

L'eclipsi de 1919 i la relativitat general

Manel Perucho

Universitat de València

El 1905 Albert Einstein publicava la teoria de la relativitat especial. Aquesta teoria donava una solució al problema que es derivava de la teoria electromagnètica de Maxwell i dels resultats experimentals de Michelson i Morley en la huitena dècada del segle XIX. El problema? Que la velocitat de la llum és independent de l'observador, és a dir, que tots mesuren el mateix valor. Segons la física del moment, la velocitat mesurada de qualsevol objecte (o ona) havia de dependre de la velocitat de l'observador. L'impacte va ser greu i els debats sobre la interpretació van durar anys. La teoria de la relativitat es va imposar i la nostra percepció de l'univers va canviar per sempre: l'espai i el temps esdevenien flexibles – es podien dilatar o contraure –, es fusionaven en el concepte geomètric de l'espai-temps i, a més, la matèria i l'energia es convertien en una mateixa cosa.

Tanmateix, la teoria no incloïa la dinàmica de les partícules sotmeses a un camp gravitatori. Va ser l'any 1915 quan Einstein va publicar la teoria de la relativitat general, amb una interpretació geomètrica de la gravetat. La interpretació geomè-

trica consistia bàsicament en el següent: l'espai-temps és, en general, pla, però la massa/energia l'encorba. La teoria explicava un dels problemes sense resoldre en l'època: la precessió del periheli de Mercuri. Efectivament, la posició del punt de mínima distància entre Mercuri i el Sol canviava amb el temps, fet inexplicable amb la gravetat de Newton. A més, hi havia les prediccions que s'haurien de comprovar per tal de validar-la o refutar-la.

Aquest article se centrarà precisament en una de les prediccions de la teoria d'Albert Einstein: l'efecte de la gravetat (o la curvatura) sobre la llum. Que la gravetat podia actuar sobre la llum ja s'havia dit: Isaac Newton havia especulat amb aquesta possibilitat i Johann Georg von Soldner en va fer el càlcul el 1801 per a un raig de llum passant prop del Sol. Tanmateix, aquesta aproximació tenia un problema: la llum, fins i tot entesa des de la perspectiva corpuscular (com a fotons), no té massa. Com podia, aleshores, sentir la gravetat? La interpretació geomètrica resolva aquest problema, atès que en aquest cas la llum sentiria la curvatura produïda per un cos massiu.



Arthur S. Eddington. (Font Wikipèdia)



Frank Watson Dyson. (Font: Wikipèdia)

La llum, fins i tot entesa des de la perspectiva corpuscular (com a fotons), no té massa. Com pot, aleshores, sentir la gravetat?

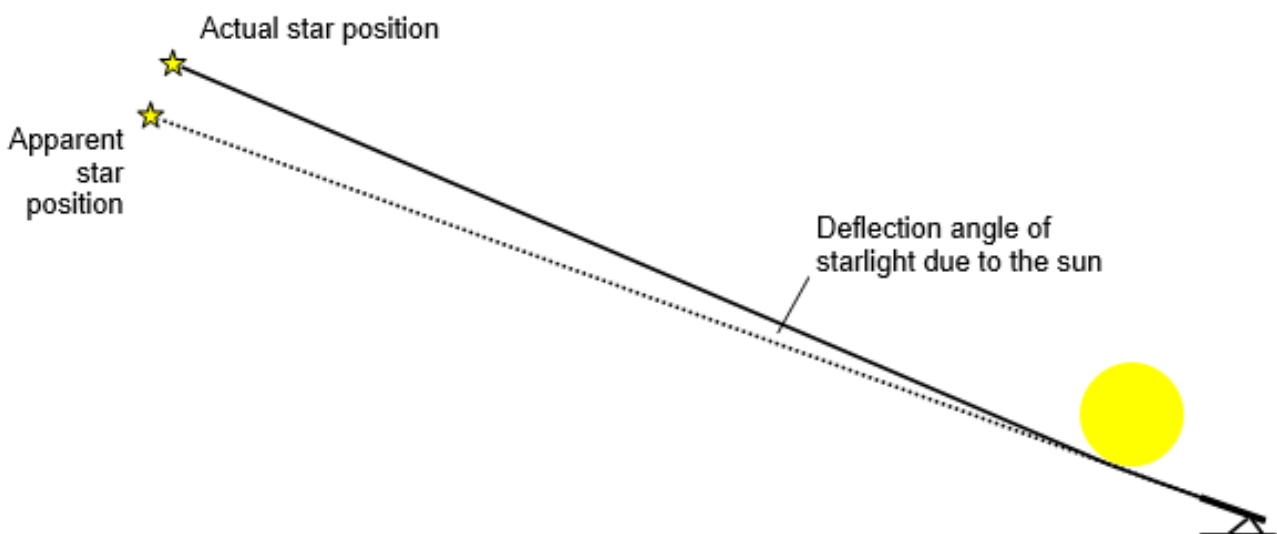
El fet que el càlcul incloga errors conceptuals no implica que no es pugui fer i, segons se'n podia deduir, la desviació havia de ser de 0,87 segons d'arc si el raig de llum passava per la superfície del Sol. Més tard, amb la relativitat general desenvolupada, Einstein en va refer el càlcul i va obtenir 1,74 segons d'arc, és a dir, el doble del que es podia predir amb la gravetat de Newton.

Que dues teories donen prediccions diferents per a un mateix fenomen és una gran notícia, atès que si se'n pot fer la mesura podem saber quina respon més correctament a aquest fenomen. Ara bé, com és senzill d'entendre, observar llum al voltant del Sol és impossible. Impossible, tret que alguna cosa tape el Sol.

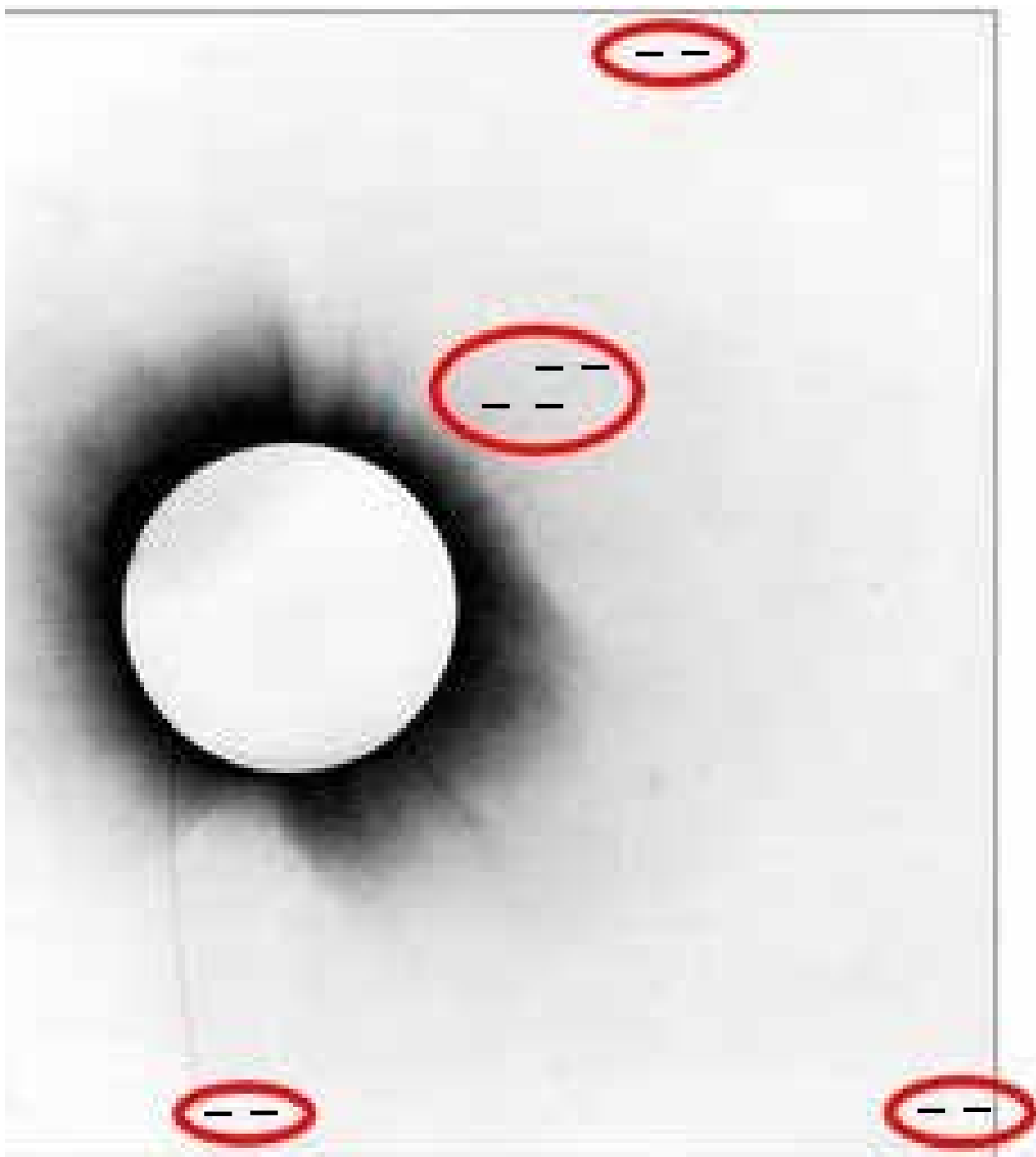
Enmig de tot això, la Primera Guerra Mundial impedia la comunicació entre els científics dels països en guerra. Per això, la notícia de la publicació de la teoria de la relativitat general va arribar als protagonistes d'aquesta història –britànics– a través d'un col·lega neerlandès, Willem De Sitter (els Països Baixos hi eren neutrals), en particular perquè va enviar l'article al seu amic Arthur S. Eddington, director dels observatoris de Cambridge. Eddington va fer d'altaveu del treball a la *Royal Astronomical Society* a principi de 1917. Poc temps després, Sir Frank W. Dyson, astrònom reial, el va informar que el 29 de maig de 1919 hi hauria un eclipsi total en una franja que creuava l'Atlàntic, des de Guinea Equatorial al Brasil.

Aquest eclipsi podia representar una gran ocasió per a fer l'experiment per dos motius principals: 1) l'eclipsi tindria una durada de sis minuts (molt més llarg, per exemple, que el que gaudirem nosaltres aquest estiu), i 2) tot just darrere del Sol estaria el cúmul de les Híades. Efectivament, per tal d'estudiar la curvatura dels raigs de llum calia un focus ubicat darrere del Sol, de manera que els raigs passaren prop de la seua superfície per poder patir l'efecte que calia estudiar. Si els raigs es corben, la posició aparent del focus (l'estel corresponent) estaria desplaçada respecte de la real. Hi havia tres possibles resultats de l'experiment: que no hi haguera cap desplaçament aparent de la posició de l'estel, que n'hi haguera i que fora compatible amb la predicció newtoniana, o amb la relativista. La primera opció ens hauria dit que la llum no es veu afectada per la gravetat i hauria posat en seriosos problemes les dues teories. El projecte va rebre un finançament de mil lliures esterlines.

L'experiment implicava idealment dues imatges de la mateixa regió del cel, una durant l'eclipsi i altra quan les Híades foren visibles de nit per tenir les distàncies relatives amb la possible distorsió i sense aquesta. Les millors localitzacions que van trobar van ser l'illa de Príncipe, a la costa occidental africana, i Sobral, al nord del Brasil. Així, doncs, es van configurar dos equips. A Sobral hi van anar Charles Davidson i Andrew Crommelin, astrònoms de l'observatori reial de Greenwich. A Príncipe, l'esmentat Eddington, i Edwin T. Cottingham, un rellotger de Cambridge.



Experiment de l'eclipsi d'Eddington. (Font: Jeremy Britton)



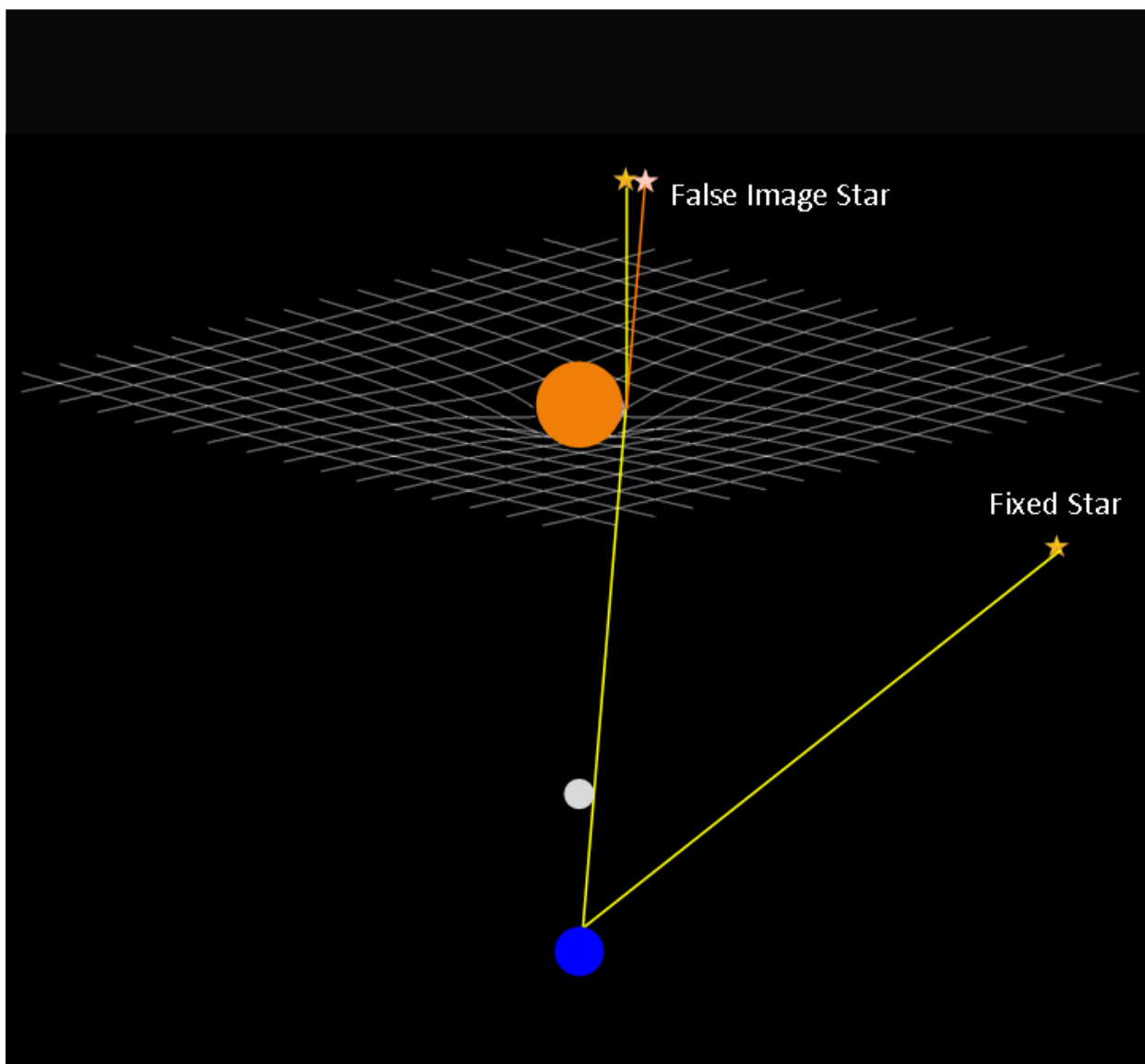
Eencerclats els estels observats. (Font: Dyson, Eddington and Davidson, Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, Vol. 220 (1920))

Durant la fase de preparació va sorgir un petit problema amb la possible mobilització de l'astrònom de Cambridge per anar a les trinxeres de la guerra. Com a quàquer, s'hi havia de negar i acabar a la presó. La influència de Dyson va aconseguir una pròrroga d'un any per tal de preparar el viatge i fer l'observació. Per fortuna, la guerra va acabar abans del final de la pròrroga.

Les expedicions van salpar al febrer de 1919 amb el material que van poder arreplegar. D'una banda, molts dels qui podien fer telescopis estaven en el front i, de l'altra, l'observatori de Greenwich no havia recuperat els telescopis que van emprar en una expedició en un eclipsi a Rússia el 1914 i que els seus membres van haver de deixar abandonats per fugir esperitats en es-

clatar la guerra. Les lents, amb camps de visió amplis, tal com demanava l'observació, es van separar de les seues estructures habituals, més difícils de transportar, i es van ubicar en tubs que en facilitaren el transport. Per aquest motiu, s'hi van haver d'incorporar uns espills coneguts com a celòstats que es poden moure per corregir el moviment de rotació de la Terra i fixar el camp de visió en la imatge.

A Eddington i Cottingham els va eixir mal dia i només cap al final de l'eclipsi van poder prendre un parell d'imatges utilitzables. Per la seua banda, Davidson i Crommelin van tenir problemes amb els seus instruments, segurament per l'efecte de la calor en els tubs metàl·lics que van fer in situ per a la lent més gran (uns 25 cm de diàme-



Experiment d'Eddington: desviament dels raigs de llum per la curvatura de l'espai-temps generada pel Sol. (Font: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eddington_1919.png)

tre) i l'espill celòstat. Així, les imatges van resultar borroses. Sortosament, les que van prendre amb una lent més petita, d'uns 10 cm, tenien bona qualitat.

Pel que fa a les imatges de referència dels estels, s'havia de fer de nit, cosa que requeriria poc de temps a Sobral, on l'eclipsi havia ocorregut a primera hora del matí, però serien mesos a Príncipe. Això va impossibilitar a l'equip africà fer aquesta segona observació, fet que van compensar amb imatges preses a Oxford i corregides per la diferència en el punt d'observació.

Amb les dificultats que van implicar tots aquests problemes, les dades utilitzables van ser analitzades a Cambridge i Greenwich. Els resultats van ser d' $1,61 \pm 0,40$ segons d'arc per a l'observació de Príncipe, i $1,98 \pm 0,18$ per a la de Sobral. L'anàlisi estadística indicava clarament que l'opció més probable era que representaren la confirmació de la relativitat general, entre les tres esmentades abans (no curvatura, Newton o Einstein).

Certament, tots els problemes dels experiments

van introduir un cert grau d'error a les mesures, fet que alguns van aprofitar dècades després per a posar en dubte l'experiment, el resultat i, fins i tot, la manera de fer de la ciència. Fins i tot s'ha arribat a acusar Eddington i Dyson d'eliminar les imatges defectuoses sense un criteri objectiu, sinó amb la intenció d'afavorir la teoria d'Einstein. Tanmateix, diferents científics han revisat críticament el procediment, fent ús no solament d'eines de treball científic, sinó també de la documentació històrica que van deixar els protagonistes, i han confirmat que els resultats van ser tractats amb total honestat i que, efectivament, van arribar a la conclusió estadísticament correcta.

Finalment, les mesures posteriors han ratificat que la predicció de la relativitat era ajustada i que aquest experiment –impugnat per alguns– va ser essencialment correcte en els càlculs i del tot honest quant al tractament d'aquests. Però sobretot va resultar determinant en la història de la ciència i, en concret, a l'hora de confirmar experimentalment la validesa de la teoria d'Einstein que va revolucionar la física a principi del segle XX.