



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

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

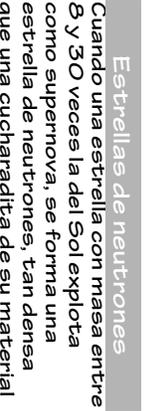
Los neutrinos se crean en las reacciones nucleares, como las que suceden en el núcleo de una estrella o en los experimentos nucleares. En las explosiones de supernova, más del 99% de la energía puede liberarse en forma de neutrinos.

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 detectarlas. Algunos experimentos gigantes se dedican a esta tarea.

Neutrinos

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, irrota 716 veces por segundo!

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

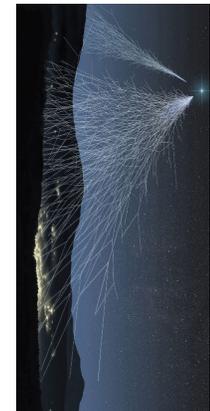


Estrellas de neutrones

Rayos cósmicos
Tras un siglo de numerosos experimentos, los datos llevan a la conclusión de que una fracción significativa de los rayos cósmicos se origina fuera de nuestra Galaxia, en explosiones de supernova o en núcleos activos de galaxias.*

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.

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.*

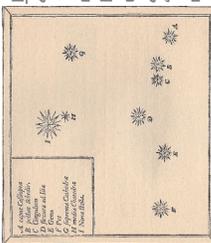
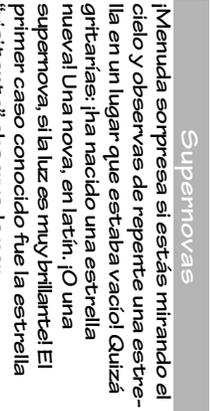


Supernovas

Rayos cósmicos
Tras un siglo de numerosos experimentos, los datos llevan a la conclusión de que una fracción significativa de los rayos cósmicos se origina fuera de nuestra Galaxia, en explosiones de supernova o en núcleos activos de galaxias.*

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.

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.*



Rayos cósmicos
Tras un siglo de numerosos experimentos, los datos llevan a la conclusión de que una fracción significativa de los rayos cósmicos se origina fuera de nuestra Galaxia, en explosiones de supernova o en núcleos activos de galaxias.*

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.

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.



Rayos cósmicos
Tras un siglo de numerosos experimentos, los datos llevan a la conclusión de que una fracción significativa de los rayos cósmicos se origina fuera de nuestra Galaxia, en explosiones de supernova o en núcleos activos de galaxias.*

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.

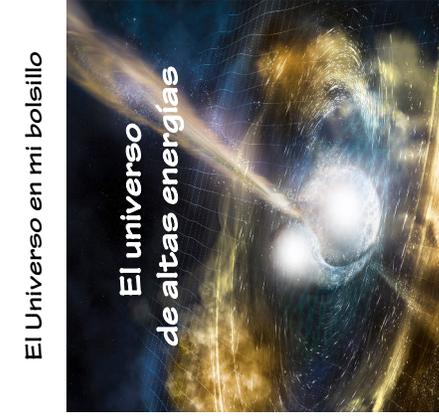
Rayos cósmicos
Del espacio no solo nos llegan fotones, sino también neutrinos y ondas gravitacionales. Además, el Universo de altas energías nos manda partículas cargadas, en su mayoría protones, pero también electrones y núcleos atómicos: los rayos cósmicos. La Tierra es bombardeada cada segundo por 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.

Rayos cósmicos
Tras un siglo de numerosos experimentos, los datos llevan a la conclusión de que una fracción significativa de los rayos cósmicos se origina fuera de nuestra Galaxia, en explosiones de supernova o en núcleos activos de galaxias.*

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.

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.

Reespuestas al dorso



El universo de altas energías
Mimoza Hafzi
Universidad de Tirana

Las cinco estrellas más brillantes de la constelación de Casiopea forman una 'W'. Estas estrellas son hasta mil veces más luminosas que el Sol. Sin embargo, no llegan a emitir en la zona de altas energías. 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



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

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

La supernova 2010et

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!

Ilustración que muestra la colisión de dos agujeros negros

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.

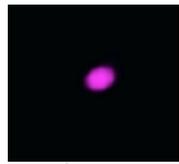
Las ondas gravitacionales se observaron por primera vez en septiembre del 2015. Fueron producidas por la colisión de dos agujeros negros.

7



Izquierda: El telescopio espacial Fermi detecta rayos gamma, la radiación de mayor energía, un millón de veces más energética que la luz visible.

El 17 de agosto del 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.



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

10

Para saber más sobre esta serie y sobre los temas presentados en este libro, por favor visita <http://www.tuimp.org>

Traducido por Mónica Rodríguez
 TUIMP Creative Commons



Imagen de portada: Ilustración artística de la fusión de dos estrellas de neutrones.
 [Crédito: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simionnet]

Este libro fue escrito en 2018 por Mimozha Hafzi, de la Universidad de Tirana (Albania).

El Universo en mi bolsillo No. 9

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 a una estrella de neutrones y un agujero negro.

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

*Ver TUIMP 2

11

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*)¹, 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. Radían miles de millones de veces más energía que el Sol.

*Ver TUIMP 2

3



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