

Stelle e galassie



**Daniele Distefano**

# **STELLE E GALASSIE**

*Saggio*

**BOOK**  
**SPRINT**  
EDIZIONI

[www.booksprintedizioni.it](http://www.booksprintedizioni.it)

Copyright © 2021  
**Daniele Distefano**  
Tutti i diritti riservati

*“A mio padre, mia madre,  
e alle tante serate passate ad osservare le stelle.”*



## *Prefazione*

*“Ci sono più cose in cielo e in terra, Orazio,  
di quante ne sogni la tua filosofia.”*

*Amleto, William Shakespeare*

È estate. Il Sole è appena tramontato oltre i monti. Lentamente il cielo diviene più scuro, iniziando da est. Un leggero chiarore rimane ancora ad occidente. Affiorano già i primi puntini luminosi, appartenenti agli astri più brillanti. Poi, gradualmente, cala la notte. Il bosco vicino appare buio, quasi tetro, e da esso arrivano i versi dei rapaci notturni. I grilli con il loro incessante frinire creano la giusta atmosfera di mistero e contemplazione.

In un cielo senza Luna, limpido e lontano dall'inquinamento luminoso delle città, appare uno spettacolo grandioso: una miriade di stelle, di varie luminosità, scintillano sulla volta celeste. Quando presente, Venere brilla dando sfoggio del suo magnifico splendore. Ben presto il cielo viene solcato da puntini luminosi che lo attraversano lasciando dietro di loro una breve, effimera, ma entusiasmante scia luminosa: sono le stelle cadenti, come le Perseidi, numerose nel cielo di Agosto. Con un buon binocolo, scorrendo lo sguardo lungo la Via Lattea, appare uno spettacolo di puntini che, con la loro differente grandezza, danno l'impressione di profondità; ci si può imbattere in fiocchetti che appaiono come batuffoli di cotone: si tratta di galassie lontane, ammassi globulari o nebulose. Nella regione del Sagittario, M 24 offre lo spettacolo di una miriade di stelle, dall'aspetto di un campo di “polvere stellare”.

Con un piccolo telescopio possono essere osservate numerose stelle doppie: Albireo, nella costellazione del Cigno, è tra le più belle e semplici da vedere, con le due stelle appaiate di diverso colore; è possibile osservare, quando presente, Giove e 4 dei suoi satelliti, Io, Europa, Ganimede e Callisto.

Con la consapevolezza che osservando oggetti lontani si sta guardando indietro nel tempo, in quanto la luce che arriva a noi ha dovuto coprire distanze considerevoli, ci apprestiamo a guardare estasiati lo

spettacolo che ci offre il firmamento. È sufficiente un binocolo, da far scorrere nelle regioni più ricche, per aver l'impressione di essere dispersi nel cosmo, con una sensazione di smarrimento, e renderci conto della nostra piccolezza e di quella del nostro pianeta.

Con questo libro parleremo di stelle, galassie e dei fenomeni ad esse connessi, cercando di dare uno sguardo scientifico a ciò che esiste nell'universo, con la consapevolezza che si tratta di una piccolissima e molto modesta occhiata, persa nella vastità degli oggetti e nella complessità degli eventi che popolano il cosmo.

Desidero ringraziare le riviste scientifiche e tutti gli autori degli articoli che mi hanno gentilmente concesso l'autorizzazione all'utilizzo delle figure tratte dalle loro pubblicazioni.

# 1

## Le stelle

*“...salimmo sù, el primo e io secondo,  
tanto ch’i’ vidi de le cose belle  
che porta ’l ciel, per un pertugio tondo;  
e quindi uscimmo a riveder le stelle.”*

Divina Commedia, Inferno, Canto XXXIV

In questo capitolo vedremo alcune delle caratteristiche fondamentali delle stelle. Inizieremo con lo studiare la fonte da cui esse ricavano energia, la fusione termonucleare, affrontando anche l’importante argomento della nucleosintesi, ossia della formazione dei nuclei degli elementi chimici.

Analizzeremo poi alcuni importanti parametri stellari come massa, raggio, luminosità, temperatura superficiale, composizione chimica e gli argomenti ad essi correlati, come i concetti di magnitudine apparente ed assoluta, gli indici di colore, i tipi spettrali, il diagramma di Hertzsprung-Russell.

Passeremo poi alla descrizione della vita di una stella, seguendone l’evoluzione dalla nascita sino alle fasi finali della sua esistenza.

### **1.1 LA FUSIONE TERMONUCLEARE E LA FORMAZIONE DEGLI ELEMENTI**

Le stelle producono energia grazie alla fusione termonucleare. Durante la fase di contrazione gravitazionale del corpo di gas e polveri che andrà a costituire la stella (vedere anche par. 1.9 e 1.10.1), si ha al suo interno un continuo incremento dei valori di temperatura e densità, i quali aumentano dalle regioni più esterne verso quelle più interne. Se la massa è sufficiente si possono raggiungere le condizioni fisiche necessarie all’innesco delle reazioni nucleari nella parte centrale della stella nascente. Poiché la gravità tende a far collassare la materia verso

il centro, la contrazione prosegue sinché non viene ostacolata dall'energia sprigionata dalle reazioni di fusione nucleare. Quando quest'ultime entrano a regime ed iniziano a produrre la sufficiente quantità di energia, si viene a creare una situazione di equilibrio per cui l'intera struttura viene sorretta dalla fusione nucleare.

Le diverse reazioni nucleari possono avvenire solo in determinate condizioni fisiche e la temperatura gioca un ruolo fondamentale: per potersi fondere, infatti, i nuclei atomici devono superare la reciproca repulsione coulombiana, dovuta al fatto che i nuclei, costituiti da protoni, possiedono entrambi carica positiva e tenderanno a respingersi secondo le leggi dell'elettrostatica. I neutroni, non avendo carica, non contribuiscono alla repulsione di Coulomb. Due deuteroni (nuclei di deuterio, isotopo stabile dell'idrogeno, costituiti da un protone ed un neutrone), ad esempio, per poter interagire e fondersi devono superare una barriera di potenziale di circa 200 keV<sup>1</sup>; maggiore è la carica del nucleo, più elevata risulta la barriera da superare. Perciò, i due nuclei, per poter superare la reciproca repulsione coulombiana devono collidere ed essere dotati di energia cinetica sufficiente. Poiché l'energia cinetica che i nuclei possiedono dipende dalla temperatura, ecco che quest'ultima gioca un ruolo fondamentale affinché possano essere avviate le reazioni nucleari.

Ad una certa temperatura  $T$  i nuclei non avranno tutti la stessa energia cinetica, ma le diverse velocità si distribuiranno secondo un andamento di tipo *Maxwell-Boltzmann*. La funzione di *distribuzione maxwelliana* delle velocità è stata ricavata per i gas, ma può essere applicata anche ai plasmi stellari. In base ad essa si ha che all'aumentare della temperatura aumenta il numero di particelle aventi velocità più elevate e diminuisce quello di particelle dotate di velocità inferiori.

Considerando le temperature tipiche nei nuclei delle stelle, si può affermare che l'energia delle particelle non è sufficiente a superare la barriera coulombiana che impedisce loro di arrivare alla fusione. In termini di fisica classica, pertanto, la produzione di energia osservata nelle stelle attraverso le reazioni termonucleari non è spiegabile. Quest'ultime sono possibili grazie all'*effetto tunnel* previsto dalla fisica quantistica, in base al quale esistono determinate probabilità che due nuclei superino la barriera coulombiana anche se non possiedono la necessaria energia.

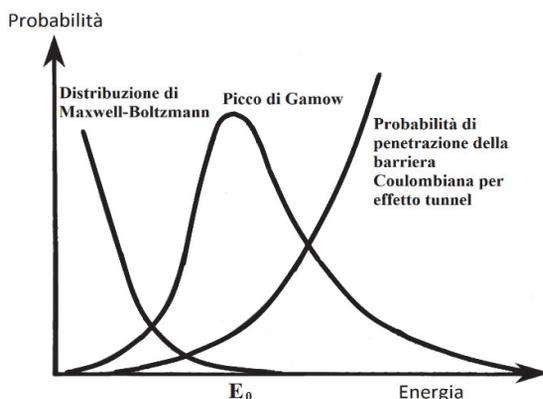
La curva che rappresenta la distribuzione maxwelliana delle velocità delle particelle per una data temperatura diminuisce molto rapidamen-

---

<sup>1</sup> L'elettronvolt (simbolo eV) è un'unità di misura dell'energia. È definito come l'energia acquistata da un elettrone che si muove sotto la differenza di potenziale di 1 volt ed equivale a circa  $1,602 \times 10^{-19}$  J. Con le ovvie notazioni, sono molto utilizzati i suoi multipli: 1 keV =  $10^3$  eV, 1 MeV =  $10^6$  eV, 1 GeV =  $10^9$  eV.

te verso le energie maggiori, evidenziando una coda che individua un numero sempre minore di particelle in possesso di energie più elevate. Invece, la curva che rappresenta la probabilità di superare la barriera di Coulomb cresce per le elevate energie, dato che maggiore è l'energia posseduta dalla particella, maggiore è la probabilità di superamento della barriera.

Si riscontra che, data una distribuzione maxwelliana delle velocità e una probabilità di superamento della barriera di Coulomb, si ha un ristretto intervallo di valori di energia per cui vi è la massima probabilità di avere le reazioni termonucleari (*picco di Gamow*). Queste, quindi, avvengono in corrispondenza di tale ristretto range di valori e partecipano alle reazioni le particelle che si collocano in tale finestra energetica. Per energie inferiori domina la barriera di Coulomb e crollano le probabilità di attraversamento della stessa, per quelle maggiori crolla invece il numero di particelle disponibili, come individuato dalla coda maxwelliana di distribuzione delle velocità.



*Rappresentazione schematica del picco di Gamow. Dove la coda, verso le alte energie, della curva della distribuzione di Maxwell-Boltzmann interseca la parte inferiore della curva relativa alla probabilità di penetrazione della barriera Coulombiana si ha una ristretta regione in cui si ha la massima probabilità che avvengano le reazioni termonucleari.*

### 1.1.1 Nuclei atomici e decadimento radioattivo

Le reazioni termonucleari implicano il coinvolgimento di nuclei atomici.

I nuclei atomici sono costituiti da *protoni* e *neutroni*, denominati *nucleoni*.

Ogni elemento chimico è identificato dal *numero atomico* ( $Z$ ), che corrisponde al numero di protoni presenti nel nucleo. La somma del numero dei protoni e di quello dei neutroni prende il nome di *numero di massa* ( $A$ ). Si definiscono *isotopi* quei nuclei aventi lo stesso numero atomico, e perciò appartenenti alla stessa specie chimica, che però differiscono per il numero di neutroni (e, quindi, per il numero di massa).

Si identifica un nucleo indicando il numero di massa in alto a sinistra del suo simbolo chimico: così, ad esempio,  $^{12}\text{C}$  indica l'isotopo più diffuso del carbonio, formato da 6 protoni e 6 neutroni ( $Z = 6$ ,  $A = 12$ ), mentre  $^{14}\text{C}$  indica l'isotopo radioattivo del carbonio formato da 6 protoni e 8 neutroni ( $Z = 6$ ,  $A = 14$ ). L'elemento costituito da un solo protone (numero atomico 1), ossia l'idrogeno, è costituito da tre isotopi, a seconda che il nucleo non possieda nessun neutrone (prozio,  $^1\text{H}$ ), ne possieda uno (deuterio,  $^2\text{H}$ ), o ne possieda due (trizio,  $^3\text{H}$ ).

Vengono denominati *isobari* nuclei con stesso numero di massa, ma diverso numero atomico: pertanto, gli isobari appartengono a specie chimiche differenti. Ad esempio, sono isobari  $^{40}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  (rispettivamente con  $Z = 18, 19, 20$ ).

Indicando il numero atomico e il numero di massa si identifica univocamente un particolare nucleo, detto anche *nuclide*. I nuclidi possono essere *stabili* o *instabili*.

Ad esempio, per quanto riguarda gli isotopi del ferro, sono nuclidi stabili  $^{54}\text{Fe}$ ,  $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Fe}$ ,  $^{58}\text{Fe}$ , mentre sono instabili  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Fe}$ . Il trizio, visto sopra, è anch'esso instabile.

I nuclidi possono essere riportati su un diagramma che indica in ordinate il numero di protoni e in ascisse quello di neutroni: si identifica così una striscia che attraversa il diagramma, denominata *valle di stabilità*, sulla quale ricadono i nuclidi stabili. I nuclidi stabili di massa minore (sino  $Z \sim 20$ ) tendono ad avere un numero di neutroni pari a quello dei protoni, mentre quelli aventi masse maggiori hanno un numero di neutroni superiore a quello dei protoni. I nuclidi che si allontanano dalla valle di stabilità tendono ad essere instabili e a trasformarsi in altri elementi, presentando il fenomeno del *decadimento radioattivo*. Ogni nuclide instabile è caratterizzato da un proprio *tempo di dimezzamento*, ossia il tempo necessario affinché decada la metà dei nuclei presenti inizialmente. I nuclidi di massa eccessivamente elevata (oltre il Bi) sono instabili.

Vediamo di seguito il *decadimento alfa* e il *decadimento beta*.