



# **DISPERSIÓN DE HOYOS NEGROS**

**Roberto Arceo**

**Universidad Autónoma de Chiapas  
Facultad de Ciencias en Física y Matemáticas**

# Resumen

Se calculó la sección eficaz diferencial de hoyos negros regulares considerando ondas planas escalares no masivas. La dispersión de hoyos negros de ondas escalares no masivas puede ser calculada considerando el elemento de línea esféricamente simétrico en el espacio tiempo. Para este análisis se usó el elemento de línea del hoyo negro de Hayward.

# Introducción

La dispersión de hoyos negros de ondas escalares no masivas puede ser calculada considerando el elemento de línea esféricamente simétrico en el espacio tiempo (ecuación 1).

Este cálculo se realizó considerando diferencias finitas en la ecuación radial diferencial (ecuación 2).

# El modelo empleado

El elemento de línea del hoyo negro esféricamente simétrico empleado puede ser escrito en coordenadas esféricas como,

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + f(r)^{-1}dr^2 + r^2d\Omega^2, \quad (1)$$

donde la función  $f(r)$  depende sobre el hoyo negro en consideración.

# El modelo empleado

El elemento de línea del hoyo negro de *Hayward* está dado por la ecuación anterior y la función,

$$f(r) = 1 - \frac{2Mr^2}{r^3 + 2M\varepsilon^2},$$

donde  $\varepsilon$  es el parámetro relacionado a la constante cosmológica y  $M$  es la masa en configuración.

# LA ECUACIÓN DE KLEIN-GORDON PARA ONDAS PLANAS ESCALARES NO MASIVAS

La solución de la ecuación radial para  $\psi_{\omega l}(r)$  puede ser escrita como,

$$f(r) \frac{d}{dr} \left[ f(r) \frac{d}{dr} \psi_{\omega l}(r) \right] + [\omega^2 - V_{eff}(r)] \psi_{\omega l}(r) = 0, \quad (2)$$

donde el potencial efectivo esta dado por,

$$V_{eff}(r) = f(r) \left[ \frac{1}{r} \frac{df(r)}{dr} + \frac{l(l+1)}{r^2} \right].$$

# LA MATRIZ DE DISPERSIÓN $S$

Las soluciones de  $\psi_{\omega l}(r)$  son introducidas en la matriz de dispersión  $S$ , la cual es,

$$S_l = \frac{\psi_l(r_{n-1})r_n h_l^-(kr_n) - \psi_l(r_n)r_{n-1} h_l^-(kr_{n-1})}{\psi_l(r_n)r_{n-1} h_l^+(kr_{n-1}) - \psi_l(r_{n-1})r_n h_l^+(kr_n)},$$

donde la matriz  $S$  es evaluada en los dos últimos puntos sobre una malla de tamaño  $\delta$  ( $r = 0, \delta, 2\delta, \dots, n\delta$ ) y  $n$  es el número de puntos (para este análisis se usó  $n = 295$  y  $\delta=0.1$ ).  $\psi_{\omega l}(r)$  son las soluciones de la ecuación radial esférica de Klein-Gordon y  $h_l$  son las funciones esféricas de Hankel.

# LA AMPLITUD DE DISPERSIÓN

La amplitud de dispersión  $g(\theta)$  para una descomposición en ondas parciales en términos de la matriz  $S$  ,

$$g(\theta) = \frac{1}{2i\omega} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1) [e^{2i\delta_l(\omega)} - 1] P_l(\cos\theta),$$

$$g(\theta) = \frac{1}{2i\omega} \sum_{l=0}^{\infty} (2l + 1)(S_l - 1) P_l(\cos\theta),$$

donde  $\delta_l(\omega)$  son los cambios de fase y  $\omega$  son las frecuencias.

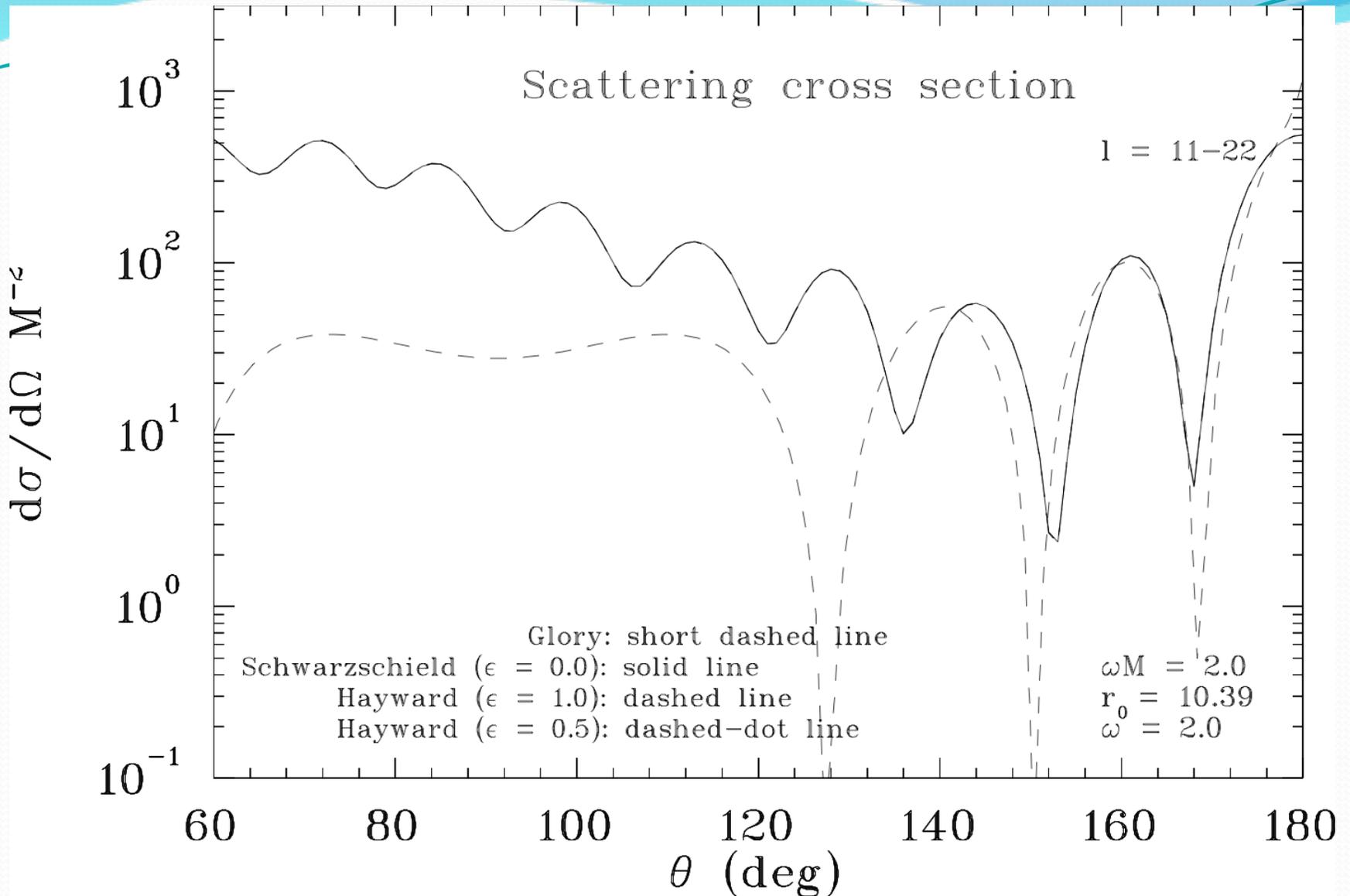
# LA SECCIÓN EFICAZ DIFERENCIAL

Para estados con bien definido espín e iso-espín la sección eficaz diferencial en un elemento de ángulo sólido  $d\Omega$  es dado por la amplitud de dispersión  $g(\theta)$ ,

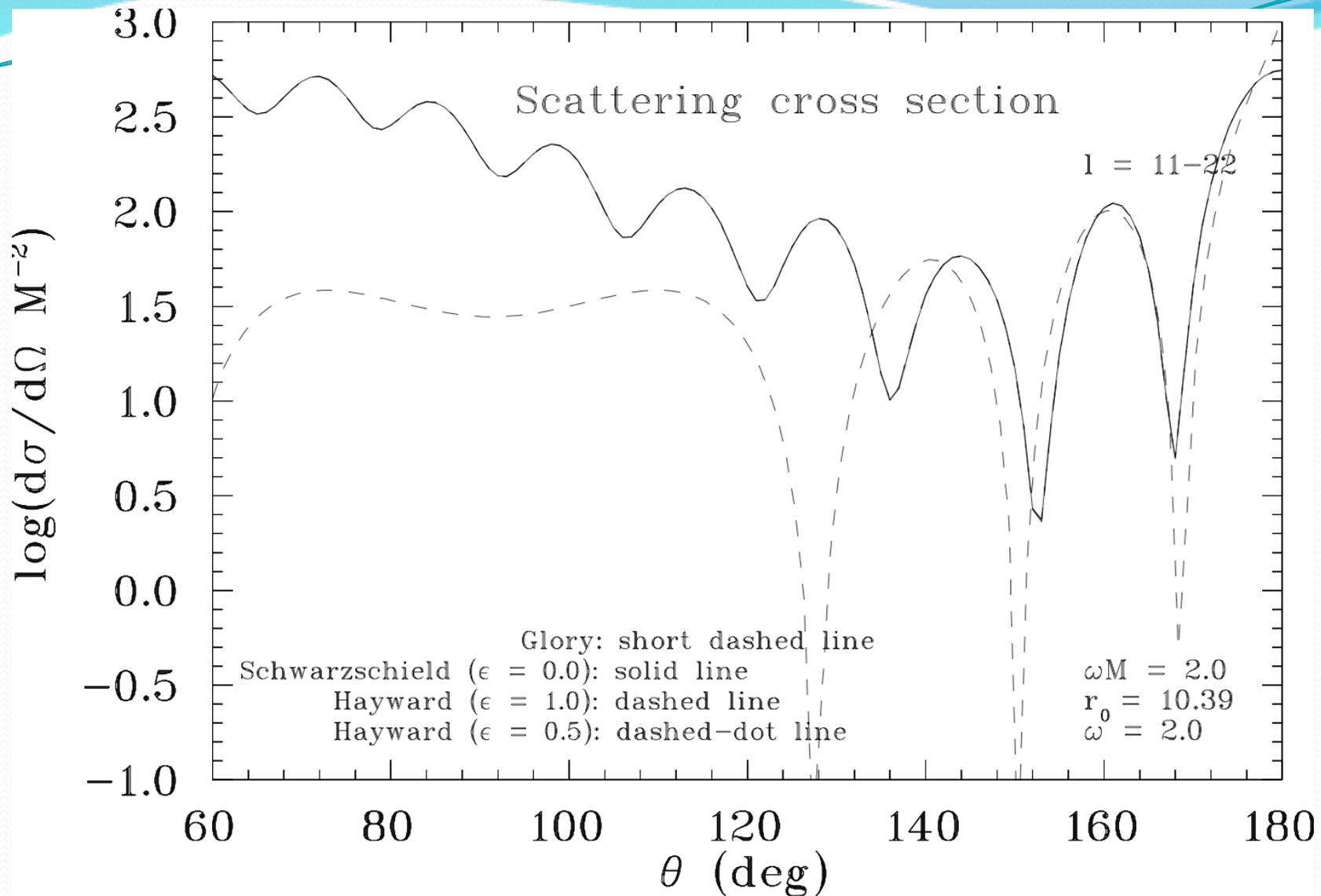
$$\frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega} = |g(\theta)|^2.$$

# LA SECCIÓN EFICAZ DIFERENCIAL

En la *Fig. 1* y la *Fig. 2* la sección eficaz diferencial es analizada para un hoyo negro de Hayward y considerando el límite de  $\varepsilon \rightarrow 0$  para el caso de Schwarzschild.



**Fig. 1:** La sección eficaz diferencial para un hoyo negro de Hayward y comparando para el caso de la aproximación de glory y el caso de Schwarzschild, como función del ángulo sólido.



**Fig. 2:** La sección eficaz diferencial para un hoyo negro de Hayward y comparando para el caso de la aproximación de glory y el caso de Schwarzschild, como función del ángulo sólido.

# CONCLUSIONES

- Las espirales son generadas considerando ondas parciales de  $l = 11$  a  $22$ .
- La aproximación de glory concuerda en ángulos mayores de 130 grados.
- La sección eficaz diferencial concuerda considerando el caso de Schwarzschild.



**GRACIAS**