Corso di *Stelle e Galassie* – 2016/2017

Lensing Gravitazionale

Dott.ssa Silvia Perri

Dipartimento di Fisica, Università della Calabria

Generalità

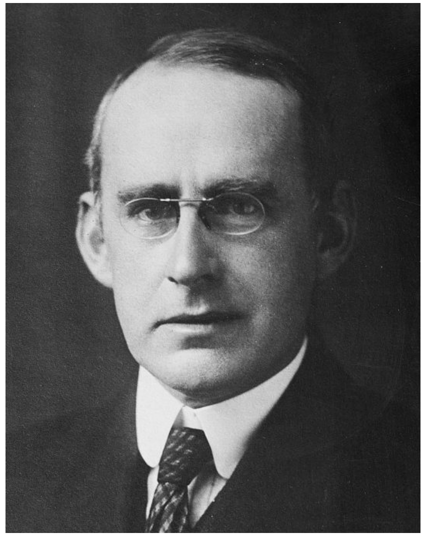
- Si basa sugli effetti che la gravità ha sulla luce;

- Il cammino di un raggio luminoso, secondo la teoria della relatività generale, puo' essere curvato se passa in prossimità di un oggetto massivo;

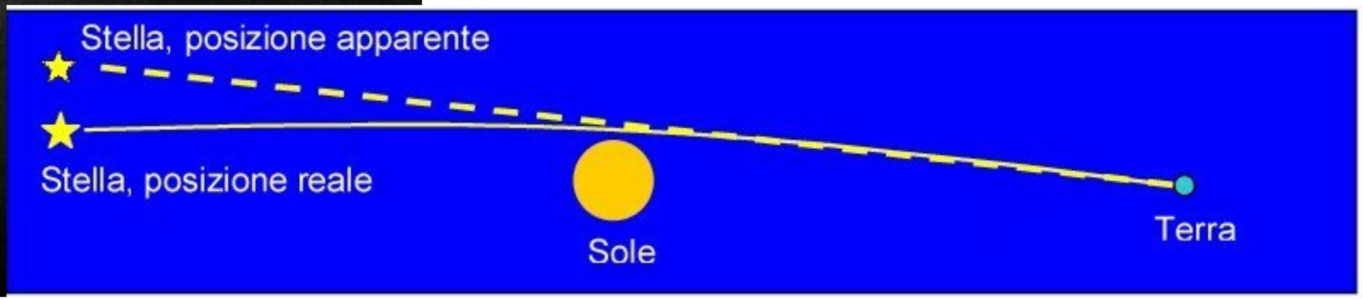
- Tale predizione fu dimostrata per la prima volta da Arthur Eddington misurando la posizione delle stelle durante un'eclissi totale di Sole.

L'esperienza di Eddington (1919)

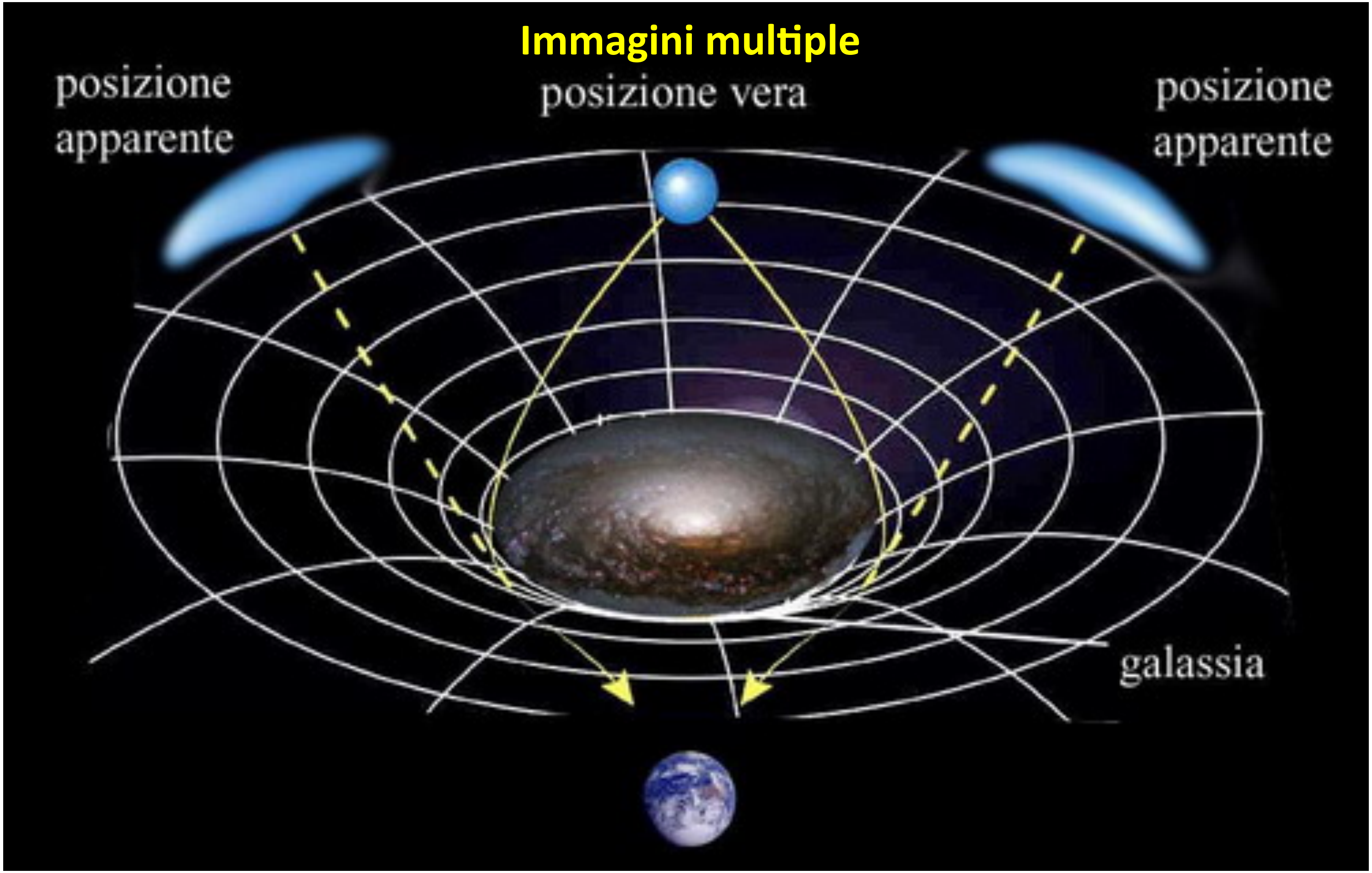
Deviazione di un raggio di luce che passa in prossimità del Sole

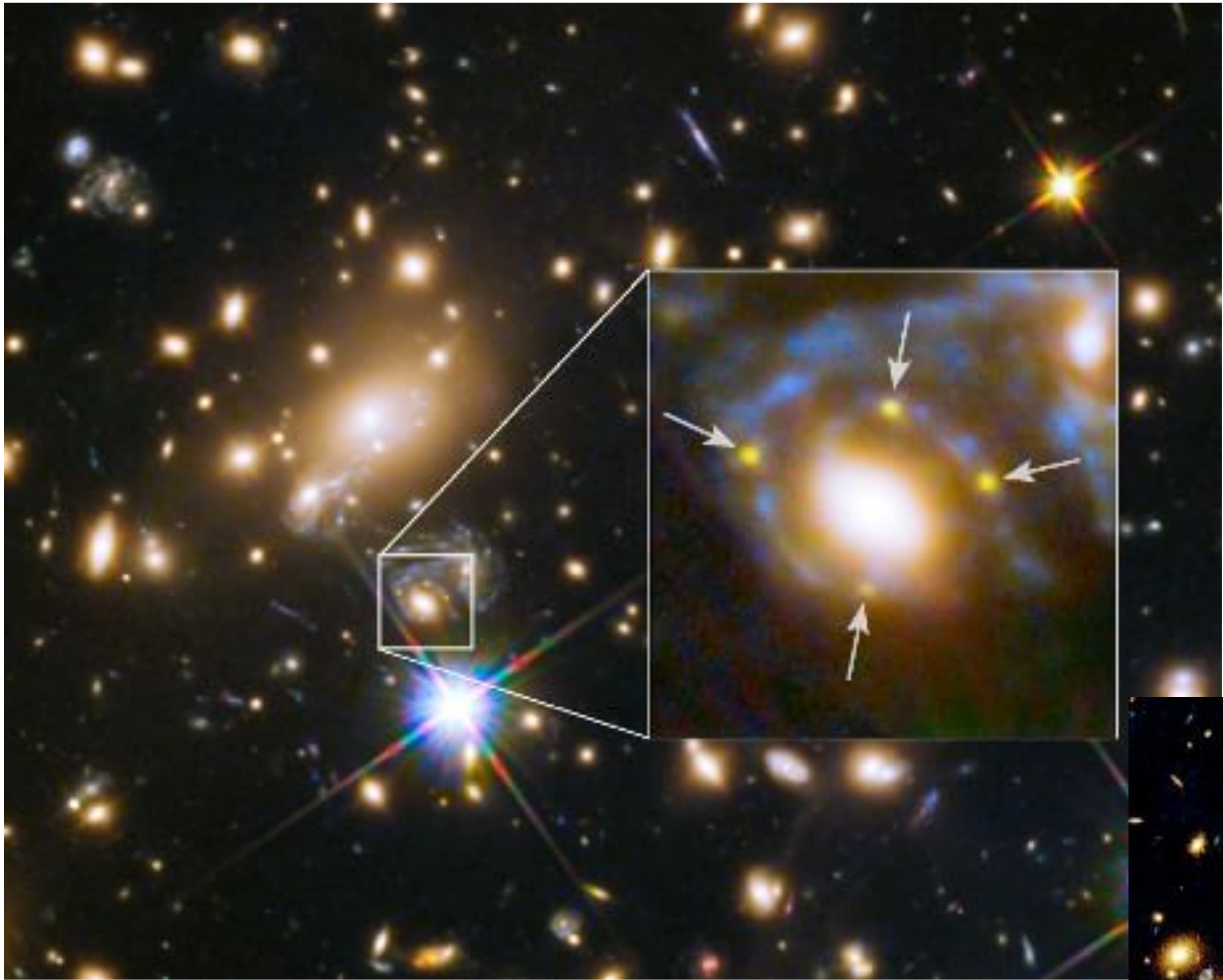


Una delle prime verifiche sperimentali della teoria della Relatività Generale: deflessione della luce delle stelle dovuta alla presenza del Sole



Le Lenti Gravitazionali

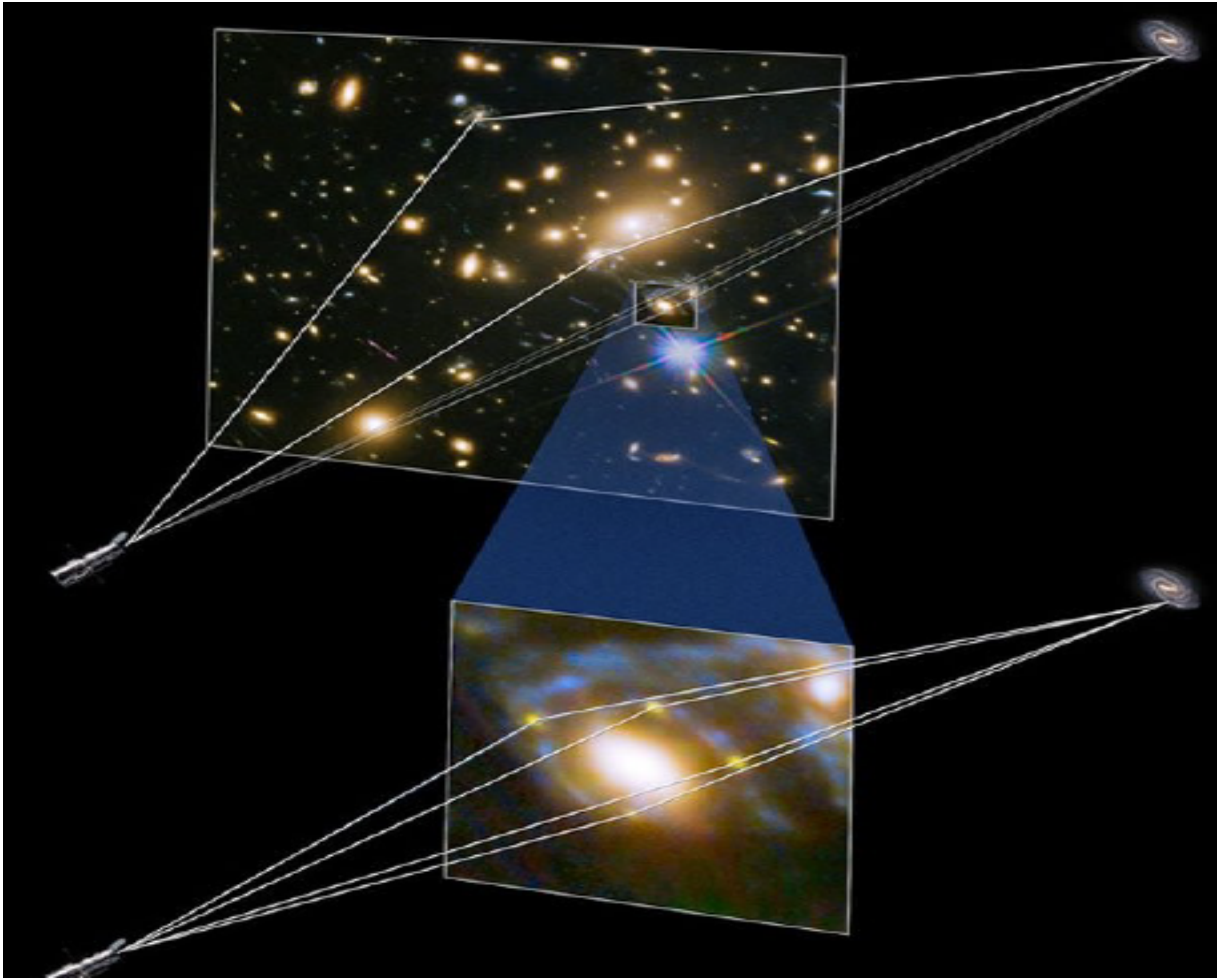




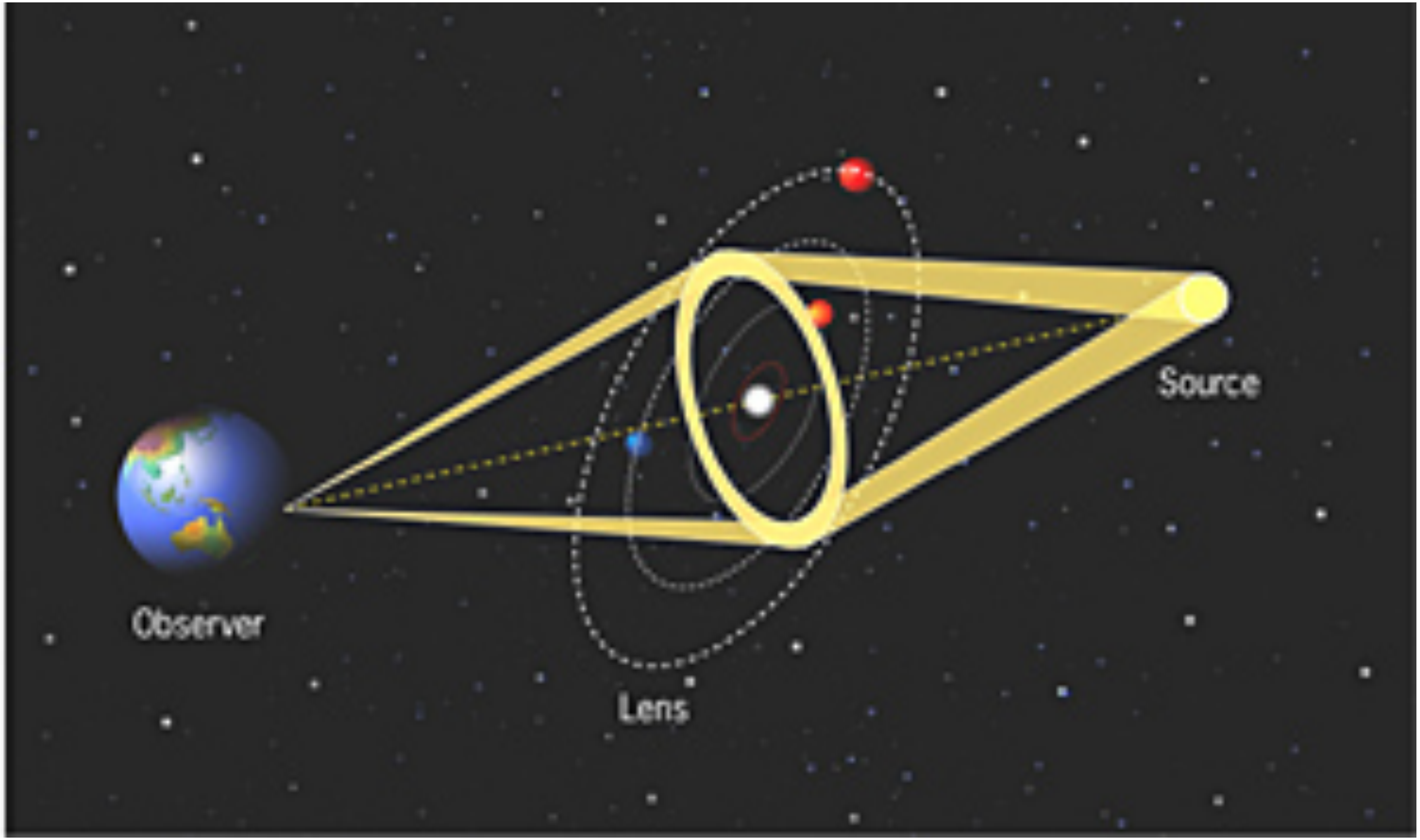
Ammassi di Galassie: potenti lenti gravitazionali!

Immagine multipla di una supernova

Ammasso CL0024+1654: immagini multiple di una galassia lontana che altrimenti sarebbe stata appena visibile. Aumento della luminosità apparente.



Anello di Einstein

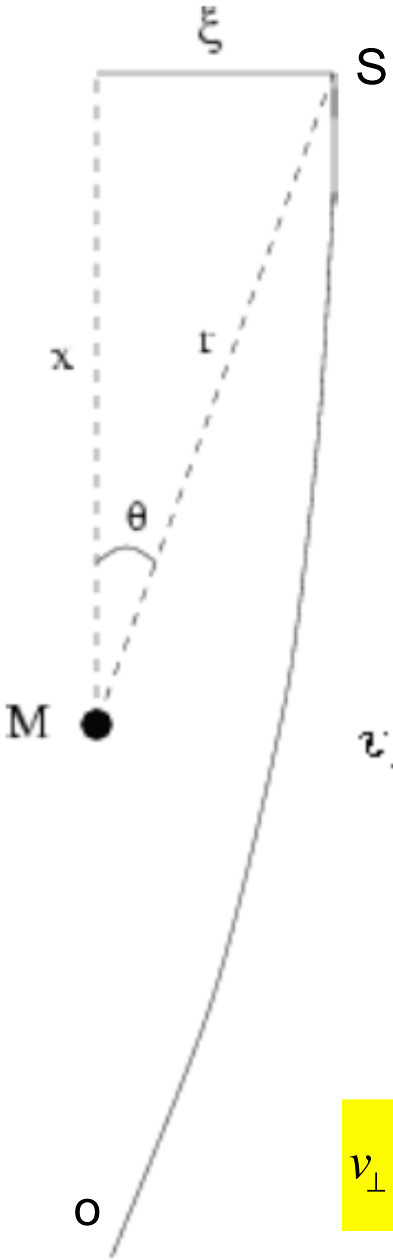


Allineamento quasi perfetto tra sorgente e 'lente'

La deviazione angolare è proporzionale alla massa della lente

In situazioni semplici si puo' stimare la massa dell'ammasso

Derivazione della massa dell'ammasso mediante il lensing gravitazionale



$$\frac{dv_\perp}{dt} = \frac{GM}{r^2}\sin\theta$$

Accelerazione perpendicolare alla direzione di moto del fotone (corpuscolo)

Ponendo dx=cdt

$$dv_\perp = \frac{GM\sin\vartheta}{r^2}\frac{dx}{c} = \frac{GM}{c\left(x^2+\xi^2\right)}\frac{\xi}{\sqrt{x^2+\xi^2}}dx$$

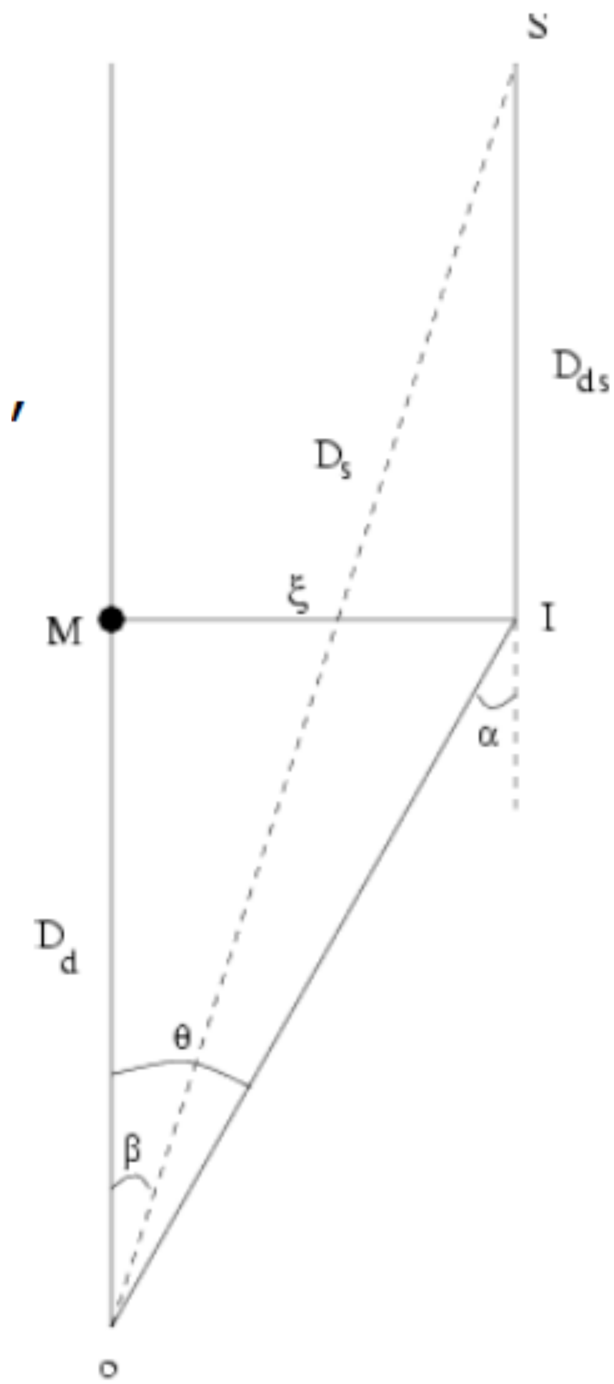
$$v_\perp = \frac{GM}{c}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{x^2+\xi^2}\cdot\frac{\xi}{(x^2+\xi^2)^{1/2}}dx$$

$$= \frac{GM\xi}{c}\int_{-\infty}^{\infty}\left(x^2+\xi^2\right)^{-3/2}dx \quad (11.02)$$

$$v_\perp = \frac{2GM}{c\xi}$$

$$\alpha = \frac{v_\perp}{c} = \frac{2GM}{c^2\xi}$$

Angolo di deflessione newtoniano



Dalla Teoria della Relatività Generale si ottiene

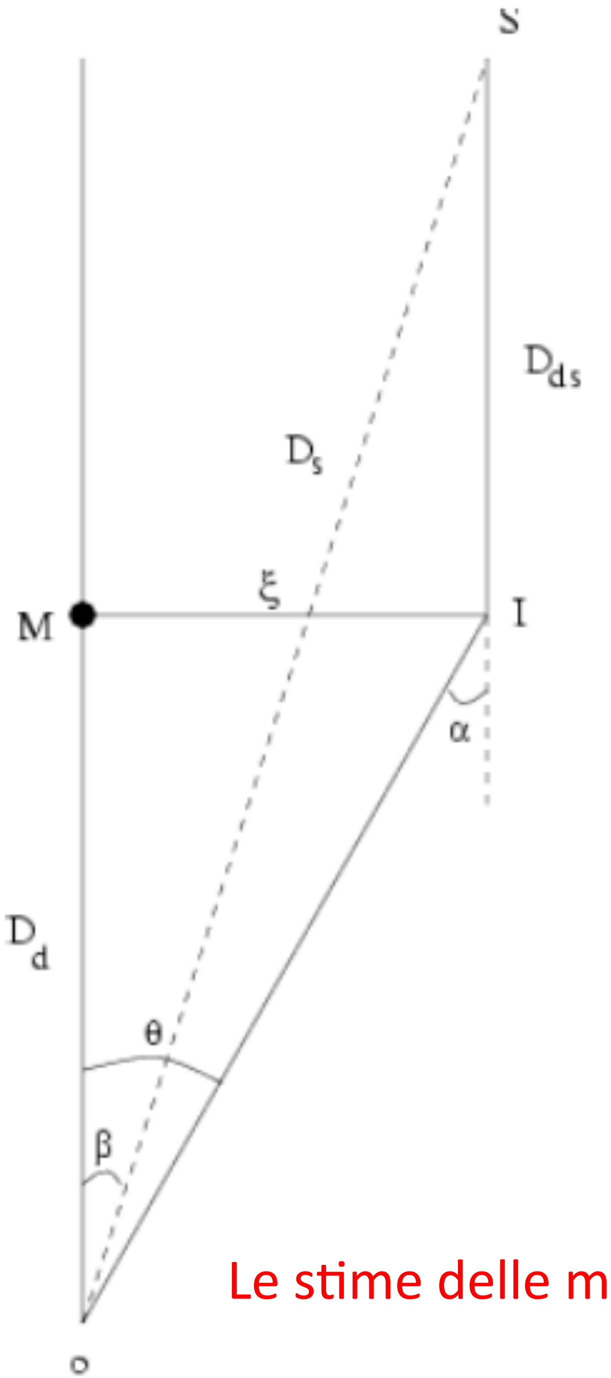
$$\alpha = \frac{4GM}{\xi c^2}$$

$$\begin{array}{lcl} D_d & = & \text{distance from the observer to the lens} \\ D_s & = & \text{distance from the observer to the light source} \\ D_{ds} & = & \text{distance from the lens to the source} \\ \vec{\beta} & = & \text{true angle between the lens and the source} \\ \vec{\theta} & = & \text{observed angle between the lens and the source.} \\ \vec{\xi} & = & \text{distance from the lens to a passing light ray} \\ \vec{\alpha} & = & \text{the Einstein angle of deflection} \end{array}$$

Assumendo angoli piccoli e considerando il triangolo OSI

$$\frac{\sin(180-\alpha)}{D_s} = \frac{\sin(\theta-\beta)}{D_{ds}}$$

$\sin(\theta\text{-}\beta) \sim \theta\text{-}\beta$ and $\sin(180\text{-}\alpha)=\sin\alpha \sim \alpha$



$$\beta = \vartheta - \frac{D_{ds}}{D_s}\alpha = \vartheta - \frac{D_{ds}}{D_s}\frac{4GM}{c^2\xi}$$

Ponendo $\xi / D_d \approx \vartheta$

$$\beta = \theta - \left(\frac{4GM}{c^2}\frac{D_{ds}}{D_d D_s}\right)\cdot\frac{1}{\theta}$$

Nel caso semplificato dell'anello di Einstein $\beta=0$, si ricava il raggio angolare dell'anello dall'equazione di sopra

$$\theta_E = \sqrt{\frac{4GM}{c^2}} \times \sqrt{\frac{D_{ds}}{D_s D_d}}$$

Le stime delle masse degli ammassi di galassie ricavate con il lensing gravitazionale sono 10^{14}-10^{15} M_o