



Luz del confín del Universo

El Universo
y sus inicios

Rudolf Kippenhahn

Biblioteca
Científica
Salvat

Luz del confín del Universo

El Universo y sus inicios

Rudolf Kippenhahn
SALVAT

Versión española de la obra original alemana *Licht vom Rande der Well*,
publicada por Deutsche Verlags-Anstalt de Stuttgart

Traducción: Miquel Muntaner

Diseño de cubierta: Ferran Canes / Montse Plass

Escaneado: doctorwho1967.blogspot.com.ar

Edición digital: Sargont (2017)

© 1995 Salvat Editores. S.A. Barcelona

© Deutsche Verlags-Anstalt GmbH. Stuttgart

ISBN: 84-345-8880-3 (Obra completa)

ISBN: 84-345-8960-5 (Volumen 80)

Depósito Legal: B-990-1995

Publicada por Salvat Editores. S.A.. Barcelona

Impresa por Primer, i.g.s.a. Enero 1995

Printed in Spain

ÍNDICE

PRÓLOGO

INTRODUCCIÓN

I. ANATOMÍA DE LA VÍA LÁCTEA

- Las medidas en el espacio
- El señor Meyer resuelve un enigma
- Volando hacia la Vía Láctea
- En el cúmulo de Virgo
- Aparecen las estrellas de la Vía Láctea
- En la Vía Láctea
- El centro de la Vía Láctea

II. LA LUZ

- Ondas en el espacio vacío
- El señor Meyer sueña con el espectro electromagnético
- El espectro
- Origen de las líneas espectrales
- El hidrógeno como emisor de radio
- La radiación térmica
- Espectros de las profundidades del espacio
- Una millonésima de gramo de luz
- La radiación se convierte en materia y la materia en radiación
- La energía en la luz y en la materia

III. LA VÍA LÁCTEA EN TIEMPO ACELERADO

- Novas y supernovas
- El disco en rotación
- Dos grupos de población
- Las ondas luminosas y de radio revelan movimientos
- El señor Meyer en bicicleta
- El efecto Doppler
- Los movimientos de la Vía Láctea

IV. SONDEANDO LA VÍA LÁCTEA

- Movimiento propio de las estrellas

[Las velocidades radiales](#)
[Corrientes de estrellas](#)
[El cúmulo estelar de las Híades](#)
[Desde las Híades hacia las profundidades del espacio](#)
[Las estrellas pulsantes y la escala cósmica de distancias](#)
[¿A qué distancia están los cúmulos estelares globulares?](#)
[Cómo Shapley nos expulsó del centro de la Vía Láctea](#)
[Las estrellas de las Híades determinan las dimensiones del Universo](#)

V. EL DEBATE DE LOS UNIVERSOS ISLA

[El enigma de las manchas nebulares](#)
[Brillan estrellas nuevas en las nebulosas](#)
[Gránulos en la nebulosa de Andrómeda](#)
[El 26 de abril de 1920](#)
[Walter Baade aleja más la nebulosa de Andrómeda](#)

VI. EL UNIVERSO EN EXPANSIÓN

[Las grandes velocidades de las nebulosas espirales](#)
[¿Estamos en el centro del Universo?](#)
[El movimiento de expansión y la paradoja de Olbers](#)
[¿Cuándo empezó todo?](#)
[Galaxias que se acercan a nosotros](#)
[Dudas sobre el movimiento de recesión](#)
[¿Qué hay más allá?](#)

VII. LA EXPLOSIÓN PRIMIGENIA EN UN MUNDO PLANO

[El señor Meyer sueña con un mundo plano](#)
[El Universo de los hombres planos](#)
[La astronomía de un Universo plano](#)
[La geometría en el mundo plano](#)
[Superficies de curvatura real](#)
[¿Está curvado nuestro espacio tridimensional?](#)
[Fantasmas de la cuarta dimensión](#)

VIII. EL IMPULSO PRIMIGENIO Y LA GRAVEDAD

[El Universo es igual aquí que en todas partes](#)
[¿En qué Universo curvado vivimos?](#)
[La explosión frenada](#)
[Universos superficiales en expansión](#)
[Del mundo plano a nuestro Universo](#)
[¿Repulsión gravitatoria?](#)
[¿El huevo antes que la gallina?](#)
[El ruso en globo y un error de cálculo de Einstein](#)
[La teoría del Universo estacionario](#)

IX. EN EL REINO DE LAS NEBULOSAS

La rotación de las galaxias

La materia invisible

El zoo de los Universos islas

Núcleos de galaxias

Las galaxias de Seyfert

Cúmulos de nebulosas espirales

El canibalismo de las galaxias

Los cúmulos galácticos forman supercúmulos

X. EL CIELO DE RADIO

El nacimiento de la radioastronomía

Las ondas de radio de la Vía Láctea

La historia de Cygnus A

Radiogalaxias

El modelo del tubo de escape doble

Galaxias renacuajo y antenas compuestas

XI. LOS MISTERIOSOS QUASARES

Reordenación de las radiofuentes

Estrellas, como nadie había visto todavía

La velocidad de recesión de las radioestrellas

¿Están realmente los cuasares a tanta distancia?

¿Un agujero negro en el cuasar?

Las líneas de absorción de los cuasares

El enigma de las velocidades superiores a la de la luz

El señor Meyer y los fuegos artificiales

El contraejemplo

¿Están los cuasares en el centro de galaxias?

El cuasar doble

XII. ...Y LA LUZ SE HIZO

El hombre, emisor de radio

A la búsqueda de radiación débil de la Vía Láctea

La radiación residual de la gran explosión primigenia

La radiación fría que llega del calor

El viento cósmico

La mezcla materia-radiación del Universo

La materia cósmica en el banco de pruebas

Cuando la materia y la radiación se separaron

La radiación toma el poder

¿Dónde se oculta la antimateria?

Los primeros elementos químicos

¿Cierran los neutrinos el Universo?

El borde brillante del Universo
La paradoja de Olbers, por última vez

XIII. EL UNIVERSO PENSANTE

¿De dónde proceden las galaxias y los cuasares?
¿Por qué es liso el Universo?
Nosotros estamos aquí porque el Universo es liso
¿Qué había antes?
En el ombligo del tiempo
Cuando el Universo se precipitó en la física
¿Determinan las leyes de la naturaleza el Universo?
El Universo en tiempo acelerado

APÉNDICE

A. Frecuencia y longitud de onda
B. Cómo se determina la distancia a las Híades
C. El Space-telescope y los paralajes de las estrellas
D. El método de la estima con distancias yuxtapuestas

*A Johanna, que me ayudó
cuando más lo necesitaba*

PRÓLOGO

Creo que me ahogaré si no consigo arrancarme de los pulmones este objeto que me han metido a través de la tráquea. Es la misma sensación que tendría si me hubiesen hincado una flauta en la garganta. Luego la voz femenina que me guía en la oscuridad: «¡Respire tranquilamente!», y todo empieza de nuevo. «Le voy a dar oxígeno» dice ella, y yo espero que a través de la flauta entre algo en los pulmones, algo que me recuerde prados alpinos jugosos y verdes. Pero lo que de repente sale tiene el mismo sabor que el aire de un viejo balón de fútbol.

Me parece que las cosas no van como debieran. La operación tenía que haber empezado hace rato, en cambio lo único que ahora les preocupa es anestesiar me. No puede haber pasado nada importante. Estamos todavía como antes, cuando de acuerdo con los preceptos legales me informaban sobre las posibles consecuencias: interrupción de la respiración, porque la intervención se ha de concentrar en un punto cercano al centro respiratorio, la posibilidad de que quede tullida la mitad de mi cuerpo y la parálisis segura del lado izquierdo de mi rostro.

Oigo hablar a los médicos, los ayudantes y las enfermeras. No parece que lo que dicen tenga ningún sentido para mí. Pero de repente todo se aclara: ¡No están intentando anestesiar me: me están despertando!

Mientras mantenga cerrados los ojos continuaré solo en la oscuridad. O sea que han extraído el tumor de mi cabeza y todavía estoy vivo. No siento ningún dolor. Parece que mientras tanto han retirado la flauta insertada en mis pulmones. Me habían informado ya de antemano que se trataba de un tumor benigno. Voy a contar a todo el mundo que por primera vez alguien ha encontrado algo benigno en mi cabeza. Debería sonreír. Pero me doy cuenta de que mi boca ya no me obedece. Compruebo inmediatamente mis manos. A Dios gracias los pulgares y los demás dedos se mueven uno por uno. Tengo paralizada la mitad izquierda de la cara, y esto me impedirá dar clase y pronunciar

conferencias, pero podré trabajar de nuevo con la máquina de escribir. Ahora voy a abrir los ojos.

El libro cuyo destino se decidió en este instante de un día de marzo de 1982 en la sala de cuidados intensivos de una clínica de Munich tuvo su origen en las conferencias del año anterior, que en el semestre de invierno de 1981/82 había recopilado para un curso de oyentes de todas las facultades de la Universidad Ludwig-Maximilian de Munich. Tenía a punto un grueso archivador Leitz lleno con el manuscrito, cuando los médicos me apartaron de la circulación. Más tarde el trabajo con este texto se convirtió en una medida de mi recuperación. Conseguí convertir la escritura en el puente con que salvaría el tiempo necesario para regresar a la investigación. Esto creó una relación con el presente libro mucho más intensa que la de los libros anteriores.

A pesar de la distinta temática, no siempre ha sido fácil evitar en el texto actual solapamientos con mi libro anterior sobre la vida de las estrellas⁽¹⁾. Confío de todos modos haberlo conseguido bastante en cierta medida. Ambos libros se completan mutuamente, pero cada uno forma un todo independiente.

Este libro, como el anterior, está dedicado a personas cultas no especializadas. He utilizado a menudo los sueños del señor Meyer para que la materia sea lo más comprensible posible. El padrino es en este caso Mr. Tompkins⁽²⁾. Lo inventó el físico George Gamow, que deseaba explicar a sus lectores ideas complicadas de la física moderna. El señor Meyer y Mr. Tompkins se encuentran en dos de mis sueños, lo cual aprovecho para dirigir mis respetos al gran Gamow, a quien por desgracia no pude conocer personalmente. El sueño del señor Meyer sobre el espectro electromagnético del capítulo 2 se inspira en una historia de un libro popular de física que me impresionó en mi juventud. En varios lugares me he visto obligado a simplificar nociones complicadas en bien de la comprensibilidad. Espero que mis colegas me lo perdonarán.

Fue de gran ayuda en este trabajo la hospitalidad del Observatorio de Bamberg con su buena biblioteca, a la que felizmente no se puede llamar por teléfono desde el exterior. Doy las gracias a todos los colaboradores de este instituto. Más tarde, amigos y colegas me han ayudado a eliminar errores y faltas textuales. Alfred Behr, Gerhard Börner, Wolfgang Duschl, Jürgen Ehlers, Peter Kafka, Gustav Tammann, Hans-Heinrich Voigt y Richard Wielebinski han corregido algunos capítulos. Wolfgang Duschl leyó además todo el texto y propuso muchas correcciones. Mi amigo el

matemático de Gotinga Hans Ludwig de Vries, repasó conmigo el texto en todos sus detalles y ha propuesto muchas mejoras. Es culpa mía si todavía faltan otras correcciones.

Ha jugado un papel importante en la realización del libro mi esposa, que siempre me ha animado a escribir. Doy las gradas a Cornelia Rickl, que pasó a máquina mi primera redacción convirtiéndola en un manuscrito utilizable, y que juntamente con Rosita Jurgeleit introdujo mis numerosas y a menudo repetidas correcciones.

Agradezco a la dibujante Jutta Winter y a los colaboradores de Deutschen Verlags-Anstalt su ayuda y el apoyo prestado en la realización de la obra.

RUDOLF KIPPENHAHN

INTRODUCCIÓN

Los cosmólogos se equivocan a menudo, pero nunca los tortura la duda.

YAKOV B. ZELDOVICH

Quizá nada de esto sea cierto. Yo intento describir en este libro el nacimiento y el estado actual de todo el Universo. Escribo pues sobre la ciencia llamada *cosmología*. ¿Pero de dónde saco yo, de dónde sacan mis colegas el valor suficiente para dar lecciones sobre lo supremo, sobre el ámbito más grande posible del Universo material? ¿Hasta qué punto es seguro el tema que quiero tratar ahora? ¿No podría ser todo distinto de lo imaginado?

Cuando nos ocupamos de procesos que tienen lugar a nuestro alrededor, siempre que pertenezcan a la naturaleza inanimada, nos sentimos sobre suelo seguro. Si tiramos una piedra caerá de acuerdo con las leyes de la caída conocidas desde Galilei, y si alguien duda de ellas que tire la primera piedra que tenga a mano. El experimento le demostrará que las leyes de la caída libre son correctas. Las mismas reglas determinan el punto de caída del obús disparado por un cañón. Este apartado de la mecánica se llama *balística*. Conocemos con mucha exactitud todas sus leyes, porque los experimentos correspondientes pueden repetirse con gran facilidad. En condiciones iguales se desenvuelven de modo igual. No hay motivos para dudar de un obús disparado⁽³⁾.

Incluso al estudiar sistemas de la naturaleza mucho más complicados, por ejemplo los organismos vivientes, podemos comprobar experimentalmente si son correctas o no ciertas regularidades que deducimos de las observaciones. Si motivos de orden ético nos impiden proceder así, por ejemplo experimentar con seres humanos, podemos contar con la ayuda de ciertos procesos que acontecen sin nuestra intervención. Cuando los médicos observan el curso de distintas enfermedades en los mismos órganos de varias personas pueden descubrir las regularidades que rigen el funcionamiento de nuestros cuerpos.

Pasemos ahora a la naturaleza inanimada del Universo. No podemos experimentar con el Sol. Podemos observarlo y estudiarlo con todos nuestros aparatos, pero no podemos tocarlo. Somos demasiado pequeños, tenemos demasiada poca importancia para poder hacer cambios en él. Es imposible observar lo que sucedería si vertiéramos unos cuantos trillones de toneladas de hidrógeno sobre su superficie o si le quitáramos el hidrógeno y lo llenáramos de helio. No disponemos de la energía necesaria para mover tales masas, suponiendo que supiéramos sacar estas cantidades inconmensurables de algún lugar que no fuera las estrellas, a las cuales no podemos llegar. Tenemos que aceptar el Sol tal como es.

Pero somos afortunados. La misma naturaleza realiza para nosotros los experimentos que nosotros somos incapaces de efectuar. En el espacio hay miles de millones de soles, soles que se parecen al nuestro en casi todas sus propiedades, pero también hay soles que contienen más masa o menos masa que el nuestro. Hay estrellas que son más viejas que nuestro Sol y otras que son más jóvenes que él. Podemos pues estudiar esta multiplicidad de soles. No podemos experimentar con nuestro Sol, pero la naturaleza se ha ocupado ya de hacer sus experimentos y nos presenta en las estrellas más distintas un número inconmensurable de resultados. Esto nos permite entender las estrellas y por lo tanto el Sol, por lo menos en sus propiedades más importantes.

Todo es distinto, sin embargo, cuando consideramos el Universo como un todo. Si no podemos tocar ni la superficie ni el interior de las estrellas, mucho menos podremos actuar sobre el conjunto del Universo. Nos gustaría desde luego construir rápidamente un Universo experimental que contuviera en el mismo espacio diez veces más galaxias que el Universo actual e investigar luego este Universo experimental como han investigado los astrónomos nuestro Universo auténtico. Pero el Universo se presta menos todavía que el Sol a este juego cósmico. La situación es peor, porque si bien la naturaleza nos ofrece una gran reserva de estrellas y nos inunda de material informativo sobre los experimentos en los que hace que surjan y desaparezcan diferentes estrellas, se muestra en cambio muy sobria y reservada sobre el Universo en su conjunto. Hay muchas estrellas, pero sólo hay *un* Universo. La naturaleza nos deja en la estacada, no experimenta para nosotros con el Universo.

El Universo es un espectáculo que se desenvuelve ante nosotros como una película proyectada una sola vez. No podemos in-

tervenir en la acción. No hay repeticiones ni segundas partes que empiecen con una situación inicial algo cambiada, quizá con el joven amante algo menos joven que antes, de modo que veamos a los héroes actuar de modo distinto en situaciones distintas. Estamos sentados inermes e inmóviles en nuestro nido de gorrión contemplando una única secuencia de una película única que no nos recuerda nada de lo que estamos acostumbrados a ver en la Tierra o en el Universo de las estrellas. No podemos rebobinar la película para estudiar un detalle con mayor detenimiento. No podemos acelerar la película para ver su final. Y si somos incapaces de observar repetidamente el curso temporal de los hechos, tampoco sabemos muy bien qué significa realmente lo que estamos viendo. Vemos galaxias situadas en lo hondo del espacio, muy lejos de nuestro sistema de la Vía Láctea, pero no sabemos con precisión a qué distancia están. No sabemos hasta dónde puede alcanzar nuestra mirada en el espacio.

Paul W. Hodge, de la Universidad de Washington, en Seattle, en un artículo general sobre los diversos métodos existentes para determinar la distancia de los objetos más lejanos del cielo, escribió con desánimo lo siguiente: «Quizá lo más razonable sería renunciar de momento a la empresa.» Hodge propone una serie de problemas importantes e irresueltos de la astronomía, que podrían abordarse en lugar del anterior y cuya solución pondría unas bases más sólidas para la medición del espacio cósmico más allá de nuestra Vía Láctea. «Pero», continúa diciendo, «la tentación de seguir adelante y de construir una escala de distancias para los espacios exteriores a la Vía Láctea era demasiado grande, y algunos de los mayores genios del siglo XX no pudieron resistirla.»

Sólo presenciamos una corta secuencia del drama cósmico. No lo vemos representado en distintas variaciones, y no siempre sabemos con certeza lo que estamos viendo. Y sin embargo, nos comprometemos a reconstruir toda la acción desde el principio al final.

¿De dónde sacamos las fuerzas? En primer lugar está la creencia de que la física que hemos aprendido en la Tierra es válida en todo el Universo. Sabemos con bastante precisión que la materia de las estrellas y que las estrellas como objetos individuales obedecen las leyes de nuestra física. En el interior de las estrellas el hidrógeno se transforma en helio creándose muchos elementos químicos más, tal como predice la física terrestre. Las mismas estrellas se mueven en las galaxias según determinan las leyes de

nuestra mecánica. Incluso de las galaxias más lejanas recibimos radiación emitida por átomos de elementos químicos bien conocidos en la Tierra, tal como prescribe nuestra física terrestre. Aquellas estrellas no están formadas por materiales exóticos y desconocidos para nosotros; están formadas por los mismos elementos químicos que tenemos en casa, aunque sólo sea en cantidades minúsculas, la materia con la cual se han formado nuestros cuerpos. Si miramos hacia algún lugar apartado del Universo, sea cual fuere, en todas partes nos parecerá el Universo igual que aquí. Nuestra física no es puramente terrenal, no es válida únicamente para la Tierra, sino que parece tener una validez universal, es decir, que es aplicable a todas las partes del Universo.

Pero vayamos con cuidado. Lo que acabamos de decir significa que las regularidades aparentemente válidas para la Tierra, es decir, para un pequeño dominio del Universo, también son válidas para otros dominios parciales, por alejados que estén de nosotros, por ejemplo para las estrellas de otras galaxias. Sin embargo, los cosmólogos se han planteado como objeto de su investigación no dominios parciales del Universo, sino el Universo en su conjunto. Esta empresa es mucho más difícil. ¿Ha de obedecer también este todo a la física válida en sus dominios parciales?

Si queremos enfrentarnos con un objeto tan extraño como el Universo debemos estudiarlo en sus rincones más alejados. Se plantea entonces inmediatamente una pregunta que nos ha intrigado ya a todos: ¿Hasta dónde llega el Universo? ¿Con qué nos encontraríamos si avanzáramos por el espacio sin parar, siempre en la misma dirección? Es muy difícil imaginar que no existe ningún final, pero la idea de que el Universo tenga una frontera plantea todavía dificultades mayores. Pues inmediatamente surge la pregunta: ¿Qué hay más allá de esta frontera? ¿Un Universo de otra naturaleza o el espacio vacío? ¿Podemos saber algo de este otro Universo? ¿Observamos con los telescopios más potentes algún indicio que permita pensar en la existencia de una frontera cósmica? ¿Podemos con ayuda de estos instrumentos vislumbrar el lugar donde se levanta la muralla final que cierra el Universo? No necesitamos para ello ningún telescopio: a simple vista reconocemos ya una propiedad importante del Universo.

Es sabido que los astrónomos suelen precisar para sus trabajos costosos aparatos. Pero es bueno saber también que algunas observaciones astronómicas no cuestan nada y son, sin embargo, importantes e instructivas. A veces el obstáculo a superar no es el