



LE LENTI GRAVITAZIONALI

Luca Ciotti

1. Introduzione storica

Albert Einstein nella sua Teoria della Relatività Generale del 1915 fece una delle deduzioni che più avrebbero acceso l'immaginazione del grande pubblico, e che lo avrebbero reso universalmente noto al grande pubblico, ovvero la predizione che un raggio di luce, al pari di un oggetto dotato di massa, deve subire l'azione del campo gravitazionale, ed eventualmente esserne "incurvato". In particolare, anche un raggio di luce di una stella, che si trovi a passare vicino al nostro Sole, verrà deviato dal campo gravitazionale di quest'ultimo.

Occasione della verifica si ebbe con l'eclisse solare del 29 maggio del 1919: in occasione di un'eclisse totale di Sole infatti, essendo il disco solare occultato dalla Luna, si possono osservare anche oggetti poco luminosi (come le stelle) molto vicini al suo bordo, cosa altrimenti impossibile.

Fu organizzata una spedizione osservativa guidata dall'astrofisico inglese Sir A. Eddington, per verificare se lo spostamento delle immagini stellari avvenisse nella misura predetta dalla Teoria della Relatività Generale. La deviazione prevista è molto piccola, dell'ordine di pochi secondi d'arco (per la precisione 1.7 secondi d'arco: tale angolo corrisponde al diametro di una piccola moneta vista dalla distanza circa 3 chilometri!).

L'analisi successiva delle fotografie ottenute durante l'eclisse permise di misurare un valore della deflessione come predetto, ed Einstein divenne il fisico più famoso al mondo.

2. Come "funziona" una lente gravitazionale

Il fenomeno della "lente gravitazionale" può facilmente essere compreso quando si tenga presente il risultato sopra esposto, ovvero che un raggio di luce viene deviato dalla sua traiettoria (altrimenti rettilinea) tanto di più quanto maggiore è la massa che si interpone tra la sorgente luminosa e l'osservatore e tanto più "radente" è il passaggio.

Questa deflessione ricorda molto da vicino la deviazione dei raggi luminosi operata dalle comuni lenti d'ingrandimento, ed è per questo motivo che si parla di "lente" gravitazionale.

In realtà le leggi che regolano la deviazione dei raggi luminosi dai campi gravitazionali sono più complesse di quella dell'ottica geometrica, e possono portare alla formazione di immagini multiple, a seconda della posizione relativa tra sorgente luminosa, massa deviante, e posizione dell'osservatore.

Non è difficile immaginare inoltre che anche la forma e la distribuzione della massa all'interno del corpo deviante siano importanti nel determinare le caratteristiche dell'immagine finale.

Non è difficile immaginare inoltre che anche la forma e la distribuzione della massa all'interno del corpo deviante siano importanti nel determinare le caratteristiche dell'immagine finale.

3. Perché le lenti gravitazionali sono importanti in Astronomia?

Come dovrebbe essere intuitivo dagli argomenti sopra esposti, in generale per poter misurare la deviazione di un raggio di luce a causa di un campo gravitazionale occorrono campi gravitazionali molto intensi. In natura tali campi si trovano in ambiente astronomico, e questo è infatti l'ambito naturale di applicazione del fenomeno di lente gravitazionale.

Attualmente sono stati osservati molti esempi di lenti gravitazionali (si veda la prossima sezione) e questo fenomeno è adesso correntemente utilizzato in astronomia come "strumento" per studiare la distribuzione della massa all'interno degli oggetti che si comportano da lente.

In pratica, si cercano nelle immagini astronomiche esempi di lente gravitazionale, e si applica la teoria Einsteniana "al contrario", ovvero si ricostruisce matematicamente la struttura della lente a partire dalle caratteristiche dell'immagine di lente gravitazionale.

Tra i tanti e notevolissimi risultati astrofisici che queste tecniche hanno permesso di ottenere ne ricordiamo qui uno particolarmente significativo, ovvero la possibilità di misurare direttamente la presenza di "materia oscura" all'interno di galassie ed ammassi di galassie.

La presenza di materia oscura è nota da decenni ma, come dice il nome, nessuno è in grado di vederla direttamente: tutte le indicazioni della sua esistenza sono di tipo "indiretto", ovvero tale materia si rivela solo attraverso gli effetti gravitazionali che produce sui corpi circostanti. Questo fa sì che non sia semplice conoscere l'esatta distribuzione della materia oscura all'interno delle galassie e degli ammassi di galassie.

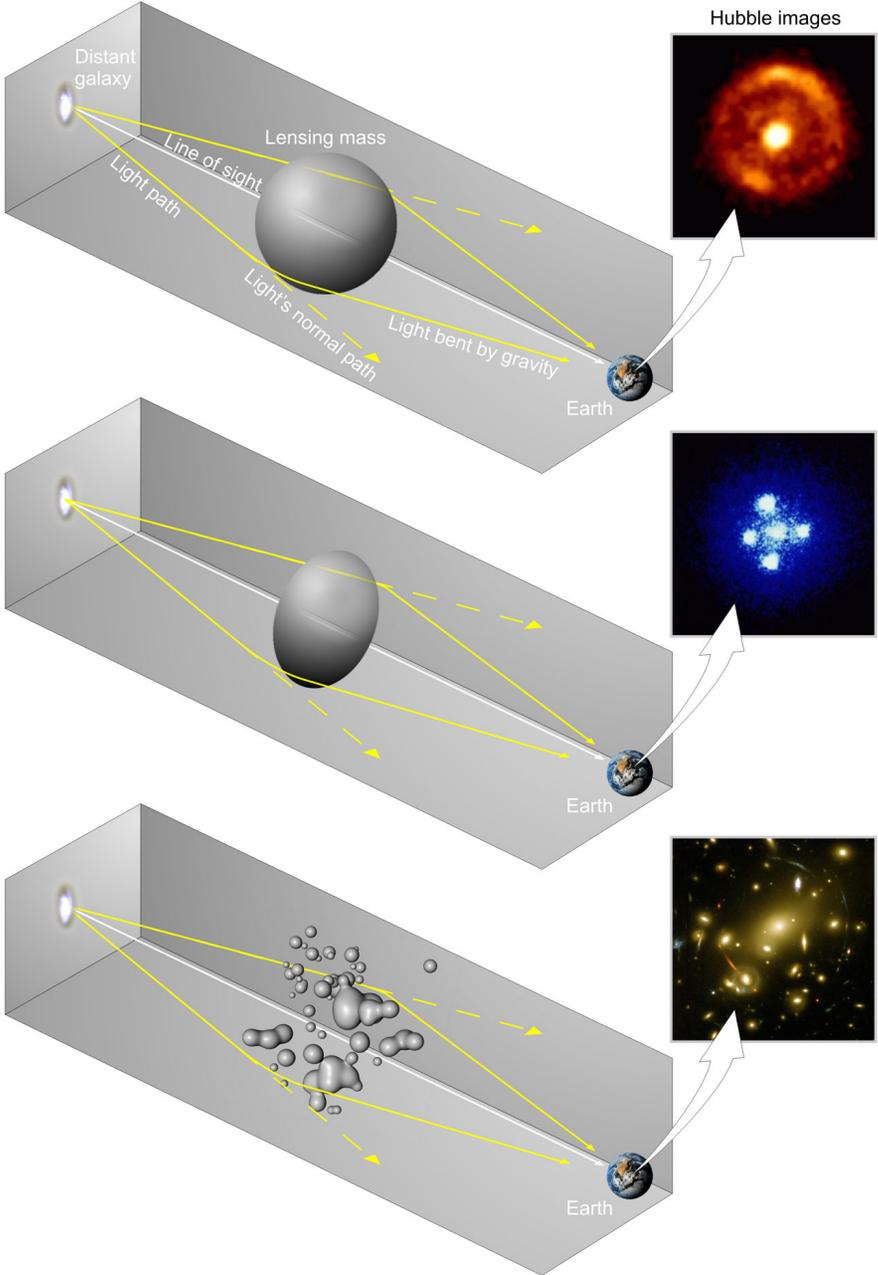
Un aiuto notevole viene all'astronomo dal fenomeno di lente gravitazionale che, come brevemente illustrato sopra, permette di conoscere in maniera dettagliata la distribuzione della massa all'interno della lente, e quindi in un certo senso di "vedere" la materia oscura.

Da questo punto di vista Einstein, dopo aver "usato" l'Astronomia per verificare la sua Teoria, ha restituito il favore, fornendo un importantissimo strumento che permette agli astronomi di osservare la materia oscura!

4. Alcuni esempi di lenti gravitazionali

Concludiamo questa breve illustrazione del fenomeno di lente gravitazionale mostrando alcune suggestive immagini astronomiche in cui il fenomeno di lente gravitazionale è particolarmente evidente.

Fig. 1



In **Figura 1** è mostrato uno schema illustrativo dei più semplici esempi di lente gravitazionale che possono formarsi in situazioni astronomiche.

- Dall'alto verso il basso si ha il caso in cui un oggetto luminoso distante (in questo caso una galassia), la lente e l'osservatore si trovino perfettamente allineati, e la lente sia dotata di perfetta simmetria sferica con una distribuzione di densità omogenea. L'immagine risultante è una perfetta circonferenza. In alto a destra si ha un esempio reale di tale situazione, rappresentato da un'immagine ottenuta dal Telescopio Spaziale Hubble.
- Nel pannello centrale si ha ancora il caso di perfetto allineamento tra sorgente, lente ed osservatore, ma in questo caso la lente è ellissoidale invece che sferica, e l'immagine risultante consiste di 4 immagini disposte a forma di croce attorno alla lente.
- Infine, si mostra il caso in cui la distribuzione di massa all'interno della lente sia fortemente disomogenea, ottenendo la formazione di "archi" gravitazionali.

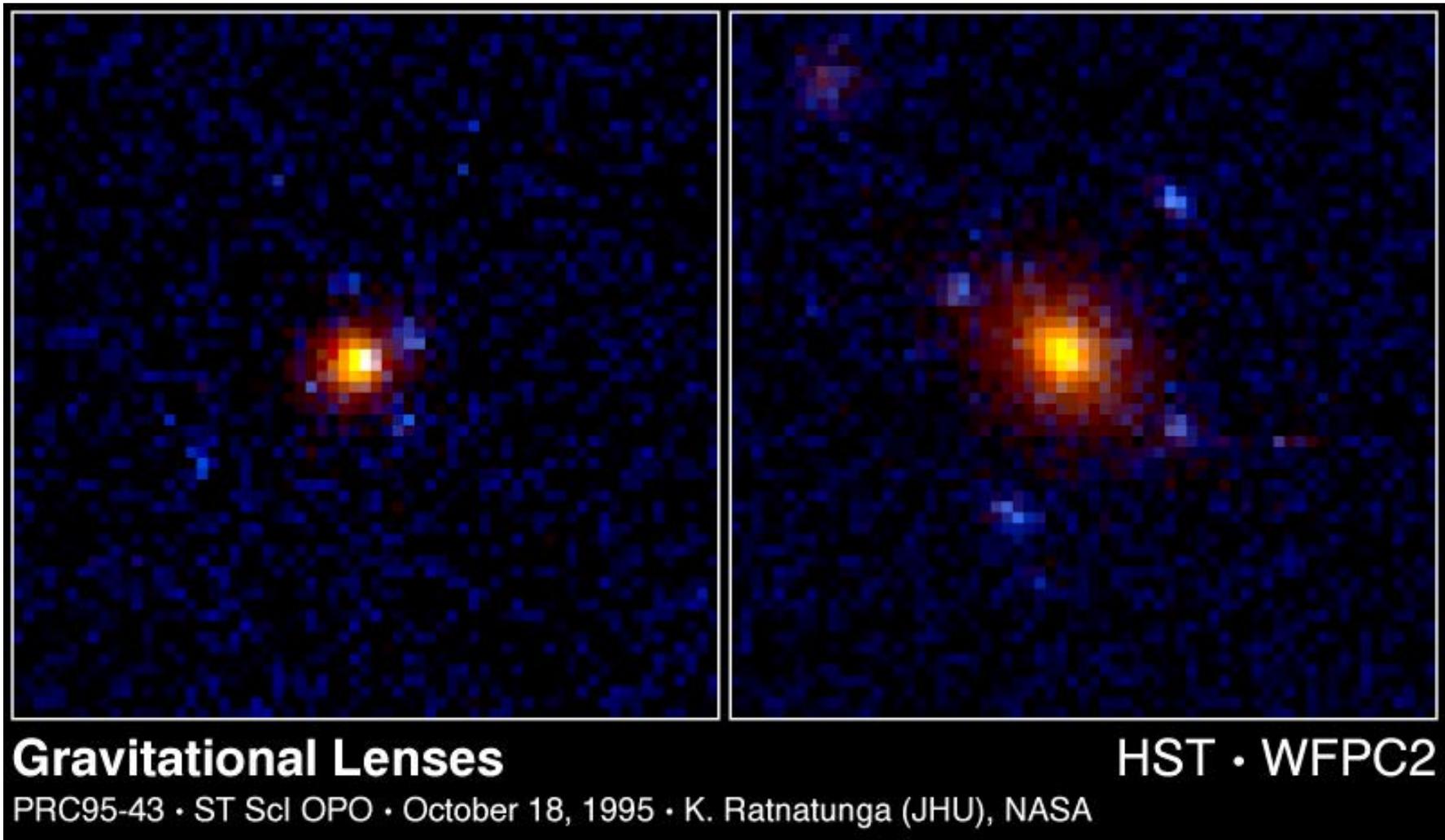


Fig. 2

Nel pannello di destra della **Figura 2** si vedono quattro immagini (in blu) di un quasar (oggetti astronomici estremamente luminosi ma estremamente distanti) prodotte dal campo di gravità di una galassia (in rosso) che si trova allineata tra il quasar stesso e l'osservatore (in questo caso il Telescopio Spaziale Hubble).

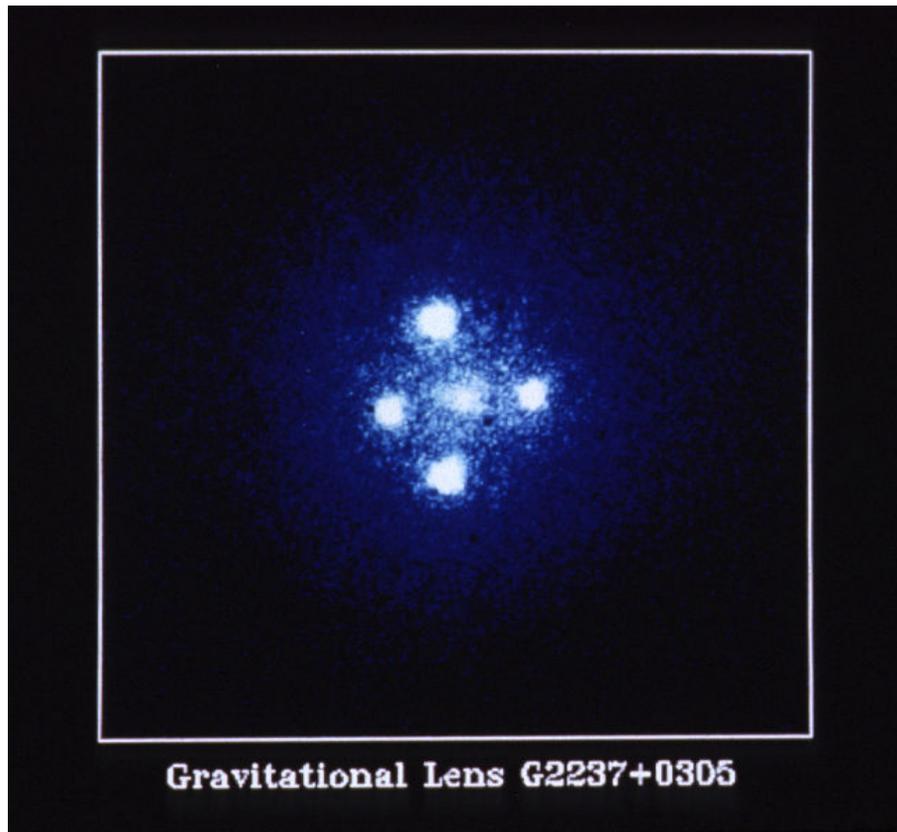


Fig. 3

I casi mostrati nelle Figure 2 e 3 corrispondono quindi al caso rappresentato nel pannello centrale di Figura 1.

Un'altra bellissima lente gravitazionale (detta "croce di Einstein") è mostrata in **Figura 3**. La lente gravitazionale si trova al centro dell'immagine, mentre le quattro immagini laterali sono l'immagine multipla dello stesso oggetto che si trova allineato, ma molto più distante, dalla lente gravitazionale vera e propria.

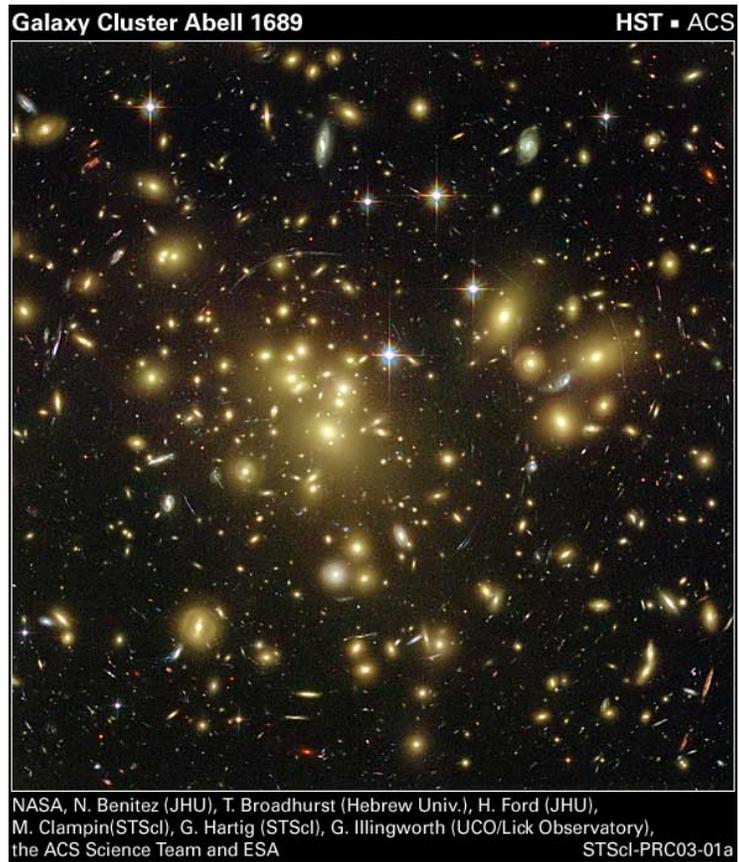


Fig. 4

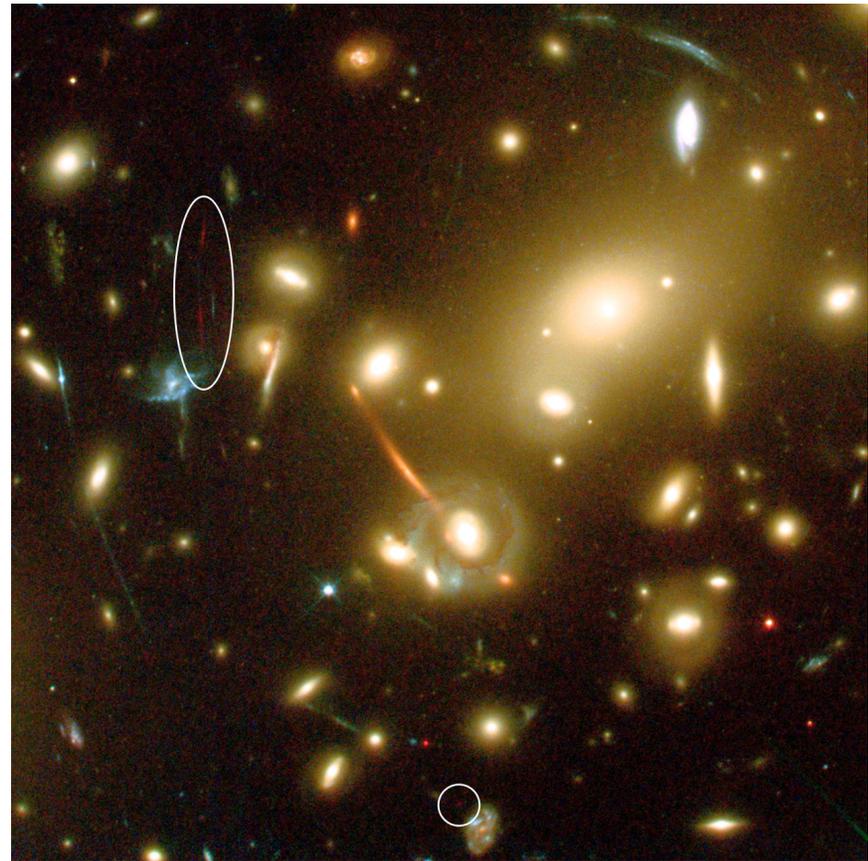


Fig. 5

Nelle **Figure 4 e 5** (ingrandimento della regione centrale di Figura 4) si vede un tipo diverso di lente gravitazionale, prodotta dalla distribuzione di galassie e materia oscura presente in un ammasso di galassie. Gli archi gravitazionali sono le sottili linee curve bluastre che formano quasi una circonferenza attorno alla parte centrale dell'ammasso formato da numerose galassie (le strutture rossastre di forma ellissoidale). I casi rappresentati da queste due immagini si riferiscono al pannello in basso di Figura 1.

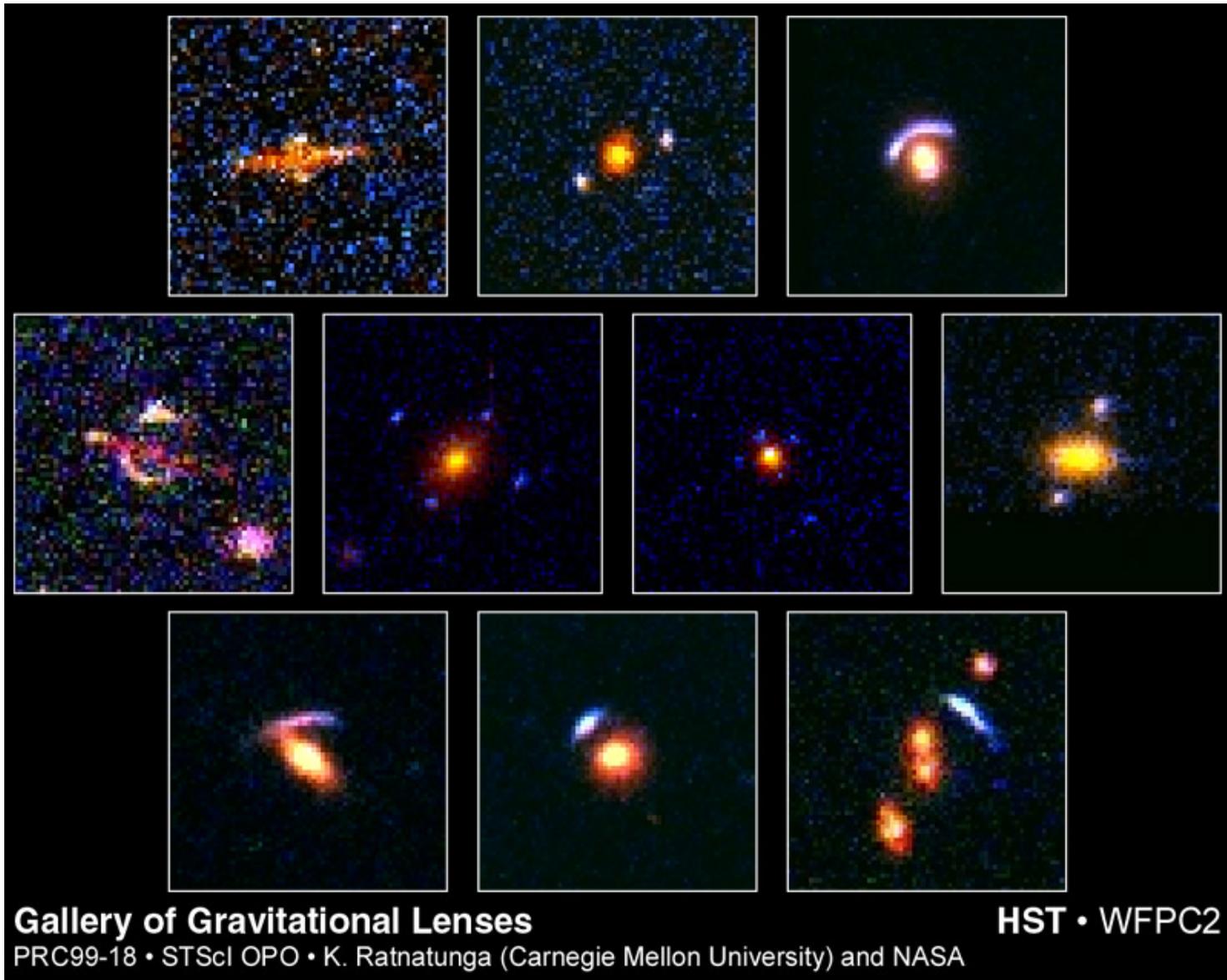


Fig. 6

Nella **Figura 6** si vedono infine altri esempi di lenti gravitazionali prodotte da galassie (in rosso). Come si vede chiaramente, le immagini di lente gravitazionale (in blu) possono essere anche allungate e ricurve. Gli astronomi chiamano questo tipo di immagini "archi gravitazionali". Anche queste immagini sono state ottenute dal Telescopio Spaziale Hubble.