

3. Quant'è immenso il cosmo!

L'universo è immenso, e gli uomini non sono altro che piccoli granelli di polvere su un insignificante pianeta. Ma quanto più prendiamo coscienza della nostra piccolezza e della nostra impotenza dinanzi alle forze cosmiche, tanto più risulta sorprendente ciò che gli esseri umani hanno realizzato.

BERTRAND RUSSELL

Il nostro universo è davvero enorme. Ed è anche vecchio, poiché ben 13.8 miliardi di anni sono trascorsi dall'istante fatale della sua comparsa, atteso da un'infinità di non-tempo. (Vecchio per noi umani, perché come vedremo di vita davanti a sé ne ha ancora tantissima.) Il tempo si creò con ogni probabilità all'atto dell'immane Big Bang assieme allo spazio. L'immensa energia sprigionata nell'esplosione all'alba del tempo generò istantaneamente la massa delle particelle che sarebbero poi divenute la materia che costituisce tutto ciò che popola l'universo odierno: galassie, stelle, buchi neri, gas interstellare, pianeti, specie viventi e noi umani. La nascita dello spaziotempo con il Big Bang rende insensata la domanda di cosa ci fosse «prima», pur lasciando aperta la questione su come un tale evento abbia potuto aver luogo e a causa di cosa.

Il Big Bang fu silenzioso. E come avrebbe potuto lo scoppio far rumore in assenza di un mezzo meccanico come l'aria, nel quale le onde sonore avrebbero potuto

propagarsi? Difficile a credersi, l'esplosione più grande mai avvenuta fu anche buia. I fotoni della luce, prodotti in abbondanza già dopo una frazione d'istante dall'inizio di tutto, non avevano, infatti, alcuna possibilità di propagarsi nella densissima ed esotica materia che riempiva allora lo spaziotempo. Appena creati, i fotoni venivano immediatamente riassorbiti a seguito di collisioni con le infinite particelle elementari addossate le une sulle altre. Un'esplosione quindi molto singolare: silenziosa e buia, malgrado l'enorme energia associata all'evento. Ma del resto, chi o cosa avrebbe potuto godersi la vista di quel gigantesco fuoco d'artificio? Sarebbero stati necessari oltre 10 miliardi di anni per generare, almeno sul pianeta Terra, esseri animati in grado di rivelare le onde elettromagnetiche, ossia i fotoni che costituiscono la radiazione luminosa.

Sembra davvero impossibile parlare della singolarità iniziale, quel punto infinitesimo di smisurata energia presente per qualche ignoto motivo all'istante $t = 0$ – forse una mega fluttuazione quantica, una generazione spontanea e casuale di immensa energia dal nulla, dal vuoto quantistico. L'origine del tutto, l'Inizio per antonomasia, pare sfuggire dalle mani dell'uomo e della scienza, lasciando il campo a ipotesi mistiche e scenari di fantasia, tutti ovviamente indimostrabili e in fondo non soddisfacenti; questi, infatti, spostano la spiegazione e la giustificazione della nascita dell'esistente ad altri momenti e altre entità, generando in automatico la domanda fondamentale di chi

ha creato il creatore. La natura pare abbia posto un limite invalicabile all'uomo avido di sapere. Ma è davvero così? Forse dovremo attendere anni o secoli, ma la mente umana continuerà la sua missione di conoscenza. Del resto, solo cento anni fa non esistevano acceleratori di particelle e ignoravamo le leggi della meccanica quantistica e la cosmologia, e ancora meno sapevamo di noi stessi umani e del nostro cervello. E quindi via, con ipotesi affascinanti e per ora indimostrabili: universi oscillanti, tempi negativi, *multiverse* e altro ancora, in un turbinio di tentativi teorici per avvicinarci al mistero dell'origine del tutto, per risalire alle nostre radici più profonde.

Già una frazione infinitesima di tempo dopo il Big Bang l'universo comincia a esibire alcune delle caratteristiche che riconosciamo anche oggi, sia pure in uno scenario estremamente complesso.

Ci troviamo a soli 10^{-43} secondi dopo l'inizio.

Purtroppo, anche i nostri sforzi di generare ipotesi teoriche che spieghino la fisica di quell'istante sono messi a dura prova. L'universo ha una dimensione così piccola da non poter essere neanche immaginata; manchiamo perfino di una matematica in grado di supportare teorie scientifiche atte a descrivere la neonata natura di quel momento; la fisica è sconosciuta e tutte le elucubrazioni portano a situazioni del tutto incomprensibili per la nostra minuscola mente umana. La densità di energia è immensamente alta. La temperatura equivalente è di miliardi

di miliardi di gradi. Nasce la gravità ma non sappiamo come: probabilmente unita alle altre forze nella Teoria del Tutto. Forse, come prevedono alcune teorie, le dimensioni spaziali sono 10 e non le sole 3 osservabili oggi a livello sperimentale. La meccanica quantistica confligge con la gravità, tempo e spazio fluttuano nella cosiddetta schiuma quantistica: gli stessi concetti di misura vengono meno, il prima si confonde con il dopo e il lì con il qua. Altrettanto accade al principio di causa ed effetto, che di fatto non ha alcun significato.

Intorno a 10^{-36} secondi ha luogo un evento molto importante per la storia futura dell'universo e per noi umani in particolare. La simmetria tra il numero di particelle di materia e quelle di antimateria (della quale parleremo diffusamente nel seguito), create verosimilmente in egual numero all'atto del Big Bang, si rompe. In quell'istante così immediatamente successivo al Big Bang, da alcune reazioni che con ogni probabilità coinvolgono neutrini super pesanti si genera una leggera asimmetria, di una qualche parte su un miliardo a favore della materia. Questo piccolo eccesso percentuale di materia sopravvive alla gigantesca annichilazione delle coppie particella-antiparticella e dall'annichilazione si crea un enorme numero di fotoni. L'eccedenza di materia non accoppiata ad antimateria costituirà poi l'intero universo, nel quale l'antimateria appare ancora oggi quasi del tutto assente. E abbiamo davvero motivo per essere infinitamente riconoscenti per questo evento: dalla materia primigenia si sono generate

stelle e galassie, pianeti e vita sul pianeta Terra, e noi con essa. Mancando quella piccola eccedenza, l'universo sarebbe stato dominato da un incredibile numero di fotoni: un cosmo noioso e povero, che quasi certamente non sarebbe mai riuscito a evolversi e a generare vita e coscienza.

Tra 10^{-36} a circa 10^{-32} secondi dopo il Big Bang, un tempo davvero irrisorio, accade una nuova immane espansione del neonato spaziotempo, che genera la cosiddetta inflazione cosmica. A seguito di essa l'universo inizia una fase espansiva rapidissima e tumultuosa, come spinto da un secondo Big Bang forse ancora più potente del primo. Lo spazio del nascente universo si dilata a una velocità molto maggiore di quella della luce – nessun problema, lo spazio può espandersi a velocità arbitrariamente alte, non come la materia che lo riempie, soggetta al limite di velocità imposto da Einstein. Le dimensioni del cosmo crescono in maniera rapidissima e si moltiplicano per un fattore inimmaginabile, facendolo passare quasi istantaneamente da una lunghezza meno che infinitesima a qualche decina di centimetri di diametro: la palla di fuoco più incandescente mai immaginata e realizzata – se avesse senso parlare di fuoco. Un'espansione equivalente a quella di una molecola di DNA che diventi istantaneamente grande quanto la nostra intera galassia!

Un altro infinitesimo salto nel tempo, brevissimo, ma tale da farci entrare in una stanza sconosciuta dell'incredibile videogioco dell'universo. Da 10^{-32} a circa 10^{-11} secondi appare per la prima volta il campo di Higgs, il quale,

agendo su tutte le particelle comincia a rallentarne il moto attribuendo loro una massa. Prima di allora esse erano tutte rigorosamente senza massa, come i fotoni. Questo è un altro evento di enorme importanza per il futuro dell'universo e per noi stessi, in quanto proprio grazie a tale processo si è generata la massa delle particelle e in ultima istanza la nostra possibilità di essere qui a raccontare questa storia. Per tale motivo, è importante osservare che nell'infinitesimo attimo di 10^{-12} secondi dopo il Big Bang si colloca il nostro limite osservativo sperimentale. Ciò significa che nei nostri laboratori di fisica delle particelle, e in particolare negli scontri di alta energia tra protoni all'LHC del CERN, nei minuscoli punti di collisione delle particelle riusciamo a ricostruire delle densità di energia analoghe a quelle dell'universo primigenio: appunto quello di un millesimo di nanosecondo dopo il Big Bang. Come detto prima, l'LHC è di fatto una macchina del tempo, capace di ricreare micro-Big Bang in laboratorio e di farci conoscere la fisica di quegli istanti cruciali della vita dell'universo. In quel momento, l'universo è già bello e formato. Quell'Era, durata una microscopica frazione di secondo, vede lo spazio appena nato popolato dalle particelle che costituiscono quello che oggi i fisici chiamano Modello Standard delle Particelle Elementari. L'energia è così alta che gli stessi protoni e neutroni sono scissi nei loro costituenti interni, i quark e i gluoni – questi ultimi sono gli equivalenti dei fotoni per l'interazione forte.

Oggi, quindi, avendo avuto la possibilità di sondare la natura dell'universo com'era stato poco dopo la sua formazione, siamo in grado di affermare che la fisica delle particelle elementari, evocativa dello stato remoto del cosmo, è spiegata benissimo dal Modello Standard. Questo schema interpretativo, che include un imponente apparato teorico-sperimentale, si sviluppò a partire dagli anni sessanta del secolo scorso, quando ancora non riuscivamo a riprodurre in laboratorio i micro-Big Bang emblematici della realtà che il modello stesso descrive. A oggi, l'unica crepa nell'edificio della teoria è stata la scoperta delle oscillazioni di neutrino, un processo che spiega la trasmutazione di un neutrino di un dato tipo in un altro, una particella molto importante della quale parleremo a breve. A parte questo, però, il modello funziona noiosamente bene. Normale quindi che alla fine i fisici si siano concentrati a cercare l'architrave della sua struttura, ovvero la prova conclusiva e decisiva della validità della teoria: l'esistenza della particella che attribuisce una massa a tutte le altre, le quali, in sua assenza, sarebbero state portatrici di sola energia: il cosiddetto «bosone di Higgs».

Il meccanismo fisico-matematico di Higgs fu proposto nel 1964 da Robert Brout, François Englert e Peter Higgs e, indipendentemente, da Gerald Guralnik, Carl Hagen e Tom Kibble. In fisica diciamo che in una certa porzione dello spazio esiste un campo quando una particella che si trovi in quella zona risente dell'azione di una forza, applicata dallo stesso campo. La teoria di Higgs implica quindi

l'esistenza del campo di Higgs e del suo relativo bosone (il quanto associato al campo): la famosa particella di Dio, dal titolo del libro di Leon Lederman, un po' a rimarcare il ruolo assolutamente speciale che questa entità possiede nel pervadere l'intero volume del nostro universo e, attraverso la sua interazione, nell'attribuire una massa a tutte le altre particelle elementari. A margine, pare che la definizione originaria di Lederman del bosone di Higgs fosse stata *The Goddamn Particle*, cioè la particella maledetta, in quanto sfuggiva alle ricerche dei fisici (ma forse per motivi editoriali il nome fu cambiato in *The God Particle*, con un impatto mediatico certamente maggiore).

L'idea di un campo di Higgs e del bosone omonimo è quindi analoga a quella più nota del campo generato da una carica elettrica e del fotone – anch'esso un bosone – che ne è il tramite, ossia una particella che scambiata tra due particelle cariche fa sì che queste ultime sentano reciprocamente una forza elettromagnetica. In altri termini, parlare d'interazione mediata da un campo di forza è del tutto equivalente all'assumere che le particelle interagiscano scambiandosi i quanti del campo. I fotoni scambiati tra due particelle elettricamente cariche altro non sono che i quanti del campo della forza elettromagnetica.

Tornando alla teoria, la maniera con la quale il campo di Higgs genera la massa delle altre particelle è molto complessa. Possiamo provare però a fornire qualche semplice chiave di lettura – allargando questi concetti alle altre particelle elementari, elettroni, quark ecc. – che ci

permetta almeno di afferrare l'essenza del meccanismo, tralasciando il discorso tecnico. Esiste per esempio il campo del muone, una delle particelle del microcosmo, il quale poco dopo il Big Bang si dispiegò in tutto il volume dell'universo, riempiendolo. Oggi questo campo è ovunque, ma nel freddo universo attuale, nel vuoto cosmico di temperatura-energia quasi nulla, esso ha intensità pari a zero. L'unico modo per risvegliare il campo muonico dal suo torpore nello stato di energia nulla del vuoto è somministrargli energia per eccitarlo. È quanto accade nei nostri acceleratori al CERN: nel punto dove avviene la collisione tra le particelle accelerate, l'enorme densità di energia lì concentrata produce un'eccitazione del campo, come un sasso che crea un'onda in uno stagno. Questa perturbazione si materializza in un quanto del campo del muone – cioè la particella fisica muone – che comincia la propria vita autonoma nello spaziotempo, si propaga e poi decade in altre particelle, scomparendo di nuovo.

Diverso è il discorso per le particelle cosiddette stabili, che non possono decadere in altre più leggere: l'elettrone, i quark leggeri che formano i protoni e neutroni dei nuclei atomici, e i neutrini. Oggi troviamo queste particelle libere nell'universo; le prime tre costituiscono la materia ordinaria che lo riempie, fatta di atomi. Gli altri campi esotici – muoni, tau, quark pesanti ecc. – hanno invece un valore nullo nel vuoto, salvo che arrivi qualcuno e produca un'eccitazione locale somministrando (come nell'esempio

di sopra) energia e creando un loro quanto, osservabile come particella reale, ancorché per un tempo brevissimo.

Anche il campo di Higgs si diffuse in tutti i punti dell'universo solo 10^{-11} secondi dopo il Big Bang, quando si erano già creati i campi delle particelle elementari che conosciamo oggi. Proprio come un oceano d'acqua che, generato da un indistinto vapore acqueo rapidamente condensato, riempia vorticosamente una terra arida in un battibaleno. La condensazione dell'acqua accade per temperature più basse di 100 gradi centigradi; il campo di Higgs, invece, si condensò quando la temperatura dell'universo scese al di sotto della bellezza di 1 000 000 000 000 000 gradi (10^{15} gradi). Prima di allora il vapore-campo di Higgs aveva un valore molto piccolo; tutte le nostre particelle elementari in quel tempo erano senza massa. Dal momento in cui l'universo si riempì del «mare d'acqua di Higgs», esse cominciarono a interagire con il neonato campo che, come vedremo, raffreddandosi aveva acquistato un valore molto alto. Similmente alla forza che una carica elettrica percepisce quando si muove nel campo elettrico generato da un'altra carica, le particelle elementari risentirono del campo di Higgs, come nel caso di un mezzo denso che provoca attrito – e quindi inerzia – a qualcosa che lo attraversi.

Un esempio classico è quello della tazzina da tè. Immaginate di essere bendati e di girare un cucchiaino all'interno di una tazza vuota. Nel muovere il cucchiaino non risentite di alcuna forza e ritenete che esso sia leggerissimo, anzi, diciamo pure, esagerando, senza massa. Se all'im-

provviso qualcuno versa del miele nella tazzina, sentirete invece l'effetto della viscosità del mezzo nel quale ora il cucchiaino si sta muovendo. Allora, penserete giustamente che il cucchiaino sia diventato pesante e che abbia acquistato una massa. Bene. Il volume interno della tazzina è l'universo, il cucchiaino è una delle nostre particelle elementari, in un primo momento senza massa, e il miele è il campo di Higgs che tutto riempie e pervade dall'inizio dei tempi e per tutta la vita futura dell'universo, generando dinamicamente la massa delle altre particelle attraverso la sua interazione con esse. Mentre il fotone non risente in alcun modo della presenza del campo, restando quindi senza massa, le masse delle altre particelle scaturiscono dalla specifica attitudine che esse hanno nel relazionarsi al campo onnipresente di Higgs: più quest'accoppiamento è forte, maggiore è la massa che acquista la particella.

L'aspetto intrigante in questo discorso è che vi è una profonda differenza tra il comportamento dei campi associati alle varie particelle elementari e il campo di Higgs all'atto della sua condensazione. Nel primo caso, all'altissima energia propria dell'universo appena nato, il campo è eccitato e ha un valore relativamente grande. Al diminuire dell'energia, con l'espansione dell'universo, la sua intensità decresce fino a divenire nulla quando l'energia del sistema è zero, cioè quella dello stato del vuoto, lo stato di energia minima. Un vuoto riempito quindi da campi dormienti. Il campo di Higgs, invece, si comporta in modo del tutto diverso. Esso ha un valore quasi nullo nell'uni-

verso molto caldo e quindi giovanissimo. Col raffreddarsi del cosmo, il campo di Higgs si viene a trovare in una posizione di energia minima che però non corrisponde a un valore nullo del campo. Questo significa che nel vuoto quantistico c'è qualcosa di attivo, come un tranquillo mare immobile e silenzioso capace di esercitare un attrito su pesci e barche che lo attraversino, ossia le nostre particelle elementari. Questo attrito si manifesta come inerzia o massa per le particelle che si propagano nello spaziotempo, proprio come nell'esempio del miele.

Quando nel 2012 la particella di Higgs, eccitazione del campo omonimo, fu osservata al CERN, si trattò davvero di una grande scoperta e della prova conclusiva della correttezza del Modello Standard.

Ma torniamo ora al nostro fantastico film in *time-lapse*. Dopo un milionesimo di secondo dal Big Bang la temperatura continua a scendere a seguito del rapido aumento del volume del cosmo e compaiono nuove particelle fino ad allora assenti: un incredibile numero di adroni, come il protone e il neutrone, composti da quark ma molto più instabili. E assieme a loro i tantissimi elettroni accompagnati dalle loro antiparticelle, i positroni. (Esistono anche le antiparticelle degli adroni, gli anti-adroni: allo stesso modo degli elettroni e dei positroni, anch'essi si annichilano a seguito del loro scontro, distruggendosi a vicenda e producendo nella collisione energia e altre particelle figlie. Per questo motivo il numero di fotoni aumenta enormemente.)

Un secondo dopo il Big Bang, i tantissimi neutrini in precedenza prodotti e intrappolati nella densissima materia si liberano e iniziano la loro folle corsa verso i quattro angoli del cosmo, una corsa virtualmente inarrestabile che continua senza sosta ancora oggi.

Nel periodo tra circa uno e una decina di minuti troviamo l'universo molto attivo nel creare i primi nuclei leggeri, soprattutto deuterio – isotopo dell'idrogeno –, elio e litio. Questi si formano nelle reazioni di fusione termoneucleare innescate dall'ancora altissima temperatura, di alcuni miliardi di gradi. L'universo ha già una dimensione di alcune centinaia di anni luce. Qualche minuto gli è bastato per passare da una dimensione meno che subatomica a un'immensità cosmologica di spazio.

La fusione nucleare, attiva nei primi minuti di vita dell'universo, si differenzia dalla più nota fissione nucleare. In quest'ultima, il nucleo di un elemento pesante – uranio per esempio – si scinde in frammenti più piccoli, in nuclei di atomi con peso atomico inferiore, ovvero con meno protoni e neutroni. Una minima frazione della massa del materiale iniziale si trasforma però in energia, poiché la somma delle masse dei prodotti di fissione è leggermente inferiore a quella dei nuclei di partenza. La relazione di equivalenza $E = mc^2$ di Einstein permette quindi di generare quantità di energia enormi da una pur minuscola differenza di massa. Applicazioni della fissione nucleare sono, da una parte, le armi atomiche, nelle quali una grande quantità di energia è prodotta in maniera

incontrollata e distruttiva e, dall'altra, i reattori nucleari, dove la produzione di calore – la quale a sua volta permette di generare elettricità mediante delle turbine – è tenuta attiva in maniera controllata.

La fusione, invece, può avvenire quando nuclei di atomi leggeri sono costretti ad avvicinarsi molto tra loro – condizione verificata nell'universo primigenio, vecchio di appena qualche minuto. Allora i nuclei si fondono superando la forte repulsione dovuta alla propria carica positiva, che coincide con quella dei protoni che li costituiscono, poiché i neutroni sono elettricamente neutri. Si possono formare così nuclei di peso atomico maggiore, per esempio attraverso passaggi intermedi dai nuclei degli atomi di idrogeno a elio: il primo è costituito, come già detto, da un elettrone e un protone, il secondo da due elettroni, due protoni e due neutroni. In questa reazione la massa dei nuclei iniziali è leggermente maggiore di quella dei nuclei dopo la fusione, e la differenza di massa si trasforma anche in questo caso in energia.

La successiva importante tappa nella storia dell'universo è relativamente lontana nel tempo. Il prossimo balzo per trovare un cambiamento significativo ci porta a circa 250mila anni dopo il Big Bang. La temperatura media è ancora abbastanza alta, di svariate migliaia di gradi nonostante le dimensioni ormai colossali, ma il cosmo è ancora buio e pullula di particelle subatomiche. L'energia media dell'universo è troppo alta per permettere agli elettroni di stare

attaccati ai nuclei di idrogeno ed elio e formare gli atomi. Lo spazio è quindi pieno di nuclei atomici, elettroni, fotoni e neutrini, tutti a scontrarsi tra loro come biglie microscopiche impazzite di un gigantesco flipper cosmico.

Un nuovo salto ci porta a 380mila anni dopo l'inizio. Un momento davvero decisivo nella vita del giovane universo. Ha luogo il *Fiat Lux* e la prima vivida luce rossa riempie il volume del cosmo ormai divenuto trasparente ai tantissimi fotoni che lo riempiono, finalmente liberi di trasportare con la loro energia un flebile segnale luminoso. La densità di energia è ora sufficientemente bassa perché gli elettroni si leghino ai protoni per formare gli atomi. Nasce la materia come la conosciamo oggi, la materia atomica che costituisce i nostri corpi e il nostro pianeta. L'universo in quel momento ha la dimensione di qualche decina di milioni di anni luce.

Ma da quell'istante qualcosa comincia ad accadere ai tanti fotoni della luce visibile che riempiono lo spazio a seguito della menzionata collisione iniziale tra materia e antimateria. L'universo continua a crescere sotto la spinta dell'esplosione iniziale. Nuovo spazio viene creato di continuo e subito riempito dalla materia e dall'energia. Aumentando le dimensioni del cosmo e restando costante la quantità di energia e materia, la densità dei fotoni diminuisce progressivamente e con essa la temperatura dell'universo. Oggi osserviamo ancora quell'originaria radiazione luminosa, ormai però a una frequenza bassissima o, in maniera equivalente, a un'alta lunghezza d'onda

propria delle onde radio e non più della luce visibile. Tutto ciò a causa di un meccanismo simile a quello del cosiddetto «effetto Doppler».

In breve, l'effetto Doppler ha luogo quando una sorgente di onde, luminose o sonore, è in moto rispetto al ricevitore o ascoltatore. Se la sorgente si allontana, la frequenza misurata dell'onda appare minore; se la sorgente si avvicina, si percepisce una frequenza maggiore. È il caso tipico della sirena di un'ambulanza: quando si approssima a noi il suo tono diventa più acuto (aumenta la frequenza) mentre diviene più basso dopo averci superati, allontanandosi (la frequenza diminuisce). Ma la frequenza sonora della sirena rimane ovviamente sempre la stessa per i passeggeri del veicolo. Ai fotoni prodotti al momento del Big Bang accade una cosa simile: lo spazio che si espande rapidamente e nel quale i fotoni si propagano produce l'effetto dell'ambulanza. Per noi osservatori terrestri, i fotoni che riveliamo oggi hanno ridotto la loro frequenza e con essa l'energia, in accordo con la relazione di proporzionalità di Planck, che lega l'energia di un fotone alla frequenza dell'onda elettromagnetica a esso associata. Per questa interpretazione è essenziale osservare che a seguito dell'espansione dello spazio tutti i punti si allontanano da tutti gli altri, come avviene in ogni scoppio, come in un fuoco d'artificio. Questo succede anche a noi: osserviamo i fotoni originari del Big Bang propagarsi in uno spazio che, espandendosi simula le ambulanze che si allontanano da noi, così riducendo frequenza ed energia dei fotoni rivelati.

A seguito della prima apparizione 380mila anni dopo il Big Bang, la luce si spegne con la successiva e progressiva espansione dell'universo: l'energia dei fotoni della radiazione primigenia si degrada a valori più bassi di quelli della luce visibile. Seguono lunghe ere buie nella vita del cosmo, durate milioni di anni. Oggi i fotoni reduci del Big Bang – quelli generati a seguito della grande annichilazione materia-antimateria – riempiono tutto l'universo e costituiscono la cosiddetta radiazione cosmica di fondo (*Cosmic Microwave Background*, CMB). La sua energia corrisponde alla temperatura di 2.7 kelvin, circa -270 gradi centigradi. I 2.7 kelvin sono proprio la temperatura dello spazio interstellare, bassissima, ma comunque più alta dello zero assoluto, corrispondente a 0 kelvin, ovvero -273.16 gradi centigradi.

La luce si riaccese nell'universo milioni di anni dopo il Big Bang, quando cominciarono a nascere le prime stelle e con esse le galassie.

Oggi, 13.8 miliardi di anni dopo l'inizio, l'universo è ancora in espansione. Le osservazioni astrofisiche ci indicano però che la somma delle masse di tutte le stelle, pianeti, buchi neri, galassie e gas intergalattico dell'universo visibile, ovvero di quello composto dalla materia ordinaria fatta di atomi, ammonta soltanto al 5 per cento della massa-energia complessiva presente nel cosmo, stimata grazie a misure indipendenti. Circa il 27 per cento di tale energia appartiene a una forma di materia non visibile,

quindi oscura e tuttora sconosciuta, misurata sulla base dell'osservazione degli effetti gravitazionali che essa esercita sul moto di rotazione delle galassie – anche se oscura, è comunque materia e quindi possiede una massa.

Per spiegare la natura della materia oscura i fisici hanno proposto svariate ipotesi, alcune anche molto fantasiose. Essenzialmente vi sono due approcci differenti: nel primo si pensa a strutture cosmologiche invisibili, come microbuchi neri relitti del Big Bang, che possano riempire in maniera anomala e inaspettata lo spaziotempo; l'altra ipotesi prevede invece una spiegazione particellare. Alcune teorie, per esempio, predicono l'esistenza di una nuova classe di particelle elementari tuttora ignote, le cosiddette WIMP (*Weakly Interacting Massive Particles*). Si tratta di ipotetiche particelle molto pesanti e stabili che possono essere gravitazionalmente intrappolate attorno alle galassie e perturbare visibilmente il loro moto – questa osservazione è stata proprio la prima motivazione sperimentale della *necessità* della materia oscura.

Oltre che alla gravità, le WIMP sarebbero soggette a un'interazione molto debole con il resto della materia, tale da renderle difficilmente rivelabili e quindi oscure. Un possibile candidato per essere una WIMP è la più stabile tra tutte le ipotizzate particelle dette «supersimmetriche», le quali avrebbero popolato l'universo ai primordi e i cui frutti potrebbero essere arrivati fino a oggi. Queste, essendo dotate di una notevole massa e di una bassa probabilità di interazione convenzionale, potrebbero contribuire in

maniera sostanziale al budget massa-energia dell'universo. Parliamo dei cosiddetti neutralini, attivamente cercati nelle collisioni di alta energia all'LHC. È indubbio, comunque, che la scoperta della materia oscura costituirebbe un grandissimo risultato scientifico sia dal punto di vista della fisica delle particelle sia dell'astrofisica e della cosmologia.

E che dire del rimanente 68 per cento dell'universo che è di natura ancora più ignota? Parliamo in questo caso di energia oscura, tra l'altro responsabile del fatto che da qualche miliardo di anni l'universo ha addirittura iniziato ad accelerare la sua espansione. L'energia oscura è proprio il carburante che causa l'accelerazione degli oggetti, ossia le galassie, che riempiono l'universo. A essere precisi, si tratta dell'espansione dello spazio stesso nel quale stelle e galassie si collocano, ma il risultato non cambia.

L'esistenza dell'energia oscura divenne evidente alla fine degli anni novanta del secolo scorso. Accurate misure del moto delle galassie più lontane mostrarono che queste si allontanano da tutte le altre, e quindi da noi, a velocità molto crescenti con la distanza e in maniera accelerata. Uno degli obiettivi primari per la futura ricerca in astrofisica e cosmologia sarà capire la natura di questa energia misteriosa, attraverso l'osservazione e lo studio del comportamento di un numero considerevole di galassie (alcuni miliardi!). Un altro possibile strumento per la scoperta della causa di tale energia potrà essere anche in questo caso l'LHC del CERN. Nell'ipotesi di una causa particellare

per l'energia oscura, l'acceleratore di tutti i record potrebbe contribuire alla scoperta di una nuova classe di particelle capaci di far espandere lo spaziotempo nel quale si collocano, discretamente e silenziosamente...

Pensare che dopo centinaia di anni di ricerca scientifica conosciamo appena la natura di un modesto 5 per cento di tutto quanto riempie l'intero universo non può non lasciare un po' di amaro in bocca.