

# RELATIVITA' GENERALE: *NON SOLO TEORIA*

Verifiche sperimentali ai limiti della tecnologia:  
passato e futuro

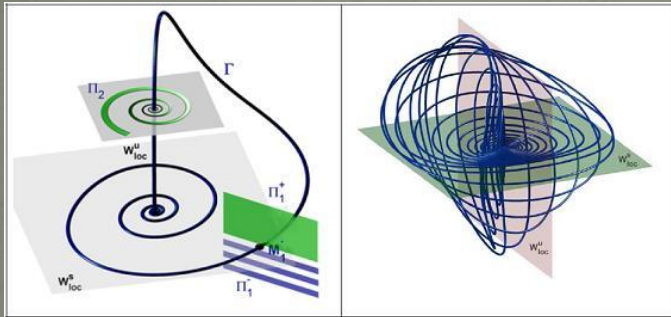
---

*Giandomenico Sassi – Dipartimento di Fisica “G. Occhialini”*

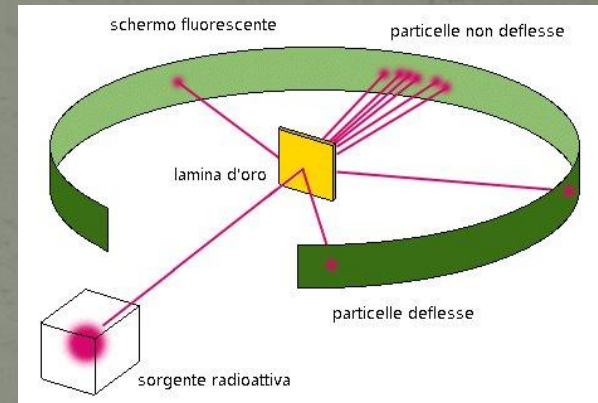
*Università di Milano Bicocca*

# Due tradizionali modi di procedere:

## Teoria



## Esperimento



# *Avanzamento del perielio di Mercurio*

Avanzamento sperimentale :

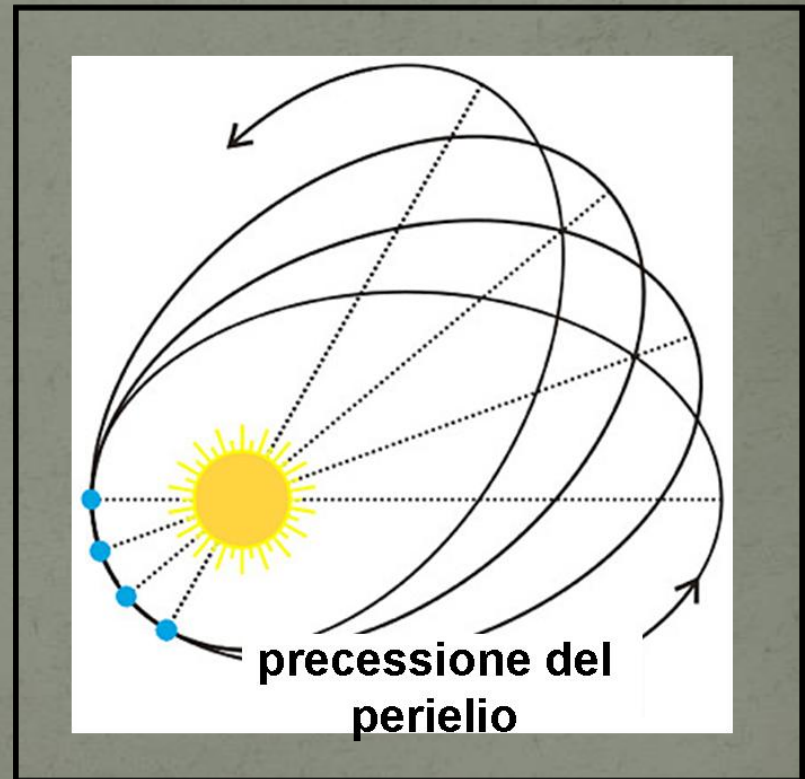
5600 Secondi d'arco/secolo terrestre

Giustificazione Newtoniana :

Effetti gravitazionali dovuti  
agli altri pianeti

Avanzamento residuo :

43 secondi d'arco/secolo terrestre



# *Deflessione della luce*

Deflessione totale

$$4M/R$$

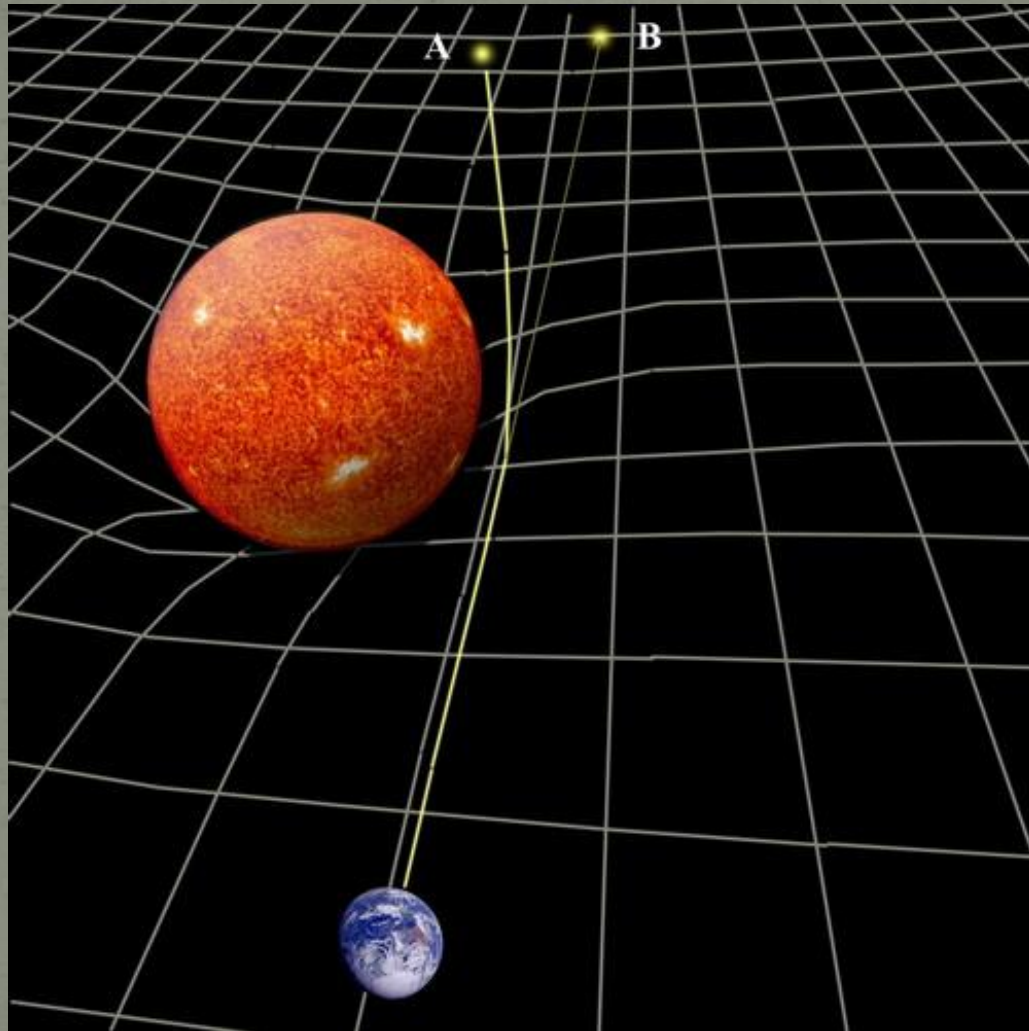
Per massa e raggio solare:

$$1,75''$$

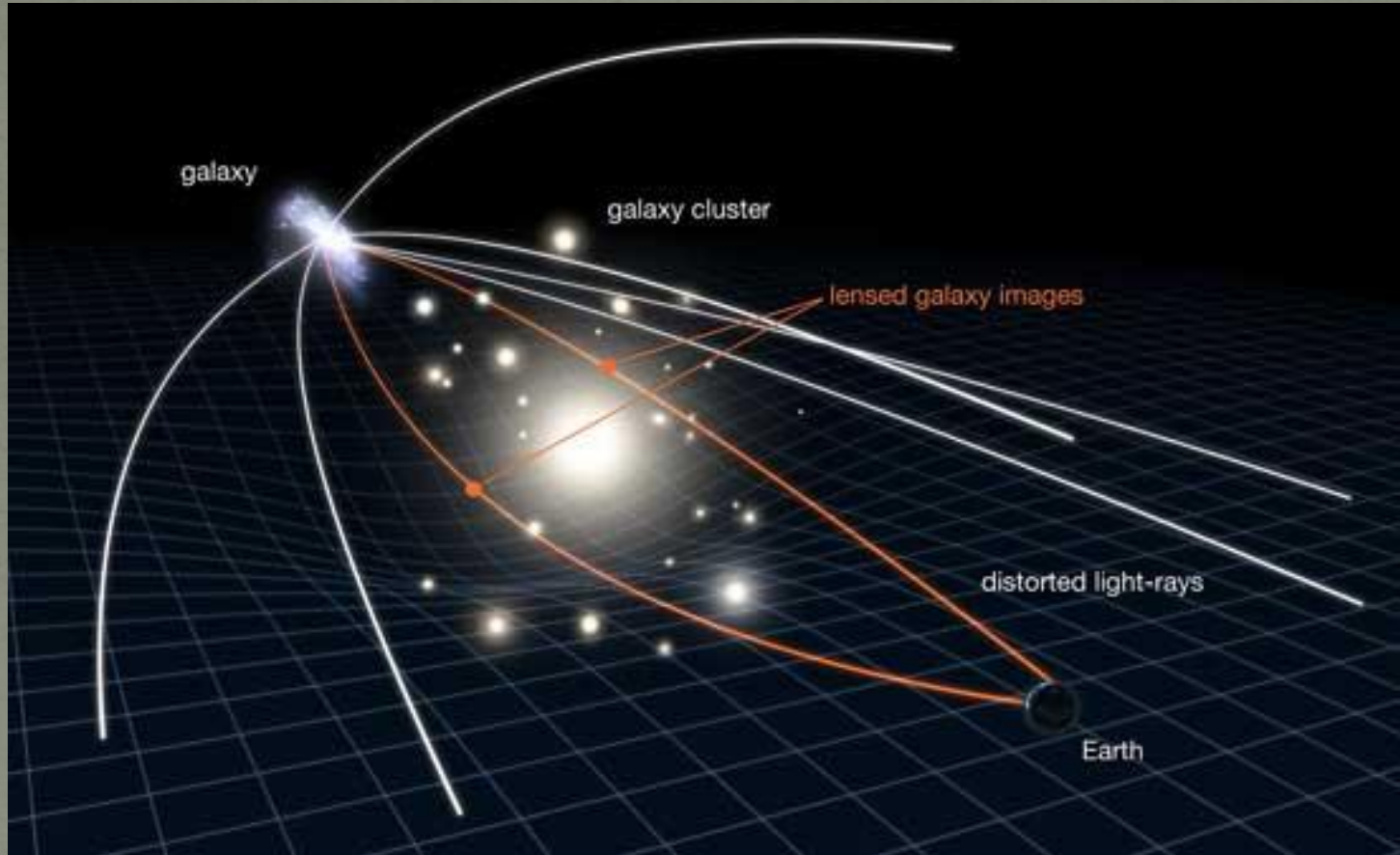
Equivalenza tra massa ed energia:

*Non sufficiente*

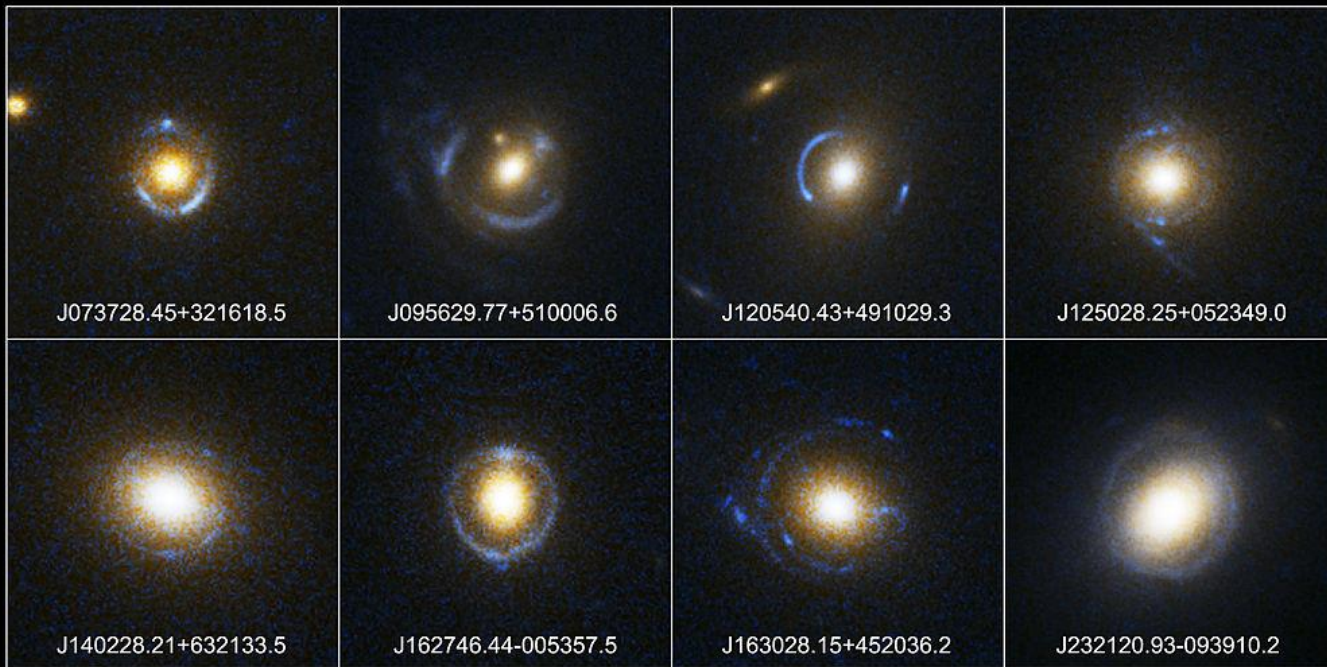
*Orbite fotoniche*



# *Lente gravitazionale*



# *Anelli di Einstein*

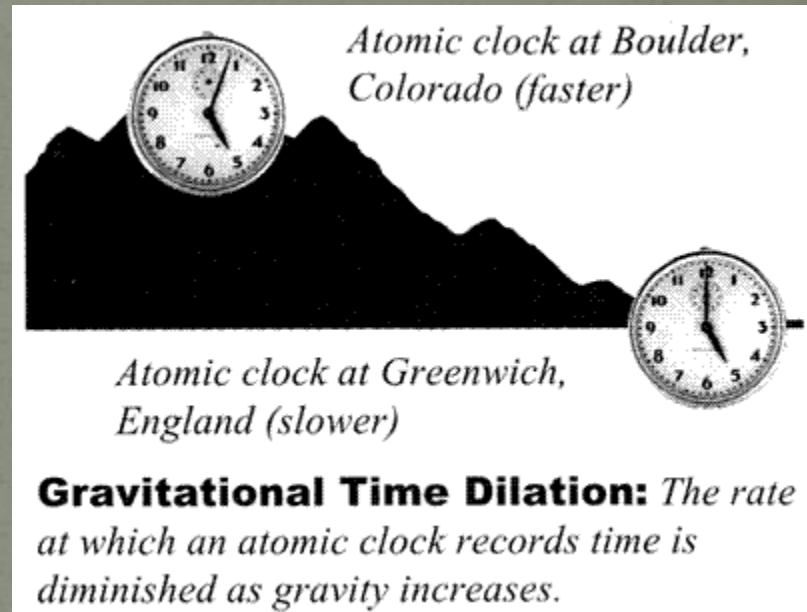


**Einstein Ring Gravitational Lenses**  
*Hubble Space Telescope • Advanced Camera for Surveys*

NASA, ESA, A. Bolton (Harvard-Smithsonian CfA), and the SLACS Team

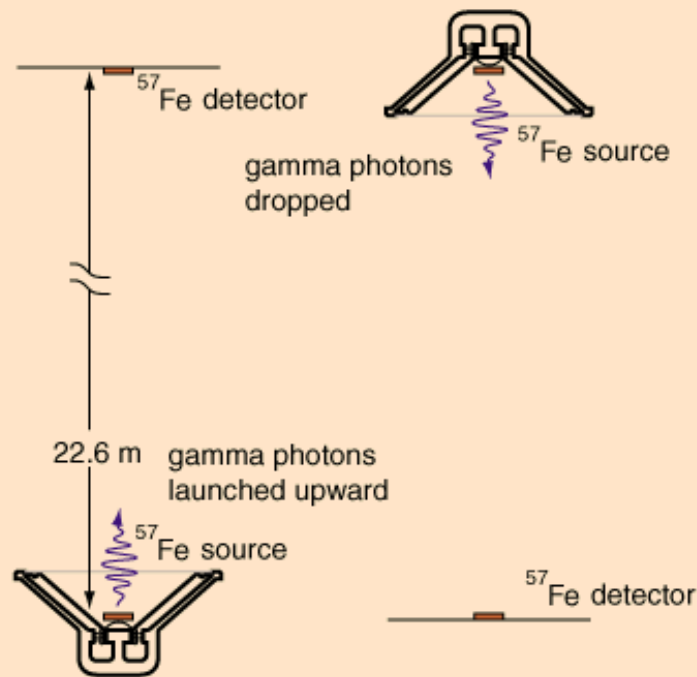
STScI-PRC05-32

# *Dilatazione gravitazionale del tempo*



# *Dilatazione gravitazionale del tempo: verifica sperimentale*

## Harvard Tower Experiment



In just 22.6 meters, the fractional gravitational red shift given by

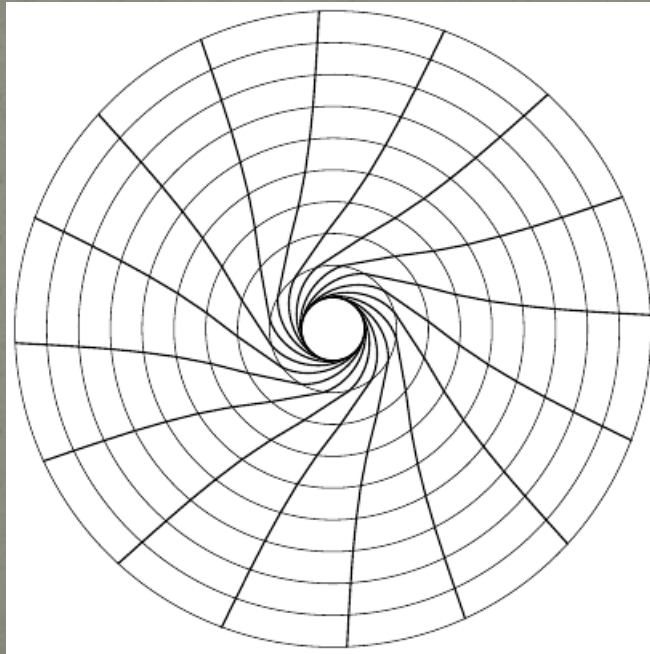
$$\nu = \nu_0 \left[ 1 + \frac{gh}{c^2} \right]$$

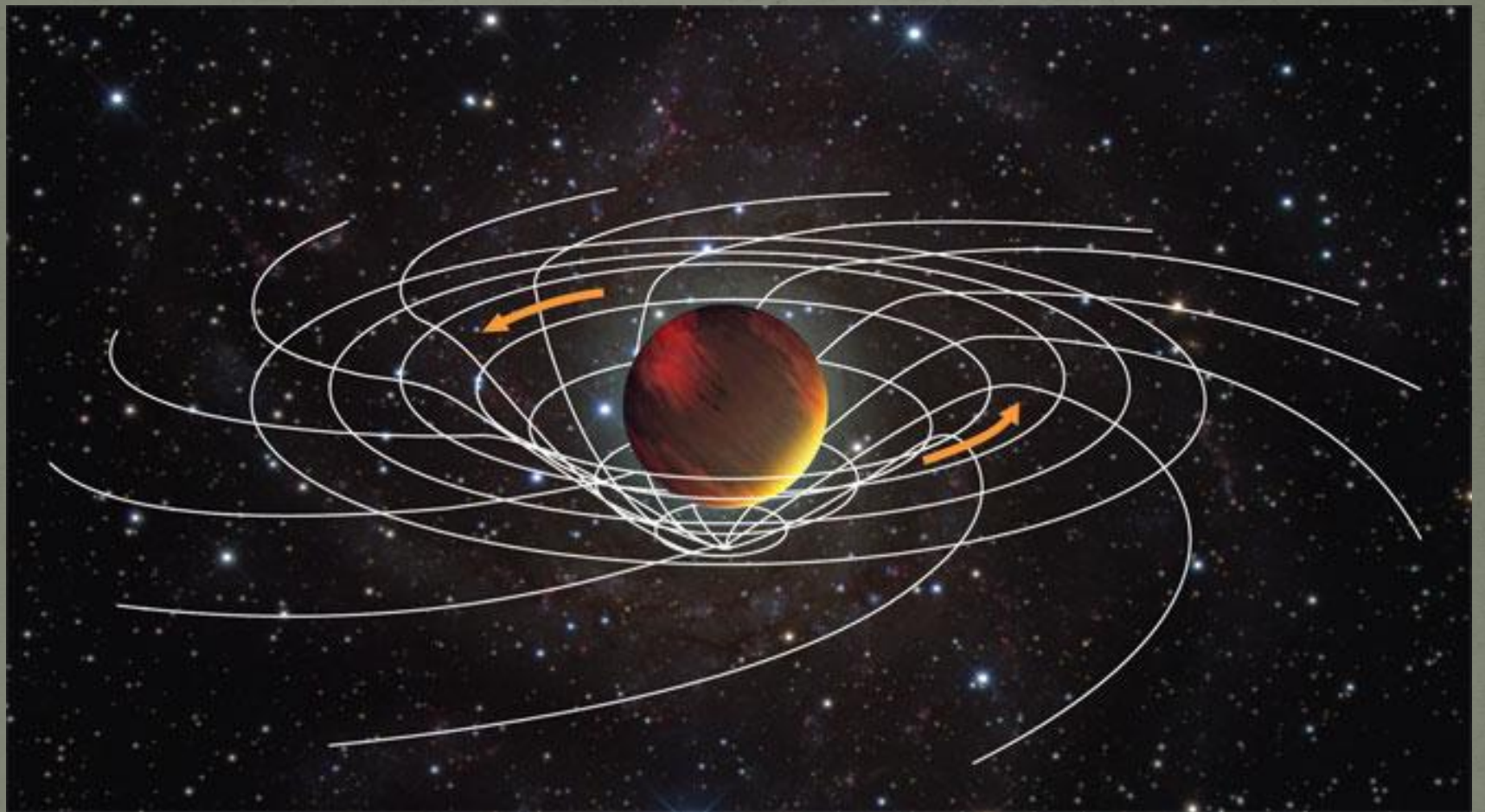
is just  $4.92 \times 10^{-15}$ , but the Mossbauer effect with the 14.4 keV gamma ray from iron-57 has a high enough resolution to detect that difference. In the early 60's physicists Pound, Rebka, and Snyder at the Jefferson Physical Laboratory at Harvard measured the shift to within 1% of the predicted shift.



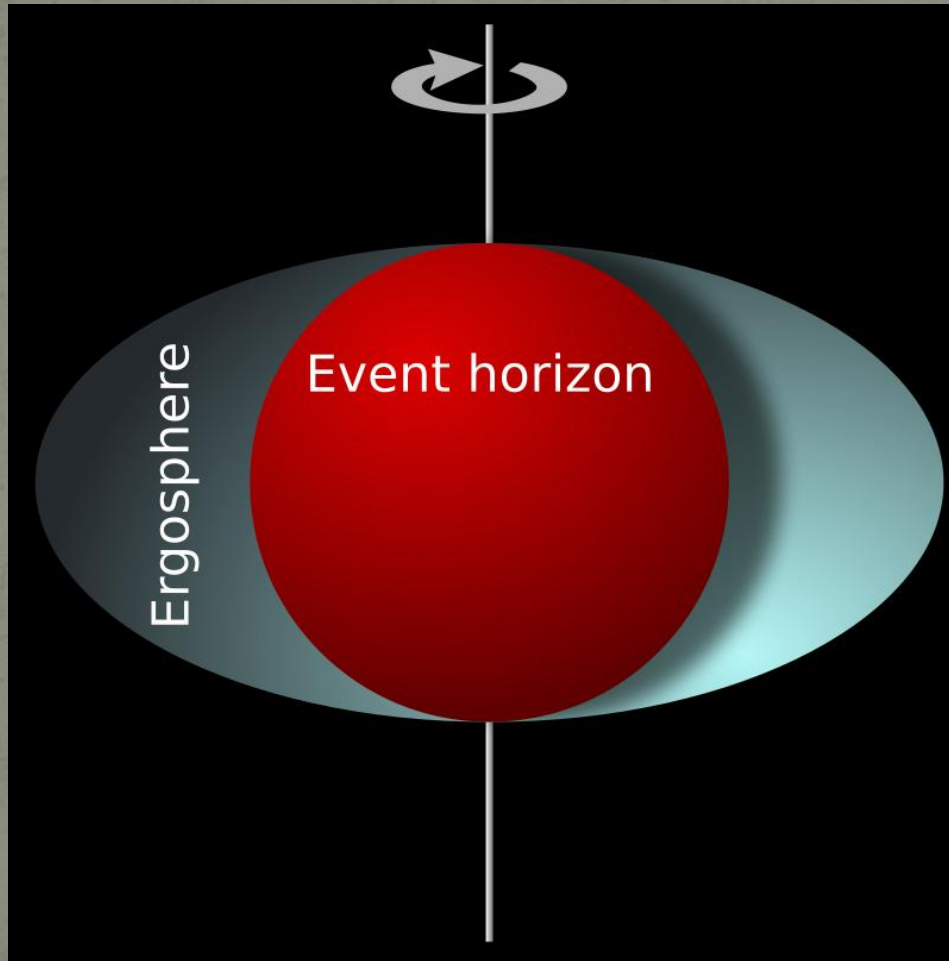
# *Gravitomagnetismo*

- Lavoro di Kerr sulla simmetria assiale (1963)
- Sua riformulazione in coordinate sferiche (1967)
- Negli anni successivi si scopre la natura del frame dragging





# *Ergosfera*



# Gravity Probe B

Guide Star  
IM Pegasi  
(HR 8703)

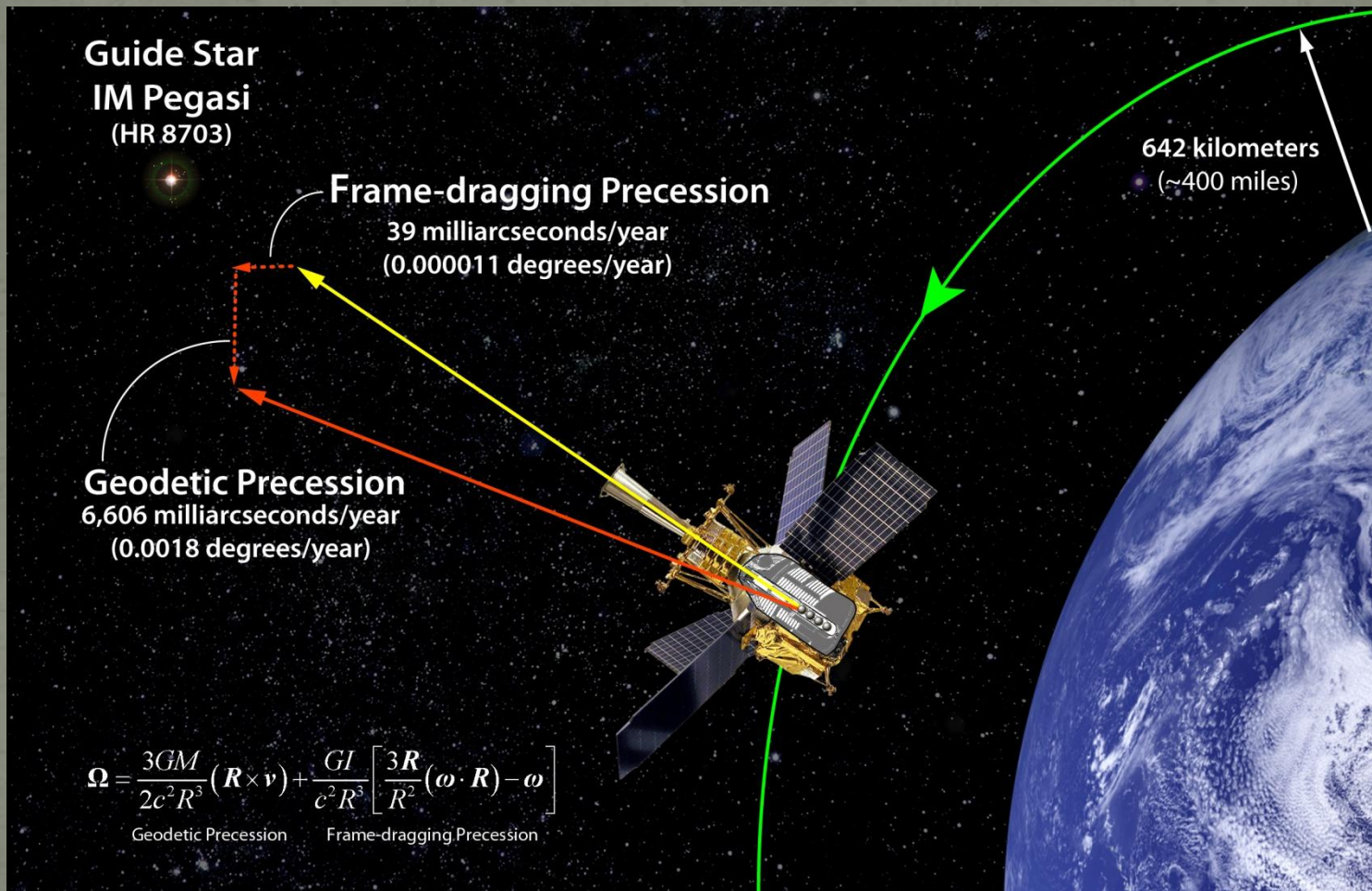
Frame-dragging Precession  
39 milliarcseconds/year  
(0.000011 degrees/year)

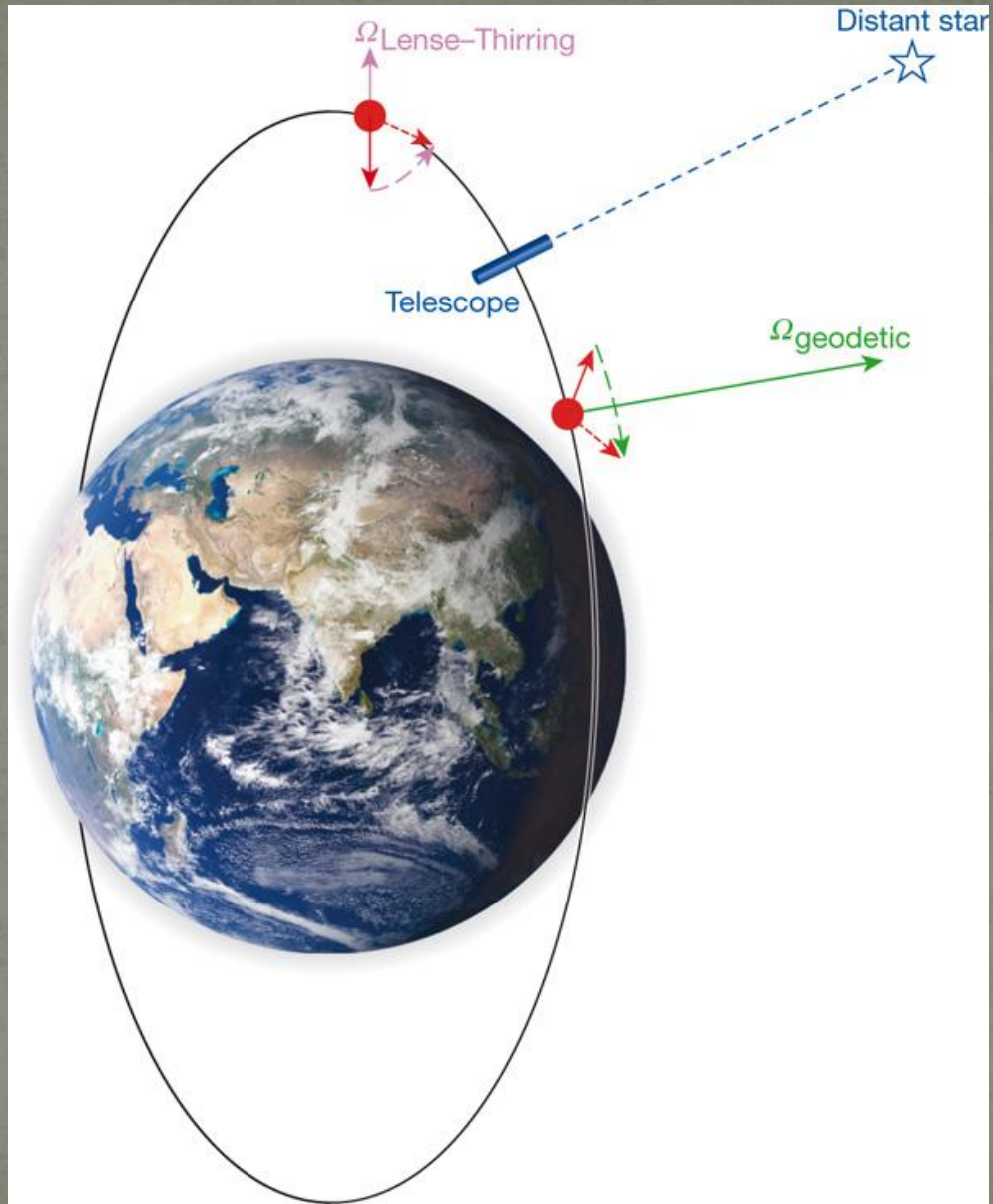
Geodetic Precession  
6,606 milliarcseconds/year  
(0.0018 degrees/year)

642 kilometers  
(~400 miles)

$$\Omega = \frac{3GM}{2c^2 R^3} (\mathbf{R} \times \mathbf{v}) + \frac{GI}{c^2 R^3} \left[ \frac{3\mathbf{R}}{R^2} (\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{R}) - \boldsymbol{\omega} \right]$$

Geodetic Precession      Frame-dragging Precession



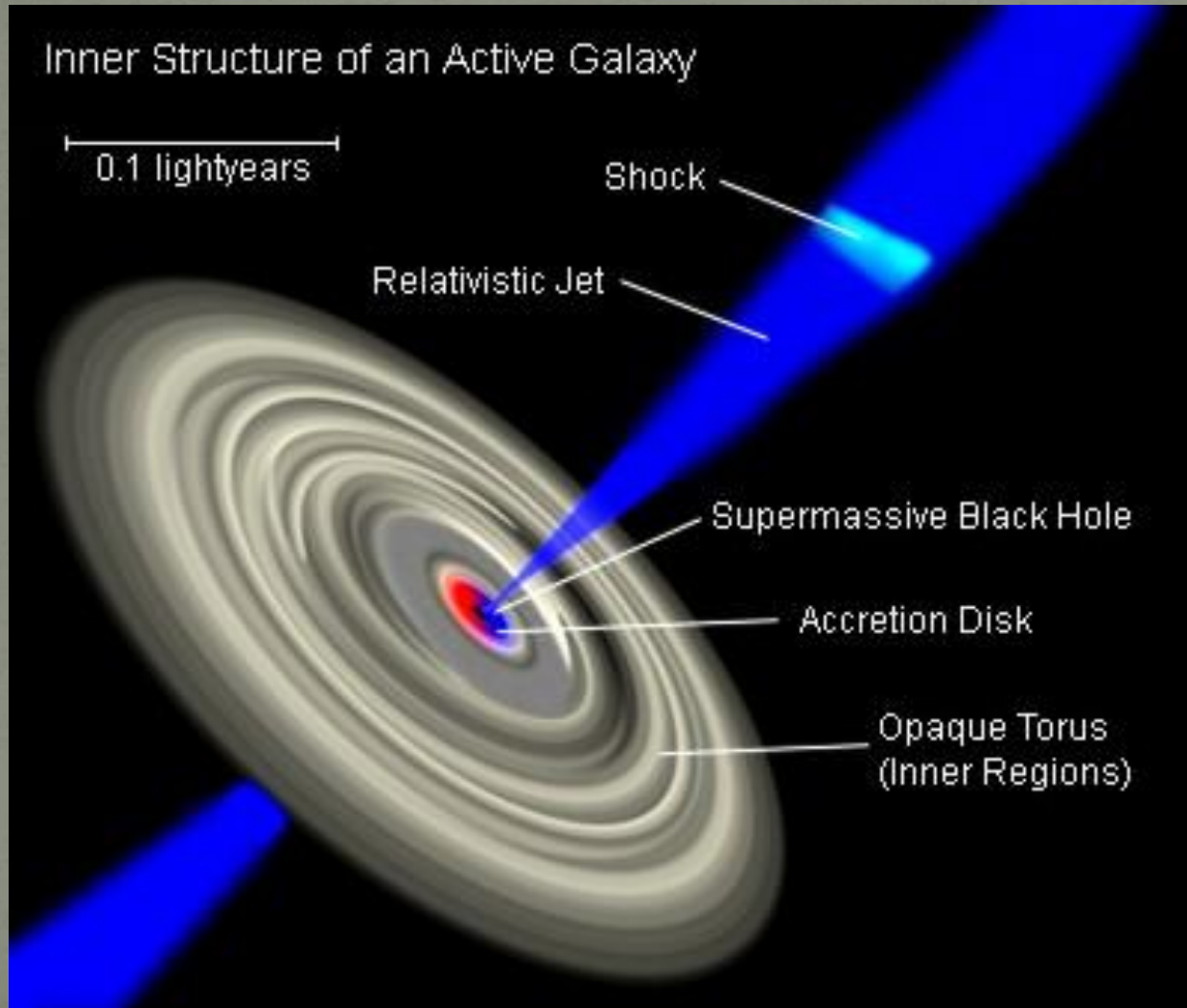


# *Risultati sperimentali del GPB*

Precessione geodetica :  $6601 \pm 18$  (previsione teorica 6606)

- (Dovuta alla torsione sui giroscopi generata dalla curvatura dello spazio-tempo)
- **Frame-dragging :  $37,2 \pm 7$  (previsione teorica 39)**
- **equivalente a una rotazione di  $0,000011$  gradi/anno**
- (Dovuta alla torsione sui giroscopi esercitata da momento angolare della rotazione terrestre)
- **Disturbi casuali del satellite nonostante l'orbita**
- (Compensati dalla sua rotazione di un giro ogni 78 secondi intorno al suo asse)

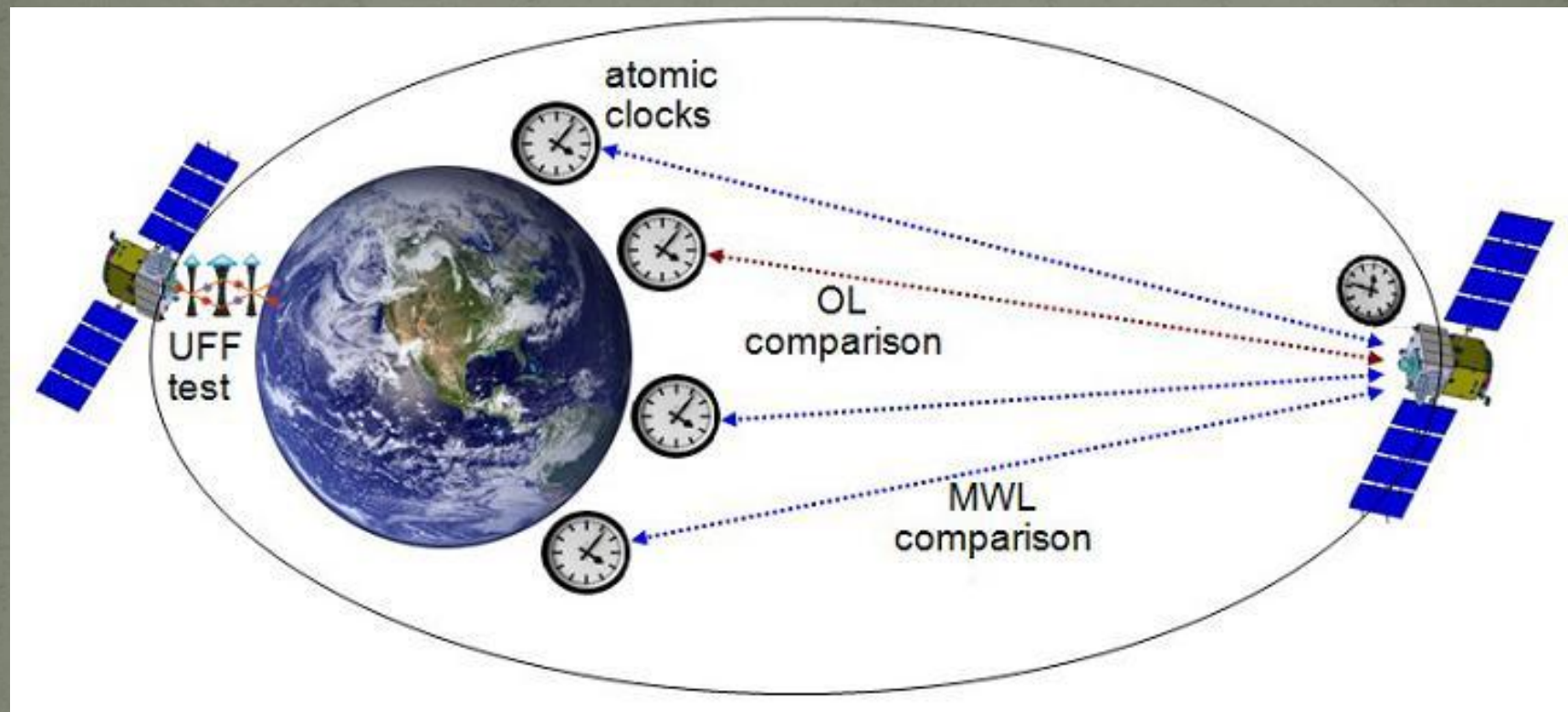
# *Gravitomagnetismo nelle quasars*

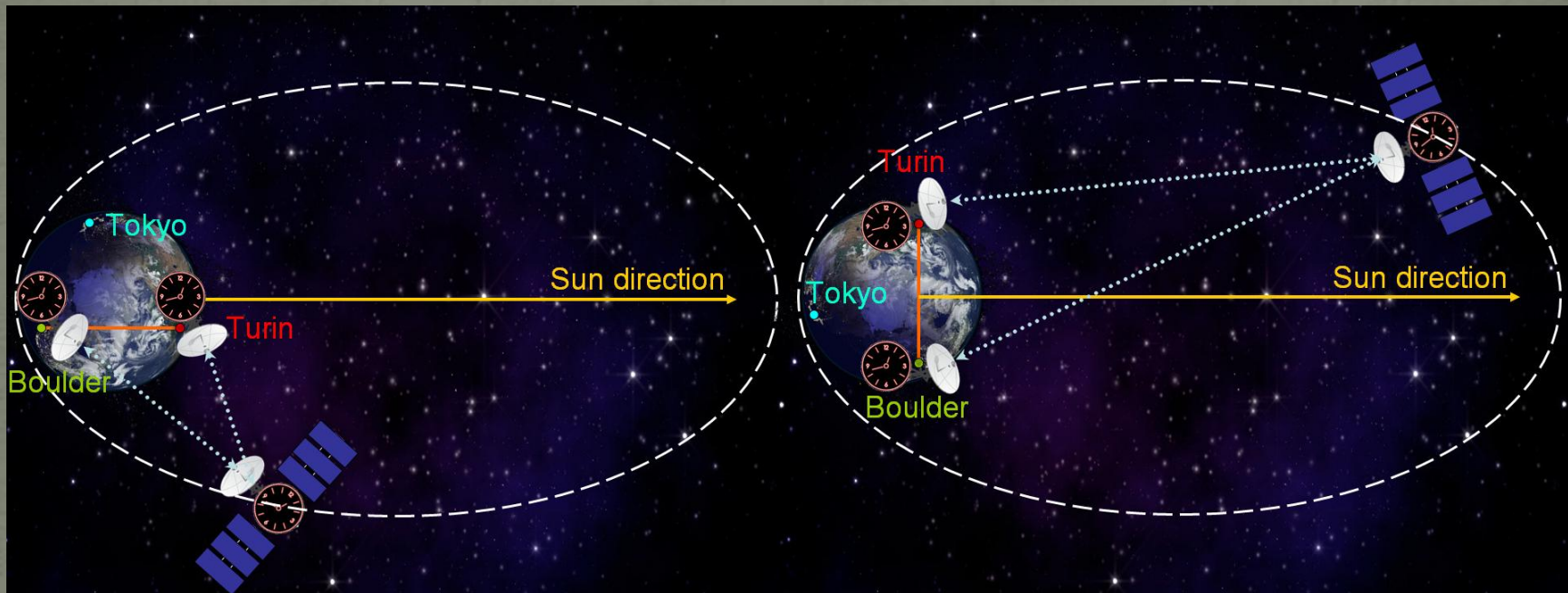


# *STE-QUEST Space Mission*

- Space
  - Time
  - Explorer
  - - and
  - QUantum
  - Equivalence
  - Space
  - Test
- 1) Verifica del Principio di Equivalenza di Einstein nelle sue differenti forme:  
UFF - LLI - LPI
  - 2) Esperimenti che interfacciano la meccanica quantistica con la gravitazione
- Vengono usati:
- Orologi atomici
  - Interferometria di onde materiali
  - Links tempo/frequenza a grande distanza







*Grazie dell'attenzione*