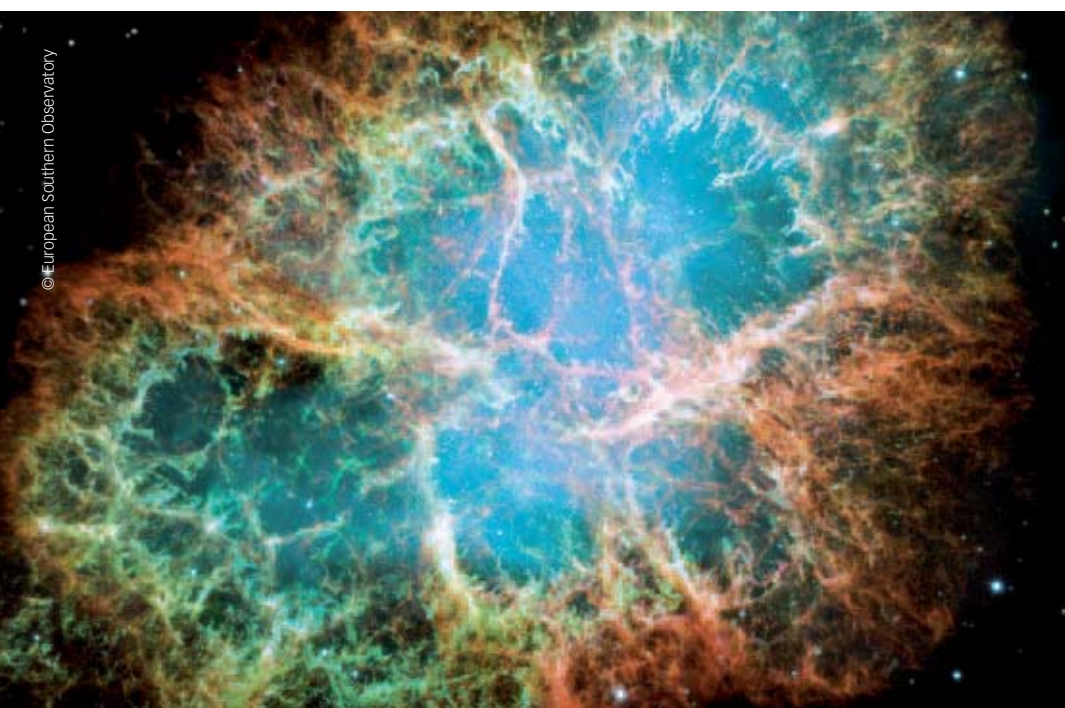


Els neutrins ens envolten malgrat que no podem veure'ls ni tocar-los. Només un de cada deu bilions és interceptat quan travessen la Terra. Saber com es comporten i conèixer-ne les propietats bàsiques ens pot ajudar a comprendre els fenòmens de l'Univers.

# Els neutrins, les partícules invisibles



© European Southern Observatory

**FOTO 1** Restes de l'explosió d'un estel massiu —una supernova—, observada per astrònoms orientals a principis del segle XI.

L'Univers està format per diversos tipus de partícules elementals (quarks, leptons i neutrins) que es combinen entre si per construir tot allò que es veu i tot allò que no es veu.

Les partícules més abundants són els neutrins. Els primers es van originar fraccions de segon després del Big Bang i des dels dos primers segons de vida viatgen lliurement a través de l'espai. Els físics creuen que hi ha un fons còsmic de neutrins, "el que passa és que és tan inabastable que segurament no es podrà detectar mai", afirma Jordi José, del Departament de Física i Enginyeria Nuclear de la UPC.

Dels neutrins, encara avui en sabem poques coses. Jordi José explica que són partícules minúscules, amb massa —si bé inicialment es creia que no en tenien— i sense càrrega elèctrica.

S'estima que cada segon 66.000 milions de neutrins travessen cada centímetre quadrat de pell de cada persona de la Terra. Entren al cos humà i tornen a sortir sense que ens n'adonem. Després, penetren el sòl, creuen la Terra a gairebé

la velocitat de la llum i tornen a sortir pels antípodes sense haver xocat amb res, perquè no interactuen amb cap dels àtoms pels quals passen.

"Els neutrins —continua l'investigador— travessen la Terra com si fos mantega, continuament, i nosaltres som gairebé transparents per a aquestes partícules. De fet, la probabilitat que afectin alguna partícula del nostre cos és d'una sola interacció en 70 anys. Això dóna una idea de per què són difícils de detectar."

## El descobriment

Els neutrins es van postular teòricament abans que se'n conegués l'existència. La història és la següent: a principis del segle passat es va comprovar que en l'anomenada *desintegració beta* (procés que consisteix en l'emissió d'un electró per part del nucli d'un àtom radioactiu) alguna cosa no quadrava. El problema era que l'energia de l'àtom inicial abans de la desintegració era superior a la dels components al final del procés, sense que se sabés per què. Aquest fet qüestionava un dels pilars fonamentals de la

física: la conservació de l'energia ("l'energia no es crea ni es destrueix, només es transforma").

Per resoldre aquesta qüestió, el 1930 el físic austríac Wolfgang Pauli va suggerir l'existència d'una nova partícula elemental invisible o difícil de detectar que s'emetia juntament amb l'electró i s'emportava l'energia aparentment desapareguda. Respecte a aquesta partícula, va fer diverses prediccions. No tindria càrrega elèctrica, hauria de tenir una gran facilitat per penetrar en la matèria i

**"Cada dia milers de milions de neutrins travessen la Terra a diari sense xocar amb res"**

la seva massa hauria de ser zero, o propera a aquest valor.

El 1933 el físic italià Enrico Fermi la va batejar amb el nom de *neutrino* ("petit neutró" en italià). Però l'existència d'aquesta partícula no es va descobrir experimentalment fins 25 anys després que l'hagués proposada Pauli. El 1956 els físics nord-americans Clyde Cowan i Frederick Reines van poder detectar el rastre inequívoc d'una reacció nuclear que només podia haver iniciat un neutrí (en realitat era un antineutrí).

El Sol és una font intensa de neutrins. "Es calcula que el Sol emet uns  $10^{38}$  (cent bilions de bilions de bilions) neutrins per segon a causa de les reaccions nuclears originades a l'interior", explica el professor Anuj R. Parikh, del Departament de Física i Enginyeria Nuclear de la UPC. A la Terra només hi arriba una petita part d'aquest enorme flux. Però per als científics que els estudien són missatgers que permeten estudiar l'interior del Sol i els seus mecanismes de funcionament.

Durant dècades un dels grans enigmes pel que fa als neutrins va ser la discrepància entre el nombre de neutrins procedents del Sol que arribaven a la Terra i els models solars. Els experiments per

detectar neutrins solars van començar en la dècada de 1960. Un dels pioners en aquest camp va ser l'astrofísic nord-americà i premi Nobel Raymond Davis. Els resultats dels seus experiments van començar a evidenciar que arribaven a la Terra un terç menys de neutrins del que predeien els models teòrics de l'in-

## Són partícules que ajuden a afinar els models solars i de les estrelles

terior del Sol. És el que es va anomenar *problema dels neutrins solars*. Les dades acumulades implicaven que els models solars eren incorrectes o bé que alguna cosa succeïa als neutrins en els 150 milions de quilòmetres de viatge del Sol a la Terra.

La solució a aquest misteri va arribar anys després. El 1969 els físics teòrics Bruno Pontecorvo i Vladimir Gribov van ser els primers a suggerir que canvis (oscil·lacions) entre diferents tipus de neutrins podrien ser els responsables de l'aparent dèficit de neutrins. Des d'aleshores diversos experiments han confirmat aquesta hipòtesi: els neutrins generats al Sol mitjançant reaccions nuclears s'anomenen *neutrins electrònics* (una de les tres varietats de neutrins conegudes), però una part d'aquests canvia "d'identitat" mentre viatja.

### Com funcionen les estrelles

Un dels àmbits d'interès de l'astrofísica és l'estudi del funcionament de les estrelles com a forns de transformació nuclear. Per fer això, els científics necessiten

## Neutrins superlumínics?

**El setembre de 2011, l'anunci dels resultats de l'experiment OPERA (acrònim del nom en anglès Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus) va fer la volta al món. Es tracta d'un experiment que funciona des de l'any 2008 i que té com a objectiu estudiar les oscil·lacions dels neutrins. Des de l'accelerador supersincrotró de protons (SPS) de l'Organització Europea per a la Recerca Nuclear (CERN), a Ginebra, s'envia un feix de neutrins muònics cap als Laboratoris Nacionals del Gran Sasso (LNGS), a Itàlia, situats a 730 km de distància. El viatge dura uns tres mil·lsegons i el que se n'espera és observar com al final del viatge aquests neutrins muònics es transmuten (oscil·len) en neutrins tau.**

**Malgrat l'afirmació dels científics que els neutrins haurien viatjat a una velocitat superior a la de la llum, la reacció general de la comunitat científica va ser d'escepticisme. L'error en l'anàlisi de les dades, si és que hi és, encara s'ha de descobrir. Però l'opinió general dels especialistes és que caldria reproduir l'assaig i obtenir els mateixos resultats en una instal·lació diferent per donar-los per bons.**

desenvolupar models teòrics que expliquin, per exemple, quins són els processos de producció d'energia a l'interior del Sol.

A partir de la lluminositat aparent del Sol (la llum que es pot observar) i la seva distància a la Terra se'n pot deduir la lluminositat absoluta i, per tant, la temperatura. "A partir de la temperatura podem saber quantes reaccions nuclears s'hi produeixen. Es calcula que el Sol fusiona 600 milions de tones d'hidrogen per segon. És amb aquestes dades que es pot estimar el flux de neutrins que es generen al seu interior i també els que haurien d'arribar a la Terra", diu el professor Jordi José.

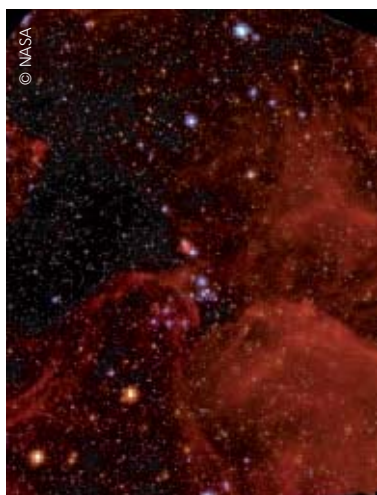
Els neutrins ajuden, doncs, a afinar els models solars i, per extensió, els models de com funcionen les estrelles. Són un mecanisme interessant per obtenir infor-

mació de l'interior del Sol, però també són importants "com a font de refredament de les estrelles", afegeix Anuj R. Parikh.

Un bon model d'astrofísica necessita un bon model de quants neutrins es generen i quanta energia s'enduen i, alhora, un bon coneixement dels processos nuclears que tenen lloc a les estrelles. Jordi José dissenya models d'explosions estel·lars (com ara noves o fonts eruptives de raigs X) i Parikh intenta reproduir en el laboratori les condicions que hi ha a les estrelles, per determinar experimentalment els ritmes als quals es produeixen les reaccions de fusió nuclear. Per a aquests investigadors, els neutrins són una eina més. "Els nostres càlculs els tenen en compte. És en aquest sentit que en som usuaris, més que no pas per analitzar-ne les propietats detalladament", conclouen.

**FOTO 2** Supernova detectada el 1987. De l'explosió, en una galàxia satèl·lit de la Via Làctia a 168.000 anys llum de distància, se'n van registrar 24 neutrins.

**FOTO 3** D'esquerra a dreta: Anuj R. Parikh i Jordi José, professors del Departament de Física i Enginyeria Nuclear.



**NOM** Anuj R. Parikh  
**E-MAIL** [anuj.r.parikh@nobel.upc.edu](mailto:anuj.r.parikh@nobel.upc.edu)  
**WEB** <http://dfen.upc.edu>  
**TEL.** 93 413 74 89

### CONTACTES

**NOM** Jordi José  
**E-MAIL** [jordi.jose@upc.edu](mailto:jordi.jose@upc.edu)  
**WEB** <http://dfen.upc.edu>  
**TEL.** 93 413 73 64