

Massimo Teodorani

RACCONTARE L'UNIVERSO

Introduzione divulgativa all'astrofisica

Massimo Teodorani, *Raccontare l'Universo*
Copyright © 2020 Tangram Edizioni Scientifiche
Gruppo Editoriale Tangram Srl
Via dei Casai, 6 – 38123 Trento
www.edizioni-tangram.it
info@edizioni-tangram.it

Prima edizione: febbraio 2020, *Printed in EU*

ISBN 978-88-6458-198-9

In copertina: Nebulosa della Carena, NASA, *Hubble Space Telescope*



Introduzione	9
--------------	---

Parte I:

le dinamiche del cielo	13
1 Universo primevo a flash intermittenti	15
2 Storia molto breve del Big Bang	19
3 Le dimensioni dell'Universo	34
4 La danza celeste	40
5 Nate assieme, morte in differita e poi fuse assieme in un buco dello spaziotempo	44
6 Parossismo dimensionale nelle stelle	50
7 Un lampadario di stelle blu	56
8 Un tappeto sferico di stelle	59
9 Universo violento	64
10 La morte delle stelle	69
11 La nascita delle stelle	82
12 Venti dalle stelle	89
13 Galassie	92
14 Quasar e mega-buchi neri	95
15 A caccia di buchi neri	103
16 Galassie in collisione	108
17 Laniakea	111
18 La stranezza dei <i>Fast Radio Burst</i> (FRB)	113

Parte II:

la fisica del cielo	117
1 La macchina cosmica perfetta	119
2 Trasformazioni energetiche	121
3 Il caleidoscopio della conservazione dell'energia	123
4 Interazione tra radiazione e materia	126
5 La storia infinita della materia	131
6 L'interminabile danza della materia nel cosmo	134
7 Armonia di opposti nel cosmo	138
8 La danza cosmica delle onde gravitazionali	142
9 Lenti gravitazionali – Un tributo a Einstein	149
10 La grande sfida degli astronomi	153
11 Multiverso e mondi paralleli	165
12 La teoria dell'Universo olografico	172
13 <i>Entanglement</i> e spaziotempo	178

Parte III:	
a caccia di pianeti in altre stelle	183
1 La ricerca dei pianeti extrasolari	187
2 Sette pianeti in un colpo solo	203
3 <i>Proxima-B Centauri</i> ce l'avevamo sotto il naso	206
4 Interferometria spaziale ed exopianeti	213
5 Bioastronomia. alla ricerca dell'intelligenza extraterrestre	217
6 Verso un'altra stella spinti dal vento della luce	225
Conclusioni	227
Appendice	231
1 Corso di macro e micro fisica	233
2 Quale facoltà scegliere: Fisica o Astronomia?	265
Glossario dei termini scientifici	275
Riferimenti Bibliografici	307

RACCONTARE L'UNIVERSO

Introduzione divulgativa all'astrofisica

INTRODUZIONE

Molti sono i libri divulgativi pubblicati negli ultimi cinquant'anni che trattano di astronomia e astrofisica, svariati di valore. Pochi, penso, sono i libri di questo tenore che, indipendentemente dai fatti descritti e discussi, mostrano – in maniera del tutto divulgativa e a tratti colloquiale – come effettivamente pensa uno scienziato nel corso delle sue investigazioni. Un modo di pensare che riflette i ragionamenti, i calcoli ma anche le riflessioni suscitate dai più svariati temi di ricerca.

Scrivere un libro omnicomprendivo sulla scienza del cielo oggi non è più una novità: ce ne sono già tantissimi di pregio. Si tratta di libri che possono essere dei veri e propri corsi introduttivi sulle basi dell'astronomia, oppure di libri semplicemente descrittivi che concentrano l'attenzione sulle tematiche trattate in questo tipo di ricerca, focalizzando più gli aspetti spettacolari (come per esempio i buchi neri) che non il tentare di spiegare più in profondità i meccanismi fisici che si celano dietro a tali aspetti.

Nel corso delle mie conferenze divulgative ho sempre cercato di mostrare come pensa un astronomo (o uno scienziato nelle scienze fisiche, più in generale) e le modalità adottate per raggiungere un certo risultato nella conoscenza dell'Universo, lasciando a volte una porta aperta anche alle fenomenologie che ancora non comprendiamo. Ho voluto concentrare l'attenzione sul far capire le cose piuttosto che sul farne meramente conoscere l'esistenza. Per questa ragione, in questo libro, invece di fornire un trattato omnicomprendivo sulla fisica dell'Universo, ho preferito fornire alcuni "flash" su alcuni degli aspetti trattati (di solito i più spettacolari, ma non sempre) cercando di approfondire i concetti così da presentarli in maniera non statica, dogmatica o

nozionistica. Ma ho voluto anche appassionare il lettore cercando di mostrare come il “meraviglioso” possa emergere anche dalla semplice comprensione scientifica dei fatti della natura e dei suoi meccanismi.

Il processo della ricerca scientifica è fluido e in continua trasformazione: indipendentemente dalla sofisticazione dei modelli matematici adottati per descrivere l’Universo, il percorso della scoperta è sempre dipendente dal livello di avanzamento dei telescopi e dei sensori utilizzati. Una teoria è stabilita come tale solo ed esclusivamente quando i dati osservativi si agganciano in maniera accurata a un modello in grado di descriverli.

L’Universo non può essere compreso, sia nella sua globalità cosmologica che nelle sue moltissime specificità, senza tenere conto del modo in cui i fenomeni in esso variano col tempo – su tutte le scale di tempo possibili, dall’ordine del microsecondo ai miliardi di anni. La fisica, in generale, di cui l’astronomia ne costituisce una parte, si basa solo ed esclusivamente su tutta una serie di parametri che variano sia con lo spazio che con il tempo, almeno fin da quando all’epoca dell’inflazione l’Universo neonato creò sia lo spazio che il tempo e la materia/energia in essi.

La derivazione di tali parametri fisici, dunque, si basa esclusivamente sul calcolo e sul confronto di questi calcoli con i dati raccolti con gli strumenti di osservazione e di misura. Pertanto le “storiette” che si leggono sull’Universo rappresentano ciò che emerge da questi calcoli e dai ragionamenti interpretativi che ne devono nascere.

L’Universo nella sua dimensione macroscopica non può essere compreso se non si conosce più che bene ciò che accade nella sua dimensione microscopica. Proprio per questa ragione abbastanza spesso farò delle escursioni anche nel mondo della fisica atomica, particellare e quantistica, che rappresentano il vero cuore dell’Universo. Dunque non si parlerà dell’armonia matematica delle sfere, bensì dell’anima fisica di queste sfere, aprendo ogni tanto degli

squarci nel muro della nostra ignoranza per curiosare in varie direzioni e sulle varie scale spaziali.

L'astronomo di un tempo era un matematico e non un fisico come lo è oggi.

Calcolava, spesso usando la trigonometria sferica (circa anno 1000), la posizione e il nascere e tramontare di stelle e pianeti, e lo faceva con una precisione estrema.

Più avanti (1600-1700), grazie a Johannes Kepler e a Isaac Newton, l'astronomia cominciò a entrare nel regno della fisica (meccanica in questo caso), con la meccanica celeste (una branca della meccanica razionale) – ovvero la cinematica – e poi la dinamica dei corpi celesti, ma restava sempre più matematica che fisica, perché non si considerava la struttura fisica di dati corpi che, invece, erano considerati meri punti materiali, seppur dotati di massa (grazie a Newton).

L'astronomia diventò fisica a tutti gli effetti solo quando fu inventata la spettroscopia, grazie a Padre Angelo Secchi (circa 1850). Da quel momento in poi quella che prima era astrometria (o astro-matematica) e meccanica celeste diventò a tutti gli effetti astrofisica; si unì la precisione matematica nel calcolo delle posizioni, delle distanze e delle orbite, con la comprensione della struttura fisica dei corpi celesti.

Oggi l'astronomo è un fisico. Un fisico del mondo macroscopico, solo all'apparenza, per la verità, dato che l'astrofisica comporta una conoscenza profonda anche dei processi che avvengono nel mondo microscopico, come, per esempio, le reazioni nucleari, i salti quantistici all'interno dell'atomo, o le particelle subnucleari che vengono spesso accelerate da fenomeni macroscopici ad alta energia.

È proprio sui processi fisici che avvengono nel macrocosmo, con escursioni nel microcosmo, che si baserà il mio discorso, che appunto consiste in una serie di sbirciate in qua e in là dal buco della serratura del solo apparente mistero che tutti ci avvolge. Proprio

per questa ragione questo libro non sarà “strutturato” in maniera convenzionale, ma sarà come aprire alcune pagine a caso del grande libro della natura.

Nella prima parte si fornisce una panoramica sui fenomeni più dinamici che caratterizzano le conoscenze astrofisiche attuali. Nella seconda parte si approfondiscono di più gli aspetti fisici dei fenomeni discussi, anche i più apparentemente scontati. La terza parte è interamente dedicata alla ricerca di pianeti extrasolari, con dettagli importanti e note tecniche. Completano il libro due appendici estensive: la prima raccoglie la trascrizione di un mio corso divulgativo di astrofisica generale, dedicato a un pubblico preparato; la seconda invece rappresenta un indirizzamento a quegli studenti che desiderino dedicare i propri studi universitari a queste tematiche.

Parte I:
LE DINAMICHE DEL CIELO

1 UNIVERSO PRIMEVO A FLASH INTERMITTENTI

Accadde più o meno 13,5 miliardi di anni fa.

Nell'Universo che conosciamo la prevalenza della luce sulla materia può avvenire solo quando ha luogo l'annichilazione tra particelle e antiparticelle, come per esempio quella tra elettroni e positroni oppure tra quark e antiquark. Dal momento che qui si parla delle primissime fasi dell'Universo, la seconda opzione è senz'altro quella di pertinenza.

Sappiamo che dai 10^{-32} ai 10^{-12} secondi dal Big Bang, di pari passo con lo sviluppo rapido della frammentazione delle interazioni fondamentali, ha luogo una fase in cui nascono le prime particelle, proprio sotto forma di quark e anti-quark, le quali annichilandosi generano un bagno di fotoni gamma: ciò è reso possibile dalle caratteristiche dell'Universo a una certa epoca. Dunque il fatto che ci siano dei flash è spiegabile solo dal fatto che la materia e l'antimateria coesistono, lottando l'una contro l'altra come antagoniste e dando luogo all'annichilazione reciproca con liberazione di una grande quantità di energia. In questa fase, infatti, l'Universo era interamente dominato dalla radiazione, la quale era generata proprio dai tentativi non riusciti fatti dalla materia e dall'antimateria di emergere. Al contempo avveniva il processo inverso, una specie di reazione simmetrica che portava gli stessi fotoni nati dall'annichilazione a materializzarsi per creare a loro volta coppie di quark e anti-quark. Le reazioni in entrambi i sensi sono permesse dall'equazione di Einstein relativa all'equivalenza tra massa e energia. In tal modo abbiamo un Universo che non si decide mai ad assumere una forma definitiva, dal momento che oscilla tra coppie di materia-antimateria e fotoni di luce ad altissi-

ma energia. Abbiamo, dunque, un Universo a pulsazione (seppur non percepibile) continua, con un periodo che è molto meno di un miliardesimo di secondo, che alterna la materia-antimateria alla radiazione, che si sviluppa come una catena apparentemente interminabile. Infatti, non è minimamente pensabile in queste fasi un Universo caratterizzato da luce stabile: quello che sembra a tutti gli effetti un “effetto stroboscopico” deve avvenire per forza, per la semplice ragione che esso è determinato dalla continua creazione di coppie quark-antiquark e dalla loro puntuale annichilazione. Solo che l’effetto non è percepibile, dato che l’Universo in questa fase ci appare come un immenso bagno di luce solo apparentemente statica.

Poi a un certo punto i flash si fermarono e, per ragioni che ancora non conosciamo, avvenne la rottura della simmetria tra materia e antimateria. Vinse la materia, anche se 13,5 anni dopo l’antimateria riappare e poi scompare (anche qui sotto forma di una pulsazione non percepibile) in continuazione come un fantasma sotto forma di positroni durante la fusione termoneucleare nelle stelle, un processo che può durare fino a dieci miliardi di anni in alcune stelle a piccola massa.

Dunque nelle sue primissime fasi di vita l’Universo attraversò un’epoca dominata interamente dalla radiazione perché quark e antiquark, annichilandosi tra loro, generavano un’enorme quantità di energia: materia e antimateria in perfetto equilibrio generavano luce eliminandosi l’una con l’altra. In quei momenti l’Universo era costituito da un immane fiotto di fotoni gamma. Probabilmente è a questa fase che ci si riferisce quando si menziona la frase latina “*Lux fuit*”, almeno per come la vedono gli astrofisici e i cosmologi.

Poi, per una ragione che non abbiamo ancora compreso, si ruppe la simmetria e la materia (quark e leptoni) cominciò a prevalere sull’antimateria fino a che l’antimateria sparì dal nostro Universo. Allora l’immensa luce iniziò rapidamente ad affievolirsi fino a

lasciare il posto, alcuni miliardi di anni dopo, a un immenso buio costellato di puntini luminosi rappresentati dalle galassie con dentro le stelle, nate da protoni ed elettroni messi assieme dalla gravità. Ma non c'era proprio più traccia di antimateria.

Eppure l'antimateria compare sempre, comportandosi come l'uccellino di un orologio a cucù. Ciò avviene sempre nel corso delle reazioni termonucleari nel Sole e nelle stelle. Nel caso più semplice, quando due nuclei di Idrogeno, venendo a contatto, si fondono per formare il Deuterio (isotopo dell'Idrogeno nato per decadimento Beta) la fusione produce anche un neutrino e un positrone, ovvero un elettrone con carica positiva, ovvero l'antielettrone. Ecco, dunque, ricomparire l'antimateria, in questo caso sotto forma di leptoni (vedi Appendice 1). Ciò, però, dura solo un picosecondo perché in questa fase dell'Universo l'antimateria è come se fosse intermittente, dato che poi quel positrone, unendosi con un elettrone libero del plasma stellare, genera un'annichilazione con enorme produzione di energia. E avanti con questo processo fino a che tutti i miliardi di miliardi di nuclei di Idrogeno che ci sono in una stella vengono trasformati in Elio. L'antimateria diventa, dunque, il fattore intermediario per produrre energia e per far brillare una stella nell'arco di qualche miliardo di anni.

Ma l'antimateria compare per pochi attimi anche nei fulmini. A causa dell'elevatissima elettricità atmosferica si viene a creare un fortissimo campo magnetico sopra la zona temporalesca, il quale accelera elettroni ad altissima energia verso l'alto, a una velocità prossima a quella della luce. A un certo punto questi elettroni vengono deflessi dalle molecole di aria dando luogo a un "*outburst*" di fotoni gamma (l'energia più alta raggiungibile in natura), corrispondenti a energie pari a oltre 500.000 elettronvolt. Alcuni di questi fotoni super-energetici possono colpire direttamente i nuclei atomici dell'aria spezzandoli, generando anche una coppia di particelle, una di materia sotto forma di un elettrone e una di antimateria sotto forma di un positrone. I positroni prodotti vengono

sparati nello spazio seguendo a spirale le linee di forza del campo magnetico terrestre. Siccome nello spazio c'è il vuoto di materia, di solito non succede nulla, ma se il positrone incontra qualche particella di materia, come un elettrone, allora per un millesimo di secondo si genera (di nuovo) un flash di raggi gamma a causa della annichilazione materia-antimateria (processo opposto alla produzione di coppie), proprio come quello rilevato dal telescopio spaziale ad alta energia Fermi nel 2009, mentre dava la caccia a lampi gamma provenienti dallo spazio profondo. In ogni caso la quantità di antimateria prodotta a ogni evento iniziale (produzione di coppia) è davvero piccola, qualche miliardesimo di grammo, anche se questi eventi avvengono almeno 500 volte al giorno, a causa dei temporali nel mondo.

Sembra che gli ingegneri cosmici di quella che è di fatto un'immensa macchina, l'Universo, abbiano fatto un tentativo che prima non gli è piaciuto. Al che hanno modificato il progetto usando l'antimateria, non per eliminare tramite annichilazione tutta la materia dell'Universo, ma per far brillare le stelle. Pezzi di antimateria stabile per poche frazioni di secondo, che invece si producono artificialmente di routine negli acceleratori come al CERN, potrebbero esistere anche nel nostro Universo ma per ora non c'è certezza: potrebbe trattarsi delle frattaglie della "creazione" che gli ingegneri di cui sopra non sapevano dove mettere e allora le hanno buttate sotto un tappeto.

2 STORIA MOLTO BREVE DEL BIG BANG

Le particelle che oggi conosciamo, ovvero quelle che costituiscono la nostra realtà, come protoni, neutroni, elettroni e la loro combinazione in atomi, sono il risultato di un'evoluzione partita al momento in cui nacque l'Universo. Sicuramente la teoria più importante sulla nascita dell'Universo è quella del Big Bang: questa è la teoria oggi più universalmente accettata dalla comunità scientifica.

La teoria del Big Bang assume che l'Universo sia nato all'incirca 13,5 miliardi di anni fa dall'esplosione e successiva espansione di un punto singolare delle dimensioni di un atomo. In ogni caso, assumendo che questa teoria sia corretta, è possibile tracciare un percorso che, di pari passo all'espansione dell'Universo nel suo insieme, porta a una drastica trasformazione delle particelle in esso contenute e delle interazioni che le caratterizzano. L'evoluzione parte da condizioni in cui le quattro interazioni erano completamente unificate in una sola, poi prosegue verso una fase in cui la forza nucleare forte è unificata con la forza elettrodebole in un'unica forza denominata "forza elettro-nucleare" mentre al contempo la forza gravitazionale si è distaccata seguendo un suo destino separato. Proseguendo nel tempo, la forza nucleare forte e quella elettrodebole si dividono a loro volta. Alla fine – ovvero quando l'Universo raggiunge la forma che ha adesso – avremo le quattro forze fondamentali della natura separate come le conosciamo adesso: la forza elettromagnetica, la forza nucleare forte, la forza nucleare debole e la forza gravitazionale.

Tutto quello che può essere descritto dalle equazioni della fisica funziona bene solo dopo i 10^{-6} secondi passati dall'esplosio-

ne. Mentre tra i 10^{-43} e i 10^{-6} secondi, la teoria del Big Bang non è nient'altro che una serie di ipotesi. Prima dei 10^{-43} secondi le condizioni dell'Universo erano talmente estreme – con la massa dell'Universo concentrata in un punto e la temperatura caratterizzata da un valore infinito – che la nostra fisica non è in grado di descriverle quantitativamente. Possiamo tuttavia fare delle ipotesi sulla base delle nostre conoscenze della fisica delle particelle elementari e della meccanica quantistica.

Prima dei 10^{-43} secondi, noi non possiamo sapere nulla ma solo speculare. Infatti questa scala temporale – definita come “tempo di Planck” – corrisponde al più piccolo intervallo di tempo possibile in termini di meccanica quantistica. Questo tempo limite corrisponde a una lunghezza limite che è quella di Planck, pari a 10^{-33} cm: si tratta di una scala spaziale trattabile solo dalla meccanica quantistica. La lunghezza di Planck (definita in termini delle costanti fondamentali della natura) è la scala di lunghezza a cui la forza di gravità è uguale a quella delle altre forze (nucleare forte, debole, elettromagnetica) e dove si è forzati a riconciliare la natura quantistica della materia con la natura spazio-temporale della gravità. Queste scale temporali e spaziali sono incompressibili e rappresentano anche una specie di “orizzonte” alle nostre conoscenze della fisica. Si ipotizza che questa fase primordiale dell'Universo sia rappresentata dal dominio della cosiddetta “superforza” – altrimenti definita anche come “gravità quantistica” – dove tutte e quattro le interazioni note erano unificate in una sola. In questa fase, dove la materia doveva ancora venire all'esistenza, si ritiene prevasse solo il “vuoto”, ovvero il più basso possibile stato di energia dell'Universo. Ma non un vuoto vero, bensì un vuoto pieno di “particelle virtuali” di materia e antimateria che apparivano e scomparivano come bolle di sapone. Queste sono quelle che vengono definite in meccanica quantistica come “fluttuazioni quantistiche del vuoto”. Dun-

que il vuoto – inteso come vasto oceano di potenziale – si comportava come una specie di “lavagna” su cui veniva scritto l’Universo: in tal modo l’Universo non è riempito di vuoto quantistico, ma è letteralmente scritto su di esso; quindi, il vuoto rappresenta il reale substrato di tutta l’esistenza. L’Universo come esiste adesso si ritiene che sia nato proprio da una di queste fluttuazioni del vuoto. In sostanza sarebbe una nascita dal nulla. La nostra fisica può comunque proporre delle ipotesi ragionevoli – sulla base della teoria del Big Bang – solo relativamente all’evoluzione dopo i primi 10^{-43} secondi, cioè solo dopo la fase di Planck. Una delle ragioni per le quali la nostra fisica è inefficace a spiegare la fase di Planck è proprio la mancanza di comprensione del perché tutte le quattro interazioni fondamentali sono in essa unificate. Sappiamo solo che a energie estremamente alte le forze della natura diventano “simmetriche”, cioè esse si compenetrano l’una con l’altra e diventano uguali in intensità. Ciò avviene quando le forze quantistiche e la gravità si fondono in un’unica forza: la supergravità.

Ma prima del tempo di Planck l’Universo viveva in uno stato di assoluta simmetria, rappresentata dall’unificazione di tutte le forze, dalla creazione di particelle e antiparticelle virtuali senza massa e da uno spaziotempo ancora contorto su se stesso.

Dai 10^{-43} ai 10^{-35} secondi, il diametro dell’Universo – all’inizio di questa fase temporale – doveva essere all’incirca quello della lunghezza di Planck, ovvero dieci milioni di miliardi di volte più piccolo di un atomo di Idrogeno. Nei primi 10^{-43} secondi la densità e la temperatura dell’Universo erano virtualmente infinite e l’Universo era concentrato in un punto che denominiamo “singolarità cosmica”. In questa fase non esisteva né tempo né spazio: in realtà il tempo rimaneva un concetto non identificabile, mentre lo spazio era compattato su se stesso. Proprio in questa fase le dimensioni manifeste dell’Universo erano dieci, ovvero quelle previste dal-

4 LA DANZA CELESTE

Riproiettiamoci ora nell'Universo come lo vediamo adesso, dove 13,5 miliardi di anni dopo il Big Bang i vari corpi celesti tendono ad aggregarsi tra loro grazie alla forza gravitazionale. I satelliti orbitano attorno ai loro pianeti. I pianeti ruotano attorno alle loro stelle. Le stelle possono orbitare in sistemi multipli attorno a un comune centro di gravità, aggregarsi in ammassi più o meno sovrappopolati (come per esempio gli ammassi globulari che possono contenere fino a 100.000 stelle) e al contempo le stelle singole, i sistemi multipli e gli ammassi stellari ruotano attorno al centro della galassia. Le galassie a loro volta si aggregano gravitazionalmente tra loro fino a formare ammassi di galassie.



Ammasso di galassie Abell 2218. Fonte: NASA *Hubble Space Telescope*.

fan-Boltzmann). È distante solo 65 anni-luce da noi e ha una debolissima compagna che orbita attorno allo stesso baricentro gravitazionale. 320.000 anni fa, quando era molto più vicina a noi (ha una notevole velocità radiale rispetto a noi), era la stella più luminosa in cielo.

Essa si trova alla fine della sua vita evolutiva, avendo esaurito il carburante nucleare nella zona centrale, ma dovrebbe avere ancora 100.000 anni di vita. Dopo la fase di gigante diventerà probabilmente una nebulosa planetaria con una nana bianca al centro.



Nebulosa planetaria a doppio getto M2-9.

Fonte: NASA *Hubble Space Telescope*.

Non ci sarà nessuna spettacolare esplosione di supernova, probabilmente, ma solamente una “esplosione rallentata” sotto forma

7 UN LAMPADARIO DI STELLE BLU

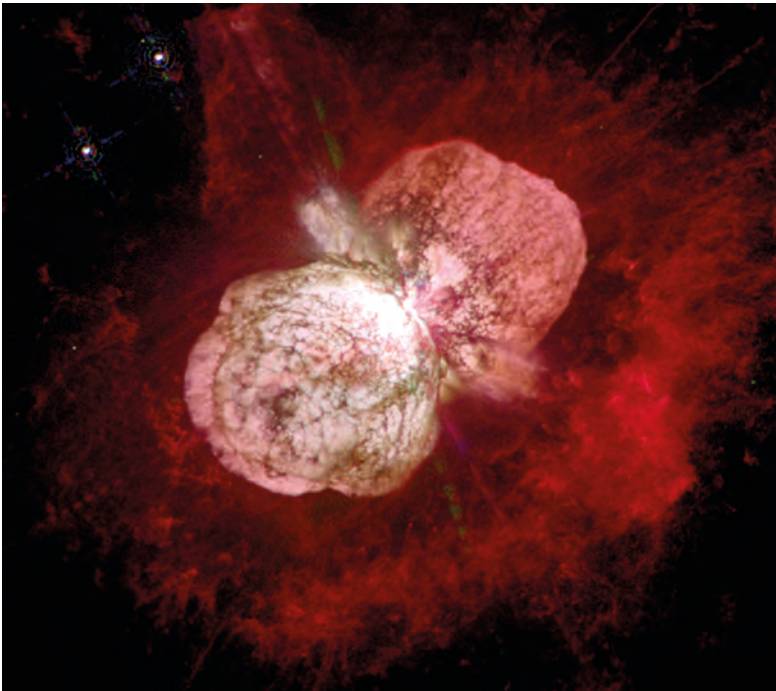
Non smetto mai di meravigliarmi di fronte alla estrema bellezza delle regioni di formazione stellare, in particolare quella osservata relativamente di recente dallo *Hubble Space Telescope* nella Nebulosa della Tarantola, che si trova nella Grande Nube di Magellano (galassietta satellite della nostra) a circa 160.000 anni-luce da noi.



Formazione stellare nella nebulosa “Tarantola”.
Fonte: NASA *Hubble Space Telescope*.

lo principale nell'arco di trent'anni, dovuto ai crescenti effetti di compressione e di conseguente riscaldamento a causa del violentissimo fronte d'urto in espansione in un mezzo disomogeneo (causa dei "blob luminosi" osservati).

Oltre all'osservazione di supernove al loro nascere, siamo stati anche in grado di osservare stelle particolarmente turbolente che sono in procinto di entrare nella fase di supernova, la più eclatante delle quali è probabilmente η *Carinae*. Essa è una delle stelle più strane che siano mai apparse alle osservazioni dello *Hubble Space Telescope* una decina di anni fa. A guardarla adesso (cioè come era 8.000 anni fa) sembra che stia per scatenarsi un inferno. Al contempo, ha una forma decisamente buffa, seppur inquietante.



Stella attiva *Eta Carinae* e la Nebulosa Omuncolo che la circonda.
Fonte: NASA *Hubble Space Telescope*.

11 LA NASCITA DELLE STELLE

È esattamente come un bambino di poche settimane nell'utero della sua mamma. Polveri e gas che improvvisamente iniziano a condensarsi e che dopo qualche milione di anni collasseranno in strutture sferoidali autogravitanti e rotanti, aiutate da “levatrici” molto speciali: le onde d'urto delle supernove alla velocità di almeno 10.000 chilometri al secondo, o più semplicemente i venti di particelle a 3.000 chilometri al secondo delle stelle nelle vicinanze.

Mentre una levatrice umana spinge il bambino verso l'esterno, queste cosmiche levatrici spingono il gas e le polveri verso l'interno facendo collassare questo materiale, che presto all'aumento della densità e, quindi, del numero di collisioni atomiche inizierà a riscaldarsi fino ad accendere dopo un certo tempo le prime reazioni termonucleari, quelle che porteranno alla nascita di una stella come il Sole, per esempio, che brillerà per alcuni miliardi di anni.

Così all'infinito, in un processo senza fine, dove le morti stellari forniscono il materiale per nuove vite stellari. Il materiale di cui noi stessi siamo fatti deriva da polvere di stelle. Ci tormentiamo o ci facciamo tormentare la vita per tutto il santo giorno, quando non ricordiamo di essere immersi all'interno di un miracolo senza fine.

Le stelle prima di nascere formano dei bozzoli nebulosi denominati “proplidi” o “globuli di Bok”: questa fenomenologia rappresenta l'inizio del collasso gravitazionale. Esempi eclatanti di questi oggetti si vedono nella Nebulosa della Carena, grazie alle bellissime immagini fornite dal telescopio spaziale Hubble.

In una fase successiva iniziano a formarsi le stelle vere e proprie, che comunque nelle primissime fasi sono oggetti estremamente irrequieti: ciò rappresenta la fase che precede il lungo periodo di sta-

tra il materiale intergalattico. Molto recentemente, grazie alla rete interferometrica radio EHT è stato finalmente possibile “fotografare” l’orizzonte degli eventi di uno di questi buchi neri tramite un’immagine che marca l’emissione prodotta dal disco di accrescimento che circonda il buco nero, in particolare nella Quasar M-87.



Il buco nero supermassiccio nel nucleo della galassia ellittica Messier 87 nella costellazione della Vergine. Fonte: *EHT*.

Certamente è grazie, soprattutto, all’elevatissima risoluzione spaziale della nuova generazione di telescopi che siamo riusciti a localizzare quella zona piccolissima al centro delle Quasar che rappresenta il disco di accrescimento e il buco nero nascosto al suo interno. Questo “piccolissimo” disco infuocato ha un diametro di solito dell’ordine di qualche decina di anni luce o meno, il che significa che è almeno 10.000 volte più piccolo della Quasar che lo contiene.

2 QUALE FACOLTÀ SCEGLIERE: FISICA O ASTRONOMIA?

A volte penso spesso agli studenti molto ferrati in fisica e matematica e abituati a dedicare moltissimo tempo allo studio che si trovano a dover scegliere adeguatamente il loro futuro. Non saranno necessariamente orientati alle scienze esatte; magari, potrebbero decidere di studiare biologia, archeologia, lettere antiche, architettura o filosofia. Ma certamente larga parte di loro sceglierà facoltà con una forte impronta matematica, ed è naturale che sia così. Dove si indirizzeranno?

I più pratici sceglieranno Ingegneria nei vari indirizzi (elettronica, meccanica, nucleare, aerospaziale e ottica gli indirizzi più “matematici”) oppure Informatica; i più “puristi” invece sceglieranno Matematica, Fisica o Astronomia. Ma chi veramente vuole studiare come è fatto e funziona il mondo si indirizza su Fisica o Astronomia. Mi sento in dovere di inserire anche questa appendice per gli studenti dei licei (soprattutto, scientifici e classici, ma non solo), dato che spesso gli studenti mi scrivono via mail per chiedere consigli sulle loro scelte future.

Quali sono le differenze tra i corsi di laurea in Fisica e Astronomia? Metodologicamente non sussiste nessuna differenza, dato che tra l'altro le due sono scienze esatte sorelle l'una dell'altra. Tutti gli esami matematici e fisici più importanti, ovvero quelli ad altissimo contenuto formativo e che costituiscono la vera ossatura di questi corsi, sono in comune. L'Astronomia, infatti, che secoli fa era più parente della Matematica che della Fisica, non è altro che una branca specifica della Fisica. Un laureato in Astrono-

mia, dunque, non è altro che “una delle svariate tipologie del fisico”. Infatti, ai nostri tempi dire “astronomo” e dire “astrofisico” è dire esattamente la stessa cosa.

I due corsi presentano esattamente lo stesso livello di difficoltà e di impegno. Se non si è ferrati nelle materie di base si fa veramente moltissima fatica (studiare molto non basta), il più delle volte ci sono le rinunce. Ricordo che al mio corso (a quel tempo quadriennale) su cinquanta iscritti solamente venticinque arrivarono alla laurea. La selezione qui viene fatta direttamente sul campo.

Quali sono, dunque, le differenze tra Fisica e Astronomia? Si tratta di differenziazioni tematiche, non metodologiche. Lo studente di Astronomia, dopo aver condiviso gli “esami tosti” con lo studente di Fisica, poi si indirizza verso “altre fisiche”, tipo astronomia, astrofisica, meccanica celeste, cosmologia. Un laureato in Astronomia, quindi, ha una specializzazione piuttosto spinta fin dalla laurea, mentre un laureato in Fisica, seppur già molto indirizzato verso il settore della fisica particellare, si laurea con una preparazione più generale. In sostanza un astronomo può essere definito un “macro-fisico”, mentre un fisico è molto spesso un “micro-fisico” oppure un “fisico generale”.

Riporto, a titolo di esempio una scheda comparativa dei corsi di Laurea in Fisica e in Astronomia, per dare un’idea, basandomi sui programmi dell’Università di Bologna.

FISICA – I Anno

Algebra e Geometria

Analisi matematica 1

Fisica generale 1

Laboratorio di Fisica 1

Elementi di programmazione per la Fisica

Chimica

Idoneità Lingua inglese

ASTRONOMIA – I Anno

Algebra lineare e Geometria

Analisi matematica 1

Fisica generale 1

Esperimentazioni di Fisica 1

Astronomia

Elementi di Informatica

Idoneità Lingua inglese

FISICA – II Anno

Analisi matematica 2

Fisica generale 2

Metodi matematici della fisica

Meccanica analitica

Laboratorio di Fisica 2

Introduzione alla Fisica moderna

Fisica del sistema Terra

ASTRONOMIA – II Anno

Analisi matematica 2

Fisica generale 2

Calcolo per l'Astronomia

Istituzioni di Fisica matematica

Esperimentazioni di Fisica 2

Ottica astronomica

Chimica

FISICA – III Anno

Istituzioni di Fisica teorica

Struttura della materia

Fisica nucleare e subnucleare

Laboratorio di Fisica 3

Corso a scelta tra i complementari