

Búsqueda de neutrinos en ANTARES en coincidencia con el evento GW151226

David Vallés

vapeda(at)alumni.uv.es

Universitat de València, Grado en Física
IFIC Severo Ochoa Summer Student Programme 2017
Tutor: Alexis Coleiro

21 de julio de 2017



Tabla de contenidos

- 1 Motivación y objetivos
- 2 Análisis preliminares
 - El telescopio de neutrinos ANTARES
 - Breve descripción y funcionamiento
 - Análisis preliminar de los datos de ANTARES
 - Ondas gravitacionales: LIGO
 - Análisis preliminar de los datos del evento GW151226
- 3 Análisis conjunto: astrofísica multimensajero
 - Uso de los datos de LIGO para optimizar la selección de eventos en ANTARES
 - Búsqueda de neutrinos en una ventana temporal del evento de GW
 - Establecimiento de una cota superior para el flujo de neutrinos de la fuente
- 4 Conclusiones

Motivación y objetivos

- Neutrinos: *esas escurridizas (y abundantes) partículas*
- Ondas gravitacionales: perturbaciones en la curvatura del espacio-tiempo
- Nuevos canales para **observar el Universo**

Motivación y objetivos

- Neutrinos: *esas escurridizas (y abundantes) partículas*
- Ondas gravitacionales: perturbaciones en la curvatura del espacio-tiempo
- Nuevos canales para **observar el Universo**
- **Objetivos:**
 - Familiarización con ANTARES
 - Localización de la fuente en el evento GW151226
 - Búsqueda de neutrinos en coincidencia con GW151226
 - Establecimiento de una cota superior para la energía emitida vía neutrinos

Breve descripción del telescopio de neutrinos ANTARES

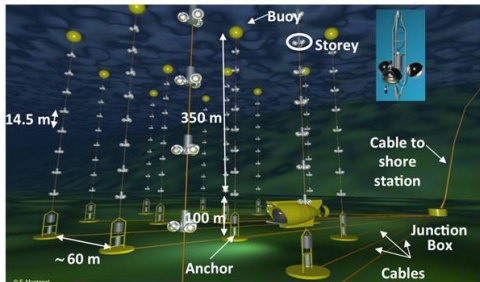


Figura: Representación de ANTARES

Breve descripción del telescopio de neutrinos ANTARES

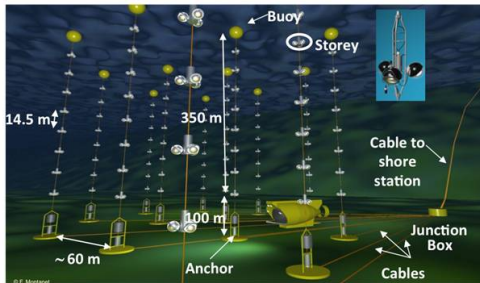


Figura: Representación de ANTARES

- $\nu_{\mu} + X \rightarrow \mu + Y$
- Radiación de Cherenkov
- Excitación de algunos fotomultiplicadores
- Reconstrucción de la traza (parámetro Λ)

Análisis preliminar de los datos de ANTARES

- Se han estudiado los datos [¡sólo *upgoing!*] de **diciembre de 2015** (contiene el *run* asociado al evento de GW).
- Se dispone de:
 - Eventos reales de ANTARES
 - Montecarlo para muones
 - Montecarlo para neutrinos

Análisis preliminar de los datos de ANTARES

- Se han estudiado los datos [¡sólo *upgoing*!] de **diciembre de 2015** (contiene el *run* asociado al evento de GW).
- Se dispone de:
 - Eventos reales de ANTARES
 - Montecarlo para muones
 - Montecarlo para neutrinos
- Principales objetivos:
 - 1 Verificación de la concordancia de datos y MC (**pesos**)
 - 2 Uso de **cortes** en Λ para optimizar la búsqueda de neutrinos

Algunos ejemplos

1 Verificación de la concordancia de datos y MC

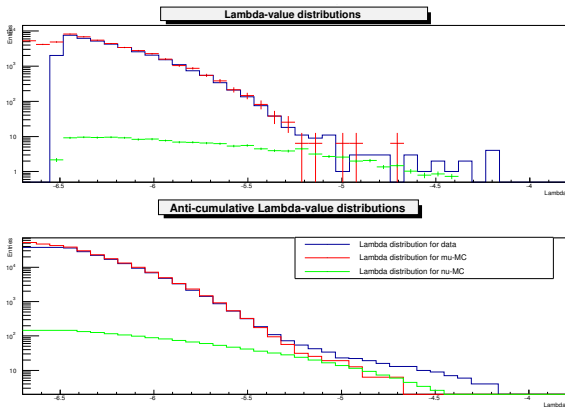


Figura: Comparación de los valores de Λ

Algunos ejemplos

2 Uso de cortes en Λ

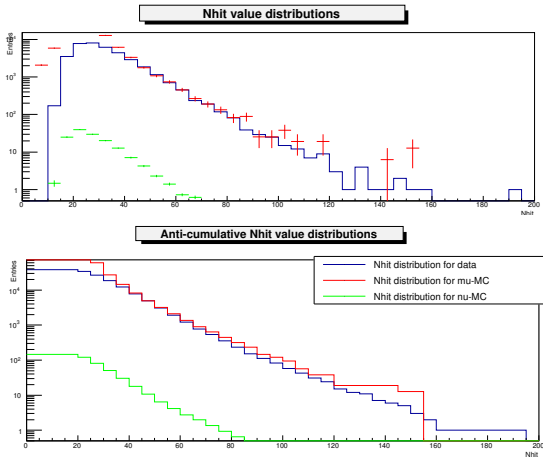


Figura: Comparación de los valores de n_{hit} (sin filtrado)

Algunos ejemplos

2 Uso de cortes en Λ

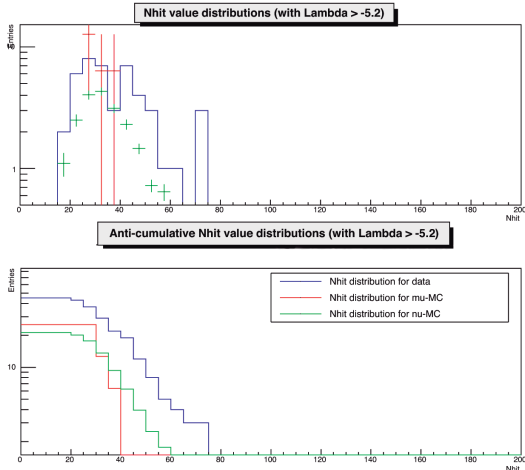


Figura: Comparación de los valores de $n_{hit}(\Lambda > -5.2)$

Análisis preliminar de los datos del evento GW151226

- Agujeros negros: $14.2_{-3.7}^{+8.3} M_{\odot}$ y $7.5_{-2.3}^{+2.3} M_{\odot} \implies 20.8_{-1.7}^{+6.1} M_{\odot}$
- Punto de partida: **densidad de probabilidad** (*discretizada*) de encontrar la fuente en un punto (*pixel*)
 - $> 3 \times 10^6$ pixels \implies Resolución angular $\sim 0.01 \text{ deg}^2$

Análisis preliminar de los datos del evento GW151226

- Agujeros negros: $14.2_{-3.7}^{+8.3} M_{\odot}$ y $7.5_{-2.3}^{+2.3} M_{\odot} \implies 20.8_{-1.7}^{+6.1} M_{\odot}$
- Punto de partida: **densidad de probabilidad** (*discretizada*) de encontrar la fuente en un punto (*pixel*)
 - $> 3 \times 10^6$ pixels \implies Resolución angular $\sim 0.01 \text{ deg}^2$
- **Objetivo:** encontrar región de confianza (90 %) donde se encuentra la fuente.
- Necesidad de manejar simultáneamente distintos **sistemas de coordenadas**:
 - Coordenadas esféricas (geocéntricas): θ, ϕ
 - Coordenadas ecuatoriales (geocéntricas): RA, δ
 - Coordenadas locales en el detector: altitud (o zenit) y azimut

GW151226: Punto de partida y resultado

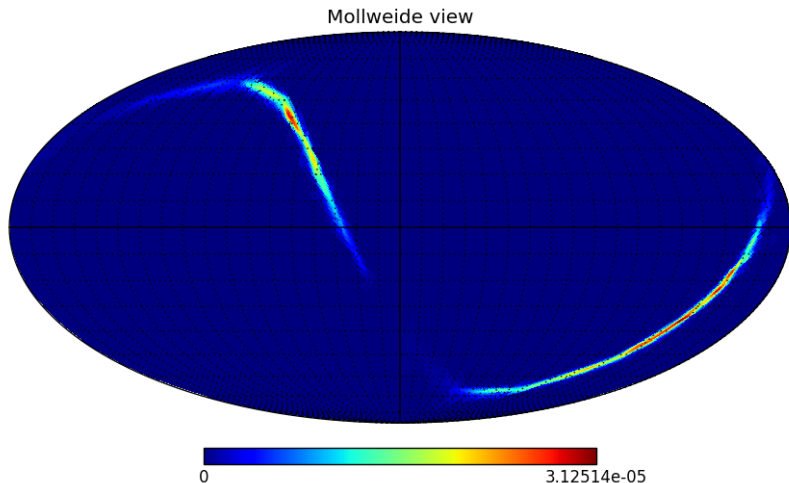


Figura: “Densidad de probabilidad” de encontrar la fuente de GW

GW151226: Punto de partida y resultado

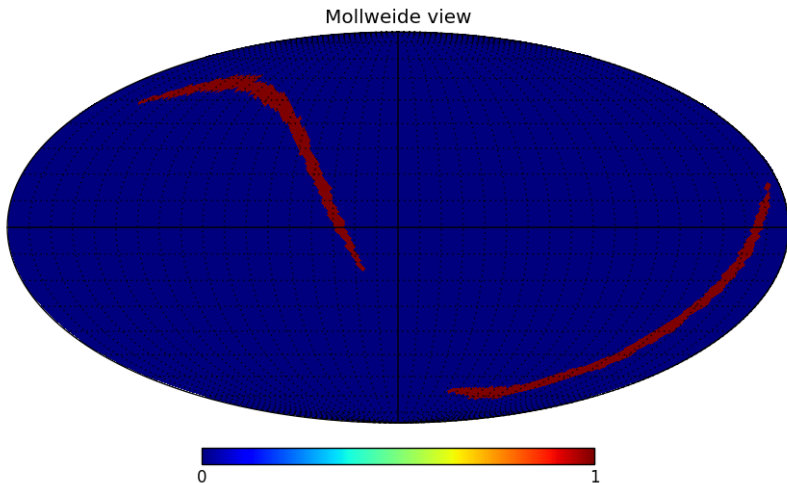


Figura: Posición del CI 90 % para la fuente. Superficie visible por ANTARES $\approx 560 \text{ deg}^2$

GW151226: Punto de partida y resultado

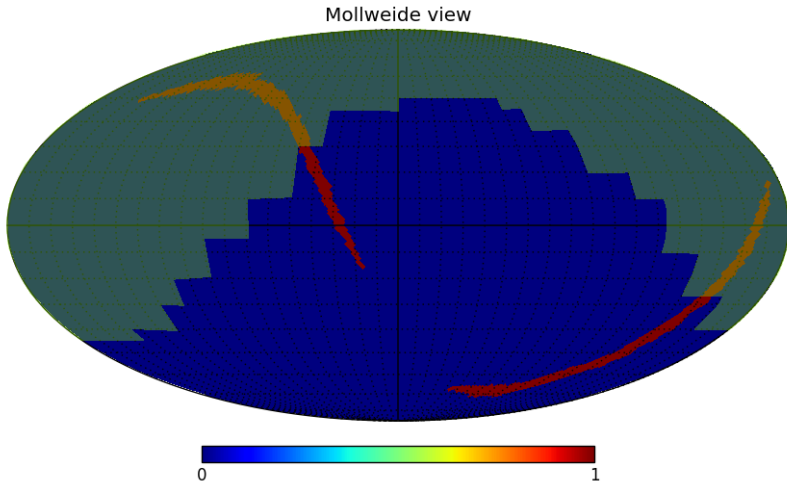


Figura: Posición del CI 90 % para la fuente. Superficie visible por ANTARES $\approx 560 \text{ deg}^2$

Optimización: estrategia

- **Optimización** del *dataset*: Λ_c óptimo
- Si se detecta evento en $[t_{\text{GW}} - 500 \text{ s}, t_{\text{GW}} + 500 \text{ s}]$ con $\Lambda > \Lambda_c \implies 3\sigma$

Optimización: estrategia

- **Optimización** del *dataset*: Λ_c óptimo
- Si se detecta evento en $[t_{\text{GW}} - 500 \text{ s}, t_{\text{GW}} + 500 \text{ s}]$ con $\Lambda > \Lambda_c \implies 3\sigma$
- Análisis de los datos de diciembre 2015: obtención de $N_{\text{dic}}^{\text{hem}}(\Lambda)$
- Factores de ajuste: $\alpha = \frac{A_{\text{GW}}^{90\%}}{2\pi \text{ sr}}, \tau = \frac{1000 \text{ s}}{\text{TL}_{\text{dic}}^{\text{data}}}$
- Obtención del **valor esperado del número de eventos** dentro del contorno del CI de la fuente en la ventana temporal considerada

Optimización: determinación de Λ_c

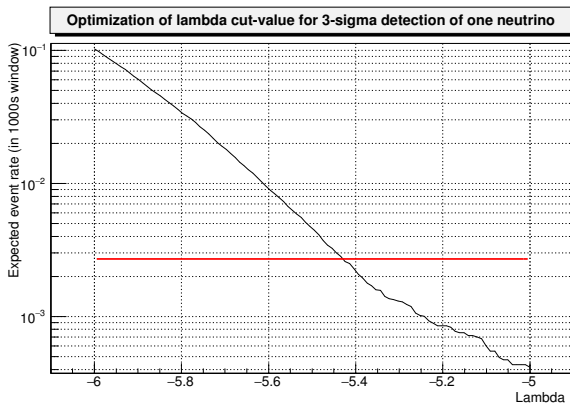


Figura: Valor esperado de eventos en ANTARES provenientes de la región de confianza (90 %) del evento GW

Optimización: determinación de Λ_c

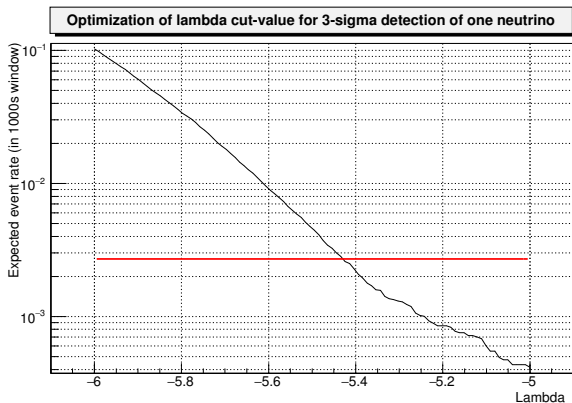


Figura: Valor esperado de eventos en ANTARES provenientes de la región de confianza (90 %) del evento GW

$$P(\geq 1 | \mu_B) \leq p_{3\sigma} \xrightarrow[\text{Poisson}]{P(n|\mu) = \frac{e^{-\mu} \mu^n}{n!}} \mu_B \lesssim p_{3\sigma}$$

$$p_{3\sigma} \approx 0.27\% \implies \Lambda_c \approx -5.43$$

Búsqueda de neutrinos en coincidencia con el evento GW

- ¿Se ha detectado algún neutrino con $\Lambda > \Lambda_c$ (y *upgoing*)?
Busquemos eventos:

Búsqueda de neutrinos en coincidencia con el evento GW

- ¿Se ha detectado algún neutrino con $\Lambda > \Lambda_c$ (y *upgoing*)?

Busquemos eventos:

```
*****  
* Row * MJD * tcosth * tphi * lambda *  
*****  
* 687 * 57382.147 * 0.0822112 * -2.975432 * -5.432369 *  
*****
```

- Hallemos la posición de la fuente: $RA = 260^\circ$, $\delta = 5^\circ$

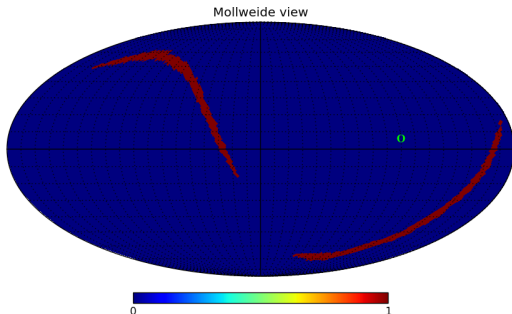


Figura: Localización de la fuente del evento registrado en ANTARES sobre la región de confianza (90%) para el evento GW

Análisis del evento hallado en ANTARES

- Pequeño valor de $\cos \theta \implies$ Traza \sim horizontal

Análisis del evento hallado en ANTARES

- Pequeño valor de $\cos \theta \implies$ Traza \sim horizontal
- Valor de $n_{\text{hit}} = 52$: compatible con el *muon-MC*

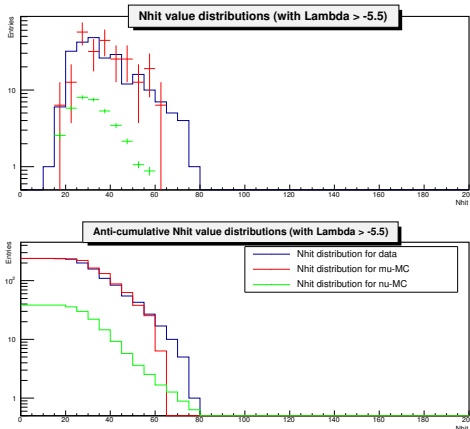


Figura:
Comparación de los
valores de n_{hit}
($\Lambda > -5.5$)

Análisis del evento hallado en ANTARES

- Se ha estudiado el *background de muones* a partir del MC.
- Se seleccionan los eventos con $\cos \theta > 0$ y $\Lambda > \Lambda_c$.
- Ahora tenemos en cuenta todo el hemisferio visible.

Análisis del evento hallado en ANTARES

- Se ha estudiado el *background de muones* a partir del MC.
- Se seleccionan los eventos con $\cos \theta > 0$ y $\Lambda > \Lambda_c$.
- Ahora tenemos en cuenta todo el hemisferio visible.
- $\mu_{B,1000\text{ s}}^{\text{muons}} = 0.022549$
- $P(\geq 1 | \mu_{B,1000\text{ s}}^{\text{muons}}) = 1 - e^{-\mu_{B,1000\text{ s}}^{\text{muons}}} \approx 2.2\%$

Análisis del evento hallado en ANTARES

- Se ha estudiado el *background de muones* a partir del MC.
- Se seleccionan los eventos con $\cos \theta > 0$ y $\Lambda > \Lambda_c$.
- Ahora tenemos en cuenta todo el hemisferio visible.
- $\mu_{B,1000\text{ s}}^{\text{muons}} = 0.022549$
- $P(\geq 1 | \mu_{B,1000\text{ s}}^{\text{muons}}) = 1 - e^{-\mu_{B,1000\text{ s}}^{\text{muons}}} \approx 2.2\%$
- A 3σ , *no es posible rechazar la hipótesis nula: muón.*

Aceptancia del detector, Acc

- $N = \Phi \cdot Acc$, donde $[\Phi] = E \cdot L^{-2}$
- Dependencia con la **posición** y con el **tiempo**
- Usamos el *neutrino-MC* y asumimos un flujo $\frac{dN}{dE} \propto E^{-2}$
- Discretizamos el espacio $RA - \sin \delta$

Acceptance of the ANTARES detector

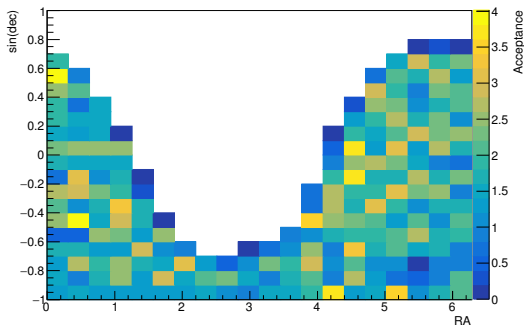


Figura: Aceptancia del detector en el momento del evento de GW

Límite superior en el flujo de energía vía neutrinos

- CL 90 % para la no detección de neutrinos

$$P(\geq 1|\mu) = 0.9 \implies \mu = \ln 0.1 \approx 2.3$$

Límite superior en el flujo de energía vía neutrinos

- CL 90% para la no detección de neutrinos

$$P(\geq 1|\mu) = 0.9 \implies \mu = \ln 0.1 \approx 2.3$$

- $N = \Phi \cdot Acc \implies \Phi \leq \frac{2.3}{Acc} \equiv \Phi_{90\%}^{ul}$

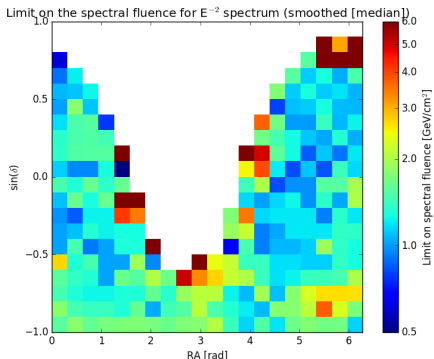


Figura: Límite superior en el flujo de energía vía neutrinos por sectores (suavizado)

Límite superior en el flujo de energía vía neutrinos

- Calculamos el valor promedio de $\Phi_{90\%}^{\text{ul}}$ en $\{\text{GW } 90\% \text{ CL} \cap \text{Zona visible por ANTARES}\}$:

$$\langle \Phi_{90\%}^{\text{ul}} \rangle = (1.738 \pm 0.026) \text{ GeV/cm}^2$$

Límite superior en el flujo de energía vía neutrinos

- Calculamos el valor promedio de $\Phi_{90\%}^{\text{ul}}$ en $\{\text{GW } 90\% \text{ CL} \cap \text{Zona visible por ANTARES}\}$:

$$\langle \Phi_{90\%}^{\text{ul}} \rangle = (1.738 \pm 0.026) \text{ GeV/cm}^2$$

- Conociendo la distancia a la fuente, $d = 440_{-190}^{+180}$ Mpc, obtenemos:

$$E_{90\%}^{\text{ul}} = 4\pi d^2 \Phi_{90\%}^{\text{ul}} \implies E_{90\%}^{\text{ul}} = (2.5_{-1.7}^{+2.5}) \cdot 10^{52} \text{ erg}$$

Conclusiones

- Se ha estudiado el funcionamiento y los datos de **ANTARES**.
- Se ha hallado una **región de confianza** para la procedencia del evento GW151226.
- Se ha realizado una **búsqueda de neutrinos** procedentes de dicha fuente.
- Se ha estimado un **límite superior en la energía emitida** vía neutrinos consistente con la no-detección.