



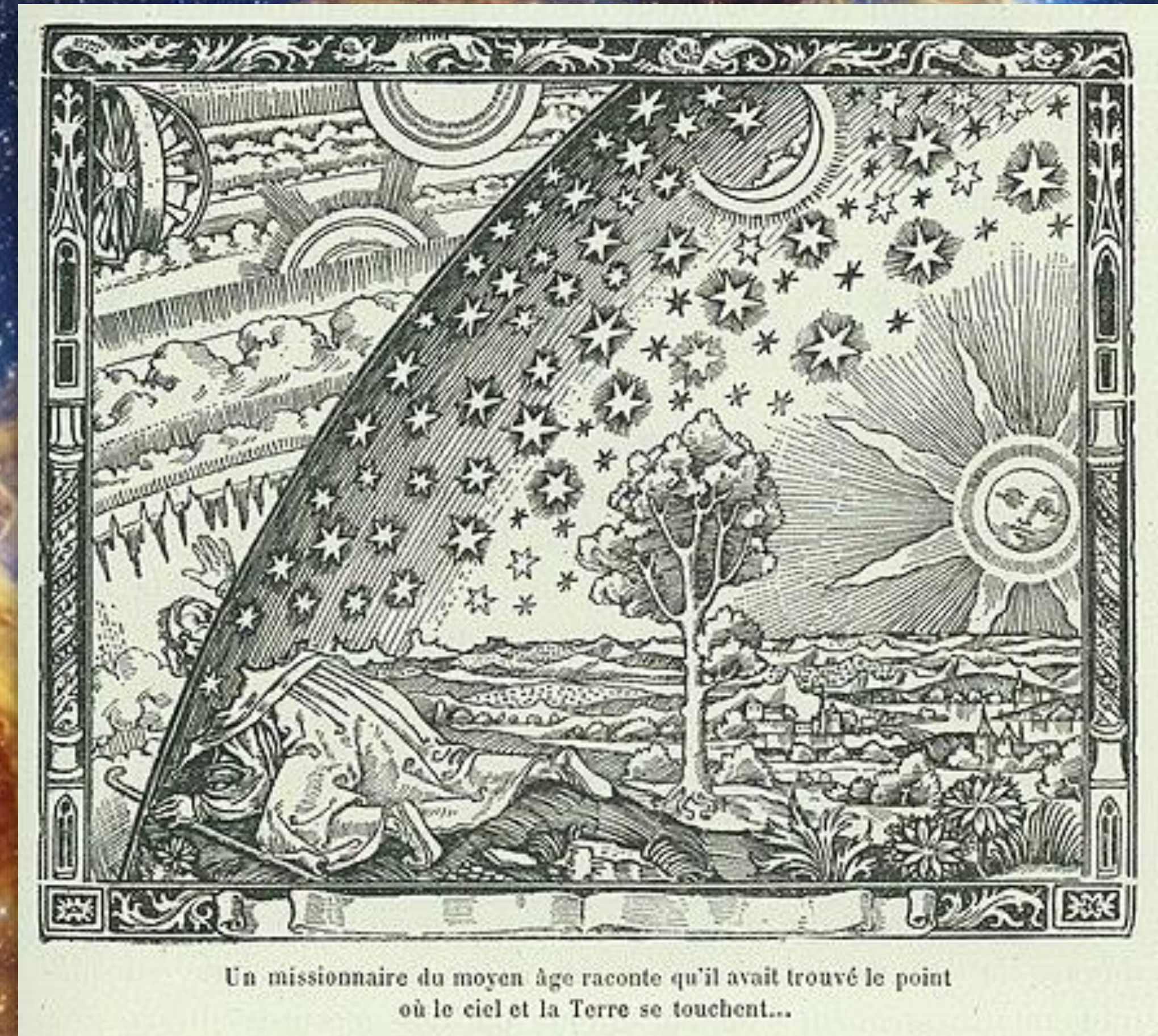
L'Evoluzione dell'Universo

Giulio Ferrarini

Storia di un'ipotesi

Il problema dell'origine prima della scienza

- Da sempre l'Uomo si è interessato di comprendere la reale struttura del Mondo. Il suo desiderio gnoseologico ha dapprima trovato sfogo nei miti attraverso immagini familiari riuscivano a spiegare alcuni dettagli e finalità della Creazione. Poi attraverso la Filosofia egli ha cominciato a identificare il Principio in varie sostanze, come fecero i filosofi greci Talete, Anassagora, Democrito e altri.



Storia di un'ipotesi

I primi modelli

- Le discussioni di tali filosofi, nell'epoca in cui scienza e filosofia non erano distinte, portarono al concepimento del sistema Tolemaico in grado di spiegare da un punto di vista quantitativo i movimenti dei pianeti e degli astri pur mantenendo la Terra al centro ed utilizzando un complicato sistema di orbite circolari ed epicicli (ovvero di particolari orbite dei pianeti stessi attorno ad un punto dell'orbita attorno alla terra). Questo modello (trovando favore nella filosofia aristotelica e scolastica poi) perdurò per tutto il Medioevo.



Storia di un'ipotesi

Il modello Copernicano e Tolemaico

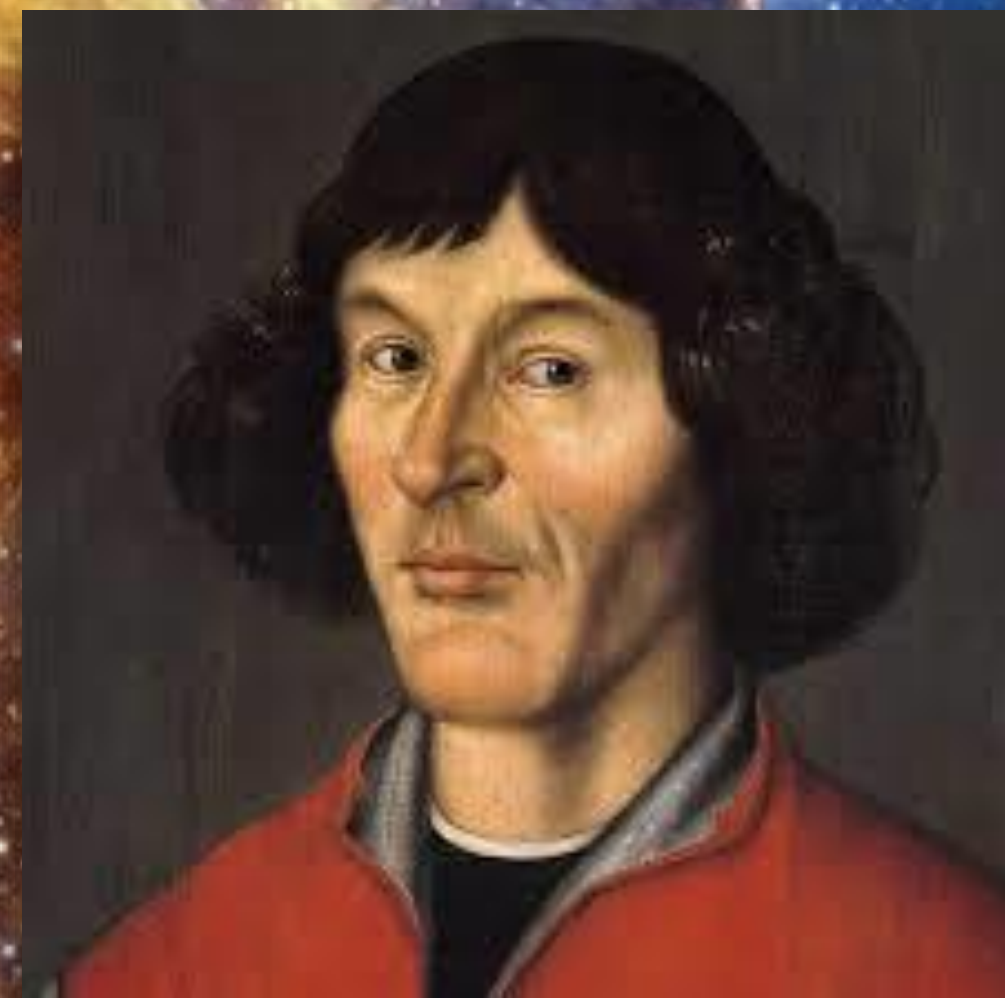
- Tuttavia nel XVI secolo, l'astronomo polacco Niccolò Copernico propose un'alternativa che vedeva il Sole al centro dell'Universo, pur non abbandonando alcuni risvolti aristotelico-tolemaici, già trattati nel *De caelo* e nell'*Almagesto*, e che confluirono nel suo lavoro *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Questi aspetti riguardavano, per esempio, la circolarità delle orbite e l'immutabilità della volta celeste.



Storia di un'ipotesi

La Rivoluzione Scientifica

- I lavori successivi di Keplero e Galileo diedero al modello Copernicano vera rilevanza teorica e sperimentale, aggiungendo anche alcune modifiche. Fu poi Newton nei suoi *Principia* ad elaborare una visione fisica matematica dell'Universo, regolata dalla Gravitazione Universale. Tuttavia le osservazioni che venivano compiute "bandirono" la sfera delle stelle fisse (che era per così dire il "confine" dell'Universo posto nell'antichità) e venne così concepito l'idea di uno spazio infinito al cui interno dei trovavano gli astri ed, in particolare, il nostro Sistema Solare.



Storia di un'ipotesi

Quando è incominciato tutto?

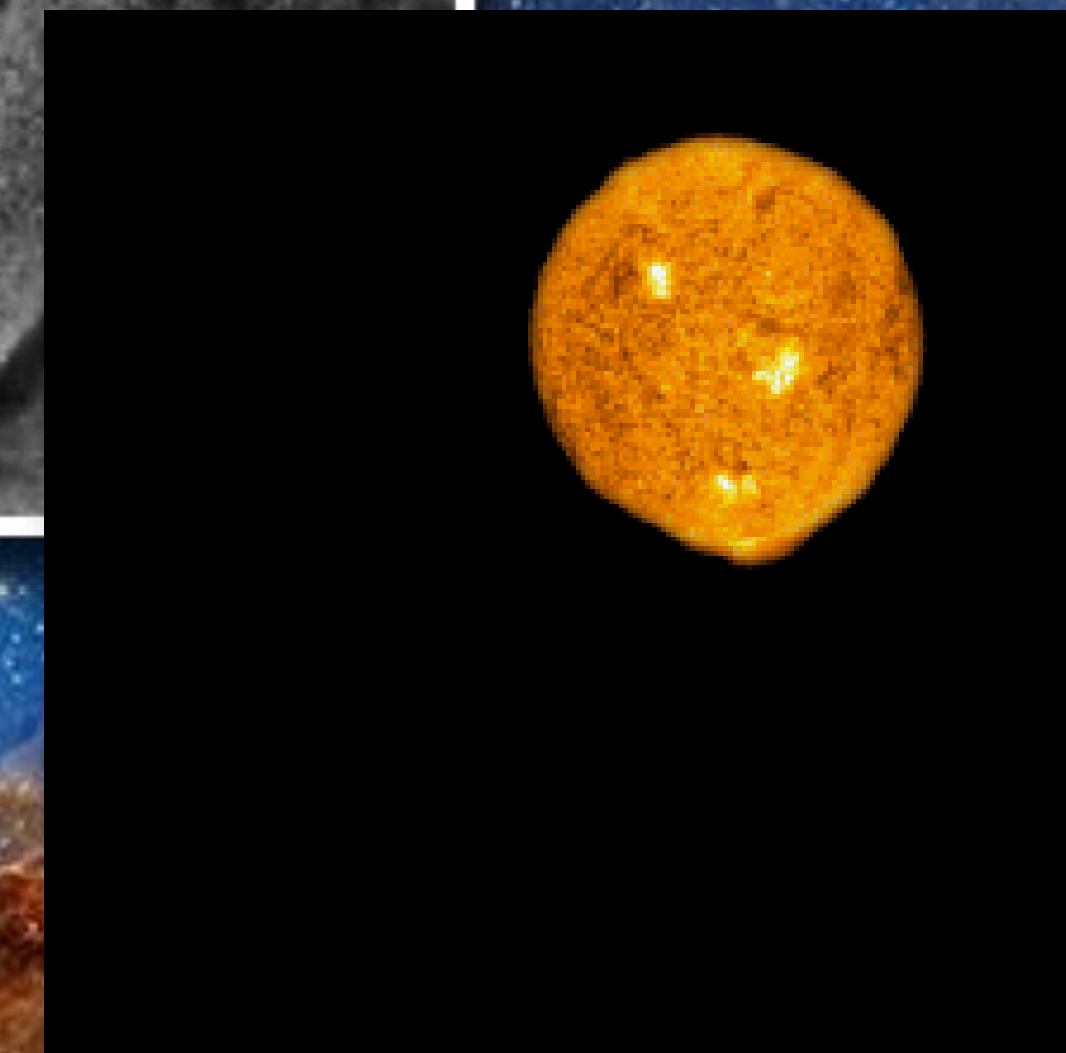
- Il primo a porsi questa domanda, sebbene relativamente solo al Sistema Solare, fu Laplace il quale provò (sulla base della meccanica newtoniana affinata dai suoi lavori oltre a quelli di molti altri fisici e matematici) a dare una risposta. Egli riteneva che il nostro Sistema fosse nato dal collasso di una nube di gas primordiale. Questa ipotesi verrà ripresa dal filosofo Immanuel Kant e da altri e sopravvive ancora oggi (sebbene in maniera più elaborata)



Storia di un'ipotesi

Alcune problematiche

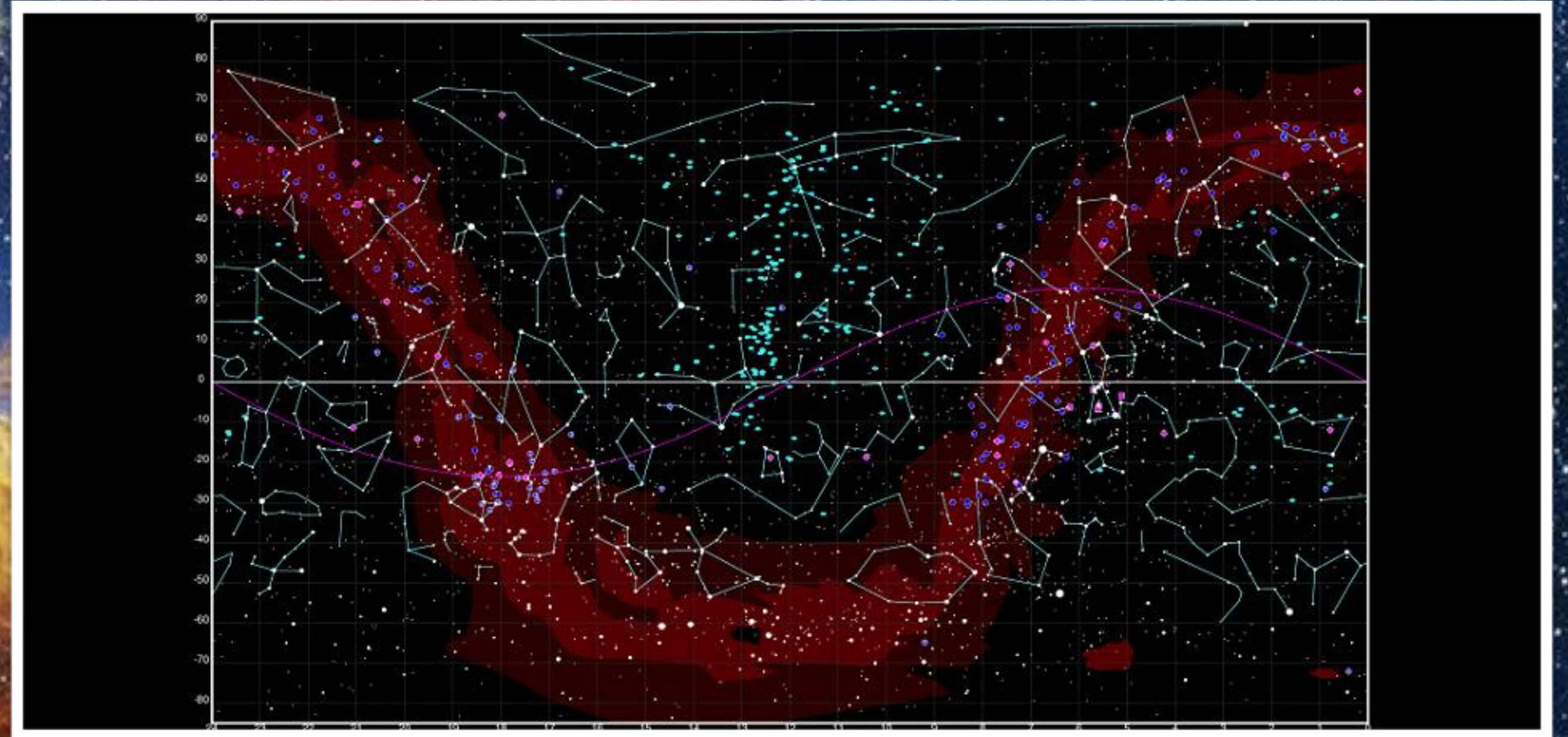
- La scoperta di nebulose emessi stellari sempre più numerosi poneva in luce alcune problematiche assumendo l'esistenza di un Universo infinito. Celebre ad esempio è il paradosso di Olbers che ,partendo da una semplice constatazione dell'oscurità del cielo stellato di notte dimostra l'inconsistenza dell'ipotesi di un universo infinito secondo la concezione dell'epoca.



Storia di un'ipotesi

Nuove tecniche

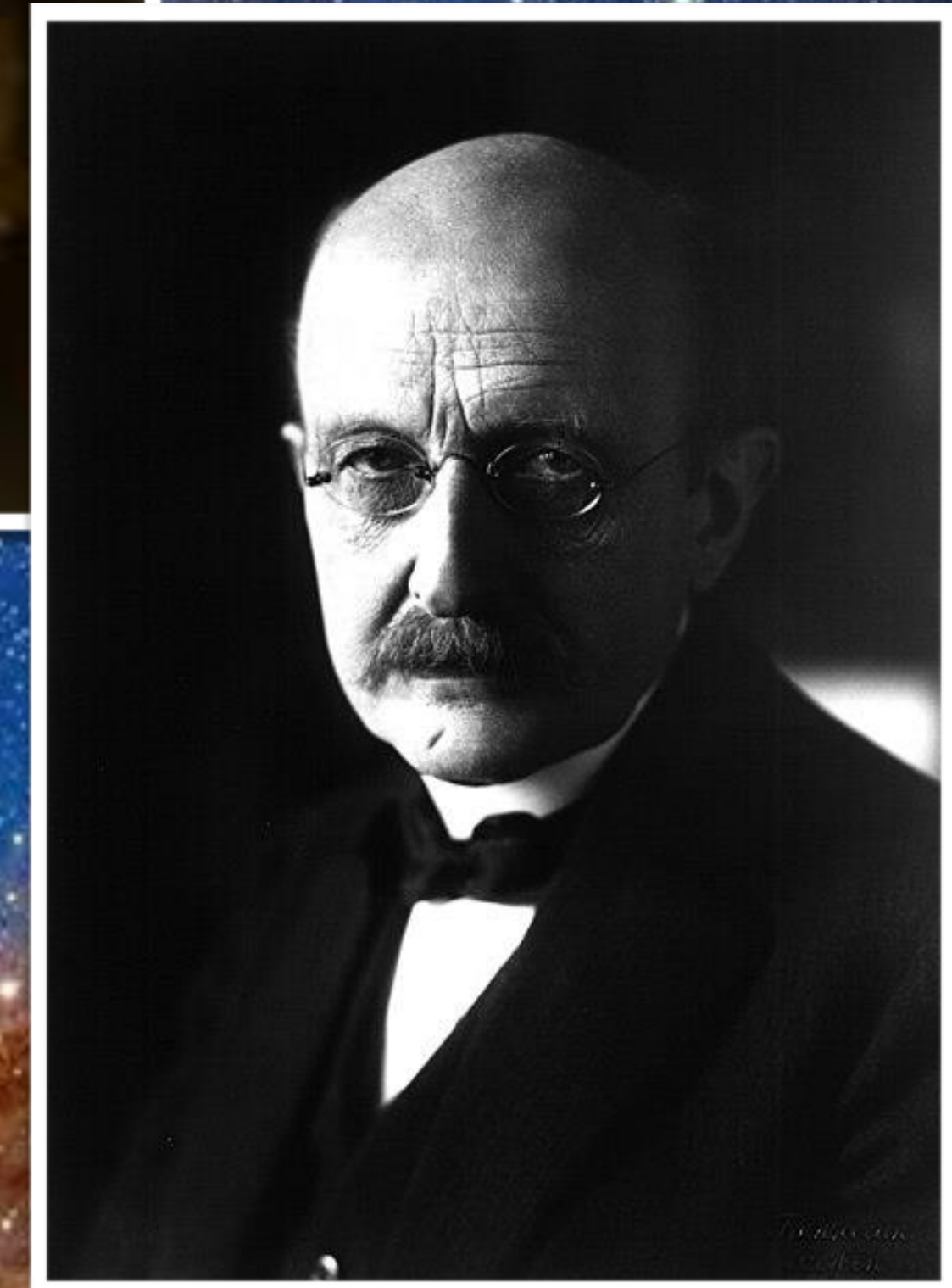
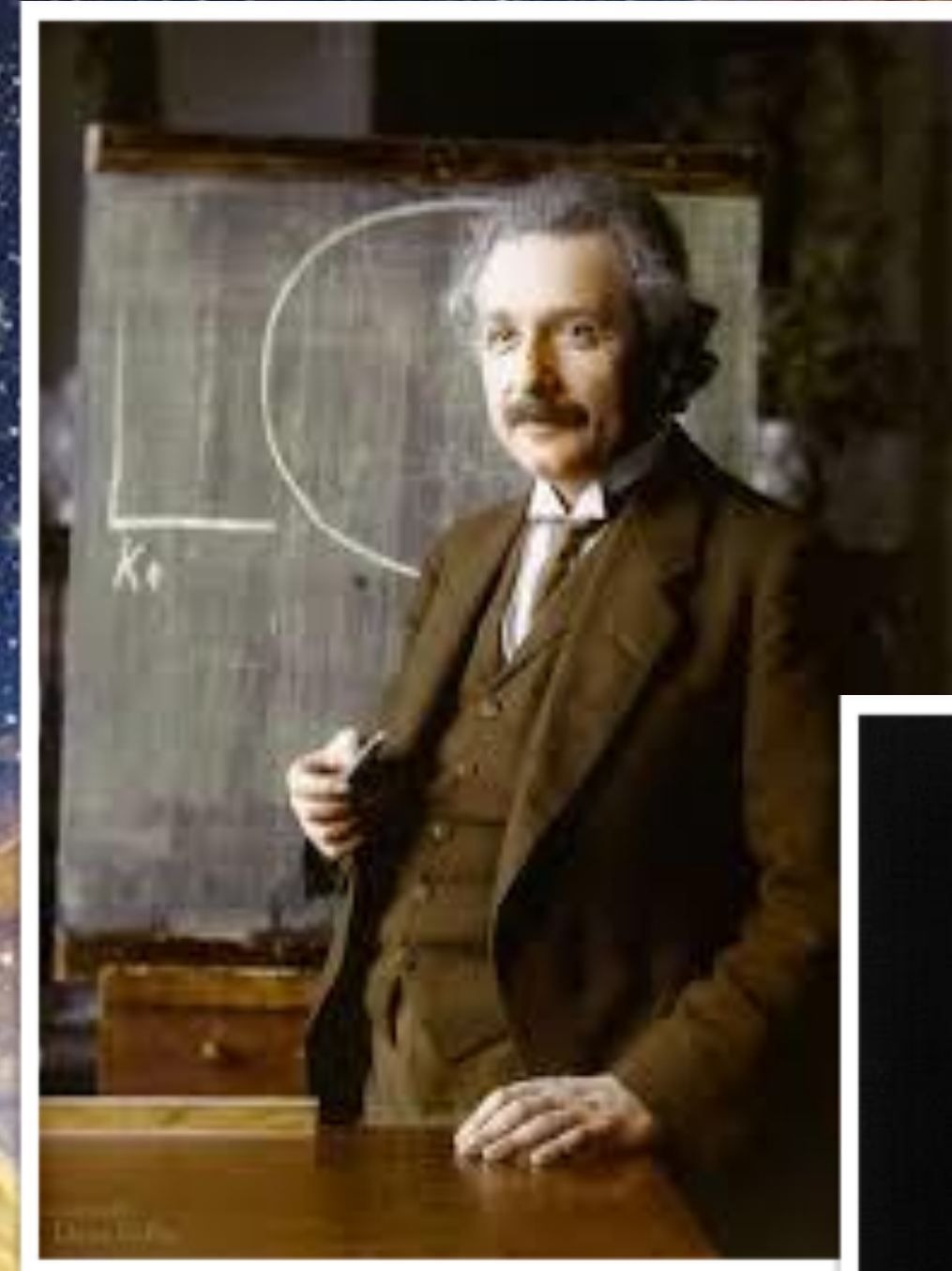
- Fra l'Ottocento e il Novecento apparvero nuove tecniche quali la fotografia e la misurazione della distanza delle varie nebulose (che ormai si era compreso essere veri e propri sistemi galattici differenti dalla Via Lattea, la nostra "casa" fra gli ammassi galattici) attraverso la misurazione della luminosità di particolari stelle come le cefeidi. Queste misurazioni portarono ad incredibili scoperte che affinarono le tecniche di osservazione permettendo una nuova e più precisa conoscenza anche dei materiali "contenuti" all'interno degli astri (attraverso una tecnica detta spettroscopia).



Storia di un'ipotesi

Nuove Teorie

- All'inizio del Novecento due nuove teorie presero il posto della fisica classica ed incominciarono l'indagine dell'Universo come la intendiamo noi. La Meccanica Quantistica e la Relatività. La prima sosteneva che a scale molto basse, subatomiche, il comportamento delle particelle fosse affatto deterministico ma legato a un principio di indeterminazione che introduceva nella Fisica un approccio probabilistico alla realtà. La seconda sosteneva che spazio e tempo non fossero due entità assolute ma suscettibili di deformazione, il cui risultato era la ben nota forza di Gravità Newtoniana.



Storia di un'ipotesi

L'espansione dell'Universo

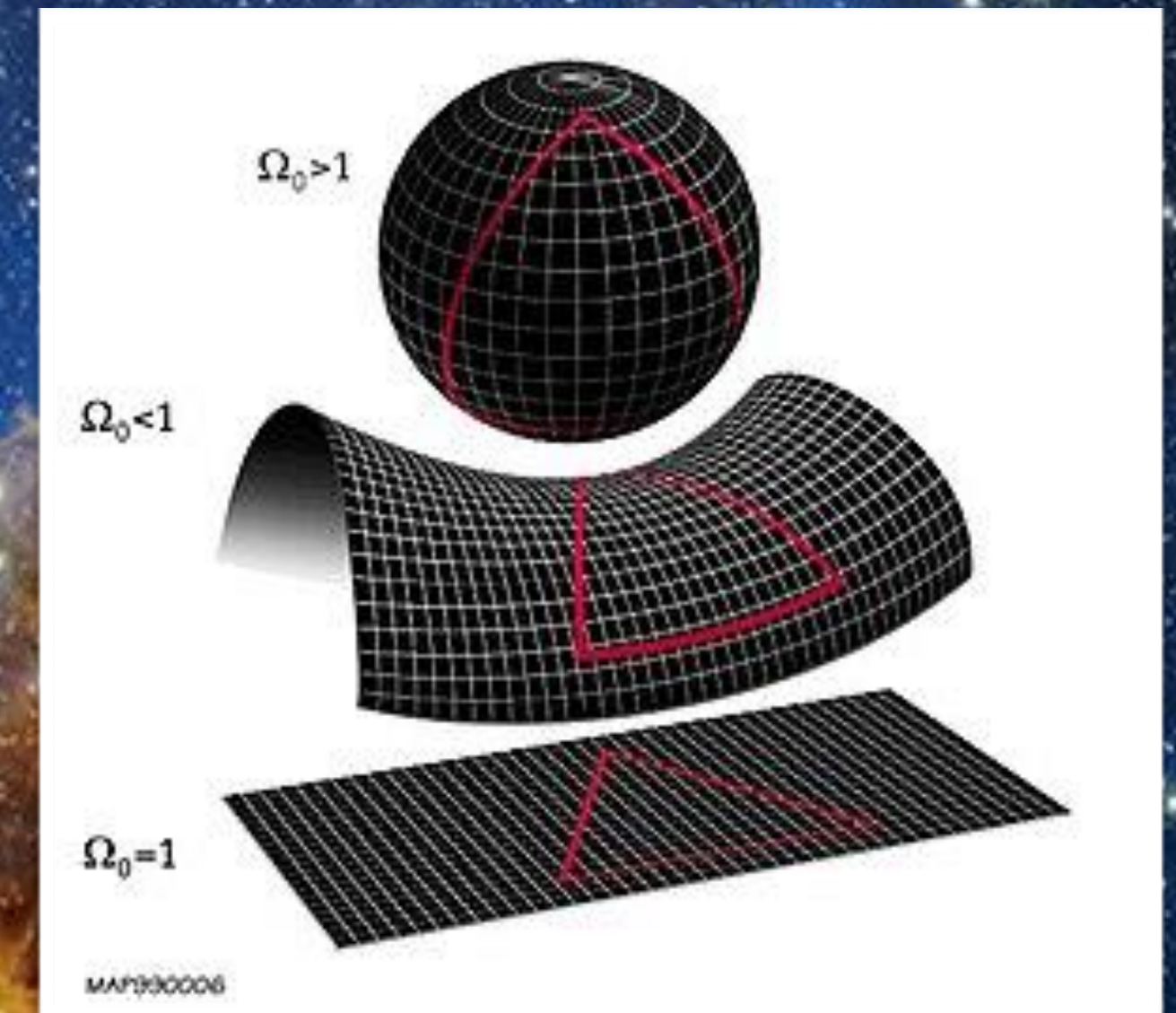
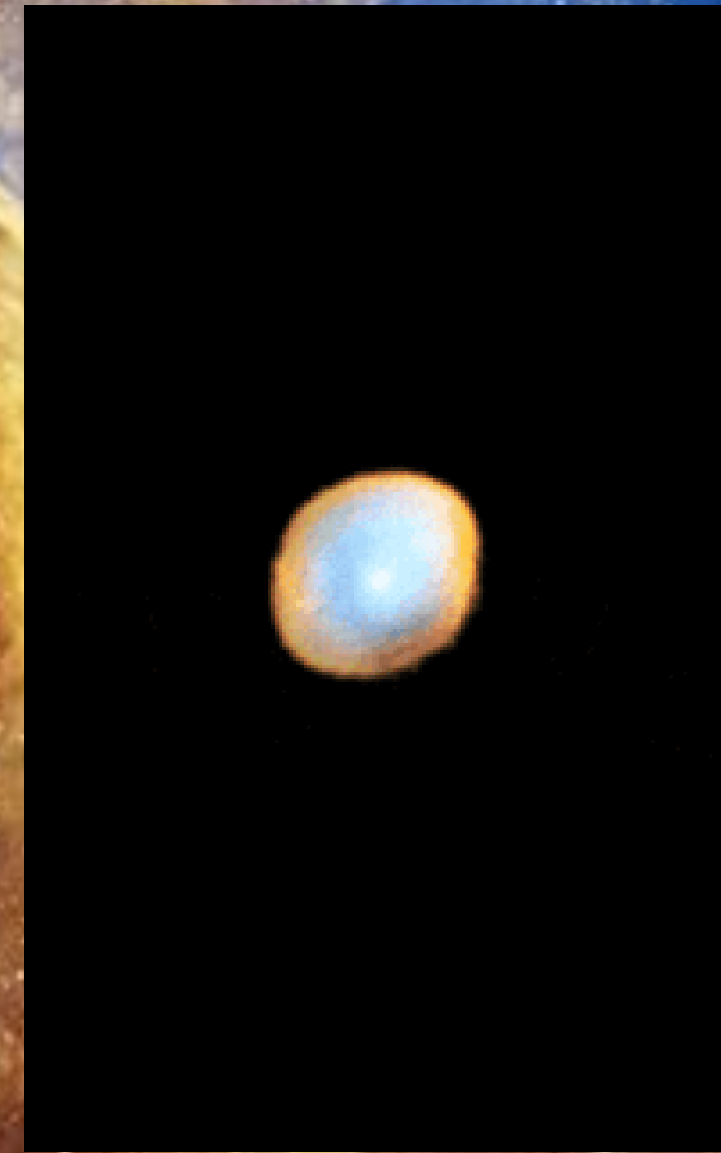
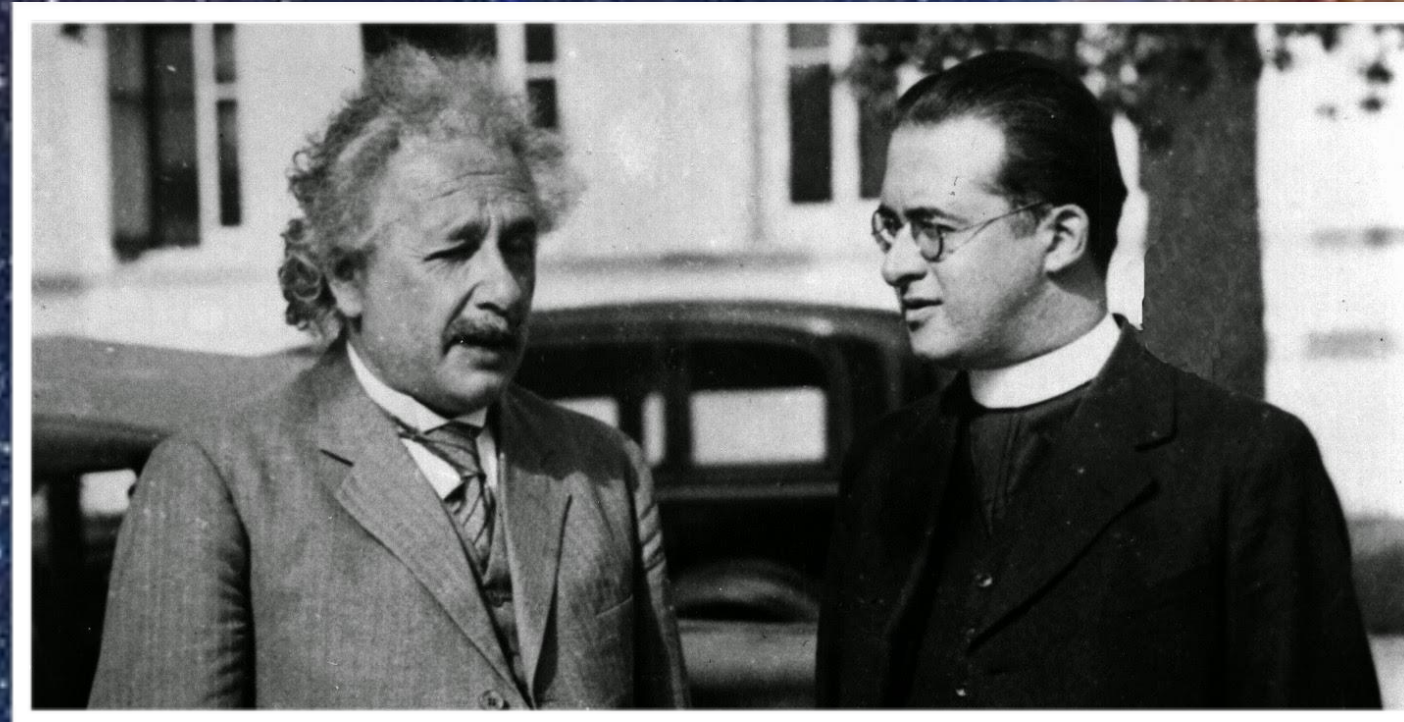
- Le teorie di Einstein, in particolare predicevano l'esistenza di un Universo in espansione ma anch'egli, piuttosto scettico riguardo questa possibilità preferì "truccare" le equazioni ponendo una Costante Cosmologica in grado di mantenere l'Universo in uno stato stazionario. Tuttavia le osservazioni di Hubble e Slipher contribuirono a mettere in crisi quest'idea: le prove infatti mostravano un redshift della luce proveniente dalla maggior parte delle galassie attorno a noi, il quale indicava un probabile allontanamento della luce.



Storia di un'ipotesi

Il "Grande Botto"

- I lavori successivi di Lemaitre e Friedmann concepirono l'idea di una grande "espansione" da un "atomo primordiale" da cui era nato tutto. In particolare Friedmann prediceva l'esistenza di più modelli di Universo che si differenziavano per la loro geometria. Questa ipotesi, per via di un certo sapore quasi "biblico", incontrò molte resistenze all'interno della comunità scientifica.



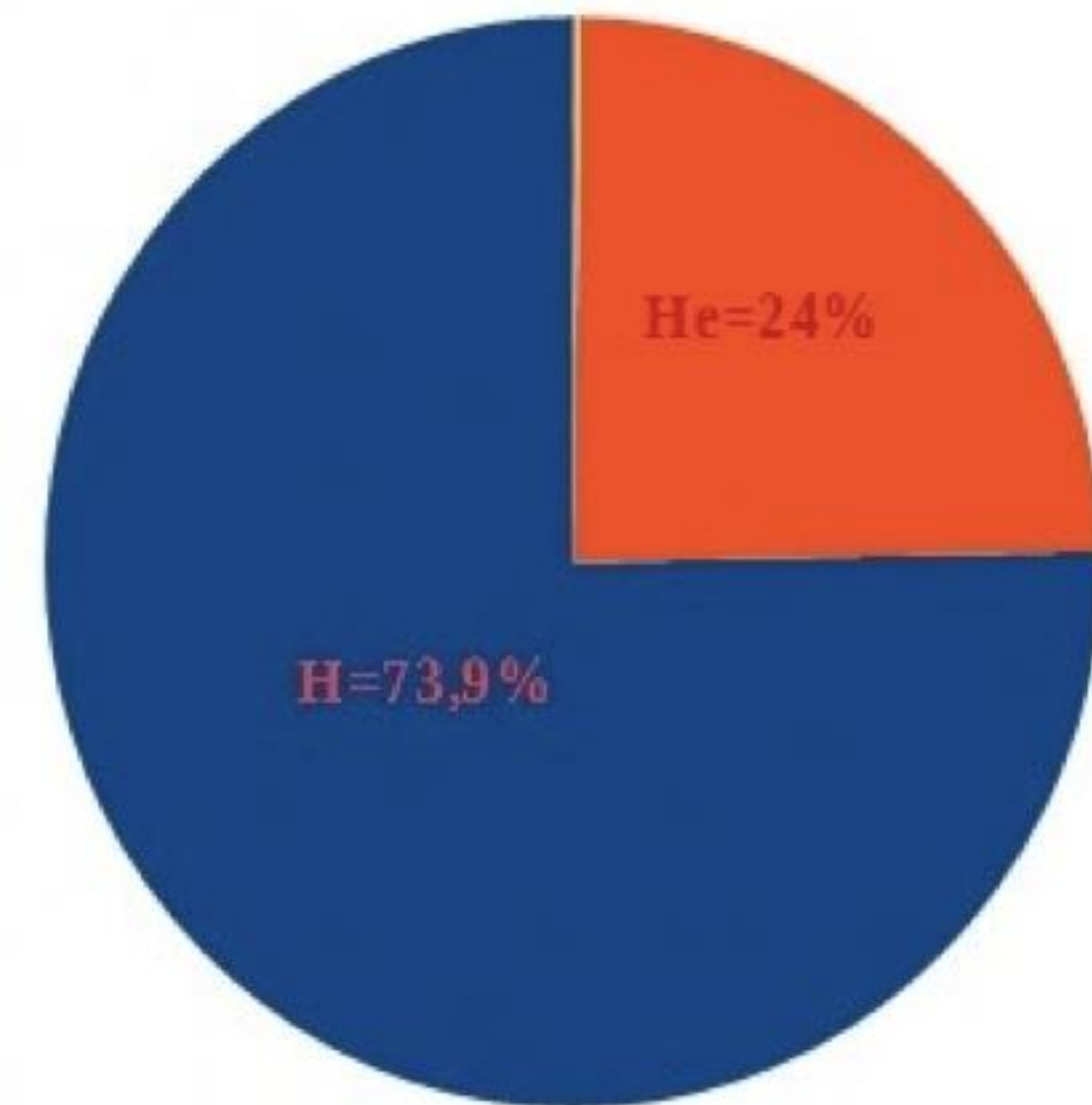
Le prove

I primi tre minuti

- Alcune ricerche successive (si pensi ai lavori fondamentali di Gamow) che dimostrarono come nell'Universo ad alte temperature dell'inizio avrebbe dovuto esserci una grande concentrazione di Idrogeno ed elio (prodotti dalle grandi reazioni di fusione avvenute nei celebri "primi tre minuti". Tale abbondanza di questi elementi all'interno dell'universo venne poi ampiamente confermata e ciò divenne una delle prove fondamentali su cui si appoggiava l'ipotesi del Big Bang.



Abbondanza % in massa degli elementi chimici nell'Universo visibile

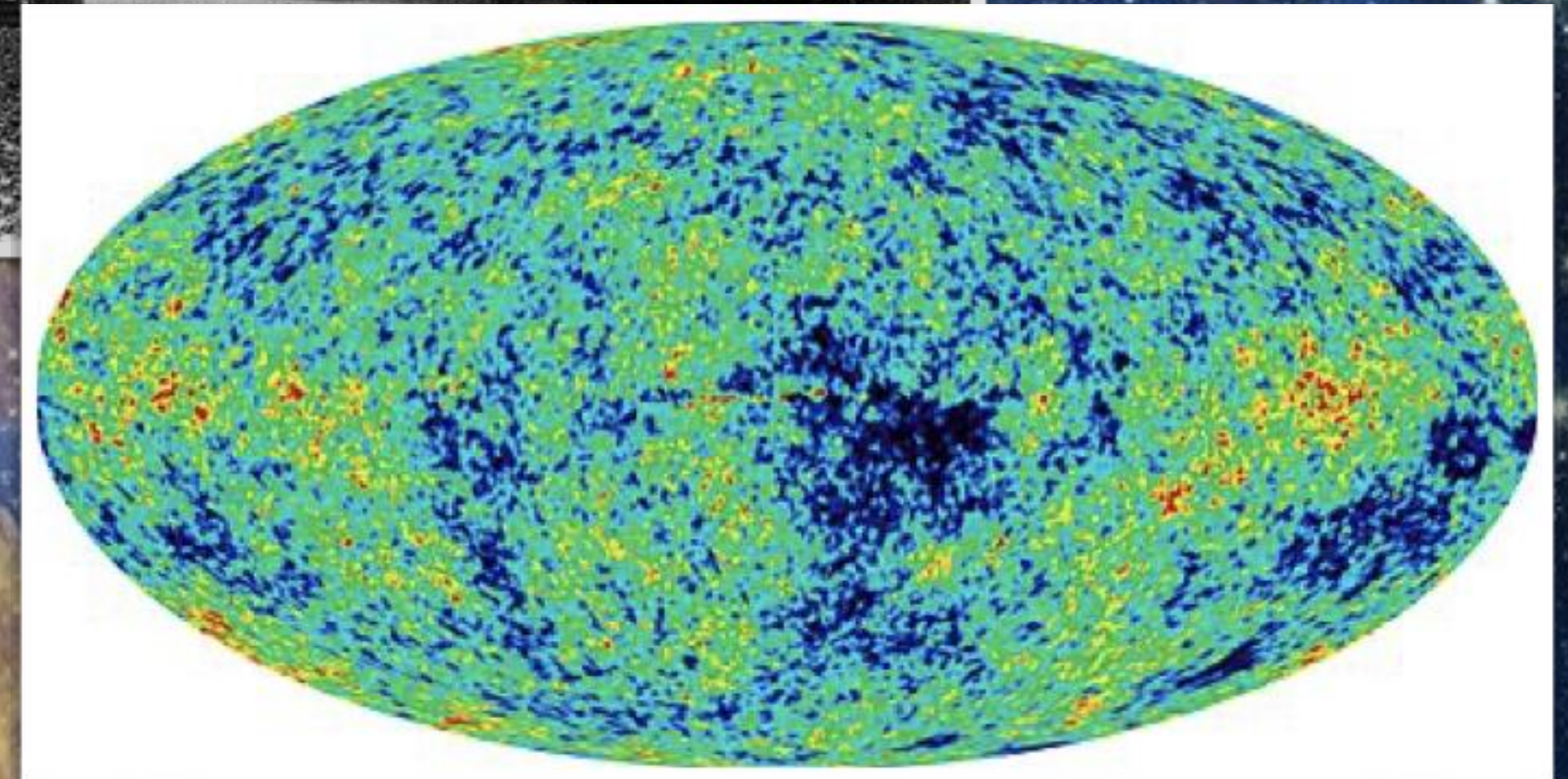
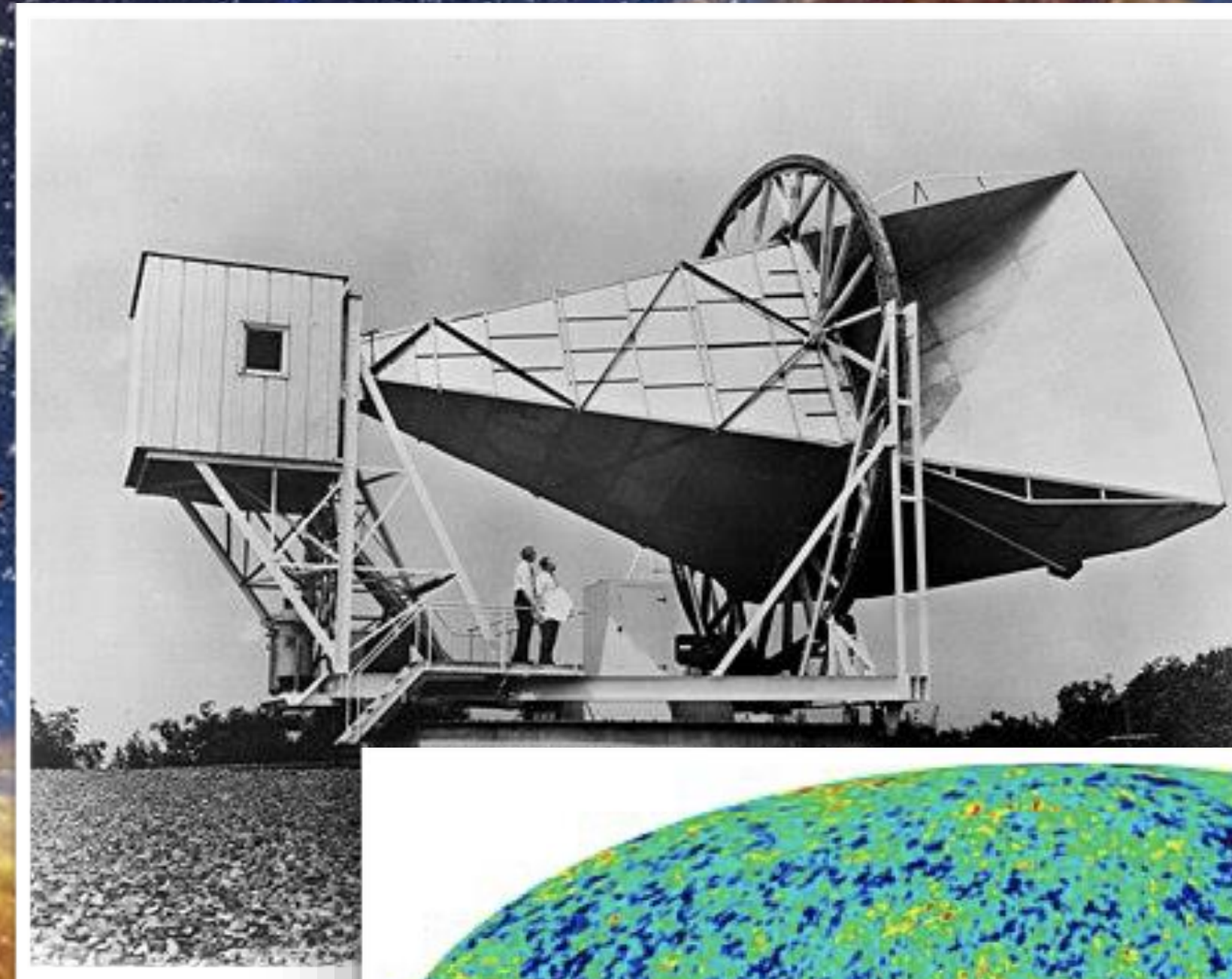


H=73,9%
He=24%
O=0,104%
C=0,046%
Ne=0,013%
Fe=0,011%
N=0,009%
Si=0,007%
Mg=0,006%
S=0,004%

Le prove

Una scoperta quasi casuale

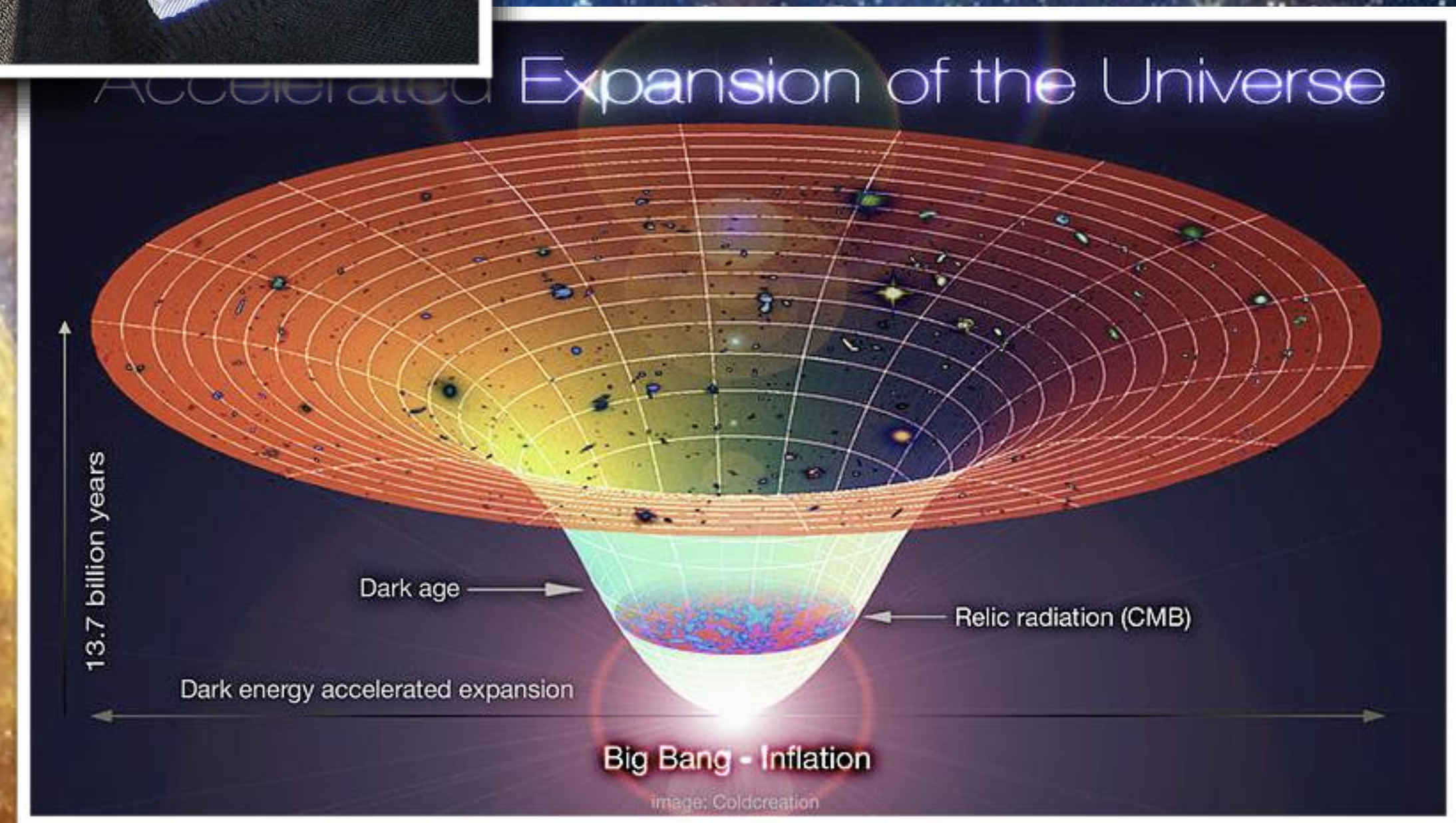
- Un'altra prova è considerata fondamentale all'interno di questa ipotesi. Oltre a predire una certa disposizione degli elementi primordiali all'interno dell'Universo delle origini, lavori successivi predissero anche l'esistenza di una radiazione da corpo nero risolta a circa 380.000 anni dopo il Big Bang. Questa radiazione era scaturita dalla "separazione" della materia dall'energia e avrebbe dovuto avere una temperatura di 2,725 gradi Kelvin e avrebbe dovuto presentare alcune caratteristiche come l'essere emessa da tutte le direzioni. La CMBR (*Cosmic Microwave Background Radiation*) fu scoperta nel 1964 dagli astronomi statunitensi Arno Penzias e Robert Woodrow Wilson (al termine di studi avviati negli anni 1940 da Alpher ed Herman), che vinsero per questo il Premio Nobel per la fisica nel 1978. La scoperta fu un evento quasi casuale in quanto Penzias e Wilson erano stati coinvolti solamente nelle riparazioni di un'antenna nel New Jersey.



Nuovi orizzonti

L'inflazione

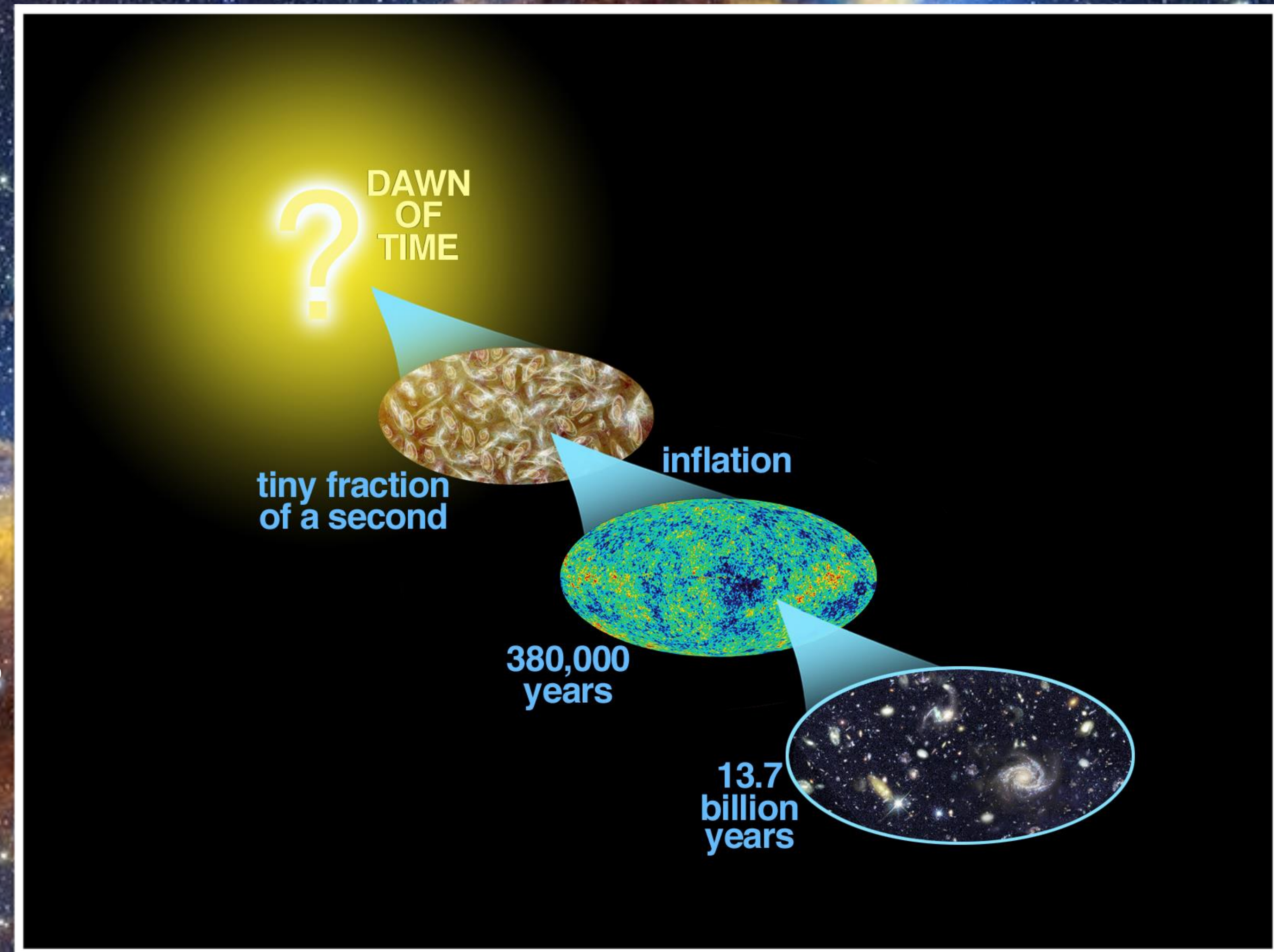
- L'inflazione cerca di risolvere diversi problemi della cosmologia del Big Bang scoperti negli anni '70. Essa fu proposta per la prima volta da Alan Guth nel 1979. Un universo in espansione ha generalmente un orizzonte cosmologico che, per analogia con il più familiare orizzonte causato dalla curvatura della superficie terrestre, segna il confine della parte dell'Universo che un osservatore può vedere. La luce (o altra radiazione) emessa da oggetti oltre l'orizzonte cosmologico in un universo in accelerazione non raggiunge mai l'osservatore, perché lo spazio tra l'osservatore e l'oggetto si sta espandendo troppo rapidamente. L'universo osservabile è una zona causale di un universo non osservabile molto più grande. ; altre parti dell'Universo non possono ancora comunicare con la Terra. Queste parti dell'Universo sono al di fuori del nostro attuale orizzonte cosmologico. Nel modello standard del big bang caldo, senza inflazione, l'orizzonte cosmologico si sposta, mostrando nuove regioni. Tuttavia, quando un osservatore locale vede una regione del genere per la prima volta, non appare diversa da qualsiasi altra regione dello spazio che l'osservatore locale ha già visto: la sua radiazione di fondo è quasi alla stessa temperatura della radiazione di fondo di altre regioni, e la sua radiazione di fondo è quasi alla stessa temperatura della radiazione di fondo di altre regioni. la curvatura dello spazio-tempo si sta evolvendo di pari passo con le altre. Ciò presenta un mistero: come facevano queste nuove regioni a sapere quale temperatura e curvatura avrebbero dovuto avere?



Nuovi orizzonti

Cos'è l'inflazione?

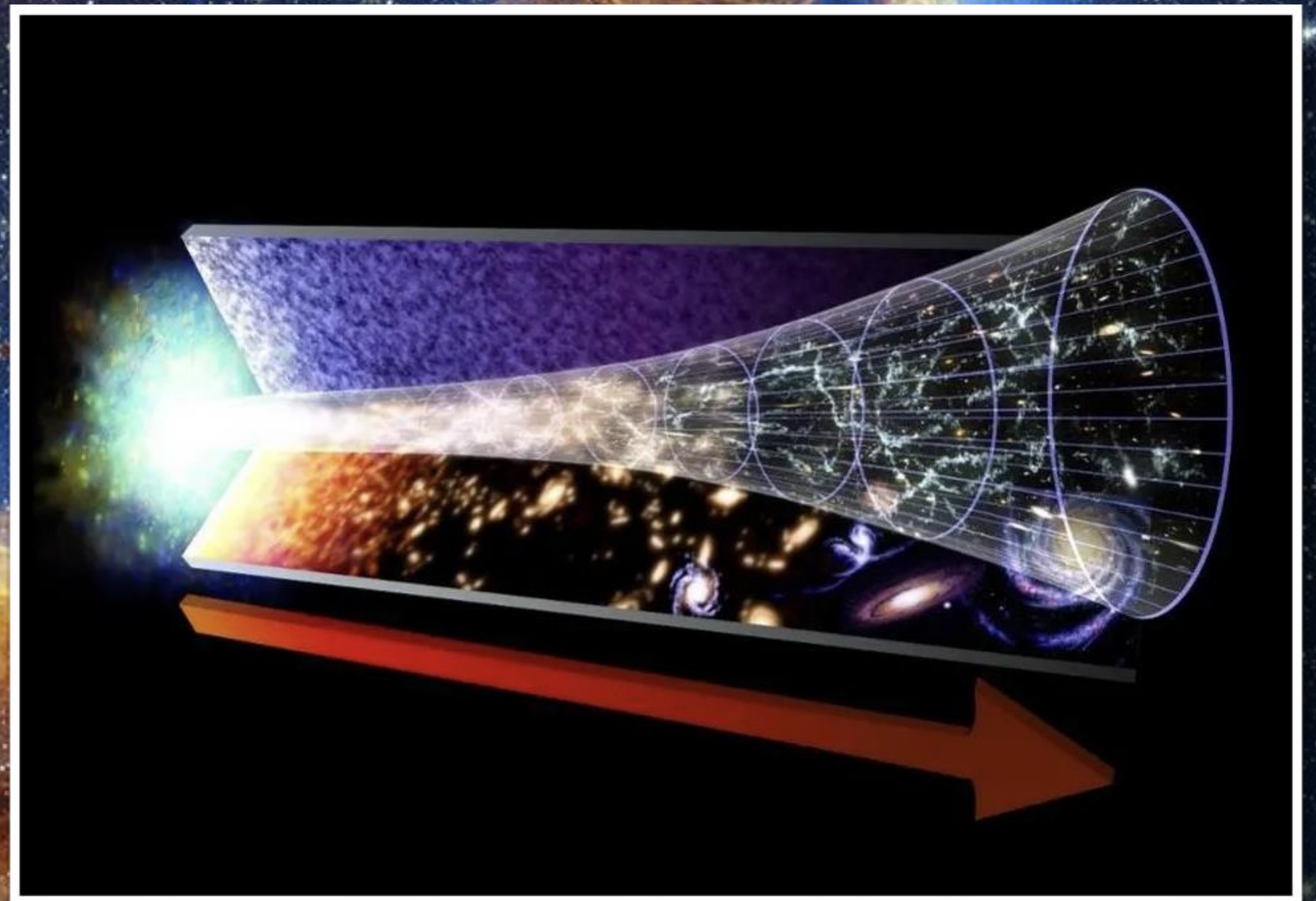
- Queste regioni non avrebbero potuto apprenderlo ricevendo segnali, perché prima non erano in comunicazione con il nostro cono di luce del passato.
- L'inflazione risponde a questa domanda postulando che tutte le regioni provengano da un'era precedente con una grande energia di vuoto, o costante cosmologica. Uno spazio con una costante cosmologica è qualitativamente diverso: invece di spostarsi verso l'esterno, l'orizzonte cosmologico rimane fermo. Per ogni osservatore, la distanza dall'orizzonte cosmologico è costante. Con l'espansione esponenziale dello spazio, due osservatori vicini vengono separati molto rapidamente; tanto che la distanza tra loro supera rapidamente i limiti della comunicazione. Le porzioni spaziali si stanno espandendo molto velocemente fino a coprire volumi enormi. Le cose si spostano costantemente oltre l'orizzonte cosmologico, che è una distanza fissa, e tutto diventa omogeneo.



Nuovi orizzonti

L'espansione accelerata

- e osservazioni mostrano che l'espansione dell'universo sta accelerando, tanto che la velocità con cui una galassia distante si allontana dall'osservatore aumenta continuamente nel tempo. L'espansione accelerata dell'universo è stata scoperta nel 1998 da due progetti indipendenti, il Supernova Cosmology Project e l'High-Z Supernova Search Team, che hanno utilizzato supernove distanti di tipo Ia per misurare l'accelerazione. L'idea era che, poiché le supernove di tipo Ia hanno quasi la stessa luminosità intrinseca (una candela standard), e poiché gli oggetti più lontani appaiono più deboli, la luminosità osservata di queste supernove può essere utilizzata per misurare la loro distanza. La distanza può quindi essere paragonata allo spostamento verso il rosso cosmologico delle supernovae, che misura quanto l'universo si è espanso da quando si è verificata la supernova; la legge di Hubble stabilisce che quanto più un oggetto è lontano, tanto più velocemente si allontana. Il risultato inaspettato è stato che gli oggetti nell'universo si stanno allontanando gli uni dagli altri a un ritmo accelerato. I cosmologi dell'epoca si aspettavano che la velocità di recessione avrebbe sempre decelerato, a causa dell'attrazione gravitazionale della materia nell'universo. Tre membri di questi due gruppi sono stati successivamente insigniti del Premio Nobel per la loro scoperta. Ancora non capiamo la ragione di questa espansione e perciò supponiamo l'esistenza di questa energia oscura.



Il futuro

Come finirà l'universo?

- Esistono molte teorie che si lanciano in speculazioni sul destino ultimo dell'Universo. Ancora non capendo molto dell'origine della natura ultima dello stesso Universo non capiamo molto bene come finirà l'Universo (se mai avrà una fine come la intendiamo noi). Tuttavia è possibile indicare alcune ipotesi riguardanti alcuni parametri come, ad esempio la "forma" dell'Universo, la sua densità e altre caratteristiche.



Il futuro

Il Big Crunch

- Universo chiuso
- Se $\Omega > 1$, la geometria dello spazio è chiusa come la superficie di una sfera. La somma degli angoli di un triangolo supera i 180 gradi e non esistono linee parallele; tutte le linee alla fine si incontrano. La geometria dell'universo è, almeno su larga scala, ellittica.
- In un universo chiuso, la gravità alla fine arresta l'espansione dell'universo, dopodiché inizia a contrarsi finché tutta la materia nell'universo collassa fino a un punto, una singolarità finale chiamata "Big Crunch", l'opposto del Big Bang. Se, tuttavia, l'universo contiene energia oscura, allora la forza repulsiva risultante potrebbe essere sufficiente a far sì che l'espansione dell'universo continui per sempre, anche se $\Omega > 1$.



Il futuro

Il Big Rip

- Se $\Omega < 1$, la geometria dello spazio è aperta, cioè curvata negativamente come la superficie di una sella. La somma degli angoli di un triangolo è inferiore a 180 gradi e le linee che non si incontrano non sono mai equidistanti; hanno un punto di minima distanza e altrimenti si allontanano. La geometria di un tale universo è iperbolica.
- Anche senza energia oscura, un universo curvo negativamente si espande per sempre, con la gravità che rallenta in modo trascurabile il tasso di espansione. Con l'energia oscura, l'espansione non solo continua ma accelera. Il destino finale di un universo aperto con energia oscura è la morte termica universale o un "Big Rip" in cui l'accelerazione causata dall'energia oscura alla fine diventa così forte da travolgere completamente gli effetti delle forze gravitazionali, elettromagnetiche e di forte legame. Al contrario, una costante cosmologica negativa, che corrisponderebbe a una densità di energia negativa e a una pressione positiva, farebbe collassare nuovamente anche un universo aperto fino a raggiungere un big crunch.



Il futuro

Il Big Freeze

- Se la densità media dell'universo è esattamente uguale alla densità critica, allora è così $\Omega=1$, allora la geometria dell'universo è piatta: come nella geometria euclidea, la somma degli angoli di un triangolo è 180 gradi e le rette parallele mantengono continuamente la stessa distanza. Le misurazioni della sonda per anisotropia a microonde Wilkinson hanno confermato che l'universo è piatto con un margine di errore dello 0,4%. In assenza di energia oscura, un universo piatto si espande per sempre ma a un ritmo continuamente decelerante, con un'espansione che si avvicina asintoticamente allo zero. Con l'energia oscura, il tasso di espansione dell'universo inizialmente rallenta, a causa degli effetti della gravità, ma alla fine aumenta, e il destino finale dell'universo diventa lo stesso di un universo aperto. Anche la morte termica dell'universo noto come Big Freeze (o Big Chill), è uno scenario in cui la continua espansione si traduce in un universo che si avvicina asintoticamente alla temperatura dello zero assoluto. In questo scenario, l'universo alla fine raggiunge uno stato di massima entropia in cui tutto è distribuito uniformemente e non ci sono gradienti energetici, necessari per sostenere l'elaborazione delle informazioni, una delle quali è la vita. Questo scenario si è affermato come il destino più probabile.
- In questo scenario, si prevede che le stelle si formino normalmente per un periodo compreso tra 10^{12} e 10^{14} (1-100 trilioni) di anni, ma alla fine la fornitura di gas necessaria per la formazione stellare sarà esaurita. Man mano che le stelle esistenti esauriranno il carburante e cesseranno di brillare, l'universo diventerà lentamente e inesorabilmente più scuro. Alla fine l'universo sarà dominato dai buchi neri, che a loro volta scompariranno nel tempo poiché emettono radiazioni di Hawking.

