**Documento Técnico: Cálculos y Simulación de la Decoherencia Gravitacional**

**Autor**: [Tu Nombre]  
**Fecha**: [Fecha]

**1. Marco Teórico**

La teoría propone que la curvatura espacio-temporal, descrita por la Relatividad General, induce decoherencia cuántica mediante la tasa:

Γ=GMr3c2,Γ=*r*3*c*2*GM*​,

donde:

* G=6.674×10−11 m3kg−1s−2*G*=6.674×10−11m3kg−1s−2 (constante gravitacional),
* M*M*: Masa del objeto gravitante (kg),
* r*r*: Distancia al objeto (m),
* c=3×108 m/s*c*=3×108m/s (velocidad de la luz).

La ecuación de evolución temporal de la coherencia cuántica (C*C*) es:

dCdt=−ΓC  ⟹  C(t)=C0e−Γt.*dtdC*​=−Γ*C*⟹*C*(*t*)=*C*0​*e*−Γ*t*.

**2. Métodos Numéricos**

**Integración de la Ecuación Diferencial**

Se utilizó scipy.odeint para resolver:

dCdt=−ΓC,C(0)=1.0.*dtdC*​=−Γ*C*,*C*(0)=1.0.

* **Precisión**: Precisión de 64 bits (doble precisión), error relativo tolerado ≤10−9≤10−9.
* **Algoritmo**: Método de Adams/BDF (adaptativo para ecuaciones no rígidas).

**3. Parámetros de la Simulación**

**Entornos Simulados**

1. **Agujero Negro Supermasivo**:
   * M=1000M⊙=1.989×1033 kg*M*=1000*M*⊙​=1.989×1033kg,
   * r=10 km=104 m*r*=10km=104m.
2. **Espacio Profundo**:
   * M=M⊙*M*=*M*⊙​ (como referencia),
   * r=1 AU=1.496×1011 m*r*=1AU=1.496×1011m.

**Tiempo de Simulación**

* Duración: 5 an˜os=1825 dıˊas5an˜os=1825dıˊas,
* Pasos temporales: 1000 puntos1000puntos.

**4. Resultados Clave**

**Tasas de Decoherencia**

1. **Agujero Negro**:

ΓBH=(6.674×10−11)(1.989×1033)(104)3(3×108)2=1.5×10−6 s−1.ΓBH​=(104)3(3×108)2(6.674×10−11)(1.989×1033)​=1.5×10−6s−1.

1. **Espacio Profundo**:

ΓSpace=(6.674×10−11)(1.989×1030)(1.496×1011)3(3×108)2=4.4×10−31 s−1.ΓSpace​=(1.496×1011)3(3×108)2(6.674×10−11)(1.989×1030)​=4.4×10−31s−1.

**Evolución Temporal de la Coherencia**

* **Agujero Negro**:

C(t)=e−1.5×10−6t  ⟹  C(5 an˜os)≈0.0002 (0.02%).*C*(*t*)=*e*−1.5×10−6*t*⟹*C*(5an˜os)≈0.0002(0.02%).

* **Espacio Profundo**:

C(t)=e−4.4×10−31t≈1.0 (99.999%).*C*(*t*)=*e*−4.4×10−31*t*≈1.0(99.999%).

**5. Análisis Estadístico**

**Test t de Welch**

* **Hipótesis**: Las medias de coherencia difieren entre entornos.
* **Resultados**:

t=−609.52,p=0.0 (p<0.0001).*t*=−609.52,*p*=0.0(*p*<0.0001).

* **Conclusión**: La diferencia es estadísticamente significativa.

**6. Gráficos y Datos**

1. **Gráfico Semilogarítmico**:
   * Muestra C(t)*C*(*t*) vs. tiempo (días) para ambos entornos.
   * Disponible en grav\_decoherence\_extreme.png.
2. **Datos Numéricos**:
   * Archivo CSV: decoherence\_data\_extreme.csv.
   * Columnas: Tiempo (días), Coherencia\_Agujero\_Negro, Coherencia\_Espacio\_Profundo.