

Einstein en metàfores

“Jo vull conèixer els pensaments de Déu, la resta són detalls” és una de les frases més cèlebres d'Albert Einstein. El geni es va acostar a la sala de màquines de Déu més que ningú, i canvià els paradigmes de la ciència i superà els límits de la física de Newton. La seva metodologia no deixa de ser sorprenent. Malgrat ser un molt bon matemàtic, la majoria d'idees estel·lars –i raríssimes– que va tenir van sorgir gràcies als experiments mentals que ideava, col·locant personatges imaginaris en situacions molt extremes però comprensibles per a tothom. Un cop tenia la idea, buscava l'aval matemàtic. Els divulgadors científics sovint expliquen la complicada realitat que descriuen les seves teories utilitzant aquests experiments mentals o analogies similars.

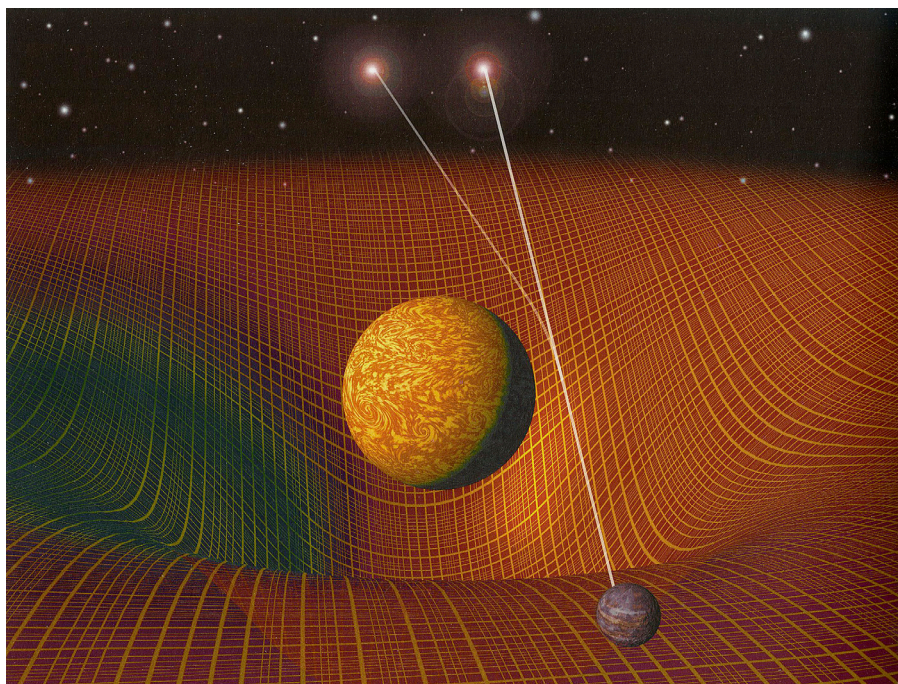
Per molta metàfora que s'utilitzi, però, resulta impossible explicar totes les troballes d'Einstein en tan poc espai, i per tant ens centrarem en la part principal de la teoria general de la relativitat, que es va publicar fa tot just cent anys. Ara bé, per poder entendre la teoria general de la relativitat, primer cal repassar alguns aspectes de la teoria especial de la relativitat, que Einstein va publicar deu anys abans, el 1905, i que postulava unes idees revolucionàries i molt antiintuitives sobre l'espai i el temps. Alhora, per entendre la teoria especial de la relativitat, sentint-ho molt, cal anar dos-cents anys enrere, fins a l'època d'Isaac Newton.

Imaginem un camió que remolca una plataforma i avança per la carretera a 100 quilòmetres per hora. A sobre de la plataforma hi ha un jugador de tennis practicant el servei i també hi ha el seu entrenador per detectar la velocitat a què va la pilota. El jugador fa el servei i l'entrenador determina que la pilota ha anat a 200 quilòmetres per

En el centenari de la publicació de la teoria general de la relativitat, repassem algunes de les analogies que ha utilitzat la divulgació científica per explicar al gran públic el significat ocult d'una de les meravelles de la història de la ciència.

Reportatge d'Àstrid Bierge

hora. Ara imaginem que aquesta escena també l'ha vista algú que estava aturat a la carretera. Per a aquest observador, que amb relació al camió està quiet, la pilota haurà anat a 300 quilòmetres per hora: els 200 quilòmetres per hora de la pilota respecte al camió sumats als 100 quilòmetres per hora del camió respecte a la carretera. Qui té raó, quin dels dos observadors ha pres correctament la mesura sobre la velocitat de la pilota? Segons ja va establir Newton amb les seves lleis del moviment, tots dos observadors tenen raó perquè no hi ha res que estigui aturat en termes absoluts –l'observador aturat a la carretera, és a la Terra, que es mou respecte al Sol i a altres objectes de l'univers. Per tant, no podem assignar →



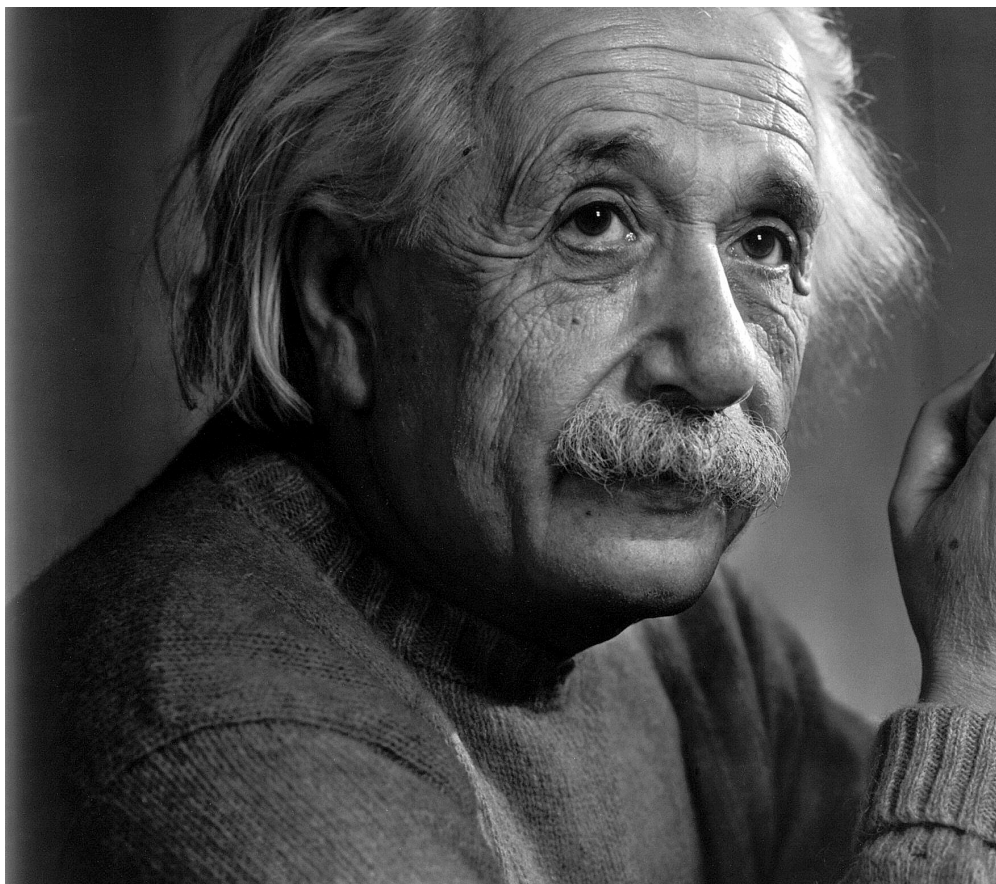
La curvatura de l'espai-temps provocada pel Sol desvia la llum d'una estrella que passa a prop seu. Així, des de la Terra, l'estrella s'observa en una posició diferent de la que realment té.

→ una velocitat absoluta a la pilota ni a res, va dir Newton: la seva velocitat dependrà del sistema de referència respecte al qual es prengui la mesura.

El 1865 –quasi dos-cents anys després de Newton– les famoses equacions de James Clerk Maxwell van establir de manera definitiva que la llum viatja a una velocitat fixa. Sempre la mateixa. Això vol dir que, si fem l'experiment anterior substituint la pilota per un raig de llum, tots dos observadors determinaran que el raig de llum es desplaça a la mateixa velocitat. Això xocava de ple amb les lleis de Newton! Els científics de l'època, per a qui Newton era Déu, es preguntaven: la llum viatja a tres-cents mil quilòmetres per segon respecte a què? Algunes teories van mirar de resoldre la contradicció, però va ser Einstein qui, el 1905, va publicar la inimaginable resposta. De fet, anys més tard, va dir que “la llavor de la teoria especial de la relativitat era present en aquella paradoxa”.

El primer que cal saber és que, amb aquesta teoria, Einstein afirmava que les lleis de la ciència han de ser les mateixes per a tots els observadors, independentment de la velocitat a la qual es moguin. Per tant, com que la teoria de Maxwell afirma que la velocitat de la llum té un valor concret, qualsevol observador mesurarà el mateix valor, sigui quina sigui la velocitat amb la qual s'allunya o s'apropa de la font de llum. En altres paraules, la llum es mou a tres-cents mil quilòmetres per segon amb relació a tot. I punt.

Per entendre'n les implicacions, fem de nou un experiment mental. Imaginem que un corredor de ral·li, el Marc, té un cotxe capaç d'anar a cent mil quilòmetres per segon i vol mirar de fer-li una cursa en línia recta a un raig de llum. Una amiga seva, la Clàudia, es posa a la línia de sortida amb un làser a la ma. En el moment en què ella encén el làser, el Marc arrenca en la mateixa direcció. Què veurà la Clàudia? Veurà que, per cada segon que passa, el Marc recorre cent mil quilòmetres i el raig de

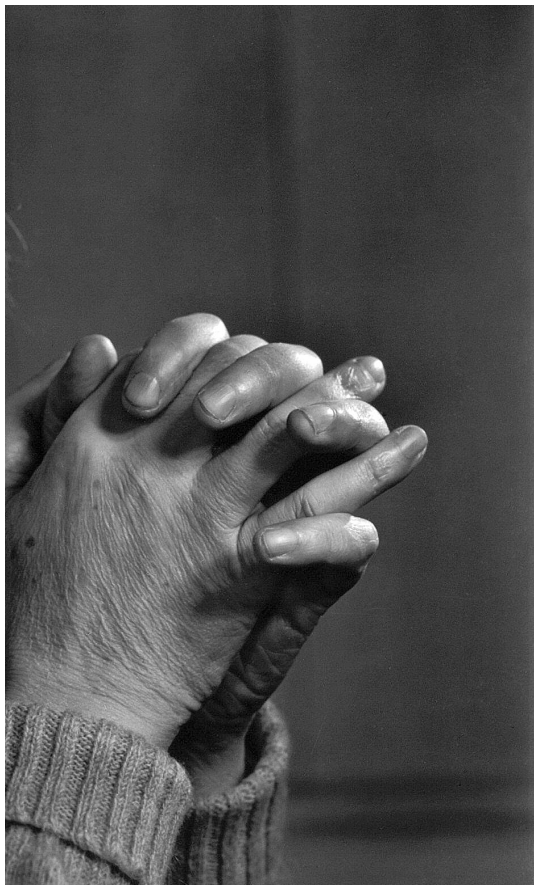


llum recorre tres-cents mil quilòmetres. Per tant, conclou que la llum s'està allunyant del Marc a una velocitat de dos-cents mil quilòmetres per segon. Sempre estan separats, doncs, per dos-cents mil quilòmetres. Segons Newton, quan acabi la carrera i el Marc torni, ell li ho confirmarà. Per contra, quan el Marc torna, explica a la Clàudia que, per molt que premés l'accelerador, el raig sempre s'allunyava d'ell a tres-cents mil quilòmetres per segon. És a dir, que la distància que el separava de la llum sempre era de tres-cents mil quilòmetres, mai no podia acostar-s'hi més. Com és possible que el Marc i la Clàudia discrepin a l'hora de determinar la distància recorreguda per la llum? Pensem un moment en el concepte de velocitat. La velocitat es mesura dividint la distància que recorre una cosa pel temps que triga a recórrer-la (km/h, m/s, etc.). És a dir, $v = d/t$. I recordem que la velocitat de la llum, per força, és sempre la mateixa. Llavors, seguint l'equació, si el Marc i la Clàudia discrepen en la distància que ha recorregut la llum, l'única manera perquè coincideixin en la velocitat de la

llum és que discrepin en el temps que ha trigat a transcórrer la distància. Increïble però cert.

Einstein, doncs, va descobrir que el temps i l'espai no són absoluts, com deia Newton, sinó relatius, depenen del moviment de l'observador. Cadascun de nosaltres porta el seu propi rellotge, i quan ens movem amb relació als altres, el nostre temps particular avança a un ritme diferent que el de la gent que es mou més ràpid o més lent. Com més ràpid vagis, més lent passarà el temps per a tu. Això s'ha comprovat de moltes maneres. Si hi ha dos rellotges sincronitzats i un el poses en un avió, quan aterra marca uns nanosegons menys que el que s'ha quedat a terra. Si la velocitat fos molt més gran que la d'un avió, la diferència es notaria més. Passa el mateix amb la distància. Tots portem el nostre regle personal i tots són igual de precisos, però quan ens movem amb relació a algú altre, les mesures que prenem no coincideixen.

El que es desprèn de la teoria especial de la relativitat és que el temps i l'espai estan intrínsecament lligats. Hi ha una



analogia que il·lustra molt bé aquesta relació. Imaginem que un cotxe es desplaça cap a l'est a la seva màxima velocitat possible, cent quilòmetres per hora. Tota la seva velocitat s'està desplaçant cap a l'est. De sobte, es desvia i comença a viatjar cap al nord-est. Tot i que segueixi anant a 100 quilòmetres per hora, ara està anant a menys de 100 quilòmetres per hora en la direcció est perquè una part de la velocitat és utilitzada per anar cap al nord. L'espai i el temps es poden concebre de la mateixa manera. Substituïm la coordenada "est" pel "temps" i la coordenada "nord" per l'"espai". Si estàs quiet en l'espai –no et moues– avances a la màxima velocitat possible –la velocitat de la llum– a través del temps –moriríem molt ràpid–, però si et comences a moure en l'espai, la teva velocitat a través del temps disminuirà perquè una part estarà sent desviada. Recordem: com més ràpid et moguis a través de l'espai, més lentament et mouràs a través del temps. I viceversa.

El temps i l'espai, doncs, estan lligats l'un a l'altre i conformen una entitat conjunta anomenada espai-temps. Amb

aquest personatge introduït, ja podem parlar de la teoria general de la relativitat.

Les corbes de l'espai-temps

La teoria especial de la relativitat no només xocava de ple amb la visió absolutista del temps i l'espai promulgada per Newton. També contradeïa l'obra mestra del científic: la llei de la gravetat. Segons Newton, cada objecte de l'univers estira els altres objectes a través d'una força anomenada gravetat. El conflicte amb la teoria d'Einstein és que la gravetat newtoniana tenia un efecte immediat. És a dir, si el Sol de sobte desaparegués, segons la teoria de Maxwell, des de la Terra trigariem vuit minuts a quedar-nos a fosques –que és el temps que triga la llum a viatjar des del Sol a la Terra–; però segons la teoria de Newton, la Terra sortiria d'òrbita instantàniament. És a dir, segons Newton, la velocitat de la força gravitatòria és infinita, no triga un temps concret i finit a arribar, és instantània. La teoria especial d'Einstein, però, estableix que res no pot anar més ràpid que llum.

El geni va estar deu anys obsessionat en la resolució d'aquest problema. El va plantejar des de l'arrel. Newton havia escrit una equació que explicava la influència que exercia la gravetat, però mai no va ser capaç de descriure quin era el mecanisme que utilitzava la gravetat per exercir la seva força. Com s'ho fa, el Sol, per atraure la Terra des de cent cinquanta milions de quilòmetres de distància? "Hypothesis non fingo" ("no formulo cap hipòtesi") deia Newton en els seus *Principia Mathematica*. "Ho deixo a la consideració del meu lector".

El que Einstein va pensar és que, si entre la Terra i el Sol només hi ha espai buit, l'atracció gravitatòria ha de ser exercida pel mateix espai. A partir d'aquesta idea lògica, va descobrir que la matèria i l'energia de l'univers fan que l'espai-temps es corbi. Hi ha un exemple clàssic per explicar aquest efecte. Imaginem que l'espai-temps és un llit elàstic. Si al mig hi col·loquem una roca –que seria el Sol– la superfície s'enfonsarà. Si llavors hi llancem una boleta fent un moviment lateral, la boleta –la Terra– seguirà una trajectòria corbada al voltant de la roca, orbitant-la. (Al final caurà cap a la roca, però això amb els planetes no passa per la força centrífuga i la manca de fricció.) Per tant, no hi ha cap força que empenyi la boleta cap a la roca, senzillament hi ha

una depressió en la superfície que dicta la seva trajectòria. Amb els objectes de l'univers passa el mateix. Einstein va descobrir que la gravetat és pura geometria! La matèria i l'energia creen una orografia de conductes i valls en el teixit de l'espai-temps que alhora determina la trajectòria d'aquest matèria i energia. Com se sol dir, l'espai-temps diu a la matèria/energia com s'ha de moure i la matèria/energia diu a l'espai-temps com s'ha de corbar.

La teoria general de la relativitat també proporciona un marc matemàtic per determinar la velocitat a la qual aquest efecte geomètric –la gravetat– exerceix la seva influència. Einstein va ser feliç de comprovar que ho fa a la velocitat de la llum, ni més ni menys. Per tant, si el Sol de sobte desaparegués, la Terra es quedaria a les fosques i sortiria d'òrbita en el mateix precís moment.

Einstein va publicar aquests resultats revolucionaris el 15 de novembre de 1915, però encara van passar uns anys fins que es va poder demostrar empíricament que eren correctes. Ell mateix va empescar-se l'experiment per poder posar-la a prova. La teoria preveia que la llum –energia– també notava els efectes de la gravetat, i per tant, si passava a prop d'un objecte molt massiu que corbés prou l'espai-temps, la trajectòria de la llum es veuria desviada. Així, la llum d'una estrella llunyana que passi a prop del Sol, es corbarà una mica cap a dins, fent que un observador de la Terra vegi l'estrella en una posició diferent de la que veritablement té. Com que la llum del Sol enlluerna, això només es podia comprovar durant un eclipsi total. El 1919, una expedició britànica que observava un eclipsi des de l'Àfrica, va fer fotografies i va comprovar que, efectivament, la presència del Sol feia que les estrelles apareguessin en una posició diferent de la coneguda.

Einstein es va fer arxifamós de la nit al matí. Quan una de les seves alumnes va preguntar-li com s'hauria sentit si l'experiment hagués desestimat la seva teoria, ell va respondre: "En aquest cas, m'hauria compadit de Déu, perquè la teoria és correcta". Irònicament, estudis posteriors de les fotografies preses durant l'eclipsi van determinar que hi havia molts errors en les mesures, i que per tant les proves havien ratificat Einstein per pura xamba. Tot i així –ara ja ho sabem del cert– la teoria és correcta. Per molts anys, geni. ●