

La teoría de la relatividad general y el eclipse de 1919

El 29 de mayo de 1919, dos expediciones lideradas por Sir Frank Watson Dyson y Sir Arthur Stanley Eddington se lanzaban a la empresa de fotografiar un eclipse total de sol, tal vez el más aludido de la historia. La motivación, verificar una de las predicciones más sorprendentes de la teoría de la relatividad general: La deflexión de la luz producida por el campo gravitatorio. La observación perfeñada por los dos astrónomos ingleses y que dotaría a Albert Einstein de una fama que, hasta ese momento, sólo se circunscribía a los dextros académicos, cumple hoy cien años.

*Por Gaston Giribet

Según la teoría de Einstein, formulada en su versión definitiva en 1915, la luz ve desviada su trayectoria al pasar cerca de un astro gravitante. Es decir, la luz pesa. La relatividad general explica la gravedad como la curvatura del escenario mismo en el que transcurren los fenómenos físicos: el espacio-tiempo. De acuerdo con esta descripción de los efectos gravitatorios, cuando un cuerpo A ejerce gravedad sobre otro cuerpo B, lo que en realidad está haciendo es curvar el espacio-tiempo en sus inmediaciones, logrando así que B ciña su trayectoria a dicha curvatura. La luz, en cuanto navegante del espacio y el tiempo, no escapa a esta lógica y, por lo tanto, debe ver desviado su andar al pasar cerca de un astro masivo como, por ejemplo, el Sol.

Eddington, un ya por entonces reconocido astrónomo inglés, profesor de la Universidad de Cambridge, supo de la teoría de Einstein a comienzos de 1916 gracias a su colega holandés Willem de Sitter. No transcurrió mucho tiempo antes de que el inglés advirtiera la importancia de las predicciones de la relatividad general y se propusiera comprobarlas. Fue así como decidió proponer a la Royal Astronomical Society un proyecto para observar el eclipse de 1919 y, con ello, someter a prueba las predicciones de la teoría de Einstein.



Albert Einstein y Arthur Eddington, varios años después.

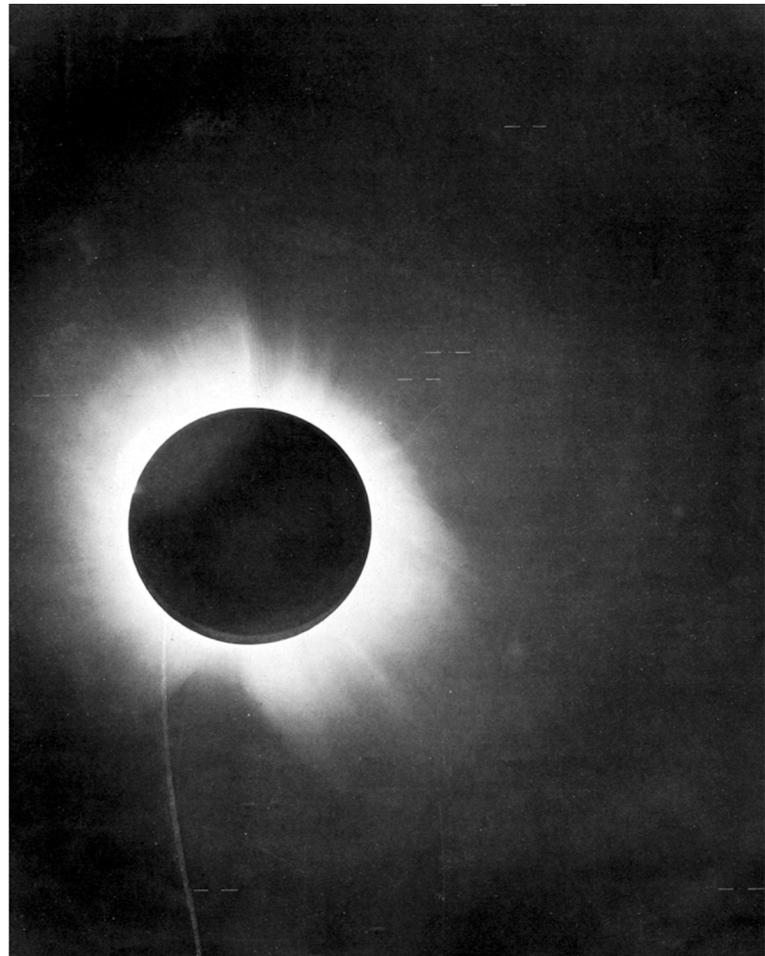
La idea del proyecto de Eddington -que habían concebido otros antes que él - era de una simpleza genial: Si, tal como dice Einstein, la luz habrá de ver desviada su trayectoria al pasar cerca de un astro gravitante, entonces nuestro mapa del cielo sufriría alguna alteración cuando se interpusiese el Sol entre las estrellas y nosotros. Es decir, el Sol debería actuar como una lente gravitacional que altera la trayectoria de los rayos de luz que nacen en las estrellas y llegan a nuestros dispositivos de observación, modificando así la posición aparente de las estrellas en el cielo. Por lo tanto, si uno pudiese comparar las posiciones que toman las estrellas en el cielo cuando el Sol no está allí con las que toman cuando el Sol sí está allí, entonces uno podría verificar o descartar el fenómeno de deflexión predicho por Einstein. Por supuesto, hay una objeción inmediata a este método: el brillo del Sol opacaría el de las estrellas que quedarán a su espalda. En breve, no vemos las estrellas durante el día. "Sólo durante un eclipse total una magia tal es posible", saben los astrónomos.

Eddington identificó un grupo de estrellas a ser observadas durante el eclipse del 29 mayo de 1919: el cúmulo de Hyades, en la constelación de Tauro, estaría alineado con la Tierra y el Sol ese día. Esto permitiría verificar si las ubicaciones de las estrellas de ese cúmulo cambiaban de posición cuando el Sol aparecía en el campo visual cerca de ellas. Según la teoría de Einstein, en presencia del Sol, las estrellas de Hyades debían cambiar su posición aparente en poco menos de dos segundos de arco.

Durante los primeros meses de 1919, Eddington realizó observaciones minuciosas y determinó con toda la precisión que le permitía su época la ubicación de las estrellas del cúmulo. Si pudiese mostrar que las ubicaciones de esas estrellas cambiaban cuando el sol se interponía entre ellas y la Tierra, pensó, entonces la deflexión de la luz al pasar cerca del Sol sería confirmada.

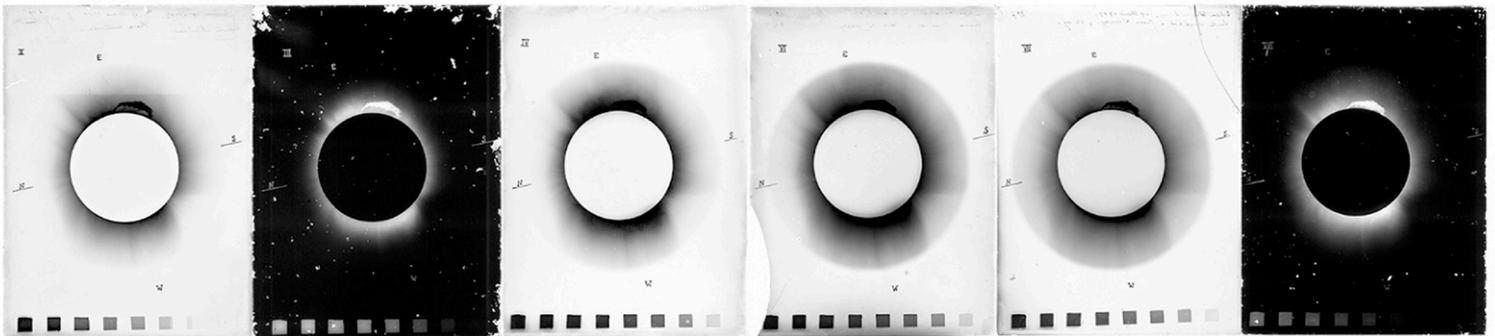
El proyecto de Eddington contaba con el apoyo de Dyson, astrónomo real, quien a pesar de tener un perfil ciertamente menos teórico que el suyo y de mantener una actitud escéptica acerca de la teoría de Einstein, impulsó la idea. La *Royal Astronomical Society* aceptó la propuesta y las observaciones se llevaron a cabo en mayo de 1919.

Eddington viajó a la isla de Príncipe, en África occidental, locación privilegiada para ver el eclipse total. Llevó con él su equipo de observación, los dispositivos fotográficos, y fue acompañado por Cottingham, su asistente. Una expedición simultánea se dirigió hacia Sobral, Brasil; otro sitio que iría a ser oscurecido por la sombra del eclipse. Fue también Dyson quien organizó la expedición a Sobral, aunque él no participó personalmente de ninguna de las dos campañas.



Durante los 6 minutos y 51 segundos que duró el eclipse, el más largo desde el siglo XV, Eddington prácticamente no miró al cielo, sino que estuvo ocupado con las placas fotográficas. Sólo echó una mirada de soslayo para cerciorarse de que el eclipse había comenzado y una segunda para ver cuán nublado estaba. Tomó dieciséis fotografías; la mayoría de ellas resultaron inservibles. Unas pocas, no obstante, sí sirvieron y, según escribía en su diario, parecían darle la razón a Einstein. Bromeó con Cottingham al respecto: "No tendrás que regresar solo a Inglaterra. No te preocupes".

Por su parte, la campaña de Brasil, llevada a cabo por Charles Rundle Davidson, Andrew Claude y Cherois Crommelin, parecían concordar. De los tres instrumentos empleados en Sobral, sólo dos brindaron datos confiables como para ser tomados en cuenta. Esos datos coincidían con la predicción de la relatividad general con un error menor al 20%.



Placas realizadas en el punto máximo del eclipse. Las observaciones se llevaron a cabo con el telescopio refractor astrográfico. Estas placas son de 23,5 cm x 18 cm de tamaño. Observatorio Nacional de Brasil.

A los pocos meses, se llevó a cabo una conferencia sobre el tema en la *Royal Astronomical Society*. Asistió a la misma William Wallace Campbell, un reconocido astrónomo de los Estados Unidos con gran experiencia en observaciones de eclipses y que había realizado intentos previos de observación del fenómeno. Campbell, en contraste con sus colegas británicos, asistía a la conferencia para reportar resultados negativos, basados en sus observaciones del eclipse de 1918. Se entablaba entonces un fuerte debate: Mientras las observaciones de Eddington parecían estar de acuerdo con las predicciones de Einstein, Campbell sostenía no haber observado el corrimiento de las estrellas. Eddington, minucioso y reconocido por ello, afirmaba que sus resultados eran preliminares y que, aunque éstos apuntaban a que Einstein estaba en lo cierto, no debían tomarse como definitivos aún. Fue en octubre de 1919 cuando Eddington y sus colaboradores presentaron sus resultados finales: El análisis de unas pocas fotografías útiles de la campaña africana, en acuerdo con las de Brasil, llevaba a la conclusión de que, cerca del Sol, la luz sufría una deflexión de su trayectoria en un ángulo de 1,75 segundos de arco.

El 6 de noviembre se anunció que Einstein estaba en lo cierto y, de la noche a la mañana, el padre de la relatividad general se convirtió en el personaje más célebre que conocemos. Su nombre estaba en las tapas de los principales diarios del mundo. El 10 de noviembre de 1919, *The New York Times* titulaba: "Einstein theory triumphs. Stars not where they seemed or were calculated to be, but nobody need worry." Un día más tarde: "Accepts Einstein gravitation theory; Prof. Curries of Brown University calls eclipse demonstration great achievement." Y se reportaba el debate: "Some scientists cautious, want full reports from the observers before forming their final conclusions".

A comienzos de 1920 se publica en *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* el artículo "A determination of the deflection of light by the Sun's gravitational field, from observations made at the total eclipse of May 29, 1919", el que suscriben Dyson, Eddington y Davidson. Las conclusiones del trabajo son claras: "[T]he results of the expeditions to Sobral and Principe can leave little doubt that a deflection of light takes place in the neighbourhood of the sun and that it is of the amount demanded by Einstein's generalised theory of relativity, as attributable to the sun's gravitational field."

El debate con Campbell se resolvería definitivamente pocos años más tarde. Si bien la controversia con aquellos que creían en las mediciones del norteamericano continuó por un tiempo, mediciones posteriores terminaron por confirmar los resultados de Eddington. En particular, en septiembre de 1922 un eclipse total que sería visto en Australia fue nuevo objeto de observación. Campbell y otros astrónomos de diferentes países, entre los que se encontraba el pionero Erwin Finlay-Freundlich, hicieron campañas de observación a Oceanía. Esta vez los equipamientos, en especial los de la expedición de Campbell, eran mejores a los empleados en las observaciones de 1918 y 1919. Los resultados dejaron pocas dudas: La deflexión de la luz mostraba el efecto predicho por Einstein.

[291]

IX. *A Determination of the Deflection of Light by the Sun's Gravitational Field, from Observations made at the Total Eclipse of May 29, 1919.*
By Sir F. W. Dyson, F.R.S., Astronomer Royal, Prof. A. S. Eddington, F.R.S., and Mr. C. Davidson.
(Communicated by the Joint Permanent Eclipse Committee.)
Received October 26; Read November 4, 1919.

[PLATE I.]

CONTENTS.		Page
I. Purpose of the Expedition		291
II. Preparation for the Expedition		292
III. The Expedition to Sobral		292
IV. The Expedition to Principe		292
V. General Conclusions		292

I. PURPOSE OF THE EXPEDITION.

1. THE PURPOSE OF THE EXPEDITIONS WAS TO DETERMINE WHAT EFFECT, IF ANY, IS PRODUCED BY A GRAVITATIONAL FIELD ON THE PATH OF A RAY OF LIGHT TRAVELLING IN A STRAIGHT LINE. ALTHOUGH THE RESULTS OF THE OBSERVATIONS MADE AT THE TOTAL ECLIPSE OF MAY 29, 1919, APPEARED TO BE IN ACCORDANCE WITH EINSTEIN'S THEORY, WHICH PREDICTS A DEFLECTION OF LIGHT BY THE SUN'S GRAVITATIONAL FIELD OF AN AMOUNT OF 1.75 SECONDS OF ARC, IT WAS ESPECIALLY DESIRED TO DETERMINE ACCURATELY—

(1) THE PATH IS UNDEFLECTED BY GRAVITATION.

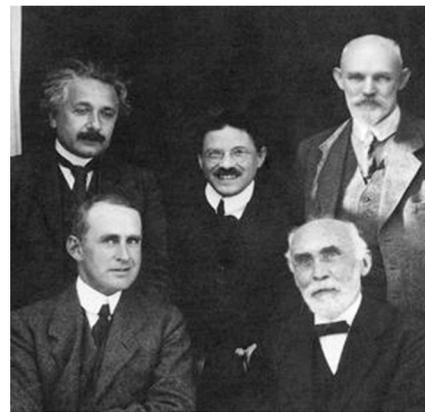
(2) THE ENERGY OR MASS OF LIGHT IS SUBJECT TO GRAVITATION IN THE SAME WAY AS ORDINARY MATTER. IF THE LAW OF GRAVITATION IS EXACTLY THE NEWTONIAN LAW, THIS LEADS TO AN APPARENT DISPLACEMENT OF A STAR CLOSE TO THE SUN'S LIMB AMOUNTING TO 0".87 OUTWARDS.

(3) THE COURSE OF A RAY OF LIGHT IS IN ACCORDANCE WITH EINSTEIN'S GENERALISED RELATIVITY THEORY. THIS LEADS TO AN APPARENT DISPLACEMENT OF A STAR AT THE LIMB AMOUNTING TO 1".75 OUTWARDS.

IN ORDER OF THIS LAST TWO CASES THE DISPLACEMENT IS INVERSELY PROPORTIONAL TO THE DISTANCE OF THE STAR FROM THE SUN'S CENTRE, THE DISPLACEMENT UNDER (2) BEING JUST DOUBLE THE DISPLACEMENT UNDER (3).

IT MUST BE NOTED THAT BOTH (2) AND (3) AGREE IN SUPPOSING THAT LIGHT IS SUBJECT TO GRAVITATION IN PRECISELY THE SAME WAY AS ORDINARY MATTER. THE DIFFERENCE IS THAT, WHEREAS (2) ASSUMES THE NEWTONIAN LAW, (3) ASSUMES EINSTEIN'S LAW OF GRAVITATION. THE SLIGHT DIFFERENCE BETWEEN (2) AND (3) IS 0".88 SECONDS OF ARC.

1919, XXXIX.—A. 27b. (Published April 25, 1920.)



Determinación de la deflexión de la luz debido al campo gravitacional del Sol, a partir de las observaciones del eclipse total del 29 de mayo de 1919.

Einstein, Ehrenfest, Willem de Sitter, Eddington, y Lorentz en Leiden (1923)

Varias décadas más tarde, los resultados de las observaciones de Eddington fueron revisados. En los años setenta, un equipo de expertos sometió las placas fotográficas de la campaña de 1919 a nuevas pruebas, exhumando elementos de un capítulo cerrado de la historia de la ciencia. Una de las motivaciones para visitar los datos de 1919 era que la historia de la observación de Eddington no estuvo exenta del embate de teóricos de la conspiración. Por un lado, hubo quienes echaron dudas sobre las razones que podrían haber tenido los ingleses para dejar de lado los datos de uno de los tres dispositivos de observación empleados en Brasil, sugiriendo un sesgo de Eddington y sus colaboradores a favor de la teoría de Einstein. Incluso se insinuó que Eddington, reconocido por su postura pacifista, acaso había visto con buenos ojos darle la razón a un científico alemán en los años de la postguerra.

El debate se cerró definitivamente en 1978, cuando un equipo liderado por C. Murray escudriñó los datos de la campaña de Sobral de 1919, confirmando con métodos modernos los resultados obtenidos por publicados por Dyson, Eddington y Davidson.

Tentativas previas a 1919

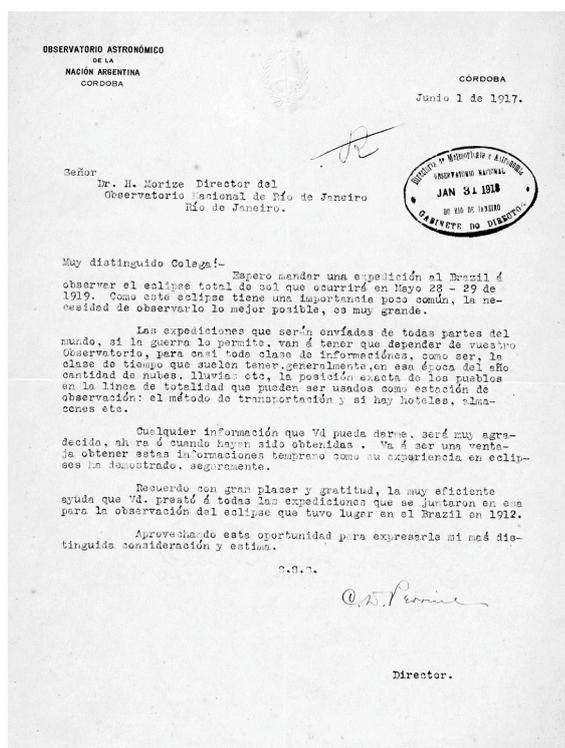
Los intentos anteriores por medir la deflexión de la luz mediante la observación de un eclipse, aunque fallidos, son también merecedores de mención, en particular debido a sus tintes épicos.

Uno de los personajes más relevantes de la historia es, sin lugar a duda, Erwin Finlay-Freundlich, un joven astrónomo alemán que se desempeñaba como asistente del observatorio de Berlín. Einstein, mucho antes que Eddington, e incluso bastante antes de tener completa su teoría de la relatividad general, había ya persuadido a Finlay-Freundlich para que lo ayudara a realizar observaciones. Motivado por la idea, el joven solicitó a Campbell una serie de fotografías tomadas en campañas de observación de eclipses anteriores; en particular, campañas destinadas a buscar planetas de órbitas sub-mercurianas. Al estudiar el registro de fotografías de dichas campañas, Finlay-Freundlich no logró resultados positivos, lo que lo convenció de que necesario observar el próximo eclipse.

Finlay-Freundlich le solicitó a Charles Perrine, quien por entonces era director del Observatorio Nacional Argentino, cooperación para llevar a cabo observaciones del próximo eclipse solar, que acaecería el jueves 10 de octubre de 1912. Perrine organizó una expedición a Brasil: él junto a tres colaboradores se instalaron a las afueras del pueblo de Cristina, en el estado de Mina Gerais, a unos 200 kilómetros de la ciudad de Sao Paulo. No obstante, a pesar de contar con la capacidad técnica para realizar las mediciones, el tiempo nublado les jugó una mala pasada y no les permitió observar.

Perrine y otros intentaron nuevamente dos años más tarde, durante el eclipse del 21 de agosto de 1914. Esta vez, el sitio ideal para la observación no era Brasil sino Ucrania; más precisamente, Teodesia, ubicada en la península de Crimea, a orillas del Mar Negro. Cabe decir que el adjetivo "ideal" con el que nos referimos a la Ucrania de 1914 se refiere a las cualidades geométricas de aquel eclipse, pero ciertamente no a la situación política de la Europa de aquellos días. El 28 de junio de ese año el archiduque Franz Ferdinand de Austria era asesinado en Sarajevo y se desencadenaban los eventos que llevarían a la Primera Guerra Mundial.

Esto llevó a que los integrantes de la campaña de observación alemana fueran detenidos en suelo ucraniano; entre ellos, Finlay-Freundlich. Algunos astrónomos europeos fueron deportados y parte substancial de los equipos de observación fue incautada. Campbell, siendo de los Estados Unidos, un país neutral por aquellos días, estuvo habilitado a continuar con las observaciones. También lo estuvo Perrine. De las docenas de expediciones que pretendían observar el eclipse en esa ocasión, sólo unas pocas tuvieron el permiso de intentarlo; aunque nuevamente sin éxito debido al tiempo. Si bien se lograron algunas imágenes, éstas fueron de poca claridad.



Carta de Charles Perrine a Henrique Morize, director del Observatorio Nacional de Río de Janeiro

Se suele señalar que el hecho de que la expedición de 1914 haya fracasado fue, curiosamente, un hecho afortunado para Einstein. Su teoría de la relatividad general no tomó su forma definitiva sino hasta avanzado el año 1915. Tanto es así que la versión de la teoría con la que en 1914 se había calculado el efecto de deflexión de la luz era incorrecta y erraba al cálculo en un factor 2. No fue sino hasta un año después del intento en Teodesia que los cálculos habían sido corregidos.

Cabe agregar que, aunque la teoría newtoniana no describe a la gravedad como la deformación del espacio sino como una fuerza en el sentido clásico, también puede explicar la deflexión de la luz en un ángulo pequeño si uno adscribe, además, a cierta hipótesis corpuscular sobre la composición de la luz. No en vano ya los astrónomos del siglo XVIII, John Mitchell en 1783 y Pierre-Simon Laplace en 1792, habían contemplado los efectos de la gravedad sobre la luz, incluso al punto de predecir la existencia de los agujeros negros. La teoría de Newton, si uno insiste con pensar a la luz como una sustancia sometida a los influjos gravitatorios, predice una deflexión que es exactamente la mitad de la predicha por la teoría de Einstein de 1915, pero que coincide con la que Einstein habría predicho con su teoría incompleta de 1914. En resumen: 1914 no era el momento aún.

La primera expedición posterior a 1915 se llevó cabo en febrero de 1916. La franja de totalidad de ese eclipse, que comenzó en el océano Pacífico, alcanzaría el norte de Sudamérica. Así, astrónomos, entre los que se encontraba el argentino Chaudet, partieron a Venezuela. Nuevamente, el tiempo estuvo lejos de ser el óptimo y, aunque se alcanzó a tomar algunas fotografías, las observaciones no sirvieron para comprobar la teoría. Un próximo intento sería en junio de 1918.

En el ínterin, hubo intentos por medir el efecto de la deflexión de la luz debido a la gravedad del Sol sin que, para hacerlo, se necesitara de un eclipse. La idea era observar una estrella muy brillante, tan brillante que pudiera ser vista incluso si ésta se ubicase junto al Sol. Se eligió a Regulus, la estrella más brillante de la constelación de Leo. El 17 de agosto de 1917, Regulus estaría casi en conjunción entre con la Tierra y el Sol. Lindemann fue uno de los impulsores de esta "observación sin eclipse", la que se intentaría desde la India británica. El proyecto, no obstante, fracasó.

Con Europa aún en guerra, el eclipse de 1918 se acercaba, y la oportunidad encontraba a Campbell con ventaja respecto a sus colegas ingleses y alemanes. El americano observó el eclipse ese año y consiguió algunas fotografías. La medición que se pretendía efectuar, sin embargo, era extremadamente precisa. En las placas fotográficas, el corrimiento de las estrellas respecto a la posición que deberían éstas ocupar si el Sol no estuviera allí sería sub-milimétrico. Hubo incluso interpretaciones alternativas para los ligeros corrimientos observados, y llegó a sugerirse que no había evidencias de tales corrimientos. Varios se apresuraron a concluir que Einstein estaba equivocado, aunque sólo con timidez se lo decía; nadie quería arriesgar la reputación. Campbell era cauteloso y no se apresuraba a publicar su conclusión en contra de la teoría de la relatividad. Esperaría al menos hasta 1919 para dar a conocer los resultados de la reexaminación de sus observaciones.

Finalmente, las observaciones concluyentes llegaron de la mano de Dyson y Eddington en 1919. Las predicciones de Einstein eran correctas. Las estrellas aparecían movidas de su posición usual en 1,75 segundos de arco. La luz gravita.

Referencias

- [1] F. Dyson, A. Eddington, C. Davidson, Phil. Transac. of Royal Soc. Of London 220 (1920) 291.
- [2] S. Paolantonio y E. Minitti, Boletín de la Asoc. Argentina de Astronomía 50 (2007) 359.
- [3] D. Kennefick, No shadow of a doubt, Princeton University Press (2019).