

Identificación de campos magnéticos mediante ondas gravitatorias

Seminario Girg-Halley

José Fernando Rodríguez Ruiz



Sistema binario

- Generación ondas en campo debil

$$\square \bar{h}_{\mu\nu} = -\frac{16\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

- Aproximación de cuádrupolo: sistema autogravitante con bajas velocidades,

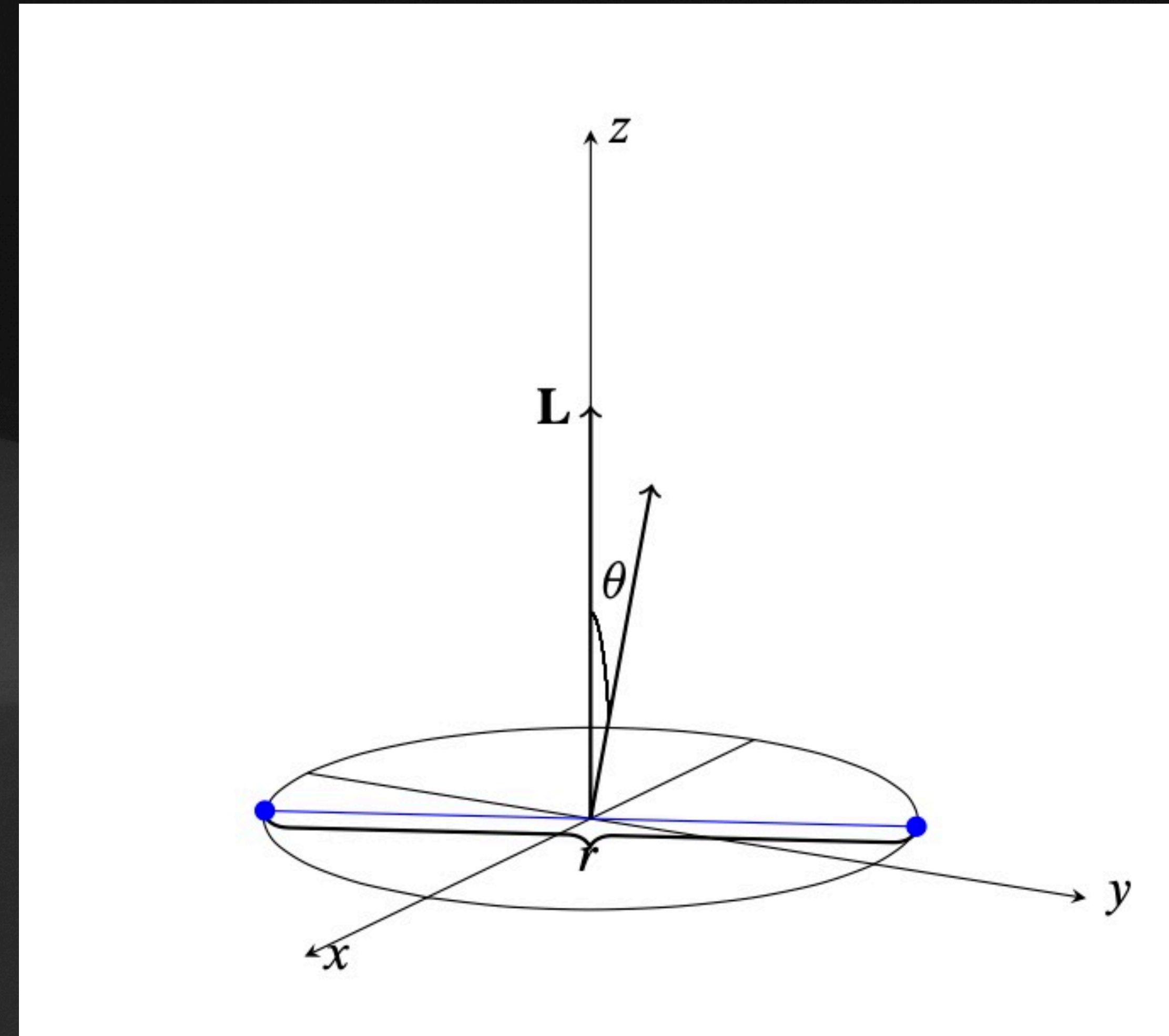
$$h_{ij}^{\text{TT}}(t - R/c, x^i) \Big|_{\text{quad}} = \frac{2G}{c^4 R} \Lambda_{ij,lm} \ddot{I}_{lm}(t - R/c),$$

- La frecuencia de la GW es el doble de la frecuencia orbital, $f = 2\omega_0$.

- Perdida de energía,

$$\dot{E}_{\text{GW}} = \frac{32}{5} \frac{c^5}{G} \nu^2 \left(\frac{GM\omega_0}{c^3} \right)^{10/3} = \frac{32}{5} \frac{c^5}{G} \nu^2 \left(\frac{v^2}{c^2} \right)^5$$

$$\text{con } \nu = \mu/M$$



Sistemas cuasi-monocromáticos

- La frecuencia cambia lentamente en el tiempo $\dot{f}T \ll f$,

$$h_+ = A \cos[2\pi(ft + \dot{f}/2t^2)](1 + \cos^2 \theta)/2$$

- Observables intrínsecos (A, f, \dot{f}) dependen de las propiedades del sistema
- Observaciones electromagnéticas indican que el decaimiento orbital es consistente con GR.
- Ley frecuencia para binarias

$$\dot{f} = (96\pi^{8/3}/5)f^{11/3}M_c^{5/3}$$

donde $M_c = (m_1 m_2)^{3/5} / (m_1 + m_2)^{1/5}$.

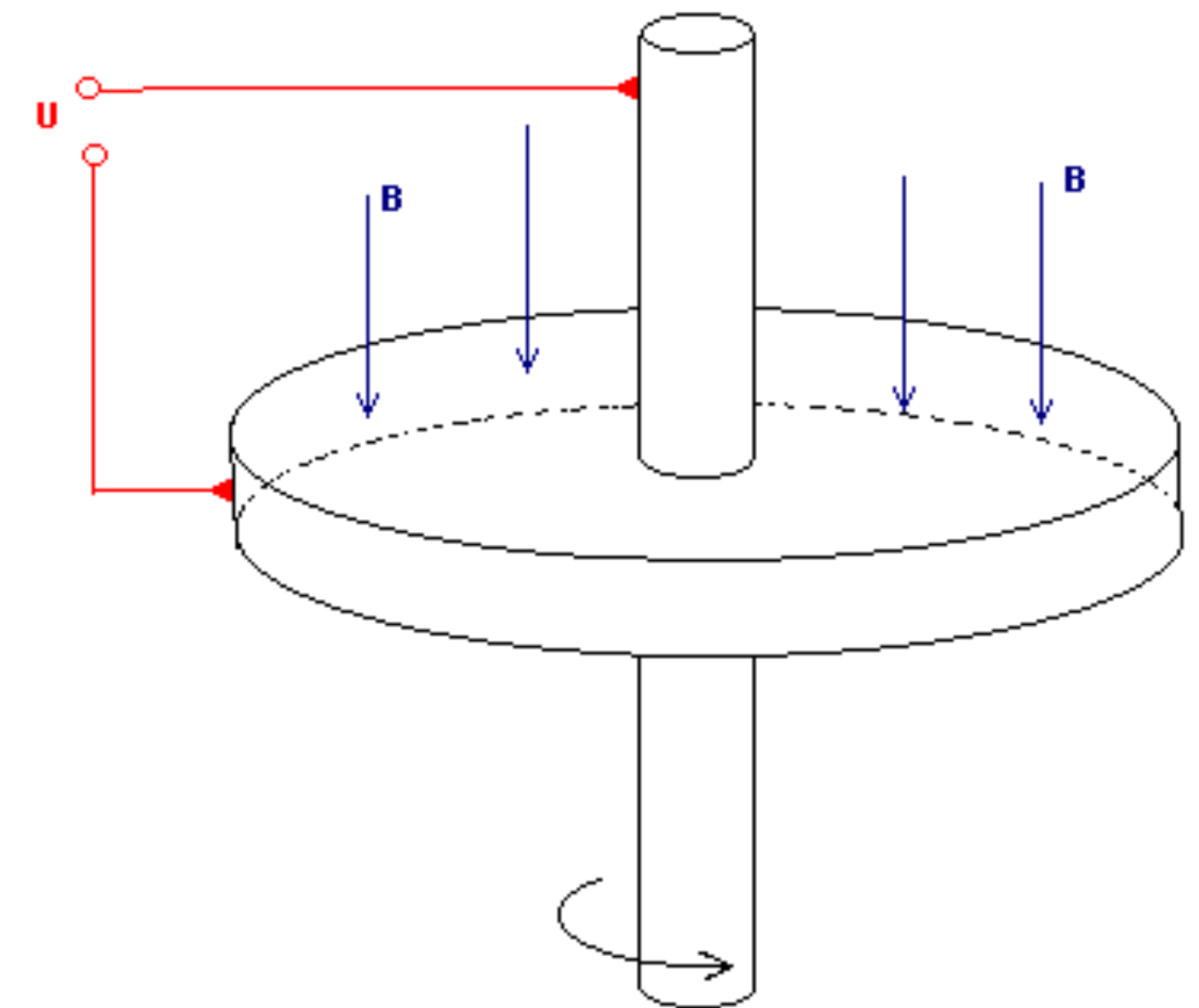
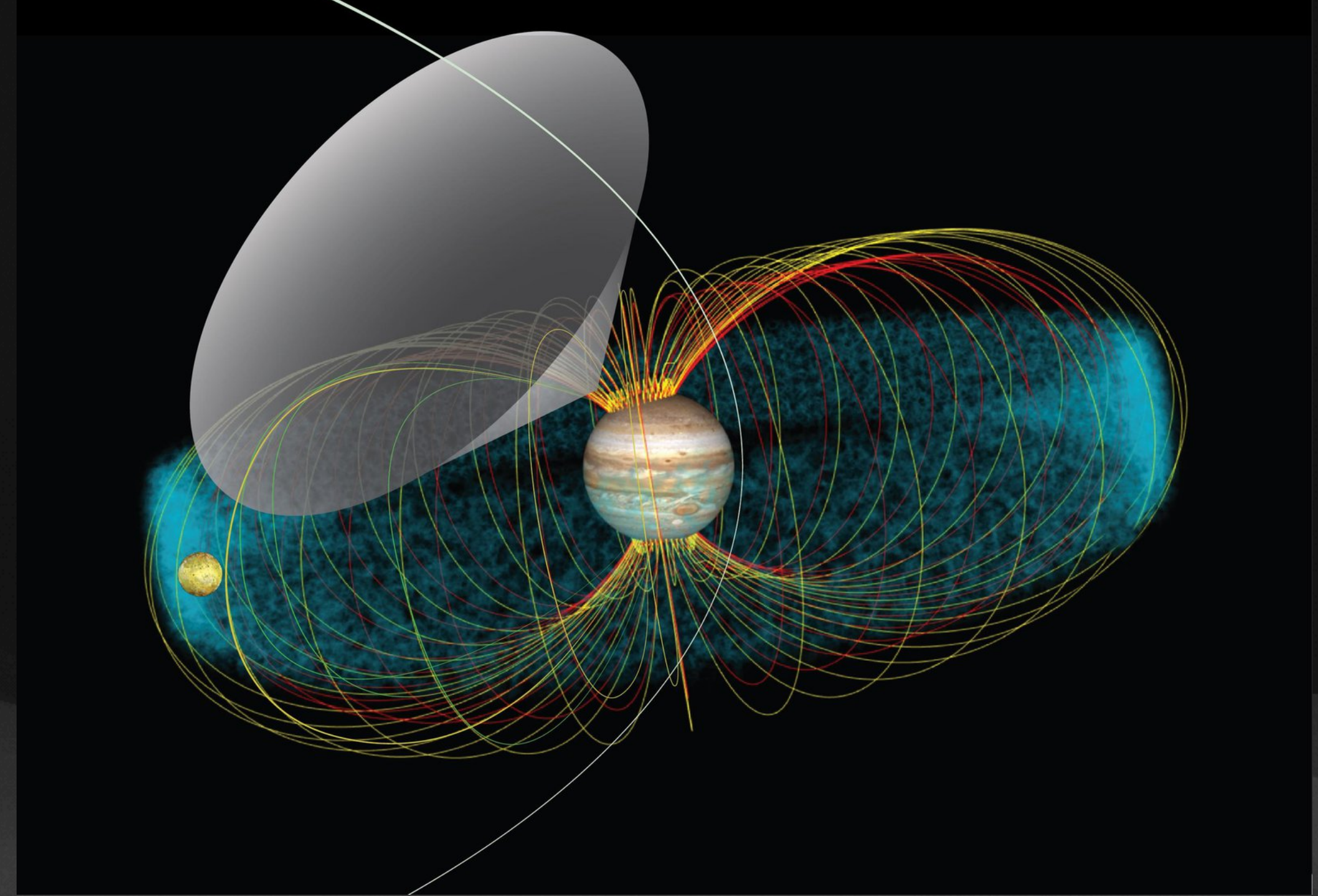
- Existen blanco asegurados: ej. WD0028-474, WD0135-052

Solo gravitación?

- Usualmente se analiza la binaria como un sistema compuesto por dos masas puntuales en el vacío donde la interacción es netamente gravitatoria.
- Existen otras interacciones en estos sistemas, ej. Campos magnéticos.
- Fricción dinámica debido a la presencia de materia oscura¹.
- Nuevas interacciones \implies cambia la evolución de la frecuencia y de la amplitud de la onda.

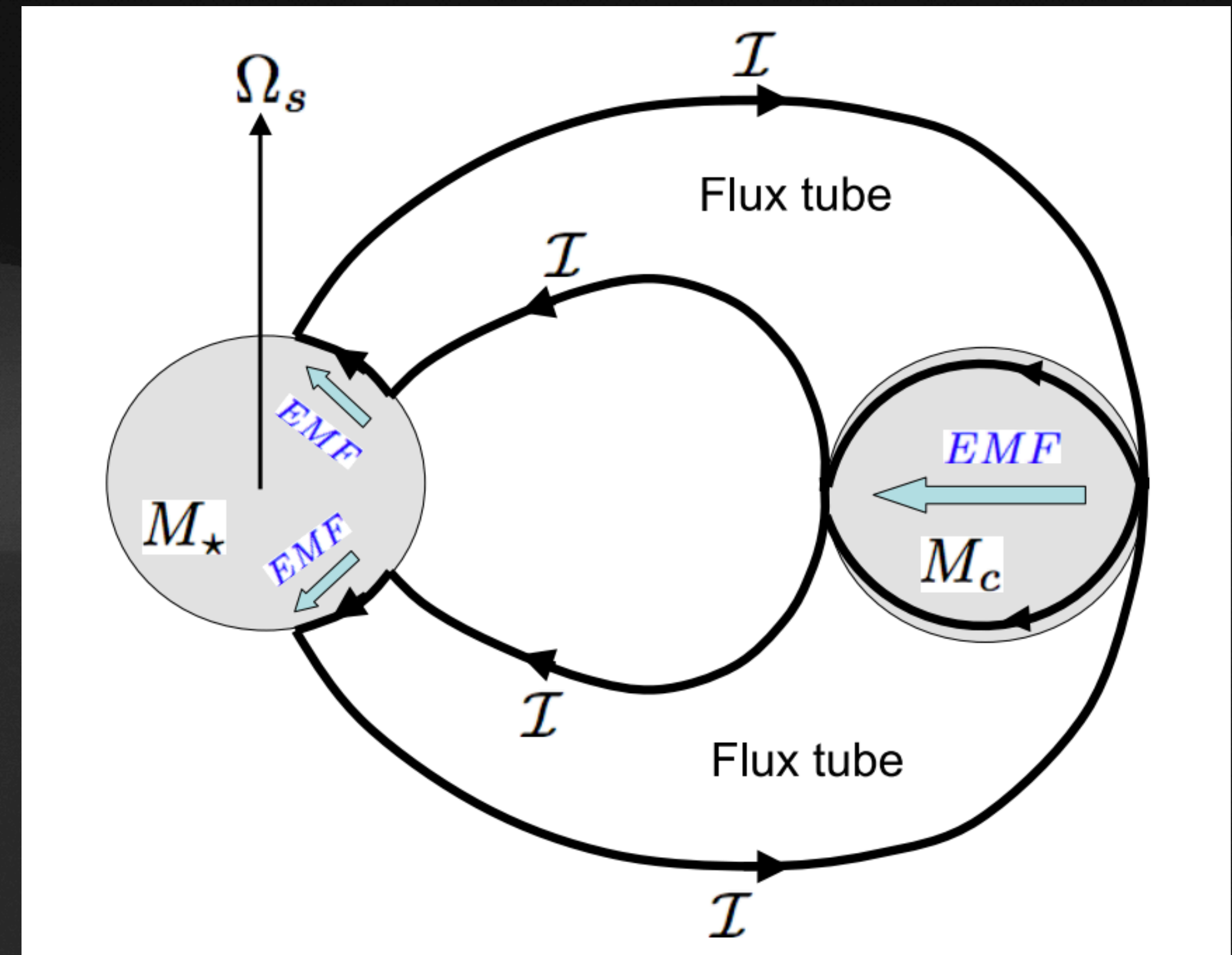
Modelo unipolar

- Interacción magnética en el sistema Jupiter-Io
- Inducción unipolar: energía cinética en energía electromagnética.
- Fuerza de Lorentz



Modelo Unipolar astrofísico

- Hay evidencia de la existencia de WD con campos magnéticos¹
- M_1 WD rotatoria Ω , con campo magnético. No está sincronizada con la rotación orbital, ω_0 .
- M_2 WD no magnetizada, esta sincronizada.
- Debido a la asincronización $\alpha = \Omega/\omega_0 \neq 1$ existe un inductor unipolar.



Dong Lai, The Astrophysical Journal Letters, 757, 2012

¹L. Becerra, J. A. Rueda, P. Lorén-Aguilar, and E. García-Berro, ApJ 857, 134 (2018),

Modelo Unipolar

- Fuerza electromotriz U

$$\vec{E} = \frac{\vec{v} \times \vec{B}}{c}, \quad U = 2R_2 |E|, \quad \text{con } \vec{v} = r(\omega_0 - \Omega)\hat{\phi} = (GM\omega_0)^{1/3}(1 - \alpha)\hat{\phi},$$

- Se genera una corriente y se disipa energía,

$$I = \frac{U}{\mathcal{R}}, \quad L = 2I^2 \mathcal{R},$$

- La corriente induce un campo toroidal B_ϕ y se genera un “twist”,

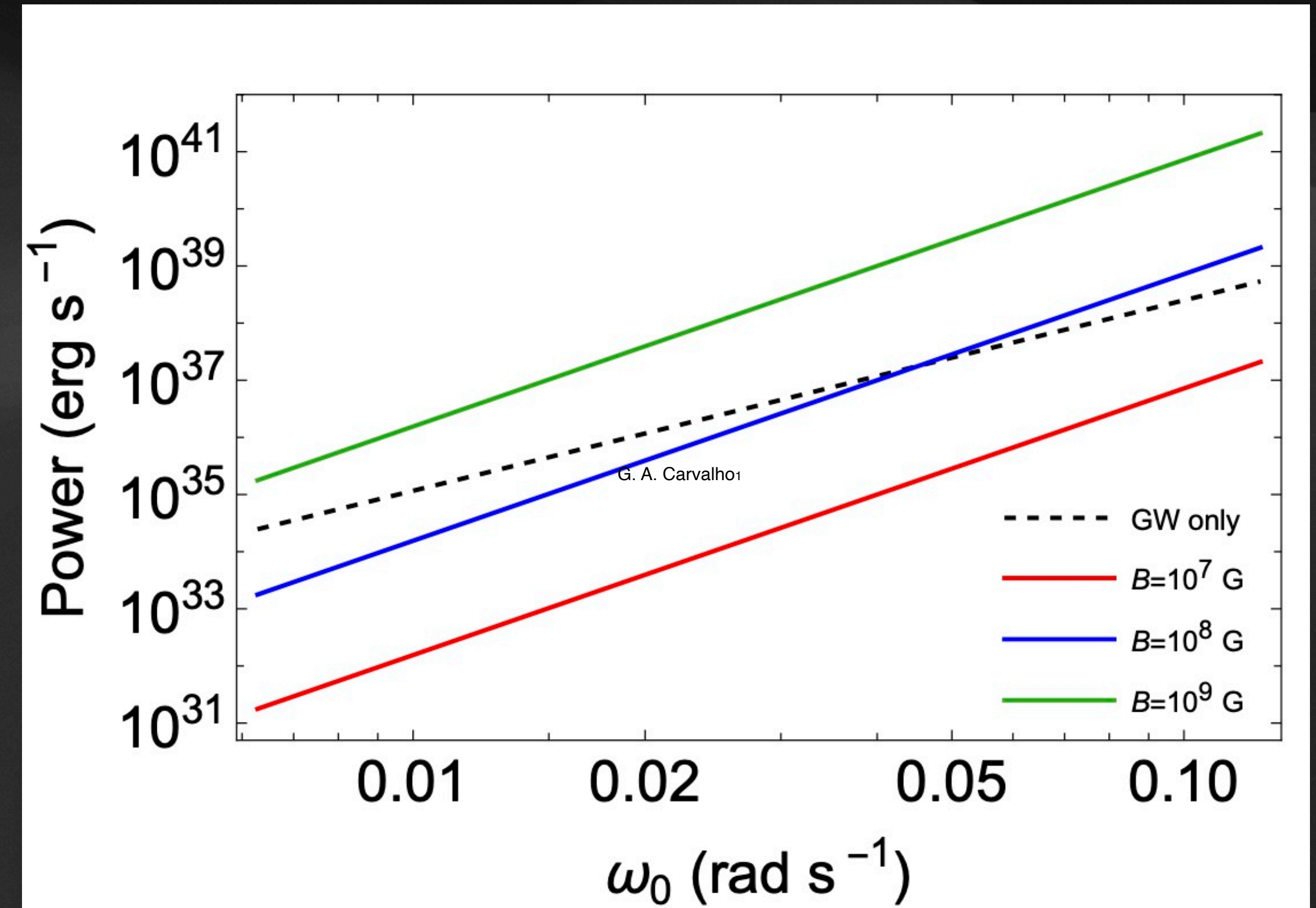
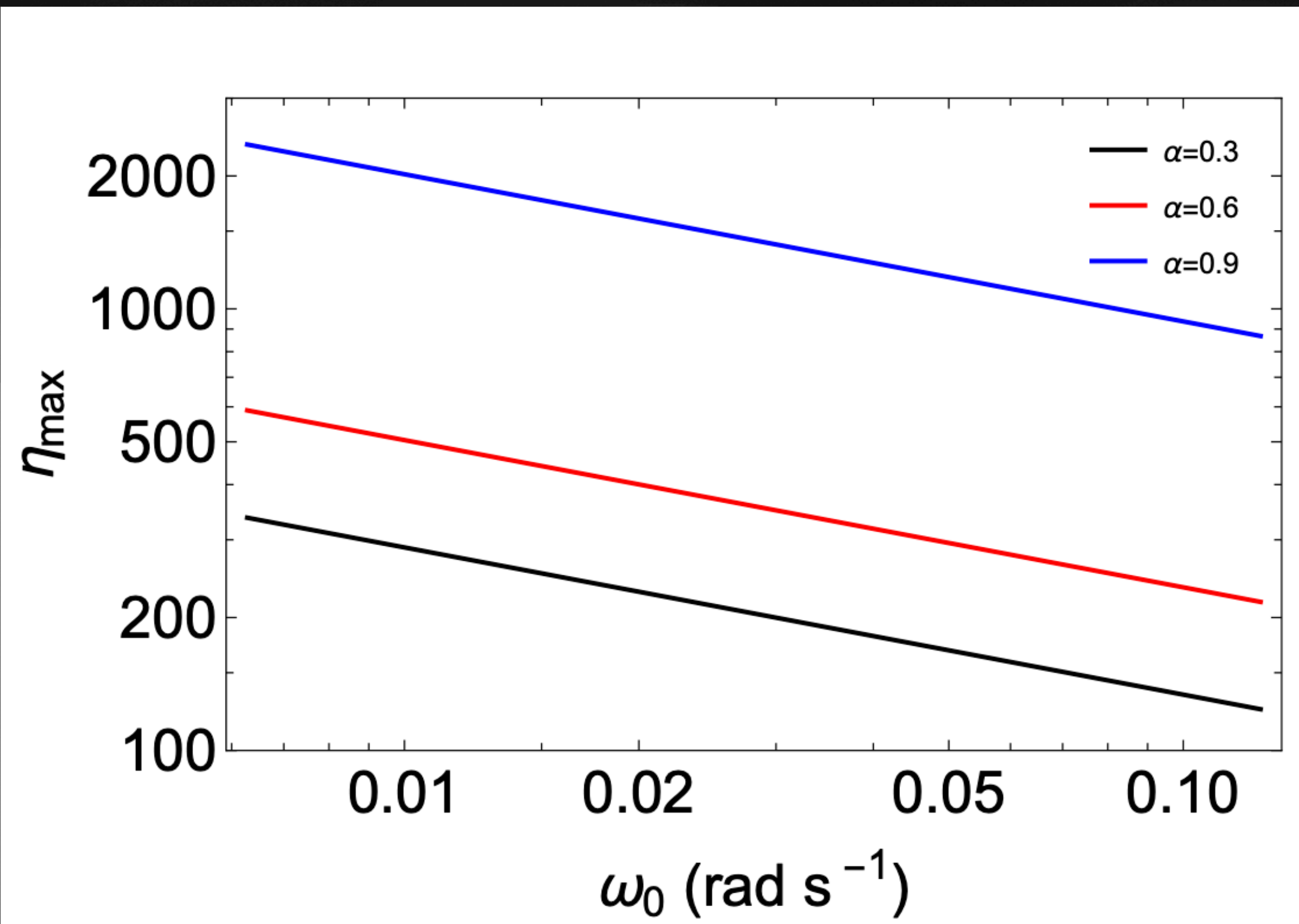
$$\xi_\phi = -\frac{B_{\phi+}}{B_z} = \frac{16v}{c^2 \mathcal{R}},$$

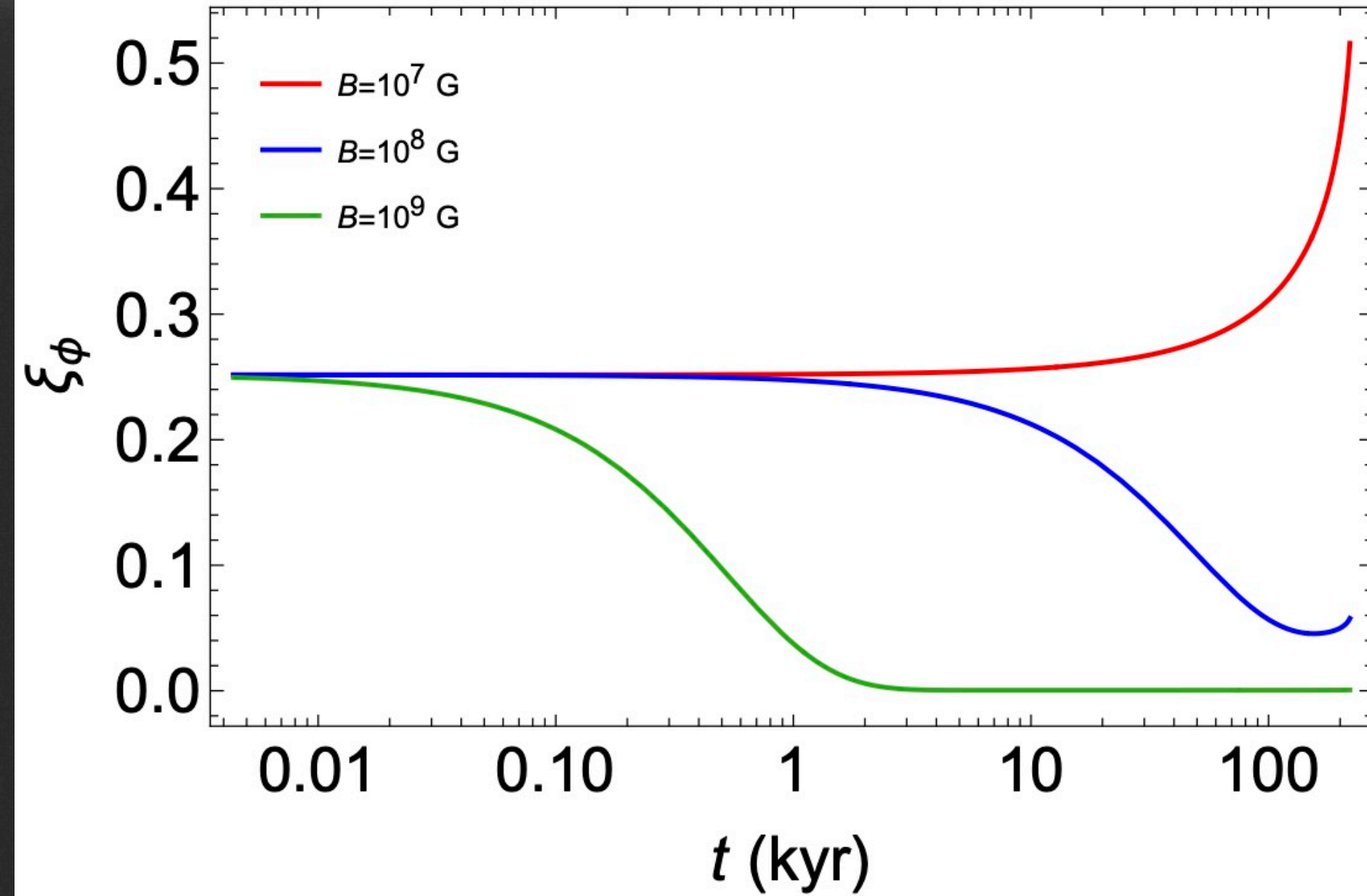
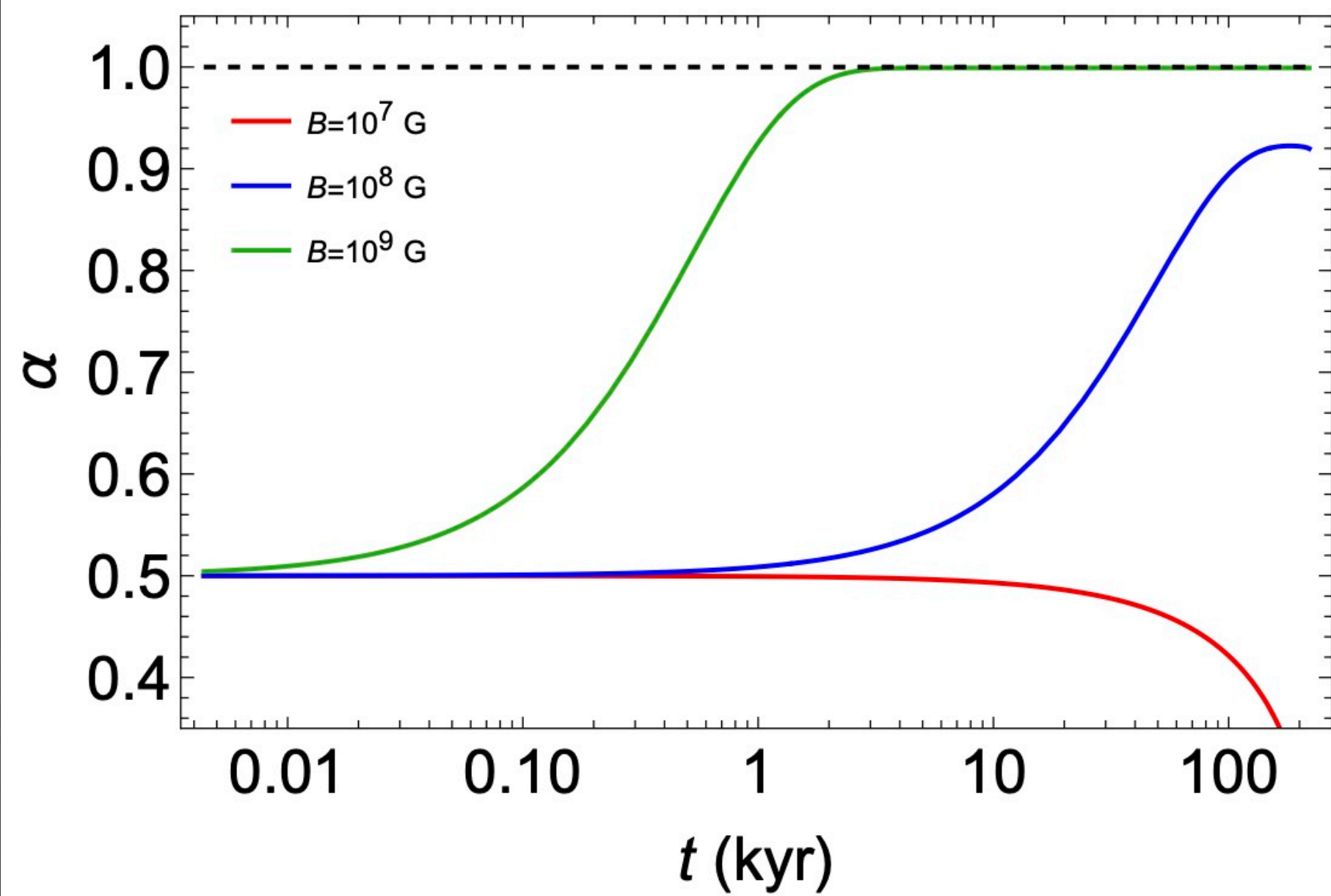
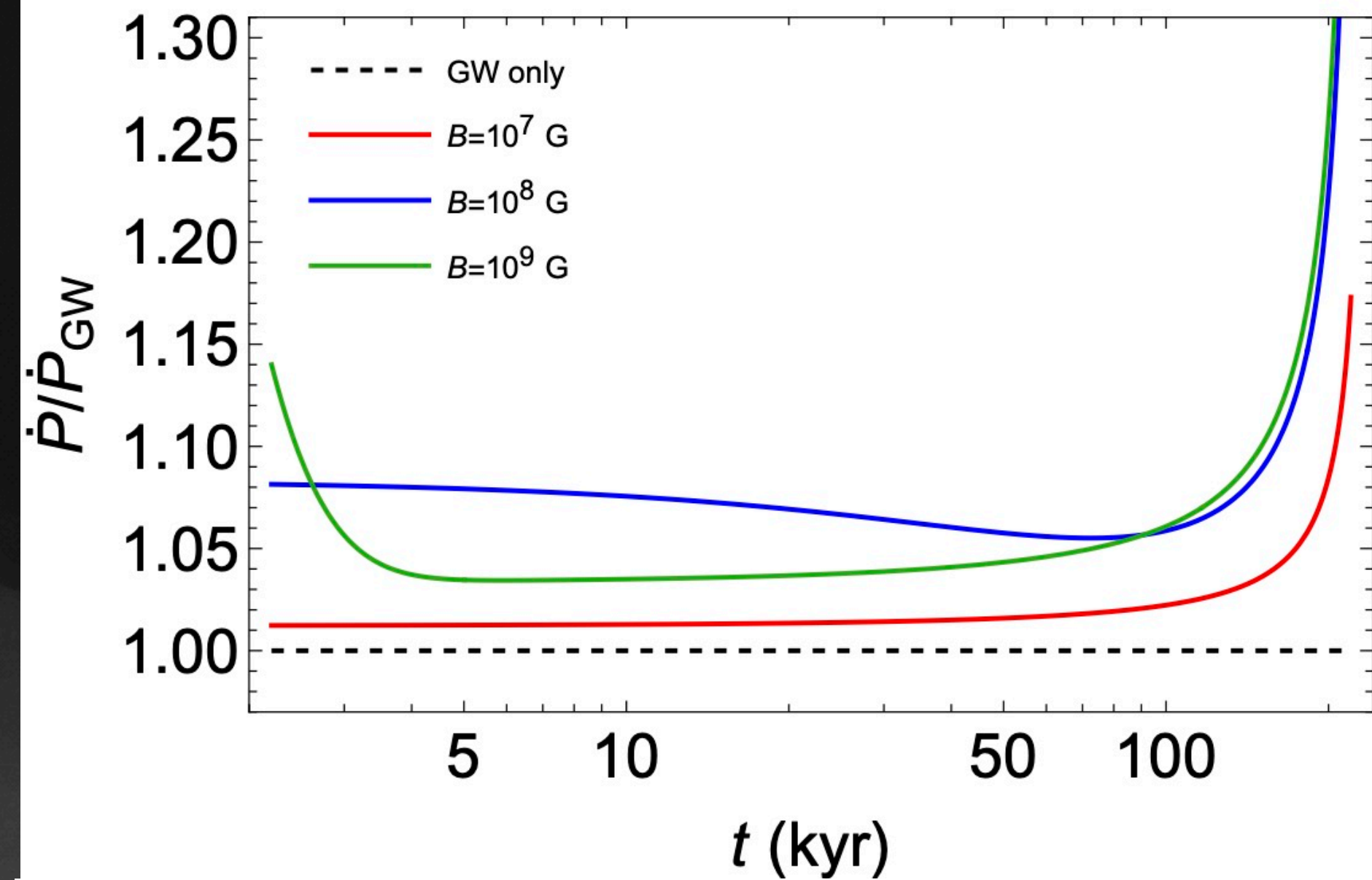
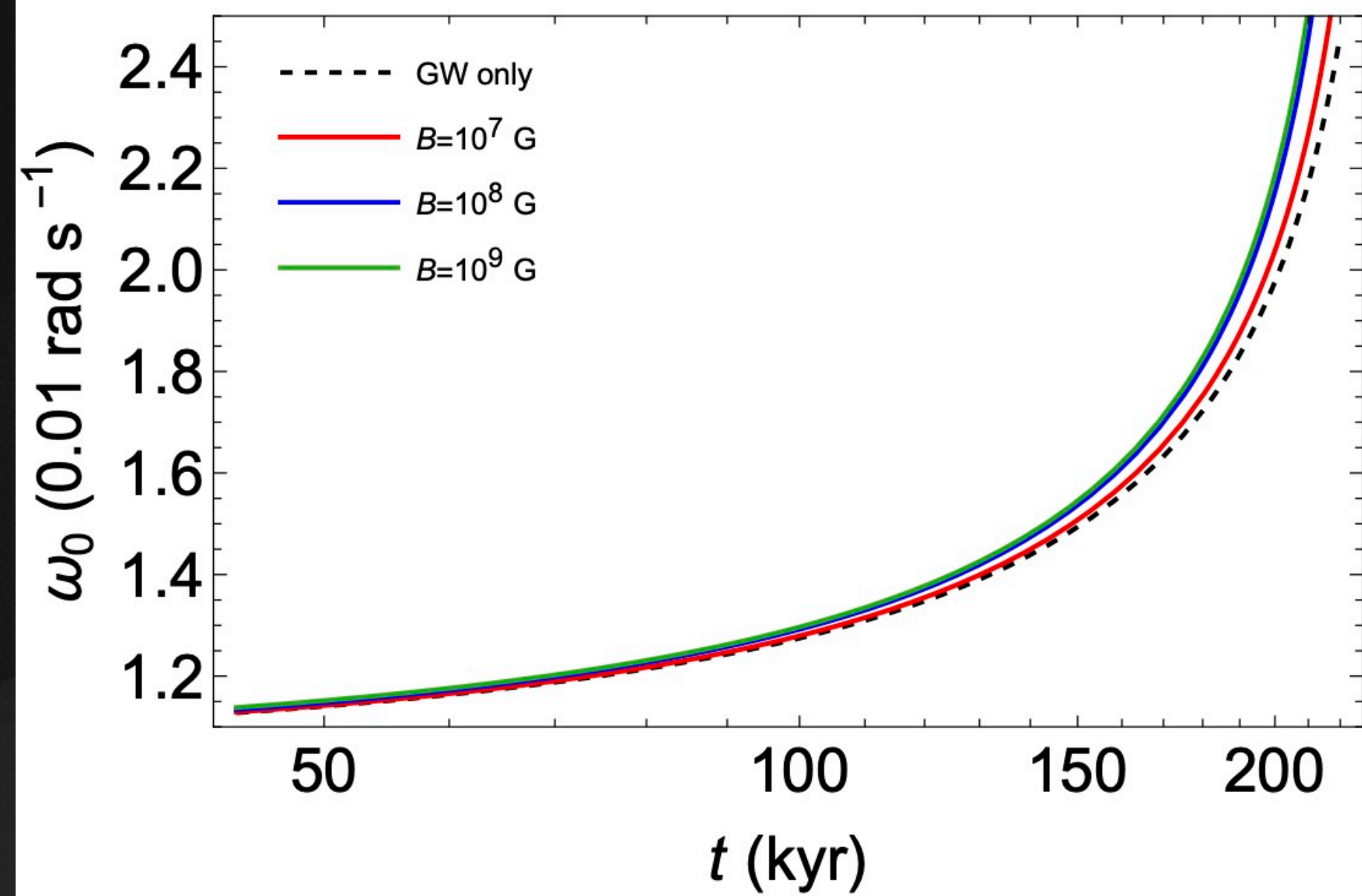
- Cuando el $\xi_\phi \gtrsim 1$ el circuito se rompe.

- La resistencia se parametriza con la impedancia del vacío $\mathcal{R} = \frac{4\pi}{c} \frac{1}{\eta}$.

Luminosidad EM

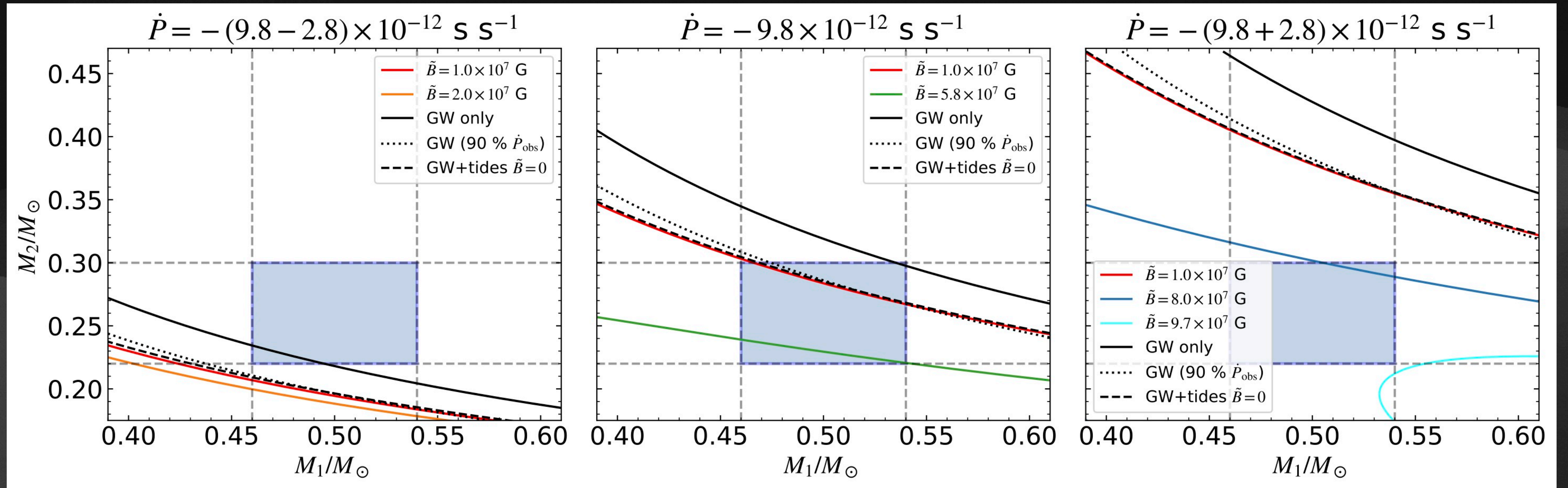
$$\eta_{\max} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{c^3}{GM\omega_0} \right)^{1/3} \frac{1}{1-\alpha}, \quad \frac{L}{1-\alpha} = \frac{2}{\pi c} \omega_0^2 \frac{R_1^6 R_2^2}{r^4} \tilde{B}^2 \text{ con } \tilde{B} = \sqrt{(1-\alpha)\eta} B$$





SDSS J0651+2844

SDSS J0651+2844

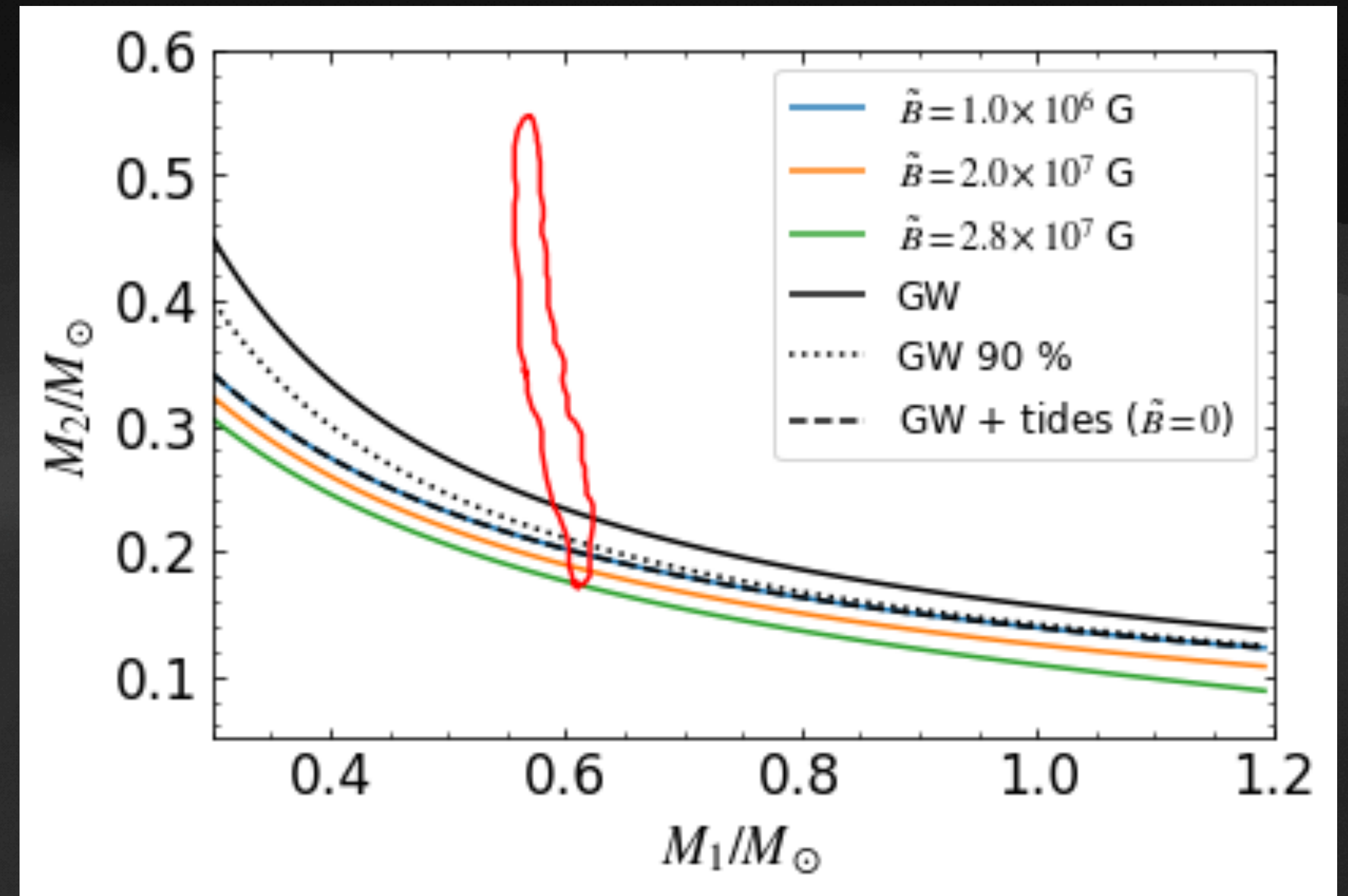


ZTF J1539+5027

- Parametros,
 $P = 414.7915404 \pm 0.0000029$ s
 $\dot{P} = (-2.373 \pm 0.005) \times 10^{-11}$,

$$M_1 = 0.610^{+0.017}_{-0.022} M_{\odot}$$

$$M_2 = 0.210^{+0.014}_{-0.015} M_{\odot}$$



Ondas gravitacionales

Desfase UI - GW puro

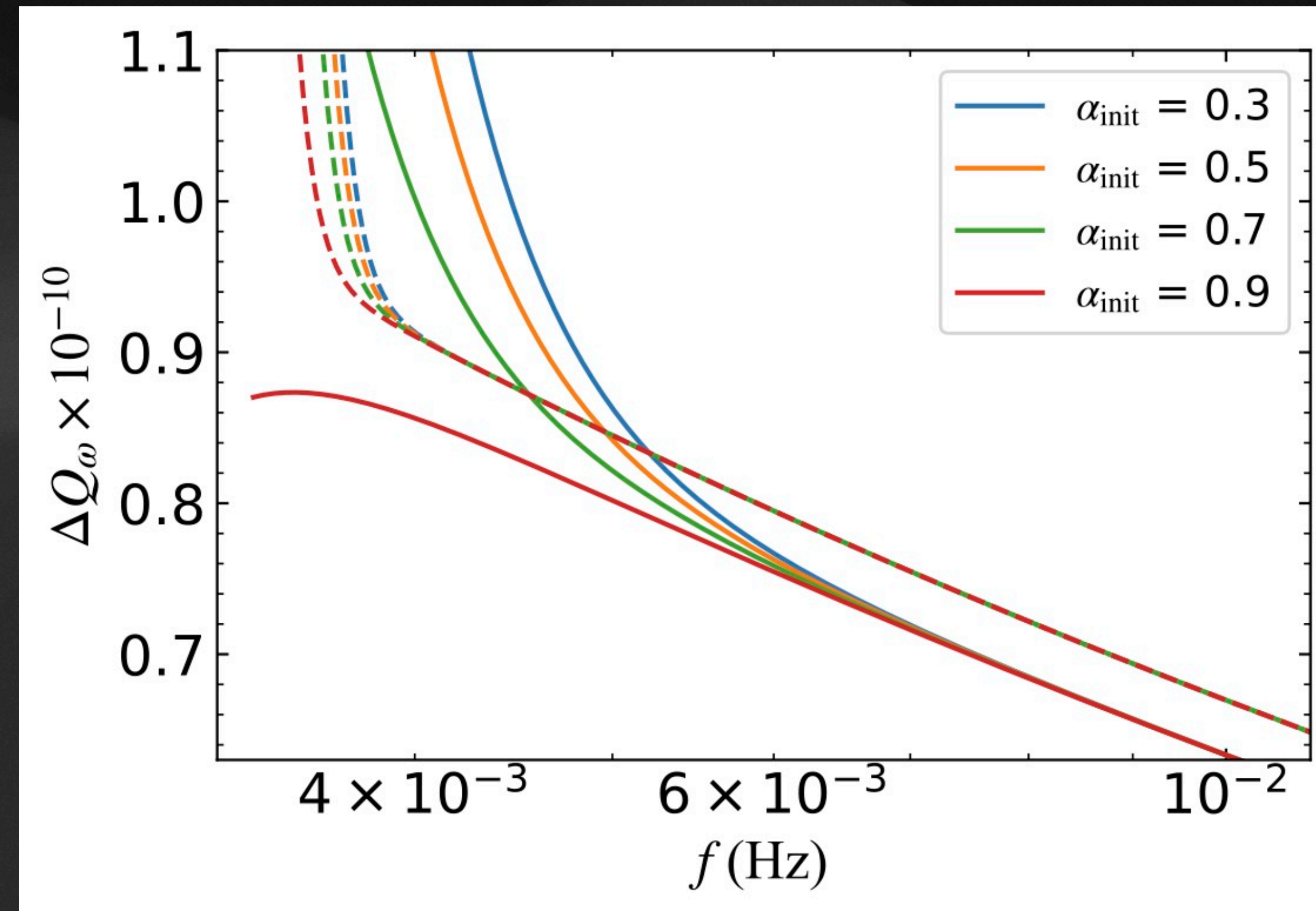
G. A. Carvalho et al. accepted ApJ.
arXiv:2208.00863

- Evolución intrínseca de la fase de la GW

$$Q_{\omega} = \frac{\omega^2}{\dot{\omega}} = -\frac{2\pi}{\dot{P}} = 2\pi \frac{dN}{d \ln \omega}$$

- El cambio en la fase de dos formas de onda es $\Delta\Phi \approx \Delta Q_{\omega} d \ln \omega$, con

$$\Delta Q_{\omega} \equiv Q_{\omega}^{\text{GW}} - Q_{\omega}^{\text{UIM}}$$



$$M = 1.2M_{\odot} \quad q=1 \quad \eta = 100, 8 \times 10^7 \text{ G}$$

Sistema con campo o sin campo?

- Lisa observa un sistema $M = 1.2 M_{\odot}$, $q = 1$ durante dos años. $f = 6$ mHz
- Evolución debido a emisión de GW pura el cambio en la frecuencia es $1.57 \times 10^{-3} \%$
- Evolución UI $\alpha = 0.8$, $\eta = 100$, $B = 1 \times 10^7$ G, el cambio en la frecuencia es $1.47 \times 10^{-3} \%$
- El desfase en las dos formas de onda es $\Delta\Phi \approx 1.48 \times 10^5$ rad.
- Sistema $D = 1$ kph, 2 años de observación SNR 246, diferencias en el observable $\Delta\dot{f} = 9.26 \times 10^{-17} \text{ Hz s}^{-1} > \Delta f_{\text{error}} = 4.38 \times 10^{-18} \text{ Hz s}^{-1}$. Detectable.

Conclusiones

- Las fuerzas de marea y la emisión EM contribuyen considerablemente a la dinámica de las binarias.
- La dinámica de enanas blancas binarias se ve drásticamente afectada cuando $\tilde{B} \gtrsim 1 \times 10^7 - 1 \times 10^9$ G
- La inclusión de emisión EM modifica las plantillas de ondas gravitatorias.
- Lisa podrá determinar la eventual presencia de campos magnéticos en enanas dobles.