

Anexo Técnico — TMRCU aplicado a PSR J0737–3039

Vínculo cuantitativo entre el sector de Sincronización (Σ, χ, σ) y los observables del doble púlsar

1. Anclajes observacionales (resumen)

- Sistema: doble púlsar PSR J0737–3039 (componentes A y B).
- Masas adoptadas: $M_A = 1.337 M_\odot$, $M_B = 1.249 M_\odot$; $M_{\text{total}} = 2.586 M_\odot$.
- Período orbital: $P_b \approx 2.454$ h = 8834.4 s.
- Decaimiento orbital medido: $|\Delta P_b| \sim 10^{-12}$ (consistente con pérdida cuadrupolar por GR).
- Precesión relativista y desaparición temporal de B; reaparición prevista ~2035.
- Distancia VLBI ~ 1.15 kpc (permite descontar efectos cinemáticos al comparar ΔP_b con GR).

2. Sector efectivo TMRCU (Σ, χ) y masa del sincronón σ

Se adopta un sector mínimo de sincronización con campo Σ y sustrato χ : $\nabla_{\Sigma} \cdot \nabla_{\chi} = \frac{1}{2}(\partial\Sigma)^2 + \frac{1}{2}(\partial\chi)^2 - V(\Sigma, \chi)$, con potencial $V(\Sigma, \chi) = -\frac{1}{2} \mu^2 \Sigma^2 + \frac{1}{4} \lambda \Sigma^2 + \frac{1}{2} m_\sigma \chi^2 \Sigma^2 + (g/2) \Sigma^2 \chi^2$. Alrededor del VEV $\Sigma \neq 0$ aparece un modo masivo σ con masa $m_\sigma = \sqrt{2} \mu$, $\lambda_C = \mu/(m_\sigma c)$.

3. Ecuaciones-puente a observables (definiciones operativas)

(i) Derivada del período orbital: $\Delta P_b^{\text{obs}} = \Delta P_b^{\text{GR}} (1 + \varepsilon)$, $\varepsilon = \alpha_{\text{eff}}^2 \cdot \Phi(m_\sigma; a, e)$, $|\varepsilon| \ll 1$. (ii) Avance del periastro: $\Delta \omega^{\text{obs}} = \Delta \omega^{\text{GR}} [1 + \kappa_\omega(\alpha_{\text{eff}}, m_\sigma; a, e)]$. (iii) Retardo de Shapiro (parámetros r, s): $(r, s)^{\text{obs}} = (r, s)^{\text{GR}} \cdot [1 + \kappa_S(\alpha_{\text{eff}}, m_\sigma; a, e)]$. La función Φ suprime la contribución TMRCU según el régimen de masas y escala orbital.

4. Escalas características del sistema (cálculo numérico)

Magnitud	Símbolo	Valor
Masa total	M_A+M_B	$2.586 M_\odot$
Periodo orbital	P_b	8834.4 s
Frecuencia angular	$\Omega=2\pi/P_b$	$7.112181e-04 \text{ s}^{-1}$
Semieje mayor (Kepler)	a	$8.787174e+08 \text{ m}$
Umbral radiativo	$m_\sigma \ll \Omega$	$4.681e-19 \text{ eV}$
Rango $\sim a$	$m_\sigma \sim c/a$	$2.246e-16 \text{ eV}$

5. Regímenes físicos y límites observacionales

- Régimen radiativo (sincronón ultraligero): si $m_\sigma \ll \Omega \approx 4.68e-19 \text{ eV}$, entonces $\Phi \rightarrow 1$ y la fracción TMRCU es $|\varepsilon| \approx \alpha_{\text{eff}}^2$. Los datos de J0737–3039 imponen $|\varepsilon| \ll 1.3 \times 10^{-12}$ (95% C.L.), de donde

$\alpha_{\text{eff}} \approx 1.1 \times 10^{-2}$. • Régimen estático de rango largo: si $\Omega \ll m_\sigma \ll c/a \approx 2.25 \times 10^{-16} \text{ eV}$, no hay radiación de σ pero aparece una fuerza efectiva de quinto tipo. Las cotas provienen de ω, r, s (desviaciones fraccionales típicas $\approx 10^{-2}-10^{-3}$ en J0737–3039). • Rango corto: si $m_\sigma \ll c/a$, el doble púlsar es insensible a TMRCU.

6. Protocolos de prueba y predicciones falsables

- TOAs (A): búsqueda de componente periódico débil acoplado a armónicos orbitales; sensibilidad dirigida a $\epsilon \approx 10^{-2}$.
- Precesión de B (~2035): contraste de ω con y sin término $\kappa_\omega(\alpha_{\text{eff}}, m_\sigma)$ a nivel $\approx 10^{-2}$ fraccional.
- Fase/polarización en la fusión: residuo escalar compatible con un modo σ (respetando límites previos en binarias NS-WD y eventos tipo GW170817).

7. Autocrítica técnica

(1) Parquedad: el puente usa solo $(\alpha_{\text{eff}}, m_\sigma)$ y una supresión Φ ; es conservador pero no único. (2) Identificabilidad: partes de κ_S y κ_ω pueden mimetizar efectos de plasma o cinemática; se requiere control estricto de VLBI/DM. (3) Generalidad: las cotas « $\epsilon \approx 1.3 \times 10^{-2}$ » son específicas de J0737–3039; binarias asimétricas NS-WD dan límites complementarios (modos dipolares). (4) Robustez: los umbrales « Ω » y « c/a » delimitan dónde esperar radiación de σ o fuerza estática; fuera de esas ventanas, la sensibilidad cae rápidamente.