

**Nota importante:**

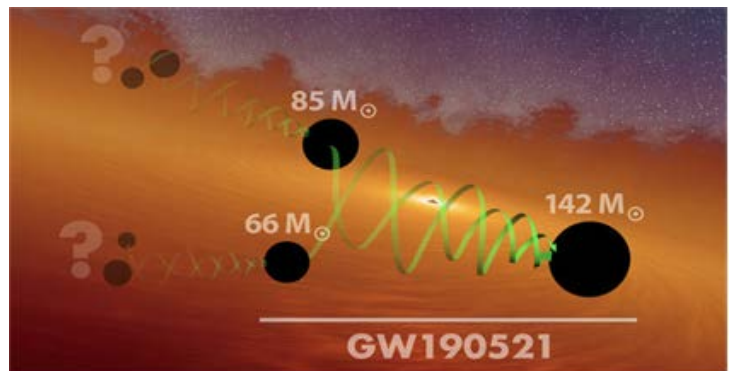
Debido a la pandemia del coronavirus Covid-19 todas las actividades han quedado suspendidas hasta la vuelta a la normalidad.



## PROBLEMA DEL BOLETÍN AAS 367. DEL 1 AL 15 DE SEPTIEMBRE 2020

Se acaba de anunciar el descubrimiento del choque de dos agujeros negros, conocido como el evento GW190521. Aproximadamente, ¿qué energía del choque se ha convertido en ondas gravitatorias y cuanta de esa energía ha llegado a la Tierra?

Los dos agujeros negros de 85 y 66 masas solares chocaron para formar un agujero negro de 142 masas solares. Si sumamos  $85 + 66 = 151$ . Por ello esperaríamos un agujero negro final de 151 masas solares. ¿Dónde han ido las 9 masas que faltan? Pues evidentemente han servido para hacer vibrar el tejido de espacio-tiempo en forma de ondas gravitacionales. ¿Cuanta energía es eso?



Para la energía usaremos  $E = m c^2$ . Esta energía se propaga aproximadamente en forma de ondas esféricas sobre una superficie  $4 \pi d^2$ , siendo  $d$  la distancia a los agujeros negros ( $d = 7000\ 000\ 000$  años luz) que incide sobre una área de la Tierra de  $\pi r^2$ , siendo  $r$  el radio ecuatorial de la Tierra.

Input interpretation:

$$9 M_{\odot} c^2 \text{ (solar mass speed of light squared)} \times \frac{\pi (a_{\oplus} \text{ (Earth equatorial radius)})^2}{4 \pi (7 \text{ billion ly (light years)})^2}$$

Result:

$3.73 \times 10^9 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$  (kilogram meters squared per second squared)

Unit conversions:

- $\approx 3.73 \times 10^9 \text{ Nm}$  (newton meters)
- $\approx 3.73 \text{ GJ}$  (gigajoules)
- $\approx 3.73 \times 10^9 \text{ J}$  (joules)
- $\approx 3.73 \times 10^{16} \text{ ergs}$
- $\approx 1.036 \text{ MWh}$  (megawatt hours)

Comparisons as energy:

- $\approx (0.086 \approx 1/12) \times$  average energy consumed for heating purposes per household in the U.S.A. in 2008 ( $= 4.32 \times 10^{10} \text{ J}$ )
- $\approx$  approximate annual energy use of a standard clothes dryer ( $= 3 \times 10^9 \text{ J}$ )
- $\approx 1.9 \times$  Planck energy ( $1.9561 \times 10^9 \text{ J}$ )

Los cálculos se han hecho con [www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com) con el que no hace falta hacer cambio de unidades ni nada. Lo hace todo solo.

Ha llegado 3,73 GJ, una cantidad inmensa de energía, como la doceava parte de la energía usada en calefacción en Estados Unidos.

Así que pensando que no llegaba casi nada de energía de los choques me he encontrado con que llega muchísima. Pero las ondas son muy difíciles de detectar. ¿Dónde está la solución a la aparente paradoja?

Todas las interacciones con la materia son gravitatorias y la constante de gravitación es muy, pero que muy pequeña.

$$G = 6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

Así todo se hace difícil de medir. Un día hablaremos de como se mide G. Toda una odisea. ■