

Acte d'investidura del Prof. Kip S. Thorne com a doctor *honoris causa* de la Universitat Politècnica de Catalunya•BarcelonaTech (UPC). 25 de maig de 2017.

Elogi dels mèrits, per part del professor Enrique Garcia Berro, com a padrí per part de la UPC

Kip S. Thorne. La recerca d'ones gravitacionals

És per a mi un plaer i un honor lloar la trajectòria acadèmica del Prof. Thorne. Pot semblar increïble, però vaig conèixer el professor Thorne ahir, a l'Aeroport de Barcelona. No obstant això, durant aquests últims mesos hem intercanviat molts, molts correus electrònics, i permeteu-me dir-vos que no és només un gran científic que mereix els honors més alts, sinó també una persona meravellosa i modesta. Sempre ha respost els meus missatges sense demora i ha facilitat enormement la meva tasca.

La idea que la UPC atorgués al Prof. Thorne un doctorat *honoris causa* va sorgir el novembre de 2015, quan el detector LIGO (Observatori d'Ones Gravitacionals per Interferometria Làser) va confirmar experimentalment l'existència de les ones gravitacionals. Encara que aquells dies hi havia rumors en la comunitat científica sobre un anunci important, vaig esperar que es publicués l'article. Els resultats van ser publicats a la revista *Physical Review Letters* poc després de la detecció experimental d'ones gravitacionals l'any 2015, tot i que la versió impresa es va publicar el 2016. Vaig gaudir molt llegint l'article. Vaig trigar uns 15 minuts a llegir-lo i a entendre el que havien fet, i per adonar-me com de convincents eren les proves de la detecció d'ones gravitacionals. De fet, crec que l'article és una veritable obra mestra de la literatura científica. Està molt ben escrit i és clar i concís.

Després de llegir-lo, vaig respirar profundament i em vaig adonar que estava vivint un moment històric. Finalment, després de moltes dècades, la recerca d'ones gravitacionals havia arribat a un final satisfactori! El primer que vaig pensar després d'això va ser: per què no convidar el Prof. Thorne, un dels líders del projecte, a ser un membre honorari de la nostra Universitat?

El pas següent va ser parlar amb el director del Departament de Física, el Dr. Crespo, i el director adjunt, el Dr. José, i els vaig engrescar per proposar la idea al vicerector de Recerca de la UPC, el Dr. Orejas. Tots tres estaven entusiasmats, de manera que vaig preguntar al Prof. Thorne si acceptaria un doctorat *honoris causa* de la UPC. Ell va acceptar gairebé immediatament.

La proposta va obtenir el suport de de les més prestigioses institucions acadèmiques, com la Universitat de Cambridge, l'Institut Max Planck de Física Gravitacional i la Universitat de Trento, així com de diversos centres nacionals de recerca i departaments universitaris.

El Prof. Thorne va néixer a Utah el 1940. Va estudiar física al Caltech i s'hi va llicenciar el 1962. Va obtenir un doctorat de la Universitat de Princeton tres anys més tard. Va tornar al Caltech com a professor titular el 1967 i va ser nomenat catedràtic de Física Teòrica el 1970. Més tard, el 1981, va ocupar la càtedra William R. Kenan Jr. i, després, el 1991, la càtedra Feynman de Física Teòrica. Ara és professor emèrit al Caltech.

Tractar de lloar la trajectòria científica del Prof. Thorne és una tasca difícil. Els seus èxits són molts i àmpliament coneguts, i ha fet contribucions molt influents en molts camps de la física.

La seva recerca inclou no només la física gravitatòria i l'astrofísica, amb un èmfasi especial en els estels relativistes, els forats negres i les ones gravitacionals, sinó també l'òptica, les tècniques d'anàlisi de dades per detectar ones gravitacionals, el disseny de detectors d'ones gravitacionals, l'estudi de les fonts de soroll en aquests detectors i el disseny d'algorismes per controlar-les.

Recentment ha escrit obres crucials que exploren el comportament dinàmic no lineal de l'espai-temps corbat, en què ha utilitzat tant simulacions per ordinador com càlculs analítics. En nom de la concisió, només revisaré els mèrits del Prof. Thorne en l'àmbit de la física gravitacional i l'astrofísica.

Aquells qui hi estiguin interessats poden trobar més informació sobre les seves contribucions en altres àrees de la física contemporània en altres llocs.

El Prof. Thorne va ser cofundador del projecte LIGO, el detector d'ones gravitacionals més avançat mai construït, i va presidir el comitè directiu que va dirigir la recerca del LIGO els primers anys (1984-1987).

Durant gairebé tres dècades ell i el seu equip van proporcionar el suport teòric per al LIGO, incloent-hi la identificació de les fonts d'ones gravitacionals que el LIGO havia de tenir com a objectiu. Tot això va conduir a un gran avenç: la detecció directa, el 14 de setembre de 2015, de les ones gravitacionals mitjançant la col·laboració del LIGO. Aquesta detecció va confirmar l'última predicció de la teoria de la relativitat general d'Albert Einstein que quedava per demostrar experimentalment i, cosa que és més important, obria una nova finestra d'observació de l'astrofísica moderna, a més de, per exemple, la finestra electromagnètica. Aquesta finestra d'observació ens permetrà explorar, des d'una perspectiva diferent, fenòmens molt interessants, com l'estructura de l'univers a gran escala o l'evolució de l'univers durant els primers moments de vida. D'altra banda, serem capaços d'estudiar amb noves eines els fenòmens més energètics del nostre univers, incloent-hi la fusió dels forats negres i altres objectes

compactes. Tot això no hauria estat possible sense la visió revolucionària i el treball pioner del Prof. Thorne.

La detecció d'ones gravitacionals és tècnicament molt difícil. Es necessiten mesures extremament precises, ja que la distorsió de l'espai-temps produïda per una ona gravitacional és extremament petita. Alguns nombres ens ajudaran a entendre les dificultats experimentals. L'observatori LIGO té dos detectors, un a Hanford (Washington) i un altre a Livingston (Louisiana).

El principi de detecció bàsic consisteix a mesurar, amb la màxima exactitud possible, la distància entre dues masses de prova (miralls de quatre kilograms) quan l'ona gravitacional distorsiona l'espai-temps. Això es fa utilitzant interferòmetres làser.

La longitud dels dos braços interferomètrics de cada un dels detectors LIGO és de 4 km i la precisió amb què mesuren la distància entre les masses de prova és d'una mil·lèsima part del diàmetre d'un protó! Això, naturalment, implica desenvolupar tecnologies d'última generació, i el Prof. Thorne va portar a terme aquest desenvolupament.

Els senyals registrats mitjançant la col·laboració del LIGO s'han de comparar amb plantilles teòriques existents per obtenir resultats sòlids. El càlcul d'aquestes formes d'ona també requereix un esforç considerable, no només pel fet que aquests càlculs són un exemple de ciència d'avantguarda, sinó també perquè calcular les plantilles realistes i comparar-les amb les dades observades requereix una immensa càrrega computacional.

Perquè us feu una idea de la dificultat de l'anàlisi teòrica de les dades del LIGO: es trigarien 5.000 anys per executar l'anàlisi del senyal enregistat en un ordinador portàtil modern. Per tant, es van utilitzar 10 superordinadors per realitzar els càlculs que van permetre la primera detecció d'ones gravitacionals.

D'altra banda, utilitzant els algorismes de processament de senyals més avançats, el senyal rebut pels detectors del LIGO el setembre de 2015 es va comparar amb les prediccions de les simulacions de relativitat numèrica del projecte SXS (Simulate eXtreme Spacetimes), un altre projecte dirigit pel Prof. Thorne, i es va trobar que els càlculs teòrics tenien un alt grau de coincidència amb les dades observades.

Cal afegir que aquesta comparació va permetre extreure els paràmetres físics de la font i va demostrar que les ones gravitacionals detectades van ser emeses durant la fusió de dos forats negres massius en rotació, cosa que confirmava l'existència dels forats negres.

El Prof. Thorne ha supervisat 52 estudiants de doctorat. La majoria d'ells han tingut carreres molt reeixides i són considerats els principals experts en els seus camps de recerca. N'esmentaré només uns quants, majoritàriament relacionats amb l'astrofísica i la cosmologia.

El Prof. Thorne va supervisar la tesi doctoral d'Anna Zytlow (Universitat de Cambridge, Regne Unit), que va descobrir una nova classe d'objectes astronòmics, els anomenats objectes Thorne-Zytlow, que són estels gegants vermells, o estels supergegants, que contenen un estel de neutrons en el nucli i que són el resultat de la col·lisió d'estrelles gegants amb estrelles de neutrons.

També va dirigir, juntament amb Stephen W. Hawking, la tesi doctoral de Don N. Page (Universitat d'Alberta, Canadà). Van desenvolupar la teoria relativista general dels discs d'acreció prims al voltant de forats negres, un problema essencial de l'astrofísica relativista.

Un altre físic rellevant al qual el Dr. Thorne va fer de mentor és Bernard Schutz, que ha centrat la seva investigació en la física de les ones gravitacionals i és l'investigador principal del grup d'Astrofísica de l'Institut Max Planck de Física Gravitacional a Potsdam, Alemanya.

El Prof. Thorne també va supervisar la tesi doctoral de Clifford Will (Universitat de Florida, USA), un expert mundial en proves de precisió de la gravetat; de Saul A. Teukolsky (Universitat Cornell, USA), que és un expert de reconegut prestigi en relativitat numèrica, i de William H. Press (Universitat de Texas a Austin, USA), que ha fet descobriments fonamentals en l'àmbit de l'astronomia extragalàctica.

De passada vull comentar que Teukolsky i Press, juntament amb William Vetterling i Brian Flannery, són coautors del conegut llibre *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*, un supervendes que molts de nosaltres hem utilitzat molt sovint.

El Prof. Thorne també gaudeix molt ensenyant estudiants de grau i postgrau. De fet, aquesta tarda alguns dels nostres estudiants de física i matemàtiques, estudiants seleccionats sobre la base del seu expedient acadèmic, tindran l'oportunitat de parlar amb ell. Estic segur que ho recordaran per a la resta de les seves vides.

El seu interès en les tasques docents i de divulgació el va portar a escriure diversos llibres. En particular, Thorne va ser coautor del llibre de text *Gravitation*, amb John A. Wheeler i Charles W. Misner, el 1973. Molts de nosaltres hem après la relativitat general amb aquest llibre de text com a referència bàsica, que, més de 40 anys després, és una referència fonamental per a joves estudiants i investigadors d'alt nivell.

Els registres bibliogràfics del Prof. Thorne son simplement impressionants. Excloent els articles en coautoria amb la col·laboració del LIGO, és autor de més de 300 articles en revistes indexades. Ha acumulat més de 28.000 cites i té un índex h de 83, una fita increïble. La seva contribució més citada, el llibre de text *Gravitation*, té més de 5.700 cites.

Sincerament, no conec cap altre físic viu la investigació del qual hagi tingut un impacte més gran i que sigui tan influent.

El Prof. Thorne també ha tingut una carrera cinematogràfica. La seva primera pel·lícula a Hollywood va ser *Interstellar*, dirigida per Christopher Nolan, el 2014, de la qual va ser assessor científic i productor executiu. També va aportar idees sobre els viatges pels forats de cuc a Carl Sagan per a la seva novel·la *Contact*.

Les seves presentacions sobre els forats negres, la radiació gravitatòria, la relativitat, els viatges en el temps i els forats de cuc s'han mostrat a la PBS, als Estats Units, i a la BBC, al Regne Unit.

Ara voldria retre un afectuós homenatge a un amic que compartíem, el Dr. José Alberto Lobo, que va morir prematurament el 2012, víctima d'una greu malaltia, el càncer. Estic segur que seria molt feliç en aquest moment, i no el puc oblidar. Sempre recordaré fructíferes discussions amb ell sobre les ones gravitacionals radiades durant la coalescència d'un sistema binari de nanes blanques, un problema que he estudiat per tractar la naturalesa dels progenitors de les supernoves termonuclears. Ell va insistir que havia de calcular el patró d'ones gravitacionals i, probablement, és la raó per la qual sóc aquí avui. Òbviament, per calcular el patró de radiació resultant de la fusió de nanes blanques vaig utilitzar el llibre del Prof. Thorne.

El Dr. Lobo va ser el pioner de l'astronomia d'ones gravitacionals a Espanya. Quan gairebé ningú no creia que fos possible detectar les ones gravitacionals va estudiar, pràcticament sol, aquesta possibilitat.

A mesura que les tècniques experimentals avançaven, va començar a establir un grup petit però molt competitiu, que més tard va participar en el disseny del Lisa Pathfinder (LPF), una missió de l'Agència Espacial Europea que va tenir com a objectiu demostrar la viabilitat del LISA, un observatori d'ones gravitacionals a l'espai que compartia els principis de funcionament amb detectors interferomètrics a terra, però en una escala molt més gran (2,5 milions de kilòmetres).

El Dr. Lobo, juntament amb el seu equip de recerca a l'Institut d'Estudis Espacials de Catalunya, va liderar la participació espanyola a l'LPF, que consistia en el disseny del subsistema de dades i diagnòstic del paquet de tecnologia LISA (LTP), la càrrega útil de l'LPF. Diversos grups de recerca de la UPC hi han participat.

Per concloure, m'agradaria parafrasejar les paraules del president John F. Kennedy en el seu famós discurs davant el Congrés dels Estats Units per demanar suport per arribar a la Lluna: el Prof. Thorne va triar detectar ones gravitacionals no perquè fos fàcil, sinó perquè era difícil; perquè l'objectiu servia per organitzar i mesurar el millor de les nostres energies i habilitats; perquè aquest repte és el que estava disposat a acceptar, el que no estava disposat a posposar, i el que tenia la intenció de guanyar. I ho va fer!

Moltes gràcies.