hemos de llamar la atención sobre una circunstancia importantísima, que afecta de modo fundamental a las observaciones fotométricas, hasta el extremo de hacer indispensable tenerla en cuenta en la construcción de los instrumentos. Nos referimos al color; sin riesgo de cometer graves errores, no es posible comparar los brillos estelares de coloración distinta, ni afirmar su igualdad con probabilidades de acierto.

Esto obedece al conocido fenómeno de Purkinje, fácil de reconocer y apreciar prácticamente, aunque difícil de explicar científicamente, de un modo satisfactorio. Si una persona observa dos focos luminosos, rojo y verde, por ejemplo, y los juzga igualmente luminosos, al aumentar la luz en igual cantidad para ambos, el foco rojo aumenta en intensidad con mayor rapidez que el verde; y si la iluminación disminuye sucesivamente y en igual proporción, también el foco rojo se amortigua con mayor rapidez y se extingue antes que el otro. Suponiendo que el observador contempla en una habitación, a la luz del día, dos libros encuadernados en aquellos colores, y los juzga igualmente brillantes, al ponerse el Sol el libro rojo se va viendo cada vez menos brillante, y deja de percibirse antes que el otro. Por el contrario, al amanecer, es el primero que se percibe, y aumenta su brillo con mayor rapidez.

Para evitar los efectos de este fenómeno psicológico es preciso comparar siempre estrellas del mismo color, dando a la estrella artificial el matiz que más se aproxime a la coloración de la estrella real observada. De lo contrario, la comparación de estrellas blancas o amarillas con rojas o azuladas conducirá a errores notables de apreciación, siendo muy distintos los juicios de diversos observadores, y aun de uno mismo, según las circunstancias. El eminente astrónomo

Young confiesa que la estrella azulada Vega siempre le pareció mas brillante que la roja Arcturo, contra el parecer de todos sus compañeros, que afirmaban la mayor brillantez de esta última.

En el fotómetro de Zöllner se resuelve esta dificultad mediante una lámina delgada de cuarzo, intercalada en el trayecto de la luz procedente del foco artificial. Los conocidos fenómenos de polarización cromática producidos por el cuarzo, permiten obtener una coloración análoga a la de la estrella real sometida en cada caso a la experimentación.

Entre los fotómetros llamados de polarización merece figurar al lado del de Zöllner el fotómetro meridiano de Pickering, que ha servido para la formación del Catálogo de magnitudes de Harvard College. También en él se utilizan las propiedades de la luz polarizada; pero no se emplea estrella artificial, y se sigue un procedimiento que conduce a una fórmula algo distinta, pero tan sencilla y cómoda en la práctica como la empleada en Potsdam. El anteojo se coloca horizontalmente en la dirección E.-O., y tiene dos objetivos inmediatos, que reciben la luz de dos espejos inclinados 45° . Uno de los espejos envía a su objetivo la luz de la estrella polar, y el otro puede girar alrededor del eje del anteojo y enviar a su correspondiente objetivo la luz de otra estrella situada en cualquier región del meridiano. En la proximidad del ocular hay un doble prisma, que separa cada uno de los haces luminosos procedentes de las lentes respectivas, en otros dos, polarizados en ángulos rectos. Una pantalla intercepta el haz extraordinario procedente de una estrella, y el ordinario de otra, y los dos haces que pasan atraviesan un nicol, pudiendo observarse, mediante un ocular, una imagen de cada una de las estrellas. Mas como los haces que forman estas imágenes están polarizados en direcciones normales, si hacemos girar el nicol, en virtud de las leyes de la polarización, una de las imágenes aumenta de brillo y la otra disminuye, hasta igualarse ambas, cualquiera que sea el brillo intrínseco de las estrellas respectivas; y esta igualdad se consigue cuatro veces en cada

rotación completa del nicol. El observador ve en el campo del instrumento la polar y la estrella de comparación, y, teniendo un ayudante, que lea un círculo graduado cada vez que se consigue la igualdad de brillantez, se puede hacer una observación de las cuatro lecturas correspondientes a cada giro, en cosa de un minuto.

La reducción se hace de un modo muy sencillo: si llamamos A y B los brillos intrínsecos de la polar y de la estrella de comparación, y z el ángulo de giro a partir del punto en que la imagen de la estrella polar desaparece, el brillo de ésta en el momento de la igualdad será, según las leyes de la polarización, $A \cos^2 z$, y el de la otra estrella, $B \sin^2 z$; luego

$$A \cos^2 z = B \sin^2 z \quad \text{o} \quad \frac{A}{B} = \operatorname{tg}^2 z ;$$

y aplicando nuevamente la fórmula de Pogson, que enlaza los brillos A y B con la diferencia de magnitud y la constante ρ , o sea

$$\frac{A}{B} = \rho^{\Delta m},$$

se tendrá

$$\Delta m = \frac{\log \operatorname{tg}^2 z}{0.4},$$

fórmula sencillísima que se tabula para todos los valores de z , y permite encontrar las magnitudes de todas las estrellas observadas en función de la magnitud de la polar.

Con el primer fotómetro meridiano se formó el primer Catálogo fotométrico de Harvard, que comprende 4.260 estrellas de las seis primeras magnitudes. Después se construyó otro fotómetro con lentes mayores, y se ha empleado en la determinación de magnitudes de todas las estrellas hasta la novena magnitud, desde el polo hasta 20° de declinación austral, o sea de más de 20.000 estrellas, constituyendo los trabajos de dicho Observatorio la más interesante fuente de conocimientos de la fotometría estelar.

En los anales del Observatorio de Harvard College se detalla

con toda minuciosidad el procedimiento seguido para purgar los resultados, de los errores producidos por diversas causas, que pueden reducirse a tres principales: la primera puede obedecer a que las dos lentes del objetivo den alguna diferencia de magnitud estelar, cosa que se comprueba fácilmente en un trabajo preliminar, y se aplica la debida corrección cuando ambas lentes no dan igual resultado para una misma estrella observada en igualdad de condiciones; la segunda obedece a la absorción atmosférica, distinta para dos estrellas observadas a diferentes distancias cenitales; pero la pérdida de luz por absorción, función de la secante de la distancia cenital, se calcula separadamente para cada estrella y se aplica la corrección debida; y la tercera procede de que, tomada como tipo la estrella polar, cuya magnitud se supone igual a 2.0, dicha magnitud no sea constante, como efectivamente ocurre, pues hoy se ha descubierto una pequeñísima variación de corto período en el brillo de aquella estrella; esto ha dado lugar a la construcción de la curva de luz de la polar y a la corrección consiguiente, siempre insignificante a la magnitud 2.0.

Otros muchos fotómetros se han empleado en diversos Observatorios, fundados, unos en la polarización de la luz, y algunos, como el fotómetro de cuña, en la extinción de la luz a través de materias más o menos absorbentes; pero una descripción detallada de los mismos es innecesaria para nuestro objeto. Baste decir que los catálogos fotométricos de Harvard y de Potsdam constituyen hoy la base y el punto de partida de todos los trabajos sobre la materia, y son una continuación feliz de toda la labor realizada en Uranometría en épocas anteriores.

VII

Fotometría fotográfica.

La idea de aplicar la fotografía a la reproducción de los cuerpos celestes surgió el mismo día en que el descubrimiento de Niepce y Daguerre se hizo público, mediante la memorable comunicación dirigida por Arago a la Academia de Ciencias de París, el 19 de agosto de 1839. El ilustre astrónomo, previendo las múltiples aplicaciones que podrían hacerse del nuevo descubrimiento a las investigaciones astronómicas, afirmaba que se llegaría a obtener una buena Carta de la Luna y una imagen completa y detallada del espectro solar. Y aunque la realización de las esperanzas de Arago se retardó mucho tiempo, por las dificultades que ofrecía la aplicación a fines astronómicos de los procedimientos fotográficos elementales recién descubiertos, es lo cierto que a partir de aquella fecha no cesaron las tentativas de los astrónomos, ávidos de sacar el mayor partido posible de aquella nueva rama de la Física.

No es, por consiguiente, extraño que a mediados del siglo pasado, cuando se trabajaba con afán en los problemas de fotometría visual, se pensase en la aplicación de la fotografía a la resolución de los mismos, y en 1858, el profesor Bond, de Harvard College, expuso las ideas fundamentales de la fotometría fotográfica, afirmando que la superficie de una imagen fotográfica estelar debe variar con la brillantez del astro y con la duración de la exposición. Dedujo de sus primeros ensayos que, a igualdad de exposición, estrellas de diferente brillo daban imágenes que ofrecían diferencias bien marcadas en superficie y en intensidad; y afirmó la posibilidad de clasificar los astros con arreglo a una escala de magnitudes, fotográfica o química, análoga a la escala óptica corriente, con la ventaja de que la escala

fotográfica estaría basada sobre medidas reales, en lugar de las apreciaciones inseguras, que guiaban a los observadores al expresar por números sus impresiones particulares acerca del brillo relativo de los astros. Puesto que la luz estelar posee una energía química, que se manifiesta al actuar sobre la placa fotográfica, será susceptible de medir con menos error que las impresiones de estrellas diversas sobre el órgano visual, impresiones variables entre distintos observadores, y aun para uno mismo en circunstancias diferentes.

Bond opinaba también que el procedimiento fotográfico resolvería sin dificultad los inconvenientes originados por la diversa coloración de la estrella, cuando en realidad lo que ocurre es que esta circunstancia complica el problema de un modo extraordinario; mas esta contrariedad ha dado ocasión a muy curiosos estudios relativos a los colores, que han aumentado nuestros conocimientos en esta materia.

Prescindiendo por el momento de esta cuestión, que ha sido y continúa siendo motivo de constantes investigaciones, hay que tener en cuenta una porción de circunstancias y tomar varias precauciones, sin las cuales no descansaría sobre base firme una clasificación fotográfica de magnitudes. Desde luego hay que suponer que la placa tiene igual sensibilidad en toda su superficie, y que el desarrollo y demás manipulaciones a que se somete son precisamente idénticos en todos los puntos, sin lo cual sería discutible la utilidad del procedimiento. El empleo de clichés dobles, hasta asegurarse de que la sal de plata está repartida uniformemente por toda la capa de gelatina, es práctica que debe seguirse mientras no se tenga plena confianza en la marca de placas empleadas.

En cuanto a la forma de las imágenes estelares, hay que tener en cuenta que, aunque son perfectamente redondas en el centro de la placa, no lo son en toda la superficie, sino que aparecen alargadas ordinariamente en la dirección del radio; a veces presentan forma elíptica, con su máximo de densidad en un extremo del eje mayor, circunstancia que dificulta la medida de la superficie.

La apariencia de la imagen puede también ser afectada por la exactitud mayor o menor en el movimiento del anteojo. Éste debe ser tan perfecto, que las imágenes estelares permanezcan en sitios fijos de la placa durante todo el tiempo que dure la exposición. Para conseguirlo se utiliza el anteojo-guía, montado paralelamente al fotográfico y conducido por el mismo mecanismo de relojería. En la cruz filar de este anteojo auxiliar se coloca una estrella, que debe conservar su posición mientras dure la exposición de la placa, y la misión del observador es conseguir esta fijeza o llevar la estrella al cruce de los hilos, mediante movimientos lentos del instrumento, si el astro se desvía de su posición.

En cuanto a la imagen estelar, teniendo en cuenta la distancia, debiera deducirse a un punto en la placa fotográfica; pero, en realidad, resulta un disco, porque la luz se esparce por fluorescencia o reflexión. Como la luz descompone la sal de plata esparcida en la capa de gelatina, y el revelador deposita partículas de plata en los sitios en donde la luz ha llegado, mientras en los demás la sal de plata es disuelta y arrastrada por los líquidos fijadores, resulta que la imagen es un agregado de partículas de dicho metal, y su aspecto dependerá del tamaño del grano y de la uniformidad de su distribución. Es necesario, por consiguiente, un estudio previo de las placas que se hayan de utilizar y de la duración de la exposición para cada marca. De los interesantes trabajos realizados por Perrine en el Observatorio de Lick, acerca del particular, resulta que conviene prolongar el tiempo de exposición lo suficiente para que la luz actúe sobre todo el espesor de la capa de gelatina, y efectuar un revelado lento, pero completo. Resulta también que las capas de gelatina delgadas dan mejores resultados que las espesas, y que para usos astronómicos conviene que la cantidad de plata sea mayor que la normal en trabajos ordinarios.

El instrumento empleado influye también en la apariencia de la imagen fotográfica; en los grandes reflectores se originan fenómenos de difracción, y del centro de la estrella parten cuatro radios rectan-

gulares y otros cuatro menores e intermedios, que le dan un aspecto particular, distinto del que se obtiene con anteojos refractores, en que no interviene aquel fenómeno.

Ocurre con frecuencia que las imágenes de estrellas brillantes presentan un anillo o halo, ligeramente separado del disco propio de la estrella; esto obedece a que, en exposiciones largas, la luz ha atravesado la capa de gelatina y ha vuelto a ejercer su acción sobre la misma, después de reflejada en el cristal; y como frecuentemente hay que mantener la exposición durante mucho tiempo, para obtener la imagen de estrellas pequeñísimas, no se puede evitar la formación del halo en las brillantes, presentes en la misma placa.

En los instrumentos de refracción hay que tener también en cuenta la aberración cromática: el objetivo no concentra en un punto único, a distancia fija de la lente, todas las radiaciones simples que integran la luz blanca, aunque se puede hacer que los rayos de determinados colores se reúnan en el mismo plano focal. El constructor elige los colores que han de concurrir en un foco único, o para los cuales se ha de acromatizar el instrumento, con arreglo a los fines a que éste se destina. Si se trata de observaciones visuales, se procura concentrar los rayos que más impresionan al ojo: anaranjado, amarillo, verde y azul; y en este caso, los rayos violeta y ultravioleta convergen en un foco distinto del anterior y a cierta distancia, que se puede calcular y que depende de la abertura y de la longitud focal de la lente. En los aparatos de importancia, estas distancias se determinan para las diversas longitudes de onda, y se forma una escala de distancias focales de varios colores, que acompaña siempre al instrumento. La mejor manera de realizar este trabajo previo es obtener numerosas fotografías de espectros, enfocando sucesivamente sus diversas regiones, y construyendo una curva que tenga por abscisas las longitudes de onda y por ordenadas las distancias focales, y que se llama la curva de color del telescopio.

Puesto que la placa fotográfica es más sensible a los rayos azu-

les y violeta, es evidente que los anteojos ordinarios o visuales no darán buenas fotografías, y para obtenerlas será preciso construir instrumentos especiales, acromatizados para los rayos más refrangibles del espectro; mas como se trata de un material muy costoso, se ha apelado a varios procedimientos, que permiten utilizarlo lo mismo en trabajos visuales que en fotográficos, empleando pantallas coloreadas o lentes correctoras, o separando las componentes del objetivo para obtener el foco actínico, y hasta fabricando placas sensibles a los colores menos refrangibles. Cualquiera que sea el procedimiento que se adopte, es evidente que siempre se pierde parte de la luz que llega del foco luminoso, y no ejerce acción alguna sobre la placa; inconveniente de que están libres los instrumentos reflectores, en que no interviene para nada la aberración cromática.

Otra circunstancia que es preciso tener en cuenta en la fotometría fotográfica es la longitud focal del objetivo: una lente grande con foco corto dará una imagen pequeña, pero muy brillante; mientras una lente de igual abertura y mucha distancia focal dará una imagen mayor, pero menos luminosa. Los constructores indican estos datos mediante una fracción numérica, cuyo numerador representa el diámetro del objetivo y el denominador la distancia focal. Para trabajos fotográficos conviene emplear instrumentos de poca distancia focal, que produzcan la mayor brillantez posible de las imágenes y aseguren la reproducción de astros muy débiles; en cambio, los instrumentos de largo foco dan imágenes más extensas, y en las observaciones visuales facilitan las determinaciones micrométricas, disminuyendo la cuantía de los errores.

Por todo lo que dejamos expuesto, se comprenderá que, a medida que se perfeccionan los procedimientos y se llega a resultados más exactos, o que, por lo menos, inspiran más confianza y dejan más tranquilo el ánimo del investigador, aumenta también el número de elementos que entran en juego para resolver el problema; hay que tomar mayores precauciones en la práctica, y hay que evitar nuevas

causas de error que puedan viciar los valores definitivos. Veamos ahora a lo que se reduce en su esencia el método para determinar la magnitud de una estrella por la medida de su imagen fotográfica.

Charlier planteó el problema en 1889, en los siguientes términos: «Determinar una función que represente la relación que existe entre la imagen y el brillo fotográfico, y en que las constantes tengan valores tales que los brillos fotográficos resultantes concuerden con los obtenidos por observaciones fotométricas.» Partió de la fórmula empírica

$$(z) \quad m = a - b \times \log D,$$

en que m representa la magnitud; D , el diámetro de la imagen fotográfica; a , una constante, que depende de la transparencia de la atmósfera y del tiempo de exposición, y b , otra constante, dependiente del instrumento y de la marca de la placa; a , por consiguiente, puede variar en una misma clase de placas, mientras b no cambiará en placas de la misma marca y empleando el mismo instrumento.

Para determinar las constantes y justificar la bondad de la fórmula, Charlier obtuvo cuatro series de fotografías de 52 estrellas de las Pléyades, cuyas magnitudes fotométricas estaban bien determinadas, y midió los diámetros de todas ellas. Los tiempos de exposición de las cuatro series fueron, respectivamente: 13 minutos, 1^h 30^m, 2^h y 3^h. Cada estrella daba una ecuación de la forma (z), resultando en cada serie 52 ecuaciones con dos incógnitas, a y b , puesto que m es la magnitud conocida de cada astro, y D un dato de observación.

Resueltas por el método de los mínimos cuadrados, encontró para b los cuatro valores:

$$6,719, \quad 6,779, \quad 6,683, \quad 6,814.$$

cuyo promedio es $b = 6,75$.

La casi identidad de los valores de b , en tiempos de exposición tan enormemente discrepantes, prueba que b es una constante independiente de dicho tiempo.

Llevando el valor de b a la fórmula (2), resulta:

$$(3) \quad a = m + 6,75 \log. D;$$

y, resolviendo por el mismo procedimiento, las cincuenta y dos ecuaciones (3) de cada serie, se obtienen para a los siguientes valores:

$$18,77, \quad 20,71, \quad 20,89 \quad \text{y} \quad 21,02,$$

que, como se ve, varían notablemente con el tiempo de exposición. Si ahora se llevan a la ecuación (2) los valores de a , b , y se sustituye en vez de D el diámetro medido en la imagen fotográfica de cada estrella, se obtendrán para m , valores que no serán idénticos a los iniciales; es decir, que las magnitudes así obtenidas, llamadas fotográficas, no serán iguales exactamente a las fotométricas, y la cuantía de estas diferencias o residuos nos dará idea de la bondad del procedimiento, y de si es posible utilizar indistintamente cualquiera de ellos, porque las discrepancias resulten prácticamente despreciables. Como promedio de todos los residuos Charlier obtuvo:

Magnitud fotométrica, menos magnitud fotográfica, igual a 0,22.

Otros investigadores han adoptado fórmulas empíricas algo diferentes, conservando las mismas constantes, y han llegado a resultados en esencia idénticos a los anteriores. La cuestión se reduce siempre a medir diámetros de imágenes fotográficas, a emplear las magnitudes conocidas de ciertas estrellas para determinar las constantes, y a utilizar los valores numéricos de éstas para hallar las magnitudes de las estrellas desconocidas.

Mas ahora surge de nuevo la dificultad relativa al color: para determinar las constantes a y b es preciso elegir como tipos de magnitud conocida estrellas blancas, porque las estrellas rojas no dan en la placa fotográfica imágenes que puedan representar fácilmente su brillo visual; por consiguiente, o se encuentra un método para corregir la diferencia de magnitudes visual y fotográfica de las estrellas rojas, o éstas, que abundan en el cielo, no pueden estudiarse fotográficamente.

De aquí resulta que la diversidad de colores estelares que constituía una dificultad en la fotometría visual, lo es en mayor grado en la fotometría fotográfica. Muchos astrónomos se han ocupado en este asunto que continúa siendo objeto de curiosas investigaciones en la actualidad. Argelander fué el primero que ideó una escala cromática de cuatro colores: rojo, anaranjado, amarillo y blanco; pero él mismo declara que su vista no es bastante sensible a las impresiones del color, para poder clasificar las estrellas sin riesgo de frecuentes equivocaciones.

En 1872 publicó Schmidt las conclusiones de sus numerosos descubrimientos sobre el color estelar, afirmando que éste puede expresarse numéricamente, y dando una escala de 0 a 10, en que 0 representa el blanco puro y 10 el rojo intenso; pero asegura que el 0 no tiene representación efectiva en el firmamento, pues las estrellas más blancas, como Sirio y Vega, siempre tienen mezcla de amarillo, y las estrellas llamadas rojas tienen como color fundamental el amarillo, con una decidida inclinación hacia el rojo. Un rojo como el de las protuberancias o el de la raya C del espectro cromoesférico, jamás se encuentra entre las estrellas.

Otros varios investigadores han adoptado diversas escalas, que asignan valores numéricos a los diferentes matices de color; pero las apreciaciones de distintos observadores son discordantes, y, a veces, lo son también las de un mismo observador, pues la impresión producida por el color de la estrella es modificada por la luz de la Luna y del crepúsculo, la mayor o menor pureza de la atmósfera y la potencia y clase del instrumento empleado. Razonando Chandler sobre la manera de expresar con números la infinidad de matices que ofrece la coloración de las estrellas variables, confiesa su desilusión ante las enormes dificultades físicas y fisiológicas con que hay que luchar para encontrar un método racional y práctico de medida, y establecer una escala de colores que inspire alguna confianza.

A pesar de la gran experiencia que exige el trabajo de clasificar

las estrellas por el color, y de las grandes dificultades que ofrece su medida, se han publicado varios catálogos, y se han ideado varios aparatos, destinados a medir el color estelar y expresarlo numéricamente, llamados colorímetros. Sin embargo, todavía no se ha publicado un catálogo de medidas, basado en el uso de tales instrumentos, y, como dice el P. Hagen, la Colorimetría está muy rezagada respecto de la Fotometría.

Pero el estudio del color ha entrado en una nueva fase y ha tomado modernamente otras orientaciones más racionales y científicas que las fundadas en apreciaciones psicológicas o en el uso de colorímetros. Las investigaciones recientes demuestran que el color está íntimamente relacionado con el tipo espectral, o estado de desarrollo de los astros, como no puede menos de suceder. La luz de una estrella, al atravesar un prisma, queda descompuesta en sus colores elementales, y las líneas o bandas de absorción del espectro indican la falta de determinadas radiaciones simples, en la luz del astro. La composición de los colores que quedan en el espectro dará el color o matiz resultante para cada estrella, que puede preverse o deducirse, con gran aproximación a la verdad, por el examen detenido de un buen espectro. Desde el momento en que falten en éste determinadas radiaciones o existan regiones de absorción, no podemos esperar estrellas completamente blancas; una estrella roja como la raya C del Hidrógeno, exigiría que en su espectro existiese solamente esta raya brillante, o que predominase fuertemente este color. cosa que no sucede, y, por consiguiente, no se encuentran estrellas de rojo puro intenso; tampoco existen estrellas completamente azules pues para esto sería preciso que hubiese una fuerte absorción en la parte roja del espectro, y la absorción se presenta de preferencia en la región opuesta. De todos modos, la inspección detenida de los múltiples y variados espectros estelares, puede llevarnos al conocimiento del color que en cada caso resultará para la estrella, y se podrá asignar con arreglo a la moderna clasificación espectral el color peculiar de cada tipo.

No podemos en esta ocasión hacer historia de los muchos trabajos realizados acerca de la clasificación espectral hasta llegar a la generalmente admitida por los astrónomos, y publicada en el tomo XXVIII del Observatorio de Harvard, bajo la dirección de la señorita Ana Canon, cuya competencia y profundos conocimientos en la materia son universalmente reconocidos. Para nuestro intento, basta recordar lo primera clasificación espectral, publicada en 1849 por el P. Sechi, y en la que se admiten cuatro tipos: estrellas blancas, con líneas de absorción pertenecientes al Hidrógeno, entre las cuales figuran Sirio, Vega y Régulo; estrellas amarillas, como el Sol, Arcturo o Pólux, con numerosas líneas de absorción, principalmente del Hidrógeno y el Calcio; estrellas rojas con bandas de absorción, intensas en la región violeta, y estrellas, también rojas, de magnitudes elevadas, que difieren del tipo anterior, en algunas particularidades que no interesan a nuestro intento.

Ahora bien: los rayos azules y violeta tienen un fuerte poder actínico, e impresionan fuertemente la placa fotográfica; luego las estrellas ricas en estas radiaciones darán una imagen mayor que las estrellas rojas, a igualdad de exposición y a pesar de la igualdad de brillo visual. Las estrellas de los tipos tercero y cuarto de Sechi tienen fuertes bandas de absorción en la región violeta, son de color rojo y ejercen débil acción sobre la placa; luego cuanto más roja es la estrella, mayor es la diferencia entre la magnitud visual y la fotográfica con respecto a una estrella blanca.

Mientras no se encuentre la manera de eliminar esta diferencia, las magnitudes fotográficas no podrán compararse con las obtenidas por la fotometría visual, a no ser que se limite la comparación a los primeros tipos espectrales y se renuncie a estudiar fotográficamente las estrellas rojas. El Observatorio de Yerkes emprendió una serie de investigaciones, encaminadas a conseguir la preparación de placas sensibles a la región del máximo visual del espectro, que se extiende de $\lambda = 5.000$ a $\lambda = 5.900$ unidades Angstrom. Se ensayaron multitud

de baños, sin llegar a resultados completamente satisfactorios, hasta que Wallace, astrónomo de dicho Observatorio, después de asiduos ensayos, encontró uno que producía los resultados apetecidos. El baño es una combinación de pinacianol, pinaverdol y homocol, y las placas teñidas con él, llamadas pan-iso, son sensibles al rojo y sirven para determinar las magnitudes visuales de las estrellas que tienen este color.

El mismo Wallace, Parkust y Jordan demostraron que las magnitudes de las estrellas de todos los colores pueden obtenerse fotográficamente con las nuevas placas, llegando a resultados que muestran la más perfecta concordancia con los obtenidos por el procedimiento visual; pero no se limitaron a dejar resuelta la dificultad inherente al color en el problema que nos ocupa, sino que, como consecuencia de su trabajo, publicaron interesantes investigaciones sobre la «determinación fotográfica del color estelar y su relación con el tipo espectral».

Por lo que llevamos expuesto, se comprende que la determinación del color por simples apreciaciones visuales constituye un procedimiento muy imperfecto, y se sentía la necesidad de un nuevo método que nos condujese a medidas más racionales y seguras. El astrónomo alemán Schwartzchild emitió el primero la idea de que la diferencia entre la magnitud visual de una estrella y la magnitud fotográfica, obtenida con placas ordinarias, debía dar una medida exacta del color estelar, que él llamaba *Farbentonung*, o índice de color, y este índice, medido numéricamente por una diferencia, se relacionaba directamente con el tipo espectral, íntimamente ligado con la edad o estado de evolución de los astros.

El trabajo de Parkust y Jordan consistió en elegir un gran número de estrellas, cuyas magnitudes constaban en el catálogo fotométrico de Potsdam, y obtener fotografías dobles, empleando placas ordinarias y pan-iso de Wallace. Las magnitudes fotográficas deducidas de estas últimas placas por la fórmula de Charlier mostraban admirable

concordancia con las magnitudes de Potsdam; en cambio, las obtenidas con las placas ordinarias, si se trataba de estrellas blancas, coincidían con las magnitudes visuales; mas tratándose de estrellas rojas, siempre ofrecían una diferencia entre la magnitud visual y la fotográfica, que oscilaba entre 0,02 de magnitud a 1,86, creciendo a medida que avanzaba el tipo espectral.

Dichos astrónomos construyeron una curva, en que tomaban por abscisas los valores de magnitud visual, menos magnitud fotográfica de cada estrella, y por ordenadas los tipos espectrales de cada astro con arreglo a la clasificación de Harvard. Construída la curva, puede utilizarse con gran provecho para la determinación del tipo espectral de las estrellas débiles, pues obteniendo dos fotografías de cada una, con placas ordinarias e isocromáticas, se deduce el valor $\Delta m =$ magnitud visual, menos fotográfica, y tomando Δm como abscisa, la ordenada correspondiente determina el tipo espectral. De modo que lo que constituía una dificultad grave en los primeros trabajos fotométricos, pues la diferencia de color era obstáculo muy serio para la comparación de magnitudes, no sólo se ha resuelto satisfactoriamente, sino que se ha convertido en un nuevo recurso para la completa clasificación espectral, que es hoy uno de los asuntos de más trascendencia en el campo de la Astronomía física.

Pero no es eso sólo: son tantas y tan variadas las cuestiones que se presentan en el campo de esta moderna ciencia, que rara vez se estudia o resuelve un problema sin que surjan otros nuevos que obliguen a nuevas investigaciones de Astronomía estelar. Los estudios realizados para someter al mismo procedimiento de medida, astros de diferentes colores, han puesto de manifiesto que el color está en cierto modo relacionado con la magnitud. Struve ha encontrado que las estrellas dobles del mismo color sólo difieren, por término medio, en 0,5 de magnitud; si la diferencia de color entre las componentes de un par es fácilmente apreciable, la diferencia de magnitudes es mayor que la unidad, y cuando la diferencia de colores es muy pronunciada,

las estrellas difieren en más de dos magnitudes. Como comprobación de los hechos citados por Struve, ha encontrado Bell, fotografiando espectros de estrellas dobles, que cuando las componentes tienen el mismo tipo espectral, además de tener el mismo color, las magnitudes no presentan diferencia apreciable; y que cuando la estrella secundaria es de un tipo espectral anterior al de la estrella principal, que es el caso más corriente, además de un contraste decidido en los colores, la diferencia en magnitud es considerable. Las componentes A y B de la doble ϵ Bootis, que tienen espectros muy distintos, son, respectivamente, de magnitud 2, 7 y 5,1; la primera es muy amarilla, y la segunda pronunciadamente azul.

VIII

Fotometría eléctrica.

Hemos dicho que la impresión fisiológica sobre la retina sirvió desde los tiempos más remotos para clasificar las estrellas por sus magnitudes: a mitad del siglo pasado, la fotografía sugirió un nuevo método para establecer la escala de magnitudes estelares, pasando de un efecto fisiológico de la luz a un efecto químico, sustituyendo la sensibilidad retiniana por la sensibilidad de las emulsiones fotográficas. Los últimos años, recogiendo las más modernas orientaciones de la Física, abren a la Astronomía nuevos derroteros, por los que empieza a caminar, cosechando ya notables e inesperados resultados.

La acción de las radiaciones luminosas sobre ciertos conductores, cuya resistencia eléctrica modifican, provocando en otros la emisión de electrones, constituyen nuevos fundamentos de la fotometría estelar. Parece un alarde literario e imaginativo que una teoría novísima, cual la electrónica, y un fenómeno de conocimiento tan reciente como la emisión o desprendimiento de electrones, producido por la acción

de la luz sobre una superficie metálica, pudieran ser la base de un método para determinar la magnitud de una estrella; y, sin embargo, los nuevos procedimientos eléctricos de Fotometría han dado ya resultados de una precisión y sensibilidad extraordinarias, muy superiores a cuanto puede esperarse de los métodos clásicos. Comparando la magnitud de dos estrellas, se ha precisado $0,006 m$, así como en el estudio de estrellas variables se ha conseguido demostrar la existencia de mínimos, antes inapreciables por todo otro procedimiento; esto hace que los métodos eléctricos, poco prácticos por la delicada manipulación y la complicación y precauciones que exigen, constituyan un recurso insustituible para estudios comparativos de alta precisión en investigaciones estelares.

Dos procedimientos de carácter eléctrico se han empleado ya en Astronomía. Uno consiste en el empleo de la pila o celdillas de potasio, y se funda en la propiedad que posee esta substancia, preparada en condiciones especiales, de que su resistencia eléctrica sea modificada por la acción de la luz. Si se establece, pues, un puente de Wheastone, con dos brazos consecutivos de resistencia constante, y los otros dos conteniendo la pila de potasio el uno, y una resistencia regulable el otro, podremos, modificando esta última, establecer el equilibrio del puente, marcando 0 el galvanómetro situado en una diagonal. Establecido el equilibrio, y determinada en la escala del galvanómetro esta posición cero correspondiente a la desviación nula, se hace caer sobre las celdillas de potasio la luz procedente de una estrella, utilizando el cono de luz que forma un objetivo astronómico, esto es, recogiendo sobre la superficie del potasio la imagen extrafocal del astro. Esta iluminación modifica la resistencia, y, por consiguiente, rompe el equilibrio del puente, lo que se traduce en una desviación del galvanómetro.

Supongamos que se opera con dos estrellas de brillos ε y ε' y que las desviaciones del galvanómetro con una y otra están dadas por las lecturas n , n' de la escala correspondiente. Para pequeñas desviacio-

nes del galvanómetro, que es lo que ocurre en este caso por la débil iluminación producida por las estrellas, se establece la proporcionalidad

$$\frac{z}{z'} = \frac{n}{n'}$$

y, como se ha convenido en medir las magnitudes por la fórmula de Pogson

$$\frac{z}{z'} = \rho^{\Delta m}$$

tendremos

$$\frac{z}{z'} = \frac{n}{n'} = \rho^{\Delta m};$$

esto es, que

$$\Delta m = \frac{\log n - \log n'}{0.4}.$$

El segundo procedimiento empleado en las medidas de fotometría estelar consiste en valerse del fenómeno fotoeléctrico de emisión de electrones por la acción de la luz. Para ello se dispone un tubo en cuyo interior se ha hecho el vacío, con dos terminales que enlazan con los polos de una batería; el conductor que forma en el tubo el cátodo consiste en una capa de potasio extendida por una de las caras interiores del tubo, y a cierta distancia de ella se dispone el ánodo, formado por un alambre de platino que termina en el interior, y frente al cátodo en un anillo o aro circular. Los electrones emitidos por el cátodo son recogidos por este anillo que forma el ánodo, y la corriente electrónica se mide con un electrómetro.

El proceso experimental, prescindiendo de detalles que no son aquí oportunos, puede sintetizarse en esta breve explicación: establecida una diferencia de potencial en el tubo o pila fotoeléctrica, mediante una batería, la luz de la estrella, recogida más lejos del plano focal, y formando, por lo tanto, un cono luminoso, penetra por el interior del anillo del ánodo y cae sobre el potasio que forma el cátodo, iluminando esta superficie; entonces se produce un desprendimiento de electrones que parten del cátodo y son recogidos por el ánodo,

observándose en la escala del electrómetro un movimiento del punto referencia, debido a la corriente electrónica. Como esta corriente electrónica depende del número de electrones emitidos, dos observaciones de la escala del electrómetro, n_1 y n_2 , realizadas en dos instantes consecutivos, t_1 y t_2 , nos darán, para velocidad de las cargas,

$$\frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1} = v,$$

y habiéndose establecido que dos focos luminosos, ε y ε' , producen emisiones electrónicas, tales que los números de electrones desprendidos son proporcionales a las intensidades respectivas ε y ε' de iluminación, aplicando la fórmula de Pogson para obtener las magnitudes respectivas

$$\Delta m = \frac{\varepsilon}{\varepsilon'} = \frac{n_2 - n_1}{t_2 - t_1}; \quad \frac{n'_2 - n'_1}{t'_2 - t'_1} = \frac{v}{v'},$$

esto es

$$\Delta m = \frac{\log v - \log v'}{0.4}.$$

Realmente la determinación es más complicada, por el número grande de operaciones exigidas, tanto para conseguir una instalación adecuada cuanto para corregir las observaciones, de todas las causas accidentales de error. Prácticamente, en vez de comparar dos estrellas de brillos, ε y ε' , se compara cada una de ellas con un foco artificial F, estudiando el efecto fotoeléctrico en el orden E, F, E para una de las estrellas, y E', F, E' para la otra, de lo que inmediatamente se deduce la relación de E a E'. Asimismo, durante la observación debemos asegurarnos de que la posición cero, o n_0 , del electrómetro no se ha modificado, por lo que cada medida supone una observación del electrómetro, s_0 , en el instante inicial t_0 ; después, actuando la luz de la estrella, las dos observaciones n_1 y n_2 en instantes t_1 y t_2 ; y, por último, suprimida la iluminación del cátodo, otra observación s'_0 , en un instante posterior t'_0 , en que el electrómetro vuelve a cero. Esto permite corregir el valor v del error debido a la alteración posible del electrómetro.

Las observaciones fotométricas por estos métodos eléctricos exigen, aparte de su delicadeza, gran pericia física por parte del observador, y emplear un tiempo mayor que el exigido por los métodos clásicos; la instalación instrumental es más complicada y menos manejable en trabajos sistemáticos que exigen un número crecidísimo de observaciones. Todas estas razones y el encontrarse estos métodos en estado embrionario han hecho que su empleo no se haya generalizado en los Observatorios; pero los resultados ya conseguidos hacen concebir *grandísimas esperanzas*, y desde luego estos procedimientos de fotometría diferencial sebrepujan en precisión y sensibilidad, con exceso, a cuanto pudiera esperarse de los métodos anteriormente usados.

IX

Por muy endeble y desaliñada que resulte esta disertación, no dejará de servir para poner de manifiesto las diversas fases y vicisitudes por que ha pasado el problema de las *magnitudes estelares* en el transcurso de más de veinte siglos, desde que lo planteó Hiparco de Bitinia, siglo y medio antes de nuestra era, hasta la época actual, en que se trata de utilizar para su resolución las más recientes y atrevidas teorías físicas y los más delicados procedimientos de experimentación.

No contaba el admirable astrónomo griego con más recursos que su ingenio y su pericia. para distribuir las estrellas visibles en seis grupos o clases, sin que sepamos siquiera a qué obedece este número determinado, pues los tiempos que median entre el ocaso o salida del Sol y la aparición o desaparición de estrellas de diferente brillo no siguen ley alguna perceptible que autorice a sospechar que Hiparco pudo fundar en dichos intervalos la distribución en seis clases. Hoy

se aprecia y se expresa numéricamente con aproximación extraordinaria la magnitud estelar en función del número de electrones desprendidos por ciertos cuerpos, conveniente, aunque difícilmente preparados, y sometidos a la acción del foco luminoso. Y entre estos dos procedimientos, que pudiéramos llamar límites, el de la simple inspección ocular de los astrónomos antiguos y el de la aplicación de la moderna teoría electrónica, se ha pasado por una serie de etapas intermedias, en que se han ido utilizando los progresos y los inventos de las ciencias físicas; se ha sacado partido de la invención de los anteojos y de la ley de las aberturas; se han utilizado las leyes de la Fotometría, tanto visual como fotográfica, y se ha aplicado a la solución del problema variedad de placas fotográficas, preparadas para fines diversos, y sensibles a determinados colores.

Esta cuestión, como otras muchas que podríamos citar en la ciencia astronómica, parece que evoluciona con el tiempo. La manera de resolverla, y la bondad de los resultados están en relación directa con los recursos que para el objeto suministran las ciencias auxiliares. El progreso de éstas señala nuevos caminos para llegar al mismo fin, cada vez con mayor seguridad de acierto; pero cada procedimiento nuevo ofrece dificultades peculiares, que es preciso vencer si no se quiere incurrir en lamentables errores. El camino que se recorre en estas investigaciones es áspero y laborioso, pero es en extremo fecundo, porque mientras se trabaja para solventar los obstáculos que ofrece una cuestión determinada, surgen otras nuevas, inesperadas e interesantes, que aumentan incesantemente el campo de las ciencias de observación. Así hemos visto que, persiguiendo Herschell la clasificación estelar en magnitudes, notó que el brillo de los astros no es siempre constante, iniciando la teoría de estrellas variables, que hoy constituye uno de los más interesantes capítulos de la Astronomía física; las dificultades surgidas al comparar estrellas de distinto color dieron origen a la Colorimetría, a muy curiosos artificios para igualar el color de una estrella artificial al de una real, y a verdaderos

prodigios en la fabricación de placas sensibles a las radiaciones de mayor longitud de onda del espectro visible. Pero la cuestión del color plantea una porción de problemas nuevos, relativos a la conexión que existe entre la diferencia de color y la de magnitud en las estrellas dobles, y a las relaciones del color con el tipo espectral, ligado íntimamente a la edad o etapa de evolución de los astros.

Esta serie de tropiezos con que se encuentra el astrónomo, al abordar problemas de astronomía estelar, no es privativa del asunto que nos ocupa, sino muy general y corriente en las investigaciones de carácter físico; así, por ejemplo, cuando a principios del siglo pasado se pudo afirmar la translación del Sol en el espacio y el movimiento propio de las estrellas, que dejaban de ser luminarias fijas o jalones colocados en el firmamento para marcar la ruta del Sol y los planetas, pronto se cayó en la cuenta de que el movimiento propio estelar era una noción incompleta, y apenas tenía valor ni significación si no iba acompañado del conocimiento de otros tres factores: primero, la componente del movimiento estelar en la dirección del observador; segundo, la distancia de la estrella, ya que para un mismo movimiento propio, la velocidad de la estrella puede ser enorme o relativamente pequeña, según sea la distancia al sistema solar; y tercero, la proporción en que el movimiento de la estrella sea modificado por el movimiento del observador; porque si suponemos, por ejemplo, que éste es arrastrado por el movimiento de la tierra en dirección al E. con una velocidad de 20 kilómetros por segundo, una estrella que se mueva en la misma dirección y con la misma velocidad aparecerá en reposo. mientras otra que estuviese realmente en reposo parecería moverse hacia el O. con 20 kilómetros de velocidad.

Estas tres cuestiones han quedado resueltas satisfactoriamente en el siglo pasado: la primera, por el principio de Doppler-Fizeau, que nos suministra la velocidad radial de las estrellas por la observación de la translación de las rayas espectrales; la segunda, por la paralaje estelar, que nos conduce inmediatamente al conocimiento de las

distancias que separan a dichos astros del sistema solar, y la tercera, porque se ha determinado la dirección del movimiento del Sol en el espacio y la magnitud de su translación.

Pero todos estos triunfos de la inteligencia humana tienen sus cortapisas y limitaciones. Es muy grande la máquina del Universo para que la podamos abarcar en toda su magnitud y funcionamiento; y así vemos que el principio de Doppler, prodigioso descubrimiento que nos facilita la manera de resolver problemas insolubles sin su auxilio, presenta serios inconvenientes cuando se trata de estrellas débiles o de espectro mal definido, en que no es posible medir la desviación de las rayas sin grave riesgo de cometer errores de importancia; teóricamente se demuestra que la paralaje de las estrellas se puede medir, y conocer, por consiguiente, las distancias; mas si se tiene en cuenta que dichas paralajes tienen valores más pequeños de 1", y son, por consiguiente, del mismo orden que los errores fortuitos de observación, se comprenderá la inseguridad de los valores obtenidos para aquel elemento, sin que baste a tranquilizar el ánimo la multiplicidad de medidas ni el someter los valores individuales a los más ingeniosos artificios del cálculo numérico; y, por último, la dirección y velocidad del movimiento del Sol, son datos que sólo se conocen dentro de límites bastante amplios, aunque se han determinado por muy diversos procedimientos y por grandes autoridades en la ciencia.

Las consideraciones expuestas a propósito de las magnitudes y de los movimientos estelares pueden aplicarse a todos los problemas relativos a la estructura del Universo, y a la composición química y estado físico de los astros. Surge un problema cualquiera, y se pretende resolverlo con todos los recursos que suministra la ciencia; y mientras se llega a la solución exacta o aproximada, se plantea, una porción de cuestiones nuevas, relacionadas con la que se persigue; de modo que, a medida que la ciencia se enriquece, y aumenta constantemente el caudal de sus conocimientos, crece también de un modo

alarmante el campo de lo desconocido y aparecen nuevos misterios que descifrar; el que más sabe, es el que mejor puede comprender la inmensidad de lo que ignora. En este orden de materias es difícil, a veces imposible, llegar a soluciones completas y categóricas, y debemos contentarnos con una solución aproximada. Cada vez que la Humanidad se ufana y enorgullece con las nuevas conquistas de la ciencia, al aplicar los descubrimientos recientes, a penetrar más y más en los secretos de la Naturaleza, nos salen al paso nuevos tropiezos y mayores dificultades.

Diríase que, así como la gravedad amarra nuestros cuerpos a la superficie de la Tierra, existe también otra fuerza, más misteriosa y más sutil, encargada de sujetar nuestro espíritu y recordarnos nuestra pequeñez, y cuando la imaginación, apoyada en nuestros múltiples conocimientos, se remonta a los espacios sidéreos en busca de las leyes que rigen la dinámica estelar, aquella fuerza extraña le sale al paso y la constriñe a no poder avanzar más allá de ciertos límites. Pero estos inconvenientes, los tropiezos y hasta los fracasos que a veces experimentan los hombres de ciencia en sus generosos intentos; ¿pueden ser motivo de decaimiento y abandono? De ninguna manera; todo problema científico, perseguido por procedimientos racionales, puede conducir a una solución exacta o aproximada, fomentando el progreso de la Humanidad; y mientras no se resuelva, queda la esperanza de resolverlo, y la esperanza es el mejor aliciente de la vida.

Además, los descubrimientos astronómicos han puesto en claro que la Naturaleza se rige por leyes; descubrir cuáles son estas leyes y aspirar al conocimiento de las mismas será fatalmente el eterno empeño de los hombres pensadores. Y en el proceso de investigación podemos asegurar, por experiencia, que surgirán descubrimientos que impulsen el progreso de las ciencias auxiliares, llegando su poderoso influjo hasta las aplicaciones industriales, y contribuyendo al bienestar de la Humanidad. Pero, aun prescindiendo de este punto de vista uti-

litario, el solo hecho de que la Astronomía nos ayuda a comprender la Naturaleza, elevando y afinando nuestro espíritu y apartándolo de miras egoístas y terrenas, es motivo suficiente para que cuantos se dedican al cultivo de esta hermosa ciencia den por bien empleados sus desvelos.

Dijimos al principio que en el último tercio del siglo anterior era preciso reconocer nuestro relativo atraso en ciencias matemáticas y físicas, respecto de los países más cultos, y claro está que este atraso era más pronunciado todavía en la ciencia astronómica, íntimamente relacionada con aquéllas, tan abandonada como ellas por parte de los Gobiernos, atentos a otra clase de preocupaciones y cuidados, o más preterida todavía, por ser una ciencia cara, cuyo cultivo, si ha de servir de algún provecho, exige considerables dispendios, tanto para la adquisición de instrumentos costosos, cuanto para las expediciones que exige la observación de los eclipses, o para la instalación temporal de observatorios en estaciones de altura, que reúnan condiciones estratégicas para el estudio de determinados fenómenos.

Y no puede en manera alguna culparse de incuria al Observatorio de Madrid, que en aquella época dirigía, o, por mejor decir, defendía, un hombre de envidiable reputación, legítimamente ganada por su labor científica, y privilegiada inteligencia. Aquel hombre, respetado, querido y llorado por todos los que tuvimos la suerte de tratarle, dándose perfecta cuenta del prodigioso desarrollo de la Astronomía física, de la protección que a dicha ciencia se dispensaba en Europa y América, y de la casi absoluta carencia de elementos que aquí se sentía para poder competir con los sabios extranjeros, y aun para poder seguirlos o imitarlos en sus notables investigaciones, llamó con frecuencia la atención de la Superioridad, pidiendo protección para la ciencia española, y elementos de trabajo para sus obreros. Pero los oficios de D. Miguel Merino, razonados como lo hacía aquel cerebro excepcional, y redactados con el primor que le dió

fama de original y excelente literato, o se contestaban con evasivas, o no se contestaban, yendo a perderse entre el fárrago de la estéril y rutinaria literatura oficinesca.

¡Con qué rapidez han cambiado las cosas! Comparando el estado científico actual de nuestra patria con el de hace solamente unos cuarenta años, encuentro yo motivos para los mayores optimismos. El progreso de las Matemáticas es evidente. Basta, para convencerse de ello, pasar una ligera revista a las producciones de nuestras Universidades, Academias y demás Centros científicos. Este progreso repercute en el de las ciencias físicas y químicas; los gabinetes de nuestros Establecimientos docentes no guardan ya en los estantes unos aparatos anticuados y polvorientos, destinados a que los escolares los contemplen como cosas extrañas y misteriosas, sino que los estudiantes los manejan y utilizan, y los Poderes públicos han creado un organismo encargado de repartir a los Centros de cultura, material de investigación y de enseñanza.

Consecuencia natural: que hoy en España se investiga, se publica y se cambian nuestras producciones con las de Establecimientos similares de muy diversos países, que responden con usura y con agrado al envío de nuestros trabajos originales.

Es claro que en el terreno de la Astronomía se ha dejado sentir esta influencia benéfica; se ha mejorado el material de los principales Observatorios; se han creado algunos, cuyos principales fines son las investigaciones sobre Física del Globo, y hasta hay un Observatorio de fundación y propiedad particular, provisto de material selecto y modernísimo, utilizable en los más delicados trabajos que hoy se ejecutan en el Extranjero.

Con motivo del eclipse total del Sol ocurrido en 1900, las Comisiones de diversos países de Europa que acudieron a observar el fenómeno en nuestra península, quedaron altamente complacidas al encontrar aquí cuantos datos y antecedentes de Astronomía esférica necesitaron para sus respectivas instalaciones, y pudieron apreciar

la pobreza de nuestros recursos para los trabajos de Astronomía física, que todos los astrónomos intentaban realizar en aquella ocasión.

En 1905, y con idéntico motivo, acudieron a nuestra patria astrónomos eminentes de todo el mundo; visitaron detenidamente el Observatorio de Madrid, examinando la instalación de sus instrumentos fijos, y tomando nota detallada de la labor que con ellos se realizaba. En aquella época ya disponíamos de algunos elementos utilizables en espectroscopia y espectrofotografía, y pudimos hacer una observación completa y provechosa de todas las circunstancias del eclipse.

A partir de aquella fecha el Observatorio de Madrid toma parte activa en el estudio de la física solar, que se realiza simultánea y sistemáticamente en gran número de centros análogos, esparcidos por todo el mundo; publica estadísticas minuciosas de manchas, fáculas, protuberancias y flóculos solares, y, aunque con relativa modestia, aumenta constantemente el material científico, que le permitirá coadyuvar a los trabajos de fotometría, coloración, luminosidad y espectros estelares, algunos de cuyos estudios se han iniciado ya en Madrid con éxito lisonjero.

En una palabra: si no podemos competir con varios Observatorios extranjeros, que disponen de un cuantioso presupuesto oficial, y con frecuencia de espléndidos donativos de particulares, entusiastas de la ciencia de Urania, podemos, en cambio, cooperar modestamente al trabajo incesante que la Humanidad realiza en busca de la verdad científica, y la experiencia nos dice que el mundo sabio solicita y aprecia nuestra colaboración. La perseverancia en el trabajo nos permitirá sacar todo el partido posible de las condiciones privilegiadas de nuestro cielo, y conseguir que España sea un factor importante en el concierto científico mundial.

Los que caminamos al ocaso de la vida, podemos abandonarla con la satisfacción del deber cumplido y con la esperanza lisonjera de

que se aproximan días mejores, porque nuestra juventud estudiosa avanzará con más rapidez que nosotros, ya que encuentra un camino bien definido y libre de obstáculos, y contribuirá eficazmente al aumento y difusión de la cultura, cuya consecuencia es el engrandecimiento de la patria.

CONTESTACIÓN

DEL SEÑOR

D. LUIS OCTAVIO DE TOLEDO

SEÑORES:

AUNQUE durante algunos años tuve gran afición a los estudios astronómicos, mi alejamiento del cultivo de esta disciplina científica data de tan larga fecha, que, sin gran esfuerzo, en esa circunstancia hubiera podido encontrar numerosos y muy sólidos argumentos para no aceptar el encargo que me confirió nuestro querido Presidente, sugerido tal vez por el de nuestra Sección de Exactas, de llevar la voz de la Academia en la solemne recepción de nuestro nuevo y muy querido compañero D. Antonio Vela y Herranz, y darle en su nombre la más cordial y sincera bienvenida.

Varias razones me movieron, sin embargo, a aceptar el encargo recibido: es la primera, la convicción firme e intensa que tengo de la necesidad ineludible contraída por los que pertenecemos a Corporaciones como la nuestra, que se rigen por Estatutos libres, y que libérrimamente eligen sus jefes y directores, de dar constante ejemplo de disciplina y obediencia, muy necesario en esta época de rebelión e insubordinación constantes, no sólo acatando las órdenes de nuestros directores, sino procurando adivinar sus deseos para darles exacto cumplimiento, sin que ello pueda significar en ningún momento dejación de nuestra independencia y libre albedrío, sino reconocimiento del acierto con que al elegirlos hemos procedido al tener la convic-

ción que nada han de desear de nosotros que no haya de redundar en un mayor esplendor y gloria de la Corporación a que pertenecemos.

Una segunda razón que me decidió a ocupar hoy este sitio fué la buena amistad que desde hace largos años nos une al Sr. Vela y a mí. Llevamos muchos años conviviendo en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid; hemos laborado juntos en muchos tribunales de exámenes y grados; hemos formado parte de Comisiones de reformas de planes de estudio, etc., y en todas ocasiones he podido apreciar muy de cerca las dotes de inteligencia, la agudeza de percepción, la cultura extensa e intensa de nuestro nuevo compañero, y también — ¿por qué no decirlo?— la sal ática abundantísima de su ingenio, que sabe sazonar con donaires atinados la exposición de temas y asuntos que no parece posible se presten a ello. En estas condiciones, yo no debía renunciar el honor que se me confiaba; acepté, cual era mi deber, y aquí me tenéis dispuesto a cumplirlo lo mejor que sepa y pueda.

Llega el Sr. Vela a la Academia con un bagaje científico abundantísimo y con unas muestras muy valiosas de su amor al trabajo, y, lo que es más raro en nuestra patria, con unas pruebas de constancia y tenacidad en el mismo que no son frecuentes ni comunes, por desgracia. Hizo sus estudios el Sr. Vela en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central, distinguiéndose en ella por su clara inteligencia y por la agudeza de su ingenio, que le permitían resolver, con cierta soltura y facilidad, los obstáculos que en el estudio de la Matemática se presentan a cada instante.

En virtud de oposición, ingresó como Auxiliar en el Observatorio de Madrid, en enero del año 1884; pocos años más tarde, en abril de 1889, y en virtud de nueva oposición, fué nombrado Astrónomo del mismo Centro, y en este cargo ha seguido hasta que en noviembre del pasado año 1919 ha sido nombrado Jefe del citado establecimiento, cargo que en la actualidad desempeña con beneplácito de sus subordinados, que son más bien sus buenos amigos y compañeros.

En noviembre de 1890 fué nombrado Profesor auxiliar de la Facultad de Ciencias, y con tal carácter ha desempeñado Cátedras de la misma en muy diversas ocasiones; en ese puesto permaneció hasta octubre de 1908, época en que, a propuesta del Claustro de Profesores de la mencionada Facultad, fué nombrado por la Superioridad para desempeñar la cátedra de Astronomía física, cátedra que actualmente regenta con gran satisfacción de sus alumnos, de sus comprofesores y de cuantos tienen noticia del celo, interés y pericia que despliega en el desempeño de sus funciones.

Casi puede decirse que también *en virtud de oposición* obtuvo, en 1895, el cargo de Consejero de Instrucción Pública, que sólo ocupó tres años, porque a una muy reñida oposición puede asimilarse la campaña tenaz y violenta que él y otro ilustrado Profesor, D. Federico Lafuente, tuvieron que sostener para conseguir ser elegidos para tal puesto por el Colegio de Enseñanza privada. Fué aquella la única vez que parte del Consejo de Instrucción Pública ha sido designado por elección, por muy diversas Corporaciones, y entonces consiguió el Sr. Vela, como digo, ser designado para Consejero. Pero la batalla que tuvieron que ganar él y su citado compañero fué muy reñida, y en la campaña periodística que precedió a la acción definitiva, y con la acometividad que suele ser compañera de los pocos años, derrocharon, a guisa de proyectiles de varios calibres, depósito inmenso de la sal ática de que antes os hablaba, y cantidad no pequeña de pimienta, mostaza y otros condimentos de análoga dulcedumbre y suavidad.

Muchos y varios son los trabajos de nuestro nuevo compañero, publicados unos, inéditos otros, escondidos muchos en la labor callada habitual de los Establecimientos que, como nuestro Observatorio astronómico, meteorológico también hasta hace pocos años, no cesan un solo día en el acopio y ordenación de los elementos que, examinados más tarde en sus grandes síntesis, permiten deducir las leyes ignoradas que rigen los sistemas siderales o los fenómenos atmosféricos.

ricos, y también comprobar o perfeccionar aquellas que ya se conocen. Si al examinar los *Resúmenes de las observaciones meteorológicas efectuadas en Madrid* durante bastantes años, y publicadas bajo la dirección de mi ilustre antecesor en esta Academia, D. Miguel Merino, pudieseis separar del resto, la labor efectuada por el Sr. Vela, os sorprendería la cantidad de trabajo allí acumulada, y las horas de vigilia y desvelo que tal labor significa.

Uno de los trabajos más interesantes del Sr. Vela es el titulado *Estudio del teodolito y del antejo de pasos de Salmoiraghi, y determinación de la latitud y de la hora en las estaciones de Plasencia y Burgos*, libro en 4.º, publicado en 1906 por la Dirección General del Instituto Geográfico, y agotado en la fecha actual. En estilo llano y corriente, sin pretensiones de innovación alguna científica, se presentan y resuelven en él cuantas dificultades puedan surgir en la práctica cuando con los instrumentos referidos se trata de resolver el problema de determinar astronómicamente las coordenadas geográficas de un lugar; con los instrumentos citados y la obra del Sr. Vela es casi seguro que ningún observador, por poco experimentado que sea, y aun no conociendo los aparatos con antelación, ha de hallar dificultades de monta en la solución de los interesantes problemas que en él se estudian; en resumen, es una obra de carácter verdaderamente práctico y de inmediata aplicación.

La Asociación Española para el Progreso de las Ciencias ha editado dos interesantes trabajos del Sr. Vela: uno en 1911, titulado *Observaciones de cometas*, publicado también en el *Anuario del Observatorio de Madrid* de 1912, en el cual se contienen instrucciones muy detalladas para efectuar observaciones de estos interesantes astros, enumerando minuciosamente los cálculos necesarios para la reducción de las mismas, y explicando un procedimiento ideado por el autor. En este folleto se insertan, además, los resultados de las observaciones del cometa Halley, realizadas por el Sr. Vela en 1910, y publicadas en la revista *Astronomische Nachrichten*

(tomo 187, núm. 4-466). El segundo folleto, editado en 1914 y titulado *Límites del espectro solar*, contiene, además del estudio teórico de la cuestión, una descripción del espectógrafo de Hilger, llegado a Madrid en 1912, y un análisis de las primeras fotografías que con dicho instrumento se obtuvieron.

Acerca de los *Problemas y métodos astronómicos*.—*Su estado actual*, versan las dos curiosas conferencias que en los días 25 de marzo y 15 de abril de 1915 explicó el Sr. Vela en el Ateneo de Madrid, y que por esta docta entidad fueron editadas; aunque ambas tienen un fin de popularización necesario, pues se dirigían a un público muy ilustrado, pero no formado exclusivamente por profesionales de los estudios astronómicos, están llenas de observaciones y noticias de interés especialísimo para todo género de lectores.

Notabilísimo, es asimismo, el artículo que con el título de *Medida del tiempo* publicó en el *Anuario del Observatorio de Madrid* del año 1907. Todos hablamos del tiempo y su medida; todos escuchamos con frecuencia discusiones acerca de la buena o mediana marcha del reloj que cada interlocutor posee; pero cuán pocos saben la relación exacta que con los fenómenos astronómicos tiene esta medida. A remediar esta ignorancia, mucho más general de lo que a primera vista pudiera creerse; a popularizar el conocimiento de las diversas unidades de tiempo que el astrónomo utiliza, y sus mutuas relaciones, y a enseñar a resolver los problemas elementales que la conversión de unas en otras originan, tiende el artículo del Sr. Vela. Y en verdad que sería difícil encontrar otro escrito en que, en forma tan breve como elemental y práctica, se enseñen a resolver estas cuestiones. El tiempo sidéreo, el solar verdadero, el medio, la ecuación del tiempo, etc., todo cuanto con la medida del tiempo se relaciona, encuentra en el artículo del Sr. Vela lugar y explicación sencilla y adecuada.

De índole análoga al anterior, aunque de menor extensión, es el artículo titulado *Unidades físicas*, inserto en el *Anuario* del año 1908.

y que contribuyó no poco a generalizar el conocimiento de estas unidades.

Aunque su autor dice que *es un índice de cuestiones de Astronomía sideral, pero índice incompleto*, el artículo del Sr. Vela titulado *Las estrellas*, inserto en el *Anuario del Observatorio* correspondiente al año 1910, contiene una multitud de noticias y teorías, que condensan los fundamentos de esta rama de la ciencia. En el mismo *Anuario*, en un artículo de D. Francisco Cos, se da noticia de la multitud de observaciones hechas por el Sr. Vela con el fin de determinar la latitud de Madrid, trabajo tan útil y necesario como poco grato de ejecutar.

Las gentes que ignoran los fundamentos de la Astronomía, dudan con frecuencia de las predicciones que de los fenómenos celestes hacen los profesionales, y muéstranse profundamente sorprendidas al ver que las profecías se realizan hasta en sus más nimios detalles; por la grandeza del fenómeno en sí, por lo que sorprende a todos los seres, no creo exista fenómeno alguno que afecte tanto a la imaginación y a la fantasía popular como el de los eclipses de Sol. El pueblo, y digo pueblo en su acepción más amplia, al ocurrir uno de estos fenómenos, muéstrase asombrado al conocer los anuncios de los Observatorios relativos a la faja terrestre para la cual el eclipse será total o parcial; las horas, minutos y segundos que tendrán de duración todas sus fases; los momentos de los primeros y últimos contactos, etc, etc.; anuncios que ve confirmados por completo, a pesar del deseo, tal vez no manifestado externamente, mas sí sentido en lo íntimo de su ser, de que esos nuevos magos o profetas se equivoquen en sus predicciones. Mas lo que el vulgo ignora es la serie de cálculos minuciosos y delicados que la obtención de cualquiera de esos datos exige; cálculos que obligan al operador a proceder con suma delicadeza, con una calma y una sangre fría muy poco compatible, en general, con la sangre ardiente y la impetuosidad tan frecuente en los habitantes de los países meridionales. De esa calma,

de esa sangre fría y de esa minuciosidad indispensables dió elocuente prueba el Sr. Vela, calculando los datos que en sucinto resumen se publicaron en el *Anuario del Observatorio* correspondiente al año 1912, y que se refieren al eclipse de Sol de 17 de abril del mismo año, que presentó la circunstancia especialísima de ser anular y total en una pequeña zona de nuestra península.

Otros varios artículos relativos a *Movimientos de los cuerpos celestes* (*Anuario* de 1916); *Cálculo de ocultaciones de estrellas y planetas por la Luna* (diversos *Anuarios*); uno muy interesante acerca de *La temperatura del Sol* (*Anuario* de 1919), que contiene los principios fundamentales de las investigaciones realizadas, las fórmulas teóricas deducidas y su adaptación a fórmulas prácticas, que permiten llegar a resultados numéricos, son otros tantos trabajos que acreditan la inteligencia, la perspicacia y laboriosidad de nuestro nuevo compañero.

No menos interesante ha de ser, desde el punto de vista puramente práctico, el *Estudio de los errores de graduación del círculo meridiano de Repsold y de las constantes de la ecuatorial de Grubb*, realizado por el Sr. Vela, y cuyos resultados, aunque no publicados todavía, son de uso constante en el Observatorio, pues, como bien sabéis, son elementos indispensables que hay que tener en cuenta para las numerosas y delicadas correcciones que hay necesidad de aplicar a las observaciones directas para transformarlas en elementos y cifras útiles y aprovechables.

Como veis, la labor del Sr. Vela es copiosa y abundante, y habéis de convenir conmigo en que, si al fallecer su ilustre antepasado en esta casa, D. Vicente Ventosa, la Academia perdió un trabajador infatigable, ha sabido reemplazarle por quien no le va en zaga en amor y entusiasmo por la labor quieta y callada que los estudios astronómicos requieren. ¿No sería acertado el pensar que la convivencia durante muchos años de los señores Ventosa y Vela en el Observatorio de Madrid ha de haber ejercido en el espíritu de este úl-

timo una gran influencia, y una emulación muy noble y sincera la contemplación diaria del ejemplo dado por el primero?

Porque el rasgo o cualidad característica de nuestro llorado compañero D. Vicente Ventosa era la laboriosidad constante, de que dió tantas y tantas pruebas en su larga vida, y que ni la edad avanzada ni los achaques propios de ella consiguieron aminorar ni aun atenuar. En los últimos años de su vida no le era posible asistir a las sesiones de la Academia durante los meses duros de invierno; pero no cesaba de emitir cuantos informes se solicitaban de su pluma. Con frecuencia nos llamaba la atención en sus comunicaciones y cartas acerca del mérito de obras de publicación recientísima; enviaba artículos para nuestra Revista, que exigían tanta y tan cuidada labor como los relativos a la ampliación del método de Gräffe para la resolución de ecuaciones numéricas, trabajos que, por su extensión y por el cuidado exquisito que su ejecución exige, hacen retroceder a ánimos más jóvenes, pero menos esforzados que el suyo.

Ya habéis oído, enumeradas por el Sr. Vela, una serie de trabajos del Sr. Ventosa, entre los cuales descuella indudablemente, por lo numerosa y por la exactitud de los dibujos, la colección de manchas del Sol, reproducidas, copiadas, con una fidelidad y con un sentimiento artístico difícil de reemplazar por ningún otro medio. De mayor amplitud de miras y desarrollo verdaderamente notable fué su discurso de ingreso en esta Academia, que versó sobre la *Exposición de los conocimientos adquiridos acerca de los movimientos estelares*. trabajo que hoy mismo se lee con profundo agrado por las múltiples enseñanzas que encierra. ¡Descanse en paz nuestro anciano y caballero compañero, y quede siempre entre nosotros su memoria como ejemplo digno de imitarse!

Algunas vacilaciones parece haber sentido el Sr. Vela al elegir tema para el discurso cuya lectura acabáis de escuchar, pues los asuntos variadísimos de los problemas actualmente en estudio en la Astronomía física le hacían dudar por las bellezas infinitas y el inte-

rés especialísimo que todos encierran, hasta que al fin se decició por el de *Magnitudes estelares*, que tan magistralmente ha desarrollado. Yo estimo esta elección como un acierto singular, pues en este tema, muy de antiguo conocido y estudiado, ha podido poner de manifiesto las ventajas indiscutibles que los medios y métodos modernos de investigación y observación llevan a los procedimientos antiguos. En otros problemas de la misma ciencia que han surgido en época reciente, y que él mismo señala, como, por ejemplo, el de la velocidad radial de las estrellas y su sentido, o el de la hipótesis acerca de los elementos químicos que constituyen la masa de los astros, se hubiera visto constreñido a una exposición más o menos detallada de los resultados conocidos hasta el día, y al lanzamiento o examen de hipótesis más o menos fundadas acerca de la interpretación de los fenómenos observados, en tanto que en el tema desarrollado la discusión y comparación ha sido llevada a feliz término con cuantos detalles se han podido apetecer.

Examina el Sr. Vela en la primera de las partes en que divide su trabajo, las nociones que, desde los tiempos más antiguos, han tenido acerca de las magnitudes estelares, no sólo los astrónomos, sino hasta el común de las gentes, ya que la observación del cielo a simple vista es propia, no sólo de los profesionales de la Astronomía, sino de cuantos levantan su mirada al firmamento en cualquiera noche serena y despejada. Y si bien es cierto que la primera clasificación de que se tiene noticia de las estrellas en magnitudes, atendiendo a su brillo, se atribuye a Hiparco, es de suponer que, cuantos observadores del cielo le precedieron, debieron iniciar algún medio de ordenación y distinción, pues no es posible creer que su espíritu se impresionase de igual modo al contemplar esas estrellas que, cual Sirio o Vega, admiramos con tanto asombro como delectación, que al examinar aquellas otras que, cual las β y γ de la Osa Mayor, apenas llegan a la tercera magnitud y se confunden con las muchas de igual brillo que tachonan el firmamento; y esto, hablando de estrellas de

tercera magnitud: que con mayor razón y fundamento podría decirse de las de quinta y sexta magnitud, límite al que ordinariamente llega la vista humana. Mas, sea de ello lo que quiera, es lo cierto que la clasificación, basada en la observación directa a simple vista, iniciada o no por Hiparco, se adoptó durante muchos siglos, y fué perfeccionada por multitud de astrónomos, entre los cuales merecen la especial mención que les dedica, Ulugh-Beigh (siglo xv), Ticho-Brahe y Hevelio (siglo xvii).

Relata después el Sr. Vela los trabajos realizados posteriormente al descubrimiento del antejo astronómico, deteniéndose especialmente en los de Flamsteed y Willian Herschell; los trabajos de este último, continuados por su hijo Juan, constituyen una revisión completa de los realizados por sus predecesores, y, además, por la ingeniosidad de sus métodos nuevos de observación, imprimen huellas profundas, no sólo en esta rama, sino en todas las de la Astronomía. La comparación del brillo de cada estrella con el de otras dos, más y menos brillantes, respectivamente, para situarla en un lugar fijo de las series que Herschell formaba, es muy delicada y compleja, y la serie de caracteres (puntos, comas y rayas combinadas) que para expresar esas diferencias empleaba, es sumamente complicada, y tal vez esa complicación haya sido causa de que su método no haya tenido toda la difusión que hubiera sido apetecible.

Sendos párrafos se dedican a examinar *el método de los grados*, inventado por Argelander y sus discípulos, y utilizado en su *Uranometria nova* (Berlín, 1843), y los trabajos comparativos de observaciones de este astrónomo con otras de su discípulo Schönfeld, para llegar a deducir la equivalencia aproximada entre el grado y la décima de magnitud. En este mismo orden de trabajos son notables los de Heis (*Atlas celestes novus*. Colonia, 1872), Behrsnann (*Atlas des sudlichen Gestirnen Himmels*. Leipzig, 1874), Houzeau (*Uranométrie générale*. Bruxelles, 1875), y, sobre todo, los de Gould y sus cuatro discípulos, en Córdoba (República Argentina) para la forma-

ción de su *Uranometría argentina* (1879), citados todos con el encomio y elogio a que son acreedores.

Con toda atención son examinados los principios y postulados que permiten demostrar, cual lo hizo Fechner, que los cambios experimentados por la sensación de diferencia de intensidad lumínica dependen, no de la diferencia absoluta de intensidad del foco, sino de la relación entre la *variación* de la intensidad y la *intensidad* misma; y que permiten, además, referir a fórmulas matemáticas el problema que nos ocupa, fórmulas en las cuales entra una constante, para cuya determinación expone el Sr. Vela la ley de las aberturas límites, y señala los resultados obtenidos por Bessel, Thomas y Struve, asignando para la referida constante el valor 0,4. Termina esta parte del discurso con la fórmula de Pogson, fórmula tan útil como interesante, según después demuestra.

Abandonados hasta cierto punto los métodos directos de observación de magnitudes estelares, pasa el Sr. Vela al examen de los procedimientos fotométricos más precisos y exactos, aunque tampoco exentos en absoluto de errores. Comienza explicando los fundamentos del método fotométrico visual, describiendo someramente el fotómetro de Zöllner, utilizado por Müller y Kempf en la formación del catálogo llamado de Potsdam, así como la manera de operar con él y la transformación de la fórmula de Pogson para obtener la diferencia de magnitud en función de la constante 0,4 y de los ángulos de giro del nicol, hasta conseguir la igualación del brillo de cada una de las dos estrellas observadas con el de la artificial que sirve de término de comparación; no olvidando la manera de atenuar o eliminar los errores inevitables de observación, especialmente del producido por el fenómeno de Purkinfe, relativo a la comparación de las intensidades de brillo de dos estrellas de diversa coloración. Examina también los principios fundamentales del fotómetro meridiano de Pickering, utilizado en la formación del catálogo de Harvard College, así como la nueva transformación de la tantas veces citada fórmula de Pogson.

Aunque la idea de aplicar la fotografía a las investigaciones astronómicas es de Arago, las que sirven de fundamento a la fotometría fotográfica son de Bond, del Harvard College, el cual afirmaba que la superficie de una imagen estelar debe variar con la brillantez del astro y con la duración de la exposición, deduciendo desde sus primeros ensayos las curiosas e interesantes consecuencias que el Sr. Vela nos relata. Imaginaba Bond que el método fotográfico había de vencer sin grandes dificultades los inconvenientes que en la clasificación de las estrellas presentaban los procedimientos anteriores: muchas ha vencido, en efecto; pero han surgido otras no menos importantes debidas a la coloración de las estrellas, pues sabido es que los diversos tonos de luz no impresionan de igual modo la placa fotográfica; la desigual sensibilidad de la superficie de ésta, por delicadamente construída que esté; la influencia que los métodos y procedimientos de revelado pueden ejercer; la influencia que se deja sentir por la naturaleza de los instrumentos empleados en la obtención de los clichés, según sean reflectores o refractores; la longitud focal del objetivo utilizado, y otras mil concausas hacen la aplicación del método y la solución de los problemas a que se aplica mucho más complejos de lo sospechado en un principio, aunque la fórmula de Charlier, empírica en cierto modo, permita obtener excelentes resultados.

A la exposición de los fundamentos de la fotometría fotoeléctrica, último y más moderno y seguro método de investigación, dedica nuestro compañero las páginas finales de su disertación, exponiendo con su claridad y sencillez habituales los resultados ya obtenidos, y las legítimas esperanzas que el nuevo procedimiento hace concebir, y los extensos horizontes que descubre.

Y ahora, reflexionad sobre lo que yo os decía al comenzar, y ved con atención el camino que la Humanidad ha recorrido desde que la observación del cielo estrellado se hacía a simple vista hasta que al examen de las estrellas se aplican los métodos espectroscópicos y fo

toeléctricos, y rendid conmigo un sincero y justo tributo de admiración a la labor tenaz, ingeniosa y perseverante de la pléyade de sabios astrónomos que en ella han intervenido.

En varios párrafos de su discurso ha hecho notar nuestro nuevo compañero de qué manera en Astronomía física, al intentar la solución de un problema, surgen al paso otra multitud que con él están intimamente ligados; realmente este hecho no es privativo de esa ciencia; en todas ellas surgen problemas nuevos, no sospechados tal vez, al intentar resolver algunos cuyo enunciado y planteo es perfectamente conocido, y no sólo esto ocurre, sino que, con frecuencia, plantean cuestiones nuevas y espinosas a aquellas otras ciencias de cuyo auxilio necesitan; un ejemplo palpable y relativamente reciente de esta afirmación se presenta en la necesidad sentida por la Mecánica relativista de la creación de un Cálculo diferencial absoluto, innecesario para la Mecánica ordinaria. Pero entre los problemas que surgen en Astronomía física, al ocuparse de la determinación de las magnitudes estelares, existen dos que, a mi juicio, son del mayor interés: el de su coloración y el de la variabilidad de su brillo.

Respecto al primero, ha podido apreciarse su influencia en la determinación de magnitudes estelares al dar referencia de los métodos fotométricos, en el visual por las perturbaciones producidas por el fenómeno de Purkinfe, y en el fotográfico por las variaciones que esa diversa coloración produce en la placa fotográfica; de ambas ha dado cuenta detallada el Sr. Vela en su discurso.

El fenómeno de la variabilidad de brillo de las estrellas, ligado al de su aparición y desaparición en algunos casos, constituye para mí uno de los más curiosos e inquietantes que en Astronomía se presentan. Fué observado en la antigüedad en diversas ocasiones, según lo atestiguan muchas referencias: descrito con admirable precisión por Ticho-Brahe al dar cuenta de la aparición de la *nova de 1572*, llamada también *la Peregrina*, que se descubrió en 11 de noviembre

del año citado y desapareció hacia marzo de 1576. Estudió nuevamente este fenómeno J. Brunowki, en una estrella descubierta en 10 de octubre de 1604, y en otra situada en el pie derecho de *la Serpiente*, estrella, la última, cuyo brillo llega a exceder al de las de primera magnitud, y que desapareció hacia 1906; y que también se observó en la llamada *Mira Cetti* (ómicron de la Ballena), descubierta por Hohward en 1638, y en otras que pudieran citarse, ninguna con tanta razón como la β de la *Lira*, que con grande esmero estudió Argelander, determinando los períodos de tiempo que transcurren entre los dos máximos y los dos mínimos de su brillo, estudio que confirmaron con los suyos Oudermans, Schönfeld, Plassmann y Lindemann, Schur y Pannecock, y otros astrónomos, que con grande interés lo siguen.

¿Pero qué misterio encierran esas variaciones de intensidad en el brillo? ¿Es cuestión de variación de distancias? ¿Son fenómenos químicos producidos en ellas o en las atmósferas que tal vez las rodean? ¿Será exacta, o al menos aproximada a la realidad, la teoría meteorítica de Lockyer? ¿Cuál será la explicación precisa del fenómeno?

Seamos optimistas; yo tengo la convicción de que en plazo más o menos largo la ciencia encontrará recursos para resolver estas cuestiones con la seguridad y certeza con que va resolviendo otras muchas que hace un siglo o poco más no se hubiera atrevido a plantear.

Al llegar al término de mi tarea y repetir al Sr. Vela, en nombre de la Academia, la más cordial y sincera bienvenida, habéis de permitirme os dé gracias por la paciencia infinita y cumplida cortesía de que habéis dado muestra escuchando mis desaliñadas frases; y que se las dé también a nuestro querido Presidente, no sólo por haberme conferido la honra de llevar en este acto la voz de la Corporación, sino porque el asunto que someramente he debido tratar ha hecho que mi espíritu abandonase durante algunas horas el

planeta que habitamos, y se lanzase por los espacios intersidiales en busca de entes y fenómenos más dignos de atención que muchos de los que nos rodean, y trajese a mi mente la conocida frase de Enrique Poincaré: *La Astronomía es útil y grande, más que por sus aplicaciones, por lo que enaltece nuestro espíritu.*