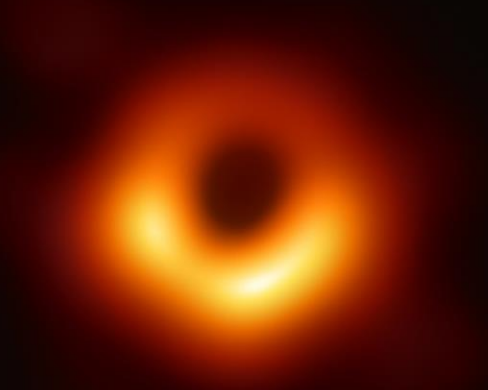
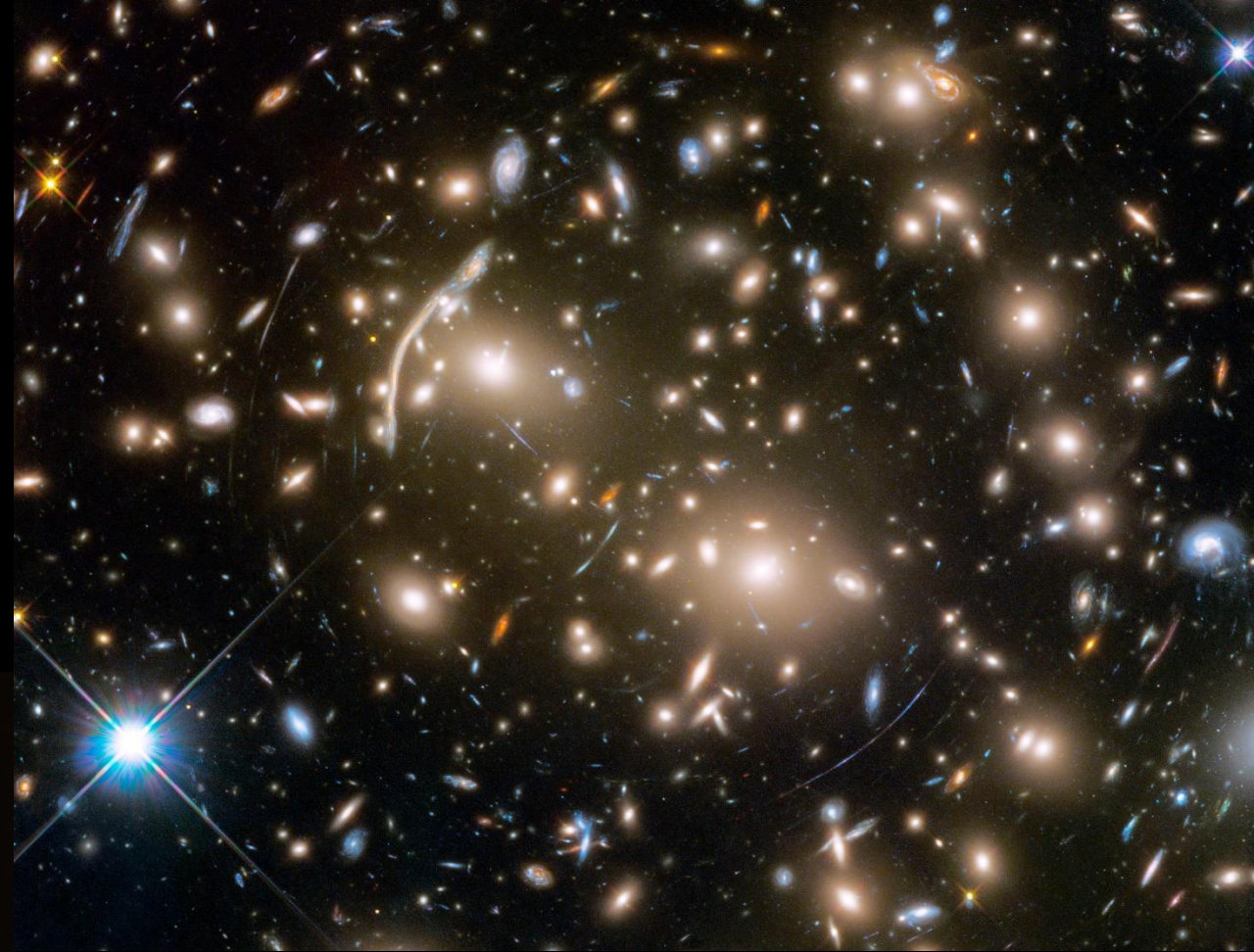


# Relatività e Astrofisica



Alberto Vecchiato

Istituto Nazionale di Astrofisica  
Osservatorio Astrofisico di Torino



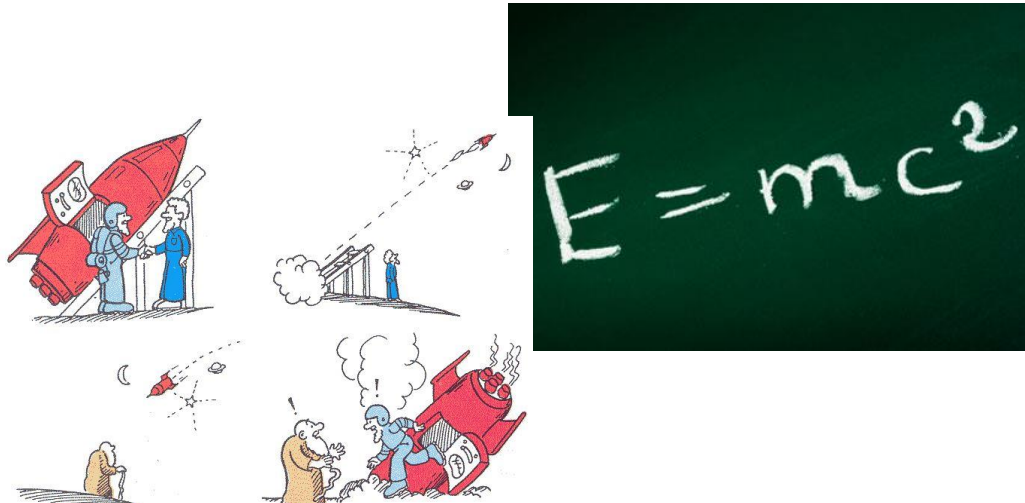
Cos'è la Relatività

# Cos'è la Teoria della Relatività

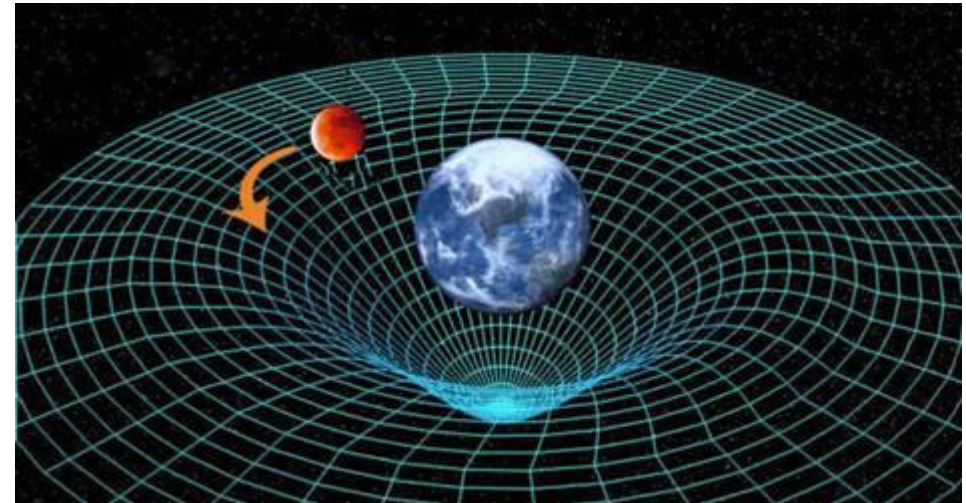
Esistono due teorie della relatività

la **Teoria della Relatività Speciale** e la **Teoria della Relatività Generale**

La Relatività **Speciale**  
è una **Teoria della Dinamica**

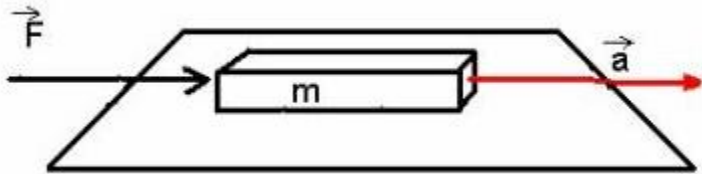


La Relatività **Generale**  
è una **Teoria della Gravità**



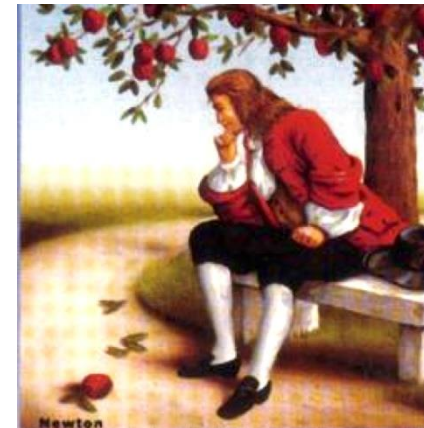
Una Teoria della  
Dinamica dice come si  
muovono i corpi sotto  
l'azione di forze esterne

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$



Una Teoria della Gravità  
dice cosa causa e come  
si comporta una di  
queste forze (la Gravità)

$$F = -\frac{GMm}{r^2}$$



# Cos'è la Relatività

## 1. La Relatività Speciale

# Breve storia della Dinamica

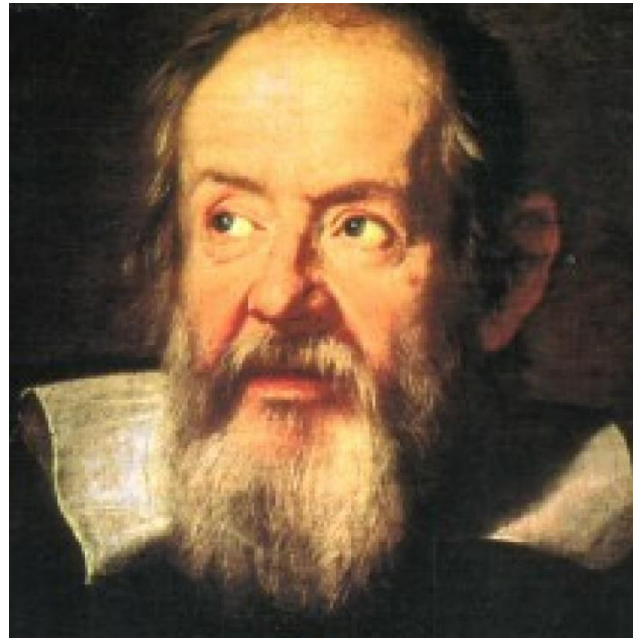
## Principio di Relatività

**Aristotele (IV sec. a.C.):**



**Lo stato naturale dei corpi è la quiete.** Per mantenere un corpo in movimento è necessario imprimergli continuamente una forza, in assenza della quale questo rallenterà fino a fermarsi.

**Galileo Galilei (circa 1630):**



**Non esiste lo stato naturale dei corpi col quale restano in movimento. Per poter capire di essere in movimento rispetto ad un altro è necessario imprimergli una forza.**

# Breve storia della Dinamica

## Il Principio di Relatività Galileiano

Conseguenza dell'ipotesi di Galileo: ***Principio di Relatività Galileiano***

Tutti i sistemi di riferimento in moto relativo rettilineo uniforme sono equivalenti (dal punto di vista delle leggi della fisica)  
Non esiste un sistema di riferimento privilegiato e le leggi della fisica sono le stesse per tutti gli osservatori in moto relativo rettilineo uniforme

Questo principio è alla base della ***Dinamica Newtoniana...***

O forse no!

# Breve storia della Dinamica

## Il Principio di Relatività Galileiano

L'affermazione «Le leggi della fisica devono essere le stesse...», implica che **devo sapere** quali **leggi matematiche** applicare **per trasformare le leggi della fisica** «viste» in un sistema di riferimento in quelle «viste» da un altro sistema di riferimento in moto rettilineo uniforme rispetto al primo.

Le leggi di trasformazione tra due sistemi di riferimento in moto relativo uniforme devono dipendere solo dalla **velocità relativa** tra i due sistemi. Ma quali sono?

Trasformazioni di Galileo:

$$\begin{aligned}\bar{t} &= t \\ \bar{\mathbf{x}} &= \mathbf{x} - \mathbf{v}t\end{aligned}$$

Conseguenze/implicazioni delle trasformazioni di Galileo:

1. Il **tempo** è **assoluto**, ovvero è lo stesso in tutti i sistemi di riferimento; due eventi simultanei in un sistema appariranno simultanei anche nell'altro.
2. Trasformazione delle velocità

$$\bar{\mathbf{w}} = \mathbf{w} - \mathbf{v}$$



# Breve storia della Dinamica

Revisione critica del Principio di Relatività Galileiano

- 1. Lo stato naturale dei corpi è il moto rettilineo uniforme.**
- 2. Non esiste esperimento col quale un osservatore possa capire di essere in moto (rettilineo uniforme) rispetto ad un altro**
- 3. Le leggi della fisica sono le stesse per tutti gli osservatori in moto relativo rettilineo uniforme, ma...**

**Quali leggi della fisica?**

# Relatività Speciale

Leggi della fisica e principio di relatività di Galileo:

1. Leggi della dinamica ( $F = ma$ ): OK!
2. Gravità Newtoniana ( $F = -GMm/r^2$ ): OK!
3. Elettromagnetismo: **NO!!!**

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$



Problema di  
**consistenza interna!**

# Relatività Speciale

## **Possibili spiegazioni:**

1. Il Principio di Relatività vale per alcune leggi (dinamica) ma non per altre (elettromagnetismo)
2. Il Principio di Relatività vale per tutte le leggi ma quelle dell'elettromagnetismo sono sbagliate
3. Il Principio di Relatività vale per tutte le leggi ma quelle della dinamica sono sbagliate

# Due possibili Principi/Dinamiche

## Dinamica classica

(Galileo e Newton, XVII secolo)

Si basa sul **Principio di Relatività di Galileo:**

1. Le leggi della fisica sono le stesse per tutti gli osservatori in moto rettilineo uniforme
2. Per passare da un sistema di riferimento ad un altro si usano le trasformazioni di Galileo, che **sono valide per qualunque velocità**

## Dinamica relativistica

(Relatività Speciale, Einstein, 1905)

Si basa sul **Principio di Relatività di Einstein:**

1. Le leggi della fisica sono le stesse per tutti gli osservatori in moto rettilineo uniforme
2. Per passare da un sistema di riferimento ad un altro si usano le trasformazioni di Lorentz, che **richiedono una velocità limite  $c$  uguale per tutti gli osservatori**

# Relatività Speciale

Leggi della fisica e principio di relatività di Einstein:

1. Leggi della dinamica ( $F = ma$ ): **NO!!!**
2. Gravità Newtoniana ( $F = -GMm/r^2$ ): **NO!!!**
3. Elettromagnetismo: OK!

Ma allora chi ha ragione?

# Cos'è la Relatività

## 2. La Relatività Generale

# Problemi della Gravità di Newton

La **Gravità Newtoniana** non è compatibile con la Dinamica Relativistica (Relatività Speciale). Infatti è **inscindibilmente legata al Principio di Relatività Galileiano** e alla Dinamica Classica (Newtoniana).

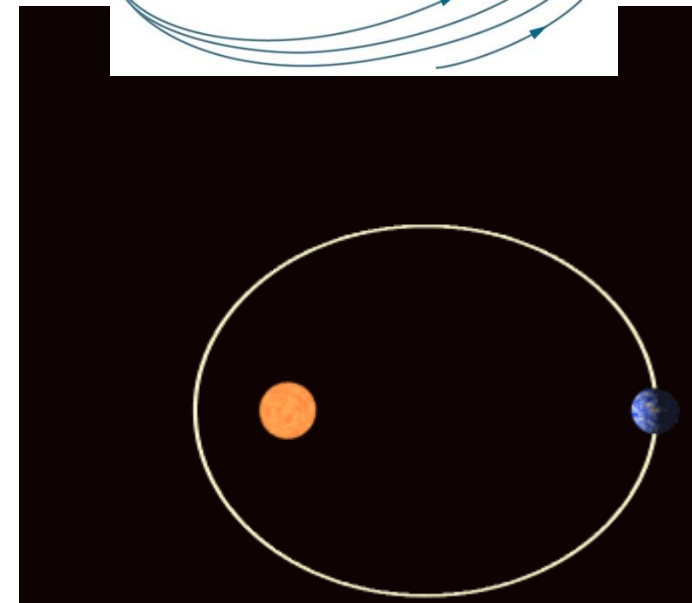
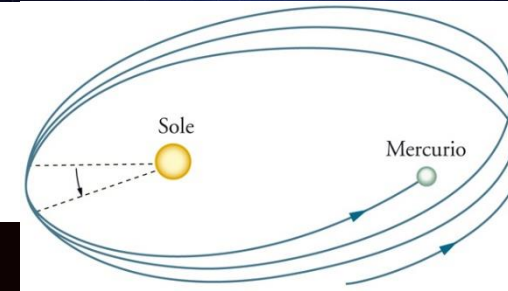
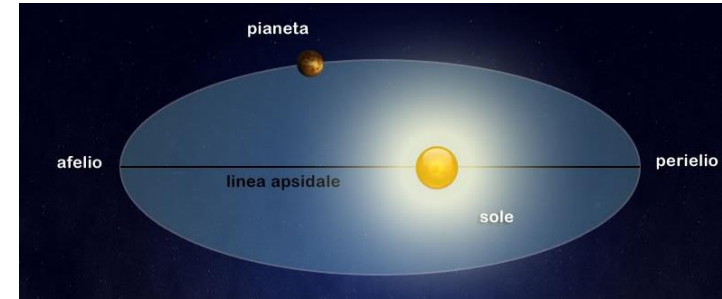
# Problemi della Gravità di Newton

1. Richiede che la Gravità sia un'interazione che si propaga istantaneamente (a velocità infinita) e quindi non è compatibile con la Relatività Speciale.
2. Piccole discrepanze nelle predizioni delle orbite dei pianeti del Sistema Solare.
3. Non prevede il fenomeno della deflessione della luce o, eventualmente, può prevederlo solo per metà del suo effettivo valore, ma in maniera non completamente consistente (teoria corpuscolare della luce).



# La precessione del perielio di Mercurio

1. La teoria di Newton prevede che due corpi *isolati* orbitino uno attorno all'altro in una traiettoria perfettamente ellittica.
2. Quando i corpi interagenti sono più di due le traiettorie perfettamente ellittiche vengono perturbate.
3. Nel 1847 Urbain Le Verrier scoprì l'esistenza di Nettuno grazie al fatto che le orbite dei pianeti conosciuti erano diverse da quelle attese.
4. Alla fine del XIX secolo era noto che l'orbita di Mercurio mostrava una *precessione del perielio* di  $43''$ /secolo maggiore di quella prevista.
5. Come per Nettuno, si pensava fosse dovuta ad un pianeta non ancora osservato, ma non si riusciva a trovarlo.

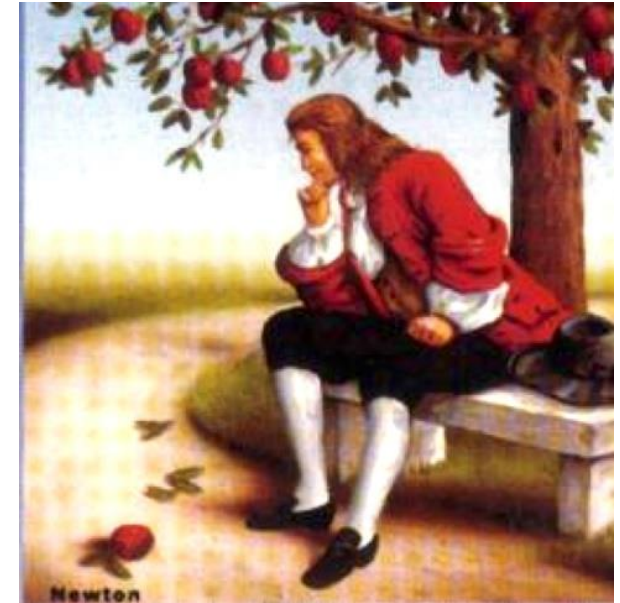
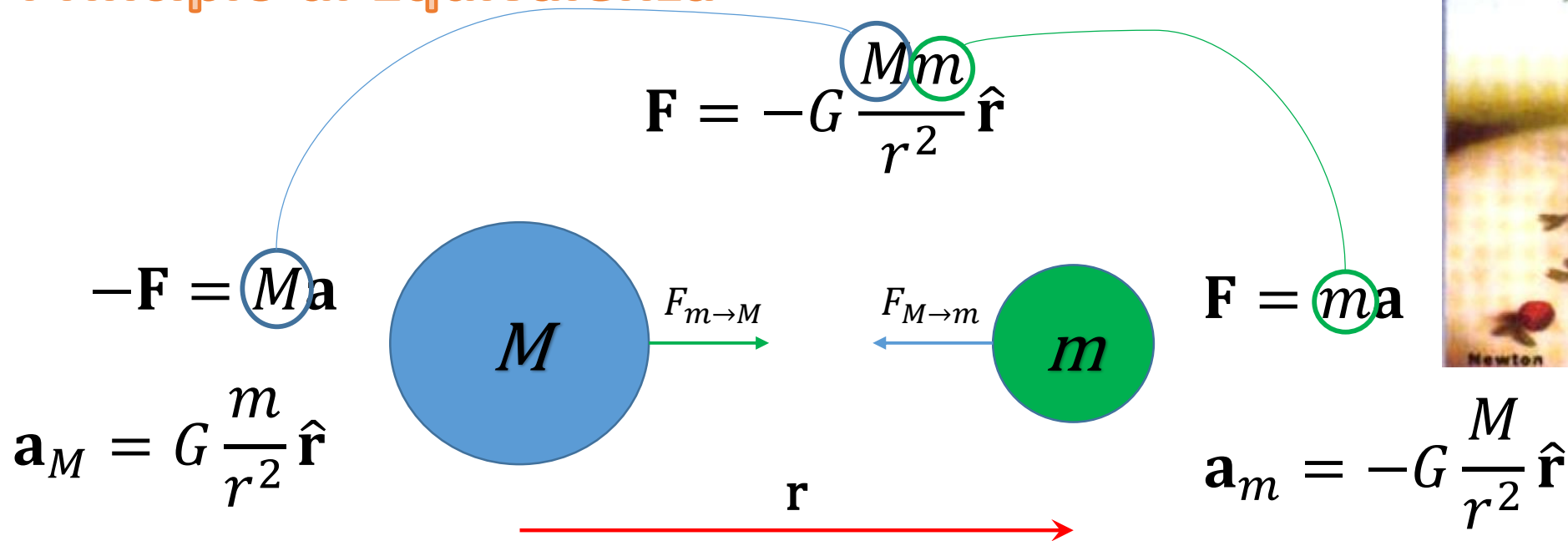


# Gravità e Principio di Equivalenza

## La Gravità di Newton: massa inerziale e gravitazionale

Formulata assieme alla sua Dinamica (1687)

### Principio di Equivalenza



# Principio di Equivalenza

## Una formulazione alternativa del Principio di Equivalenza

**Non esiste esperimento col quale un osservatore possa capire di essere fermo in un campo gravitazionale o in moto accelerato, né di essere in assenza di campo gravitazionale o in caduta libera**

# Deflessione della luce

Qual è l'effetto della gravità sulla luce?

Dipende...

1. Secondo Newton un oggetto, per risentire della gravità, deve avere una *massa*.
2. Per il Principio di Equivalenza, l'effetto *non dipende da quanto vale questa massa*, basta che ci sia «qualcosa».

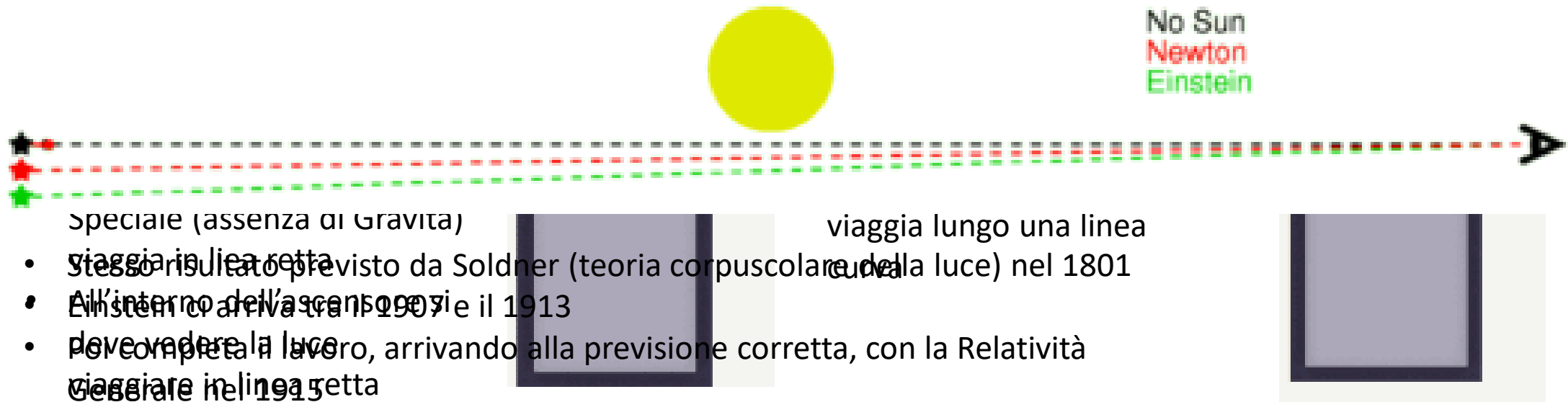
$$m\mathbf{a} = \mathbf{F} = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad \rightarrow \quad \mathbf{a}_m = -G \frac{M}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

3. Newton pensava che la luce fosse composta da particelle; per circa un secolo questa fu l'idea prevalente e quindi era normale pensare che la gravità influenzasse la luce, infatti già nel XVIII secolo si affacciò l'idea di *buco nero*. Addirittura nel 1801 Johann von Soldner stimò che un raggio di luce passando vicino al Sole avrebbe dovuto deviare dal suo cammino rettilineo di circa 0.87".
4. Nello stesso periodo, però, la scoperta dei fenomeni di interferenza fece prevalere la teoria ondulatoria della luce, proposta inizialmente da Hooke alla fine del XVII secolo.
5. Se la luce è un'onda, non ha massa e la gravità non può influire su di essa.

# Gravità e Principio di Equivalenza

## Deflessione della luce

Può essere spiegata in parte (per metà!) col Principio di Equivalenza: **la gravità è indistinguibile da un sistema di riferimento in moto accelerato.**



No Sun  
Newton  
Einstein

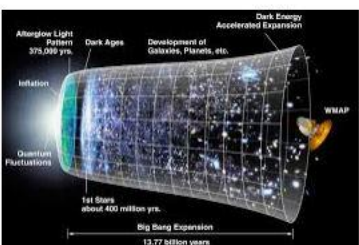
$$\delta\alpha = 0$$

$$\delta\alpha = \frac{2GM}{c^2 r} = -\frac{2\Phi}{c^2} = 0.87''$$

$$\delta\alpha = \frac{4GM}{c^2 r} = -\frac{4\Phi}{c^2} = 1.74''$$

Cos'è l'Astrofisica

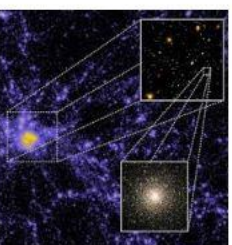
astrofisica nucleare meteoriti galassie tor vergata unibo onde gravitazionali bologna università dell universo astronomia giugliano fisica pianeti bertinoro laurea michele giugliano inaf



Astrofisica - Wikipedia it.wikipedia.org



I contributi dell'astrofisica alla tecnol... empovaldo.it



Astrofisica - Fisica e Astron... fisica-astronomia.unibo.it



ASL, Astrofisica? Un gioco...da bambini! - Radio... radiounavocevicina.it



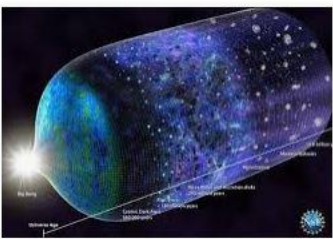
Astrofisica e cosmologia - Laurea Magistrale - Bologna corsi.unibo.it



Astrofisica: riflessioni di uno studente di fisica - ... voce.com.ve



Astrofisica rotonda compo... it.freepik.com



Astrofisica, captato segnale delle stelle pi... askanews.it



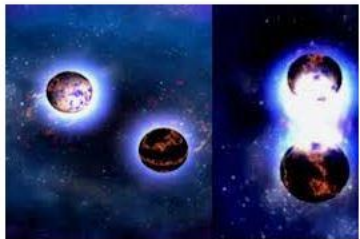
Astrofisica Illustrazioni, V... it.dreamstime.com



Astrofisica - Posts | Facebook facebook.com



Astrofisica? Può essere semplice. Violetta Impelli... masterlex.it



Astrofisica: se ne parla al Ceub in un worksh... ceub.it



Astrofisica Nucleare - LNGS lngs.infn.it



Astrofisica, misurata la forma 3D d... askanews.it



Astrofisica, alla ricerca della materia oscu... meteoweb.eu



Lecce, all'Università del Salento la pri... eccellenzemeridionali.it



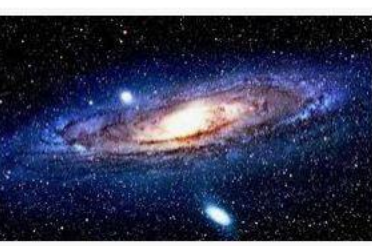
Astrofisica per chi va di d... amazon.it



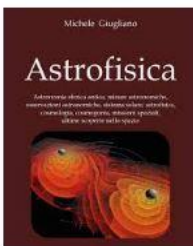
ASTROFISICA - Università degli Stu... fisica.uniroma2.it



Palermo: la tecnologia per l'astrofisc... strettoweb.com



Astrofisica y Fisica - Home | Facebook it-it.facebook.com



Amazon.it: Astrofisica -... amazon.it

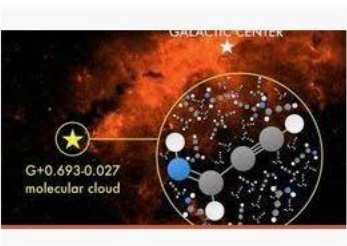


Astrofisica, Astroparticelle e Cosmologia... difi.unige.it



**Ricerche correlate**

-  astrofisica italiana
-  astronomia astrofisica
-  cosmologia



neil degrasse tyson   nuclear astrophysics   modern astrophysics   book   nasa   summer school   theoretical astrophysics   universe   cosmology   space   2020   physics   nutshell   science   dan maoz



What is Astrophysics? | Space space.com



What is astrophysics? | Space | Earth... earthsky.org



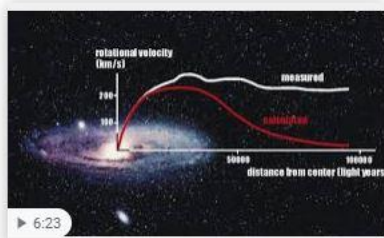
25-Year-Old Astrophysics Puzzle Explai... scitechdaily.com



Elements from the stars—the unexpected disc... phys.org



What is an astrophysicist? | Swinburne news swinburne.edu.au



So You Want To Get an Astronomy/Astrophysics... youtube.com



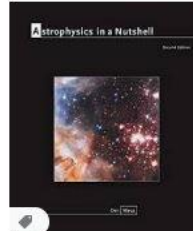
Astronomy/Astrophysics Part 2 - YouTube youtube.com



Astrophysics of stars and the Galaxy in 2030 ... elisasience.org



Amazon.com: Watch Astrophysics | Prime Vid... amazon.com



Astrophysics in a Nuts... amazon.it



Astrophysics | University of Oxford Depa... www2.physics.ox.ac.uk



Astronomy, Astrophysics and Astrology thoughtco.com



Astrophysics | Tor Vergata University of Rome en.uniroma2.it



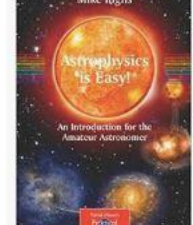
What is Astrophysics? – Haley's Astro Blog haleys908219433.wordpress.com



Scientific Rationale - Unsolved Problems in Astrophysi... net3.hu



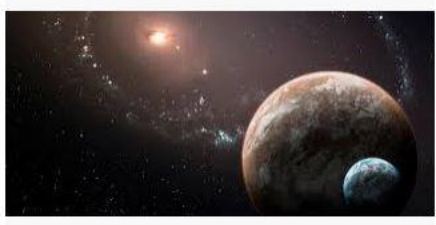
UChicago now offers major in astrophysics news.uchicago.edu



Amazon.it: Astrophysic... amazon.it



Theoretical Astrophysics & Plasma Physics | University of Ox... www2.physics.ox.ac.uk



Physics with Astrophysics (with a year abroad) (MPhys ... york.ac.uk

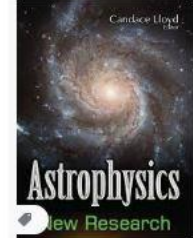


Astrophysics and Cosmology: Home astrophysics-and-cosmology.dfa.unipd.it



Ricerche correlate

- stars drawing
- stars disegno
- galaxy stars





# Breve storia dell'Astrofisica

- C'è una certa incertezza nella definizione di «Astrofisica»
- «Astrofisica»=«Fisica delle stelle»=«Fisica del cielo»
- Oggetto di studio della «Fisica» sono le «leggi di base» della natura («φύσις» in greco)
- Quindi **l'Astrofisica** sembrerebbe occuparsi delle **leggi naturali che governano il comportamento degli oggetti celesti**

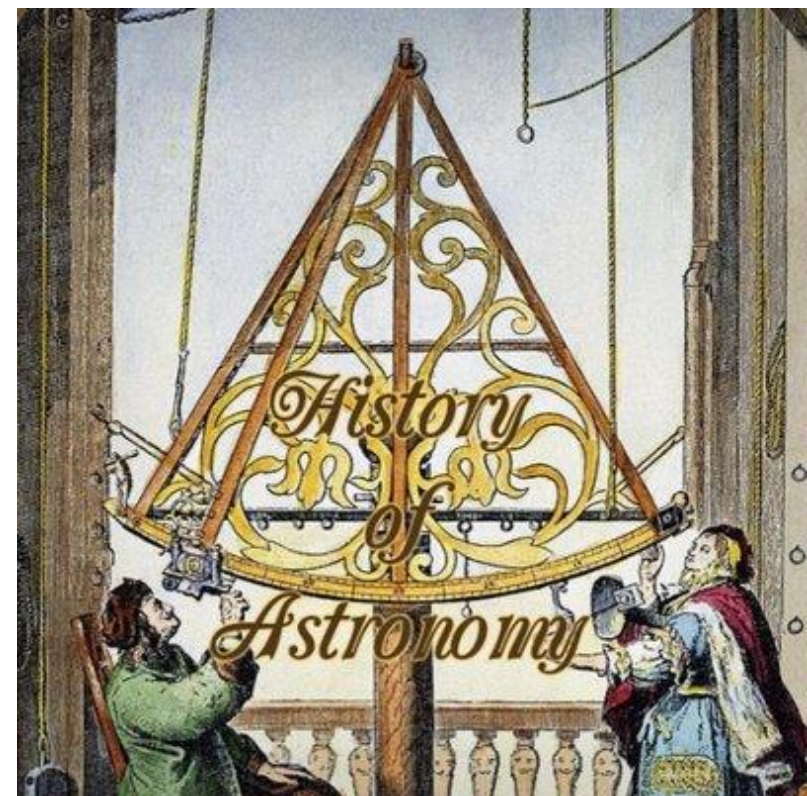
**E l'Astronomia?**

# Breve storia dell'Astrofisica

- Astronomia deriva da dal Greco «αστρονομία», composto da «ἄστρον» (le stelle) e «νόμος» (le leggi).
- Quindi **l'Astronomia** sembrerebbe occuparsi delle **leggi naturali che governano il comportamento degli oggetti celesti!**

**Perché abbiamo due parole  
con lo stesso significato?**

# L'astronomia nella storia (1)

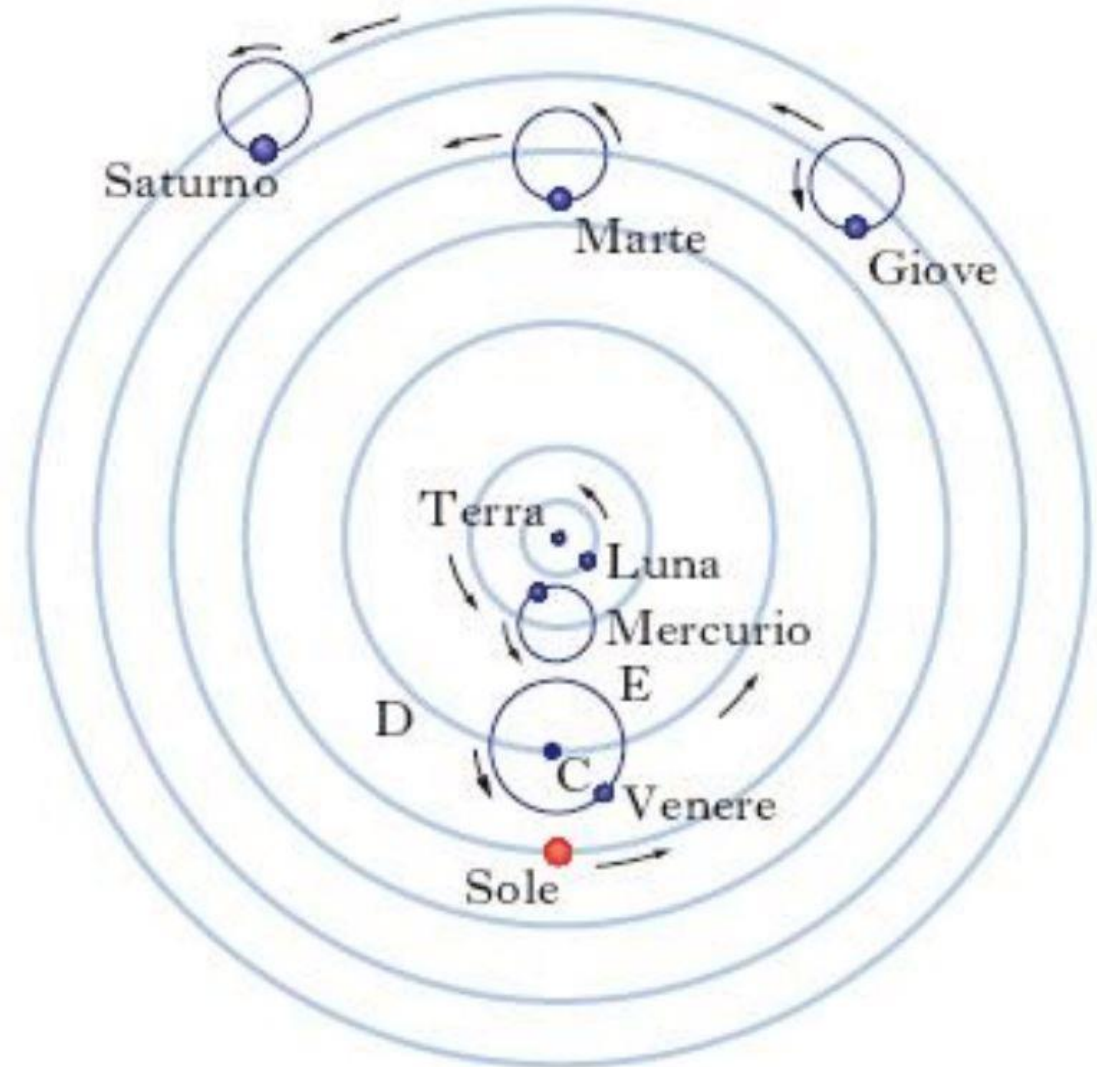


Astronomia di Posizione

# Le «due facce» dell'astronomia di posizione

## *Astrometria e Meccanica Celeste*

- L'**Astrometria** si occupa di **osservare** gli oggetti celesti e di determinarne la posizione e il moto.
- La **Meccanica Celeste** si occupa di **dedurre le leggi del moto** degli oggetti celesti, utilizzandole poi per determinare i loro movimenti nel passato e nel futuro e i fenomeni a questi associati (effemeridi, eclissi, ecc.)
- Sono la «faccia **osservativa**» e la «faccia **teorica**» dell'astronomia di posizione



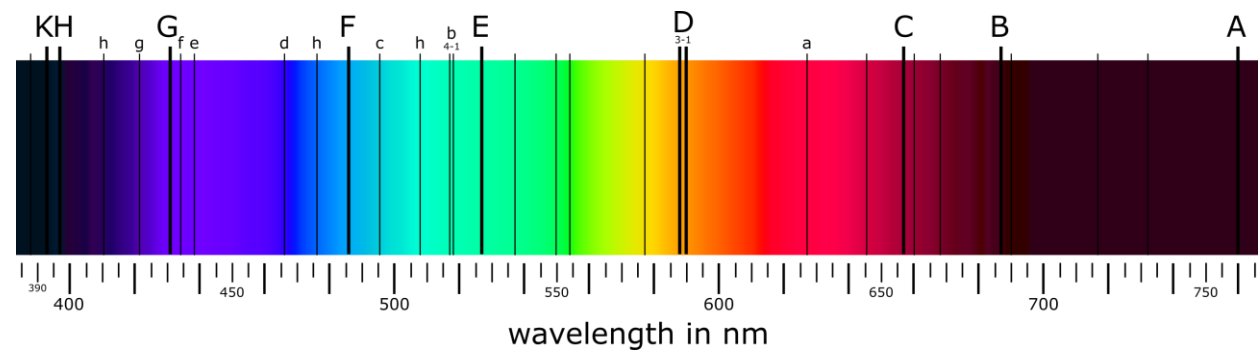
# Astrometria e Meccanica Celeste

- L'**Astrometria** è una scienza antichissima e moderna allo stesso tempo.
- Ipparco di Nicea (circa 200-120 a.C.):
  - Catalogo di 1000 stelle visibili ad occhio nudo
  - Precessione degli equinozi
- La **Meccanica Celeste** moderna è nata con Newton
  - Legge della Gravitazione Universale unita alla Dinamica Newtoniana
  - Spiegazione delle maree
  - Prosegue nel XVIII e XIX secolo (Laplace, Le Verrier, ecc.)
- Fino all'inizio del XIX secolo l'astronomia era «solo» questo. Poi accadde qualcosa di inaspettato...



# Arriva l'«Astrofisica»

- Attorno al 1660 Newton inizia ad effettuare esperimenti sulla propagazione della luce attraverso i prismi, pubblicando i suoi risultati nel 1672.
- Nel 1802 William Wollaston osservò lo spettro della luce solare.
- Nel 1814 Fraunhofer migliorò queste osservazioni e le estese a Sirio, iniziando a classificare le «linee di assorbimento».
- Nel 1859 Kirchhoff e Bunsen capirono che le linee di assorbimento erano associate alla presenza di specifici elementi nella fotosfera delle stelle.



# L'Astrofisica apre un mondo nuovo

- Le conseguenze/applicazioni delle osservazioni degli spettri rivoluzionano completamente l'astronomia. Diventa infatti possibile:
  - Stabilire la **composizione chimica** delle stelle (e di molti altri oggetti celesti).
  - Misurarne la **velocità radiale** (effetto Doppler).
  - Determinarne la **temperatura superficiale**.
  - Determinarne la **gravità superficiale**.
- Tutte queste conseguenze vengono ulteriormente ampliate dall'introduzione della fotografia in campo astronomico.
- Erano però applicazioni distinte dall'astronomia tradizionale, e fornivano informazioni sulla "fisica" degli oggetti celesti. Si iniziò quindi a parlare di "Astrofisica".

# Astronomia o Astrofisica? Questo è il dilemma!

Al giorno d'oggi l'Astronomia di posizione e l'Astrofisica sono discipline strettamente interconnesse. L'una non può esistere senza l'altra.



# Relatività e Astrofisica

## 1. La Cosmologia

# Cosmologia

- La Relatività Speciale è stata formalizzata nel 1905. La Relatività Generale nel 1915-1916.
- Nel 1917 Einstein usò la teoria della Relatività Generale per provare a risolvere il problema dell'**evoluzione globale dell'Universo sotto l'azione della gravità**, dando così inizio alla **prima descrizione fisico-matematica della Cosmologia**.
- Nel suo modello si ipotizzava un Universo statico, e questo richiedeva l'introduzione di una **Costante cosmologica** che fosse **gravitazionalmente repulsiva**, per evitare che l'Universo collassasse su se stesso.

# Cosmologia

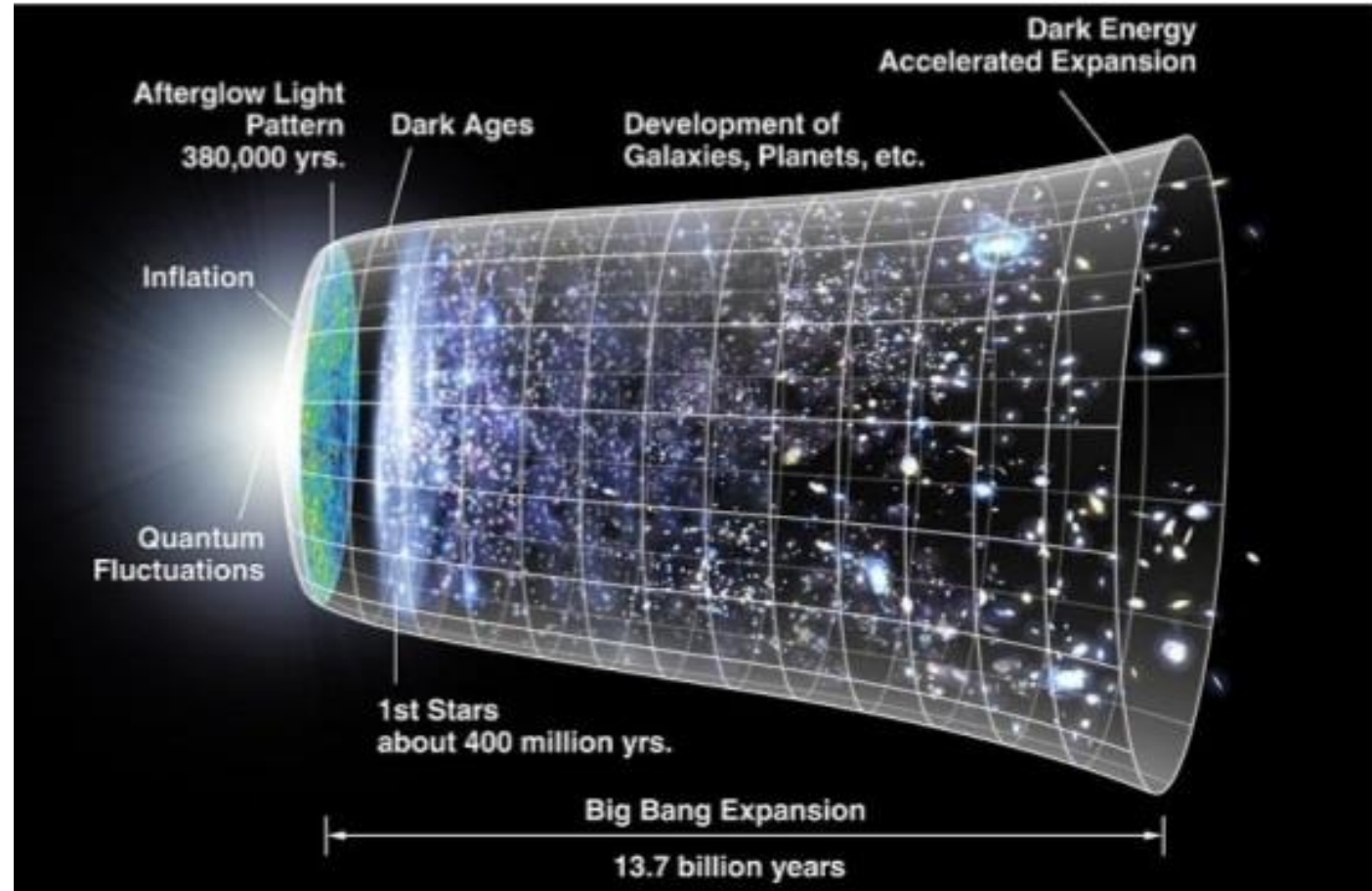
- Tra il 1922 e il 1927 Friedmann e Lemaitre, indipendentemente, dimostrarono che abbandonando l'ipotesi di un Universo statico era possibile trovare altre soluzioni cosmologiche.
- Queste soluzioni prevedevano un **Universo in espansione**, che iniziò a trovare evidenze sperimentali a partire dal 1929, con le osservazioni di Edwin Hubble.
- Il fenomeno dell'espansione poteva essere spiegato da diversi modelli cosmologici. A partire dalla metà degli anni '60, scoperte come la Radiazione Cosmica di Fondo portarono all'accettazione del modello del **Big Bang**.

# Cosmologia

- Il modello del Big Bang originale poneva delle questioni non facilmente risolvibili: il **Problema dell'orizzonte** e il **problema della formazione delle strutture cosmiche**.
- Attualmente questi problemi sono spiegati con dei meccanismi (**Inflazione** e **Materia Oscura**) che sono entrati a far parte del cosiddetto **Concordance Model** della cosmologia.
- Una ventina di anni fa osservazioni di oggetti estremamente remoti hanno evidenziato l'esistenza di un moto di **espansione accelerata** ai confini dell'Universo osservabile.
- Questo fenomeno non è spiegabile all'interno della Relatività Generale a meno di non ipotizzare l'esistenza di un'entità, detta **Energia Oscura**, gravitazionalmente repulsiva.

# Cosmologia

Il modello cosmologico attualmente più popolare, il cosiddetto  $\Lambda$ CDM, è appunto quello che utilizza l'**Inflazione**, ma **Materia** e l'**Energia Oscura** nel quadro della **Relatività Generale**.



# Astrofisica, Cosmologia e Relatività

Non possiamo affermare che la Cosmologia attuale sia una teoria consolidata, tuttavia una cosa è certa...

La Relatività Generale non solo è necessaria per spiegare l'Universo su scala globale (*Cosmologia*) ma ha letteralmente «generato» questa nuova branca dell'Astrofisica.

# Relatività e Astrofisica

## 2. Gli oggetti «esotici»

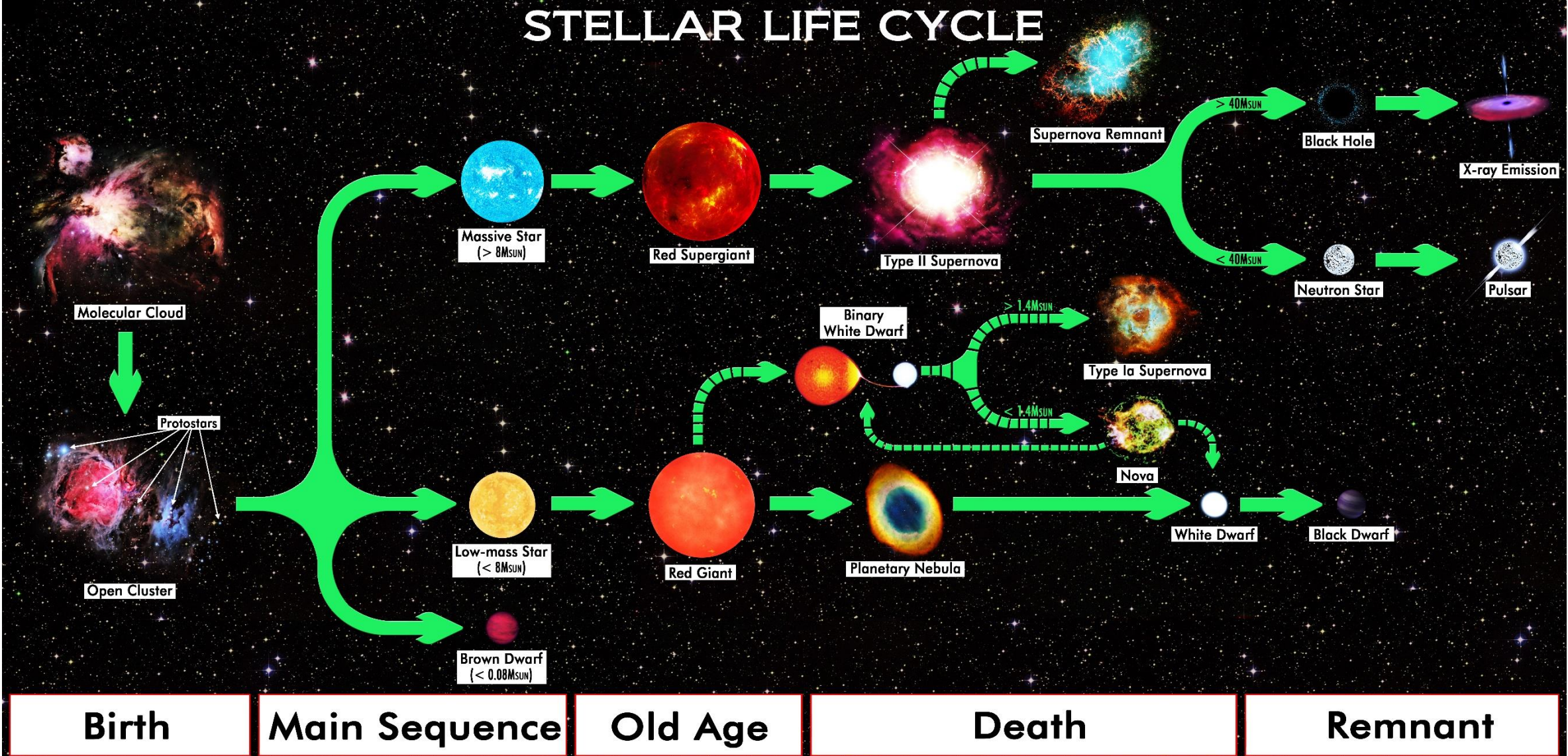
# Buchi Neri

Cosa impedisce alla massa di un  
oggetto di cadere  
indefinitamente su se stessa?

- Pianeti: repulsione elettrostatica
- Stelle con reazioni nucleari attive: pressione termica
- Nane bianche: pressione di degenerazione degli elettroni
- Stelle di neutroni: pressione di degenerazione dei neutroni (supposta)

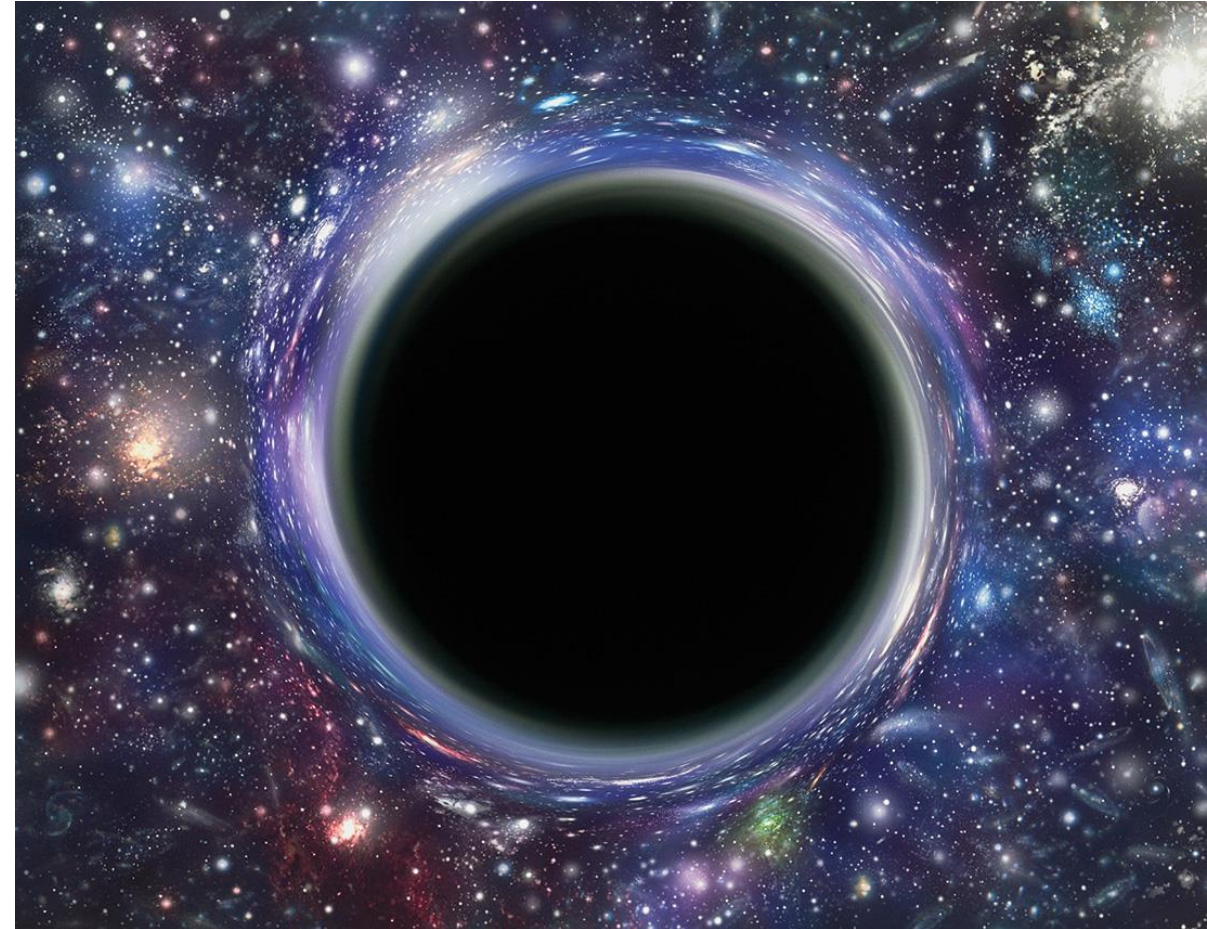


# Buchi Neri



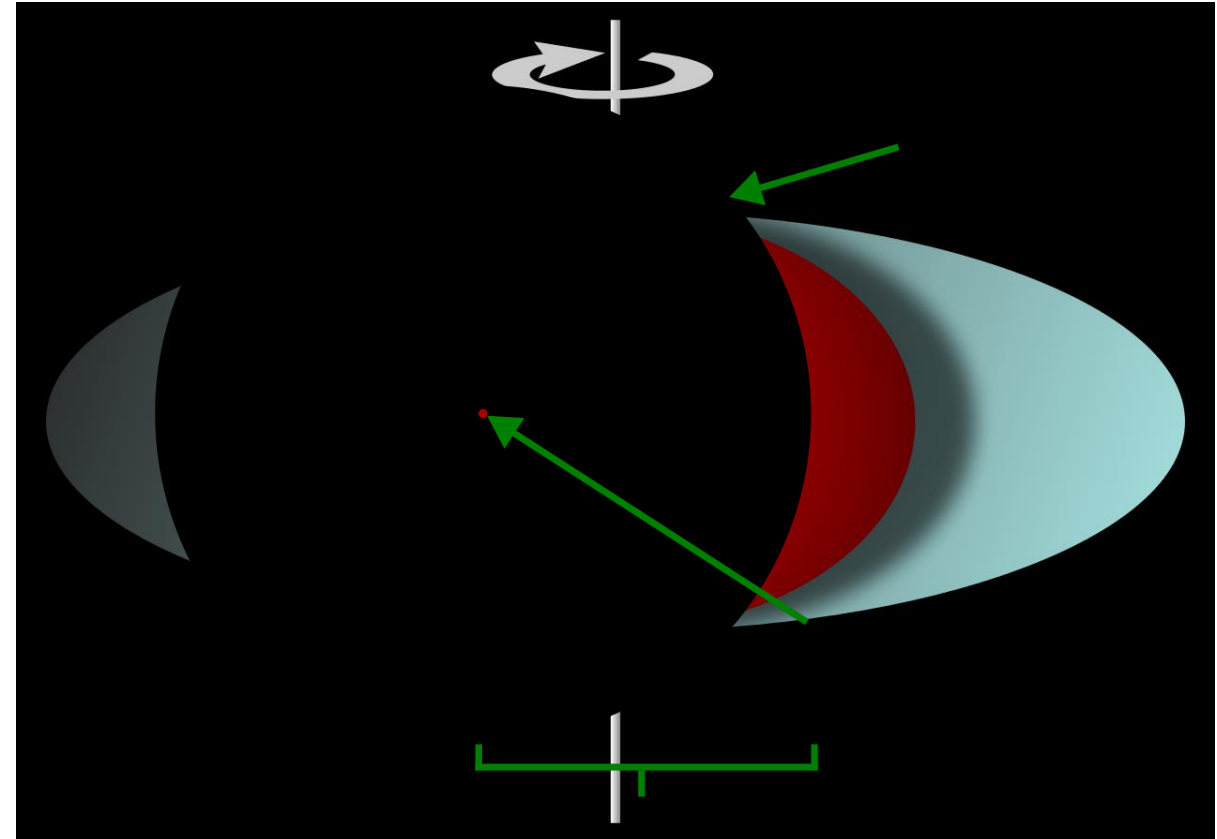
# Buchi Neri

- Se una stella inizialmente ha una massa superiore a qualche decina di masse solari non si conosce nessun meccanismo che possa fermare il suo collasso gravitazionale una volta esaurito il combustibile che alimenta le sue reazioni nucleari
- Si forma un **Buco Nero**, un oggetto la cui fisica è comprensibile solo nell'ambito della Relatività Generale




# Cos'è un buco nero

- **Schwarzschild:** *statico*
  - massa  $M$
- **Kerr:** *rotante*
  - massa  $M$
  - momento angolare  $J$



$$R = \frac{1}{2} \left( \frac{2GM}{c^2} + \sqrt{\frac{2GM}{c^2} - 4 \frac{J^2}{M^2 c^2}} \right)$$

# Buchi neri non stellari

A black hole is depicted as a dark, spherical object at the center of a glowing, orange and yellow accretion disk. The disk is surrounded by concentric ripples, suggesting gravitational waves. A bright blue jet of light extends upwards from the top of the black hole. The background is a dark, starry space.

Buchi neri di massa intermedia (IMBH): 100 – 100mila di masse solari

Buchi neri supermassivi (SMBH): 100mila – 1 miliardo di masse solari

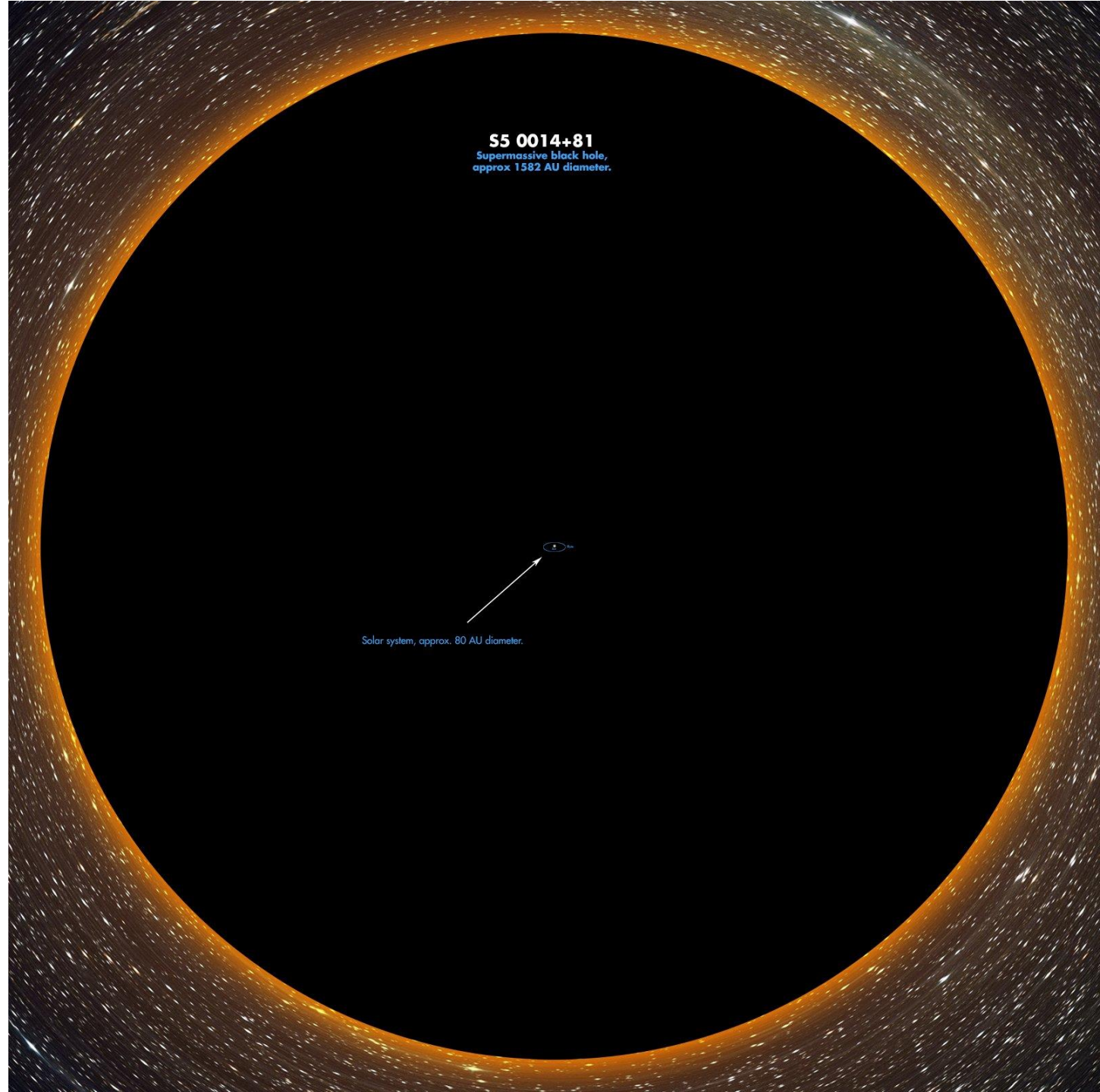
I SMBH possono  
essere veramente  
grossi!

Costellazione Cefeo

S5 0014+81:

$M \sim 4 \cdot 10^{10} M_s$  e

$R \sim 2.4 \cdot 10^{11}$  km

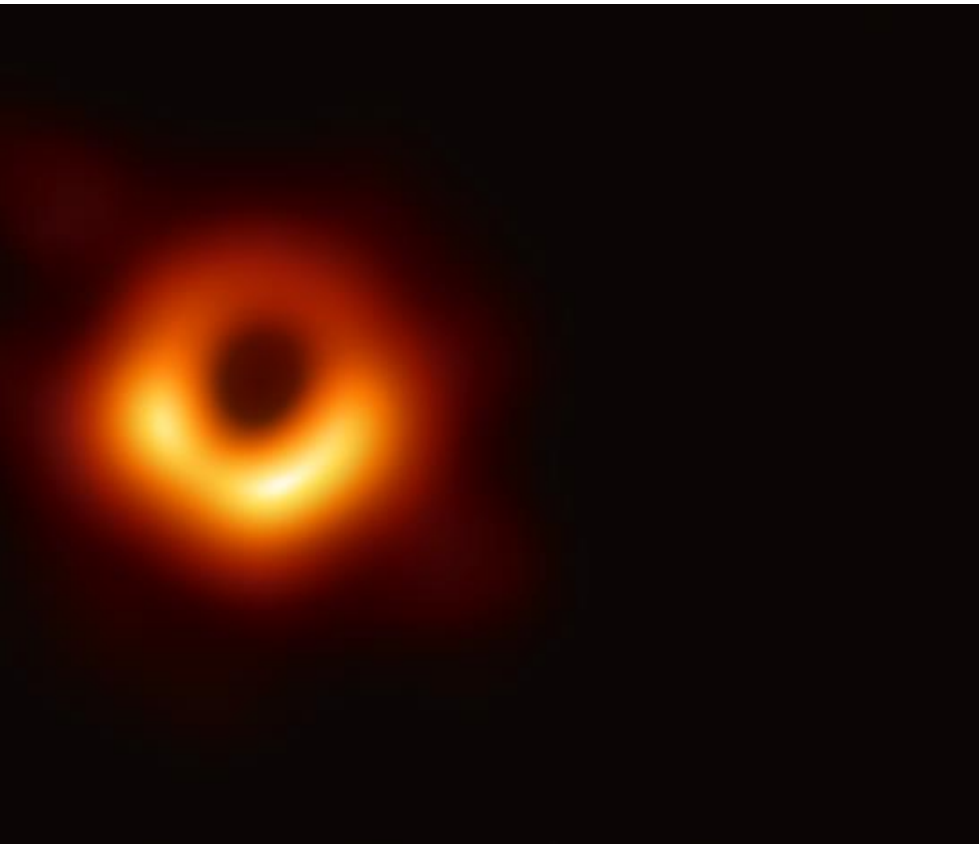


# I «figli» dei Buchi Neri

Come apparirebbe un buco nero da «vicino»



Come è stato «fotografato»



# I «figli» dei Buchi Neri

- Le immagini mostrano un «disco di accrescimento» attorno ad un buco nero supermassiccio
- Tipicamente questi oggetti si trovano al centro di galassie denominate «Active Galactic Nuclei», o AGN. Ce ne sono di molti tipi:
  - QSO
  - Blazar
  - Galassie di Seyfert
  - Radiogalassie
- Molti di questi oggetti sono caratterizzati dall'emissione di getti di particelle estremamente energetici. Sono tra i fenomeni più efficienti conosciuti di conversione energetica.

# Pulsar

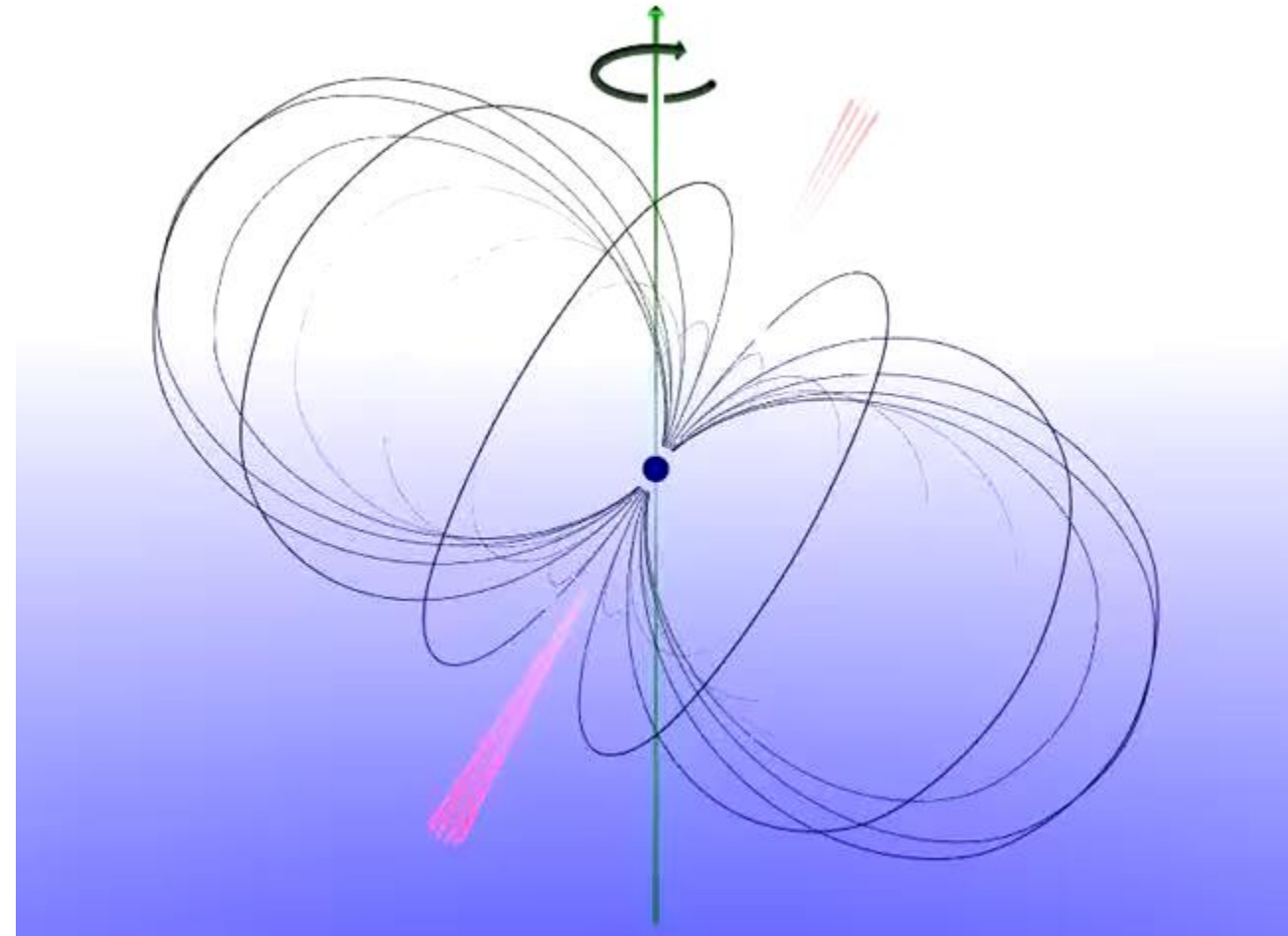
- Le stelle che, collassando, si trasformano in stelle di neutroni, acquisiscono una velocità di rotazione elevatissima, con periodi che vanno da pochi secondi a pochi millisecondi. La pulsar più veloce conosciuta ha un periodo di circa 1.4 millisecondi, e la sua velocità alla superficie è di circa  $0.24c$ .
- Il fenomeno si spiega con la **conservazione del momento angolare**, ed è analogo a quello delle pattinatrici che ruotano su se stesse chiudendo le braccia. La stella originariamente ruota su se stessa, quando si contrae è come se «chiudesse le braccia».





# Pulsar

- Le pulsar hanno fortissimi campi magnetici (da migliaia a miliardi di volte maggiori dei più forti campi magnetici generati in laboratorio)
- Si pensa che vicino ai poli avvenga l'emissione di elettroni, catturati dal campo magnetico e spinti a formare un fascio di radiazioni elettromagnetiche
- Questi campi magnetici non sono allineati con l'asse di rotazione della stella, per cui vediamo il getto attraversare periodicamente la nostra linea di vista

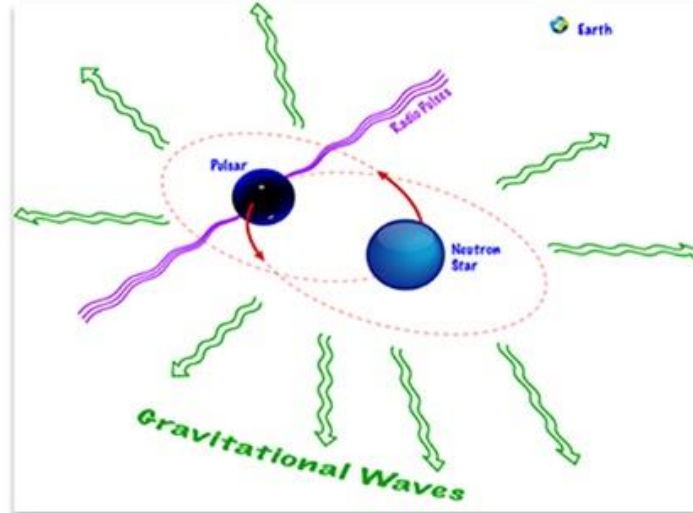


# Relatività e Astrofisica

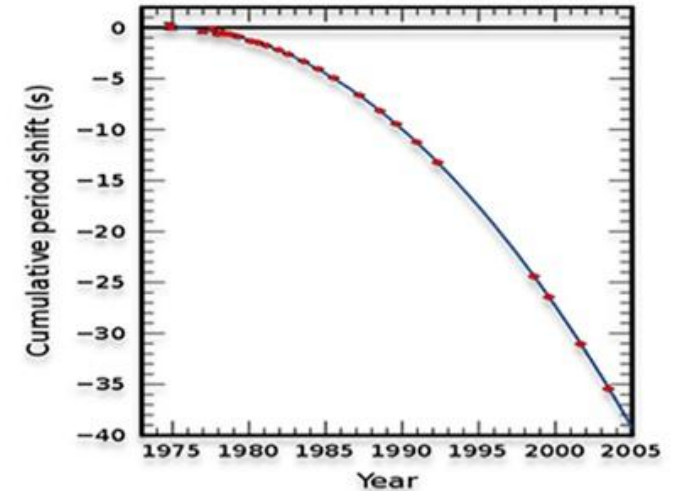
## 4. L'Astrofisica «multimessenger»

# Onde gravitazionali

- Nel 1916 Einstein pubblicò un articolo in cui, sulla base della teoria della Relatività Generale appena pubblicata, si prediceva l'esistenza di **onde gravitazionali**



Hulse-Taylor Binary

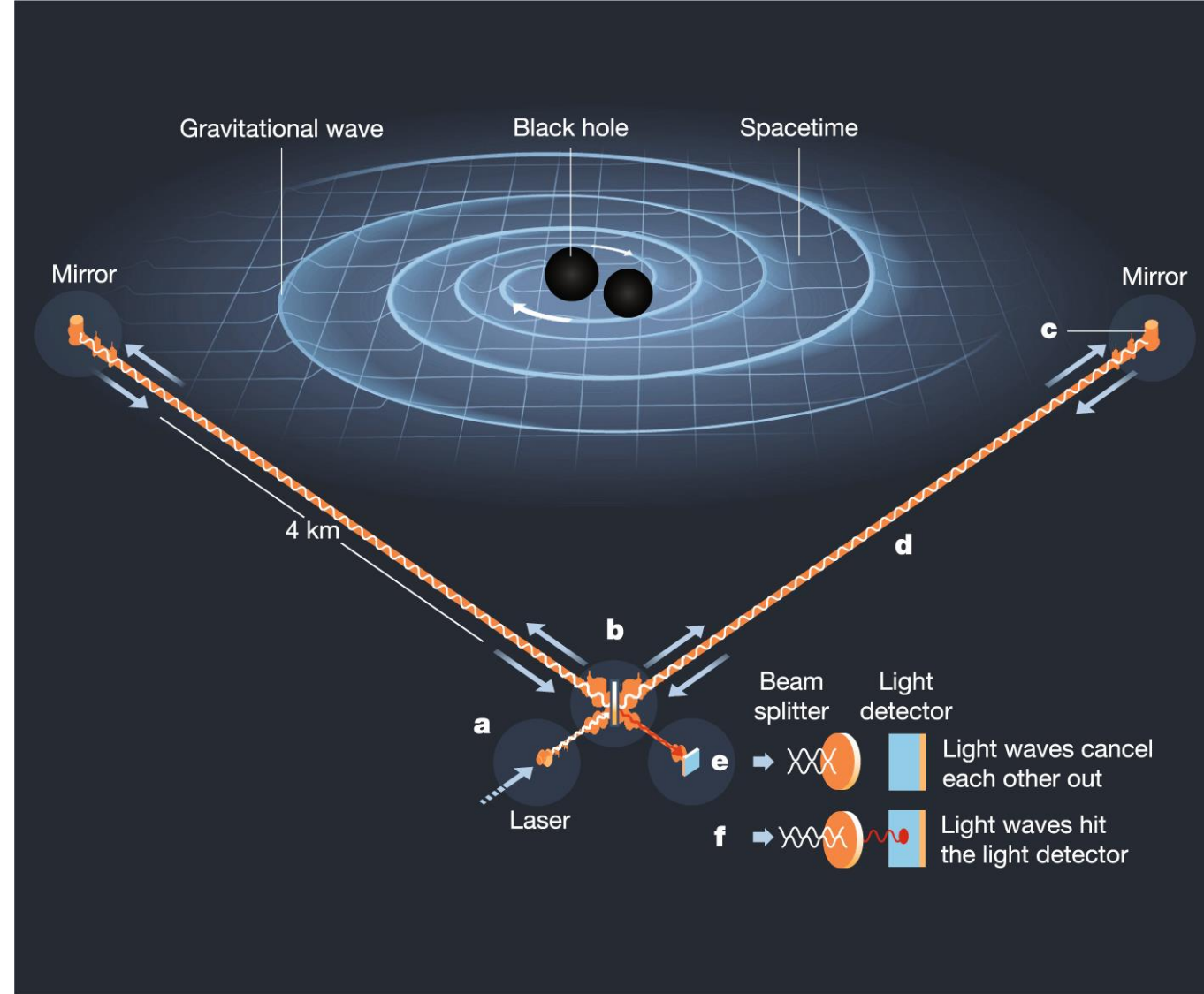


Calculated Slowing Down

- La prima rilevazione indiretta delle onde gravitazionali è del 1993, con l'osservazione del decadimento dell'orbita di una pulsar binaria (PRS B1913+16)

# Onde gravitazionali

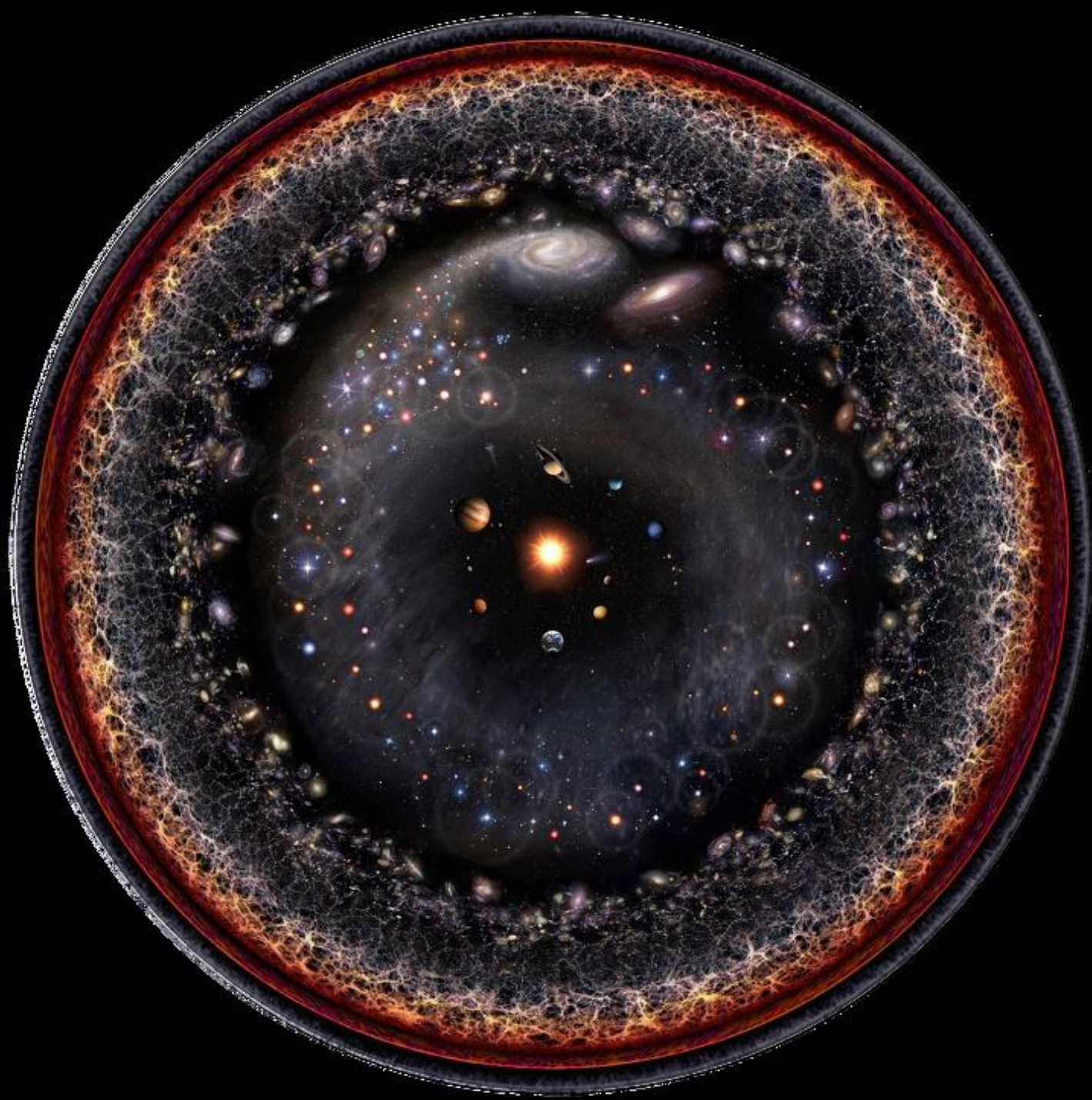
- Nel 1916 Einstein pubblicò un articolo in cui, sulla base della teoria della Relatività Generale appena pubblicata, si prediceva l'esistenza di **onde gravitazionali**



- La prima rilevazione diretta è invece del 2015, con l'osservazione della fusione di due buchi neri stellari

Onde gravitazionali:  
a cosa servono?

Possono arrivare  
là, da dove i fotoni  
si sono fermati!

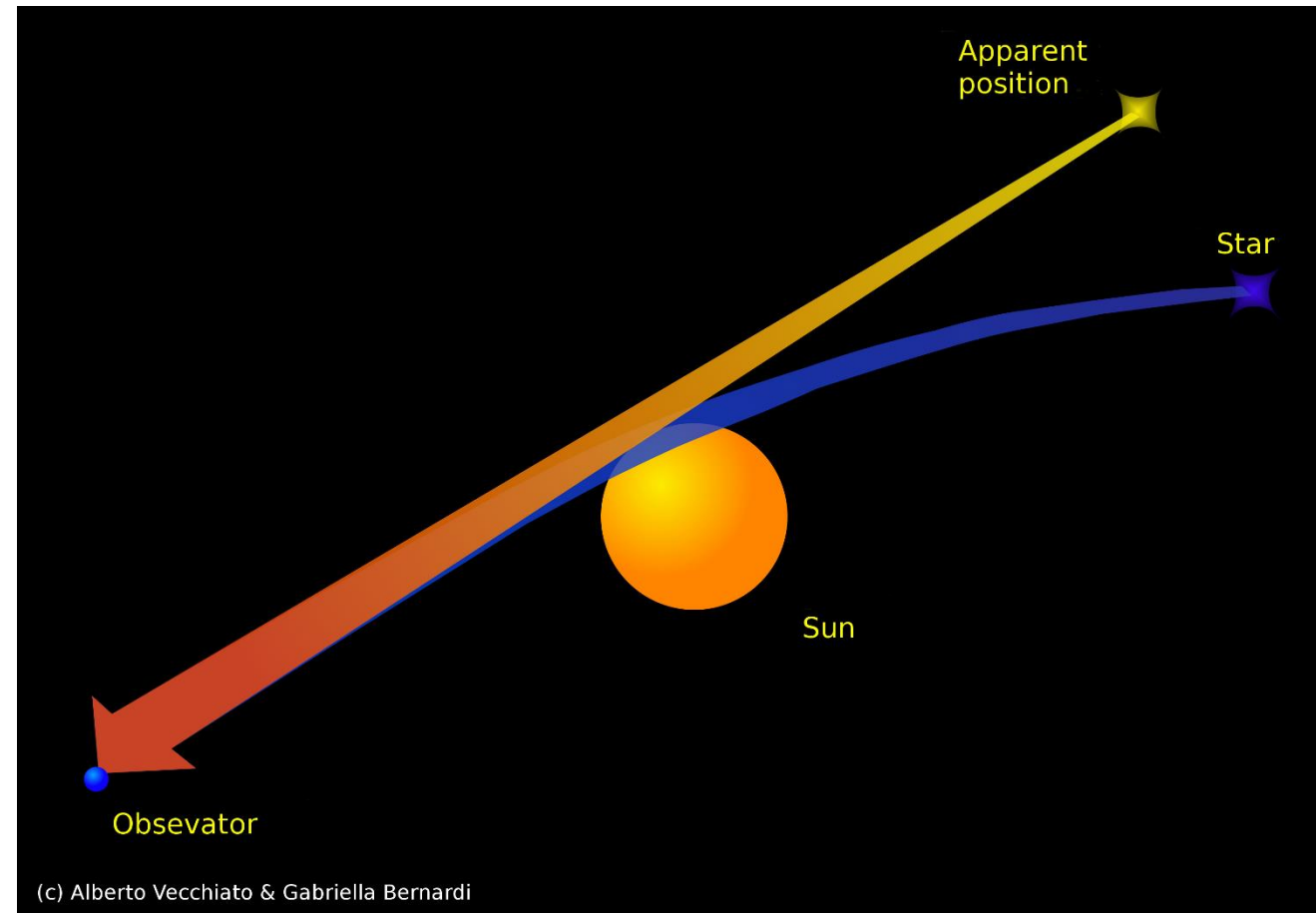


# Relatività e Astrofisica

## 5. Guardare lontano grazie alla Relatività

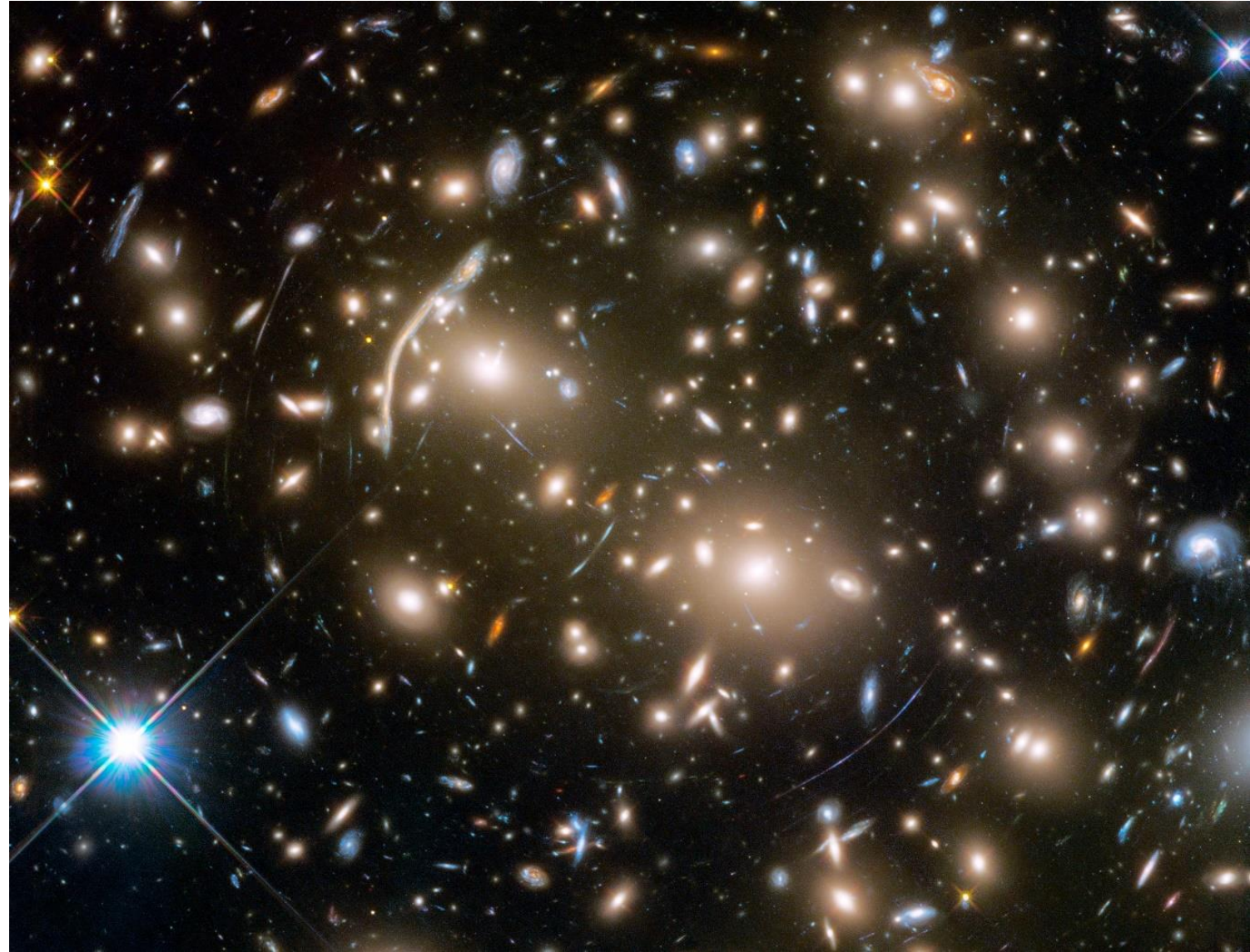
# Deflessione gravitazionale della luce

- La prima previsione della Relatività Generale ad essere stata verificata fu quella della **deflessione gravitazionale della luce**, nel 1919.
- Questo fenomeno è fondamentale in astrofisica, sia nella sua interpretazione «ristretta» che per l'astronomia di posizione ad altissima precisione.



# Le lenti gravitazionali

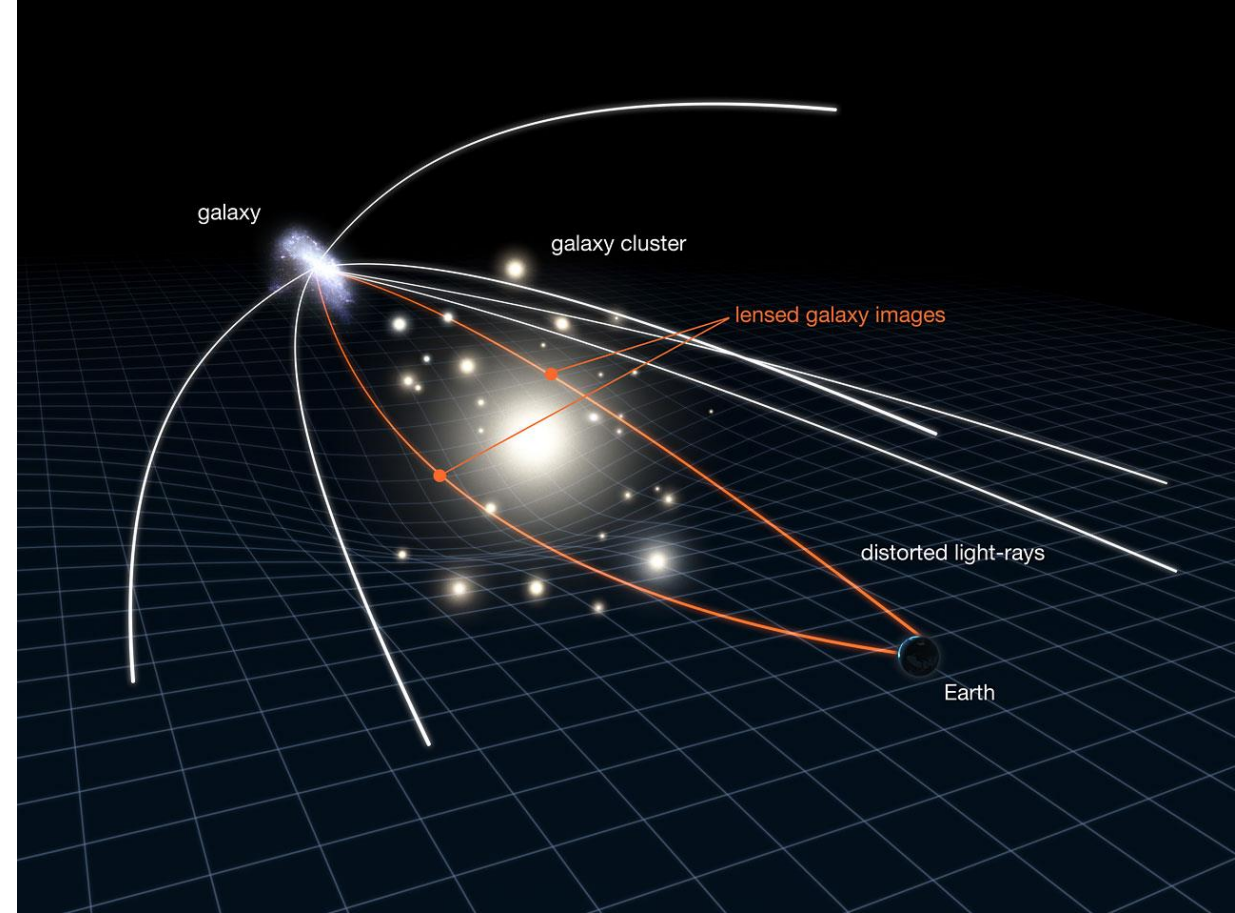
- L'immagine di destra è uno spettacolare effetto dovuto alla deflessione gravitazionale della luce chiamato «lente gravitazionale»





# Le lenti gravitazionali

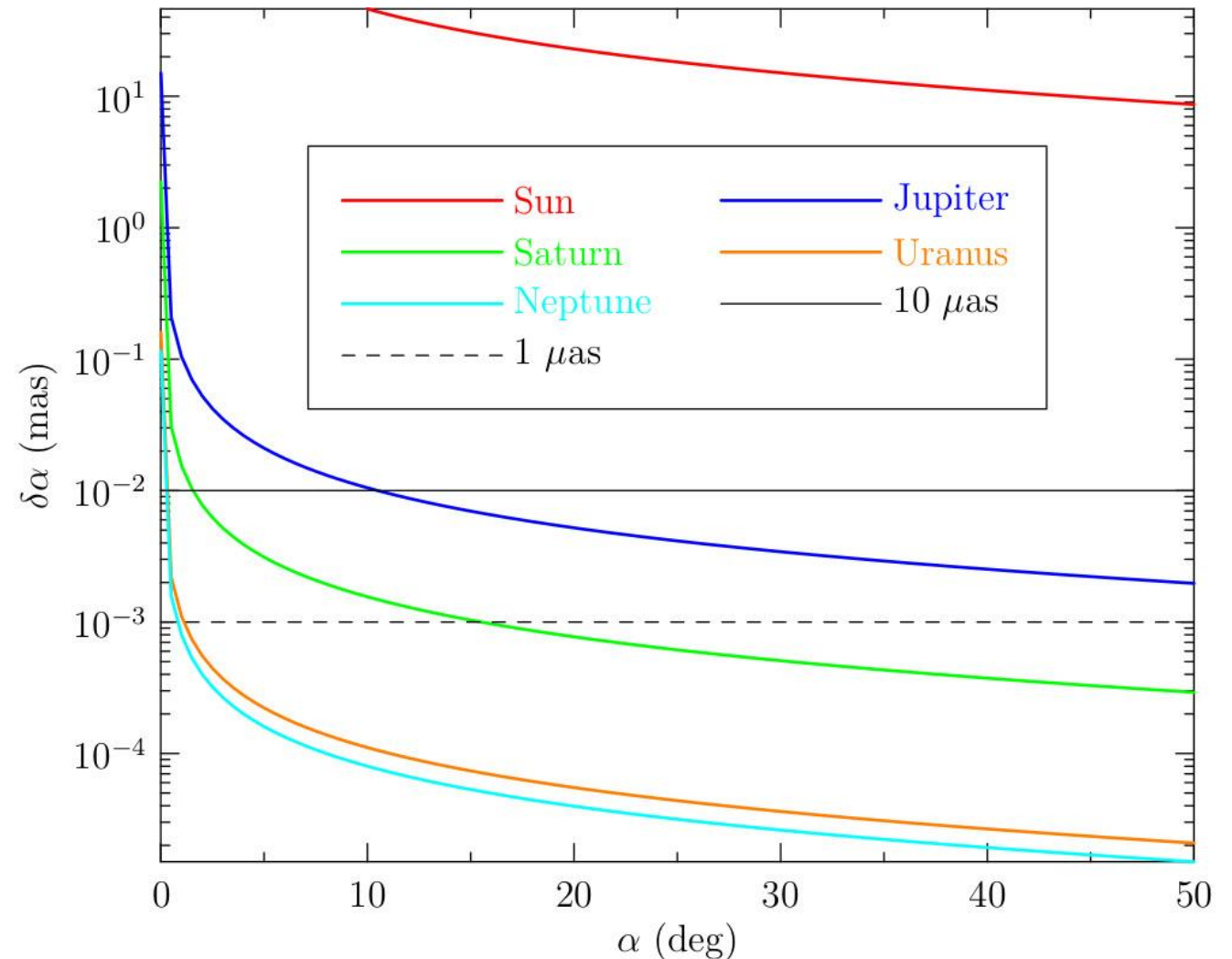
- Grosse concentrazioni di materia, come ammassi di galassie, curvano la luce di altri oggetti che gli stanno prospetticamente dietro, distorcendoli
- Inoltre, come avviene per le lenti dei cannocchiali, la concentrano in una regione relativamente piccola, rendendo visibili oggetti molto lontani
- L'ammontare della distorsione dipende da quanta massa è contenuta nella lente (ammasso di galassie)



Questo è uno dei fenomeni che sono stati usati per **stimare la massa complessiva di remoti ammassi di galassie**, che viene portata come **prova dell'esistenza della Materia Oscura**

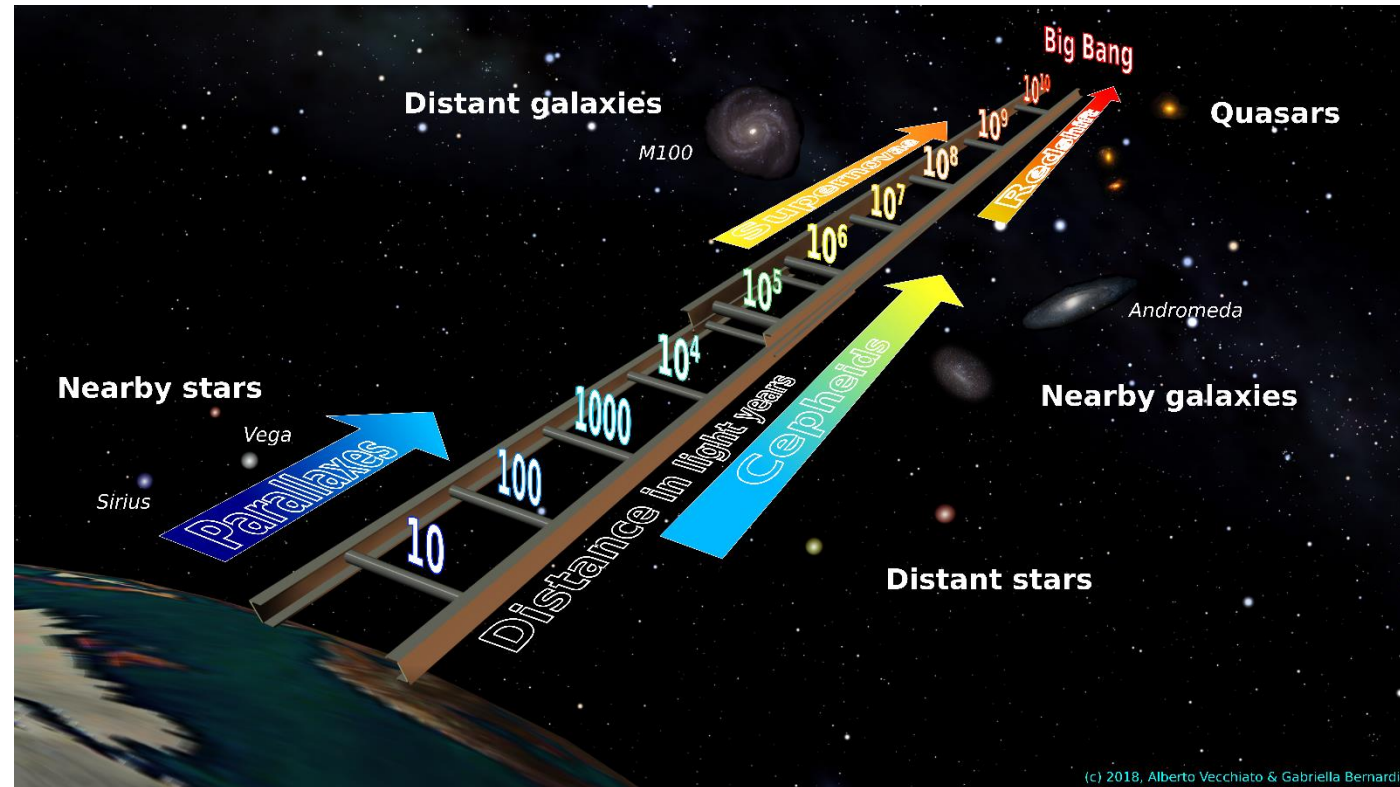
# Deflessione della luce in astrometria

- La luce viene deflessa da qualunque massa, quindi anche dagli oggetti del nostro Sistema Solare
- Quando si vuole fare astrometria di altissima precisione (dal mas in su) bisogna tener conto di questo fenomeno



# Deflessione della luce in astrometria

- La missione **Gaia**, dell'ESA, sta producendo la mappa della nostra Galassia più precisa e più densa mai esistita
- Per la prima volta nella storia, potremo disporre di una mappa galattica che comprenda le distanze (**parallassi**)
- Queste quantità sono fondamentali per poter determinare con precisione le distanze in tutto l'Universo
- La distanza è un parametro fondamentale per qualunque campo di applicazione astrofisico



**Senza la Relatività Generale non potremmo utilizzare correttamente le misure e determinare le parallassi!**

Domande?

# Bibliografia

- Balbi, A. (2019), *L'ultimo Orizzonte*, UTET
- Bernardi, G. e Vecchiato, A.(2019), *Understanding Gaia*, Springer-Praxis
- Carroll, S. M. (2019), *Spacetime and Geometry*, Cambridge University Press
- Choudhuri, A. R. (2010), *Astrophysics for Physicists*, Cambridge University Press
- deGrasse Tyson, N. (2018), *Astrofisica per chi va di fretta*, Raffaello Cortina Editore
- Ghisellini, G. (2019), *Astrofisica per curiosi*, Hoepli
- Lyth, D. (2016), *Cosmology for Physicists*, CRC Press
- Vaas, R. (2019), *Segnali di gravità*, Libreria Geografica
- Vecchiato, A. (2017), *Variational Approach to Gravity Field Theories*, Springer