

ضمیمه B - نیروی گرانشی فوتون در MAT-Gravity

ضمیمه B

نیروی گرانشی وارد بر فوتون در میدان MAT-Gravity

مقدمه

در نظریه MAT-Gravity، نور تنها یک مسیر ژئودزیک هندسی را طی نمی‌کند، بلکه با میدان مادی بنیادی Φ کوپل می‌شود. فوتون جرم سکون ندارد، اما انرژی دارد و بنابراین جرم اینرشیایی مؤثر آن از رابطه انرژی جرم به دست می‌آید. این ضمیمه استخراج کامل و رسمی نیروی گرانشی فوتون را ارائه می‌کند.

B.1 جرم اینرشیایی فوتون

از رابطه انرژی جرم:

$$E = hf = m_{\text{eff}}c^2$$

نتیجه می‌شود:

$$m_{\text{eff}} = \frac{hf}{c^2}$$

این جرم تنها تعیین‌کننده پاسخ دینامیکی فوتون به نیرو است.

B.2 شتاب گرانشی نور در MAT-Gravity

در این نظریه میدان بنیادی برابر است با:

$$\Phi = \frac{4GM}{rc^2}$$

بنابراین شتاب نور:

$$g_l = -\nabla\Phi = -\frac{4GM}{c^2 r^2}$$

این شتاب چهار برابر شتاب گرانشی ماده در تقریب نیوتنی است.

B.3 قانون دینامیکی فوتون

با جرم مؤثر و شتاب نور، نیروی وارد بر فوتون:

$$F = m_{\text{eff}} g_l$$

جایگذاری:

$$F = \left(\frac{hf}{c^2}\right) \left(-\frac{4GM}{c^2 r^2}\right)$$

نتیجه نهایی:

$$F = -\frac{4hfGM}{c^4 r^2}$$

این نیروی واقعی و دینامیکی وارد بر فوتون در میدان گرانشی است.

B.4 تفسیر فیزیکی

1. نور نیروی گرانشی واقعی احساس می‌کند و انحراف آن کاملاً دینامیکی است.
2. مقدار نیرو متناسب با فرکانس فوتون است؛ فوتون‌های پرانرژی بیشتر منحرف می‌شوند.
3. پاسخ نور چهار برابر ماده است.
4. این نیرو منشأ انحراف زاویه‌ای $\Delta\theta = \frac{4GM}{bc^2}$ است.
5. اگرچه $F \propto f$ است، زاویه انحراف کل عمده‌تاً مستقل از فرکانس می‌ماند، زیرا تکانه فوتون نیز با f مقیاس می‌شود ($p = hf/c$). بنابراین نسبت نیروی مؤثر به تکانه باعث می‌شود "تجزیه گرانشی" قابل رصد (chromatic lensing) در مرتبه اول ظاهر نشود. در MAT-Gravity تنها در حضور ناهمگنی‌های ریز میدان یا برهم‌کنش‌های بین‌مودی می‌توان انتظار اصلاحات مرتبه دوم وابسته به فرکانس را داشت که بسیار کوچک‌اند و با حساسیت‌های فعلی نجومی آشکار نشده‌اند.

B.5 نتیجه

نور به اندازه گرادیان میدان مادی Φ نیرو دریافت می‌کند و نیروی گرانشی وارد بر فوتون چنین است:

$$F = -\frac{4hfGM}{c^4r^2}$$

این فرمول پایه دینامیکی انحراف نور در MAT-Gravity است.