

Marcia Bartusiak

AGUJEROS NEGROS

Ariel

Cómo una idea
abandonada por Newton,
odiada por Einstein y retomada
por Hawking vuelve
a enamorarnos

Marcia Bartusiak

Agujeros negros

Cómo una idea abandonada por Newton,
odiada por Einstein y retomada por Hawking
vuelve a enamorarnos

Ariel

Título original: *Black Hole. How an Idea Abandoned by Newtonians, Hated by Einstein, and Gambled on by Hawking Became Loved*

Publicado originalmente por Yale University Press, E.E. U.U.

1.ª edición: septiembre de 2016

© 2015, Marcia Bartusiak

La presente edición se publica por acuerdo con Marcia Bartusiak c/o Lippincott, Massie & McQuilkin, 27 West, 20th Street, Suite 305, 10011 New York (NY), United States, USA

© 2016, de la traducción, Lena García Feijoo

Derechos mundiales exclusivos en español
reservados para todo el mundo

y propiedad de la traducción:

© 2016: Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona

Editorial Ariel es un sello editorial de Planeta, S. A.

www.ariel.es

ISBN 978-84-344-2402-9

Depósito legal: B. 14.703- 2016

Impreso en España por Liberdúplex

El papel utilizado para la impresión de este libro
es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). Dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com

o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04

ÍNDICE

<i>Prólogo</i>	9
1. Por tanto, es posible que los mayores cuerpos luminosos del Universo sean invisibles	13
2. Newton, lo lamento	27
3. Entonces uno podría encontrarse... en una geometría mágica	45
4. ¿Debería haber una ley de la naturaleza para evitar que una estrella se comporte de esta manera absurda!	53
5. Les demostraré a esos bastardos	69
6. Solo permanece su campo gravitacional	79
7. No podría haber elegido un momento más emocionante para ser físico	95
8. Era el más extraño espectro que jamás hubiera visto	117
9. ¿Por qué no lo llama agujero negro?	127
10. Potro de tortura medieval	147
11. Mientras Stephen Hawking invierte en relatividad general y agujeros negros, solicita una póliza de seguro	153
12. Los agujeros negros no son tan negros	169
<i>Epílogo</i>	181
<i>Cronología</i>	189
<i>Notas</i>	197
<i>Bibliografía</i>	221
<i>Agradecimientos</i>	239
<i>Índice analítico</i>	241

POR TANTO, ES POSIBLE QUE LOS MAYORES CUERPOS LUMINOSOS DEL UNIVERSO SEAN INVISIBLES

Todo comenzó con sir Isaac Newton.

No, déjeme retirar lo dicho. De hecho, el antepasado del agujero negro puede rastrearse mucho antes. Se puede decir que todo comenzó en tiempos ancestrales, cuando los más inteligentes pensadores de ese tiempo —los olvidados Newtons y Einsteins de su época— se preguntaron por qué nuestros pies se mantienen firmes sobre el suelo. Era una pregunta obvia para cualquier erudito de esos tiempos.

Todo se concentra en la gravedad. La gravedad controla el movimiento de los planetas alrededor del Sol, así como la caída de la hoja de un árbol en otoño. Es una fuerza que damos por hecho, pero comprenderla nos llevó siglos. ¿Por qué las cosas son atraídas hacia abajo, hacia la superficie de la Tierra? Hace más de dos mil años, Aristóteles y otros filósofos de la Antigüedad tenían para esta pregunta una respuesta razonable: nuestro planeta estaba justo en el centro del Universo y, por lo mismo, todo caía hacia él de manera natural. Seres humanos, caballos, carruajes, cestos eran impulsados a permanecer en esa posición primordial. En consecuencia, estábamos sólidamente pegados a la *terra firma*. Era el estado natural de las cosas.

Esa explicación tenía total sentido ante la experiencia cotidiana. Así era... hasta que Nicolás Copérnico intervino y cambió, dramáticamente y de una vez por todas, el panorama cósmico. En 1543, el canónigo polaco se atrevió a asegurar que, en realidad, la Tierra giraba alrededor del Sol con los demás planetas. Anteriormente otros, como Aristarco de Samos en el siglo III a. C., ya habían sugerido esta idea, pero no arraigó hasta que Copérnico presentó su Universo heliocéntrico. Como resultado tuvo que reexaminarse completamente la configuración que nos mantenía vinculados a nuestro planeta, por mucho tiempo asumida. La Tierra ya no se encontraba descansando en la matriz del Universo, esperando serenamente a que los objetos se precipitaran hacia ella. En lugar de eso, se movía, y el Sol estaba en posición central. Esta nueva alineación motivó a algunas de las mentes más brillantes de Europa a replantearse las leyes de la gravedad y el mecanismo que había detrás del movimiento planetario. El reto estaba ahí.

Inspirado por el reclamo del inglés William Gilbert en 1600, quien planteaba la Tierra como un enorme imán, el matemático alemán Johannes Kepler sugirió que unos hilos de fuerza magnética emanados del Sol eran los responsables de impulsar a los planetas a su alrededor. En contraste, en 1630, el filósofo francés René Descartes imaginó que los planetas eran transportados, como hojas atrapadas en un remolino, por vórtices de éter, la tenue sustancia que se creía formaba el Universo.

Todas estas ideas serían revocadas, finalmente, cuando en 1687 Isaac Newton planteó un conjunto de leyes mucho más rigurosas, tanto para la gravedad como para el movimiento planetario. Ese fue el año en que publicó su magistral *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Hoy lo conocemos simplemente como *Principia*. En ese tiempo Newton tenía 44 años, pero su teoría acerca de la gravedad se había estado gestando en su mente desde mucho tiempo antes.

Comenzó en 1665, durante el periodo de restauración del rey Carlos II, cuando la peste negra se había extendido una vez más. Para evitar el contagio, Newton abandonó sus estudios en la Uni-

versidad de Cambridge y se retiró a la casa de su infancia en la aldea de Woolsthorpe, al este de Nottingham. Posiblemente fue allí en donde el brillante estudiante vio caer en su jardín la legendaria manzana, aquella que lo inspiró para reflexionar sobre la tendencia de los cuerpos a precipitarse hacia la Tierra con cierta aceleración. ¿La misma fuerza que actúa sobre la manzana afecta también a la Luna?, se preguntó. Virtuoso de las matemáticas, en gran medida autodidacta, observó que la Luna siempre parecía estar «cayendo» hacia la Tierra —su trayectoria se volvía curva— por efecto de un tirón terrestre, que disminuye hacia el exterior en una proporción cercana al cuadrado de la distancia. En otras palabras: si se dobla la distancia entre dos objetos, la fuerza entre ellos disminuye un cuarto de su valor original. En términos matemáticos esto significa que una fuerza está repartiéndose equitativamente en todas las direcciones. Pero como esas tempranas apreciaciones de Newton no eran perfectas, el joven dejó el asunto de lado por muchos años. «Dudó y debatió», escribió su biógrafo Richard Westfall, «desconcertado de momento por las abrumadoras complejidades».

El interés de Newton por la gravedad no volvió a aparecer hasta la década de 1670, cuando Robert Hooke, encargado de los experimentos para la Royal Society de Gran Bretaña, desarrolló una interesante serie de conjeturas para explicar la gravedad: todos los cuerpos celestes tienen una fuerza gravitacional dirigida hacia sus centros; pueden atraer a otros cuerpos, y la atracción es más fuerte cuanto más cerca esté un cuerpo del otro. Hooke tenía un conjunto de leyes generales, pero sin ecuaciones. Lo que no pudo deducir, como hizo notar al publicar su trabajo, fue si el movimiento planetario se daba necesariamente en forma de «círculo, elipse o alguna otra línea curva compleja». Durante el invierno de 1679-1680, motivado por un intercambio epistolar con Hooke acerca del tema, Newton revivió y retomó el problema que se había planteado en su juventud.

Sin embargo, al principio mantuvo para sí sus revolucionarios resultados. Newton, quien valoraba mucho su privacidad, desconfiaba de su celoso rival, Hooke. A menudo temeroso de exponer

su trabajo ante la crítica, en cierta ocasión confesó en una carta a un colega: «Soy [...] tímido al asentar en papel cualquier cosa que pueda provocar una disputa». Mucho tenemos que agradecer a Edmond Halley (cuyo nombre lleva el famoso cometa) por los *Principia* de Newton. Al visitarlo en 1684, Halley preguntó al ilustre físico cómo podía moverse un planeta conforme a una ley del inverso del cuadrado. Confiado, Newton replicó: «En una *ellipsis*», lo que nosotros hoy llamamos eclipse, señalando que él había trabajado en ello desde varios años antes.

Desde ese momento, Halley fue el mayor defensor de Newton. Su constante impulso y apoyo económico finalmente dieron a este la energía necesaria para escribir su obra maestra sobre la gravedad. Y una vez entregado a esto, Newton nunca se detuvo. Westfall hace notar que Newton tenía una enorme capacidad para el «éxtasis, para entregarse por completo a un objetivo primordial» y con frecuencia olvidaba comer y dormir si se encontraba en ese estado. Halley le desató de nuevo ese arrebato intelectual. Newton abandonó rápidamente sus demás proyectos (entre ellos matemática clásica, teología y alquimia) y aplicó todo su poder de concentración a completar su trabajo sobre la gravedad. Armado con mediciones de la Tierra más precisas, finalmente fue capaz de probar que una ley del inverso del cuadrado explicaba la atracción de la Luna hacia la Tierra, y que una fuerza tal conduce directamente a los planetas a moverse en órbitas elípticas, como había planteado Kepler en 1609. Kepler concluyó a partir de sus mediciones que los planetas seguían órbitas elípticas, pero no supo por qué. Décadas después, Newton demostró con sus matemáticas que dichas órbitas eran consecuencia natural de la ley de la gravedad. Desde esquinas opuestas observación y teoría se encontraron y acoplaron.

Casi dos años tardó Newton en terminar sus *Principia*, y por causas comprensibles. Animado por sus exitosos cálculos iniciales, trabajó con sus nuevas normas en más y más casos y, en consecuencia, los antiguos problemas de astronomía parecían disolverse. La gravedad podía explicar las mareas y la precesión de la Tierra (debi- da al tirón de la Luna y el Sol sobre la esfera terrestre), así como la

trayectoria de un cometa. Con un grandioso salto hipotético, Newton declaraba que la gravedad era una fuerza fundamental y universal de la naturaleza. El concepto *universal* fue clave. Lo mismo que provoca que una manzana caiga al suelo mantiene a la Luna en órbita alrededor de la Tierra. «Para la naturaleza es sencillo», escribió Newton, «y no se permite el lujo de lo superfluo». El cosmos y la *terra firma* ya no eran campos separados, como tiempo atrás había planteado Aristóteles. Cielos y Tierra operaban ahora bajo «un» conjunto de leyes de la física. La gravedad, la atracción de un cuerpo hacia otro, actúa de manera similar en todos los niveles del cosmos: tanto en la Tierra y dentro del Sistema Solar, como entre las estrellas, galaxias y cúmulos galácticos.

Sin embargo, había un problema con la ley de la gravedad de Newton: para aproximar la Luna al planeta y la roca a la Tierra requería «cintas» de atracción «radiadas» de alguna forma a través de las distancias, cortas o largas. Para muchos esta hazaña sonaba más a misticismo que a ciencia. Los críticos demandaron un mecanismo físico. Eso habían estado proporcionando durante muchos años los filósofos naturalistas. ¿Cómo trabajaba la gravedad? ¿Qué estaba reemplazando al magnetismo o a los vórtices? Esto llevó a la famosa declaración de Newton en sus *Principia*: «Aún no he sido capaz de deducir a partir de los fenómenos la causa de estas propiedades de la gravedad, y yo no invento hipótesis». Newton, al contrario que sus contemporáneos, no iba a rebajarse con especulaciones sobre algún tipo de oculta maquinaria cósmica. Estaba satisfecho, en esencia, de que sus leyes permitieran a los físicos calcular con gran precisión el movimiento de un planeta o el recorrido de una bala de cañón. Con el pasar de los años, el resto de la comunidad de la física se fue poniendo de su lado. Ayudó en gran medida la visita de un viajero celestial.

Después de estudiar de forma minuciosa los datos históricos, Halley pensó que un cometa visto en 1682 tenía mucho en común con cometas observados previamente, en 1531 y 1607. Sus órbitas tenían las mismas características, iban alrededor del Sol en sentido contrario al de los planetas y aparecían cada 75 o 76 años. Al calcu-

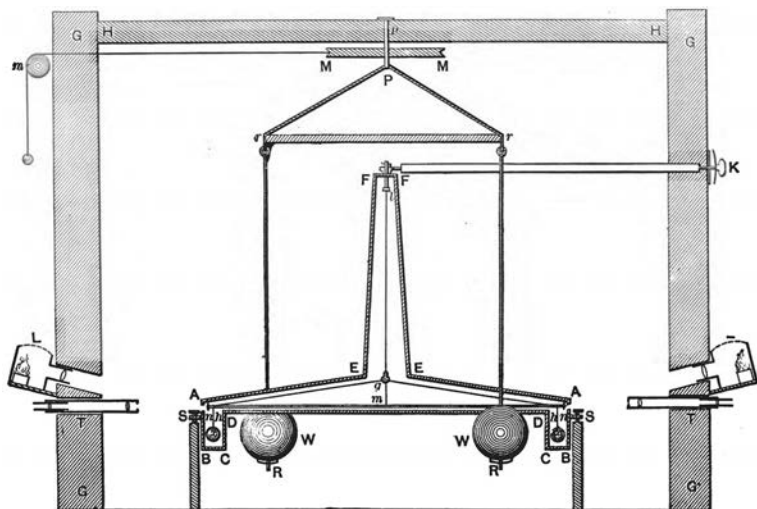
lar la órbita del cometa según las leyes de Newton predijo en 1705 que regresaría en 1758. Y así fue, justo a tiempo, 16 años después de la muerte de Halley y 31 después de la de Newton. Este logro deslumbró a los críticos de Newton, callándolos de inmediato. ¿Quién puede rebatir una teoría capaz de predecir correctamente el comportamiento del Sistema Solar, y con más de medio siglo de anticipación? Ese fue el momento en que, a pesar de faltarle un mecanismo, la ley de la gravedad de Newton al fin triunfó.

Con las leyes de Newton en su sitio, los científicos del siglo XVIII llegaron a apreciar el Universo como algo intrínsecamente cognoscible que marca su tictac como si fuera un reloj bien engrasado. Muchos astrónomos comenzaron a pasar largas horas pegados a su escritorio, usando las reglas matemáticas de Newton para descifrar los movimientos planetarios y predecir las mareas. De igual forma, las estrellas se volvieron objetos idóneos para poner a prueba las leyes de la gravedad. Y fue durante este empeño estelar que emergió un precursor del agujero negro: de cierta forma, la versión del Modelo-T. La posible existencia de un objeto tan extraño surgió cuando un inglés de nombre John Michell aplicó las leyes de Newton al caso más extremo imaginable.

Michell estaba justo en el momento más importante de una maravillosa era de descubrimientos científicos y todo le interesaba. Este geólogo, astrónomo, matemático y teórico se codeaba con frecuencia con los grandes de la Royal Society de Londres, hombres como Henry Cavendish, Joseph Priestley e, incluso, el miembro estadounidense de la Sociedad: Benjamin Franklin (durante sus dos largas estancias diplomáticas en Londres). Puede afirmarse, ha escrito el historiador de la ciencia Russell McCormmach, que Michell era «el más ingenioso de todos los filósofos naturalistas del siglo XVIII». Por ejemplo, registró desde un principio que los estratos terrestres podían plegarse, doblarse, elevarse o descender de su nivel. Si en la actualidad aún se recuerda a Michell es por su planteamiento, en 1760, acerca de que los terremotos se propagan a lo largo de la cor-

teza terrestre como ondas elásticas. Por ello se ganó el distintivo de «padre de la sismología moderna». Después de analizar y comparar, profundamente, varios registros del gran temblor que destruyó Lisboa, Portugal, en 1755, Michell fue capaz de calcular el momento, el lugar y la profundidad del epicentro, el cual se encontraba hacia el oeste, en el océano Atlántico.

Michell también diseñó un delicado instrumento capaz de medir la constante gravitacional de las ecuaciones de Newton, permitiéndole en esencia «pesar» la Tierra. Murió antes de poder ponerlo a prueba, pero posteriormente su amigo Cavendish consiguió su balanza de torsión y, tras hacerle algunos ajustes, midió con ella la masa de nuestro planeta.



La balanza de torsión, basada en un diseño de John Michell, que utilizó Henry Cavendish en 1797-1798 para pesar la Tierra. (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London.*)

Sin embargo, a pesar de estos logros Michell tenía la mala costumbre de enterrar sus ideas originales (como la ley del inverso del cuadrado de la fuerza magnética, antes de que fuera redescubierta)

en publicaciones periódicas cuya atención se centraba en temas más mundanos y recibió poca atención. Algunas de sus mejores ideas fueron mencionadas casualmente en citas o pies de página. En consecuencia, la fama duradera lo eludió.

Michell comenzó sus investigaciones científicas en Queens' College, en Cambridge. Hijo de un rector anglicano, entró a Queens en 1742 con 17 años de edad, y después de graduarse permaneció ahí varios años como maestro. Un contemporáneo lo describió como «un hombre de baja estatura, de tez oscura y gordo [...]. Se le consideraba un hombre muy ingenioso y un excelente filósofo». Mientras estuvo en Cambridge fue, incluso, tutor de un joven Erasmus Darwin, el abuelo de Charles Darwin, quien se refirió a su mentor como «un cometa de primera magnitud».

Pero para 1763, y listo para casarse, Michell decidió dejar la enseñanza y entregarse a la Iglesia. Finalmente se instaló en el pueblo de Thornhill, en West Yorkshire, en donde sirvió como clérigo hasta su muerte a los 68 años de edad, en 1793. Sin embargo, durante sus décadas al servicio de la Iglesia de Inglaterra, el reverendo continuó satisfaciendo su amplia curiosidad científica. Tenía olfato para las cosas interesantes y estaba dispuesto a destacar con especulaciones, pero siempre de acuerdo con sus conocimientos matemáticos de primer nivel. Por entonces, una de sus conjeturas más intrigantes, cuando Gran Bretaña se estaba recuperando de la guerra con sus colonias en América, fue imaginar eso que hoy llamamos agujero negro.

Esta idea se desarrolló a partir de una temprana predicción que Michell había hecho. En el siglo XVIII los astrónomos veían cada vez más estrellas dobles mientras recorrían el cosmos con sus telescopios, progresivamente mejores. El sentido común de aquel entonces declaró que, en realidad, esas estrellas se encontraban a distintas distancias de la Tierra, estrechamente alineadas en el firmamento por mero azar —según esto, era solo una ilusión que estuvieran conectadas de alguna forma—. Con notable lucidez, Michell argumentó que para formar casi todos esos pares debían estar vinculadas gravitacionalmente entre sí.

Estaba sugiriendo que las estrellas podían existir por pares, una noción completamente novedosa para los astrónomos de entonces. En un innovador artículo publicado en 1767, Michell dedujo la alta probabilidad de que, dado un grupo de estrellas, las estrellas gemelas estuvieran físicamente cerca —«las probabilidades en contra de esta opinión», subrayó, «son muchos millones de millones a una»—. (Como solía hacer, expuso sus estimaciones en un pie de página.) Al hacer sus cálculos fue el primero en sumar la estadística al repertorio de herramientas matemáticas de la astronomía. Según Michael Hoskin, experto en historia de la astronomía, ese artículo «podría decirse que fue para la astronomía estelar la contribución más perceptiva e innovadora [...] del siglo XVIII».

Al mismo tiempo, Michell reconoció que las estrellas dobles podían ser bastante útiles para conocer muchas cosas sobre las propiedades de las estrellas: cuánto brillan, cuánto pesan, cuán grande es su circunferencia. Él sospechaba que las había más brillantes y más opacas que nuestro Sol. Aventuró, inteligentemente, que una estrella blanca era más brillante que una roja. («Esos fuegos que producen la luz más blanca», señaló en su artículo, «son por mucho los más brillantes».) Así, dos estrellas que orbitaban una junto a otra eran el laboratorio perfecto para, desde lejos, poner a prueba sus ideas y conseguir respuestas. Casi todos los astrónomos de esos días estaban lejos de preocuparse por estas cuestiones. Estaban muy ocupados descubriendo lunas o siguiendo el movimiento de los planetas con exquisita precisión. Para ellos, las estrellas no eran demasiado interesantes y solo servían como conveniente telón de fondo para sus mediciones del Sistema Solar y sus componentes. El Sol, la Luna y los planetas eran sus objetivos de observación principales.

El gran astrónomo inglés William Herschel, amigo de Michell, era la extraña excepción a esa regla. Con frecuencia cambiaba de enfoque, alejándose del trabajo astronómico convencional. Después de una docena de años de escritos de Michell acerca de las estrellas dobles, Herschel comenzó a examinar y a catalogar aquellas que se encontraban juntas en el cielo. Michell alabó el cre-

ciente banco de datos de Herschel como «un muy valioso regalo al mundo astronómico». Tan valioso que Michell amplió sus ideas acerca de las estrellas dobles en un artículo, publicado en 1784, bajo un título maratoniano: «Sobre los medios para descubrir la distancia, magnitud, etc., de las estrellas fijas como consecuencia de la disminución en la velocidad de su luz, en caso de que tal disminución se lleve a cabo en cualquiera de ellas, y esa información deba procurarse por medio de observaciones, como sería necesario para ese propósito». (¡Uuuuf!) Fue en este trabajo en el que insinuó la posibilidad del agujero negro, o al menos una versión dieciochesca y newtoniana de él.

El eminente Henry Cavendish, descubridor del hidrógeno y su vínculo con el agua, leyó el artículo de Michell en una serie de reuniones de la Royal Society en noviembre y diciembre de 1783 y enero de 1784. (Entonces fue publicado en la revista científica *Philosophical Transactions* de la Royal Society, con una extensión de 23 páginas.) Michell tenía verdadera devoción por la Sociedad, y al menos una vez al mes viajaba las arduas doscientas millas (trescientos kilómetros) entre Yorkshire y Londres para participar en las reuniones o compartir con sus amigos socios. Pero para las reuniones de aquel invierno, inexplicablemente el reverendo permaneció en su casa. Pudo deberse a una débil salud o a la falta de fondos para el viaje, o posiblemente solo quiso evitar el apogeo de las ruidosas escaramuzas para desbancar al presidente, el botánico sir Joseph Banks. También estaban de por medio las pruebas preliminares de su teoría: no detectaban lo que había esperado medir. Pero algunos historiadores han especulado que conocía la naturaleza audaz de su artículo y pensó que la Sociedad lo aceptaría más fácilmente si quien lo presentaba era su cercano y altamente respetado amigo y colega.

La técnica radical de Michell para estudiar las estrellas contemplaba la velocidad de la luz. Hizo notar lo siguiente: si los astrónomos estudiaban de cerca el par de estrellas en un sistema binario, moviéndose alrededor una de otra, podrían calcular sus masas. Era la aplicación más fundamental de las leyes de la gravedad de Newton.

VII. *On the Means of discovering the Distance, Magnitude, &c. of the Fixed Stars, in consequence of the Diminution of the Velocity of their Light, in case such a Diminution should be found to take place in any of them, and such other Data should be procured from Observations, as would be farther necessary for that Purpose. By the Rev. John Michell, B. D. F. R. S. In a Letter to Henry Cavendish, Esq. F. R. S. and A. S.*

Read November 27, 1783.

DEAR SIR,

Thornhill, May 26, 1783.

THE method, which I mentioned to you when I was last in London, by which it might perhaps be possible to find the distance, magnitude, and weight of some of the fixed stars, by means of the diminution of the velocity of their light, occurred to me soon after I wrote what is mentioned by Dr. PRIESTLEY in his History of Optics, concerning the diminution of the velocity of light in consequence of the attraction of the sun; but the extreme difficulty, and perhaps impossibility, of procuring the other data necessary for this purpose appeared to me to be such objections against the scheme, when I first thought of it, that I gave it then no farther consideration. As some late observations, however, begin to give us a little more chance of procuring some at least of these data, I thought it would not be amiss, that astronomers should be apprized of the method, I propose (which, as far as I know,

F 2

has.

El artículo del siglo XVIII en donde John Michell sugirió por primera vez la existencia de la versión newtoniana de un «agujero negro». (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London.*)

[Traducción: VII. *Sobre los medios para descubrir la distancia, magnitud, etc., de las estrellas fijas como consecuencia de la disminución en la velocidad de su luz, en caso de que tal disminución se lleve a cabo en cualquiera de ellas, y esa información deba procurarse por medio de observaciones, como sería necesario para ese propósito. Por el Rev. John Michell, B. D. F. R. S. en una carta a Henry Cavendish, Esq. F. R. S. y A. S.*

Leída el 27 de noviembre de 1783.

Thornhill, 26 de mayo de 1783.

Querido caballero:

El método que le mencioné cuando estuve por última vez en Londres, con el cual tal vez sea posible calcular la distancia, magnitud y peso de algunas estrellas fijas como medio de disminución en la velocidad de su luz, se me ocurrió poco después de escribir lo que publicó el Dr. Priestley en su *Historia de la óptica* en relación con la disminución en la velocidad de la luz a consecuencia de su aproximación al Sol; pero la dificultad extrema, y quizás imposibilidad, para proporcionar la información adicional necesaria para este propósito me parecieron, al pensarlo por primera vez, objeciones de tal envergadura para ese esquema que no las consideré más. Como, sin embargo, ciertas observaciones posteriores comienzan a darnos mayor oportunidad para conseguir por fin esta información, considero que no sería impropio para los astrónomos conocer el método que propongo (el cual, hasta donde sé...)

Si se medía la amplitud de la órbita y el tiempo que llevaba a las estrellas orbitar entre ellas, se podría dar una estimación de sus masas. Y si el tirón gravitacional de cada una afectaba el movimiento de la otra, sugirió Michell, ese tirón también afectaría a la luz. Era una época en la cual se asumía que la luz estaba compuesta por «corpúsculos», enjambres de partículas (sobre todo porque Newton había avalado esa idea y su opinión era reverenciada).

Imaginemos a estas partículas saliendo de la estrella y viajando hacia el espacio. Michell asumió que la gravedad atraería a estos corpúsculos igual que a la materia. Cuanto más grande fuera la estrella, mayor sería la resistencia gravitacional sobre la luz y disminuiría su velocidad. Habría una «disminución en la velocidad de la luz [de las estrellas]», como anunciaba el título de su artículo. Mida usted la velocidad de un rayo de luz al entrar por el telescopio y, *voilà!*, habrá adquirido el medio para pesar una estrella.

Y es aquí donde surge la posibilidad del «agujero negro»: Michell llevó su escenario hasta el límite y calculó cuándo sería tan grande la masa de una estrella que «la luz [...] volvería hacia ella como resultado de su propia fuerza de gravedad» —como un chorro de agua lanzado por una fuente, que alcanza una altura máxima y luego desciende—. Sin un corpúsculo radiante que escape de ella, la estrella se mantendría invisible para siempre, como un pequeño punto oscuro en el cielo. Según los cálculos de Michell, esa transformación podría darse cuando la estrella fuera quinientas veces más grande que el Sol, e igualmente densa. En nuestro Sistema Solar, tal estrella se extendería más allá de la órbita de Marte.

En 1796, en medio de la Revolución francesa, el matemático Pierre-Simon de Laplace llegó por su cuenta a una conclusión similar. Mencionó brevemente a estos *corps obscurs*, o cuerpos ocultos, en su famosa *Exposition du système du monde*, un manual sobre la cosmología de su época. «Una estrella luminosa, con igual densidad que la de la Tierra, y cuyo diámetro fuera doscientas cincuenta veces mayor que el del Sol», escribió, «no permitiría, como consecuencia de su atracción, a cualquiera de sus rayos llegar hasta nosotros; así, es posible que los más grandes cuerpos luminosos en el Universo

puedan, por esta causa, ser invisibles». Fue solo después de la crítica de un tenaz colega, el astrónomo barón Franz Xaver von Zach, que Laplace desarrolló, tres años después, una rigurosa prueba matemática para demostrar su precipitado enunciado inicial. La estimación de Laplace del diámetro de la estrella oscura fue diferente al de Michell porque asumió una mayor densidad para los cuerpos solares.

Pero ¿tiene algún sentido predecir la existencia de estrellas que jamás serán vistas? Laplace quizá reconsideró su planteamiento cuando se comenzó a ver a la luz como ondas, no como corpúsculos. O quizá sencillamente experimentó una pérdida de interés, pues en las ediciones posteriores del *Système du monde* —varias hasta su muerte en 1827— excluyó su conjetura sobre la estrella invisible y nunca la mencionó otra vez. Michell, por el contrario, mostró más sagacidad en su artículo de 1784. En él sugirió una manera más inteligente de «ver» esas estrellas invisibles. Si una de ellas gira en torno a una estrella luminosa, señaló, sería notable su efecto gravitacional sobre los movimientos de esta. En otras palabras: la estrella brillante parecería balancearse hacia delante y hacia atrás a lo largo del tiempo debido a los tirones de las estrellas oscuras. Es una de las múltiples vías que tienen los astrónomos actuales para rastrear agujeros negros.

Sin embargo, al final, Michell y Laplace se estaban adelantando a sí mismos —planteando problemas antes de que la física estuviera en posición de responderlos—. No se dieron cuenta de que las estrellas supergigantes tienen densidades mucho menores a las que previeron. Tampoco llegaron a considerar que el mismo efecto invisible podría darse si una estrella fuera más pequeña pero muy muy densa. Si de alguna manera se comprimiera a una estrella hasta hacerla más pequeña, la velocidad de escape aumentaría considerablemente. Pero en aquel entonces los astrónomos solo asumieron que todas las estrellas compartían con el Sol o la Tierra una misma densidad. ¿Algo podría ser más denso que los elementos terrestres? Impensable a finales del siglo XVIII.

Tanto Michell como Laplace estaban trabajando con una inadecuada ley de la gravedad, y una equivocada teoría de la luz. Aún no sabían que la luz nunca disminuye su velocidad cuando está en el

vacío. Probar la existencia de estas estrellas oscuras requería teorías más avanzadas para la luz, la gravedad y la materia. El concepto moderno de agujero negro —un verdadero «hoyo» en el espacio-tiempo, en vez de solo una gran mole de materia estelar oscura— no se daría en casi un siglo. Esperó a la aparición en escena del filósofo naturalista más ingenioso del siglo xx: Albert Einstein.