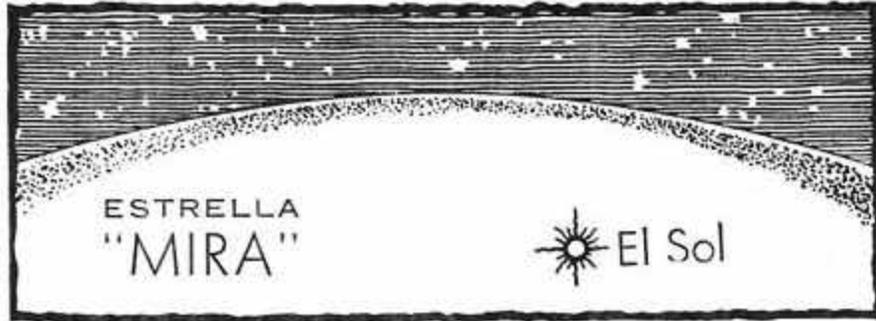


Capítulo Cuarto**LAS ESTRELLAS***Contenido*

[Por qué las estrellas parecen "estrelladas"](#)

[Por qué las estrellas titilan y los planetas brillan serenos](#)

[¿Son visibles las estrellas durante el día?](#)

[Qué es la magnitud estelar](#)

[Álgebra estelar](#)

[El ojo y el telescopio](#)

[Las magnitudes estelares del Sol y de la Luna](#)

[El brillo verdadero de las estrellas y del Sol](#)

[La más brillante de las estrellas conocidas](#)

[La magnitud estelar de los planetas en el cielo terrestre y en los cielos ajenos](#)

[Por qué el telescopio no agranda las estrellas](#)

[Cómo fueron medidos los diámetros de las estrellas](#)

[Los gigantes del mundo estelar](#)

[Un cálculo sorprendente](#)

[La materia más pesada](#)

[Por qué las estrellas se llaman fijas](#)

[Unidades de medida de las distancias interestelares](#)

[El sistema de las estrellas más próximas](#)

[La escala del universo](#)

* * *

Por qué las estrellas parecen "estrelladas"

Mirando las estrellas a simple vista, las vemos rodeadas de rayos de luz. La causa de este aspecto radiante de las estrellas está en nuestros ojos, en la insuficiente transparencia del cristalino, que no tiene una estructura homogénea como un buen cristal, sino filamentosa. He aquí lo que decía sobre esto Helmholtz (en el tratado *Los progresos de la teoría de la visión*)

"Las imágenes de los puntos luminosos percibidas por los ojos presentan rayos irregulares. La causa de esto se encuentra en el cristalino, cuyas fibras están dispuestas radialmente en seis direcciones. Los rayos de luz que nos parece salen de los puntos luminosos, por ejemplo, de las estrellas, de fuegos lejanos, no son más que una manifestación de la estructura radiada del cristalino. Una prueba de lo general que es esta deficiencia de los ojos la tenemos en que a una figura radial casi todo el mundo la llama 'estrellada'".

Hay un procedimiento para poner remedio a esta deficiencia de nuestro cristalino y ver las estrellas desprovistas de rayos sin tener que recurrir a la ayuda del telescopio. Este procedimiento fue indicado hace 400 años por Leonardo da Vinci.

"Mira, escribía él, las estrellas sin rayos luminosos. Esto se puede conseguir observándolas a través de una pequeña abertura hecha con la punta de una aguja fina y colocada lo más cerca posible del ojo. Verás las estrellas tan pequeñas, que ninguna otra cosa puede parecer menor."

Esto no contradice lo dicho por Helmholtz sobre el origen de los "rayos de las estrellas". Por el contrario, la experiencia descrita confirma su teoría; mirando a través de una abertura muy pequeña, en el ojo solamente penetra un fino hacesillo luminoso que pasa a través de la parte central del cristalino y que por esto no sufre la influencia de su estructura radial¹. Si nuestro ojo estuviera construido en forma más perfecta, no veríamos en el cielo "estrellas" sino puntos brillantes.

[Volver](#)

Por qué las estrellas titilan y los planetas brillan serenos

Distinguir a simple vista las estrellas fijas de las "errantes", es decir, de los planetas², es muy fácil, incluso no conociendo el mapa del cielo. Los planetas brillan con luz serena; las estrellas titilan ininterrumpidamente como si se encendieran y vacilaran, cambian su brillo, y las estrellas que brillan a escasa altura sobre el horizonte cambian además incesantemente de color.

"Esta luz, dice Flammarion, ya brillante, ya débil, con fulgores intermitentes, ora blanca, ora verde, ora roja, como los chispeantes reflejos de un límpido diamante, anima la inmensidad del cielo y nos incita a ver las estrellas como ojos que miran hacia la Tierra."

Particularmente brillantes y hermosas titilan las estrellas en las noches de helada y en la época de primavera, y también, después de las lluvias, cuando el cielo se queda rápidamente sin nubes³. Las estrellas cercanas al horizonte titilan más que las que brillan altas en el cielo; las estrellas blancas más que las amarillentas y las rojizas. Como el aspecto radiante, la titilación no es una propiedad inherente a las estrellas mismas; se origina en la atmósfera terrestre, a través de la cual los rayos provenientes de las estrellas deben pasar antes de alcanzar el globo del ojo. Si nos eleváramos por encima de la envoltura gaseosa variable a través de la cual miramos el espacio, no observaríamos la titilación de las estrellas: allá arriba brillan serenas, con luz fija. La causa de la titilación es la misma que hace oscilar los objetos alejados cuando, en el verano, el Sol calienta fuertemente el suelo. La luz de las estrellas tiene que pasar entonces a través, no de un medio homogéneo, sino de capas gaseosas de diferentes temperaturas, de diferente densidad, que es lo mismo que decir de distinto índice de refracción. Es como si en la atmósfera estuvieran esparcidos innumerables prismas ópticos, lentes convexas y cóncavas, que cambian incesantemente de posición. Los rayos de luz sufren en ellos innumerables desviaciones de la línea recta, ya

¹ Al hablar de los "rayos de las estrellas" no consideramos el rayo que parece extenderse hasta nosotros desde una estrella cuando la miramos con los ojos entornados; este fenómeno se debe a la difracción de la luz en las pestañas.

² El significado original de la palabra griega "planeta" es "errante".

³ En verano la titilación intensa constituye una señal de la proximidad de la lluvia, e indica también la proximidad de un ciclón. Antes de la lluvia, las estrellas tienen más bien coloración azul; antes de un período de sequía, coloración verde. (Janevsky, Fenómenos luminosos en la atmósfera.)

concentrándose, ya dispersándose, lo cual da lugar a los cambios rápidos en el brillo de las estrellas. Y como la refracción se acompaña de la dispersión de los colores, junto con la fluctuación del brillo se observan también los cambios de color.

"Existen, escribe el astrónomo de Pulka, G. A. Tijov, después de estudiar el fenómeno de la titilación, procedimientos que permiten contar el número de cambios de coloración que en determinado tiempo se producen en las estrellas que titilan. Resulta que estos cambios son extraordinariamente rápidos, y que su número oscila en muchos casos desde algunas decenas hasta cien y más por segundo. Se puede verificar esto por un sencillo procedimiento. Tomen un binocular y miren por él una estrella brillante, dando al extremo del objetivo un rápido movimiento circular. Entonces, en lugar de una estrella, se ve un anillo formado por muchas estrellas separadas y de variados colores. Con una menor titilación o con un movimiento muy rápido del binocular, el anillo estará formado por arcos de distintos colores, de longitudes grandes y pequeñas."

Queda por explicar por qué los planetas, a diferencia de las estrellas, no titilan, sino que brillan serenos, con luz fija. Los planetas están mucho más cerca de nosotros que las estrellas; por eso se les ve, no como puntos, sino como circulitos luminosos, como discos, aunque de medidas angulares tan pequeñas a consecuencia de su brillo deslumbrante, que estas dimensiones angulares son casi imperceptibles.

Cada punto separado de uno de esos circulitos titila; pero los cambios de brillo y de color de los puntos separados se realizan independientemente unos de otros, en distintos momentos, y así, se compensan; la disminución del brillo de un punto coincide con el aumento del brillo de otro y, por lo tanto, la intensidad total de la luz del planeta no varía. De lo cual resulta el brillo constante, sin titilación, de los planetas. Es tanto como decir que no se ve titilar a los planetas porque titilan en muchos puntos a la vez, pero a distintos tiempos.

[Volver](#)

¿Son visibles las estrellas durante el día?

Durante el día se encuentran sobre nuestras cabezas las mismas constelaciones que medio año atrás eran visibles de noche y que, seis meses más tarde, nuevamente embellecerán el cielo nocturno.

La atmósfera iluminada de la Tierra nos impide verlas, ya que las partículas de aire dispersan los rayos solares en mayor cantidad que la luz que nos envían las estrellas⁴.

Un sencillo experimento puede hacernos ver claramente esta desaparición de las estrellas a la luz del día. En la pared lateral de un cajoncito de cartón se hacen agujeritos dispuestos en forma semejante a alguna constelación y se pega por fuera una hoja de papel blanco. El cajón se coloca en una pieza oscura y se ilumina interiormente. En la pared agujereada aparecen entonces nítidamente los agujeritos iluminados desde el interior, que son como las estrellas en el cielo nocturno. Pero, sin dejar de iluminar interiormente, basta encender en la pieza una lámpara suficientemente luminosa para que las estrellas artificiales de la hoja de papel desaparezcan del todo esto mismo viene a hacer la "luz del día" que apaga las estrellas.

A menudo se oye hablar de que, desde el fondo de una mina profunda, de un pozo, de una chimenea alta, etc., se pueden distinguir las estrellas durante el día. Esta extendida

⁴ Observando el cielo desde una montaña alta, es decir, teniendo debajo la parte más densa y polvorienta de la atmósfera, las estrellas más brillantes se pueden ver también durante las horas del día. Así, desde la cumbre del Ararat (5 km de altura), se distinguen bien las estrellas de primera magnitud a las dos de la tarde; el cielo es allí azul oscuro. (De modo entraño, sin embargo, el capitán del estratóstato "Osoaviajim", encontrándose a una altura de 21 km, señaló que ninguna estrella era visible, aunque el cielo era allí "negro violáceo" según los apuntes de Fedoseenko y Vasenko.)

afirmación, apoyada en la autoridad de personas de renombre, fue hace poco tiempo sometida a comprobación, pero no resultó confirmada.

En realidad, ninguno de los autores que escribió sobre esto, desde Aristóteles en la antigüedad hasta John Herschel en el siglo XIX, observó por sí mismo las estrellas en semejantes condiciones. Todos confiaron en el testimonio de terceras personas. Sin embargo, cuán poco se puede esperar del testimonio de estos testigos presenciales lo indica el interesante ejemplo siguiente. En un diario americano apareció un artículo relativo a la visibilidad diurna de las estrellas desde el fondo de los pozos, a la que consideraba una fantasía. Esta opinión fue enérgicamente refutada en una carta de un granjero, que afirmaba que él mismo había visto de día a Capela y a Algol desde el fondo de un silo de 20 metros de altura. El estudio demostró, sin embargo, que a la latitud en que se encontraba la granja del observador ninguna de las dos estrellas mencionadas se halla en el cenit en la época del año indicada, y, por consiguiente, no podía ser vista desde el fondo del silo.

Teóricamente carece de fundamento que un pozo o una mina puedan ayudar a ver las estrellas durante el día. Como ya hemos dicho, las estrellas no son visibles de día porque están inmersas en la luz del Sol. Esta condición no cambia para los ojos en el fondo de un pozo. En él se elimina solamente la luz lateral; pero los rayos difundidos por las partículas de las capas de aire que están encima de la boca del pozo impedirán, como antes, la visibilidad de las estrellas.

Sin embargo, como las paredes del pozo protegen la vista contra los rayos brillantes del Sol, esto puede facilitar la observación de los relucientes planetas, pero no la de las estrellas. Con el telescopio las estrellas son visibles de día, mas de ningún modo, como algunos piensan, porque miran "desde el fondo del tubo", sino porque la refracción de los rayos en los cristales o su reflexión en los espejos debilita mucho el brillo de la parte examinada del cielo, mientras que el brillo de las estrellas mismas (que se presenta en forma de punto) es por el contrario aumentado. En un telescopio con un objetivo de unos 7 cm de diámetro, se pueden ver de día estrellas de primera y aun de segunda magnitud. Pero en un pozo, una mina o una chimenea no tiene aplicación lo dicho.

Otra cosa sucede con los planetas más brillantes: Venus, Júpiter y Marte en oposición. Éstos brillan mucho más que las estrellas, y por esta razón, en condiciones favorables, pueden ser vistos también en el cielo diurno (ver sobre esto la sección "Planetas a la luz del día")

[Volver](#)

Qué es la magnitud estelar

De la existencia de estrellas de primera, de segunda y de otras magnitudes tienen noticias incluso las personas más alejadas de la astronomía; es ése un conocimiento muy difundido. Pero sobre la existencia de estrellas más brillantes que las de primera magnitud, estrellas de magnitud cero, e incluso de magnitud negativa, posiblemente casi nunca oyeron hablar; hasta les parece incomprendible que entre las estrellas de magnitud negativa se encuentren los astros más brillantes del cielo y que nuestro Sol sea una estrella de "-27ª magnitud". Algunos verán en esto, quizás, incluso una tergiversación del concepto de número negativo. Y, sin embargo, tenemos aquí precisamente un ejemplo muy claro de aplicación lógica de la teoría de los números negativos.

Detengámonos detalladamente en la clasificación de las estrellas por sus magnitudes. Quizás sea necesario recordar que con la palabra "magnitud" se entiende en este caso no una medida geométrica de las estrellas, sino su brillo aparente. Ya en la antigüedad fueron distinguidas en el cielo las estrellas más brillantes, las que se encienden en el cielo del atardecer antes que las demás, y señaladas como estrellas de primera magnitud. Tras ellas seguían las estrellas de segunda, de tercera, etc., hasta las estrellas de sexta magnitud, apenas perceptibles a simple vista. Esta clasificación subjetiva de las estrellas por su brillo no podía satisfacer a los astrónomos de los nuevos tiempos. Fueron elaborados fundamentos más firmes para la clasificación de las estrellas por su brillo. Se basan en lo siguiente. Se

halló que las estrellas más luminosas, por término medio, pues no todas tienen igual brillo, son exactamente 100 veces más brillantes que las estrellas más débiles a simple vista. La escala de brillo de las estrellas fue confeccionada de modo que la relación entre el brillo de las estrellas de dos magnitudes inmediatas sea constante. Llamando n a esta "relación entre las intensidades luminosas", tenemos:

- Las estrellas de 2ª magnitud son n veces más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 3ª magnitud son n veces más débiles que las estrellas de 2ª magnitud.
- Las estrellas de 4ª magnitud son n veces más débiles que las estrellas de 3ª magnitud etc.

Si se compara el brillo de las estrellas de las demás magnitudes con el brillo de las estrellas de primera magnitud, tenemos:

- Las estrellas de 3ª magnitud son n^2 más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 4ª magnitud son n^3 más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 5ª magnitud son n^4 más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.
- Las estrellas de 6ª magnitud son n^5 más débiles que las estrellas de 1ª magnitud.

De las observaciones resultó que $n^5 = 100$. Calcular ahora la magnitud de la relación entre las intensidades luminosas es fácil (con ayuda de los logaritmos):

$$n = \sqrt[5]{100} = 2.5$$

Así, pues, las estrellas de cada magnitud estelar son $2\frac{1}{2}$ veces más débiles que las estrellas de la magnitud estelar anterior⁵.

[Volver](#)

Álgebra estelar

Consideremos un poco más detalladamente el grupo de estrellas más brillantes. Ya hemos señalado que el brillo de estas estrellas es distinto: unas brillan varias veces más intensamente que el término medio, otras son de brillo más débil (el grado medio de su brillo es 100 veces mayor que el brillo de las estrellas apenas distinguibles a simple vista). Hallemos la manera de indicar el brillo de las estrellas que son $2\frac{1}{2}$ veces más brillantes que el término medio de las estrellas de primera magnitud. ¿Cuál es la cifra que antecede al 1? La cifra 0. Esto quiere decir que a estas estrellas hay que considerarlas como estrellas de magnitud "cero". ¿Y dónde poner las estrellas que son más brillantes que las de primera magnitud, no $2\frac{1}{2}$ veces, sino $1\frac{1}{2}$ ó 2 veces? Su lugar está entre 1 y 0, es decir, que la magnitud estelar de un astro tal se expresa por un número fraccionario positivo; como, "estrella de magnitud 0.9", "de magnitud 0.6", etc. Estas estrellas son más brillantes que las de primera magnitud.

Ahora se hace clara también la necesidad de introducir los números negativos para indicar el brillo de las estrellas. Como hay estrellas que por la intensidad de su luz superan a las de magnitud cero, es evidente que su brillo debe ser expresado con números que están del otro lado del cero, es decir, con números negativos. De ahí que haya definiciones de brillo como "-1", "-2", "-1.6", "-0.9" etc.

⁵ Un valor más exacto de la relación entre las intensidades luminosas es 2.512.

En la práctica astronómica la "magnitud" de las estrellas se determina con la ayuda de aparatos especiales, los fotómetros; el brillo de un astro se compara con el brillo de determinada estrella cuya luminosidad es conocida o con una "estrella artificial" del aparato. La estrella más brillante de todo el cielo, Sirio, tiene una magnitud estelar de -1.6. La estrella Canopo (visible sólo en las latitudes del Sur) tiene una magnitud estelar de -0.9. La más brillante de las estrellas del hemisferio Norte, Vega, tiene una magnitud de 0.1; Capeta y Arturo, 0.2; Rigel, 0.3; Proción, 0.5; Altair, 0.9. (Téngase presente que las estrellas de magnitud 0.5 son más brillantes que las estrellas de magnitud 0.9, etc.)

Damos una lista de las estrellas más brillantes del cielo, con el valor de sus magnitudes estelares (entre paréntesis se indican los nombres de las constelaciones a que pertenecen)

Sirio (del Can Mayor)	-1.6
Canopo (de Argos)	-0.9
α del Centauro	0.1
Vega (α de la Lira)	0.1
Capela (α del Cochero)	0.2
Arturo (α del Boyero)	0.2
Rigel (β de Orión)	0.3
Proción (α del Can Mayor)	0.5
Achernar (α de Eridano)	0.6
β del Centauro	0.9
Betelgeuse (α de Orión)	0.9
Altair (α del Águila)	0.9
Aldebarán (α del Tauro)	1.1
Pólux (β de Géminis)	1.1
Espiga (α de Virgo)	1.2
Antares (α de Escorpión)	1.2
Fomalhaut (α del Pez Austral)	1.2
Deneb (α del Cisne)	1.3
Régulo (α de Leo)	1.3

Examinando esta lista vemos que estrellas que sean exactamente de primera magnitud no hay ninguna: de las estrellas de magnitud 0.9, la lista pasa a las estrellas de magnitud 1.1, 1.2, etc., saltando la magnitud 1.0 (primera). La estrella de primera magnitud no es más, por consiguiente, que un patrón convencional del brillo, pero en el cielo no hay ninguna. No debe pensarse que la clasificación de las estrellas en magnitudes está determinada por las propiedades físicas de las estrellas mismas. La clasificación surge de las particularidades de nuestra visión y es consecuencia de una ley común a todos los órganos de los sentidos llamada "ley psicofísica" de Weber-Fechner. Aplicada a la visión, esta ley dice que cuando la intensidad de un foco de luz cambia en progresión geométrica, la sensación de brillo cambia en progresión aritmética. (Es cosa curiosa que la valoración de la intensidad de los sonidos y de los ruidos la hagan los físicos siguiendo el mismo principio que para la medida del brillo de las estrellas. Detalles sobre esto los encontrará el lector en mis libros *Física recreativa* y *Álgebra recreativa*.)

Conociendo ya la escala astronómica de brillo de las estrellas, hagamos algunos cálculos útiles. Calculemos, por ejemplo, cuántas estrellas de tercera magnitud hay que tomar juntas para que brillen como una de primera magnitud. Sabemos que las estrellas de tercera magnitud son más débiles que las de primera magnitud, 2.5^2 , es decir, 6.3 veces; esto nos dice que para igualar el brillo de una estrella de primera magnitud son suficientes 6.3 de tales estrellas. Para tener el brillo de una estrella de primera magnitud, es necesario tomar

15.8 de la cuarta magnitud, etc. Con cálculos semejantes⁶ se hallaron los números que figuran en la tabla que sigue.

Para remplazar a una estrella de primera magnitud son necesarios los siguientes números de estrellas de otras magnitudes:

De 2 ^a	2.5	De 5 ^a	40	De 10 ^a	4.000
De 3 ^a	6.3	De 6 ^a	100	De 11 ^a	10.000
De 4 ^a	16	De 7 ^a	250	De 16 ^a	1.000.000

Con la séptima magnitud entramos ya en el mundo de las estrellas que son imperceptibles a simple vista. Las estrellas de 16^a magnitud sólo se distinguen con los telescopios más potentes; para que fuera posible verlas a simple vista, la sensibilidad del ojo debería aumentar 10.000 veces. Entonces las veríamos tal cual vemos ahora las estrellas de sexta magnitud.

En la tabla anterior no figuran, evidentemente, las estrellas que están "antes de las de primera" magnitud.

Llegamos el cálculo también para algunas de ellas. Las estrellas de magnitud 0.5 (Proción) son más brillantes que las de primera magnitud 2.5^{0.5}, es decir, una vez y media. Las estrellas de magnitud -0.9 (Canopo) son más brillantes que las de primera magnitud 2.5^{1.9}, o sea, 5.8 veces, y las estrellas de magnitud -1.6 (Sirio), 2.5^{2.6}, es decir, 10 veces.

Finalmente, es interesante este otro cálculo: ¿cuántas estrellas de primera magnitud serían necesarias para remplazar la luz de todo el cielo estrellado visible a simple vista?

Supongamos que en un hemisferio celeste hay 10 estrellas de primera magnitud. Se ha observado que el número de estrellas de una magnitud es aproximadamente tres veces mayor que el número de estrellas de la magnitud anterior, y que su brillo es 2.5 veces menor. Por lo tanto, el número de estrellas buscado es igual a la suma de los términos de la progresión:

$$10 + \left(10 \times 3 \times \frac{1}{2.5}\right) + \left(10 \times 3^2 \times \frac{1}{2.5^2}\right) + \dots + \left(10 \times 3^5 \times \frac{1}{2.5^5}\right)$$

Tenemos

$$\frac{10 \times \left(\frac{3}{2.5}\right)^6 - 10}{\frac{3}{2.5} - 1} = 95$$

Así, pues, el brillo total de todas las estrellas visibles a simple vista en un hemisferio es aproximadamente igual a cien estrellas de primera magnitud (o una estrella de 4^a magnitud, -6.6).

Si se hace un cálculo semejante teniendo en cuenta no sólo las estrellas visibles a simple vista, sino todas las que son accesibles a los telescopios contemporáneos, resulta que su luz total es igual en intensidad al brillo de 1.100 estrellas de primera magnitud (o una estrella de magnitud -6.6).

[Volver](#)

El ojo y el telescopio

⁶ Los cálculos resultan fáciles porque el logaritmo de la relación entre las intensidades luminosas es un número sencillo, 0.4.

Comparemos la observación telescópica de las estrellas con la observación a simple vista. Fijemos el diámetro de la pupila del ojo humano para las observaciones nocturnas en 7 mm, como término medio. Un telescopio con un objetivo de 5 cm de diámetro deja pasar más rayos que la pupila

$$\left(\frac{5}{7}\right)^2$$

veces, es decir, aproximadamente, 50 veces más, y con un diámetro de 50 cm, 5.000 veces más. He ahí las veces que el telescopio aumenta el brillo de las estrellas observadas con él. (Lo dicho se refiere solamente a las estrellas y no a los planetas, que tienen un disco visible. Para el cálculo del brillo de los planetas debe tenerse en cuenta, además, el aumento óptico del telescopio.)

Sabiendo esto, puede usted calcular cuál debe ser el diámetro del objetivo de un telescopio para que en él sean visibles estrellas de una u otra magnitud; pero para esto es necesario saber hasta qué magnitud son visibles las estrellas en un telescopio con un objetivo de diámetro conocido. Supongamos, por ejemplo, que en un telescopio con abertura de 64 cm de diámetro se pueden distinguir estrellas hasta de 15^a magnitud inclusive. ¿Qué objetivo es necesario disponer para ver estrellas de la magnitud siguiente, es decir, de 16^a magnitud? Establezcamos la proporción

$$\frac{x^2}{64^2} = 2.5$$

donde x es el diámetro buscado del objetivo. Tenemos

$$x = 64\sqrt{2.5} \approx 100\text{cm}$$

Se necesita un telescopio con un objetivo de un metro de diámetro. Generalizando, para aumentar la visibilidad del telescopio en una magnitud estelar, es necesario multiplicar el diámetro de su objetivo por $\sqrt{2.5}$, es decir, aumentarlo 1.6 veces.

[Volver](#)

Las magnitudes estelares del Sol y de la Luna

Prosigamos nuestra excursión algebraica por el cielo. La escala que se utiliza para apreciar el brillo de las estrellas puede ser usada también para otros astros: los planetas, el Sol y la Luna. Más adelante hablaremos del brillo de los planetas; ahora nos referiremos a las magnitudes estelares del Sol y de la Luna. La magnitud estelar del Sol se expresa con el número -26.8, y la de la Luna llena⁷, con el número -12.6. Por lo dicho anteriormente, el lector sin duda comprende por qué ambos números son negativos. Pero puede ser que quede perplejo ante una diferencia que no parece ser muy grande entre las magnitudes estelares del Sol y de la Luna. La primera parece ser sólo dos veces mayor que la segunda. No olvidemos, sin embargo, que el valor de la magnitud estelar es en realidad un logaritmo (de base 2.5). Y como para comparar dos números no podemos dividir uno por otro sus logaritmos, no tiene sentido que dividamos entre sí las magnitudes de las estrellas cuando queremos comparar su brillo. El resultado de una comparación correcta se muestra en el cálculo que sigue.

Que la magnitud estelar del Sol es de -26.8 quiere decir que el Sol es más brillante que una estrella de primera magnitud.

⁷ En el primero y en el último cuartos de la Luna, su magnitud estelar es igual a -9.

$$2.5^{27.8} \text{ veces}$$

La Luna misma es más brillante que una estrella de primera magnitud

$$2.5^{15.8} \text{ veces}$$

O sea, que el brillo del Sol es mayor que el brillo de la Luna llena

$$\frac{2.5^{27.8}}{2.5^{13.6}} \approx 2.5^{14.2} \text{ veces}$$

Calculada esta potencia (con ayuda de la tabla de logaritmos) resulta 447.000. Ésta es, por consiguiente, la relación exacta entre los brillos del Sol y de la Luna: el astro diurno, en un día claro, ilumina a la Tierra 447.000 veces más intensamente que la Luna llena en una noche sin nubes.

Admitiendo que la cantidad de calor desprendido por la Luna es proporcional a la cantidad de luz que emite (lo cual, sin duda, se aproxima a la realidad), hay que suponer que la Luna nos envía también una cantidad de calor 447 000 veces menor que el Sol. Es sabido que cada centímetro cuadrado, en el límite de la atmósfera terrestre, recibe del Sol alrededor de 2 calorías pequeñas por minuto. De donde resulta que la Luna irradia sobre 1 cm² de la Tierra, en cada minuto, no más de 1/225.000 de caloría pequeña (es decir, puede calentar 1 gramo de agua en 1 minuto a 1/225.000 °C). Esto nos dice claramente cuán sin fundamento son los intentos de atribuir a la luz de la Luna influencia en el clima de la Tierra⁸.

La difundida opinión de que las nubes se esfuman frecuentemente bajo la acción de los rayos de la Luna llena es un burdo error, que se explica porque la desaparición de las nubes durante la noche (originada por otras causas) se puede observar solamente a la luz de la Luna.

Dejemos ahora la Luna y calculemos cuántas veces brilla más el Sol que Sirio, la más brillante de las estrellas de todo el cielo. Razonando como antes, tenemos la relación de sus brillos

$$\frac{2.5^{27.8}}{2.5^{2.6}} = 10.000.000.000$$

es decir, que el Sol es diez mil millones de veces más brillante que Sirio.

Es muy interesante también el cálculo siguiente: ¿cuántas veces la iluminación proveniente de la Luna llena es más brillante que la iluminación de todo el cielo estrellado, es decir, de todas las estrellas visibles a simple vista en un hemisferio celeste? Hemos calculado ya que las estrellas de primera a sexta magnitud inclusive brillan juntas como un centenar de estrellas de primera magnitud. Por consiguiente, el problema se reduce a calcular cuántas veces es más brillante la Luna que cien estrellas de primera magnitud.

Esta relación es igual a

$$\frac{2.5^{13.6}}{100} = 2.700$$

⁸ El problema de si puede o no influir la Luna en el clima con su fuerza gravitacional será examinado al final del libro (ver "La Luna y el clima").

Así, pues, en una noche clara sin Luna recibimos de las estrellas del cielo sólo 1 / 2700 de la luz que nos envía la Luna llena y 1 / (2.700 × 447.000) es decir, 1200 millones de veces menos de la que nos llega del Sol un día sin nubes.

Agreguemos aún que la magnitud estelar de una bujía normal internacional a la distancia de 1 m es igual a -14.2; de donde resulta que la bujía, a la distancia indicada, ilumina con más brillo que la Luna llena $2.5^{14.2 - 12.6}$ o sea, cuatro veces.

No deja quizás de tener interés señalar también que un proyector de un faro de una potencia de 2 mil millones de bujías sería visible a la distancia de la Luna como una estrella de magnitud 4.5, es decir, que podría distinguirse a simple vista.

[Volver](#)

El brillo verdadero de las estrellas y del Sol

Toda la evaluación del brillo que hemos hecho hasta ahora se refería sólo al brillo aparente. Los números dados expresan el brillo de los astros a las distancias a que realmente se encuentran. Pero sabemos que las estrellas se hallan a muy distintas distancias de la Tierra; el brillo aparente de las estrellas nos permite juzgar de su brillo verdadero y de su alejamiento de nosotros; más exactamente, ni de lo uno ni de lo otro hasta que no hayamos deslindado bien ambos factores. Entretanto, es importante saber cuál sería el brillo comparativo o, como se dice, la "luminosidad" de las distintas estrellas si todas se encontraran a la misma distancia de nosotros.

Planteado así el problema, los astrónomos introducen el concepto de magnitud estelar "absoluta" de las estrellas. Magnitud estelar absoluta de una estrella es la que tendría la estrella si se encontrara a la distancia de 10 "pársecs" de nosotros. El "pársec" es una medida especial de longitud que se emplea para expresar las distancias estelares.

Sobre su origen hablaremos más adelante. Ahora diremos solamente que un pársec es igual, aproximadamente, a 30.800.000.000.000 km. El cálculo de la magnitud estelar absoluta no es difícil de hacer si se conoce la distancia de las estrellas y se tiene en cuenta que el brillo disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia⁹.

Pondremos al lector en conocimiento de los resultados de sólo dos cálculos: de los hechos para Sirio y para nuestro Sol.

La magnitud absoluta de Sirio es +1.3 y la del Sol es +4.8. Es decir que, desde una distancia de 30 800 000 000 000 km, Sirio brillaría para nosotros como una estrella de magnitud 1.3, y nuestro Sol como una estrella de magnitud 4.8, o sea, más débil que Sirio

$$\frac{2.5^{3.8}}{2.5^{0.3}} = 2.5^{3.5} = 25 \text{ veces}$$

aunque el brillo aparente del Sol es 10.000.000.000 de veces mayor que el de Sirio. Acabamos de ver que el Sol no es ni remotamente la más brillante de las estrellas del cielo. No se debe, sin embargo, considerar a nuestro Sol como un pigmeo entre las estrellas que lo rodean: su luminosidad es superior a la media. Según

$$2.5^M = 2.5^m \left(\frac{P}{0.1} \right)^2$$

donde M es la magnitud estelar absoluta de la estrella m su magnitud aparente y 2p la paralaje de la estrella en segundos. Podemos hacer las transformaciones siguientes:

⁹ El cálculo puede hacerse por la fórmula siguiente, cuyo fundamento comprenderá claramente el lector cuando más adelante conozca mejor lo que es el "pársec" y lo que es la "paralaje".

$$2.5^M = 2.5^m \times 100p^2$$

$$M \lg 2.5 = m \lg 2.5 + 2 \lg p$$

$$0.4M = 0.4m + 2 + 2 \lg p$$

de donde

$$M = m + 5 + 5 \lg p$$

Para Sirio, por ejemplo, $m = -1.6$ $p = 0.38''$. Su magnitud absoluta es, pues,

$$M = 1.6 + 5 + \lg 0.38 = 1.3$$

los datos de la estadística estelar, el término medio de luminosidad de las estrellas que rodean al Sol hasta una distancia de 10 pársecs resulta igual a la luminosidad de una estrella de novena magnitud absoluta. Como la magnitud absoluta del Sol es igual a 4.8, éste es más brillante que el término medio de las estrellas "vecinas"

$$\frac{2.5^8}{2.5^{3.8}} = 2.5^{4.2} = 50 \text{ veces}$$

Siendo en valor absoluto 25 veces menos brillante que Sirio, el Sol es, sin embargo, 50 veces más brillante que el término medio de las estrellas que lo rodean.

[Volver](#)

La más brillante de las estrellas conocidas

La mayor luminosidad conocida es la de una estrellita de octava magnitud imperceptible a simple vista de la constelación de la Dorada, designada con la letra S. La constelación de la Dorada se encuentra en el hemisferio Sur del cielo y no es visible en las zonas templadas del hemisferio Norte. La estrellita mencionada forma parte de un sistema estelar vecino de la Tierra, la Pequeña Nube de Magallanes, cuya distancia a nosotros es, aproximadamente, 12000 veces mayor que la distancia de Sirio. A semejante distancia, esa estrella tiene que poseer un brillo excepcional para llegar a parecernos de octava magnitud. Sirio, situado a esa misma distancia, brillaría como una estrella de 17ª magnitud, es decir, apenas sería visible con el más potente de los telescopios.

Cuál es, pues, la luminosidad de esta notable estrellad El cálculo da este resultado: menos octava magnitud. Esto quiere decir que nuestra estrella es en valor absoluto ¡unas 400 000 veces más brillante que el Sol! Con tan excepcional brillo, si esta estrella estuviera a la distancia de Sirio, parecería de nueve magnitudes más brillante que éste, o sea, que tendría aproximadamente el brillo de la Luna en cuarto creciente. Una estrella que a la distancia de Sirio derramaría sobre la Tierra tan brillante luz, tiene indiscutiblemente derecho a ser considerada como la más brillante de las estrellas conocidas.

La magnitud estelar de los planetas en el cielo terrestre y en los cielos ajenos

Volvamos ahora al viaje imaginario a otros planetas (expuesto en la sección "Los cielos ajenos") y valoremos con mayor precisión el brillo de los astros que en ellos alumbran. Ante todo señalemos la magnitud estelar de los planetas cuando lucen con su máximo brillo en el cielo de la Tierra. He aquí la tabla

En el cielo terrestre:

Venus	-4.3	Saturno	-0.4
Marte	-2.8	Urano	+5.7
Júpiter	-2.5	Neptuno	+7.6
Mercurio	-1.2		

Examinándola, vemos que Venus es más brillante que Júpiter casi dos magnitudes estelares, es decir, $2.5^2 = 6.25$ veces; más que Sirio, $2.5^{27} = 13$ veces (el brillo de Sirio es de magnitud -1.6).

<u>En el cielo de Marte</u>		<u>En el cielo de Venus</u>	
El Sol	-26	El Sol	-27.5
Fobos	-8	La Tierra	-6.6
Deimos	-3.7	Mercurio	-2.7
Venus	-3.2	Júpiter	-2.4
Júpiter	-2.8	La Luna	-2.4
La Tierra	-2.6	Saturno	-0.3
Mercurio	-0.8		
Saturno	-0.6		
<u>En el cielo de Júpiter</u>			
El Sol	-23	Satélite IV	3.3
Satélite I	-7.7	Satélite V	-2.8
Satélite II	-6.4	Saturno	-2
Satélite III	-5.4	Venus	-0.3

De esta tabla resulta también que el pálido planeta Saturno es aún más brillante que todas las estrellas fijas, con excepción de Sirio y de Canopo. Aquí encontramos una explicación del hecho de que los planetas (Venus, Júpiter) son a veces visibles de día a simple vista, cosa imposible para las estrellas.

Magnitud estelar

Venus desde Mercurio	-7.7
La Tierra desde Venus	-6.6
La Tierra desde Mercurio	-5
Venus desde la Tierra	-4.3
Venus desde Marte	-3.2
Júpiter desde Marte	-2.8
Marte desde la Tierra	-2.8
Mercurio desde Venus	-2.7
La Tierra desde Marte	-2.6
Júpiter desde la Tierra	-2.5
Júpiter desde Venus	-2.4
Júpiter desde Mercurio	-2.2
Saturno desde Júpiter	-2

Damos igualmente tablas del brillo de los astros en los cielos de Venus, de Marte y de Júpiter, sin nuevas aclaraciones, puesto que ellas constituyen solamente una expresión cuantitativa de lo que ya hemos dicho en la sección "Los cielos ajenos"

Al evaluar el brillo de los planetas en el cielo de sus propios satélites debe ponerse en primer lugar a Marte "lleno" en el cielo de Fobos (-22.5); después, a Júpiter "lleno" en el cielo del satélite V (-21), y a Saturno "lleno" en el cielo de su satélite Mimas (-20). En este satélite, Saturno es sólo cinco veces menos brillante que el Sol!

Es interesante, por último, la siguiente tabla del brillo de los planetas observados unos desde otros, en la que aparecen dispuestos por orden decreciente de brillo.

La tabla indica que en el cielo de los planetas mayores, los astros más brillantes son: Venus observado desde Mercurio, la Tierra vista desde Venus y la Tierra vista desde Mercurio.

[Volver](#)

Por qué el telescopio no agranda las estrellas

A las personas que por primera vez dirigen un catalejo a las estrellas fijas, les llama la atención que el tubo, que aumenta notablemente la Luna y los planetas, en nada aumenta las dimensiones de las estrellas, y que incluso las disminuye, convirtiéndolas en un punto brillante que no forma disco. Esto lo notó ya Galileo, que fue el primer hombre que observó el cielo con un telescopio. Describiendo las primeras observaciones realizadas con el antejo de su invención, dice:

"Es digno de ser señalado que la observación con el telescopio resulta distinta para los planetas y para las estrellas fijas. Los planetas aparecen como circulitos claramente dibujados, como pequeñas lunas. Las estrellas fijas no tienen contornos perceptibles. El telescopio aumenta solamente su brillo, de modo que las estrellas de 5ª y 6ª magnitud se hacen por el brillo igual a Sirio, que es la más brillante de las estrellas fijas."

Para explicar esta incapacidad del telescopio en cuanto a las estrellas, es necesario recordar algo de la fisiología y de la física de la visión. Cuando seguimos con la vista a un hombre que se aleja de nosotros, su imagen en la retina se hace cada vez más pequeña. A una distancia suficiente, la cabeza y las piernas del hombre se aproximan tanto en la retina, que no caen ya en distintos elementos (terminaciones nerviosas), sino en uno solo, y entonces la figura del hombre nos parece un punto desprovisto de forma.

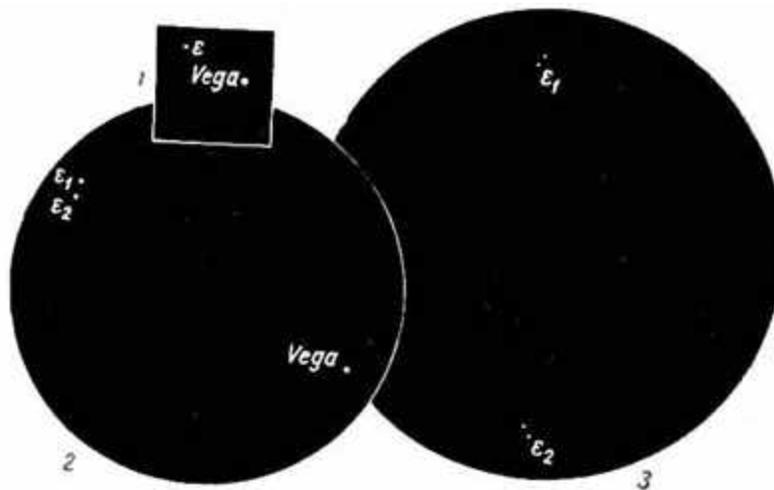


Figura 73. La misma estrella ϵ de la Lira (que se halla cerca de Vega), vista a simple vista (1), con el catalejo (2) y con el telescopio (3)

A la mayoría de las personas les sucede esto cuando el ángulo según el cual observan el objeto disminuye hasta $1'$. La finalidad del telescopio es agrandar el ángulo con el que el ojo ve el objeto o, lo que es lo mismo, extender la imagen de cada detalle del objeto a algunos elementos próximos de la retina. De un telescopio se dice que "aumenta 100 veces" si el ángulo según el cual vemos un objeto con ese telescopio es 100 veces mayor que el ángulo

con que lo vemos a la misma distancia a simple vista. Si aun con este aumento un detalle aparece con un ángulo menor de $1'$, el telescopio dado es insuficiente para la observación de ese detalle.

Es fácil calcular que el más pequeño detalle que podemos distinguir a la distancia de la Luna, con un telescopio que aumenta 1000 veces, tiene un diámetro de 110 m, y a la distancia del Sol, un diámetro de 40 km. Pero si el mismo cálculo se hace para la estrella más próxima, tendremos una magnitud enorme: 12.000.000 km.

El diámetro del Sol es menor que esta magnitud $8\frac{1}{2}$ veces. De esto resulta que, trasladado a la distancia de las estrellas más próximas, nuestro Sol aparecería como un punto incluso con un telescopio de 1000 aumentos. La estrella más próxima debería poseer un volumen 600 veces mayor que el Sol para que los telescopios potentes pudieran mostrar su disco. A la distancia de Sirio, una estrella deberá ser para esto mismo 5000 veces mayor que el Sol, en volumen. Como la mayoría de las estrellas se hallan mucho más allá de las distancias mencionadas y sus dimensiones no superan por término medio en dicho grado a las del Sol, esas estrellas, aun con los telescopios potentes, tienen que verse como puntos.

"En el cielo -escribe Jeans- ninguna estrella tiene una medida angular mayor que una cabecita de alfiler a la distancia de 10 km, y no hay telescopio con el que un objeto de medidas tan pequeñas pueda ser visible como un disco."

Por el contrario, los grandes cuerpos celestes que forman parte de nuestro sistema solar, observados con el telescopio, muestran un disco tanto mayor cuanto mayor es el aumento. Pero como ya tuvimos ocasión de señalar, el astrónomo se encuentra aquí con otro inconveniente: a la vez que aumenta la imagen se debilita su brillo (a consecuencia de la distribución de los haces de luz en una superficie mayor), y esta disminución del brillo dificulta la distinción de los detalles. Por esto, para la observación de los planetas y, particularmente, de los cometas, es conveniente utilizar telescopios de mediano aumento. El lector quizá se haga esta pregunta: si el telescopio no agranda las estrellas, ¿por qué lo utilizan para observarlas?

Después de lo dicho anteriormente, apenas es necesario detenerse en la respuesta. El telescopio es incapaz de aumentar las dimensiones aparentes de las estrellas, pero aumenta su brillo y, por consiguiente, multiplica el número de estrellas accesibles a la vista. En segundo lugar, gracias al telescopio se consigue la resolución de las estrellas que aparecen a simple vista como una sola. El telescopio no puede aumentar el diámetro aparente de las estrellas, pero aumenta la distancia aparente entre ellas; y así, el telescopio nos descubre estrellas dobles, triples y aun estrellas más complejas, allí donde a simple vista vemos una sola (figura 73). Los enjambres de estrellas que a simple vista se pierden en la lejanía como manchas brumosas y en la mayoría de los casos son totalmente invisibles, en el campo del telescopio se resuelven en muchos miles de estrellas separadas. Finalmente, el tercer servicio que el telescopio presta para estudiar el mundo de las estrellas es que da la posibilidad de medir los ángulos con extraordinaria precisión; en las fotografías obtenidas con los grandes telescopios contemporáneos, los astrónomos miden ángulos de la magnitud de $0.01''$. Con tales ángulos se puede ver un kopeck que esté a una distancia de 300 km y un cabello humano a la distancia de 100 m(!).

[Volver](#)

Cómo fueron medidos los diámetros de las estrellas

En los más potentes telescopios, como hemos explicado, es imposible ver el diámetro de las estrellas fijas. Hasta no hace mucho tiempo todas las consideraciones sobre las dimensiones de las estrellas eran sólo conjeturas. Se suponía que cada estrella tenía, por término medio, aproximadamente la magnitud de nuestro Sol, pero nada confirmaba esta suposición. Y como para distinguir los diámetros de las estrellas son imprescindibles telescopios más

potentes que los más poderosos de nuestra época, el problema de la determinación de los diámetros verdaderos de las estrellas parecía insoluble.

Tal era el estado del problema en 1920, año en que nuevos métodos e instrumentos de investigación abrieron a los astrónomos el camino para la medida de las dimensiones verdaderas de las estrellas.

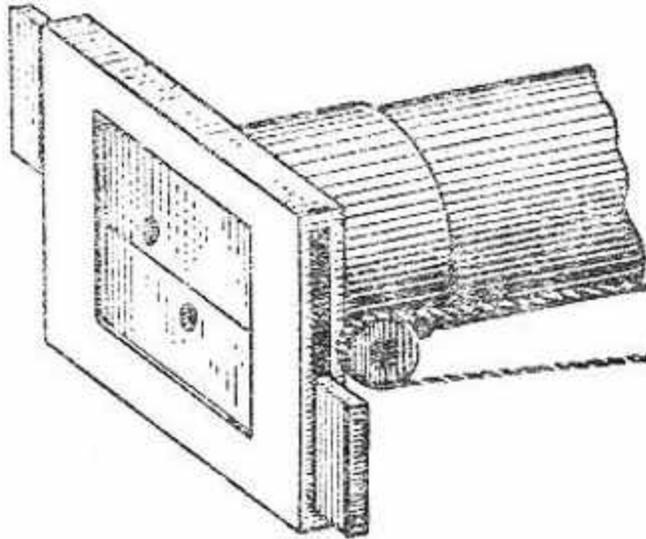


Figura 74. Esquema del dispositivo del "interferómetro para la medida de los diámetros angulares de las estrellas (Explicación en el texto)

Con esta reciente adquisición de la astronomía está vinculada su fiel compañera, la física, que tantas veces le ha prestado los más valiosos servicios.

Expondremos seguidamente los fundamentos de este método, basado en el fenómeno de la interferencia de la luz.

Para aclarar el principio en que se basa este método de medida, hagamos una experiencia que exige el empleo de algunos aparatos: un pequeño telescopio de 30 aumentos y una fuente luminosa brillante interceptada por una pantalla que tiene una estrecha ranura vertical (de unas décimas de mm). Coloquemos el telescopio a una distancia de 10 a 15 m de la fuente de luz. Cubramos el objetivo con una tapadera opaca que lleve dos orificios circulares de unos 3 mm de diámetro dispuestos horizontalmente de manera simétrica con relación al centro del objetivo, a una distancia de 15 mm uno del otro (figura 74).

Observando sin la tapadera, la ranura tiene en el telescopio la forma de una franja estrecha con rayas mucho más tenues los lados. Con la tapadera, la franja central brillante aparece rayada por franjas oscuras verticales. Estas franjas aparecen como consecuencia de la acción recíproca (interferencia) de los dos haces luminosos que pasan a través de los orificios de la tapadera del objetivo. Si se tapa uno de los orificios, estas franjas desaparecen: Si los orificios del objetivo se hacen móviles de modo que la distancia entre ellos pueda variar, entonces, a medida que se separan, las franjas oscuras se vuelven cada vez menos claras y finalmente desaparecen. Conociendo la distancia que hay entre los orificios en este momento, se puede determinar la anchura angular de la ranura, es decir, el ángulo con que el observador ve el ancho de la ranura. Si se conoce la distancia hasta la ranura, se puede calcular su ancho real. Si en lugar de la ranura tenemos un orificio pequeño, el procedimiento para la determinación del ancho de esta "ranura circular" (es

decir, el diámetro del circulito) es el mismo, pero es necesario multiplicar el ángulo obtenido por 1.22.

Para la medición de los diámetros de las estrellas procederemos de la misma manera, si bien debido a la extraordinaria pequeñez del diámetro angular de las estrellas, deberán utilizarse telescopios muy potentes.

Además del método basado en el "interferómetro" que acabamos de describir, hay otro procedimiento menos directo para la determinación del diámetro verdadero de las estrellas, basado en el estudio de sus espectros.

Por el espectro de una estrella los astrónomos saben su temperatura, con la que se puede calcular el valor de la irradiación por cada cm^2 de superficie. Si, además de esto, se conoce la distancia de la estrella y su brillo aparente, se puede determinar la magnitud de la irradiación de toda su superficie. La relación entre esta irradiación y la primera da la medida de la superficie de la estrella, o lo que viene a ser lo mismo, de su diámetro. Por esta vía se encontró, por ejemplo, que el diámetro de Capeta es 16 veces mayor que el del Sol, el de Betelgeuse 350 veces, el de Sirio, 2 veces y el de Vega $2\frac{1}{2}$ veces. El diámetro del satélite de Sirio es igual a 0.02 del diámetro del Sol.

[Volver](#)

Los gigantes del mundo estelar

Los resultados de la determinación de los diámetros de las estrellas fueron verdaderamente extraordinarios.

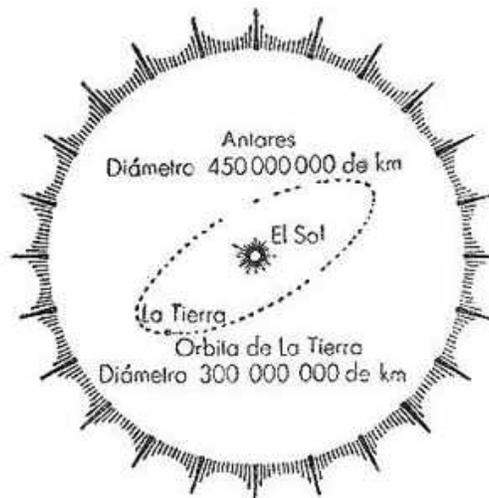


Figura 75. La estrella gigante Antares (a del Escorpión) podría englobar a nuestro Sol con la órbita de la Tierra

Los astrónomos no sospechaban antes que en el espacio pudiera haber estrellas de tan gigantesco tamaño. La primera estrella cuyas dimensiones verdaderas se determinaron (en 1920) fue la brillante estrella α de Orión, que lleva el nombre árabe de Betelgeuse. Su diámetro resultó ser mayor que el de la órbita de Marte (!). Otro gigante es Amares, la estrella más brillante de la constelación del Escorpión: su diámetro es aproximadamente una vez y media mayor que el diámetro de la órbita de la Tierra (figura 75). Entre las estrellas gigantes descubiertas hasta ahora se puede colocar también a la maravillosa Mira, estrella de la constelación de la Ballena, cuyo diámetro es 400 veces mayor que el de nuestro Sol. Detengámonos un poco en la estructura física de estos gigantes. El cálculo muestra que estas estrellas, a pesar de sus colosales dimensiones, contienen relativamente poca cantidad de materia. Son pocas veces más pesadas que nuestro Sol, y como por su volumen Betelgeuse, por ejemplo, es 40 000 000 de veces mayor que él, la densidad de esta estrella

tiene que ser insignificante. Y si la materia del Sol tiene como promedio una densidad igual a la del agua, la densidad de la materia de las estrellas gigantes, proporcionalmente, viene a ser la del aire enrarecido. Estas estrellas, de acuerdo con la expresión de los astrónomos, "recuerdan a esos gigantescos aerostatos extraordinariamente ligeros, de densidad mucho menor que la del aire".

[Volver](#)

Un cálculo sorprendente

Es interesante examinar, en relación con lo anterior, cuánto ocuparían en el cielo todas las estrellas si se pusieran juntas sus imágenes aparentes.

Ya sabernos que el brillo conjunto de todas las estrellas accesibles al telescopio es igual al brillo de una estrella de magnitud -6.6. Una estrella semejante brilla 20 magnitudes estelares más débilmente que nuestro Sol, es decir, 100 000 000 de veces menos que él. Si por la temperatura de su superficie se considera al Sol como una estrella media, se puede decir que la superficie aparente de nuestra estrella imaginaria es menor que la superficie aparente del Sol el número de veces indicado. Y como los diámetros de los círculos son proporcionales a las raíces cuadradas de sus superficies, el diámetro aparente de nuestra estrella debe ser 10 000 veces menor que el diámetro aparente del Sol, es decir, debe ser

$$30' : 10\,000 \approx 0.2''$$

El resultado es sorprendente: la superficie aparente total de todas las estrellas ocuparía en el cielo la extensión de un circulito de 0.2" de diámetro angular. El cielo contiene 41.253 grados cuadrados; es fácil calcular por esto que las estrellas visibles en un telescopio cubren solamente

$$1 / 20.000.000.000$$

parte de todo el cielo (!).

[Volver](#)

La materia más pesada

Entre las curiosidades que el espacio encierra en sus profundidades seguramente figurará siempre en lugar destacado una diminuta estrella cercana a Sirio. Esta estrella está constituida por una materia que es ¡60 000 veces más pesada que el agua! Cuando nosotros cogemos con la mano un vaso de mercurio, nos sorprende su peso de alrededor de 3 kg. Pero ¿qué diríamos de un vaso de materia que pesara 12 toneladas y que exigiera para su transporte una plataforma de ferrocarril? Esto parece absurdo y, sin embargo, es uno de los descubrimientos de la astronomía contemporánea. Este descubrimiento tiene una larga historia muy instructiva. Desde hace mucho tiempo se ha observado que el brillante Sirio realiza su movimiento propio entre las estrellas, no en línea recta como la mayoría de las demás estrellas, sino siguiendo una extraña trayectoria sinuosa (figura 76). Para aclarar esta particularidad de su movimiento, el famoso astrónomo Bessel supuso que Sirio iba acompañado de un satélite cuya atracción altera su movimiento. Esto ocurrió en 1844, dos años después de que fuera descubierto Neptuno en el "extremo de la pluma". Y

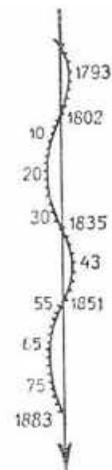


Figura 76. La trayectoria de Sirio entre las estrellas, desde 1793 hasta 1883

en 1862, después ya de la muerte de Bessel, su hipótesis recibió plena confirmación, pues el supuesto satélite de Sirio fue visto con el telescopio.

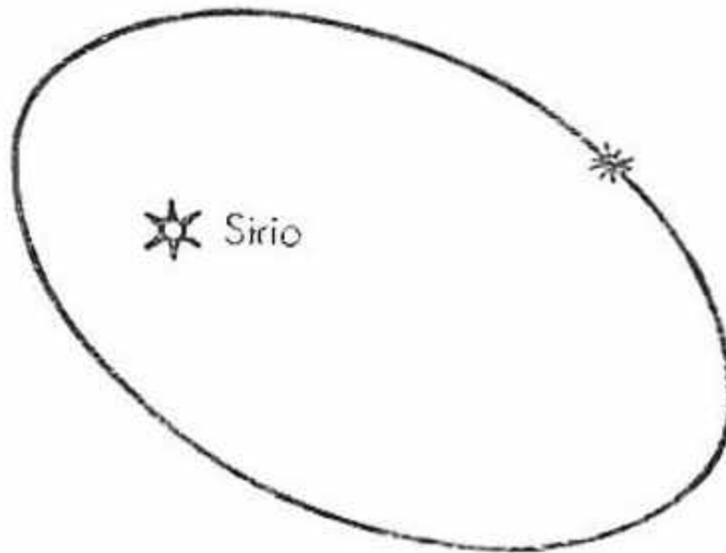


Figura 77. Órbita del satélite de Sirio con respecto a éste. (Sirio no se encuentra en un foco de la elipse aparente porque al estar la verdadera elipse desfigurada por la proyección, la vemos según cierto ángulo).

El satélite de Sirio, el llamado Sirio B, gira alrededor de la estrella principal en 49 años, a una distancia 20 veces mayor que la de la Tierra al Sol, es decir, aproximadamente a la distancia de Urano (figura 77). Es una estrellita de octava magnitud; pero su masa es muy considerable, casi 0.8 de la masa de nuestro Sol. A la distancia de Sirio, nuestro Sol debería brillar como una estrella de magnitud 1.8; pero si el compañero de Sirio tuviera una superficie menor que la solar que correspondiera a la relación de las masas de estos astros, a la misma temperatura debería brillar como una estrella de segunda magnitud. Los astrónomos explicaron primeramente tan débil brillo por la baja temperatura de la superficie de esta estrella; la consideraron como una estrella en enfriamiento cuya superficie está cubierta ya con una corteza sólida.

Pero esta suposición resultó errónea. Hace 30 años se pudo determinar que el modesto satélite de Sirio no es en modo alguno una estrella en extinción, sino que, por el contrario, pertenece a las estrellas que tienen una elevada temperatura superficial, mucho más elevada que la de nuestro Sol. Esto cambia totalmente el problema. Su débil brillo debe atribuirse sólo a la pequeña magnitud de la superficie de esta estrella. Se calculó que irradia 360 veces menos luz que el Sol, lo cual quiere decir que su superficie debe ser, por lo

menos, 360 veces menor que la solar, y su radio, $\sqrt{360}$ veces menor, o sea, 19 veces más pequeño que el del Sol. De donde se deduce que el volumen del satélite de Sirio debe ser menos de $1 / 6800$ del volumen del Sol, mientras que su masa constituye apenas 0.8 de la masa del astro diurno. Esto indica claramente la enorme condensación que ha de tener la materia de esta estrella. Un cálculo más preciso da para el diámetro de la estrella sólo 40.000 km y, por consiguiente, para su densidad, el valor gigantesco que mencionamos al principio: 60.000 veces mayor que la densidad del agua (figura 78).

"Desconfiad, físicos; pretenden invadir vuestros dominios", habría que decir recordando las palabras pronunciadas por Kepler, cierto que con otro motivo. En realidad, nada semejante podía haberse imaginado hasta ahora un físico. En las condiciones normales, una densidad

tan grande es completamente increíble, ya que los espacios normales entre los átomos de los cuerpos sólidos son tan pequeños, que no podría tener lugar ninguna condensación notable de la materia. Pero el problema es distinto si se trata de átomos "mutilados", desprovistos de los electrones que giran alrededor del núcleo. La pérdida de los electrones disminuye el diámetro del átomo algunos miles de veces sin casi disminuir su masa; el núcleo desnudo es menor que el átomo normal tantas veces como viene a serlo una mosca respecto a un gigantesco edificio.



Figura 78. El satélite de Sirio está constituido por una materia que es 60.000 veces más densa que el agua. Algunos centímetros cúbicos de esta materia podrían equilibrar el peso de 30 hombres

Aproximados por las enormes presiones que reinan en las entrañas de la esfera de una estrella, estos reducidos átomos-núcleos podrían acercarse miles de veces más que los átomos normales y formar una materia de tan inusitada densidad como la descubierta en el satélite de Sirio. Pero aún hay más: esta densidad es superada por la de la estrella llamada de Van Maanen. Esta estrellita de 12^a magnitud no supera por sus dimensiones al globo terrestre, pero está constituida por una materia que es 400.000 veces más pesada que el agua.

Y éste no es el grado máximo de densidad. Teóricamente puede suponerse la existencia de materia aún mucho más densa. El diámetro del núcleo atómico constituye no más de 1/10.000 del diámetro del átomo, y el volumen, por consiguiente, no más 1/10¹² del volumen del átomo. Un m³ de metal contiene a lo sumo cerca de 1/1.000 mm³ de núcleos atómicos, y en este minúsculo volumen está concentrada toda la masa del metal. 1 cm³ de núcleos atómicos debe pesar, aproximadamente, 10 millones de toneladas (figura 79). Después de lo dicho, no debe parecer inverosímil el descubrimiento de una estrella cuya materia tiene una densidad media 500 veces mayor que la de la estrella Sirio R. Nos referimos a una pequeña estrella de 13^a magnitud de la constelación Casiopea, descubierta a fines de 1935. Siendo por su volumen no mayor que Marte y ocho veces menor que el globo terrestre, esta estrella posee una masa que supera casi tres veces la de nuestro Sol (más exactamente, 2.8 veces). En las unidades habituales la densidad media de su materia es de 36.000.000 g/cm³. Esto significa que 1 cm³ de esta materia pesaría en la Tierra 36 toneladas (!). Esta materia, por consiguiente, es más densa que el oro casi 2 millones de

veces¹⁰. Sobre cuánto debe pesar un centímetro cúbico de esta materia pesado en la superficie de la estrella misma, hablaremos en el capítulo V.

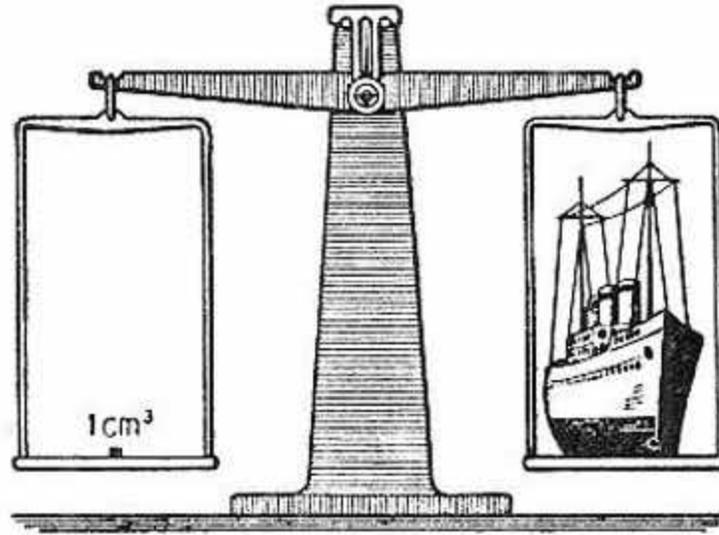


Figura 79. Un cm^3 de núcleos de átomos, incluso sin estar comprimidos, podría equilibrar el peso de un barco trasatlántico. Colocados apretadamente en un volumen de 1 cm^3 , los núcleos pesarían ¡10 millones de toneladas!

Pocos años atrás los sabios probablemente hubieran considerado del todo imposible la existencia de materia con densidad varios millones de veces mayor que la del platino. Los abismos del universo seguramente esconden todavía muchas curiosidades similares.

[Volver](#)

Por qué las estrellas se llaman fijas

Cuando en la antigüedad fue dado a las estrellas este epíteto, se quería subrayar con esto que, a diferencia de los planetas, las estrellas mantienen en la bóveda celeste una posición invariable. Naturalmente, toman parte en el movimiento diario de todo el cielo alrededor de la Tierra; pero este movimiento aparente no altera sus posiciones relativas. Los planetas, en cambio, modifican continuamente sus posiciones con respecto a las estrellas, errando entre ellas, por lo cual recibieron ya en la antigüedad esa denominación de planetas (la voz planeta significa errante). Sabemos ahora que la representación del mundo estrellado como un conjunto de soles fijos en su inmovilidad es totalmente errónea.

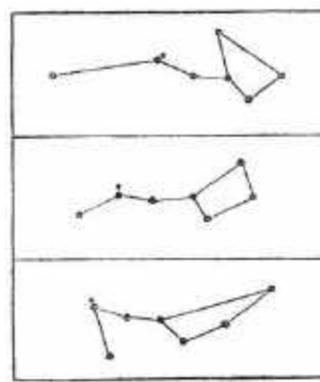


Figura 80. La forma de las constelaciones cambia con el correr del tiempo. El dibujo del centro representa el carro de la Osa Mayor en la actualidad, el superior 100.000 de años atrás, y el inferior, dentro de 100.000 años.

¹⁰ En la parte central de esta estrella la densidad de la materia debe alcanzar un valor extraordinario, aproximadamente, de miles de millones de gramos por cm^3 .

Todas las estrellas¹¹ y entre ellas también nuestro Sol, se mueven una con relación a otra con velocidades del orden de los 3,0 km/s, por término medio, es decir, con la misma velocidad con que nuestro planeta gira en su órbita.

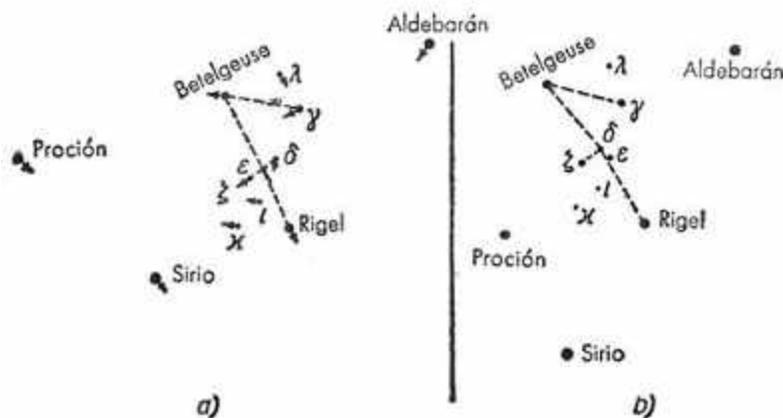


Figura 81. Direcciones en que se desplazan las brillantes estrellas próximas a la constelación de Orión (a) y cambio en el aspecto de la constelación producirán estos movimientos al cabo de 50.000 años (b)

Las estrellas, pues, en nada son más inmóviles que los planetas. Por el contrario, en el mundo de las estrellas nos encontramos con casos aislados de velocidades verdaderamente colosales, como no las hay en la familia de los planetas; se conocen estrellas, llamadas "voladoras", que se trasladan con relación a nuestro Sol a la formidable velocidad de 250 a 300 km/s. Mas si todas las estrellas visibles se mueven en forma caótica a gigantescas velocidades, desplazándose miles de millones de kilómetros anualmente, ¿por qué no nos damos cuenta de este enorme movimiento? ¿Por qué el cielo estrellado nos ha parecido siempre un cuadro de majestuosa inmovilidad?

No es difícil descubrir la causa: ello se debe al inconcebible alejamiento de las estrellas. ¿No ha observado usted desde un sitio elevado un tren que se mueve a lo lejos, cerca del horizonte? ¿Acaso no le pareció entonces que el expreso se arrastraba como una tortuga? La velocidad vertiginosa para un observador situado al pie de la vía se transforma en paso de tortuga para un observador a gran distancia. Lo mismo sucede con el desplazamiento de las estrellas, sólo que en este caso el alejamiento relativo del observador de los cuerpos en movimiento es infinitamente mayor.

Las estrellas más brillantes están alejadas de nosotros alrededor de 800 billones de kilómetros (según Kapteyn). El desplazamiento de estas estrellas en un año es, digamos, de 1000 millones de

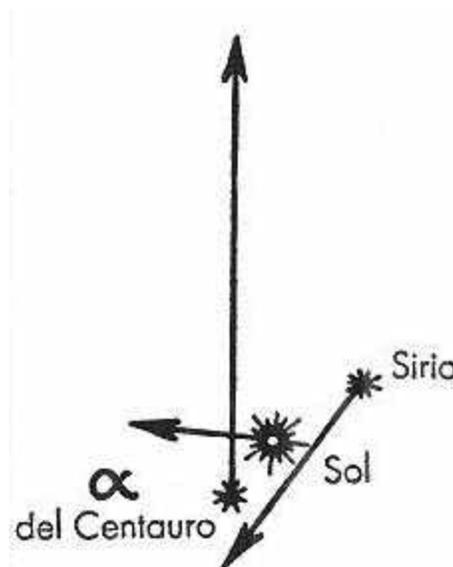


Figura 82. El movimiento de tres estrellas próximas: el Sol, α del Centauro y Sirio

¹¹ Se trata de las estrellas de "nuestro" enjambre estelar, la Vía Láctea

kilómetros, es decir, 800000 veces menor. Ese desplazamiento debería observarse desde la Tierra según un ángulo menor de 0.25", magnitud apenas perceptible con los instrumentos astronómicos más precisos. A simple vista es totalmente inobservable, incluso durante siglos. Sólo a través de laboriosas mediciones realizadas con aparatos se pudo descubrir el movimiento de muchas estrellas (figuras 80, 81, 82).

Así, pues, las estrellas, aunque están animadas de movimientos inconcebiblemente rápidos, tienen pleno derecho a la denominación de fijas en tanto se trata de la observación a simple vista. De lo dicho, el lector mismo puede sacar la conclusión de cuán ínfima es la posibilidad de que las estrellas choquen, a pesar de su rápido movimiento (figura 83).



Figura 83. La comparación de los movimientos estelares. Dos pelotas de croquet, una en Leningrado y la otra en Tomsk, moviéndose con la velocidad de 1 km por siglo, nos dan en pequeño una imagen del acercamiento de dos estrellas. Este ejemplo muestra claramente que la probabilidad de que se produzca un choque entre dos estrellas es mínima.

[Volver](#)

Unidades de medida de las distancias interestelares

Nuestras grandes medidas de longitud -el kilómetro, la milla marina (1852 m) y la milla geográfica (igual a 4 millas)- son suficientes para medir las distancias en la superficie de la Tierra, pero resultan completamente insignificantes como medidas celestes. Medir con ellas las distancias en el cielo es tan inadecuado como medir con milímetros el largo de una vía férrea. Por ejemplo, la distancia de Júpiter al Sol, en kilómetros, se expresa con el número 780 millones, y el largo del ferrocarril de Octubre, en milímetros, con el número 640 millones.

Para no tener que operar con números terminados en largas series de ceros, los astrónomos utilizan unidades de longitud mucho más grandes. Para medir, por ejemplo, los límites del sistema solar, se toma como unidad de longitud la distancia media de la Tierra al Sol (149500000 km). Esta es la llamada "unidad astronómica". Con esta medida, la distancia de Júpiter al Sol es igual a 5.2, la de Saturno a 9.54, la de Mercurio a 0.387, etc.

Pero para las distancias de nuestro Sol a los otros soles la medida dada resulta demasiado pequeña. Por ejemplo, la distancia hasta la estrella más cercana a nosotros (la llamada Próxima, de la constelación del Centauro¹², una estrellita rojiza de 11ª magnitud) se expresa en dicha unidad de medida con este número

260.000.

Y esto para la más próxima de las estrellas: las demás se encuentran mucho más lejos. El empleo de unidades notablemente mayores hizo mucho más fácil recordar los números y operar con ellos. En astronomía se usan las siguientes unidades gigantescas de distancia: el "año-luz" y el "pársec", que tiende a remplazar al primero.

Año-luz es el trayecto recorrido en el vacío espacial por un rayo de luz en un año de tiempo. De la magnitud de esta medida nos haremos una idea recordando que del Sol a la Tierra la luz tarda en llegar 8 minutos. Un año-luz, por consiguiente, es tantas veces mayor que el

¹² Se encuentra casi al lado de la brillante estrella α del Centauro.

radio de la órbita terrestre cuantas un año es mayor que 8 minutos. En kilómetros, esta medida de longitud se expresa con el número

$$9.460.000.000.000,$$

es decir, el año-luz es igual aproximadamente a $9\frac{1}{2}$ billones de km. La otra unidad empleada en las distancias estelares, de origen más complicado y que los astrónomos aceptan de buen grado, es el pársec. Un pársec es la distancia a que es preciso alejarse para ver un semidiámetro de la órbita de la Tierra con un ángulo de un segundo de arco. El ángulo con que se ve desde una estrella el semidiámetro de la órbita terrestre se llama en astronomía "paralaje anual" de esta estrella. De la combinación de las palabras "paralaje" y "segundo" se formó la palabra "pársec".

La paralaje de la antes mencionada a del Centauro es $0.76''$; y, por lo tanto, la distancia de esta estrella es de 1.31 pársec. Es fácil calcular que un pársec debe abarcar 206.265 distancias de la Tierra al Sol. La correspondencia entre el pársec y las otras unidades de longitud es la siguiente

$$1 \text{ pársec} = 3.26 \text{ años-luz} = 30.800.000.000.000 \text{ km.}$$

He aquí la distancia de algunas estrellas brillantes expresadas en pársecs y en años-luz:

De 2 ^a	2.5	De 5 ^a	40	De 10 ^a	4.000
De 3 ^a	6.3	De 6 ^a	100	De 11 ^a	10.000
De 4 ^a	16	De 7 ^a	250	De 16 ^a	1.000.000

Estas son estrellas relativamente cercanas. Su grado de "proximidad" lo podrán comprender si recuerdan que para expresar las distancias dadas en kilómetros es necesario aumentar cada uno de los números de la primera columna 30 billones de veces. Sin embargo, el año-luz y, el pársec no son las medidas más grandes utilizadas en la ciencia de los astros. Cuando los astrónomos emprendieron la medida de las distancias y las dimensiones de los sistemas estelares, es decir, de universos enteros formados por muchos millones de estrellas, necesitaron una medida aún más grande. La derivaron del pársec del mismo modo que el kilómetro se deriva del metro surgió el "kilo pársec", igual a 1000 pársecs o a 30800 billones de kilómetros. En esta medida, el diámetro de la Vía Láctea, por ejemplo, se expresa con el número 30, y la distancia de la Tierra a la nebulosa de Andrómeda resulta de unos 300 kilo pársecs.

Pero también el kilo pársec resultó pronto una medida insuficiente; hubo que poner en uso el "megaparsec", que con tiene un millón de pársecs.

He aquí una tabla con las medidas estelares de longitud

1 megaparsec	=	1.000.000 de pársecs
1 kilo pársec	=	1 000 pársecs
1 pársec	=	206.265 unidades astronómicas
1 unidad astronómica	=	149.500.000 km.

Imaginarse gráficamente el megaparsec es imposible. Incluso si se disminuye el kilómetro hasta el grosor de un cabello (0.05 mm), el megaparsec superará aún la capacidad de imaginación humana, ya que resulta igual a $1\frac{1}{2}$ miles de millones de kilómetros, es decir, a 10 veces la distancia de la Tierra al Sol.

Haremos todavía una comparación que quizá ayude a comprender la magnitud inimaginable del megaparsec. Un hilo de tela de araña extendido desde Moscú hasta Leningrado pesaría 10 g; desde la Tierra hasta la Luna pesaría 6 kg. El mismo hilo, alargado hasta el Sol,

tendría un peso de 2.5 toneladas, pero extendido en la longitud de un megaparsec, debería pesar

¡500.000.000.000 de toneladas!

[Volver](#)

El sistema de las estrellas más próximas

Hace relativamente bastante tiempo, unos 100 años atrás, se supo que el sistema estelar más próximo es una estrella doble de primera magnitud de la constelación austral Centauro. Los últimos años enriquecieron nuestros conocimientos sobre este sistema con detalles interesantes.

Fue descubierta cerca de α del Centauro una pequeña estrella de 11^a magnitud, que con las dos estrellas α del Centauro constituye un sistema de estrella triple. Que esa tercera estrella pertenece físicamente al sistema a del Centauro, a pesar de que la separa en el cielo una distancia de más de 2, se confirma por la igualdad de sus movimientos: las tres estrellas se desplazan con la misma velocidad en la misma dirección. La particularidad más notable de la tercera estrella de este sistema es que está situada en el espacio más cerca de nosotros que las otras dos, y por esto debe considerarse como la más próxima de todas las estrellas cuyas distancias han sido determinadas hasta ahora. Esta estrellita se llama así: "Próxima". Se encuentra más cerca de nosotros que las estrellas a del Centauro (las llamadas a del Centauro A y a del Centauro B) 3960 unidades astronómicas. He aquí sus paralajes:

α del Centauro (A y B)	0.751
Próxima del Centauro	0.762

Como las estrellas A y B están separadas una de otra por una distancia de sólo 34 unidades astronómicas, todo el sistema tiene una forma bastante extraña, representada en la figura 84. Las estrellas A y B están separadas entre sí un poco más que Urano del Sol. Próxima dista de ellas 59 años-luz. Estas estrellas cambian lentamente de posición: el período de revolución de las estrellas A y B alrededor de su centro común de gravitación es igual a 79 años. Próxima realiza una vuelta en más de 100 000 años, de modo que no hay por qué temer que dentro de poco tiempo deje de ser la estrella más cercana a nosotros y ceda su lugar a una de las a del Centauro.

¿Qué se sabe de las propiedades físicas de las estrellas de este sistema? Alfa del Centauro A, en cuanto a brillo, masa y diámetro, apenas es un poco mayor que el Sol (figura 85). Alfa del Centauro B posee una masa un poco menor, tiene un diámetro 1/5 mayor que el Sol, pero brilla tres veces menos, y, en correspondencia con esto, también su temperatura superficial (4400°) es más baja que la del Sol (6 000°).

Aún más fría es Próxima: su temperatura superficial es de 3000°; es una estrella de luz rojiza. Su diámetro es 14 veces menor que el del Sol, es decir, que esta estrellita es incluso un poco más pequeña que Júpiter y Saturno (en masa, sin embargo, los supera centenares de veces). Si nos transportáramos a α del Centauro A, veríamos desde allí a la estrella B aproximadamente con las mismas dimensiones con que nuestro Sol brilla en el cielo de



Figura 84. El sistema de las estrellas más próximas al Sol: a del Centauro A y B, y próxima del Centauro

Urano. Próxima parecería desde allí una pequeña y pálida estrellita, pues está 250 veces más lejos que Plutón del Sol y 1000 veces más lejos que Saturno.

Después de la estrella triple α del Centauro, el vecino más próximo de nuestro Sol es una estrella muy pequeña (de magnitud 9.7) de la constelación del Dragón, llamada "Estrella voladora". Recibió esta denominación por el movimiento visible, de extraordinaria rapidez, que posee. Esta estrella se halla una vez y media más lejos de nosotros que el sistema α del Centauro, pero en el hemisferio Norte es nuestra vecina más próxima. Su vuelo en dirección oblicua al movimiento del Sol es tan rápido, que en menos de diez mil años la distancia que nos separa de ella se reducirá a la mitad, y entonces estará más cerca que la estrella triple α del Centauro.

[Volver](#)

La escala del universo

Volvamos al modelo reducido del sistema solar que hemos construido mentalmente, según las indicaciones del capítulo sobre los planetas, e intentemos terminarlo incluyendo en él al mundo de las estrellas. ¿Qué resultará?

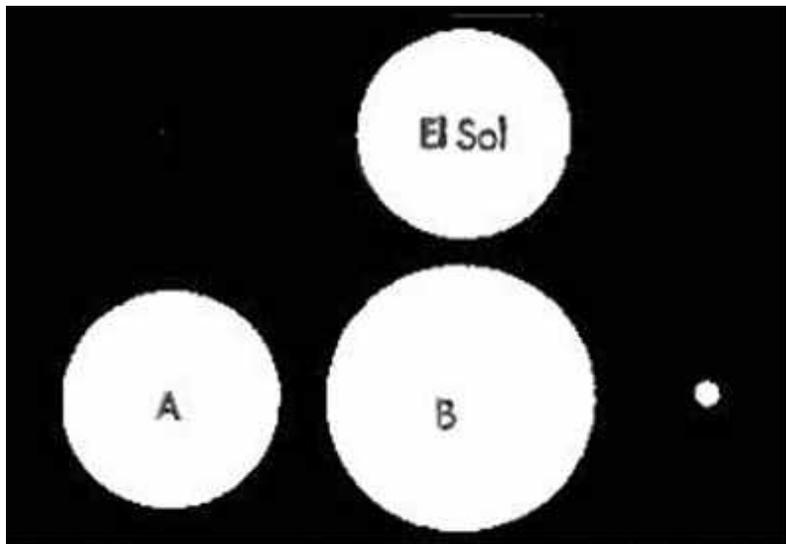


Figura 85. Dimensiones comparadas del Sol y las estrellas que forman el sistema α del Centauro

Recordará usted que en nuestro modelo el Sol se representaba con una esfera de 10 cm de diámetro, y todo el sistema planetario, con un círculo de 800 m de diámetro. ¿A qué distancia del Sol habría que colocar las estrellas si se quisiera mantener exactamente la misma escala? Es fácil calcular que, por ejemplo, Próxima del Centauro -la estrella más cercana- estaría a una distancia de 2700 km; Sirio, a 5500 km; Altaír, a 9700 km. Incluidas estas estrellas más cercanas, el modelo apenas cabría en Europa. Para estrellas más alejadas tomemos una unidad de medida mayor que el kilómetro, a saber, los 1000 km, unidad que recibe el nombre de "megámetro" (Mm). De estas unidades hay en total 40 en la circunferencia del globo terrestre, y 380 entre la Tierra y la Luna. En nuestro modelo, Vega estaría a 17 Mm, Arturo a 23 Mm, Capeta a 28 Mm, Regulo a 55 Mm, Deneb (a del Cisne) a más de 350 Mm.

Consideremos este último número: 350 Mm = 350000 km, es decir, un poco menos de la distancia a la Luna. Como se ve, nuestro modelo reducido, en el que la Tierra era una cabecita de alfiler y el Sol una pelota de croquet, también adquiere dimensiones cósmicas. Nuestro modelo todavía no está terminado. Las estrellas más alejadas de la Vía Láctea se hallarían en él a una distancia de 30000 Mm, casi 100 veces más lejos que la Luna. Pero la

Vía Láctea no es todo el universo. Más allá de sus límites hay otros sistemas estelares, por ejemplo, el visible a simple vista en la constelación de Andrómeda, o los también perceptibles por nuestros ojos de las Nubes de Magallanes. En nuestro universo reducido habría que representar la Pequeña Nube de Magallanes por un objeto de 4000 Mm de diámetro, y la Nube Mayor, por otro con un diámetro de 5500 Mm, alejados, en el modelo, 70000 Mm de la Vía Láctea. A la nebulosa de Andrómeda deberíamos darle en el modelo un diámetro de 60000 Mm y separarla de la Vía Láctea 500000 Mm, es decir, una distancia ¡casi igual a la que separa a Júpiter de la Tierra!

Los cuerpos celestes más alejados de que actualmente se ocupa la astronomía son las nebulosas estelares, que son acumulaciones de innumerables estrellas situadas mucho más allá de los límites de nuestra Vía Láctea. Su distancia al Sol supera los 1.000.000.000 de años-luz. Invitamos al lector a calcular él mismo cómo deberían representarse estas distancias en nuestro modelo. De este modo, el lector se formará una idea de las dimensiones de la parte del espacio que es accesible a los medios ópticos de la astronomía contemporánea. El lector encontrará también una serie de comparaciones relacionadas con lo aquí expuesto en mi libro *¿Sabe usted física?*

A quien le interesen particularmente las estrellas y la estructura del universo le aconsejo leer atentamente los siguientes libros:

- Vorontzov - Veliaminov B. A., *Ensayo sobre el universo*, Editorial Técnica del Estado, 1955.
- Pola, I. F., *Curso de Astronomía General*, Editorial Técnica del Estado, 1955.

[Volver](#)

