

## L'Alfa e l'Omega dell'Universo.

*“Elohim disse: “Yehi or!”, << Sia la luce!>>. E la luce fu”.*

*“Gènesi”, Il primo atto della creazione.*

I due punti cruciali dell'astrofisica sono l'Alfa e l'Omega, il principio e la fine, la nascita e la morte dell'Universo.

Per quale motivo l'Universo deve avere un principio e una fine?

Come mai non può essere eterno? Oppure può esserlo?

Se ci basiamo su quello che c'è scritto nella Bibbia, la Chiesa sostiene che ci sono un principio e una fine, un Alfa e un Omega. La scienza, a un certo punto, ha iniziato a formulare una risposta differente. Con le scoperte di Copernico, Galileo e Newton, gli scienziati cominciarono a ritenere che l'ipotesi di un Universo eterno fosse la più probabile.

Tuttavia nel XIX secolo è stata fatta una scoperta di grande importanza, una delle più grandi scoperte mai fatte dalla scienza, una rivelazione che mette in dubbio l'idea che l'Universo sia eterno: il secondo principio della termodinamica. Uno dei suoi due enunciati fondamentali, formulato da Rudolf Julius Emmanuel Clausius (1822 - 1888) dice che:

“Il calore non può passare spontaneamente, cioè senza spesa di lavoro, da un corpo a temperatura più bassa a uno a temperatura più alta”.

Nel 1865 Clausius introdusse una nuova grandezza fisica, che egli chiamò “entropia” [dal greco “entropiē”, variazione].

La variazione di entropia  $dS$  di un sistema durante una trasformazione infinitesimale reversibile si ottiene dividendo la quantità di calore  $dQ$  assorbita (o ceduta) dal sistema per la sua temperatura assoluta  $T$  :

$$dS = \frac{dQ}{T}. \quad (12)$$

La  $S$  è funzione solamente dello stato del sistema. L'entropia è pertanto determinata a meno di una costante. La si definisce anche come l'indice di “disordine” di un sistema. La sua unità di misura nel S.I. è J/K; unità tradizionale, invece, è kcal/K.

L'entropia di un sistema isolato rimane costante durante i processi reversibili, mentre aumenta nei processi irreversibili. L'entropia di un sistema isolato non diminuisce mai. Una variazione di entropia dell'Universo è sempre maggiore di zero:

$$\Delta S_{Universo} > 0. \quad (13)$$

Il secondo principio della termodinamica ha provato tre cose:

1. Le cose invecchiano e a un certo punto devono per forza morire. Questo avviene quando l'entropia raggiunge il suo punto massimo, quando cioè la temperatura si espande uniformemente nell'Universo.
2. Il fatto che l'entropia sia sempre crescente indica la “direzione” delle trasformazioni termodinamiche, cioè “il tempo scorre solo in una direzione”, il che è compatibile con le nostre esperienze (nascita, crescita, morte, e così via). Ma c'è anche un'interpretazione dell'elettrodinamica quantistica, proposta da **Richard Phillips Feynman** (1918 - 1988), in cui le antiparticelle sono considerate delle particelle che a tratti viaggiano indietro nel tempo.

3. Se tutto invecchia, è perché c'è stato un momento in cui tutto era nuovo. Ancora meglio, c'è stato un momento in cui l'entropia era al minimo, il momento della nascita dell'Universo.

Quando è stato formulato e dimostrato il secondo principio della termodinamica, gli scienziati si sono accorti subito che l'idea di un Universo eterno era incompatibile con l'esistenza di processi fisici irreversibili. L'Universo tende a uno stato di equilibrio termodinamico, in cui cessa di avere zone fredde e zone calde, mantenendo una temperatura costante in ogni parte, il che implica un'entropia massima o un massimo disordine. In altre parole, l'Universo parte da un totale ordine per finire in un totale disordine. Questa scoperta è stata confermata anche da altri indizi, quali il paradosso di Olbers.

**Heinrich Wilhelm Matthias Olbers** (1758 - 1840), medico e astronomo tedesco, grande amico di Gauss, dedicò molto del suo tempo all'osservazione della volta celeste. Attualmente si ricorda Olbers in particolare per la presentazione, nel 1823, del famoso paradosso che porta il suo nome e riguarda l'oscurità del cielo. Se l'Universo è infinito ed eterno, allora la notte non può essere scura, dal momento che il cielo sarebbe necessariamente inondato dalla luce proveniente da un numero infinito di stelle. Eppure il cielo notturno è scuro, da qui il paradosso, che si risolve soltanto, attribuendo un'età all'Universo. Così si può postulare che la Terra riceve soltanto la luce ha avuto il tempo di raggiungerla dalla nascita dell'Universo. Questa è l'unica spiegazione possibile per il fatto che la notte sia scura.

Negli anni Venti del XX secolo, l'astronomo statunitense **Edwin Powell Hubble** (1889 - 1953) confermò l'esistenza di galassie al di là della Via Lattea e, quando analizzò la luce emessa da esse, ottenne un risultato sorprendente (1929). Tutte queste galassie presentavano un "red shift" Doppler, la cui entità - e quindi l'entità della velocità di recessione - era tanto più grande quanto più erano distanti le galassie. Fu così che si accorse che questa è la vera ragione per la quale, ubbidendo alla legge di gravità, tutta la materia dell'Universo non è amalgamata in un'unica grande massa. Pertanto, l'Universo è in espansione.

La scoperta che l'Universo è in espansione implica che all'inizio tutto fosse unito e che poi sia stato sparato in diverse direzioni. Ora, alla luce di queste scoperte, l'Abbè **Georges Lemaître** (1894 - 1966), astronomo belga, nel 1927, propose una nuova idea, il "Big Bang", la grande esplosione. Il problema del momento iniziale è il più complesso di tutta la teoria. Viene chiamata singolarità. Si pensa che tutto l'Universo fosse compresso in un punto infinitamente piccolo d'energia e che all'improvviso ci sia stata un'espansione nella quale si crearono la materia, lo spazio, il tempo e le leggi dell'Universo.

Nel 1948 **George Gamow** (1904 - 1968) prevede l'esistenza di una "radiazione di corpo nero", una specie di eco di quella espansione primordiale dell'Universo, che doveva avere una temperatura di circa tre Kelvin. La radiazione di corpo nero emessi da una sorgente la cui temperatura è 3 K, in base alla legge dello spostamento di **Wilhelm Wien** (1864 - 1928)

$$\lambda_m \cdot T = b = 2,897756 \cdot 10^{-3} m \cdot K, \quad (14)$$

dovrebbe avere una distribuzione di lunghezze d'onda con un massimo in prossimità di 0,1 cm (microonde). Se la teoria del "Big Bang" è corretta, si dovrebbero potere osservare i seguenti due effetti:

1. Lo spettro della radiazione dovrebbe avere la forma caratteristica di quello emesso da un corpo nero alla temperatura di 3K;
2. questa radiazione di corpo nero dovrebbe arrivare in uguale misura da tutte le direzioni dello spazio (cioè, la radiazione dovrebbe essere "isotropa").

Nel 1965 furono scoperte da **A.A. Penzias** e **R.W. Wilson** radioonde cosmiche di bassa energia, interpretabili come radiazione di corpo nero alla temperatura di 2,7 K. Tale radiazione (isotropa) era la luce più antica mai arrivata a noi, una luce che il tempo aveva trasformato in microonde e si chiama radiazione cosmica di fondo.

Il "Big Bang" è accaduto circa 18 miliardi di anni fa. In un primo tempo è apparso lo spazio e, subito dopo, si è espanso. Siccome lo spazio è collegato al tempo, la comparsa dello spazio implica automaticamente la comparsa del tempo, il quale si è espanso a sua volta. In quel primo istante è nata una super forza e sono apparse tutte le leggi. La temperatura era immensa, circa  $10^{11}K$ . Sono apparse le prime reazioni nucleari e in tre minuti è stato prodotto il 98% della materia che esiste o che è esistita in passato.

Col tempo le temperature si sono abbassate. Dopo duecento milioni di anni si sono accese le prime stelle, poi sono nati i sistemi planetari, le galassie e i gruppi di galassie. Intorno al 1948, i matematici **Hermann Bondi** e **Thomas Gold** e l'astronomo e autore di romanzi di fantascienza Fred Hoyle proposero invece di considerare l'Universo come qualcosa di esistente sin dall'eternità in uno stato pressappoco uguale a quello di oggi (ipotesi dell'"Universo stazionario"), e cercarono di giustificare la loro teoria sulla stazionarietà dell'Universo introducendo l'ipotesi d'una continua creazione di materia nello spazio intergalattico. Per compensare totalmente l'espressione è sufficiente la creazione, una volta ogni  $10^{15}$ anni, di un nuovo atomo di idrogeno ogni centimetro cubo di spazio in espansione.

Chi poi preferisce una cosmogonia poetica e fantastica, la troverà nel "Kalewala" ("Terra degli eroi") finnico. Secondo questo poema, composto di 22.795 versi ottonari, raccolti in 50 canti o "rune", il mondo è nato da sette uova di folaga: sei d'oro e uno di ferro. Le uova, deposte sul ginocchio di Lunnotar, una divina fanciulla figlia dell'aria, caddero in acqua, si spezzarono, si ridussero in frammenti minutissimi e da questi frammenti ebbero origine la Terra, il Sole, la Luna, le Stelle.

\*\*\*

Per la fine dell'Universo esistono due possibilità. La prima viene chiamata "Big Freeze" o grande gelo. Si tratta della conseguenza ultima del secondo principio della termodinamica e dell'espansione interna dell'Universo. Con l'aumento dell'entropia, le luci inizieranno a spegnersi gradualmente, finché non verrà raggiunta ovunque una temperatura uniforme, trasformando l'Universo in un immenso e ghiacciato cimitero galattico. Si calcola che tutto questo accadrà tra almeno circa 100 miliardi di anni.

La seconda possibilità del punto Omega viene chiamata "Big Crunch" o grande collasso. L'espansione dell'Universo arriverà a un certo punto in cui si fermerà, per poi

iniziare a diminuire. Per via della forza di gravità, lo spazio, il tempo e la materia inizieranno a convergere gli uni verso gli altri fino a collassare in un unico punto infinito d'energia. Il "Big Crunch" è, in altre parole, il "Big Bang" all'incontrario.

Quale tra queste due possibilità di morte dell'Universo è più probabile?

Vediamo le osservazioni astronomiche. In primo luogo, il "Big Crunch" richiede che ci sia molta più materia nell'Universo di quella che vediamo: la densità media di materia dell'Universo dovrebbe essere maggiore di  $\rho = 5 \cdot 10^{-27} \text{ kg/m}^3$ . La materia visibile è insufficiente, vista la forza di gravità, a provocare la contrazione dell'Universo. Per risolvere questo problema, si è supposto che possa esistere della "materia oscura", ossia una materia che permane invisibile ai nostri occhi per via della sua debole interazione. Questa "materia oscura" dovrebbe costituire il 90%, o addirittura di più, della materia esistente nell'Universo. Ormai siamo certi della sua esistenza, ma non è detto che sia disponibile nella quantità sufficiente per invertire l'espansione. In secondo luogo dobbiamo considerare le nuove osservazioni emerse circa l'espansione dell'Universo. Nel 1998 si è scoperto che la velocità alla quale si allontanano le galassie sta aumentando. Questo avviene probabilmente perché esiste una nuova forza finora sconosciuta, alla quale si è dato il nome di "energia oscura", già prevista da Einstein, che lavora contro la forza di gravità. Ora il "Big Crunch" richiede che la velocità di espansione diminuisca fino a fermarsi per poi cominciare a contrarsi. Ma se la velocità di espansione sta aumentando, la conclusione può essere solo una: l'Universo si avvia verso il "Big Freeze".

\*\*\*

Chiudo con un importante "memento" di **Bertrand Russell** (1872 - 1970) ["L'ABC della relatività", Capitolo XI]:

"La scienza non aspira a stabilire verità immutabili e dogmi eterni: il suo obiettivo è di avvicinarsi alla verità con successive approssimazioni, senza pretendere che a ogni stadio si possa raggiungere una completa e definitiva precisione".

Ciò vale, naturalmente, anche per la Teoria della Relatività Generale e, "a fortiori", per tutte le teorie cosmologiche.

DOMENICO BRUNO

## BIBLIOGRAFIA

- G. BERTONE, *Sospesi tra due infiniti*. Longanesi, Milano, 2019
- A. CHIellini - R. GIANNARELLI, *L'esame orale di matematica*. Veschi, Roma, 1962
- A. EINSTEIN, *Il significato della relatività*. Boringhieri, Torino, 1959
- E. FERMI, *Termodinamica*. Boringhieri, Torino, 1958
- B. FINZI, *Meccanica razionale*. Vol II. Zanichelli, Bologna, 1959
- G. GAMOW, *La creazione dell'Universo*. B.M.M., Milano, 1956
- W. ISAACSON, *Einstein. La sua vita, il suo universo*. Mondadori, Milano, 2008
- L.D. LANDAU & E.M. LIFSHITZ, *The Classical Theory of Fields*.  
Pergamon Press, Oxford, 1962
- N.I. LOBAČEVSKIJ, *Nuovi principi della geometria*. Boringhieri, Torino, 1963
- J.B. MARION, *La fisica e l'Universo fisico*. Zanichelli, Bologna, 1976
- C. MØLLER, *Selected Problems in General Relativity*. Brandeis University, 1960
- D. OVERBYE, *Einstein innamorato*. Saggi Bompiani, Milano, 2002
- W. PAULI, *Teoria della relatività*. Boringhieri, Torino, 1958
- B. RUSSELL, *L'ABC della relatività*. Longanesi, Milano, 1974
- D.W. SCIAMA, *La relatività Generale. Fondamenti fisici della teoria*.  
Zanichelli, Bologna, 1981
- SEXL, RAAB, STREERUWITZ, *Fisica 2 e 3*. Zanichelli, Bologna, 1984
- A. SOMMERFELD, *Thermodynamics and Statistical Mechanics*.  
Academic Press, New York, 1964.