



Fenomenologia della località relativa trasversa in gravità quantistica con telescopi multisatellitari

Incontri di Fisica delle Alte Energie 2023 – Catania

Giuseppe Fabiano – Università di Napoli Federico II

Motivazioni

- Problema della gravità quantistica : sfide concettuali ed osservative
- Approccio fenomenologico : predizioni di nuova fisica ad energie al di sotto della scala di nuova fisica, tramite l'analisi di modelli effettivi
- L'universo come laboratorio per testare l'invarianza di Lorentz : vincoli su modelli tramite osservazioni di messaggeri altamente energetici da sorgenti cosmologiche

Località relativa

- Regime semiclassico di gravità quantistica

$$\hbar \rightarrow 0, \quad G_N \rightarrow 0, \quad \sqrt{\frac{\hbar}{G_N}} \rightarrow M_p$$

- M_p è la seconda scala invariante della teoria (deformazione dell'invarianza di Lorentz)
- L'invarianza di c implica la relatività della simultaneità, quella di M_p la relatività della località → Effetti di nuova fisica dalle trasformazioni relativistiche

The principle of relative locality

Giovanni Amelino-Camelia, Laurent Freidel, Jerzy Kowalski-Glikman, Lee Smolin
Phys.Rev.D 84 (2011), 084010

Località relativa trasversa

- Effetti nelle direzioni trasverse al moto di propagazione delle particelle
- Relazione di dispersione usuale :

$$m^2 = E^2 - \vec{p}^2$$

- Simmetrie relativistiche deformate :

$$T_\mu = (E, \vec{p}) \quad R_i = \epsilon_{ijk} x_j p_k - \rho E \sum_k (x_k p_i - x_i p_k)$$
$$B_i = x_i E - t p_i + \rho \sum_k \epsilon_{khs} p_s p_i x_h \quad \rho \sim \frac{1}{M_p}$$

Situazione fenomenologica

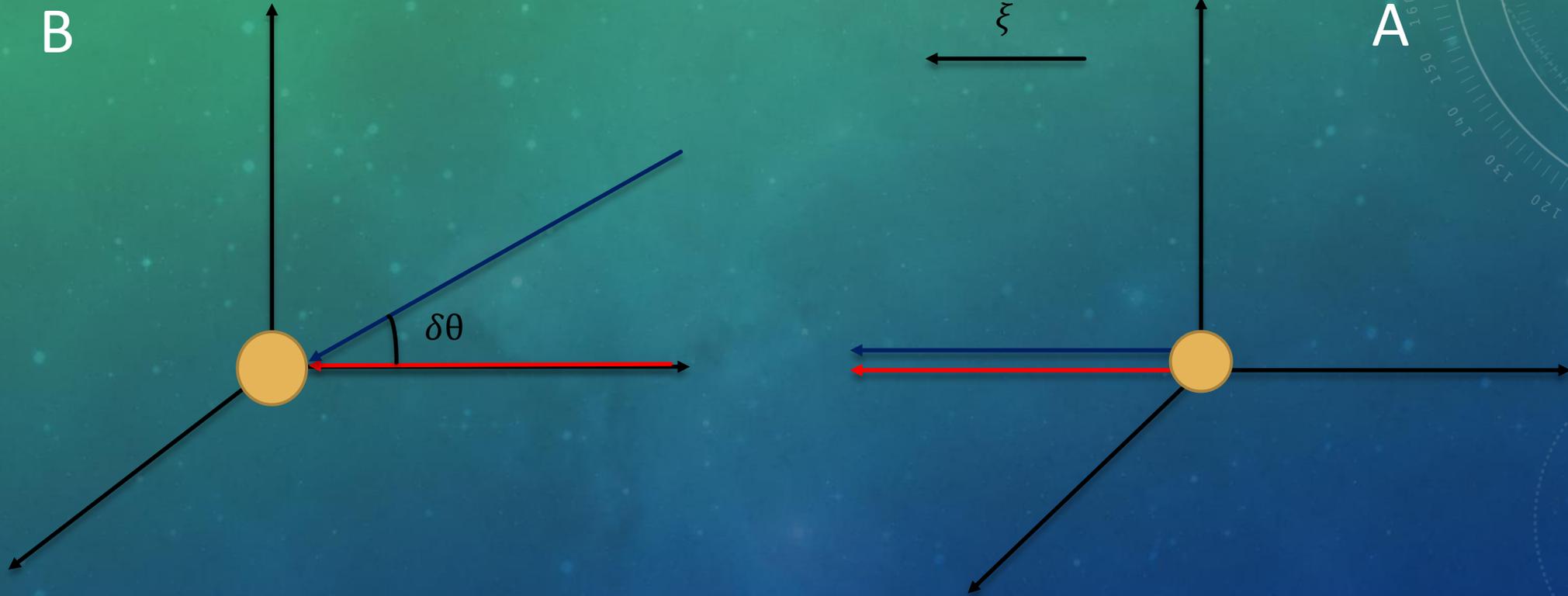
- Consideriamo una sorgente astrofisica da cui vengono emessi due fotoni, uno di alta energia ed uno di bassa energia, simultaneamente e nella stessa direzione (nel sistema di riferimento della sorgente)
- Utilizziamo le trasformazioni relativistiche deformate per dedurre la descrizione dei due fotoni nel sistema di riferimento dell'osservatore, traslato e di moto relativo rispetto a quello della sorgente
- Per il fotone di alta energia (E_h) consideriamo correzioni di località relativa al primo ordine nel parametro di deformazione ρ
- Per il fotone di bassa energia (E_s) trascuriamo le correzioni di località relativa poiché $\rho E_s \ll 1$

Trasformazione relativistica del momento

- Supponiamo che i due fotoni vengano emessi lungo la direzione 1 (nel riferimento della sorgente), e che il moto relativo tra sorgente e osservatore avvenga lungo la stessa direzione
- Nel sistema di riferimento del rilevatore, i fotoni arrivano simultaneamente, ma da direzioni diverse
- Il momento del fotone di alta energia si trasforma come:

$$E'_h = e^\xi E_h \quad p'_{1h} = e^\xi E_h \quad p'_{2h} = \frac{\rho}{2}(1 - e^{2\xi})E_h^2 \quad p'_{3h} = -\frac{\rho}{2}(1 - e^{2\xi})E_h^2$$

Dual Lensing



$$\delta\theta \sim \rho E_h \sinh(\xi)$$

Telescopi multisatellitari

- Missione spaziale Grail Quest (Gamma Ray Astronomy International Laboratory for Quantum Exploration of Space-Time)
- Centinaia (o migliaia) di rilevatori in bassa orbita attorno alla Terra: risoluzione temporale ~ 100 ns, superficie effettiva di rilevazione ~ 100 m², copertura energetica 1 keV-10 MeV
- Le lunghe distanze tra i rilevatori fungono da amplificatori per la risoluzione angolare di sorgenti astrofisiche

HERMES-SP and HERMES-TP Collaborations- F. Fiore(INAF, Rome) et al., «The HERMES-Technologic and Scientific Pathfinder», Proceedings Volume 11444, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Ultraviolet to Gamma Ray; 114441R (2020)

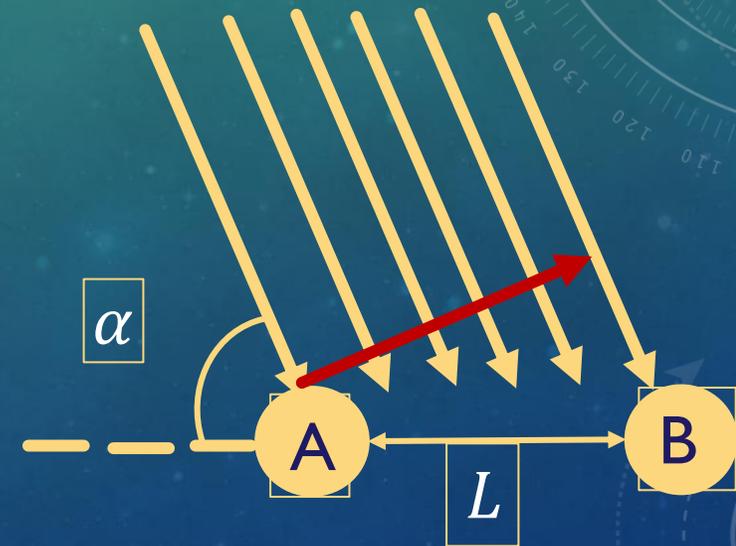
HERMES-SP Collaboration- L. Burderia(Cagliari U.) et al., «GrailQuest & HERMES: Hunting for Gravitational Wave Electromagnetic Counterparts and Probing Space-Time Quantum Foam», Proceedings Volume 11444, Space Telescopes and Instrumentation 2020: Ultraviolet to Gamma Ray

Triangolazione in relatività speciale

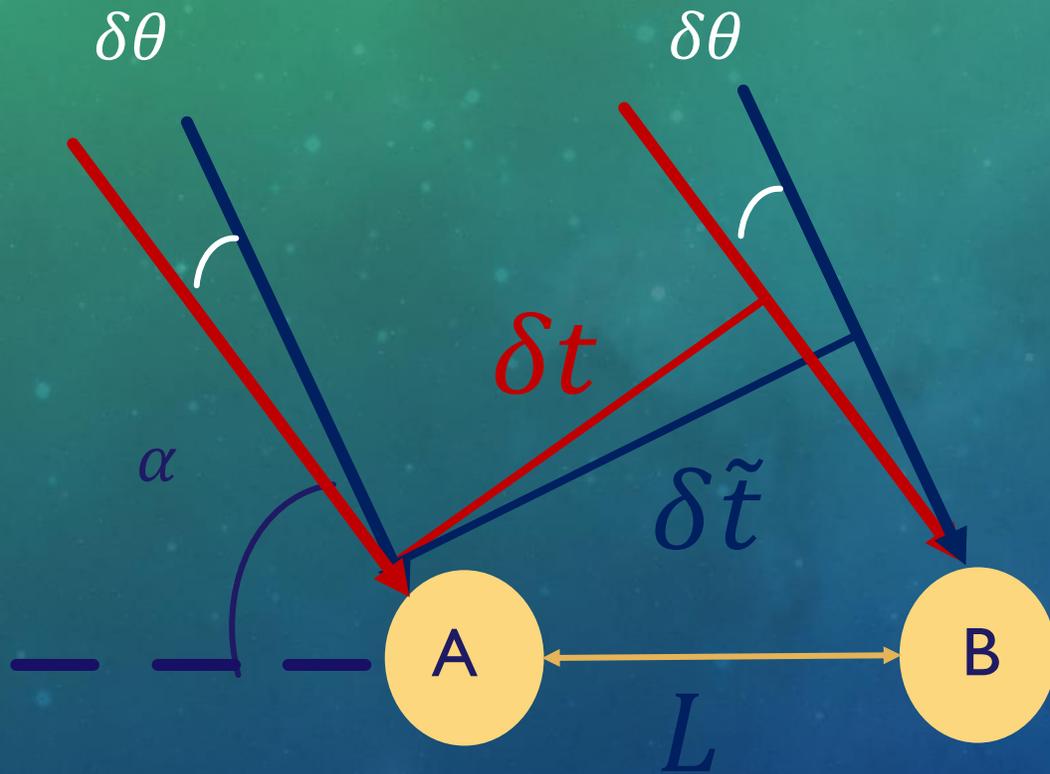
- Inferenza sulla direzione della sorgente tramite l'analisi del ritardo tra fotoni appartenenti allo stesso fronte d'onda

$$\delta t = L \cos(\alpha)$$

- La distanza tra i rilevatori funge da amplificazione per il ritardo temporale, che si traduce in una maggiore risoluzione angolare



Triangolazione con effetti di località relativa



- La distanza tra i rilevatori amplifica il piccolo effetto angolare

$$|\delta t - \delta\tilde{t}| = L \sin(\alpha) \frac{\rho}{2} \sinh(\xi) E_h$$

Conclusioni e prospettive future

- Sebbene le specifiche tecniche dell'esperimento Grail Quest rendano poco probabile l'osservazione del dual lensing, il paradigma osservativo dei telescopi multi-satellitari è il più promettente per l'osservazione di effetti di località relativa trasversi
- Prospettiva futura : analisi dell'effetto che tenga conto della curvatura dello spazio-tempo



Grazie per l'attenzione!