



# VNIVERSITAT DE VALÈNCIA

**Lectio del prof. Dr. Barry Clark  
Barish pronunciada en l'acte de  
la seua investidura com a Doctor  
'Honoris Causa' per la Universitat  
de València**

València, 31 de maig de 2022

**D**eixen que comence agraint a Maria Vicenta Mestre Escrivà, rectora, i a la Universitat de València, este reconeixement. També vull donar gràcies, especialment, al meu col·lega i amic, el professor Juan Fuster, per tot el suport que m'ha donat.

## **SOBRE MI**

Començaré hui parlant-los un poc sobre mi mateix. Vaig nàixer a Omaha, Nebraska, als Estats Units d'Amèrica. Els meus pares eren de classe treballadora i cap dels dos anà a la universitat, però sempre m'animaren a rebre una bona educació acadèmica. Ens mudàrem a Califòrnia quan tenia 10 anys i ens posàrem a viure al costat d'Hollywood, on les pel·lícules i l'art de contar històries eren al centre de la vida cultural. No fou cap sorpresa aleshores que, quan tenia més o menys 13 anys, volguera ser escriptor de ficció. No va ser fins que vaig arribar a l'institut, quan vaig estudiar àlgebra, càlcul i algunes assignatures de ciències, quan vaig decidir dedicar-me a seguir els meus estudis en algun camp tècnic. Per a mi, això significà enginyeria, i vaig entrar a la Universitat de Califòrnia, Berkeley.

Fou a Berkeley on vaig estudiar física, ciència que ràpidament vaig aprendre a estimar i que he convertit en la meua carrera des d'aleshores i fins a hui. També vaig conèixer allà la meua esposa, així que tot plegat fou una etapa transformadora per a mi. Després de doctorar-me arribí a Caltech com a investigador postdoctoral i allí he estat des d'aleshores, com a professor catedràtic. Enrico Fermi, el gran físic italià, era la meua principal inspiració com a estudiant; i a Caltech vaig tindre la gran sort de tindre Richard

Feynman com a amic i col·lega durant molts anys, qui també ha tingut una gran influència en la meua carrera.

Pel que fa a la meua vida professional, he sigut físic de partícules i he fet experiments en els més grans acceleradors de tot el món, inclús n'he dissenyat alguns. Però la matèria per la qual vaig rebre el premi Nobel fou el descobriment de les ones gravitacionals, sobre les quals els parlaré hui, espere que en un llenguatge que els permeta entendre què vam descobrir i per què és important... Així doncs, deixen que comence...

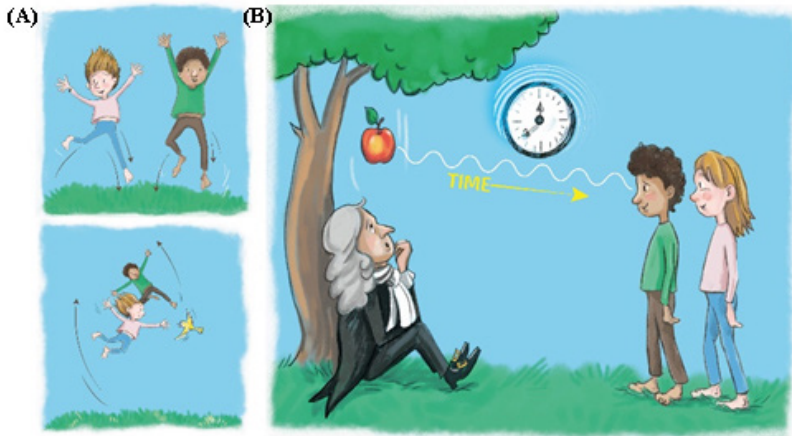
Imaginen que pogueren escollir un nou parell d'ulls que els ajudaren a vore coses que mai han sigut capaços de vore abans. Potser escollirien visió de raigs X, com a les pel·lícules, o potser desitjarien poder fer zoom i observar les meravelles del món microscòpic. Doncs la ciència ha guanyat recentment un nou parell d'ulls, una nova manera d'explorar els misteris de l'univers: usar les ones gravitacionals, que són ones produïdes per la mateixa gravetat. En els següents minuts els guiaré en un viatge que comença per una explicació de la gravetat, des de la perspectiva clàssica d'Isaac Newton fins a la visió més moderna i complexa d'Albert Einstein. Després, els explicaré com els moviments d'objectes massius creen ones gravitacionals, que són ondulacions en l'espai i el temps, i com poden ser usades per explicar alguns dels misteris de l'univers, i inclús ajudar-nos a entendre els orígens del nostre propi planeta, la Terra.

## LA GRAVETAT: DE NEWTON A EINSTEIN

Comencem el nostre viatge l'any 1687, quan el gran matemàtic i físic anglés Sir Isaac Newton publicà el seu famós llibre, els Principia, on presentà la seua teoria unificada de la gravetat (la primera teoria 'universal' en la ciència). Explicava la gravetat, fóra en una poma caient d'un arbre, en la Lluna movent-se al voltant de la Terra, en la Terra fent-ho al voltant del Sol, o en qualsevol lloc on esta força estiguera involucrada. La teoria de Newton manifestà que la força gravitacional entre dos objectes és proporcional al producte de les seues masses i inversament proporcional al quadrat de com d'allunyats estan entre ells. Açò pot sonar complicat, però significa que, com més massa tenen els objectes, i com més a prop estan entre ells, major és la força gravitacional que projecten l'un sobre l'altre. La teoria de Newton és la més exitosa de les teories físiques de tots els temps. Encara així, resulta que la brillant teoria newtoniana té algunes limitacions.

S'han preguntat per què, quan una poma cau d'un arbre, cau cap avall i no cap amunt? Per què quan hom bota cau de nou a la Terra en lloc d'enlairar-se? La teoria de Newton no respon estes simples qüestions. Tan sols ens diu la quantitat de força gravitacional que dos objectes exercixen mútuament, com la força entre la poma i la Terra o entre vostès i la Terra. La teoria de Newton no considera la direcció de la força, ja siga quan els objectes s'apropen o quan s'allunyen entre ells. És més bàsica: explica què causa la força gravitacional en primer lloc.

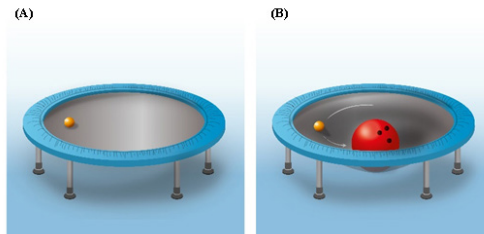
La segona dificultat amb la teoria de Newton és un poquet més difícil d'entendre. Imaginen que el Sol desapareguera de repent. Si ho fera ara mateix, tardaríem uns huit minuts a poder veure que ja no hi és, perquè la llum tarda huit minuts a arribar-nos des del Sol. Açò és veritat per a tot el que ocorre en l'univers: la informació tarda un temps a viatjar des d'un esdeveniment fins a l'observador. Quan una poma cau d'un arbre, l'observador tarda un temps (encara que siga una fracció de segon) a conèixer què ha passat. La teoria de Newton no contempla este interval, per la qual cosa, i segons el seu plantejament, l'observador veu la poma caure en el mateix moment en què la poma cau realment. Sabem que això no és possible, per tant, concloem que falta alguna cosa a la teoria de l'anglès.



Com podem resoldre estos problemes amb la teoria newtoniana? Més de dos-cents anys després de Newton, l'estimat físic Albert Einstein donà una solució: el 1915 Einstein publicà una nova teoria gravitatòria anomenada Teoria de la Relativitat General.

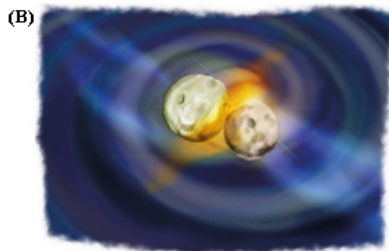
La teoria d'Einstein ens mostra una manera completament distinta de descriure la gravetat, que ens permet entendre allò que la teoria de Newton fou incapaç d'explicar. Açò no vol dir que esta estiguera malament, només que era incompleta, i que la nova teoria ens permet entendre les coses d'una manera més profunda. La teoria d'Einstein diu que, al voltant de qualsevol objecte massiu, l'espai i el temps estan corbats o distorsionats, i que açò crea una empenta cap a eixe objecte.

Imaginen situar una boleta en una superfície plana, que siga una membrana estirada o un llit elàstic. La boleta es quedarà on la posem. Ara bé, si posen una bola de bitla al centre del llit elàstic, corbarà la superfície tant que la boleta es mourà cap al centre del llit. La presència de la pesada bola de bitla ha distorsionat l'espai ocupat pel llit elàstic de manera que la boleta s'ha menejat cap a la bola gran, com si estiguera atreta per la mateixa. Això és bàsicament el que passa a la teoria de la relativitat general d'Einstein. La presència de qualsevol massa distorsiona l'espai al voltant seu de manera que crea atracció entre masses. Esta representació de la gravetat respon la pregunta que Newton no podia contestar: per què (i com) crea la gravetat força d'atracció, i per què caus cap a la Terra quan botes? El segon problema, que té a vore amb el temps, també el solucionà Einstein perquè la seua teoria té en compte la velocitat de la llum.



## QUÈ SÓN LES ONES GRAVITACIONALS?

Una de les prediccions de la teoria de la relativitat general d'Einstein és que la gravetat deuria tindre ones: ones gravitacionals. Una manera senzilla d'entendre-les és que imaginem que estem al costat d'un llac, un estany. Aleshores llencem una roca a l'aigua. La roca foradarà la superfície i caurà al fons de l'estany. Tot i que la roca és ara quieta al fons del llac, encara poden vore l'efecte que té a la superfície de l'aigua, on ondulacions (o ones) es mouen des del punt on la roca entrà a l'aigua cap a fora (figura 3A). Esta és també la manera de visualitzar què passa amb les ones gravitacionals, que són produïdes no per una roca caient a un estany, sinó pel moviment o la col·lisió d'objectes massius al cosmos.



## REPTES I ÈXITS EN LA DETECCIÓ D'ONES GRAVITACIONALS

Després que la teoria d'Einstein prediguera l'existència de les ones gravitacionals, físics experimentals començaren a tractar de trobar-les. Jo mateix he dedicat més de vint anys de la meua vida a desenvolupar mètodes per a la detecció d'estes ones, i encara

seguisc fent-ho. Resulta que, pel que fa a les ones gravitacionals, tenim tant molta sort, com molta mala sort. Mala sort perquè ara per ara no podem produir ones gravitacionals als nostres laboratoris, atès que serien senzillament massa dèbils com per a poder-les detectar amb les tècniques que tenim. Mala sort perquè els bons experiments són aquells en què som capaços d'entendre tot allò que comprenen, i això s'aconsegueix a un laboratori.

D'altra banda, tenim la immensa sort que la natura mateixa crea ones gravitacionals que són molt més fortes que les que podríem produir al nostre laboratori. Això vol dir que alguns esdeveniments astronòmics -dos dels quals mencionaré- creen ones que, potencialment, poden ser detectades amb els nostres aparells més avançats. Encara que estes situacions han de ser les més violentes i enèrgiques que succeïxen a l'univers per poder-les detectar, segueixen ocorrent amb una freqüència suficient com per permetre'ns estudiar-les. Els esdeveniments més violents a l'univers són les explosions i col·lisions d'objectes extremadament densos i pesats.

Pel que fa a xocs violentes en l'espai, els més enèrgics són les col·lisions d'objectes massius però compactes, com els forats negres o les estrelles de neutrons. Els forats negres són els objectes més massius coneguts, i tenen una atracció gravitacional tan forta que es 'traquen' qualsevol cosa que cau a prop d'ells, incloent estrelles. Res pot escapar de l'interior d'un forat negre, ni tan sols la llum (d'ahí el nom). Les estrelles de neutrons són les restes dels estels que han consumit tot el seu combustible



i han col·lapsat. Són extremadament denses i estan compostes bàsicament de partícules subatòmiques neutres: els neutrons. En 2015 les primeres ones gravitacionals foren descobertes per dos companys -Rainer Weiss i Kip Thorne- i jo mateix. Guanyàrem el Premi Nobel de Física tan sols dos anys més tard, el 2017. Normalment passen mínim 20 anys abans que els científics reben este premi pel seu treball, però el descobriment de les ones gravitacionals fou d'especial importància. Des d'aquelles primeres observacions provinents de la col·lisió de dos forats negres hem detectat col·lisions entre estrelles de neutrons.

## COM DETECTEM ONES GRAVITACIONALS

Quan detectem ones gravitacionals, realment estem mesurant les distorsions (ondulacions) que creen en l'espai i el temps. Quan estes distorsions arriben als nostres detectors, són increïblement xicotetes, molt més menudes inclús que la mida d'un únic protó. Per a mesurar uns senyals tan menuts, els nostres detectors han de tindre una precisió més gran que 1/1000 la grandària d'un protó! Com poden imaginar, açò és extremadament difícil d'aconseguir, i requerix de l'ús d'una tècnica molt especial anomenada interferometria. No la descriuré en detall ací, però la interferometria fa ús de les interaccions entre rajos làser per a detectar contraccions i expansions molt menudes de l'espai. Per realitzar uns mesuraments tan exactes, necessitem aïllar l'equipament de manera que res pugua destorbar la medicció: el més lleuger dels moviments podria emmascarar el senyal que busquem. Una font de pertorbacions és el mateix moviment de la Terra, que trontolla a mesura que gira sobre el seu eix (este sacseig és massa suau per què les persones el sentim, però es pot

detectar mitjançant instruments de precisió). Això significa que necessitem fer surar els nostres aparells mesuradors, de manera que no detecten els moviments de la Terra.

Construir els instruments necessaris per a mesurar ones gravitacionals ha sigut un repte extrem. L'aparell que usem s'anomena LIGO, Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (Interferòmetre Làser Observatori d'Ones gravitacionals), i té uns quants quilòmetres de llargària. Construir-lo i operar-lo ha costat més de mil milions de dòlars. Gran part del meu treball encara comprèn desenvolupar les tecnologies que ens permeten abastar una major sensibilitat en la detecció de les ones, sense moviments no desitjats que arruïnen les medicions. Molta gent em pregunta si no és frustrant estar treballant més de vint anys en el mateix problema, i la meua resposta és 'no!'. M'ho he passat molt bé resolent problemes al llarg d'estos anys, i és per a mi un gran privilegi el poder fer una cosa que mai s'ha fet abans.



## **ONES GRAVITACIONALS: UNA NOVA FINESTRA A L'UNIVERS**

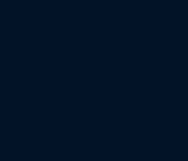
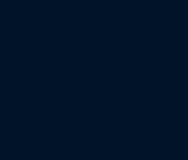
Quina és la importància de les ones gravitacionals en la comprensió de l'univers? En primer lloc, les ones gravitacionals ens ajuden a verificar si la teoria de la relativitat general d'Einstein és, efectivament, correcta, o si, com en Newton, necessitem una de nova que vaja més enllà.

En segon lloc, les ones gravitacionals ens poden ajudar a observar l'univers d'una manera totalment nova, i acabem d'encetar les observacions amb LIGO. És un poc com quan, fa 400 anys, Galileo Galilei mirà cap al cel amb un telescopi per primera vegada i descobrí que Júpiter té quatre llunes. Podem usar les ones gravitacionals per explorar l'univers d'una manera completament diferent amb un 'telescopi gravitacional'. Amb un poc de sort, allò que aprenem serà tan ric com el que s'ha après utilitzant telescopis des de l'època de Galileo.

## **COMENTARIS FINALS**

He sigut molt afortunat d'haver tingut una carrera profitosa i gratificant, una esposa i una família meravelloses, i molts moments feliços. Sent un científic americà reconegut ací a Espanya valida el fet que la ciència no té fronteres. Parlem en el mateix llenguatge científic estiguem a Califòrnia, Espanya o Rússia. Només espere que puguem fer el mateix entre els països del món.

Moltes gràcies.



VNIVERSITAT  
ID VALÈNCIA