



*Dalla mela di Newton  
alla M-Teoria*

*Gruppo Astrofili di Cinisello Balsamo*

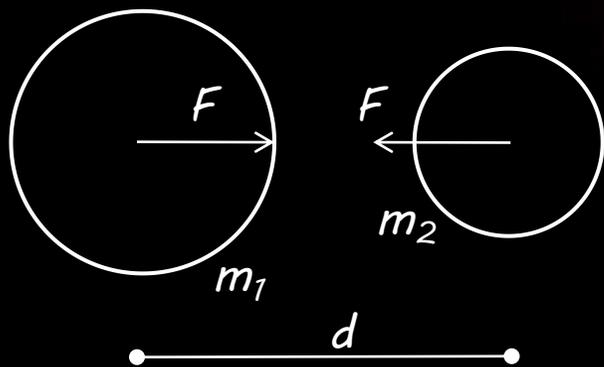
*30 Marzo 2018*

## La legge di Newton

L'attrazione gravitazionale fra due corpi è pari al prodotto delle loro masse diviso il quadrato della distanza che li separa, il tutto moltiplicato per una costante (costante di Newton):

$$F = G \times (m_1 \times m_2 / d^2)$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ [m}^3\text{/(kg} \times \text{sec}^2\text{)]}$$

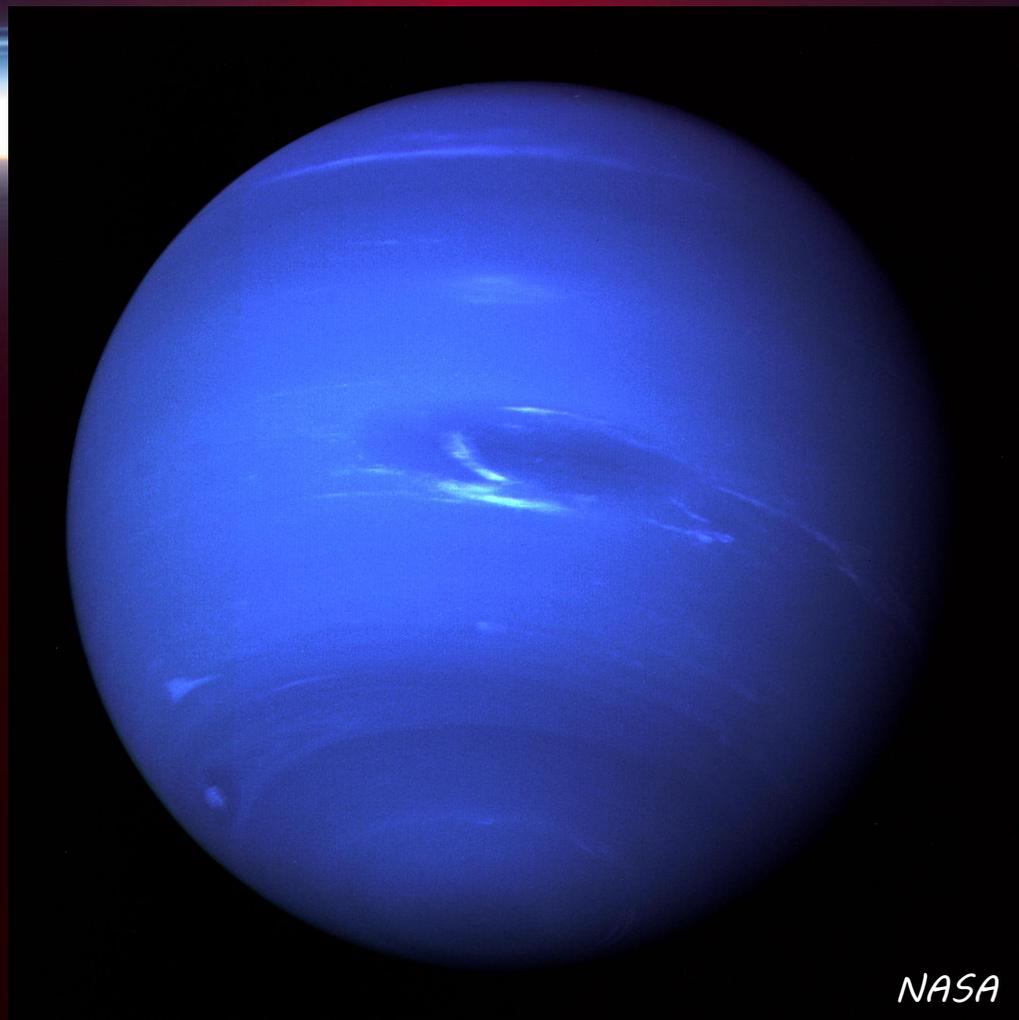


$$F = G \times \frac{m_1 \times m_2}{d^2}$$



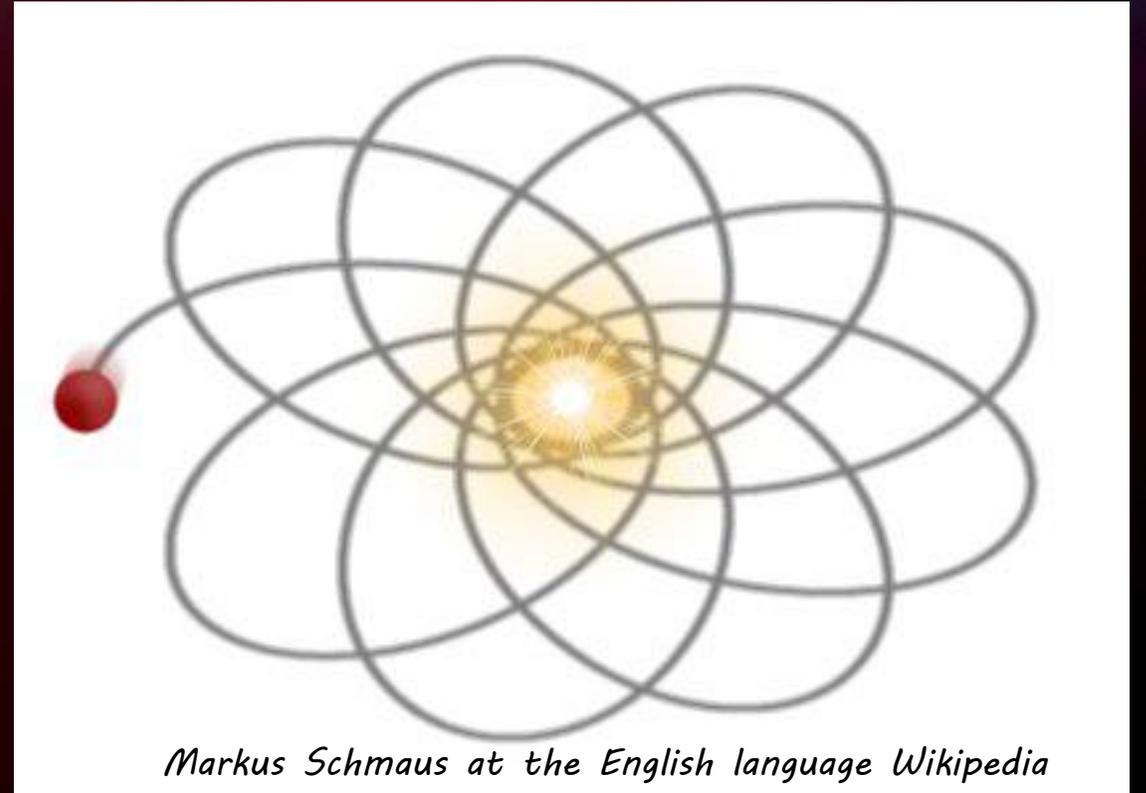
## La conferma

Nel 1846 John Couch Adams e Urbain LeVerrier calcolarono la posizione di Nettuno studiando le perturbazioni gravitazionali nell'orbita di Urano attraverso la legge della gravità di Newton. Nello stesso anno, l'ottavo pianeta del Sistema Solare fu individuato telescopicamente da Johann Galle e Heinrich d'Arrest, proprio nella posizione predetta teoricamente da Adams e LeVerrier.



## *Iniziano i guai*

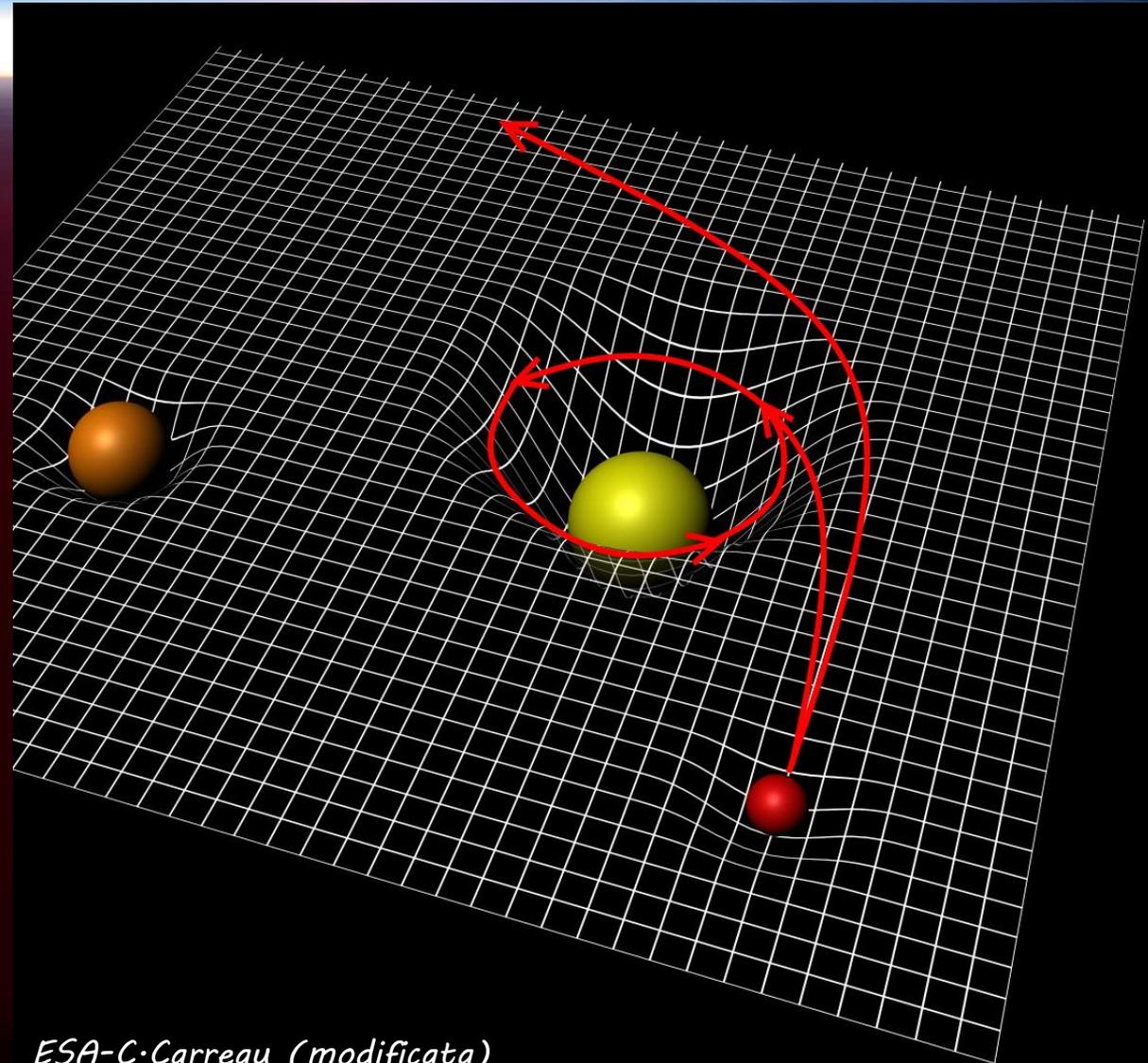
*La legge della gravità di Newton prediceva con soddisfacente precisione le orbite di quasi tutti i corpi del Sistema Solare, ad eccezione di Mercurio. L'orbita del pianeta più vicino al Sole mostrava delle strane irregolarità che furono denominate "precessione del perielio". Qualcuno si azzardò ad ipotizzare che tra Mercurio ed il Sole esistesse un pianeta sconosciuto, responsabile, attraverso la sua attrazione gravitazionale, della precessione del perielio nell'orbita di Mercurio. Ma questo fantomatico pianeta non venne mai scoperto. La soluzione all'enigma arrivò solo nel 1915.*



*Markus Schmaus at the English language Wikipedia*

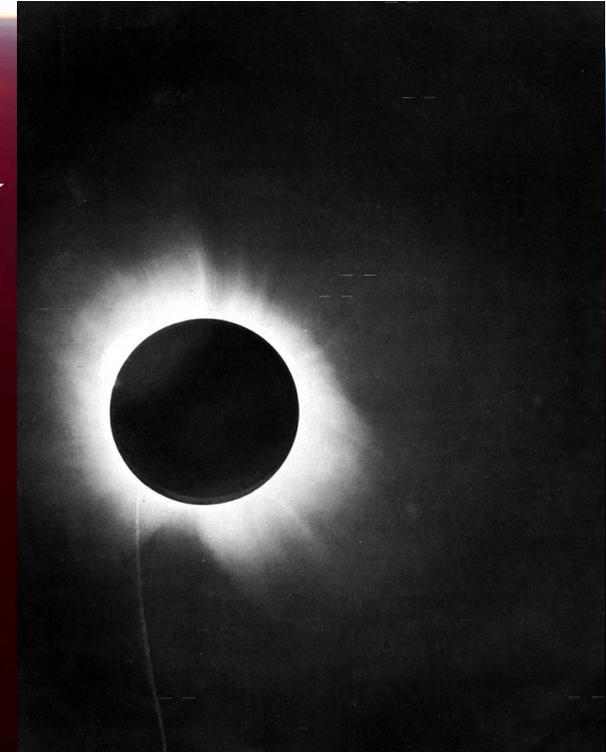
# La relatività generale

Nel 1915 Albert Einstein formulò la teoria della relatività generale, che può essere vista come un perfezionamento della teoria della gravità di Newton, che dà risultati attendibili anche qualora i campi gravitazionali in gioco siano estremamente intensi. Secondo Einstein, ogni massa incurva il tessuto dello spazio-tempo intorno a sé, formando una cosiddetta "buca di potenziale" che quando è attraversata da altri oggetti dotati di massa produce deviazioni nel loro moto, orbite o li porta a precipitare sul corpo medesimo, dando in tutti i casi l'impressione che una forza abbia agito su di essi. La relatività generale non solo seppe descrivere egregiamente le "irregolarità" nell'orbita di Mercurio, ma metteva in campo tutta una serie di altre previsioni che furono verificate solo successivamente.



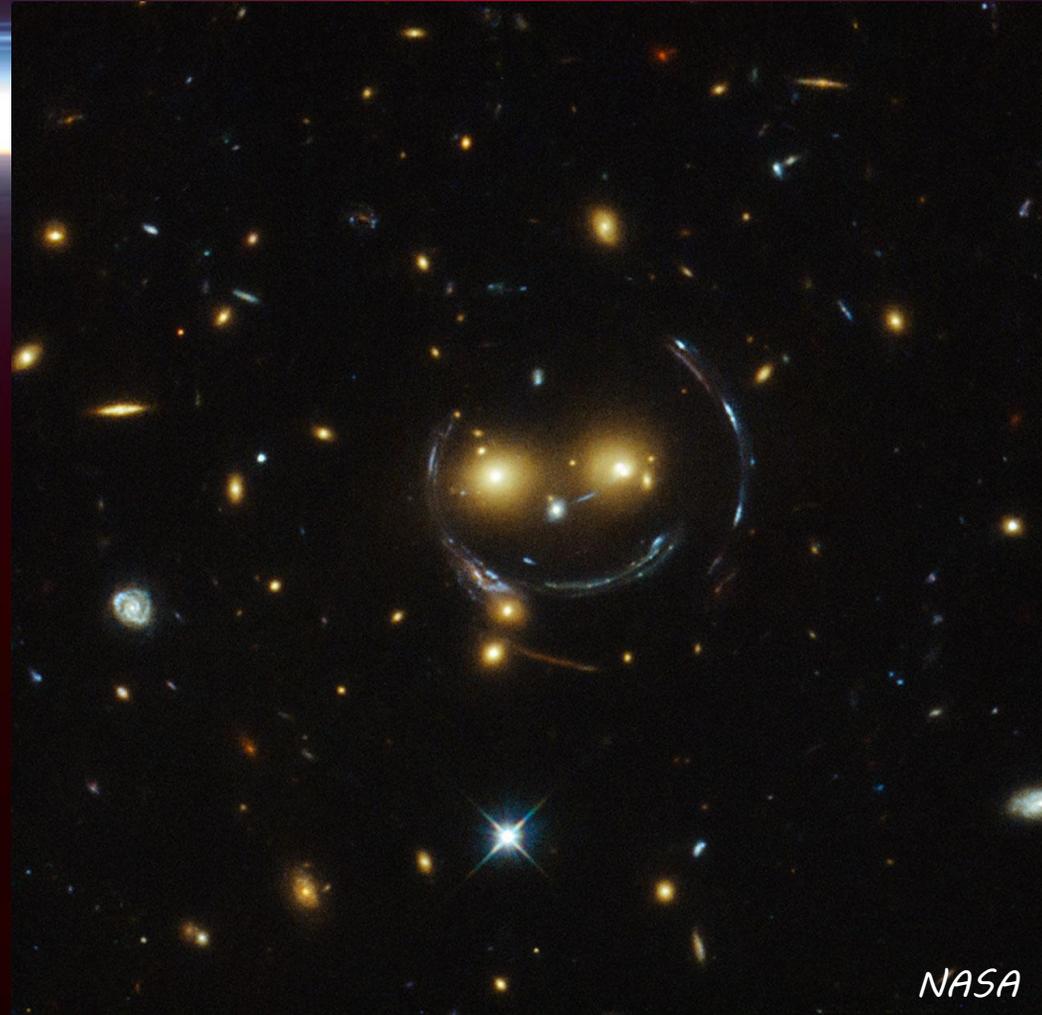
## La conferma (1)

Secondo la relatività generale, un corpo dotato di massa crea attorno a sé una curvatura nello spazio-tempo. Qualora dei raggi luminosi si trovassero a passarvi vicino, essi seguirebbero la traiettoria più rettilinea nello spazio-tempo incurvato dalla massa e di conseguenza subirebbero una deviazione dalla loro rotta originaria. Se tali raggi deviati raggiungono un osservatore, questi vedrà un'immagine distorta della sorgente di luce che li ha prodotti. Tale fenomeno, detto "lente gravitazionale", fu verificato per la prima volta da S.A. Eddington nel 1919, il quale osservò le stelle prospetticamente vicine al bordo del disco del Sole durante un'eclissi solare, notando che la loro posizione si scostava da quella reale proprio perché modificata dalla curvatura nello spazio-tempo creata dalla massa del Sole.



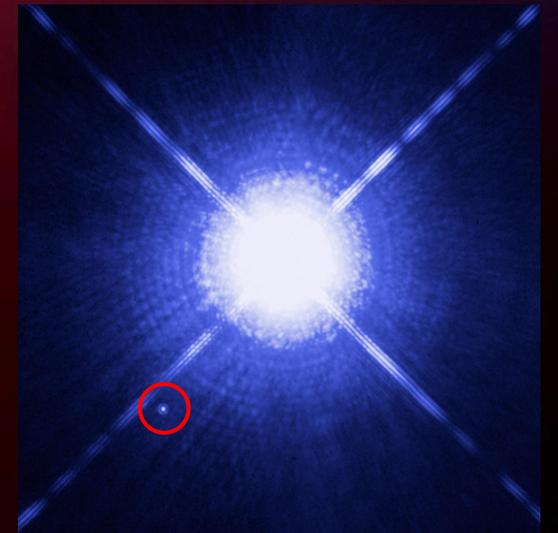
## *La conferma (1)*

*Nel 1937 il fisico Fritz Zwicky ipotizzò che l'effetto di lente gravitazionale avrebbe potuto essere osservato anche nel caso in cui ad essere coinvolti fossero intere galassie o perfino interi ammassi di galassie. Oggi questa previsione è stata ampiamente confermata dall'osservazione.*



## La conferma (II)

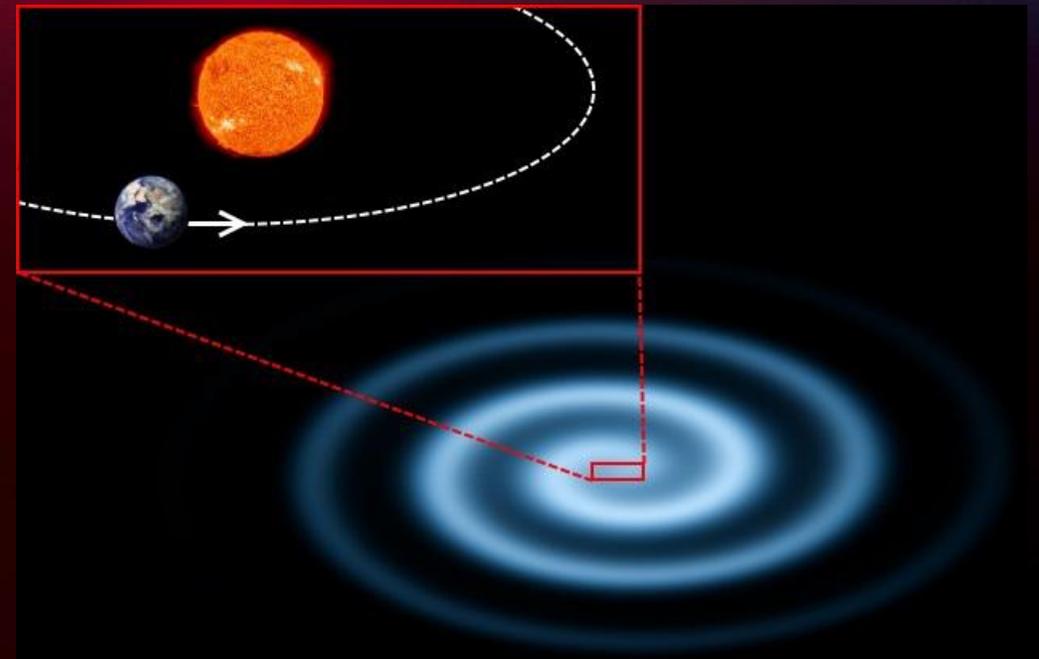
La relatività generale predice che laddove la curvatura dello spazio-tempo è maggiore, il tempo trascorre con maggiore lentezza rispetto alle regioni dove lo spazio-tempo è piano o meno incurvato. Ciò significa che la luce emessa da una stella, se osservata a distanza, dovrebbe apparire agli occhi di un osservatore con una frequenza "rallentata", perché la gravità alla superficie della stella provocherebbe questo effetto di dilatazione temporale. A minori frequenze, le onde luminose perdono energia e subiscono quello che in gergo è stato chiamato "spostamento di Einstein": il colore della luce pare spostarsi verso il rosso (verso cioè frequenze ed energie minori). Nel caso del Sole, questo fenomeno è troppo lieve per poter essere misurato. Ma nel 1925 Walter S. Adams osservò lo spostamento di Einstein nella luce della stella Sirio B, un relitto stellare che rappresenta ciò che diverrà il nostro Sole tra circa 5 miliardi di anni: un oggetto con una massa pari a quella del Sole ma concentrata entro il volume di un grande pianeta e dotato perciò di una forza gravitazionale alla superficie centinaia di volte maggiore rispetto al Sole. Il valore dello spostamento misurato da Adams concordava perfettamente con le previsioni della teoria della relatività generale.



NASA

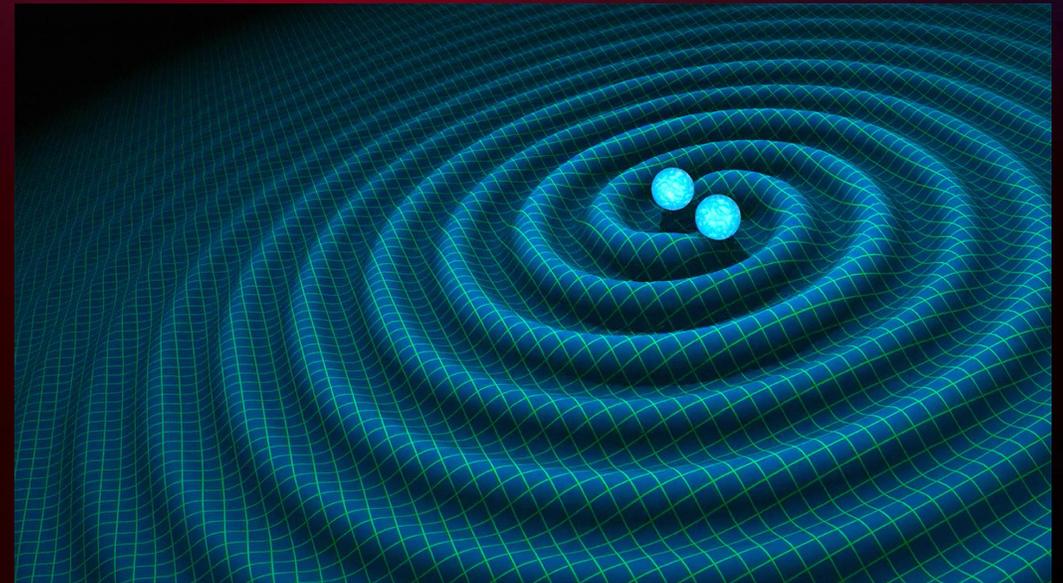
## La conferma (III)

La relatività generale predice che una massa che si muove di moto accelerato oppure una fluttuazione nel valore di una massa debbano produrre “onde gravitazionali”, ovvero increspature nello spazio-tempo che si propagano alla velocità della luce. La Terra, orbitando intorno al Sole, è soggetta ad un'accelerazione centripeta e produce onde gravitazionali, ma con una potenza di soli 200 W. Le onde sottraggono energia di movimento al pianeta e quest'ultimo percorre una spirale che lo porta sempre più vicino al Sole. Ma al ritmo attuale, la Terra dovrà vedersela con ben altri problemi molto prima che il decadimento orbitale dovuto alle onde gravitazionali possa darci delle noie!



## La conferma (III)

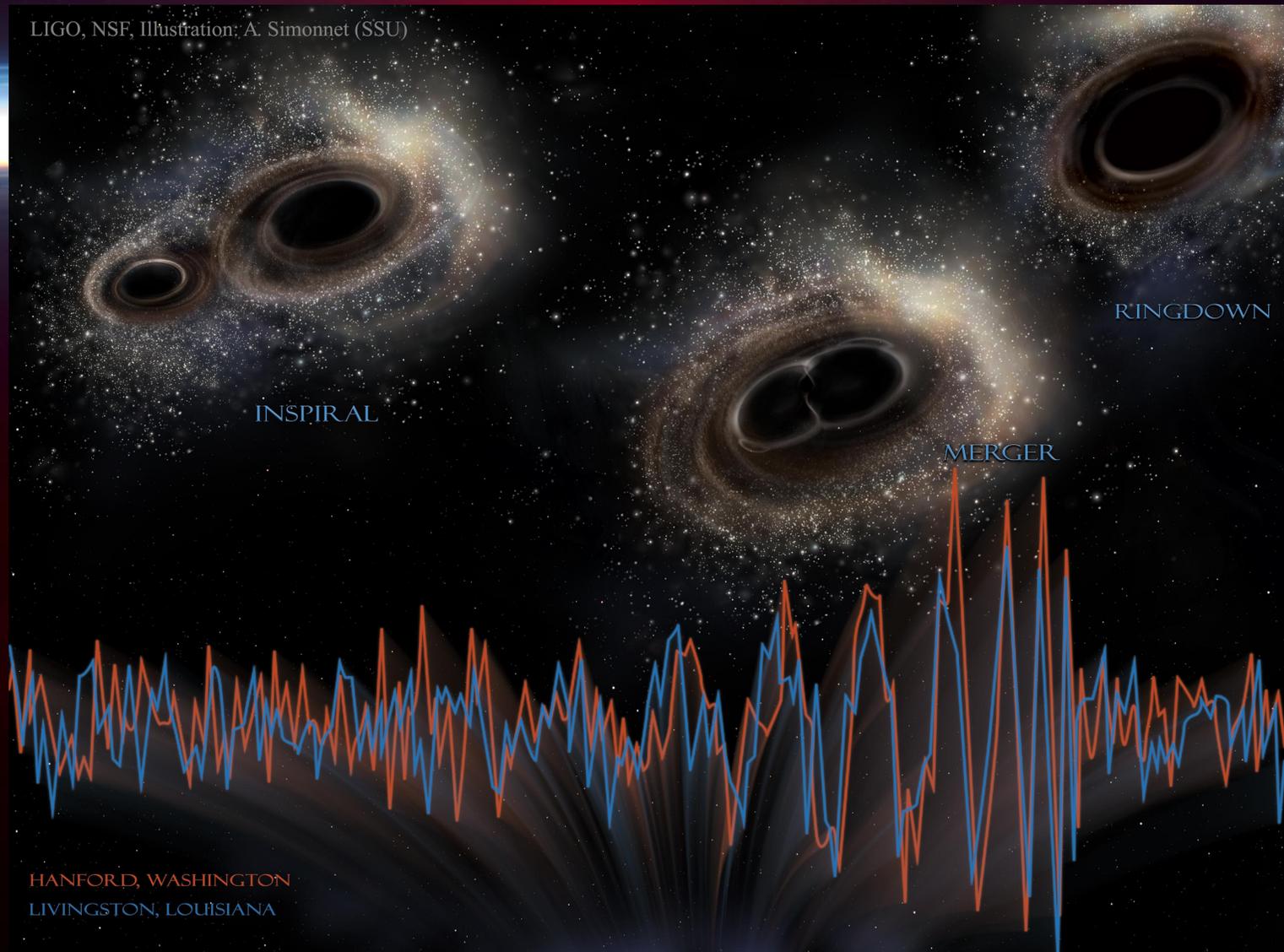
Nel 1974 Joe Russel e Joseph Taylor scoprirono un sistema binario, catalogato PSR B 1913+16, formato da due stelle di neutroni (relitti stellari molto massivi e compatti) in orbita attorno ad un comune baricentro. Essi misurarono una lieve ma costante diminuzione nel periodo orbitale dei due astri, che è di circa 8 ore: negli ultimi trent'anni il periodo si è ridotto all'incirca di 40 secondi. Ciò significa che le due stelle di neutroni stanno avvicinandosi con moto a spirale proprio in conseguenza dell'emissione, da parte di entrambe, di onde gravitazionali con una potenza pari approssimativamente a  $10^{24}$  W. La riduzione del periodo orbitale risultò essere in perfetto accordo con le previsioni della relatività generale. Questa fu la prima evidenza indiretta dell'esistenza delle onde gravitazionali.



NASA

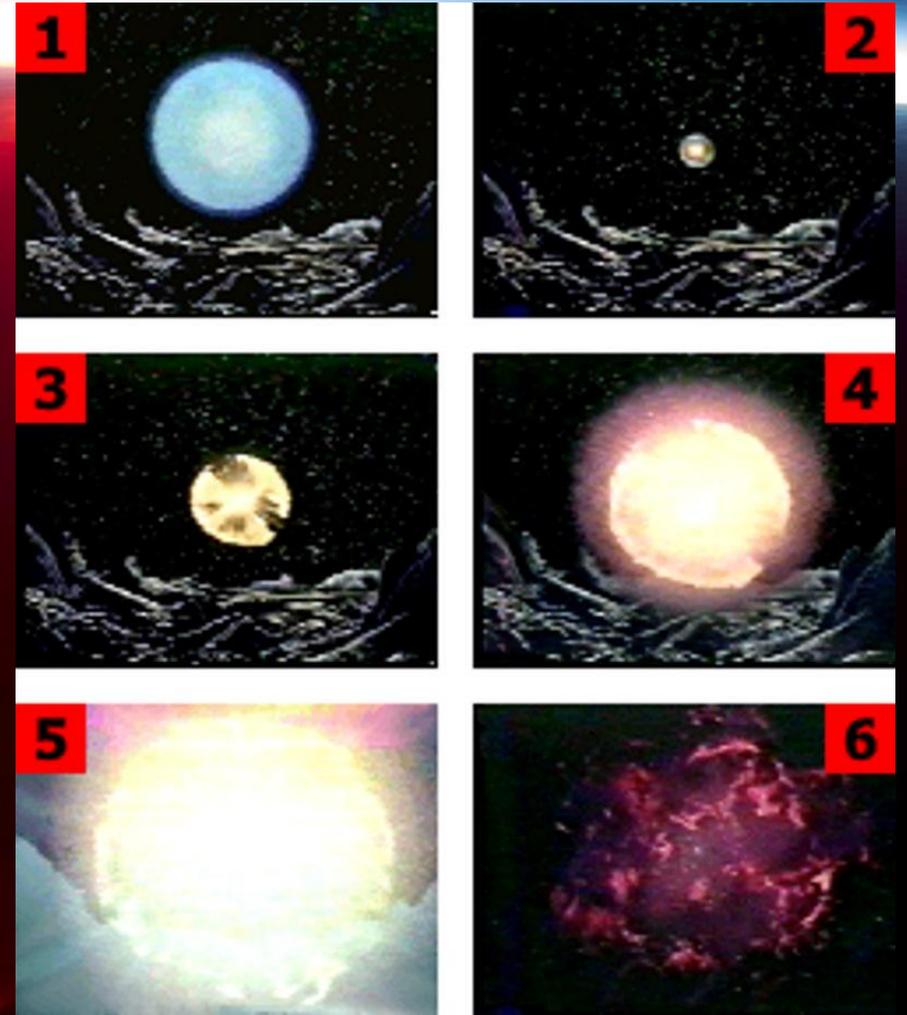
## La conferma (III)

Nel 2015 è avvenuto il primo rilevamento diretto di onde gravitazionali, da parte degli osservatori LIGO e Virgo. Essi hanno registrato le leggerissime espansioni e contrazioni dello spazio al passaggio delle onde gravitazionali generate da un sistema binario di buchi neri sull'orlo della collisione, in una galassia molto distante dalla nostra.



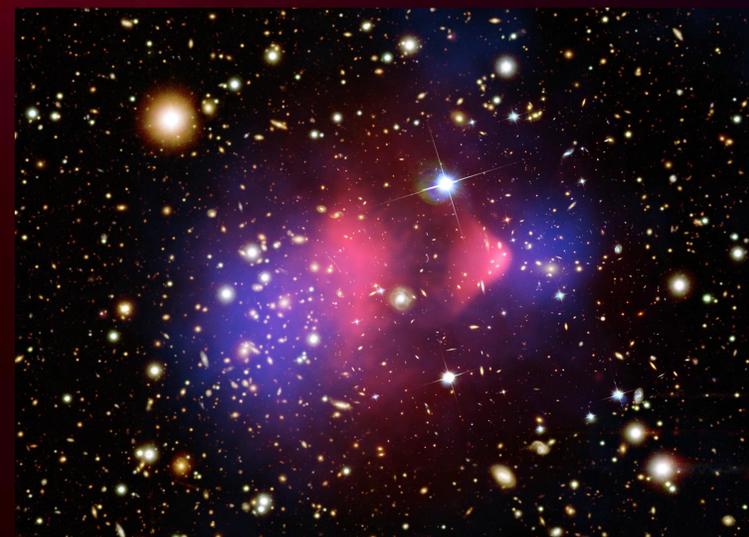
## La conferma (III)

*Non solo gli oggetti in orbita reciproca o i corpi in moto accelerato producono onde gravitazionali: anche qualora un oggetto dovesse subire una variazione abbastanza rapida nel valore della propria massa, e quindi del proprio campo gravitazionale, il fenomeno ne risulterebbe in modo del tutto simile. Quando le stelle con almeno una decina di volte la massa del Sole (1) esauriscono il "combustibile" nucleare e si raffreddano, restando in balia della propria attrazione gravitazionale, collassano rapidamente su loro stesse (2), si surriscaldano e poi deflagrano in una esplosione fulminea (3,4,5) detta "supernova". La supernova depauperava la stella di anche il 98% della sua massa in pochi secondi, disperdendola in una nube di gas in espansione (6) e lasciando al centro come residuo una stella di neutroni o un buco nero. Un'alterazione tanto drastica nella massa di una stella dovrebbe essere sorgente di un poderoso fronte di onde gravitazionali, che i nostri rilevatori dovrebbero essere in grado di registrare.*



# La materia oscura

Grazie anche al fenomeno delle lenti gravitazionali, si è potuta finalmente corroborare la tesi, sostenuta già nel 1933 da Fritz Zwicky, che nell'Universo sia presente una cospicua quantità di una forma di materia completamente invisibile e rilevabile solo tramite gli effetti provocati dalla sua forza di gravità. Questa "materia oscura", come l'ha definita Zwicky, è oltre cinque volte più abbondante della materia individuabile dai nostri strumenti e rappresenta all'incirca il 27% dell'intero contenuto di massa ed energia del Cosmo, quando la materia ordinaria, a noi visibile, non ne è che il 5% circa. Se essa non esistesse, le galassie a spirale inclusa la Via Lattea si disintegrerebbero, poiché ruotano troppo velocemente perché sia solo la gravità della materia visibile a tenerle compatte, e gli ammassi di galassie si sfalderebbero, poiché ogni singola galassia ha una velocità tale che potrebbe tranquillamente liberarsi della forza di attrazione esercitata, ancora una volta, dalla sola materia visibile. Sulla natura della materia oscura sono nate varie teorie: una di queste sostiene che essa sia costituita da particelle "esotiche", come per esempio i neutralini, la cui esistenza presuppone la conferma della teoria SUSY. Altri invece invocano il recente sviluppo della M-Teoria, quale possibile candidata a teoria del tutto, per spiegare questo grande mistero dell'Universo in un modo ancora più peculiare. Una cosa la sappiamo con certezza: non può trattarsi di materia ordinaria troppo difficile da rilevare; se così fosse, infatti, le quantità di elementi leggeri presenti nell'Universo, sintetizzati nei primi minuti successivi al Big-Bang, avrebbero un valore diverso da quello misurato.

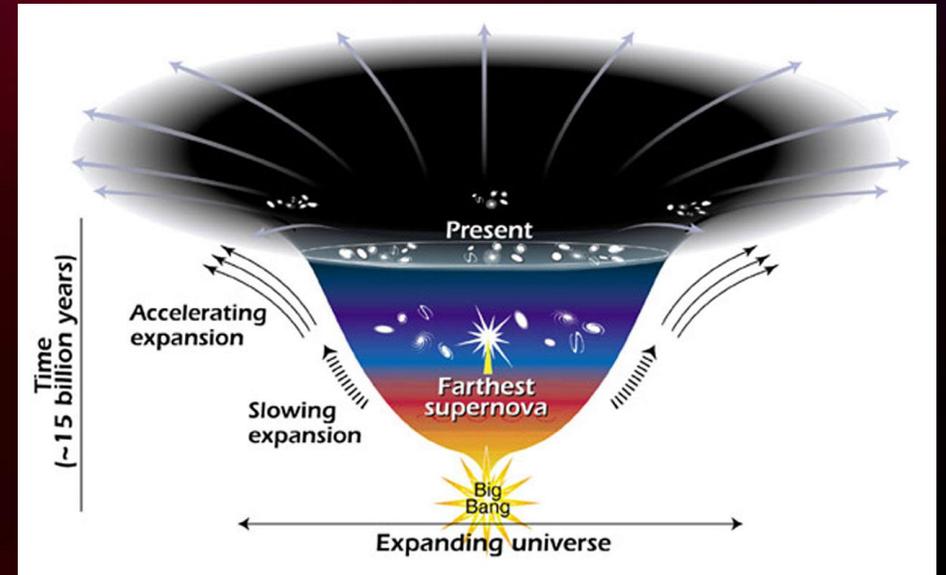


NASA

\*Un anno luce è la distanza che la luce, con la sua velocità di 300 000 km/sec, impiega un anno a percorrere. Equivale approssimativamente a  $10^{13}$  km.

## L'energia oscura

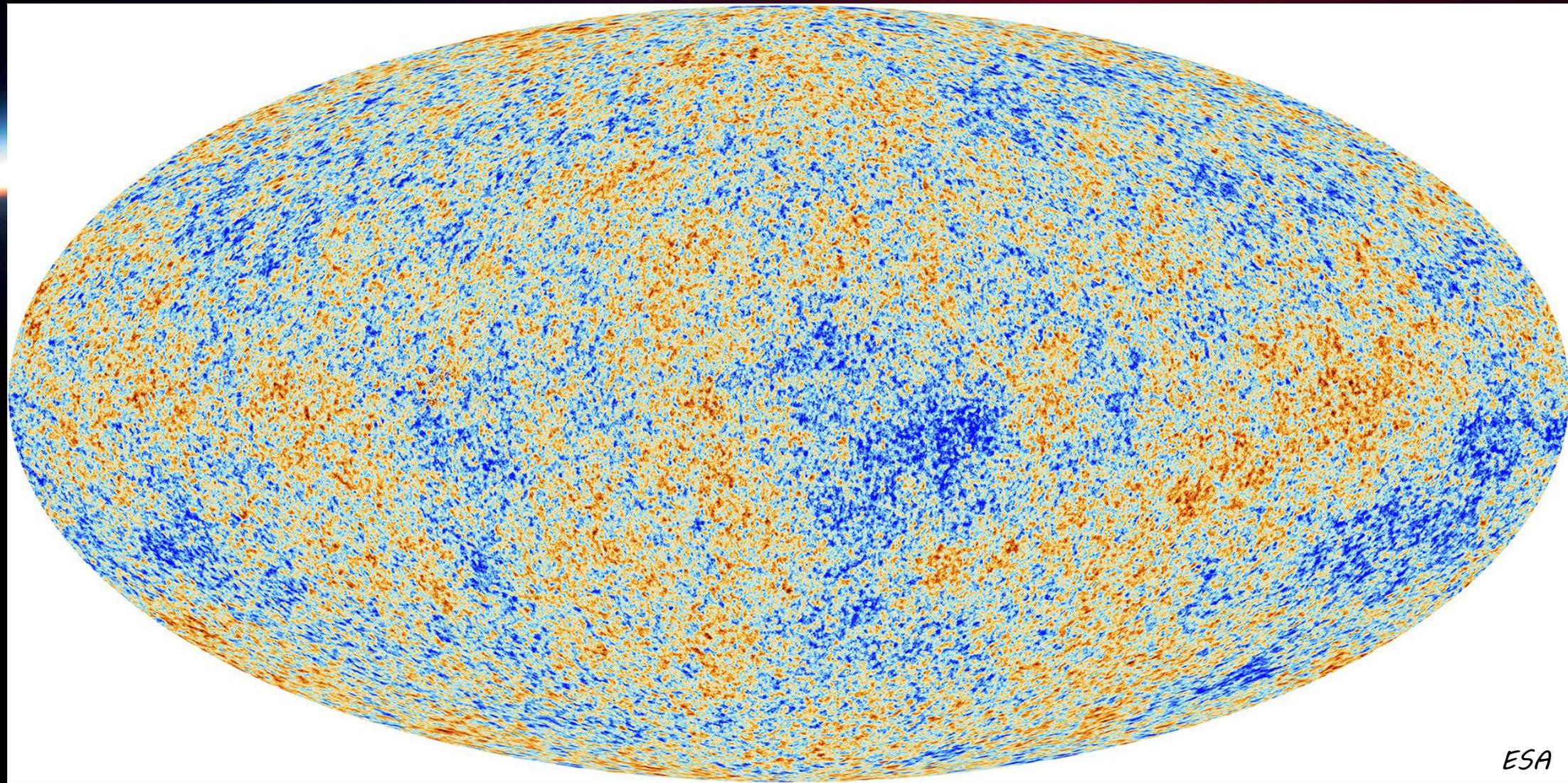
Studiando la luce emessa da supernove esplose a miliardi di anni luce\* di distanza da noi, nel 1998 gli astronomi sono giunti ad una conclusione inequivocabile: l'espansione dell'Universo iniziata con il Big-Bang circa 13,8 miliardi di anni fa sta accelerando anziché rallentare, come ci si aspetterebbe vista la presenza di massa ed energia la cui forza gravitazionale dovrebbe appunto consumare l'impulso iniziale che diede inizio alla suddetta espansione. La forza responsabile di questo fenomeno è stata definita "energia oscura". Benché la sua natura ci sia ancora del tutto sconosciuta, una cosa dell'energia oscura la sappiamo: essa è la principale componente dell'intero contenuto di massa ed energia del Cosmo. Come lo abbiamo scoperto?



Ann Feild (STScI)

## L'energia oscura

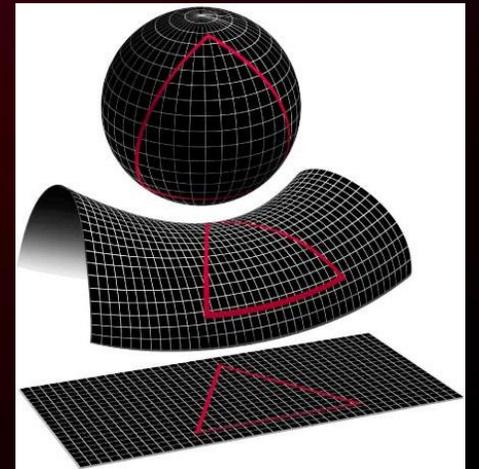
300 000 anni dopo il Big-Bang, la materia e la radiazione si divisero, nacquero i primi atomi e la luce iniziò a propagarsi liberamente originando il cosiddetto "bagliore" del Big-Bang. Quella luce si è raffreddata man mano che l'Universo è andato espandendosi e oggi ci perviene da ogni angolo di cielo sotto forma di una radiazione a microonde con una temperatura di circa 3 gradi assoluti ( $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); scoperta nel 1965 da Arno Penzias e Robert Wilson, è stata chiamata "fondo cosmico a microonde" (CMB). Essa ci mostra l'aspetto che l'Universo aveva soli 300 000 anni dopo il Big-Bang. Il satellite Planck ci ha fornito una mappatura dettagliata del CMB dove emergono regioni del Cosmo primordiale dove la materia era più o meno addensata. Le regioni più dense e fredde si sarebbero in seguito condensate per effetto della gravità formando le prime stelle e le prime galassie, mentre quelle meno dense e più calde sarebbero divenute gli sterminati "vuoti" che cospargono l'Universo attuale. Ora, poiché secondo la teoria della relatività di Einstein nulla nell'Universo che non sia la luce o la gravità può viaggiare ad una velocità pari o superiore a quella della luce nel vuoto, le regioni di diversa densità visibili nel CMB non potrebbero avere una estensione superiore a 300 000 anni luce (erano trascorsi solo 300 000 anni dall'inizio di tutto e dunque non ci sarebbe stato il tempo perché una di quelle zone potesse essersi dilatata, anche espandendosi ad una velocità prossima a quella della luce, per oltre 300 000 anni luce). Una regione di Universo estesa per 300 000 anni luce osservata da una distanza di quasi 13,8 miliardi di anni luce (distanza che corrisponde al tempo in cui si originò il CMB), apparirà nei nostri cieli con un'ampiezza apparente di circa 1 grado.



ESA

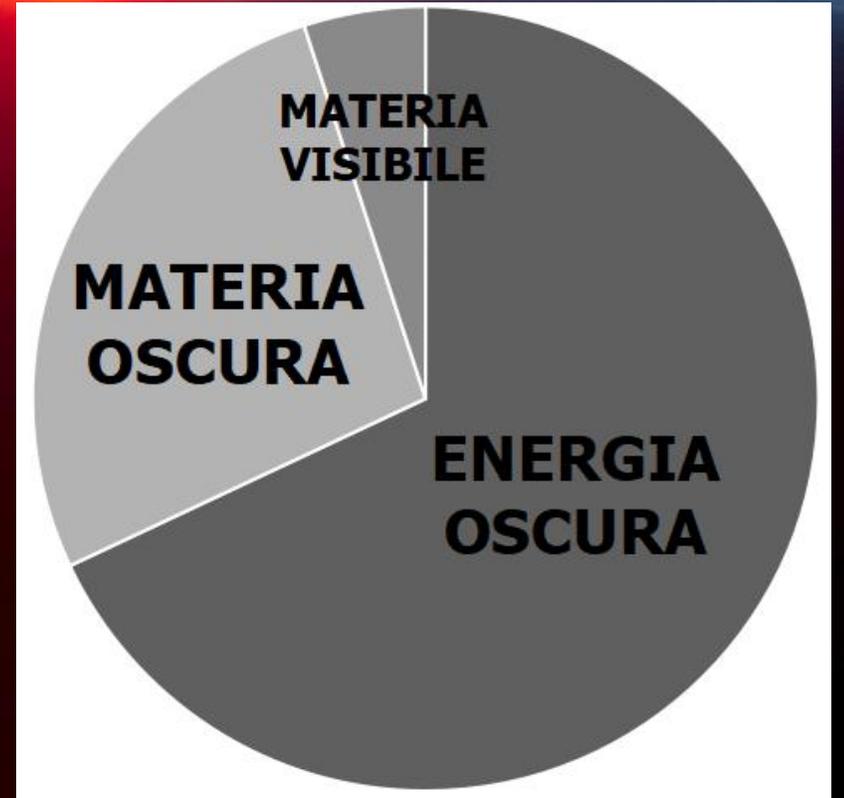
## L'energia oscura

Ma, ricordando che guardare lontano nello spazio significa sbirciare ugualmente lontano nel passato, la radiazione del CMB non ci giunge da una distanza di quasi 13,8 miliardi di anni luce (dove attualmente si trovano i confini dell'Universo osservabile) dopo aver attraversato spazio vuoto: essa ha attraversato uno spazio colmo di materia ed energia, e dunque incurvato da queste ultime come vuole la relatività generale di Einstein. Ora, se l'Universo è abbastanza ricco di materia ed energia, in altre parole è abbastanza denso, complessivamente la curvatura dello spazio-tempo è simile a quella di una sfera (positiva). In caso contrario, la curvatura è simile a quella di una sella (negativa). Se invece l'Universo ha una densità né troppo elevata né troppo bassa, globalmente lo spazio-tempo è piano. Nel caso di un Universo curvo positivamente, le zone più o meno dense visibili nel CMB ci apparirebbero, per un effetto di lente gravitazionale, con un'ampiezza apparente di poco inferiore a 1 grado. Nel caso invece di un Universo in cui lo spazio-tempo risultasse curvo negativamente, tali regioni mostrerebbero un'ampiezza apparente di poco superiore a 1 grado. Se invece lo spazio-tempo dovesse essere complessivamente piano, l'ampiezza delle regioni di differente densità del CMB avrebbe esattamente il valore di 1 grado.



## L'energia oscura

La mappa fornitaci dal satellite Planck non lascia spazio a dubbi di alcun genere: lo spazio-tempo, su vastissima scala, è globalmente piano, perché l'ampiezza delle regioni del CMB risulta essere, con un'incertezza alquanto piccola, proprio eguale a 1 grado. Tuttavia, la materia visibile e la materia oscura messe insieme costituiscono appena il 32% del contenuto di massa ed energia che l'Universo dovrebbe possedere perché lo spazio-tempo risulti complessivamente piano. Il 68% che sembra mancare all'appello è proprio rappresentato dall'energia oscura, che sebbene sia molto rarefatta permea ogni angolo del Cosmo con il risultato che essa è l'ingrediente primario del mix di materia ed energia che forma il contenuto dell'Universo. Ricapitolando: il 68% del contenuto massa-energia del Cosmo è rappresentato dall'energia oscura, il 27% dalla materia oscura e appena il 5% dalla materia a noi nota. Siamo all'oscuro del 95% di ciò che è presente nell'Universo in cui viviamo!

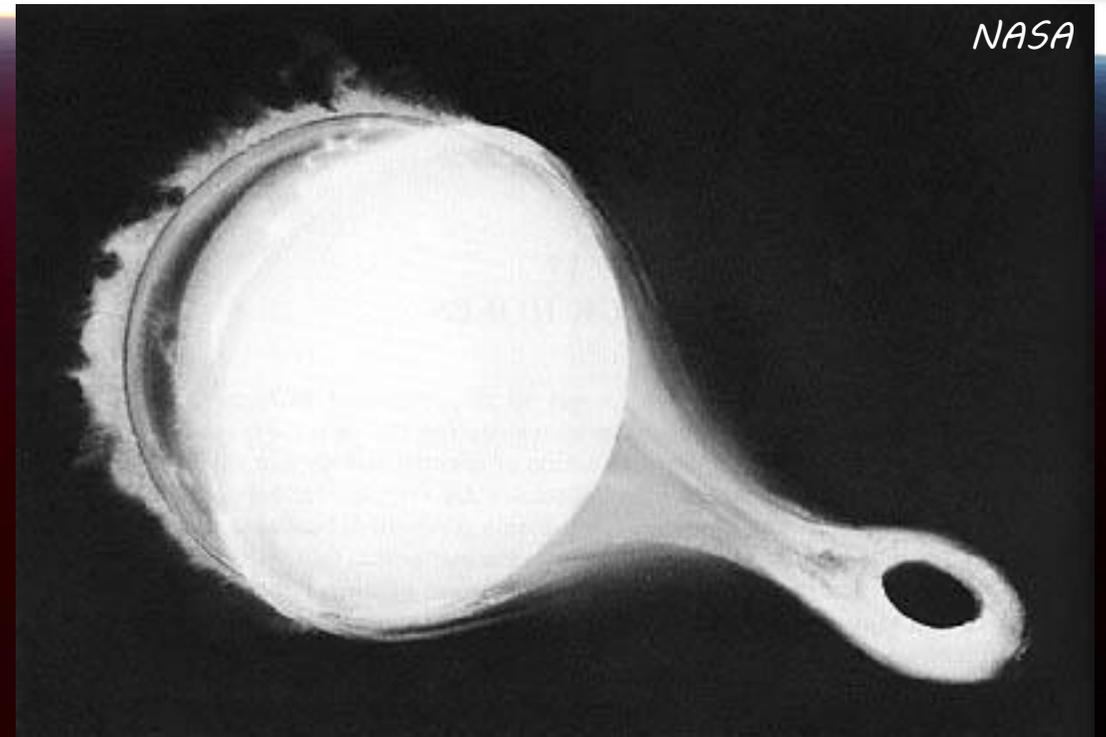


# L'energia oscura

La natura dell'energia oscura è tuttora un mistero. Una possibilità è che essa sia una qualche forma di "energia del vuoto" prevista dalla meccanica quantistica (la branca della fisica che si occupa di studiare l'Universo nella sua scala più piccola). Secondo il principio di indeterminazione di Heisenberg, caposaldo della meccanica quantistica, non è possibile conoscere contemporaneamente e con arbitraria precisione valore e rapidità di variazione di un campo (anche gravitazionale o elettromagnetico): quanto più si è precisi nel misurare il valore, per esempio, tanto maggiore sarà l'incertezza nella misura della rapidità con cui varia quel campo. Ciò significa che lo spazio non potrà mai essere perfettamente vuoto, poiché i campi ivi presenti avrebbero ambedue le grandezze in questione pari a zero e dunque determinate. Se si conosce con grande precisione il valore di un campo in un dato istante, è probabile che in quello stesso istante esso subisca una fluttuazione nei livelli di energia tanto reale quanto lo è il fatto che noi non saremmo mai in grado di rilevarla. Allo spazio vuoto è perciò associata una energia, costituita dalle "fluttuazioni quantistiche" dei campi volute dal principio di indeterminazione. L'esistenza dell'energia del vuoto può essere dimostrata attraverso l'effetto Casimir: mettendo una coppia di piastre metalliche parallele molto vicine tra loro, si registra una lieve forza che tende ad attrarle dovuta al fatto che le fluttuazioni di energia nel ristretto spazio fra di esse sono in numero molto minore delle fluttuazioni nello spazio sopra e sotto le piastre. L'energia del vuoto sembra possedere le caratteristiche dell'energia oscura, se non fosse per una gravissima questione: il valore dell'energia del vuoto previsto dalla teoria è  $10^{100}$  volte maggiore di quello misurato mediante l'effetto Casimir! L'eventuale conferma della teoria SUSY potrebbe sbrogliare questa matassa, mentre alcuni cosmologi si sono appoggiati alle previsioni della M-teoria, candidata teoria del tutto che sembra aver attirato su di sé l'attenzione di numerosi addetti ai lavori, per spiegare l'espansione accelerata dell'Universo in un modo tanto alternativo quanto affascinante.

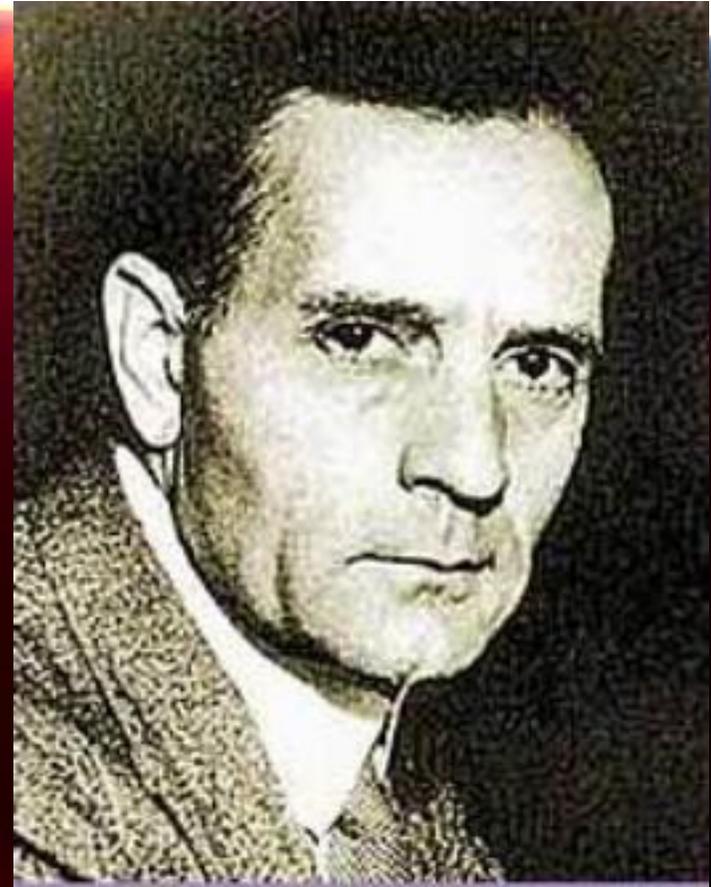
## *Iniziano i guai (1)*

*Nel 1916 Carl Schwarzschild dimostrò che quando un corpo sferico qualsiasi si riduce entro un determinato raggio critico determinato solo dalla sua massa, le equazioni della relatività generale presentano una singolarità, in altre parole perdono di validità e non portano ad alcuna soluzione. Inoltre, dalla regione di spazio-tempo delimitata dal raggio di Schwarzschild nulla, compresa la luce, avrebbe più potuto fuoriuscirne a causa della forza di gravità soverchiante. Nel 1939 J. Robert Oppenheimer dimostrò che una stella fredda con almeno il doppio della massa del Sole non potrebbe trovare una configurazione stabile né nella forma di una nana bianca né di una stella di neutroni, ma collaserebbe inevitabilmente al di sotto del proprio raggio di Schwarzschild originando ciò che noi oggi definiamo un "buco nero". Il primo di questi misteriosi oggetti fu scoperto solamente nel 1965.*



## *Iniziano i guai (II)*

*Negli anni venti Alexandr Friedmann e Georges Lemaître dimostrarono indipendentemente l'uno dall'altro che, secondo le equazioni della relatività generale, l'Universo deve trovarsi in una fase di espansione, fatto poi confermato nel 1929 dalla scoperta del fenomeno della "recessione delle galassie" ad opera dell'astronomo Edwin Hubble. Oggi stimiamo che 13,8 miliardi di anni orsono l'Universo doveva trovarsi in uno stato di infinita densità e dimensioni infinitesimali, uno stato che la relatività generale non è in grado di descrivere (singolarità) da cui prese origine attraverso l'esplosione primigenia che chiamiamo "Big-Bang".*



# SUSY

Simulare le condizioni di densità e temperatura vigenti al tempo del Big-Bang e all'interno dei buchi neri è compito dei fisici delle particelle, i quali si impegnano a fare questo mediante macchine acceleratrici come il grande sincrotrone LHC, presso il CERN di Ginevra. Tutto ciò che finora siamo stati in grado di comprendere è che a livelli estremamente alti di energia, al momento irraggiungibili dai nostri acceleratori di particelle, le quattro forze fondamentali della natura convergono e si fondono in un'unica forza fondamentale. Nel 1982 un gruppo di ricercatori sotto la supervisione del fisico italiano Carlo Rubbia dimostrò che la forza elettromagnetica, responsabile di fenomeni quali la luce e l'interazione fra cariche elettriche e magnetiche, diviene indistinguibile, a livelli di energia appropriatamente elevati, dalla forza debole, implicata nel fenomeno della radioattività. La forza elettrodebole è esistita nel nostro Universo fino ad un decimillesimo di secondo dopo il Big-Bang. Ad energie ancora maggiori, anche la forza nucleare forte, responsabile del legame che unisce i componenti all'interno dei nuclei atomici, si prevede debba confluire in una forza unitaria assieme con l'elettrodebole. Le teorie che trattano la combinazione della forza nucleare forte con quella elettrodebole prendono il nome di GUT (Great Unification Theories, ossia teorie di grande unificazione). Lo stesso discorso varrebbe poi anche nel caso della ben nota forza gravitazionale, la quale assieme alle altre tre, fino ad una frazione minuscola di secondo dopo il Big-Bang, sarebbe risultata combinata in un'unica forza fondamentale. Sebbene in laboratorio sia impossibile simulare simili condizioni di energia, i fisici teorici hanno trovato un ingrediente che pare debba svolgere un ruolo fondamentale nello scenario della grande unificazione: la "supersimmetria", o SUSY (SuperSymmetry). Secondo la supersimmetria, ad ogni particella costituente della materia (o fermione) corrisponderebbe una "sparticella" mediatrice di una forza (o bosone), e viceversa. All'elettrone, per esempio, fondamentale componente della struttura atomica (e quindi fermione), corrisponderebbe un bosone chiamato "selettrone", mentre al fotone, particella mediatrice della forza elettromagnetica (bosone), corrisponderebbe un fermione detto "fotino". Anche il recentemente scoperto bosone di Higgs, il quale è una manifestazione del meccanismo che conferisce massa alle particelle elementari, avrebbe una propria sparticella: lo "higgsino".

## La supergravità

Un modo di descrivere a livello matematico la supersimmetria è quello di considerare lo spazio costituito da un numero molto maggiore di "dimensioni extra". Tali dimensioni oltre le tre dello spazio e la quarta dimensione temporale non sarebbero visibili che su scale submicroscopiche, poiché "rattrappite" su loro stesse come la lunghezza del filo di un gomito di lana. Per i fisici era naturale trattare tali dimensioni extra come le quattro familiari dimensioni dello spazio-tempo, e perciò soggette a curvatura in presenza di oggetti dotati di massa. Nacque così la prima aspirante "teoria del tutto": la "supergravità". C'erano tuttavia delle questioni ancora aperte e la supergravità non parve trovare una soluzione soddisfacente per ognuna di esse, cosicché i fisici teorici abbandonarono temporaneamente al suo destino la teoria della supergravità per concentrarsi su altri scenari altrettanto esotici.

## *Le teorie delle superstringhe*

*I fisici iniziarono a guardare in maniera diversa alle particelle elementari che formano il mondo, e alle loro corrispettive sparticelle. Essi iniziarono a supporre che le particelle elementari non fossero degli oggetti puntiformi, bensì delle stringhe (o corde) chiuse o aperte, che vibrano ciascuna con una precisa frequenza. Come le corde di un violino vibrano nel modo caratteristico di una data nota musicale, così la frequenza di vibrazione di ogni stringa ne determinerebbe la natura particellare. Nacquero così le “teorie delle superstringhe”, che per alcuni anni dominarono la scena della fisica teorica come più probabili teorie del tutto.*

## La M-Teoria

La nascita della M-teoria iniziò quando i fisici si resero conto che le stringhe previste dalle teorie delle superstringhe sarebbero solo alcune delle possibili entità esistenti in un mondo con dimensioni extra. Si scoprirono, nello specifico, talune relazioni dette "dualità" che mettevano sorprendentemente in correlazione le teorie di superstringa con la ormai abbandonata teoria di supergravità, come se si trattasse in realtà sempre della stessa teoria ma applicabile solo entro un determinato range di dimensioni. Secondo la M-Teoria, in uno spazio con un totale di 11 dimensioni, il nostro Universo sarebbe un'entità a quattro dimensioni detta "4-brana", al cui interno le superfici sarebbero entità bidimensionali dette "membrane" mentre le stringhe sarebbero entità ad una sola dimensione. Potrebbero esistere "brane" con un numero di dimensioni superiori al nostro Universo, ma in esse la vita come la conosciamo non potrebbe esistere in quanto le forze elettromagnetiche e gravitazionali avrebbero intensità troppo basse per consentire alla materia di aggregarsi in forme complesse. Potrebbero altresì esistere 4-brane oltre la nostra, in cui invece la vita potrebbe essersi sviluppata analogamente al nostro mondo.

## L'Universo ecpirotico

Alcuni cosmologi hanno teorizzato che accanto al nostro Universo, radicato su una 4-brana, potrebbe esservi un universo parallelo, anch'esso quadridimensionale, e che la materia e l'energia all'interno di quest'ultimo esercitino attraverso le dimensioni extra una forza gravitazionale sul nostro mondo che noi attribuiamo erroneamente alla presenza di materia oscura. E non solo: c'è chi si è spinto a ipotizzare che la 4-brana parallela alla nostra stia avvicinandosi e ciò si manifesterebbe come l'espansione accelerata di cui facciamo carico l'energia oscura! Secondo tale visione, detta "universo ecpirotico", quando due 4-brane entrano in collisione tra loro si verifica un evento di "Big-Bang" che dà vita ad un universo completamente nuovo. Potrebbe dunque il nostro Universo essersi originato dalla collisione fra due 4-brane? E potrebbe un giorno andare incontro, se davvero una 4-brana affianca la nostra e vi si avvicina sempre più, ad un nuovo Big-Bang da cui tutto avrà nuovamente inizio? Sono queste le frontiere attuali della fisica teorica e i campi in cui numerosi scienziati si stanno adoperando, sia in ambito teorico che sperimentale, per spiegare i misteri più grandi e irrisolti dell'Universo in cui viviamo.