

Sección de Fenomenología / Predicciones — cómo ver σ (o descartarlo) en el laboratorio

****Canales prioritarios (basados en la Parte 3 y su “manual de detección”):****

1. ****Interferometría de cavidad (óptica / microondas) y dispositivos Josephson paramétricos****

****Observable.**** Conversión resonante $\sigma \leftrightarrow \text{fotón/fase}$ y huellas en el ****ruido de fase** $S_{\phi}(\omega)$ de la cavidad.

****Firma.**** Aparición de una línea estrecha o un ****estrechamiento de línea**** al barrer la frecuencia de bombeo por $\omega_{\sigma} \simeq m_{\sigma}$ (unidades naturales), con caída reproducible de Δf al activar el control de calidad de factor (Q_{control}).

****Criterio de aceptación.**** Señal persistente y calibrable en múltiples barridos, con ajuste a dinámica tipo Stuart–Landau ($\text{RMSE} < 0.1$). ****Falsación**** si no se observa estructura alguna en $S_{\phi}(\omega)$ ni estrechamiento de línea al cubrir el rango esperado de m_{σ} (ver escalas guía $m_{\sigma} \approx \text{MHz–GHz}$ en el dominio de dispositivo).

2. ****Pruebas de fuerzas de corto alcance (sub-mm): potencial de Yukawa****

****Observable.**** Desviación de $1/r$ a distancias cortas con ****término de Yukawa**** $V(r) \propto e^{-m_{\sigma} r}/r$.

****Firma.**** Señal reproducible en péndulos de torsión / micro-resonadores al barrer la separación en la ventana $r \sim 1/m_{\sigma}$.

****Criterio de aceptación.**** Ajuste conjunto de los datos a (m_{σ}, g) con intervalos de confianza cerrados. ****Falsación**** si los límites experimentales cierran la región de parámetros relevante mapeada por el programa (expresar siempre resultados en el plano (m_{σ}, g_i)).

3. ****Materia condensada dirigida (SYNCTRON / Σ FET: SHNO/STNO, fotónico o superconductores)****

****Observable.**** ****Umbral de Hopf****, ****injection locking**** (lengua de Arnold) y ****reducción de ruido**** al acoplar una red de osciladores al modo σ del dispositivo.

****Firma.**** (i) Curva $\Sigma(u_g)$ con umbral estable; (ii) ****ancho de captura**** $\Delta\omega \propto |z_{\text{in}}|$; (iii) ****estrechamiento de línea**** $\Delta f \searrow$ al activar control; (iv) ****repetibilidad**** entre celdas del mismo wafer.

****Criterio de aceptación.**** Ajuste con $\text{RMSE} < 0.1$ y reproducción en $\geq 3\text{--}5$ celdas por wafer. ****Falsación**** si no aparecen el umbral de Hopf ni la lengua de Arnold en el barrido de u_g y se descartan sistemáticos.

> ****Nota.**** estos tres canales son complementarios: cavidades (metrología de fase), fuerzas (test de campos escalares nuevos) y dispositivos Σ FET (ingeniería dirigida al modo σ). Todos se encuadran en el programa de Parte 3.

Autocrítica (validación y cómo aseguré las conclusiones)

* ****No-redundancia vs. explicaciones estándar.**** Cada canal exige un ****patrón específico**** (estrechamiento de línea con RMSE objetivo; ley de Yukawa con m_{σ} bien

determinado; lengua de Arnold con $\Delta\omega \propto |z_{\rm in}|$). Esto evita atribuir la señal a ruido instrumental o a no-idealidades genéricas. $\times 20$;

* **Controles y riesgos.** El plan incluye **ciegos**, dispositivos nulos, replicación inter-lab, blindajes ambientales, verificación off-resonance y análisis χ -cuadrado / pre-registro; si tras estos controles no aparece la firma, la hipótesis se **refuta** en la región escaneada de (m_σ, g_i) . $\times 20$;

* **Rastreo lógico.** Derivé las firmas directamente del Lagrangiano y de la dinámica cercana a la bifurcación de Hopf; fijé la frecuencia objetivo con m_σ (escalas guía MHz–GHz en dispositivos), y **crucé** criterios de aceptación entre canales para minimizar falsos positivos. $\times 20$;

> **Dónde descartar pronto.** Si las búsquedas de Yukawa sub-mm desplazan los límites por encima de la banda de acoplos necesaria para ver las firmas en cavidades y Σ FET, el espacio de parámetros de σ quedará severamente restringido o excluido en este marco. $\times 20$;

*(Opcional, si se requiere un tercer ejemplo “decaimiento anómalo” como en tu nota: buscar **modulación de tasas de desintegración beta** bajo condiciones controladas; se considera una predicción arriesgada pero **verificable** dentro del plan). *