

ÉS POSSIBLE DETECTAR ONES GRAVITATÒRIES GENERADES EN UN LABORATORI?

Miquel Portilla i Ramon Lapiedra*

IT IS POSSIBLE TO DETECT GRAVITATIONAL WAVES GENERATED IN THE LABORATORY?. IN UNCONVENTIONAL STYLE, THE AUTHORS SUMMARIZE THEIR WORK ON GRAVITATIONAL WAVES. THEY START BY SETTING OUT A NEW METHOD TO DEAL WITH THE GERTSENSHTEIN EFFECT (THE CONVERSION OF ELECTROMAGNETIC WAVES INTO GRAVITATIONAL WAVES UNDER FAVOURABLE CONDITIONS). THE AUTHORS APPLY THEIR METHOD TO A SMALL DIELECTRIC BALL IRRADIATED BY A STRONG ELECTROMAGNETIC WAVE, AND...SOMETHING UNEXPECTED HAPPENS.

La teoria d'Einstein de la relativitat general, prediu l'existència d'ones gravitatòries. Qualsevol objecte material movent-se de determinada manera, com per exemple un pèndol oscil·lant, emet unes ones que poden propagar-se sense necessitat de cap medi material que faça de suport, com l'atmosfera ho fa amb les ones sonores. L'amplitud d'aquest fenomen, en el cas del pèndol, és major com major és la massa i com més ràpida és l'oscil·lació, però dissortadament les ones que podem produir per un procediment tan simple són massa febles per poder detectar-les. Amb bon criteri es pensa que s'ha de mirar molt més lluny, fora del sistema Solar, entre els milions i milions d'estrelles de la Via Làctia. El desavantatge que representa considerar l'objecte emissor tan lluny es compensa per l'enorme massa de les estrelles, comparada amb les masses que podem manipular en un laboratori, i pel fet que algunes estrelles estan implicades en processos molt ràpids, com les que formen una parella orbitant una al voltant de l'altra, com la Terra ho fa al voltant del Sol, però a velocitats superiors.

La situació actual és d'expectativa. S'han construït antenes per detectar les ones gravitatòries que vénen del cel (els cilindres de Weber, els interferòmetres amb braços d'uns quants quilòmetres...). Mai no s'han observat aquestes ones, però el 1975, Hulse i Taylor descobriren una parella d'estrelles de neutrons, el que es diu un púlsar binari, que aportà una evidència indirecta de radiació d'ones gravitatòries: si el púlsar binari està emetent ones gravitatòries el període de rotació orbital ha de disminuir a poc a poc, al ritme marcat per la teoria. Això és el que passa. Hulse i Taylor tingueren premi, el Nobel, per aquest descobriment.

Després d'aquest preàmbul sembla que la resposta a la pregunta del títol d'aquest escrit és un no rotund. Nosaltres no diríem un no tan fort, i que ens perdone Raimon. Movent masses en un laboratori no és possible generar ones d'amplitud suficient per a poder detectar-les, però hi ha altres mètodes. En els anys 60, Gertsenshtein, utilitzant

la teoria d'Einstein, va mostrar la possibilitat de convertir part de l'energia continguda en una ona electromagnètica, per exemple la llum, en una ona gravitatòria. Nosaltres em continuat en aquesta línia i ens permetran, imitant el gran Galileu, exposar el tema assistint al diàleg entre dos professors. Un d'ells representa els autors, l'altre, ja voldríem saber qui representa.

—Vinga home, on vas? És molt fàcil generar-les (*dient això mou ràpidament els braços com si fóra un rat penat*), però són massa febles per poder detectar-les. L'única possibilitat està en les estrelles, on podem trobar masses enormes, movent-se amb acceleracions molt grans.

—Pensem en la radiació d'un làser, o d'un màser. És una considerable concentració d'energia lluminosa, i la variació en el temps és extraordinàriament gran.

—Sí, però se sap que una ona plana electromagnètica no produeix ones gravitatòries.

—I, què em dius del col·lapse d'una estrella amb simetria esfèrica? També sabem que no emet ones. És l'excepció. En el cas que ens ocupa (radiació gravitatòria produïda per radiació electromagnètica), sabem que quan la llum travessa un camp magnètic homogeni es transforma en una ona gravitatòria de la mateixa freqüència a mesura que va propagant-se.

—Ah, em parles de l'efecte Gertsenshtein? Sí, sí, però ho fa molt a poc a poc, i la distància que hauria de recórrer la llum, per produir una ona gravitatòria apreciable, és molt gran i no cap en un laboratori.

—En efecte, però un col·lega experimental ha proposat atrapar llum entre dos espills paral·lels en una regió de fort camp magnètic. La idea és que la llum continuarà afeblint-se i l'ona gravitatòria s'engrandirà després de cada reflexió. Es poden aconseguir així unes cent mil reflexions, i això és com si tinguérem un laboratori molt més gran.

—Això no pot ser, perquè l'ona gravitatòria s'escapará travessant l'espill; tots sabem que no hi ha espills d'ones gravitatòries.

—Tens raó si ens limitem a ones gravitatòries en el buit. Però en realitat estem parlant d'un procés de conversió d'ones electromagnètiques en gravitatòries. Nosaltres ens hem replantejat aquestes qüestions, i la suggerència del col·lega experimental de nodrir l'ona gravitatòria en una cavitat ressonant, efectivament, com tu dius, no funciona. Hem trobat que tota aquesta discussió se simplifica molt si ens plantegem el problema en un medi real d'índex de refracció n diferent de la unitat, en compte de fer-ho en el buit ideal on $n=1$. Per exemple, el problema de la radiació gravitatòria produïda per un corrent elèctric variable en presència d'un camp magnètic estàtic té així una solució molt simple. L'amplitud de l'ona gravitatòria formada és una fracció: en el numerador tenim una funció de la distància al corrent elèctric, i , en el denominador el numeret $n-1$. En una campana de buit podem aconseguir que $n-1$ siga tan petit com 10^{-17} . La funció que tenim en el numerador pren valors insignificants quan estem a curtes distàncies (un metre) del corrent, i creix molt a poc a poc fins a prendre un valor respectable, de manera que, l'ona hauria de recórrer una distància molt gran per poder assolir una amplitud detectable. Aquesta ona gravitatòria és del tipus de les generades en l'efecte Gertsenshtein, que has citat adés.

—Ja veig. Per una part el numeret $n-1$ en el denominador t'ajuda a obtenir una amplitud respectable, i per altra t'ho dificulta perquè fa molt gran la distància necessària per aconseguir-ho.

—Així és la vida. Utilitzant aquest mètode hem pogut esbrinar què passa quan una d'aquestes ones de Gertsenshtein incideix sobre la superfície de separació de dos medis amb diferent índex de refracció. El cas més interessant és quan el raig incident es propaga per un medi d'índex de refracció molt pròxim a la unitat. En aquest cas, la superfície de separació es comporta com una font de radiació gravitatòria: l'ona gravitatòria reflectida té amplitud zero en la superfície, és a dir que no hereta gens ni miqueta de l'ona incident, i comença a créixer a poc a poc. Així doncs, ho sent molt per l'amic experimental. Però encara n'hi ha més. Què passa quan la llum incideix sobre una inhomogeneïtat més petita que la seua pròpia longitud d'ona? Apareix una radiació difosa. Per això és blau el cel de dia, no? Doncs bé, generalitzant el mètode anterior hem estudiat les ones gravitatòries generades per una boleta dielèctrica en un medi d'índex de refracció n .

—A que t'endevine què passa? Es genera un ona gravitatòria amb amplitud creixent amb la distància a la boleta. Creix a expenses de la llum, que anirà perdent amplitud. Necessariu un laboratori tan gran com la longitud d'ona dividida pel numeret ($n-1$) per tal d'assolir una amplitud

respectable. En fi, que hauríeu de construir una campana de buit d'uns centenars de quilòmetres i omplir-la d'un camp magnètic homogeni i intens. Impossible.

—Es veu que has captat la idea. Però hi ha un resultat que et sorprendrà una mica. L'ona gravitatòria es descompon en dues parts. Una es comporta com acabes de dir, és una ona de Gertsenshtein. L'amplitud de l'altre component de nou té en el denominador el numeret $n-1$, en el numerador té el volum de la boleta i , el que és més important, ja no hi té una funció amb valors molt menuts a curtes distàncies. Aquest segon component ja té, des que s'ha format, la màxima amplitud que podríem traure del primer component si disposàrem d'un laboratori de centenars de quilòmetres.

—Dius que si em sorprèn? No és que em sorprenga, és que no m'ho crec. Per què no apareix aqueix component meravellós quan tracteu el problema d'un volum finit de càrregues radiatives en un camp magnètic intens? Abans m'has dit que tan sols s'hi genera un ona de Gertsenshtein. Al capdavant la boleta d'ara no és més que un conjunt de dipòls elèctrics oscil·lant.

—Bona pregunta. Em serà més fàcil contestar-te si véns després pel meu despatx, si veus les equacions ho comprendràs de seguida.

—I, com penseu detectar ones de tan alta freqüència? Perquè tenen la mateixa freqüència que la llum que les genera. Les antenes en construcció treballen en quilocicles com a màxim.

—No hem de pensar en interferòmetres, ni en cilindres de Weber. Però no et parlaré ara de cap tipus d'antena. N'hi ha quelcom de més urgent. Un segon i ens n'anem. Resulta que si divideixes l'energia emesa en ones gravitatòries per l'energia electromagnètica difosa obtens que és possible aconseguir que la gravitatòria siga un 4% o un 5% de l'electromagnètica. L'ona gravitatòria li ha furtat l'energia a l'electromagnètica, i per tant si mesurem l'energia electromagnètica difosa quan hem fet el buit i hem omplert la càmera d'un camp magnètic estàtic intens s'ha d'obtenir menys energia que quan anul·lem per exemple el camp magnètic estàtic.

—Ja veig, ja veig, vols dir detectar el fenomen de radiació per la reacció sobre el sistema que emet les ones gravitatòries, tal i com ja s'ha fet amb el Nobel púlsar binari. (Amb una mica de sorna:) Aleshores vosaltres creieu que és possible detectar ones gravitatòries generades en el laboratori?

—Home, ja saps com són aquestes coses. 

**«ES POSSIBLE CONVERTIR
PART DE L'ENERGIA CONTINGUDA EN
UNA ONA ELECTROMAGNÈTICA
EN UNA ONA GRAVITATÒRIA»**

*Departament d'Astronomia i Astrofísica. Universitat de València