

**Neutrinos**

Los neutrinos son partículas elementales sin carga y con una masa diminuta, todavía por determinar. Interaccionan muy débilmente con el resto de la materia, por lo que es difícil detectarlos. Algunos experimentos gigantes se dedican a esta tarea. Los neutrinos se crean en las reacciones nucleares, como las que suceden en el núcleo de una estrella o en los experimentos nucleares. En las explosiones de supernova, más del 99% de la energía puede liberarse en forma de neutrinos.

A pesar de su pequeña masa, los neutrinos son tan numerosos que pueden afectar la historia del Universo.

**Derecha:** El observatorio de neutrinos IceCube tiene miles de sensores distribuidos bajo el hielo antártico en un volumen de un kilómetro cúbico.



8

9

\*Ver TUIMP 10

12

\*Ver TUIMP 10

### Neutrinos

Los neutrinos son partículas elementales sin carga y con una masa diminuta, todavía por determinar. Interaccionan muy débilmente con el resto de la materia, por lo que es difícil detectarlos. Algunos experimentos gigantes se dedican a esta tarea. Los neutrinos se crean en las reacciones nucleares, como las que suceden en el núcleo de una estrella o en los experimentos nucleares. En las explosiones de supernova, más del 99% de la energía puede liberarse en forma de neutrinos.

A pesar de su pequeña masa, los neutrinos son tan numerosos que pueden afectar la historia del Universo.

### Estrellas de neutrones

Cuando una estrella con masa entre 8 y 30 veces la del Sol explota como supernova, se forma una estrella de neutrones, tan densa que una cucharadita de su material pesa mil millones de toneladas!

Las estrellas de neutrones pueden girar cientos de veces por segundo, acelerando las partículas de su atmósfera a velocidades cercanas a la de la luz y generando un estrecho haz de radiación. Si este haz barre la Tierra, estas estrellas pueden detectarse como pulsares.\* El pulsar más rápido, PSR J1748-2446ad, rota 716 veces por segundo!

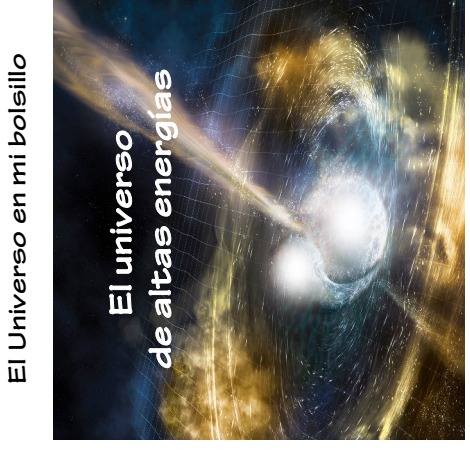
Durante la explosión que lleva a la formación de una estrella de neutrones, además de la luz, una cantidad enorme de neutrinos escapa de la estrella a una velocidad cercana a la de la luz. Algunos de ellos pueden observarse en la Tierra.

### Supernovas

¡Menuda sorpresa si estás mirando el cielo y observas de repente una estrella en un lugar que estaba vacío! Quizá gritarías: ¡ha nacido una estrella nueva! Una nova, en latín. ¡O una supernova, si la luz es muy brillante! El primer caso conocido fue la estrella "visitante" observada por astrónomos chinos en 1054\*.

En realidad, esa luz no indica el nacimiento de una estrella: una supernova es la explosión de una estrella existente. El estallido es tan tremendo que, en pocos minutos, ¡se libera tanta energía como la que emitirá el Sol durante sus 10 mil millones de años de vida! Después, la luz se apaga y la estrella vuelve a ser invisible. Lo que queda es una estrella de neutrones o un agujero negro. Los telescopios muestran una gran cantidad de material alejándose.

\*Ver TUIMP 10



El Universo en mi bolsillo



Mimoza Hafzi  
Universidad de Tirana

¿Cuál de estas imágenes **no** está relacionada con fenómenos de altas energías en el Universo?

Respuestas al dorso

**Rayos cósmicos**

Del espacio no solo nos llegan fotones, sino también neutrinos y ondas gravitacionales. Además, el Universo de altas energías nos manda partículas cargadas, en su mayoría protones, pero también electrones y núcleos atómicos: los rayos cósmicos. La Tierra es bombardeada cada segundo por trillones\* de partículas de rayos cósmicos procedentes del espacio. Descubiertos al inicio del siglo 20, sus orígenes son todavía inciertos. Los rayos cósmicos pueden tener energías muy altas, y viajan a velocidades cercanas a la de la luz. En los casos más extremos, su energía cinética es trillones de veces mayor a su energía de masa en reposo.

\* 1 Trillón =  $10^{15}$

**Izquierda:** El 11 de noviembre de 1572, el astrónomo Tycho Brahe marcó con una 'i' en un mapa de Casiopea una 'estrella nueva', más tarde llamada supernova de Tycho. 'F', 'E', 'D', 'C', 'B', 'A', 'y', 'G' son estrellas de larga vida y pueden verse en la foto de Casiopea de la página 2, pero la estrella 'i' ya no se ve.

**Izquierda:** La supernova 2010itd, descubierta por Kathryn Gray, una niña de diez años. La explosión sucedió a una distancia de 240 millones de años luz.

13

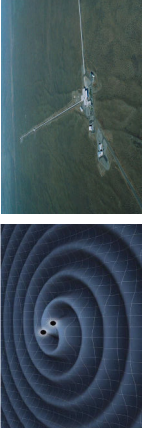
4

A simple vista podemos ver que algunos objetos celestes brillan más que otros. ¿Están más cerca y por eso parecen más brillantes? ¿O radian más energía?

Los astrónomos saben cómo medir las distancias de muchos cuerpos celestes, por lo que pueden estimar cuánta energía emiten en luz visible. También pueden calcular la emisión a altas energías, invisible al ojo humano, usando detectores especiales para fotones de alta energía (UV, rayos X y gamma\*), partículas muy energéticas (neutrinos, rayos cósmicos) y ondas gravitacionales.

Algunos de los objetos que emiten a altas energías, como las supernovas, las estrellas de neutrones, los agujeros negros o los núcleos activos de galaxias, emiten cantidades extremas de energía. Radian miles de millones de veces más energía que el Sol.

\*Ver TUIIMP 2 5



Izquierda: Diagrama que muestra la colisión de dos agujeros negros. Las ondas que se propagan como olas en una piscina representan ondas gravitacionales. La primera onda gravitacional fue detectada el 14 de septiembre de 2015 y nos informó sobre una colisión como esta, la cual sucedió entre un par de agujeros negros con 36 y 29 masas solares hace mil trescientos millones de años. La energía liberada durante la colisión, fue superior a la de la luz que radian todas las estrellas del Universo!

Derecha: Una foto de LIGO Hanford, uno de los observatorios donde se detectan ondas gravitacionales. La forma de la onda observada coincide con las predicciones de la Relatividad General desarrollada por Albert Einstein.

6

**Estallidos de rayos gamma**

Los estallidos de rayos gamma (GRB, por sus siglas en inglés) son los fenómenos electromagnéticos más poderosos del Universo. Su energía, liberada principalmente en forma de fotones gamma,\* puede ser mil veces mayor a la de una supernova. Descubiertos hace cincuenta años, su física todavía no se comprende del todo.

Los GRB pueden ser de duración corta (de decenas de milisegundos a pocos segundos) o larga (de segundos a horas). Los GRB largos están ligados a la explosión como supernova de una estrella. Los GRB cortos pueden deberse a la fusión de dos estrellas de neutrones o de una estrella de neutrones y un agujero negro.

Los telescopios satelitales descubren del orden de un GRB por día.

\*ver TUIIMP 2 11

Ilustración que muestra la colisión de dos agujeros negros

Las cinco estrellas más brillantes de la constelación de Casiopea son mil veces más luminosas que el Sol. Pero esto no es lo que llamamos altas energías!

El evento GW170817 detectado en rayos X por el observatorio espacial Chandra

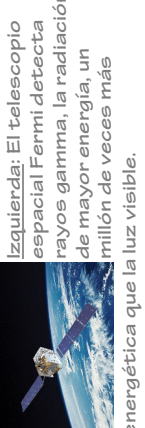
La supernova 2010htd

El impacto de los rayos cósmicos en la atmósfera de la Tierra



Derecha: El mismo GRB, observado en rayos X por el observatorio espacial Chandra, 9 días tras el estallido.

10



El 17 de agosto de 2017, el telescopio Fermi detectó un breve estallido de rayos gamma (GRB), justo 1.7 segundos después de que se detectara en la Tierra una onda gravitacional. Ambas señales se originaron en el mismo evento, la fusión de dos estrellas de neutrones a una distancia de 130 millones de años luz. Más tarde, este evento se observó en rayos X, en luz ultravioleta y en otras bandas del espectro electromagnético.

**Agujeros negros**

Cuando una estrella de más de 30 masas solares explota como supernova, se forma en su centro, en una región de pocos kilómetros, un agujero negro de varias masas solares. ¿Por qué ese nombre tan raro? Porque un agujero negro tiene una gravedad tan grande que nada puede escapar de él. Ni la luz, ni las partículas!

Entonces, ¿cómo podemos observarlos? ¡Por su influencia en lo que les rodea!

Su energía gravitacional es enorme porque su masa se concentra en una región muy pequeña. Esta energía puede liberarse en forma de ondas gravitacionales.

Las ondas gravitacionales se observaron por primera vez en septiembre del 2015. Fueron producidas por la colisión de dos agujeros negros.

7



Los instrumentos especiales que se usan en la astrofísica de altas energías pueden detectar la luz UV, los rayos X y los rayos gamma emitidos por ciertos objetos. Los fotómetros miden la cantidad de luz procedente de ellos y nos proporcionan una medida precisa de la energía total que radian.

Muchos de los objetos que emiten a altas energías no pueden detectarse en luz visible.

2