IV

Stelle variabili

ECLISSI DI STELLE

Orbite fortemente inclinate

Fino ad ora, parlando delle orbite delle stelle doppie, abbiamo sempre pensato di vederle nella forma reale, come ci appariva la loro rappresentazione, ridotta in scala, nel disegno tracciato sul foglio guardato dall'alto. In cielo, invece, le orbite non appaiono così. Ciò avverrebbe (e qualche volta avviene) se il piano in cui giace un'orbita fosse perpendicolare alla nostra visuale, cioè alla retta condotta dal nostro occhio (o dalla Terra, che è la stessa cosa) alla stella principale. Ma è evidente che possiamo imbatterci in un'orbita così disposta solo per combinazione. Normalmente si osservano orbite inclinate in tutti gli altri modi possibili; per alcune accade addirittura l'opposto del primo caso e cioè che la visuale giace nel piano stesso in cui si svolge il moto e la stella secondaria non sembra percorrere un'ellisse intorno alla principale ma appare oscillare avanti e indietro, su un segmento rettilineo.

Quanto abbiamo detto non rappresenta un ostacolo insormontabile ai fini del calcolo dell'orbita vera, poiché esistono metodi matematici che permettono di ricavarla partendo da quella osservata, deformata dall'effetto prospettico. Il discorso ci conduce, però, a un'interessante considerazione, che scaturisce dal caso estremo dell'orbita vista esattamente di profilo.

In questo caso è evidente che a ogni rivoluzione la stella secondaria passa una volta avanti alla principale e un'altra dietro, in modo che, dalla Terra, assisteremo a due eclissi di stelle. La prima volta sarà la secondaria a eclissare la principale, mentre la seconda avverrà il contrario. Se misureremo lo splendore totale delle due stelle quando appaiono separate e quello durante le eclissi, noteremo che in questa seconda misura esso è

diminuito. Questa esperienza, se entrambe le componenti sono visibili, è di un'evidenza lapalissiana.

Supponiamo ora che le due componenti siano talmente vicine tra loro da non poter essere sdoppiate neppure con i più grandi telescopi. Allora la duplicità può essere addirittura scoperta attraverso l'esistenza delle eclissi. Non solo ma, da come si svolge il fenomeno e dalla sua durata, si potranno precisare altre caratteristiche, come: di che tipi di eclissi si tratta, quale delle due stelle è la più luminosa e addirittura quanto misurano i diametri delle due stelle. Per giungere a questi risultati è necessario usare particolari metodi e compiere certi tipi di misure di cui ci renderemo conto solo da un punto di vista generale.

Il primo passo è quello della costruzione della cosiddetta curva di luce. Quando, osservando o fotografando ripetutamente una stella, si scopre che

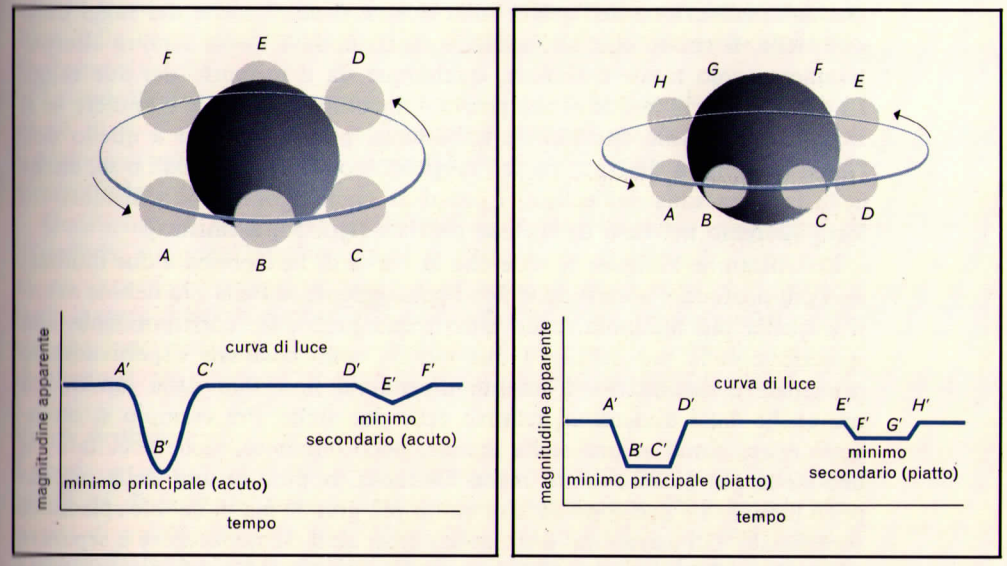


Fig.55 Stella doppia a eclisse parziale (a sinistra) e anulare (a destra): in basso le curve di luce osservate in corrispondenza ai due tipi di eclisse. La stella minore (in grigio) è superficialmente più debole.

il suo splendore è variabile, occorre misurarlo sistematicamente e costruire poi un grafico in cui una coordinata rappresenta gli istanti delle osservazioni e l'altra i valori delle magnitudini osservate. Il grafico che ne risulta si chiama curva di luce e ci mostra come fluttua lo splendore della stella al passar del tempo, né più né meno di come un diagramma clinico mostra le

variazioni della temperatura di un malato, in diversi giorni e nelle varie ore del giorno. Se le variazioni consistono in abbassamenti di splendore regolari che si ripetono sistematicamente, a intervalli fissi, non c'è dubbio che si tratta delle eclissi di due corpi e la stella si chiama variabile a eclisse o anche, più pomposamente, binaria fotometrica. La forma della curva di luce può essere, allora, di uno dei due tipi mostrati dalla FIG. 55, dove sopra ogni tratto significativo delle curve sono rappresentate le corrispondenti posizioni delle stelle, rispetto alla Terra, nel corso del loro moto orbitale.

La FIG. 55 illustra a destra un'eclisse totale alternata a un'altra anulare, a sinistra mostra ciò che succede quando il piano dell'orbita delle due stelle è leggermente inclinato rispetto alla visuale condotta dalla Terra, in modo che i centri delle due stelle non vengono mai ad allinearsi con l'occhio dell'osservatore e le eclissi sono solo parziali.

Naturalmente il fatto che le eclissi siano parziali o totali dipende, oltre che dall'inclinazione dell'orbita sulla nostra visuale, anche dai raggi delle due stelle. È chiaro che, se l'eclisse è centrale, deve essere sempre alternativamente solo totale e anulare, qualunque sia il rapporto dei due raggi. In caso contrario le due eclissi possono ancora essere totale e anulare se il raggio di una delle due stelle è abbastanza piccolo rispetto a quello dell'altra (FIG. 55, a destra), ma se i raggi sono più o meno uguali o se, anche nella fase massima dell'eclisse, i centri si mantengono molto distanti fra loro, cadremo nel caso dell'eclisse parziale (FIG. 55, a sinistra).

Da entrambe le figure si vede che la curva di luce presenta due minimi: uno più profondo, corrispondente al passaggio della stella più debole avanti a quella più luminosa, e un altro meno profondo, corrispondente alla sparizione della più debole. I due minimi sono chiamati rispettivamente principale e secondario. I minimi dipendono non solo dalle luminosità ma anche dalle dimensioni relative delle due stelle. Per esempio si ottengono effetti simili se una stella grande, poco luminosa, viene occultata da una stella più piccola molto meno luminosa, oppure se una stella piccola poco luminosa è occultata da una molto più grande ma di debole splendore superficiale. Gli astronomi sono abbastanza abili da riconoscere e separare questi due effetti e anche altri fenomeni secondari dei quali devono tener conto se vogliono ottenere risultati completi e precisi ma che noi, fortunatamente, possiamo tralasciare senza dover rinunciare alla visione panoramica del fenomeno[1].

[1] Tra questi effetti ricordiamo quello dell'oscuramento al bordo, consistente nel fatto che anche le stelle (come avevamo visto nel caso del Sole) sono circondate da un'atmosfera a temperatura più bassa degli strati sottostanti, che provoca un oscuramento delle zone periferiche; quello di fase, dovuto alla riflessione da parte della stella più debole di una parte della luce che riceve da quella più luminosa; eventuali effetti di marea, quando le stelle s'incrociano alla minima distanza, ecc.

In alcuni casi è stato osservato un effetto che ha rivelato un fatto straordinario: la curva di luce non mostra il minimo secondario. Ciò significa che la componente meno luminosa è debolissima o addirittura oscura. Esistono, dunque, stelle nere!

Una tale affermazione non può essere enunciata in questi termini, perché corpi simili non rientrerebbero nella definizione di stella. Contentiamoci di chiamarli semplicemente corpi oscuri, grandi come stelle e fisicamente legati a esse.

Ecco a quali scoperte ci hanno condotto le stelle doppie a eclisse! Le doppie visuali avevano additato alla nostra fantasia un nuovo campo, ora la varietà si arricchisce. Le combinazioni che possiamo concepire sono pressoché inesauribili, e innumerevoli sono i panorami che potremmo immaginare di vedere dalle vicinanze di ognuno di quei sistemi: coppie di stelle blu o gialle o giganti rosse; coppie di stelle assortite con varie dimensioni e colori; piccole stelle blu accompagnate da immense sfere rosso scuro, talvolta addirittura nere, che si rivelano solo nell'intercettare la luce della compagna brillante o nel rifletterla debolmente, non stelle ma fantasmi di stelle.

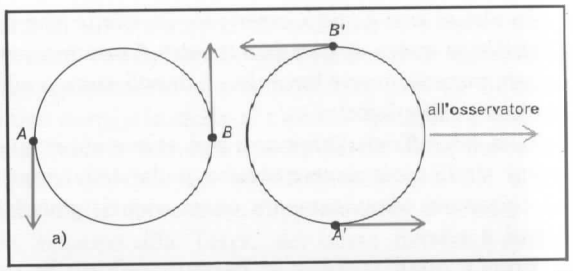
In quasi tutte queste coppie le componenti sono vicinissime e il loro moto di rivoluzione intorno al baricentro avviene a velocità vertiginose: i periodi di rivoluzione sono generalmente di pochi giorni, spesso addirittura inferiori a un giorno.

Questi sistemi, tanto diversi dal nostro sistema planetario, così semplice e povero, ruotante intorno a una sola stella, di tipo molto comune, né troppo grande né troppo piccola, ci costringono a riconoscere che la varietà della natura è ben superiore alla nostra fantasia che, anche guidata dalla scienza, non riesce a galoppare insieme alle scoperte e immagina sempre qualcosa di più modesto di quanto, il giorno dopo, ci rivela la realtà.

Coppie strettissime

I moti vertiginosi dai quali sono animati questi corpi non sono né inspiegabili né disordinati. Sono unicamente la conseguenza della grande vicinanza di quelle stelle tra loro. Come già avevamo visto, la terza legge di Keplero stabilisce che la rivoluzione di un corpo celeste intorno a un altro è tanto più rapida quanto più i due corpi sono vicini ed essendo quelle stelle tanto vicine tra loro da non essere distinguibili individualmente neanche con i maggiori telescopi, i loro moti risultano rapidissimi. Verificandosi questo fatto, possiamo compiere allora un'altra interessante osservazione, questa volta spettroscopica.

Come è noto, esiste un effetto, detto 'effetto Doppler', per cui se una sorgente emette un suono di una certa frequenza avvicinandosi all'osservatore, questi percepisce un suono più acuto di quello emesso dalla stessa



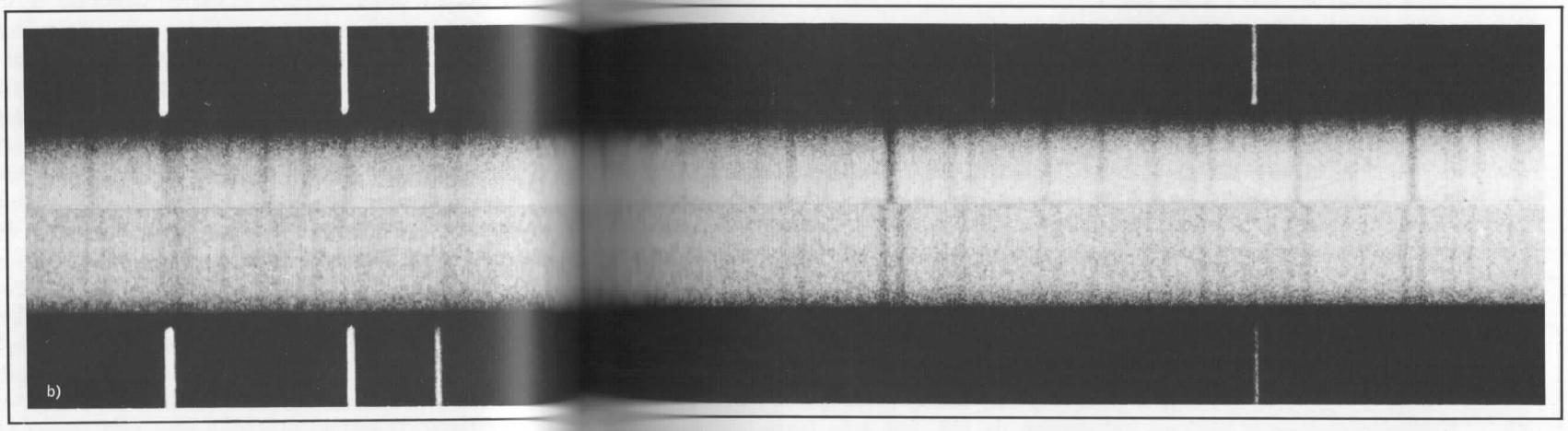


Fig.56 In a), due stelle di uguale massa in rapido moto intorno al comune baricentro osservate nel piano della loro orbita. In alcuni istanti (posizioni A, B) appaiono muoversi solo trasversalmente e le componenti delle loro velocità secondo la visuale dell'osservatore sono nulle; in altri (posizioni A', B') appaiono, rispettivamente, avvicinarsi o allontanarsi dall'osservatore. In corrispondenza di queste due posizioni estreme le righe degli spettri delle stelle (registrate in un unico spettro) appaiono semplici, perché sovrapposte, o sdoppiate, come mostrano i due spettri di Mizar, riprodotti in b), ottenuti a due giorni di distanza l'uno dall'altro. Il periodo di questa doppia è di 20,5 giorni; la separazione delle due righe nella presente figura corrisponde a una differenza di velocità orbitale di 140 km/s (*Mount Wilson and Palomar Observatories*).

sorgente in quiete, mentre se la sorgente si allontana il suono percepito è più grave. Un fenomeno simile si verifica in ottica. Se una sorgente luminosa si avvicina all'osservatore, tutte le righe presenti nello spettro, corrispondenti a diverse frequenze, appaiono con una frequenza maggiore, cioè si mostrano spostate verso il violetto, mentre se la sorgente si allontana lo stesso spettro appare slittato verso il rosso.

Le stelle doppie a eclisse sono sistemi per i quali il piano dell'orbita contiene la visuale condotta alla Terra, quindi vi saranno delle epoche in cui una delle due stelle si allontana dalla Terra e altre in cui si avvicina (FIG. 56a). Compiendo diverse osservazioni spettroscopiche in varie fasi del periodo si vedranno le righe spostarsi alternativamente a destra e a sinistra, rispetto a una posizione intermedia. Se poi entrambe le componenti sono abbastanza luminose da dar luogo a uno spettro, si vedrà uno spettro composito (dovuto alla somma dei due) in cui, col passar del tempo, un gruppo di righe oscilla in un senso e un altro gruppo nel senso opposto (FIG. 56b).

Ecco dunque un altro potentissimo mezzo d'indagine per scoprire stelle

doppie strette. Infatti, attraverso le eclissi, possiamo scoprire unicamente quelle binarie in cui l'angolo d'inclinazione del piano dell'orbita sulla nostra visuale è pressoché nullo. Appena quest'angolo aumenta o diminuisce i centri delle stelle non si ricoprono più esattamente e quando, pur restando piccolo, varia ancora un poco, le due stelle, anziché eclissarsi a vicenda, passano leggermente al di sopra e al di sotto l'una dell'altra. In tale posizione l'eclisse non si verifica e la duplicità non può venir scoperta in base alla variazione dello splendore. Ma, anche in questo caso, il piano dell'orbita è talmente vicino alla visuale da provocare una forte componente radiale (cioè nella direzione della Terra) delle velocità delle due stelle: l'effetto di oscillazione periodica delle righe si può mettere in evidenza benissimo e la duplicità può essere scoperta. In questo caso si dice che la stella è una doppia spettroscopica.

Riassumendo, vediamo che, oltre alle binarie visuali in cui le due stelle si vedono distintamente al telescopio, ve ne sono altri due tipi: quelle a eclisse e quelle spettroscopiche. La differenza tra questi e il primo consiste essenzialmente nel diverso modo di osservarle, dovuto al fatto che ora sono molto strette e che, per caso, i piani delle loro orbite sono inclinati pochissimo sulla visuale condotta dalla Terra.

Per la particolare situazione in cui queste stelle vengono osservate, gli elementi delle loro orbite non possono essere ricavati al completo come nelle doppie visuali. D'altra parte, però, si possono ottenere dati nuovi e interessanti sulle stelle componenti i sistemi. Così nelle doppie fotometriche, oltre a ricavare il periodo, l'eccentricità e l'inclinazione dell'orbita, si pos-

sono ottenere i raggi delle due componenti, assumendo come unità di misura la distanza delle due stelle fra loro. Per le doppie spettroscopiche, oltre al periodo e ad altri elementi dell'orbita, si giunge a ricavare globalmente un certo valore (a sin i) che esprime, mescolati insieme, la distanza a tra le due stelle e l'angolo i formato dall'orbita col piano normale alla visuale condotta alla Terra. È un po' poco ma serve per darci un'idea di questa distanza, tanto più che è espressa direttamente in kilometri. Si ottengono inoltre, sempre mescolati a i, due valori proporzionali alle masse delle due stelle: $m_1 \sin^3 i$ e $m_2 \sin^3 i$.

L'ideale sarebbe quello di poter combinare l'osservazione fotometrica e quella spettroscopica. Infatti, se una medesima stella presenta entrambe queste caratteristiche, col primo metodo si misurano i raggi delle due componenti, usando come unità di misura la distanza tra i due centri, e soprattutto si ricava l'angolo i. Col secondo metodo poi, se si vedono entrambi gli spettri, si ricava a sin i; ma siccome i ormai è conosciuto, si può ottenere immediatamente il valore di a in kilometri e infine, essendo stata proprio a l'unità con cui avevamo misurato i raggi delle stelle, conoscendo ora il suo valore in kilometri, possiamo avere, in kilometri, anche i raggi delle due stelle. Con procedimento analogo, essendo noto i, si ricavano poi i valori delle due masse.

Così siamo riusciti a scoprire che una stella è doppia, a tracciare l'orbita che le componenti percorrono, a misurare la distanza tra loro e i loro raggi in kilometri e infine a pesare le due stelle. Tutto questo, non solo senza conoscere la distanza del sistema da noi, non solo senza vedere le stelle come due dischi di diametro apparente sensibile, ma addirittura vedendo di due stelle soltanto un unico punto luminoso il cui diametro apparente è del tutto inapprezzabile. Bisogna riconoscere che la cosa ha del portentoso.

Purtroppo i casi favorevoli di stelle doppie di questo tipo (dette spettrofotometriche), sono poco frequenti. Finora se ne conoscono appena un centinaio. Le stelle doppie spettroscopiche con orbite calcolate sono invece, in tutto, 737, mentre le doppie a eclisse sono addirittura 4062. Entrambi questi valori derivano dai rispettivi cataloghi pubblicati nel 1967 e nel 1969. Il numero delle binarie a eclisse è molto più alto solo perché la loro osservazione e scoperta sono più semplici. Infatti esse emergono abbastanza facilmente confrontando diverse fotografie di una stessa zona del cielo ottenute a opportuni intervalli.

Queste fotografie permettono di confrontare, tutte insieme, migliaia di stelle anche molto deboli. Per scoprire le variazioni spettroscopiche, invece, occorre confrontare diversi spettri di ogni stella, ottenuti uno per volta e soltanto per le stelle più brillanti. In realtà, se ben si riflette, le variabili spettroscopiche devono essere più numerose di quelle fotometriche, poi-

ché queste ultime corrispondono a quella frazione delle prime che mostra anche l'eclisse, in considerazione del particolare valore dell'angolo i.

Sistemi complessi

Abbiamo detto poco fa che queste binarie sono stelle doppie caratterizzate da un diverso modo di essere viste da noi. Ciò non deve farci ritenere che tutta la differenza tra queste e le doppie visuali consista nel metodo di osservazione. Infatti delle due cause che provocano l'eclisse e la variazione spettroscopica, una (l'orientamento particolare rispetto alla Terra) non ha nessuna importanza nei confronti della binaria, ma l'altra (la vicinanza delle due componenti fra loro e l'alta velocità di rivoluzione) comporta conseguenze fisiche di grandissima importanza. In molti casi le due stelle sono talmente vicine che si verificano effetti di marea dell'una sull'altra. Talvolta la materia viene addirittura succhiata via da una stella per ricadere su quella vicina; in altri casi essa sfugge a entrambe le stelle per andare a disporsi in un enorme involucro che avvolge l'intero sistema.

Naturalmente lo spettroscopio permette di scoprire molti di questi fe-

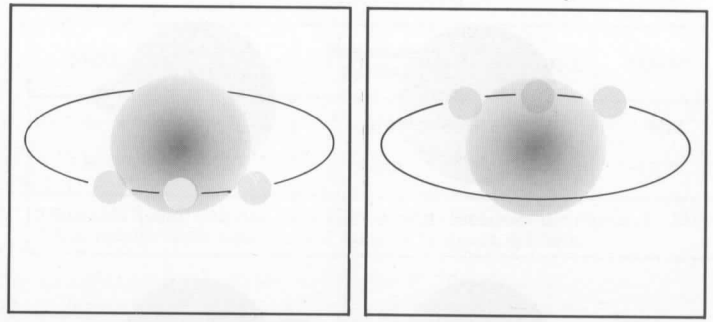


Fig.57 L'eclisse di ζ Aurigae: una brillantissima stella blu, relativamente piccola, si nasconde periodicamente dietro una supergigante rossa. Gli strati esterni di quest'ultima sono talmente rarefatti da essere semitrasparenti alla luce della stella blu che stanno occultando. Il disegno, ovviamente schematico, non tiene conto delle sfrangiature e irregolarità degli strati più esterni dell'atmosfera della supergigante, che si deve immaginare dissolversi gradualmente nello spazio in veli di materia stellare sempre meno densi.

nomeni, di seguirne l'evoluzione e di costruire, caso per caso, un quadro panoramico di ciò che avviene in quei lontani sistemi. Ognuna di quelle esplorazioni è un'emozione nuova e spesso conduce a scoprire un sistema diverso da tutti quelli già noti. Bellissimo è quello di ζ Aurigae, formato da una supergigante rossa, che eclissa periodicamente una brillantissima stella blu, molto più piccola. Data l'enorme estensione dell'atmosfera della

stella supergigante, prima dell'eclisse vera e propria la luce della stella più brillante fluttua lungamente dietro i veli irregolari, ma sempre più spessi, dell'atmosfera della supergigante. Il fenomeno inverso si ripete alla fine dell'eclisse (FIG. 57).

Interessante è anche il sistema di RW Tauri, una stella gigante arancione intorno alla quale gira una stella blu più piccola circondata, nel piano equatoriale, da un rosso anello d'idrogeno in rapida rotazione (FIG. 58).

Non meno suggestivo, pur nella sua complessità, e spettacolare a vedersi da un pianeta nelle sue vicinanze, deve essere il sistema UX Monocerotis. Qui le due stelle sono una bianca e una gialla, come il Sole, ma entrambe molto più grandi. Sono così vicine che tra l'una e l'altra lo spazio è pieno di idrogeno che emette un'intensa luce rossa. Da un emisfero della stella gialla esce continuamente materia, soprattutto calcio e idrogeno, che va a cadere sulla stella bianca; dall'emisfero opposto di quest'ultima, poi, esce altra materia che finisce sulla stella gialla. Parte della materia che

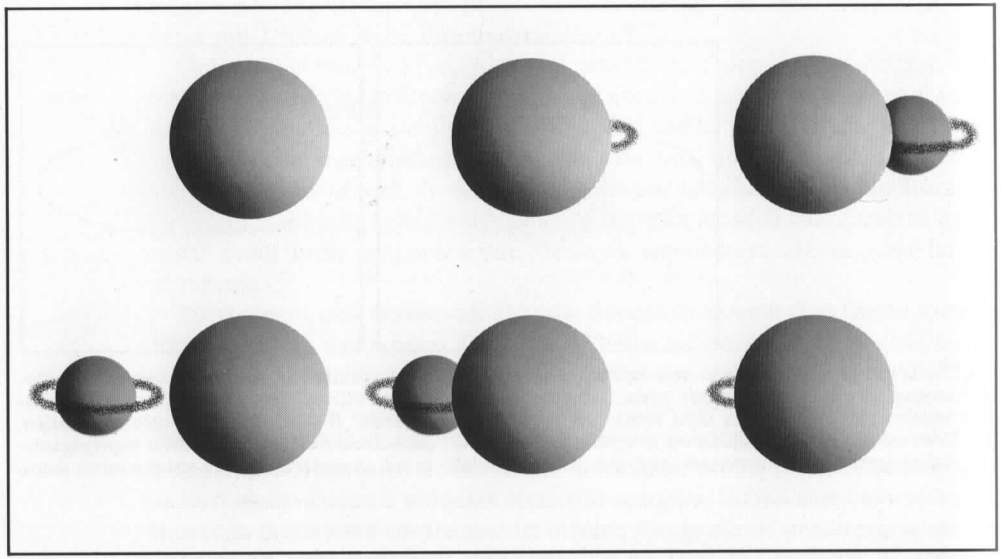


Fig.58 RW Tauri, un altro strano sistema binario che sarebbe molto suggestivo poter osservare da una distanza ravvicinata. Una gigantesca stella arancione domina il cielo; a un certo momento da dietro un bordo si affaccia un'ansa rossa che si rivela successivamente come un anello, all'interno del quale si trova una stella blu che emerge anch'essa, a poco a poco, da dietro la stella arancione, finché entrambe le stelle appaiono separate e distinte nel cielo. Dopo qualche tempo la componente minore passerà avanti all'altra, mostrando un fenomeno per noi appena immaginabile: una stella blu, dentro un anello rosso, proiettati su una stella arancione che sembra avvolgerli entrambi. La presente figura schematizza solo alcune fasi successive dell'occultazione della stella blu, lasciando immaginare il resto del fenomeno.

fuoriesce continuamente dalle due stelle si disperde infine nello spazio, andando a costituire un involucro che avvolge completamente entrambe.

E i casi si possono moltiplicare. VV Cephei, una stella rossa grande millenovecento volte il Sole, accompagnata da una blu cento volte più piccola; ε Aurigae, due stelle gigantesche, una bianca e una rossa; Algol, la prima doppia di questo tipo a essere stata scoperta, che oggi sappiamo essere composta da tre stelle: due semiattaccate, che girano vorticosamente l'una attorno all'altra in meno di tre giorni, e una terza, più lontana, che compie una rivoluzione ogni 22 mesi e mezzo.

Ma a che gioverebbe continuare? Ogni caso è una storia a parte e, se vi sono migliaia di casi già scoperti, ve ne sono milioni ancora da scoprire: una schiera di mondi senza fine che attendono di divenire oggetto della nostra esplorazione e della nostra fantasia ma che forse lo sono già per gli occhi e i sensi di altri esseri.

Torniamo invece a considerare ancora una di queste stelle, interessantissima non solo per le caratteristiche che presenta, ma anche perché è

CARATTERISTICHE DELLE DUE COMPONENTI DI β LYRAE[1]

Stella	Tipo spettrale	Magnitudine assoluta	Raggio[2]	Massa[2]
A	B8	− 4,01	19,15	9,74
B	F5	− 1,08	13,78	19,78

[1] Secondo i dati raccolti da S. Gaposchkin (*Handbuch der Physik*, L, 231).
[2] Assumendo come uguale a 1 il raggio e la massa del Sole.

l'esempio più famoso di uno speciale gruppo di variabili a eclisse. Si tratta di β Lyrae, una delle prime variabili scoperte e ancora oggi una delle più studiate per la presenza di alcuni fenomeni secondari che rimangono un enigma. La variabilità di questa stella fu scoperta nel 1784 da J. Goodricke, un astronomo non professionista, morto a soli 22 anni, che, benché sordomuto, seppe dire nella sua breve vita molto di più di quanto spesso fanno tante persone che possono usare la favella e l'intelligenza fino alla più tarda età. Goodricke fu il primo a considerare come eclissi le precise e regolari variazioni luminose di β Lyrae e Algol. Fu avversato o sottovalutato da molti contemporanei, ma i fatti più tardi gli diedero ragione.

Il sistema di β Lyrae, in particolare, si rivelò stranissimo. La curva di luce mostra eclissi periodiche ogni 12 giorni, 22 ore e 22 minuti. Tra un'e-

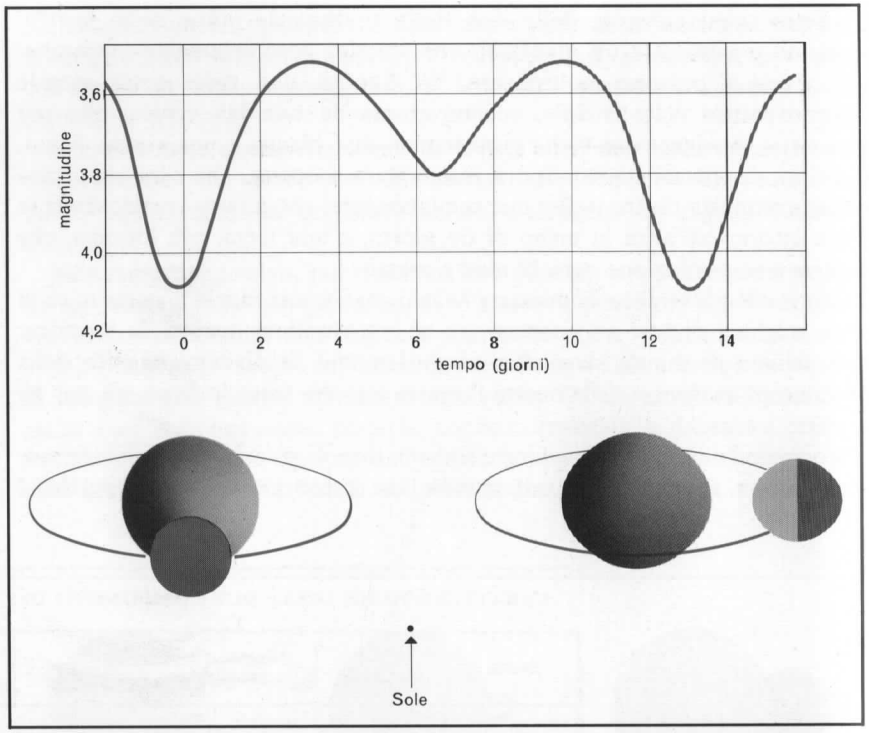


Fig.59 Curva di luce di β Lyrae. La variazione luminosa è stata interpretata come dovuta a due stelle ellissoidiche, che ruotano una intorno all'altra volgendosi sempre lo stesso emisfero e che osserviamo da una posizione prossima al piano dell'orbita (il Sole è in scala).

clisse e l'altra, però, lo splendore non resta stazionario al massimo, nel consueto tratto piano. La variazione è continua: dal minimo principale al massimo, da questo al minimo secondario, da quest'ultimo al successivo massimo e infine dal secondo massimo al minimo principale, dove il ciclo ricomincia allo stesso modo, come è illustrato nella FIG. 59. I fatti sono stati interpretati nel modo seguente.

Le due stelle non sono sferiche ma ellissoidiche e ruotano intorno al comune baricentro, in modo che gli assi maggiori dei due ellissoidi siano sempre allineati; in altri termini, le due stelle si volgono sempre lo stesso emisfero. In base a questo schema furono ricavati i tipi spettrali e le luminosità delle due stelle, i raggi, le masse e le distanze tra i due centri (si veda la tabella a pag. 135). Ma lo spettroscopio, che aveva fornito un valido aiuto nella scoperta di queste caratteristiche, rivelò anche altri fenomeni insospettati e β Lyrae apparve di nuovo complessa e misteriosa.

Oggi, specialmente dopo le ricerche di O. Struve, benché molti punti restino ancora da chiarire, possiamo farci il seguente quadro: β Lyrae è un sistema di due stelle ellissoidiche, con diametri e masse notevolmente maggiori di quelli del Sole, in rapido moto di rivoluzione l'una intorno all'altra. Entrambe le stelle sono bianche (una tendente leggermente al blu e l'altra al giallo) ma nel piano equatoriale di entrambe si sviluppano due

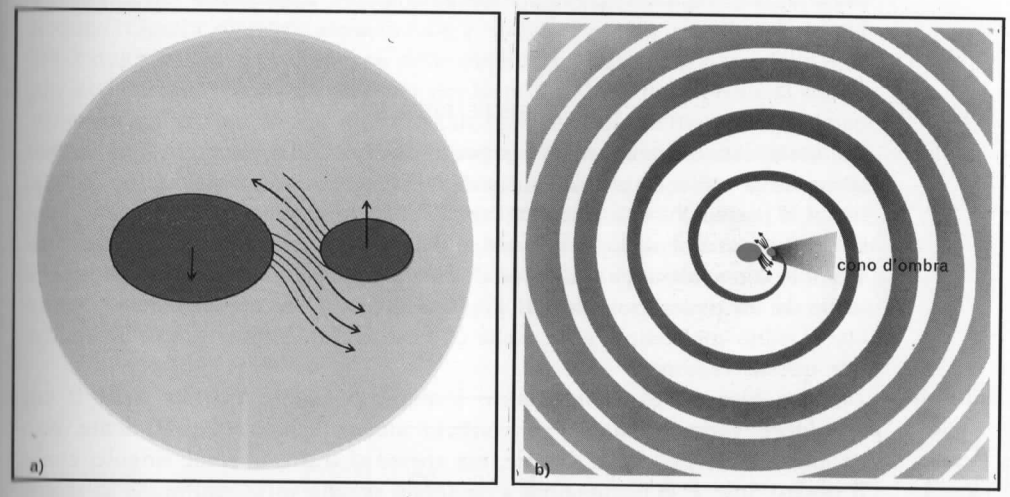


Fig.60 Modello del sistema di β Lyrae. In a) è mostrata la parte più interna con le due stelle dalle quali fuoriesce materia attraverso i due ponti affiancati. In b), in scala molto più piccola, è illustrata, l'enorme spirale rossa di idrogeno che si svolge sempre più ampia ma sempre meno luminosa fino a dissolversi.

rossi anelli, prevalentemente d'idrogeno, collegati da una specie di enorme ponte gassoso, anzi da due enormi ponti affiancati, formati dalla materia che fluisce dalla stella blu verso quella gialla e da quella gialla verso la blu. Entrambe le stelle sono immerse in un enorme involucro in espansione. Anzi, più che di un involucro, si tratta forse di un'immensa spirale rossa che si svolge, sempre più larga ma sempre più debole, per centinaia di milioni di kilometri, nello spazio intorno alle due stelle, fino a distanze dell'ordine di grandezza del diametro del nostro sistema solare (FIG. 60).

Così è β Lyrae e così sono forse centinaia di altre stelle a essa simili: non più sfere, ma corpi incandescenti resi ovali dalla forte influenza delle forze gravitazionali, dai quali la materia sfugge, ricadendo dall'una all'altra stella o disperdendosi nello spazio. L'osservazione di un simile spettacolo dovrebbe essere impressionante. Ma per gli occhi che forse lo vedono da qualche lontano pianeta deve trattarsi di un fatto del tutto na-

turale e consueto, così come generalmente sfugge la bellezza di una città a coloro che vi abitano. Purtroppo, in questo caso, i turisti che potrebbero apprezzare queste meraviglie dovrebbero compiere viaggi inconcepibili. Se un equipaggio terrestre partisse oggi per β Lyrae e viaggiasse alla velocità della luce, giungerebbe là solo tra 1000 anni e, se riuscisse a installare una telecamera capace di inviarci quelle immagini, esse raggiungerebbero la Terra non dopo un secondo, come quelle provenienti dalla Luna, ma dopo altri 1000 anni: poiché 1000 anni luce è appunto la distanza di β Lyrae da noi.

STELLE PULSANTI

La nostra scorribanda nello spazio ci ha portato, poco fa, fino a una stranissima stella multipla, distante 1000 anni luce dal sistema solare, in cui le periodiche eclissi di due corpi in rapida rivoluzione provocano continue fluttuazioni dello splendore globale. Abbiamo visto che quelle fluttuazioni sono solo apparenti, cioè dovute al fatto che noi osserviamo quelle stelle da un punto prossimo al piano dell'orbita, e avevamo anche notato che ci sono moltissime altre stelle che mostrano fluttuazioni di splendore per questa ragione.

Senza bisogno di andare tanto lontani, possiamo trovare stelle il cui splendore varia senza che si verifichi alcuna eclisse. Naturalmente può accadere che siano stelle doppie, ma spesso si tratta di stelle singole, come il nostro Sole, e le fluttuazioni avvengono perché varia realmente lo splendore intrinseco della stella, in certi casi bruscamente, in altri periodicamente e con continuità, per cause sconosciute e con meccanismi interpretati finora solo parzialmente.

Stelle pulsanti rosse

La prima a essere scoperta fu una stella della costellazione della Balena. Le sue variazioni di splendore suscitarono una tale meraviglia (si era nel 1596 e non si conoscevano stelle di splendore variabile, neppure quelle a eclisse) che fu chiamata Mira, ossia 'meravigliosa'. A distanza di quasi quattro secoli possiamo solo confermare che un tale nome ancora le si adatta alla perfezione, sia per le stranezze che le osservazioni ci hanno permesso di scoprire, sia per la complessità dei problemi ancora da risolvere.

Mira della Balena, o meglio Mira Ceti, dista da noi 163 anni luce. È un corpo enorme, del diametro di 556 milioni di km: se fosse al centro del sistema solare, al posto del Sole, invaderebbe lo spazio fino a oltre l'orbita di Marte, e anche il nostro pianeta finirebbe bruciato nel suo interno. Immaginiamo dunque di fermarci su un pianeta abbastanza lontano, per esempio quanto lo sono Giove o Saturno dal Sole, e osserviamola.

Vedremo un immenso disco rosso cupo, dominante un cielo pure rosso, ma ancor più cupo, quasi nero. La temperatura di quel disco è bassissima, per una stella: appena 1900 K. Tanto bassa che le sue zone più esterne sfumano in veli formati da composti molecolari, come l'ossido di titanio e persino, in grande abbondanza, da vapore acqueo. Non esistono dunque soltanto le stelle infuocate, dove le altissime temperature polverizzano la materia sempre più minutamente, fino a spezzare le molecole e a spogliare gli atomi, ma anche stelle così poco calde da contenere addirittura vapore acqueo. Questa scoperta sensazionale è stata compiuta su Mira solo nel 1963 quando, con lo svilupparsi delle osservazioni astronomiche dallo spazio extraterrestre, è stata osservata per la prima volta da fuori della nostra atmosfera. Fino ad allora, essendo tali osservazioni effettuate dagli osservatori astronomici a terra, il vapore acqueo presente nel nostro involucro atmosferico aveva nascosto quello stellare e ne aveva impedito la scoperta.

Torniamo a osservare Mira da vicino. La temperatura è bassa, lo splendore appena la metà di quello del Sole. Ma con il passar del tempo le cose cambiano. Giorno per giorno la stella diminuisce lentamente di volume, come un pallone che si stia sgonfiando; la temperatura aumenta fino a un

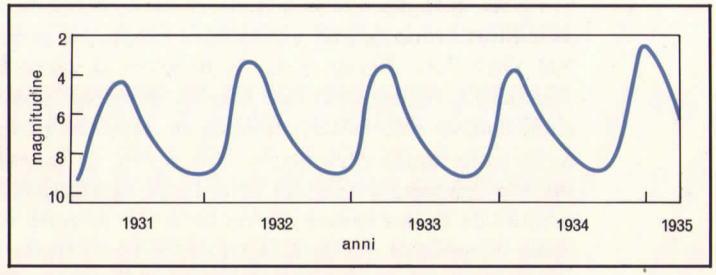


Fig.61 Curva di luce di Mira Ceti, una stella variabile pulsante con un lungo periodo.

massimo di 2700 K; i veli oscuri di ossido di titanio e di vapore acqueo, vaganti nella sua atmosfera, si dissolvono e il globo luminoso appare un poco più piccolo ma di un rosso sempre più vivo e sempre più brillante fino a diventare 80 volte più splendente del Sole. Se ci sono realmente pianeti nei suoi paraggi e vita alla loro superficie, quali cambiamenti deve essa subire nel corso di questa specie di stagione stellare, quali enormi capacità di adattamento devono avere gli organismi e le cose!

A questo punto la temperatura torna a diminuire, il diametro aumenta, i veli si riformano e lo splendore scende lentamente, finché tutto ritorna come al principio. L'intero ciclo che abbiamo ora descritto dura 331

giorni e si ripete continuamente, anche se in modo non esattamente identico (FIG. 61). Dalla Terra, la stella si è vista variare dalla magnitudine 9,3 alla 3,5. È passata, cioè, dal rango di debole stellina telescopica a quello di una brillante stella visibile a occhio nudo. Ancora qualche mese e in quel punto del cielo in cui era ben visibile (a volte, al massimo, è più brillante della stella polare), l'occhio non scorgerà più nulla. Avevano ragione i suoi primi osservatori nel chiamarla Mira.

E abbiamo ragione anche noi di continuare a chiamarla così. Infatti, intorno al 1920, l'astronomo americano A. H. Joy, osservandone lo spettro, aveva sospettato l'esistenza di una compagna. Dietro questa segnalazione Aitken, specialista in stelle doppie, la scoprì col grande rifrattore di Lick, la notte del 19 ottobre 1923. Era una stellina blu di magnitudine 10, tanto debole da divenire osservabile solo quando la sua compagna maggiore era al minimo. Diversi astronomi la osservarono ripetutamente in quei periodi favorevoli ma certe volte, pur cercandola accuratamente, non riuscivano a trovarla. La ragione fu presto scoperta: anche questa seconda stella è variabile, non con fluttuazioni lente e regolari come Mira ma, sembra, a scatti violenti e improvvisi con più lenti ritorni al minimo, come fanno certe altre stelle che conosceremo tra breve.

Benché questa seconda stella sia seguita ormai da quasi mezzo secolo, ben poco si sa ancora sulla sua orbita. Certamente deve essere tanto ampia da richiedere un tempo abbastanza lungo per essere percorsa interamente. Nel 1961 J. D. Fernie e A. A. Brooker, discutendo le osservazioni finora disponibili, hanno calcolato tre tipi di orbite possibili delle quali, per ragioni fisiche, solo la terza appare accettabile. In questo caso il periodo di rivoluzione ammonterebbe a 260 anni e la massa totale delle due stelle sarebbe 3,9 volte quella del Sole. Dalle caratteristiche fisiche della stella blu risulta che la sua massa dovrebbe essere almeno 2,6 volte quella del Sole, come è appunto quella di altre stelle con caratteristiche fisiche simili. La massa della gigantesca Mira sarebbe dunque dell'ordine di grandezza di quella solare. Se pensiamo all'enormità del suo volume, giungiamo allora a una conclusione sorprendente: Mira è un corpo con una densità bassissima, 200 000 volte più rarefatta dell'atmosfera terrestre. Certamente la densità deve essere maggiore negli strati più interni e minore in quelli periferici. Forse il nucleo ha dimensioni molto ridotte, noi vediamo solo l'involucro più esterno, molto rarefatto, e calcoliamo volume e densità includendo anche una zona intermedia praticamente vuota. Una cosa comunque è certa: che quel corpo celeste, che la distanza ci mostra ridotto a un punto luminoso, non è né un punto né una sfera solida o, comunque, densa, ma una specie di nuvola enorme, grossolanamente sferica, di temperatura e splendore fluttuanti con il tempo.

Di stelle simili a Mira ce ne sono moltissime: 4566 secondo l'ultimo *Catalogo generale delle stelle variabili* (1969). Naturalmente sono diverse l'una dall'altra nei particolari. I periodi possono essere da un centinaio di giorni a due o tre anni, le ampiezze sono maggiori per le stelle che variano con i periodi più lunghi, mentre quelle corrispondenti a quest'ultimo caso hanno le temperature più basse. Gli spettri sono generalmente dei tipi M o, raramente, S, ma ve ne sono anche molte del tipo C, le cosiddette stelle al carbonio. In quest'ultimo caso, quando la temperatura scende intorno al minimo, le molecole di carbonio arrivano ad aggregarsi in particelle di carbone e la stella viene circondata da spesse cortine di fumo: stelle rosse e fumanti come pezzi di brace.

Stelle pulsanti bianche

Le variabili tipo Mira, dette anche a lungo periodo, sono l'esempio più grandioso, ma non il più rappresentativo, di una vasta categoria di stelle la cui caratteristica principale è quella di variare continuamente con una pulsazione periodica, simile a un immenso respiro. A questa categoria appartiene anche un altro tipo di variabili, caratterizzate da variazioni più frequenti e molto più regolari. Sono le cosiddette cefeidi, dal nome della loro capostipite, δ Cephei. Si tratta di stelle giganti ma di dimensioni sensibilmente inferiori a quelle delle variabili a lungo periodo; inoltre sono bianche, con temperature notevolmente più alte, sono, insomma, stelle completamente diverse dalle Mira, nelle quali, quasi certamente, è diversa anche la causa della pulsazione.

Accostiamoci a una di queste stelle che sia abbastanza tipica, per esempio, proprio a δ Cephei. Lo splendore sale rapidamente al massimo, scende più lentamente al minimo, poi risale al massimo e così via, secondo una curva di luce sempre uguale a sé stessa. La variazione non è molto ampia (solamente 0,8 magnitudini) ma piuttosto rapida: ogni ciclo completo dura 5 giorni 8 ore e 47 minuti. Variazioni continue del colore mostrano che, contemporaneamente, varia la temperatura, passando da un minimo di 5700 K a un massimo di 7300 K. L'osservazione spettroscopica rivela che le righe presenti nello spettro si spostano alternativamente verso il rosso e verso il violetto. Abbiamo già visto che questo è il cosiddetto effetto Doppler, che indica uno spostamento della sorgente luminosa secondo la visuale: nel primo caso è un allontanamento, nel secondo un avvicinamento all'osservatore. Non è possibile interpretare questo effetto come una continua oscillazione di tutta la stella nello spazio. L'unica interpretazione possibile diviene allora un'altra e cioè che quando si osserva una velocità radiale di allontamento non si allontana tutta la stella ma solo gli strati esterni dai quali ci giunge quella luce. La stella, dunque, si sta contraendo. A poco a poco la velocità di allontanamento diminuisce e quando finalmente si annulla vuol dire che la contrazione è cessata e il raggio ha rag-

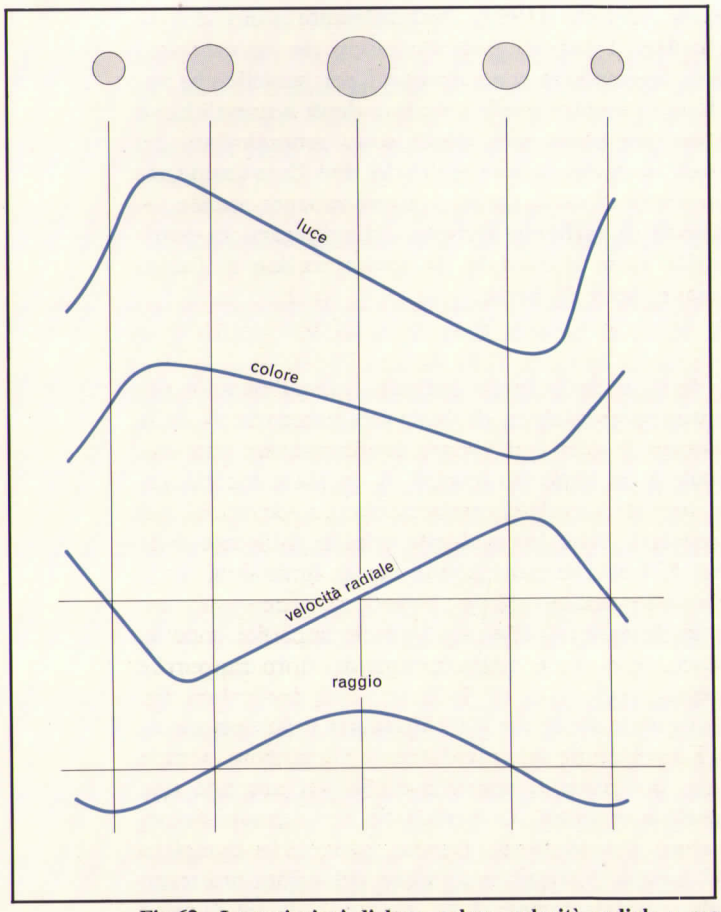


Fig.62 Le variazioni di luce, colore, velocità radiale e raggio di una variabile cefeide.

giunto il valore minimo. Da questo momento si osserva una velocità di avvicinamento a noi che va continuamente crescendo, passa per un valore massimo, poi torna a diminuire fino ad annullarsi. Ciò significa che ora la stella si sta espandendo sempre più rapidamente, poi rallenta la sua espansione, pur continuando a crescere, e finalmente si ferma: a questo punto il raggio ha raggiunto il suo valore massimo. Dopo questa fase la velocità diventa nuovamente positiva, la stella torna a contrarsi e tutto torna a ripetersi nel modo già descritto (FIG. 62).

La misura delle variazioni delle velocità radiali può condurci a un'importante scoperta. Infatti, avendo osservato con quale velocità, in kilo-

metri al secondo, è cambiato il raggio della stella dal valore massimo al valore minimo, e sapendo quanti secondi sono stati impiegati, si può immediatamente ricavare quanti kilometri sono stati percorsi: in altre parole si può misurare di quanti kilometri è cambiato il raggio della stella[1].

A questo punto un piccolo ragionamento ci può permettere un ulteriore passo avanti, conducendoci a misurare addirittura il valore del raggio. Ricordiamo che se due superfici uguali sono alla stessa temperatura emettono la stessa quantità di radiazione, ossia sono ugualmente luminose. Se, però, lasciando inalterata la temperatura, aumentiamo la superficie di una delle due sorgenti, aumenterà proporzionalmente anche l'intensità della luce da essa emessa. Misurando, dunque, i rapporti delle due intensità luminose, si avranno anche i rapporti delle due superfici irradianti. Torniamo allora alla nostra cefeide. Abbiamo visto che la temperatura varia periodicamente, come viene rivelato dalle variazioni di colore. Cerchiamo, allora, due momenti diversi, nel corso dell'intero fenomeno, nei quali il colore della stella sia lo stesso; in questi due istanti lo splendore della stella non sarà necessariamente lo stesso. La differenza di splendore sarà dunque dovuta unicamente alla diversa estensione della superficie luminosa nei due momenti. Così la semplice differenza tra le due magnitudini della stella nei due istanti con uguale temperatura, dà immediatamente il rapporto delle intensità luminose che fornisce quello delle superfici, cioè il rapporto dei raggi. Conoscendo la differenza dei raggi e il loro rapporto, un semplice sistema di equazioni ci permette di ricavare i due valori del raggio, in kilometri.

Nel caso di δ Cephei si è trovato che il raggio minimo è di 25 800 000 km e quello massimo di 29 350 000 km. Dunque δ Cephei, pur non essendo una stella immensa come Mira Ceti, è pur sempre gigantesca, avendo un diametro medio quaranta volte superiore a quello del Sole. Tenendo presente che anche la temperatura è relativamente alta, si conclude che deve essere intrinsecamente molto luminosa. E infatti lo è. Anzi, è risultato che tutte le cefeidi sono stelle molto brillanti. Naturalmente non tutte sono ugualmente luminose: ve ne sono alcune più deboli e altre fino a quattrocentomila volte più brillanti del Sole. Questo fatto è stata una delle più grandi fortune che potessero capitare agli astronomi. Ed ecco perché.

Come abbiamo accennato, anche se queste stelle costituiscono un gruppo omogeneo, hanno caratteristiche individuali che possono variare da un caso all'altro. Una di queste caratteristiche è il periodo. Conosciamo cefeidi con periodi cortissimi, inferiori a un giorno, come il gruppo delle cosiddette cefeidi tipo RR Lyrae, e altre con periodi di alcuni giorni o addirittura alcune decine di giorni. Questo secondo gruppo, comprendendo anche

[1] Naturalmente lo stesso ragionamento vale per qualunque altro momento del fenomeno.

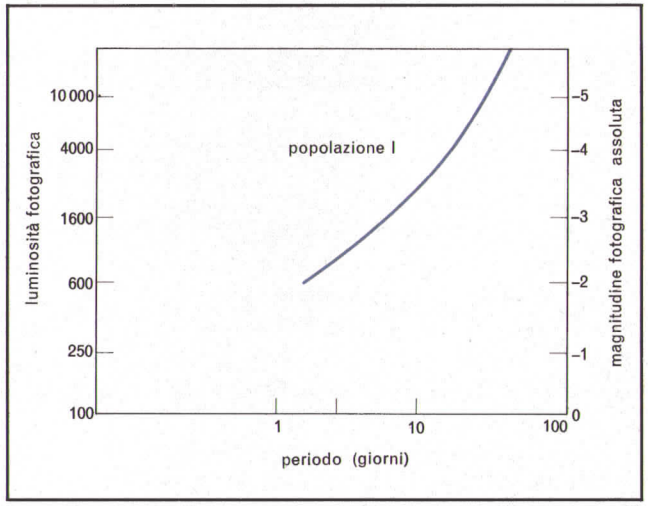


Fig.63 Relazione periodo-luminosità per le cefeidi classiche. Si noti che l'aumentare della luminosità è, con buona approssimazione, praticamente proporzionale al periodo.

δ Cephei, la capostipite, è detto delle cefeidi classiche. Ebbene, all'inizio di questo secolo, si è scoperto che esiste un legame tra la lunghezza del periodo e lo splendore intrinseco medio delle cefeidi, nel senso che quelle con periodo più lungo sono anche più luminose. Da questo fatto si può immediatamente ricavare la distanza di una cefeide della quale si conoscano solo il periodo e la magnitudine apparente media, che sono grandezze facilissime a determinare.

Basta infatti procedere nel modo seguente. Si costruisce la relazione periodo-luminosità mediante cefeidi di distanza nota, per le quali, cioè, oltre al periodo, si abbia anche la magnitudine assoluta. Questa relazione si può esprimere bene mediante un grafico (FIG. 63). Si entra poi nel grafico con il periodo di una cefeide di distanza sconosciuta e si legge quale magnitudine assoluta corrisponde a quel punto. Avendo la magnitudine apparente media, una formuletta che già conosciamo fornirà immediatamente la distanza.

Applichiamo questo procedimento proprio a δ Cephei. Il periodo è di 5,37 giorni. A esso corrisponde una magnitudine fotografica assoluta media di $-2{,}9$; essendo la magnitudine apparente media 4,65 si avrà (pag. 309) un modulo di distanza $m - M = 7{,}55$ cioè una distanza di 1030 anni luce. Abbiamo così completato il quadro di δ Cephei: una variabile pulsante, distante oltre 1000 a.l., milleseicento volte più splendente del Sole.

Ma soprattutto abbiamo scoperto un'arma potentissima per sondare le

più remote profondità dello spazio: poiché le variabili cefeidi sono presenti in ogni parte dell'universo finora esplorato ed essendo luminosissime ci permettono di misurare le distanze di gruppi di stelle remotissimi, per i quali qualsiasi altro metodo sarebbe fallito.

ESPLOSIONI STELLARI

Molti secoli orsono, in una notte di luglio dell'anno 134 a. C., l'umanità fu colpita, per la prima volta, da uno spettacolo strano e insospettato: una nuova stella si era accesa nel cielo. L'astro brillò d'uno splendore vivissimo per qualche tempo, poi lentamente, si affievolì e sparì. Come ci dice Plinio, la strana apparizione indusse l'astronomo greco Ipparco a compilare un catalogo di tutte le stelle « affinché i posteri potessero conoscere se realmente si producessero cambiamenti nel cielo ». E i posteri constatarono, infatti, numerosi cambiamenti simili a quello del 134 a. C. Fino al giorno d'oggi possiamo contare l'apparizione di oltre duecento stelle, non tutte ugualmente splendenti.

Gli antichi dettero a queste stelle il nome di 'novae', rimasto tuttora.

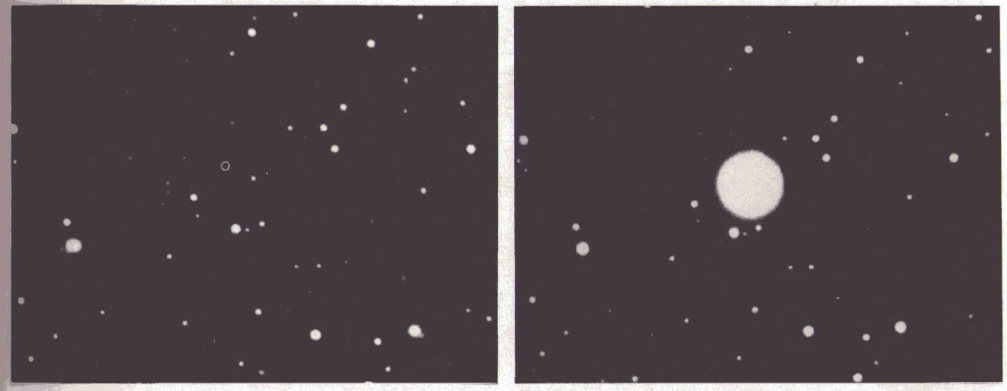


Fig.64 Una stella nova fotografata al minimo e durante l'esplosione. Si tratta della Nova Herculis 1934 in due lastre ottenute all'osservatorio di Pino Torinese nelle stesse condizioni, come è dimostrato dalle immagini delle altre stelle (*per cortesia di A. Fresa*).

Ma oggi sappiamo che in realtà non sono nuove, cioè che esse non 'nascono' nel momento in cui appaiono ai nostri occhi. Eseguendo accurate ricerche sulle fotografie della regione nella quale si trova una nova effettuate prima dell'apparizione, si è potuto rintracciare, quasi sempre, al suo posto, una debole stella della quale, alcune volte, è stato possibile ricavare

anche le caratteristiche fisiche. Si è visto così che una nova è, quasi sempre, una stella dello splendore del Sole (poco più o poco meno) ma soggetta a piccole fluttuazioni luminose. Improvvisamente incomincia ad aumentare di splendore, divenendo, in poche ore, fino a centocinquantamila volte più luminosa di quanto era inizialmente (FIG. 64). Non è difficile avere un'idea di cosa ciò significhi in pratica. È come se il Sole, in poche ore, divenisse centocinquantamila volte più caldo e luminoso. La luce ci accecherebbe, cercheremmo un rifugio dall'immane calore nelle viscere della terra, ma il beneficio varrebbe solo per i primi momenti; nelle ore successive gli oceani evaporerebbero, condensandosi in una pesantissima atmosfera, che sarebbe, a sua volta, dissipata nello spazio dal crescere del calore.

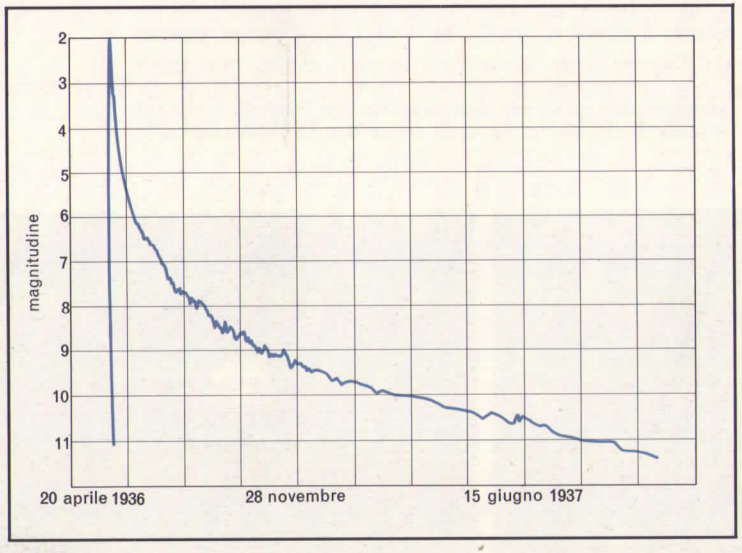


Fig.65 Esempio di curva di luce di una nova (CP Lacertae). Si noti il brusco aumento e la lenta diminuzione della luminosità subito dopo il massimo.

L'aumento della luminosità è accompagnato da un aumento del volume. Gli strati più esterni della stella si espandono all'enorme velocità di 1000 km/s. In meno di due giorni un pianeta che fosse distante quanto la Terra dal Sole verrebbe raggiunto e cancellato: qualsiasi forma di vita, qualsiasi traccia di civiltà, il pianeta stesso, scomparirebbero come vengono inceneriti e distrutti dal fuoco un foglio di carta, le parole che c'erano scritte e ogni loro significato.

Dopo questo parossismo, che generalmente dura due o tre giorni, lo splendore incomincia a declinare, dapprima più rapidamente, poi lentamente finché, a volte dopo diversi anni, ritorna a quello iniziale (FIG. 65). Questa seconda fase si spiega supponendo che l'involucro, a mano a mano che si dilata, si dissolve, si raffredda e diviene sempre meno luminoso e sempre più trasparente finché, alla fine, la luce che osserviamo proviene solo da quella parte più bassa della stella che non era stata interessata dall'esplosione, molto più piccola e quindi più debole dell'involucro espulso al momento del massimo.

Il parossismo è finito. È stata una specie di gigantesca fiammata, nella quale la stella ha dissipato, in pochi mesi, un'energia di 6×10^{45} erg: tanta quanta ne emette il Sole in diecimila anni.

Intanto la materia emessa dall'esplosione continua ad allontanarsi e in



Fig.66 L'involucro espulso dalla nova Persei nel 1901, come appare oggi osservato col grande telescopio di Mount Palomar. La netta asimmetria mostra che l'emissione di materia durante l'esplosione non è uniforme in tutte le direzioni o che l'espansione può essere parzialmente impedita da qualcosa, per esempio da materia interstellare disposta asimmetricamente rispetto al centro della stella (*Mount Wilson and Palomar Observatories*).

certi casi giunge a formare intorno alla stella un involucro tanto esteso da essere visibile dalla Terra (FIG. 66). La quantità di materia espulsa non è notevole, in senso relativo. Secondo le valutazioni più recenti, è circa un millesimo della massa solare. Ammesso dunque che la stella abbia la stessa massa del Sole, la massa espulsa corrisponde a circa un millesimo della sua massa totale. Ma non va dimenticato che anche una frazione così piccola corrisponde a trecento volte la massa della Terra.

Non tutte le novae presentano un comportamento così tipico, ma le varietà non alterano l'essenza di quanto si è già detto. Inoltre ci sono diverse stelle che sono state colte più di una volta nella fase di nova e anzi, secondo alcuni autori, tutte le novae sarebbero ricorrenti, ma il fenomeno si manifesterebbe tanto più raramente quanto più violenta è l'esplosione.

Questo quadro, che abbiamo potuto abbozzare combinando le osservazioni fotometriche e spettroscopiche effettuate fino a ora, si sta rapidamente trasformando e completando con l'introduzione di nuove tecniche d'osservazione. Per ora i risultati riguardano quasi esclusivamente la Nova Serpentis 1970, l'ultima delle più brillanti.

Scoperta dal giapponese M. Honda il 13 febbraio 1970, raggiunse il massimo splendore visuale il 18 febbraio e dopo alcuni giorni apparve iniziare regolarmente il suo lento declino. Mentre la maggior parte degli astronomi del mondo seguiva la nova con i metodi tradizionali senza trovarvi nulla di eccezionale, alcuni altri la seguirono nell'infrarosso. In particolare G. L. Geisel, D. E. Kleinmann e F. J. Low la osservarono in sette lunghezze d'onda (da 1 a 25 μm) dal 19° al 111° giorno dopo la scoperta. Secondo queste osservazioni la nova diventò nell'infrarosso una delle più brillanti stelle del cielo ma non, come suggerivano le osservazioni ottiche, al momento del massimo visuale, bensì oltre tre mesi dopo. A risultati analoghi giunsero, indipendentemente, anche A. R. Hyland e G. Neugebauer.

L'aspetto dello spettro infrarosso, privo di configurazioni in assorbimento, e alcuni calcoli condussero questi autori a concludere che l'emissione infrarossa doveva provenire da un involucro di polvere in espansione a una velocità che risultò essere pari a 800 km/s, cioè dell'ordine di grandezza di quella osservata otticamente per la stessa stella. Questo involucro di polvere si sarebbe formato durante l'esplosione della stella e avrebbe emesso radiazione essendo fortemente riscaldato dall'irraggiamento della stella centrale, che quindi avrebbe dovuto raggiungere uno splendore superiore a quello rivelato dalle osservazioni ottiche, proprio nei giorni in cui quest'ultime mostrarono un rapido declino. Dunque la diminuzione dello splendore visuale delle novae che, secondo le ultime scoperte, è accompagnato invece da un rapido aumento dell'emissione infrarossa, non è reale ma causato da un aumento dell'opacità di un involucro di polvere che circonda la nova, dovuto a un aumento del numero o delle dimensioni delle particelle di polvere. Così, nei tre mesi successivi all'esplosione, lo splendore visuale della stella centrale sarebbe realmente aumentato di cinque volte e non diminuito di cento, come credevamo dalle osservazioni ottiche. La nova Serpentis 1970, oltre a questo straordinario comportamento nell'infrarosso, ha rivelato un'intensa emissione radio e un comportamento nell'ultravioletto analogo a quello nell'infrarosso e altrettanto inatteso. Le osservazioni ultraviolette sono state compiute dallo spazio, mediante strumenti installati a bordo del satellite artificiale OAO-2. È evidente quindi che per i prossimi anni c'è da attendersi una ripresa notevole delle ricerche e delle scoperte in questo campo.

Tuttavia sia queste scoperte sia l'esistenza di vari tipi di novae non aggiungono né tolgono nulla al punto essenziale del fenomeno: il carattere esplosivo della variabilità. Infatti, qualunque possano essere le cause che provocano questi fenomeni e la complessità del loro svolgimento, una cosa è certa: che quanto abbiamo descritto corrisponde a vere e proprie esplosioni stellari, sia pure degli strati più superficiali.

Il fatto che una stella possa esplodere e che lo splendore delle novae al minimo, cioè prima dell'esplosione, è, più o meno, proprio quello del Sole, ci fa venire il dubbio che anche il Sole potrebbe diventare una nova.

Possiamo tranquillizzarci poiché, a parte la luminosità, le caratteristiche fisiche di queste stelle non sono simili a quelle del Sole. Si tratta di stelle blu, di massa forse inferiore a quella solare e già soggette a piccole ma sensibili fluttuazioni luminose. Esse hanno inoltre un'altra caratteristica che le rende completamente diverse dal Sole: sono tutte doppie strette. Questo fatto fu scoperto per la prima volta nel 1954 da M. F. Walker, per la DQ Herculis. Da allora molte ex novae sono state studiate da questo punto di vista e quasi tutte hanno rivelato di essere doppie. Le poche che non si mostrano doppie rientrano, quasi certamente, in quei casi particolari che già conosciamo in cui la duplicità non può essere rivelata da alcun genere di osservazione.

La duplicità è forse all'origine delle stesse esplosioni. Infatti la notevole vicinanza di due stelle, con le fortissime influenze reciproche sugli strati più esterni, può giungere a provocare condizioni di instabilità tali da poter culminare solo in un fenomeno violento. Una volta avvenuto questo, tutto torna tranquillo, almeno per un certo tempo. E se è veramente questa la causa delle esplosioni, possiamo star tranquilli nei confronti del Sole.

LE SUPERNOVAE

Nel luglio dell'anno 1054, gli astronomi cinesi e giapponesi furono colpiti dall'apparizione di una stella eccezionale, splendidissima, che descrissero nelle loro cronache. La stella apparve nella costellazione del Toro, più



Fig.67 La Nebulosa del Granchio nella costellazione del Toro. Scoperta da Messier verso la metà del XVIII secolo, si è oggi rivelata una miniera di informazioni per l'astrofisico e uno dei più straordinari oggetti del mondo siderale (*Mount Wilson and Palomar Obs.*).

brillante del pianeta Venere, tanto luminosa che nei primi 23 giorni fu visibile persino in pieno giorno. Il suo colore era bianco-rossastro. Dopo pochi giorni di tanto fulgore, lo splendore cominciò a declinare finché, verso la metà di aprile del 1056, scomparve senza lasciare traccia.

Così almeno credevano quegli astronomi che l'avevano seguita a occhio nudo. Noi, invece, oggi, ne abbiamo ritrovato le tracce e abbiamo scoperto che ciò che è rimasto è ancora più meraviglioso della meravigliosa apparizione osservata dagli astronomi orientali. Poiché oggi sappiamo che prima del 1054 c'era semplicemente una stella in più; nel 1054 si svolse un'immane esplosione; e ora, nati proprio da quell'esplosione, vi sono corpi ce-

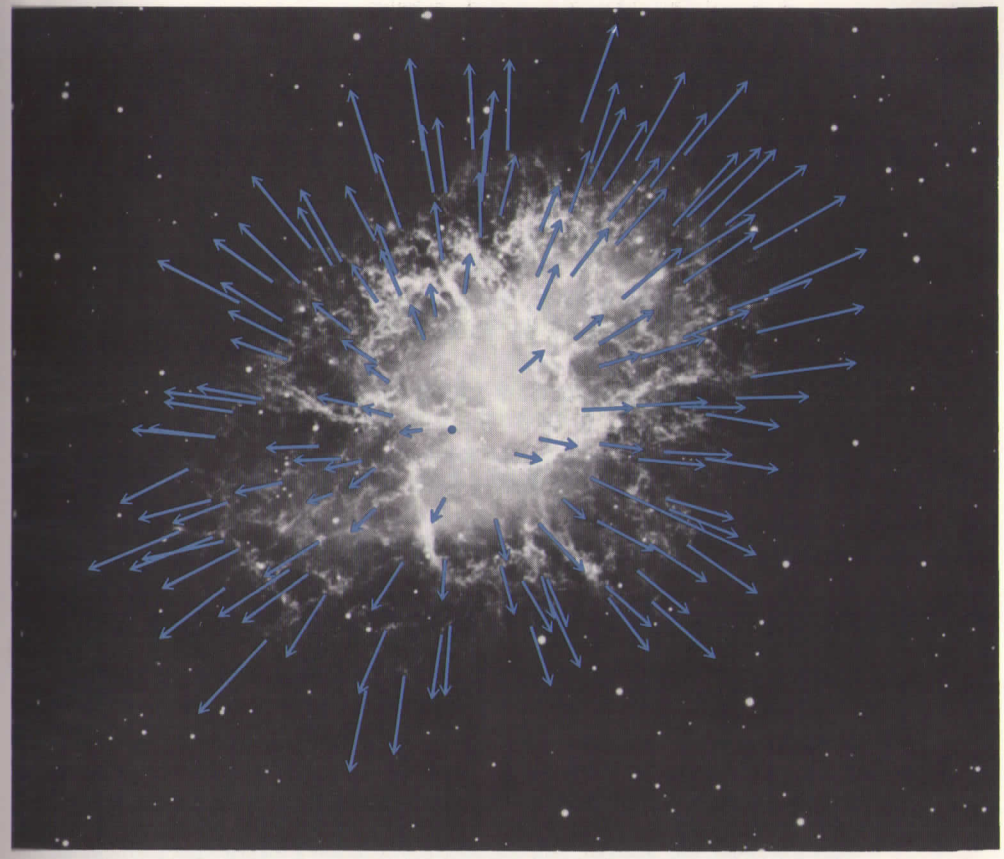


Fig.68 Moti di espansione dal centro della Crab Nebula misurati da V. Trimble per 132 punti. Le frecce rappresentano le distanze che i filamenti percorreranno nei prossimi 270 anni alla velocità attuale; il punto è il centro dell'espansione dedotto dai moti osservati.

lesti fisicamente mostruosi, la cui esistenza, fino a pochi anni fa, non era neppure concepibile.

La storia delle osservazioni di questo corpo straordinario, iniziata in oriente, riprese in Europa, per caso, dopo settecento anni. Ed ecco come.

Quando, nella metà del 1700, l'astronomo C. Messier elencò tùtti gli oggetti celesti interessanti visibili al telescopio, iniziò il suo catalogo con una strana, piccola nebulosa, nella costellazione del Toro, che gli astronomi anglosassoni, a causa della sua forma, chiamarono poi Crab Nebula (Nebulosa del Granchio). Era una nebulosa con un fondo diffuso e un insieme di filamenti rossi uscenti dalla zona centrale, ramificati come il

corallo (FIG. 67). Nel 1921 K. Lundmark notò che questa nebulosa era prossima alla posizione in cui, secondo le fonti orientali, era apparsa la straordinaria stella del 1054. Intanto altri astronomi, da piccoli cambiamenti rilevabili da fotografie effettuate a distanza di anni, scoprivano che la nebulosa era in espansione e trovarono che per raggiungere le dimensioni attuali avrebbe dovuto impiegare circa 900 anni (FIG. 68). Non c'erano più dubbi che la Nebulosa del Granchio era ciò che rimaneva dell'esplosione verificatasi nel 1054. Ne venne ottenuto lo spettro dal quale risultò la velocità con la quale la nebulosa si stava espandendo. Combinando i valori della velocità radiale, espressi in kilometri al secondo, con lo spostamento angolare annuo, già misurato sulle fotografie, si poté ricavare l'angolo sotto cui era visibile dalla Terra l'espansione annua della nebulosa, espressa in kilometri. Da questo dato si ottenne subito la distanza da noi, che risultò di 4100 anni luce (6600, secondo alcune misure più recenti). Nota la distanza, conoscendo lo splendore apparente dalle antiche cronache, si poté ricavare lo splendore reale della stella al momento dell'apparizione. Possiamo immaginare lo stupore degli astronomi quando trovarono che era stato trecento milioni di volte quello del Sole. Un simile splendore non era confrontabile con quello di nessuna stella, neppure con quello raggiunto dalle stelle novae al massimo, come abbiamo visto, che giungono a essere centocinquantamila volte più brillanti del Sole.

Ma la stella apparsa nel 1054 non era un caso unico. Si trovò che anche altre due stelle, apparse nel 1572 e nel 1604, dovevano aver raggiunto una luminosità altissima. Queste stelle furono chiamate supernovae.

La denominazione potrebbe far pensare che le supernovae siano semplicemente delle novae un po' 'maggiorate'. In realtà i due fenomeni devono essere completamente diversi e, mentre nelle novae l'esplosione interessa solo gli strati più esterni, qui è quasi certamente l'intera stella che si autodistrugge, in un'esplosione immane nella quale libera di colpo quasi tutta l'energia in essa racchiusa. Secondo ricerche teoriche eseguite nell'ultima ventina di anni è proprio durante queste esplosioni che si formano gli elementi più pesanti, come il ferro e tutti gli altri fino all'uranio.

La scoperta della coincidenza della Nebulosa del Granchio con la supernova del 1054 fu solo il punto di partenza per altre scoperte sempre più straordinarie. Nel 1948 si scoprì che la Nebulosa del Granchio emette radioonde. Qualche anno dopo si trovò che la luce emessa dal fondo diffuso è polarizzata. Si comprese allora che in quei residui di una stella, esplosa da quasi mille anni, si sta ora producendo quella che i fisici chiamano radiazione di sincrotrone: una emissione di radiazione ottica e radio, causata da elettroni in moto a velocità prossime a quella della luce, in un campo magnetico di debole intensità.

Nel 1964 la Nebulosa del Granchio si rivelava anche come un'intensa

sorgente di raggi X e gli astrofisici teorici incominciarono a sviluppare audaci interpretazioni per spiegare tutti i fatti osservati. Ma la scoperta più inattesa doveva ancora arrivare.

Nel luglio del 1967, i radioastronomi di Cambridge, usando uno strumento costruito per compiere ricerche sulla scintillazione delle radiosorgenti celesti, scoprirono casualmente che da un certo punto del cielo giungevano impulsi radio a intervalli fissi di 1,3 secondi. Considerazioni fisiche portarono alla conclusione che la trasmittente doveva essere molto al di là dei confini del sistema planetario e non poteva essere una stella ma un oggetto non più grande di un pianeta. Queste caratteristiche facevano pensare addirittura a un'emissione artificiale e i radioastronomi di Cambridge, scherzando, indicavano questa 'cosa' con la sigla LGM (*little green men*: piccoli uomini verdi). In realtà di piccoli uomini verdi ce ne dovrebbero essere molti e nelle più disparate parti dello spazio, perché, poco dopo, gli stessi radioastronomi scoprivano altre tre sorgenti di questo tipo e oggi ne sono già note una cinquantina. Dato il carattere pulsante della radioemissione, queste sorgenti furono indicate col nome di pulsar.

Fin dal momento della scoperta venivano indicati come possibili responsabili di questa strana radioemissione due tipi di oggetti: le nane bianche e le stelle a neutroni. Le prime le abbiamo già conosciute. Le stelle a neutroni sarebbero corpi con massa superiore a quella del Sole ma con raggio piccolissimo: appena una quindicina di kilometri. La densità è altissima: da centomila a un miliardo di tonnellate per centimetro cubo. Simili valori sono per noi assolutamente inconcepibili, così come difficilmente riusciamo a immaginare le condizioni fisiche di una di tali stelle.

Stelle di questo genere non sono state mai osservate, ma già nel 1933 F. Zwicky le aveva previste come prodotto dell'esplosione delle supernovae.

Ebbene, nel novembre del 1968, si trovava che la Nebulosa del Granchio contiene una pulsar. Gli impulsi venivano emessi a intervalli di tempo brevissimi: uno ogni 33 millesimi di secondo. Si cercò allora di scoprire se essi provenivano da un corpo osservabile anche otticamente, e anche questa ricerca ebbe successo.

Non era assurdo chiedersi se, dopo l'esplosione del 1054, fosse rimasto qualcosa della stella originale e se questo qualcosa fosse ancora visibile. Con questa idea l'astronomo W. Baade, nel 1942, aveva messo in evidenza due stelline, vicine al centro della nebulosa. Una di queste, con spettro anomalo, poteva essere l'oggetto cercato. Nel gennaio del 1969, osservando questa stella con tecniche speciali, veniva scoperto che emette fortissimi guizzi luminosi con la stessa frequenza della pulsar. In altre parole la stella di Baade fotografata al telescopio, con una posa di alcuni minuti, appare simile a tutte le altre, ma in realtà non è normale: è una sorgente che emette luce a scatti, in ragione di 30 lampi al secondo. Tra un lampo e

l'altro è oscura, invisibile, anche col più grande telescopio del mondo, ma ogni 33 millesimi di secondo emette un lampo cento volte più luminoso del Sole (FIG. 69). Nella primavera del 1969 veniva infine scoperto che anche l'emissione di raggi X presenta pulsazioni uguali a quelle radio e ottiche.

Dopo tutto questo, soprattutto dopo aver constatato la coincidenza di una pulsar radio e ottica con i resti di una supernova, gli astrofisici teorici concludevano felicemente che le stelle a neutroni, da essi previste come resto di una stella dopo la fase di supernova, esistono realmente.

Con la metà del 1969 finì il periodo delle rapide scoperte ma continuarono a svilupparsi sempre più le ricerche teoriche, intese a chiarire il mistero della rapida pulsazione, a risolvere i vari problemi del rapporto tra la stella a neutroni centrale e l'ambiente circostante e a costruire lo schema più plausibile della struttura della stella a neutroni stessa. L'interno di queste stelle può essere studiato solo per via teorica perché è inaccessibile al-

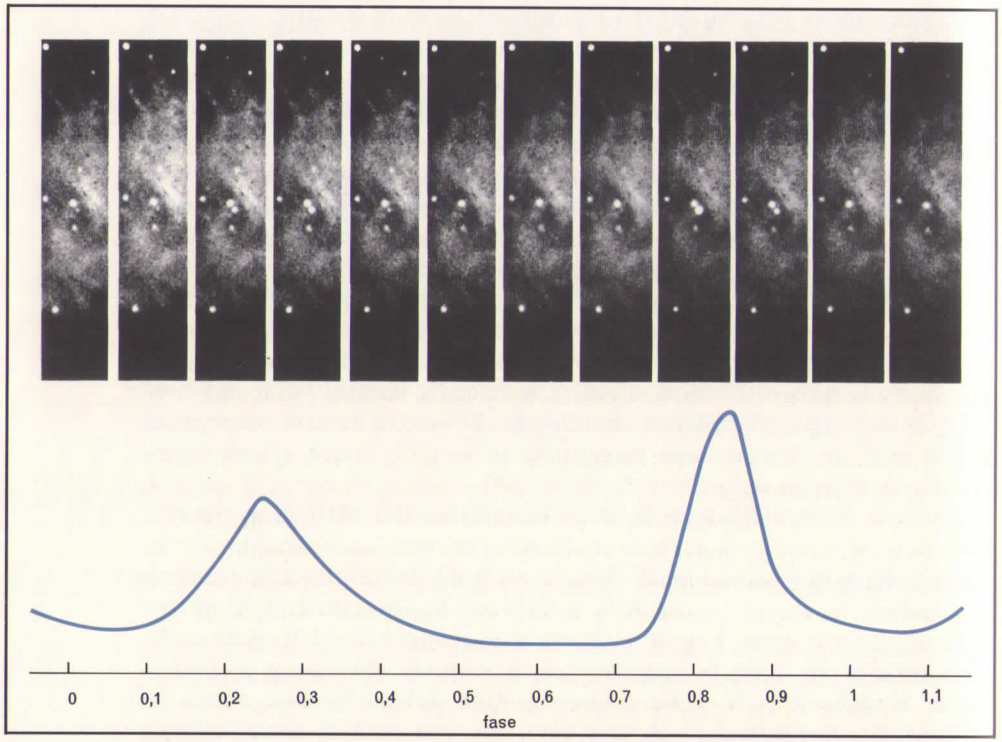


Fig.69 La pulsar al centro della Crab Nebula fotografata con un procedimento speciale all'osservatorio di Kitt Peak, in corrispondenza delle varie fasi. In basso, la curva di luce in funzione della fase. Si tenga presente che l'intero periodo dura solo 33 millesimi di secondo.

l'osservazione e perché lo stato in cui si trova la materia è del tutto peculiare, inconfrontabile non solo con quello riproducibile nei nostri laboratori ma anche con quello in cui si trova in altri corpi celesti. Nonostante queste difficoltà, partendo dai pochi dati sicuri o, almeno, attendibili (come la massa, le dimensioni, la pressione, ecc.), è stato possibile formarci un quadro abbastanza completo della materia in questo straordinario stato che noi, per ragioni che appariranno evidenti tra poco, non potremo sperimentare mai.

La formazione di un fluido di neutroni è la conseguenza dell'enorme compressione della materia, che avviene in certe stelle di masse comprese tra un decimo e 1,4 volte quella del Sole, a causa di fenomeni ancora non del tutto chiari per i quali la materia della sfera stellare giunge a un rapido collasso verso il centro. È in tali momenti che la stella diventa una supernova. In conseguenza di questo, quando la densità supera le 100 t/cm^3, il moto degli elettroni liberi (e in quelle condizioni tutti gli elettroni periferici lo sono) si avvicina alla velocità della luce e gli elettroni stessi, urtando i nuclei, riescono a penetrare al loro interno dove, neutralizzando la carica positiva dei protoni, formano neutroni.

A misura che aumenta la densità, il numero dei neutroni, rispetto a quello degli elettroni e dei nuclei preesistenti, aumenta sempre più finché, a densità dell'ordine di 10^{11} t/cm^3 si ha praticamente solo un fluido di neutroni, un miliardo di miliardi di volte più denso dell'acciaio ordinario e cento miliardi di miliardi di volte più incomprimibile. Questo fluido può nuovamente sopportare l'enorme pressione verso il basso esercitata dalla forza di gravità della stella collassata, che diventa così una stella a neutroni stabile, del diametro di una trentina di kilometri.

Andando dall'esterno verso il centro, questa stella pesante come il Sole, ma minuscola e straordinaria, si presenterà pressappoco nel modo seguente.

Dapprima incontreremo un involucro gassoso, di spessore non superiore a 1 m, composto essenzialmente da atomi completamente ionizzati ed elettroni liberi (FIG. 70). Al di sotto di questa 'atmosfera' sottilissima si trova una specie di crosta solida dello spessore di 3,5 km. La parte superiore, corrispondente a quasi la metà di tale spessore, è formata da nuclei di elementi pesanti, di numero atomico compreso tra 42 e 140, cioè dal molibdeno a elementi transuranici molto pesanti che non siamo riusciti mai a costruire nei nostri laboratori; la parte inferiore è formata da un miscuglio tra il solido superiore e il fluido di neutroni che comincia a prevalere. La zona sottostante, profonda una decina di kilometri, è composta dal solo fluido di neutroni. Questo fluido non va inteso come un qualcosa di scorrevole, simile ai nostri liquidi, sia pure ad alta viscosità, ma come materia le cui particelle non sono disposte secondo una struttura cristallina simile a quella della maggior parte dei nostri solidi e, in un certo senso, a

quella della materia costituente lo strato superiore della stessa stella a neutroni, che abbiamo chiamato 'solido'. Al centro troviamo, infine, un nucleo del diametro di 3 km, nel quale neutroni ed elettroni possiedono un'energia elevatissima e producono particelle elementari simili ad alcune di quelle prodotte dai nostri più potenti acceleratori, che nei laboratori

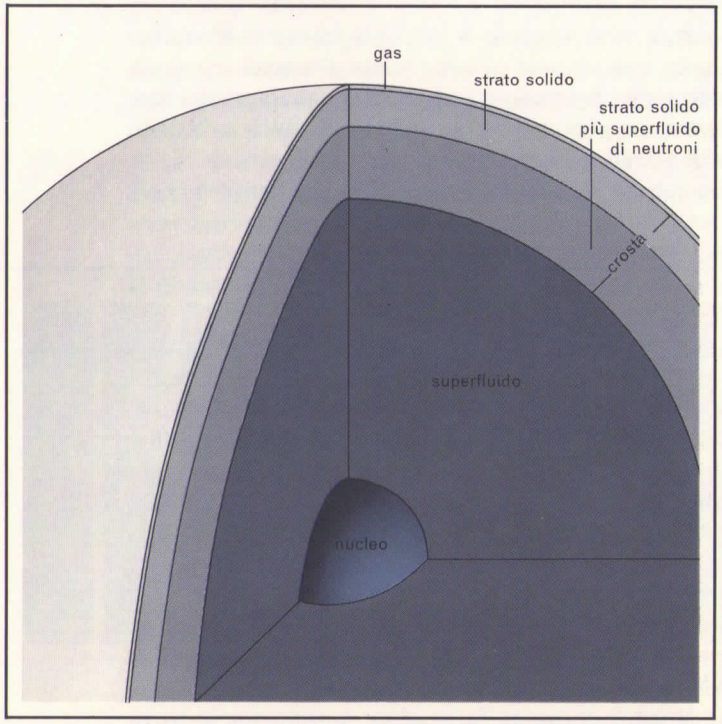


Fig.70 Sezione di una stella a neutroni: dall'esterno è visibile un sottile strato di gas, spesso alcuni centimetri; segue poi una crosta formata da uno strato solido più esterno e da una strato solido misto a un superfluido di neutroni. Segue uno strato composto da un superfluido di neutroni e protoni; il nucleo è composto forse da un miscuglio di particelle elementari pesanti.

terrestri durerebbero meno di un milionesimo di secondo mentre in quelle condizioni di temperatura e pressione sono stabili.

Quali siano queste particelle e come sia più precisamente lo stato di questo nucleo non lo sanno ancora con precisione neppure i teorici. D'altronde tutta la stella a neutroni, pur come l'abbiamo ora descritta, sfugge a un qualsiasi confronto con il mondo conosciuto dai nostri sensi. Come possiamo avere un'idea dell'enorme densità o delle sensazioni che proverebbe il nostro corpo sulla superficie di un globo molto più piccolo della Terra ma sul quale peseremmo tanto che una parte infinitesima di quel

peso sarebbe sufficiente a schiacciarci? Pressoché impossibile è anche il confronto fisico dell'interno di una stella a neutroni con corpi e concetti a noi familiari. In particolare la temperatura di queste stelle, pur essendo elevatissima, non determina le proprietà della materia. Queste sono determinate dalla cosiddetta energia di Fermi che, attraverso la teoria quantistica, può essere collegata con la densità. Ne risulta che, mentre la temperatura deve essere inconcepibilmente alta, la materia si comporta più o meno come un fluido di elio leggero in prossimità dello zero assoluto, cioè a una temperatura estremamente bassa.

Più chiara è invece la situazione in corrispondenza dello strato esterno gassoso. Questo ha una temperatura altissima, di circa un milione di gradi, che varia col tempo. Secondo i calcoli di S. Tsuruta e A. G. W. Cameron, una stella a neutroni, che quando nasce è a circa mille miliardi di gradi, scende, nel primo minuto secondo, a dieci miliardi di gradi e nei successivi trecento secondi a cinquanta milioni di gradi. Dopo un anno la temperatura superficiale è di dieci milioni di gradi, dopo cento anni di sette milioni e dopo cinquecentomila anni di un milione di gradi. Il confronto, con la temperatura superficiale del Sole, che è di 6000 K, mostra che anche dopo mezzo milione di anni la temperatura è altissima. L'emissione di energia e quindi anche di luce, per unità di superficie, deve essere enorme. Nonostante ciò la superficie di una stella a neutroni è talmente piccola che anche una di quelle abbastanza recenti (cioè più calde) e vicine, come la stella nella Nebulosa del Granchio, è del tutto invisibile dalla Terra.

Naturalmente si tratta della luce emessa dalla superficie. Quella dei guizzi periodici ha invece origine, quasi certamente, nei dintorni della stella.

Secondo le attuali ricerche si ritiene che, alla distanza di 1000 km circa, si trovi una zona che emette luce, radioonde e raggi X, in rapidissima rotazione intorno al corpo centrale. Questa emissione investe periodicamente la Terra, a ogni passaggio, come la luce di un faro. Ma quale differenza coi fari installati sulle nostre coste! Questi aiutano i naviganti a superare le insidie del mare, quello resta a indicare il luogo di un naufragio cosmico.

L'idea del naufragio eccita la nostra fantasia che si chiede istintivamente: che cos'era una supernova prima di esplodere? Forse era il centro di un sistema planetario abitato da esseri intelligenti e felici che ha distrutto in un attimo? O forse era una stella che non aveva mai raggiunto uno stato di equilibrio e non aveva mai avuto un corteo di pianeti? Purtroppo lo studio delle supernovae è molto più difficile di quello delle novae, poiché le supernovae relativamente vicine a noi sono rare: finora si conoscono solo le tre del 1054, del 1572 e del 1604, tutte apparse addirittura prima dell'invenzione del cannocchiale. Con i più grandi telescopi si possono osservare

ogni anno un certo numero di supernovae in lontanissimi agglomerati stellari che raggiungeremo solo verso la fine di questo viaggio. Ma queste, data l'enorme distanza, ci appaiono molto deboli e la loro osservazione è difficile, anche usando i più grandi telescopi del mondo. Nonostante ciò sono state compiute diverse, interessanti scoperte.

Innanzitutto si è trovato che esistono supernovae di almeno due tipi. Quelle di tipo I sono le più luminose, diminuiscono di splendore dapprima rapidamente poi lentamente, con estrema regolarità. La loro frequenza media è di una ogni 450 anni. La supernova del 1572 e quella che dette origine alla Nebulosa del Granchio, furono certamente di questo tipo.

Il tipo II è, invece, più eterogeneo. La fluttuazione luminosa non è così tipica e lo splendore raggiunto al massimo è sensibilmente inferiore a quello delle supernovae di tipo I. Secondo una statistica dell'astrofisico russo I. S. Shklovskij, la loro frequenza sarebbe sensibilmente maggiore: una ogni 50 anni.

Si hanno anche altre informazioni (spettroscopiche, radio, teoriche) sulle quali non insistiamo poiché ancora non sono state sufficienti a farci scoprire le due cose più importanti: cosa sono le supernovae prima di esplodere e perché esplodono.

Ma l'idea del naufragio cosmico, di un cataclisma tanto grande da poter coinvolgere i pianeti di un eventuale sistema planetario e forse anche quelli di stelle vicine, resta fissa nella mente. L'energia liberata dall'esplosione, infatti, è immensa: centomila volte superiore a quella liberata dall'esplosione di una nova, che è già diecimila miliardi di volte superiore a quella totale emessa da un flare solare. E non dimentichiamo che un flare solare è duecento milioni di volte più potente di una bomba atomica da un megaton. Inoltre, fatto questo ben più preoccupante, come oggi ci risulta, insieme alla luce vengono emessi anche raggi X e raggi cosmici. E poiché è umano preoccuparci prima di tutto di noi stessi, ci viene spontaneo di chiederci: cosa potrebbe accadere se esplodesse una supernova non troppo distante dal sistema solare e che probabilità c'è che questo avvenga?

A queste domande hanno cercato di rispondere K. D. Terry e W. H. Tucker (un biologo e un fisico americani) calcolando il flusso di raggi cosmici che giungerebbe fino alla Terra da una distanza prefissata. Essi hanno poi confrontato questo flusso con le dosi letali per le forme viventi sulla Terra e infine, tenendo conto della frequenza con cui dovrebbero apparire le supernovae, hanno trovato ogni quanti anni l'evento dovrebbe verificarsi nelle nostre vicinanze.

Il punto di partenza è l'energia emessa da una supernova sotto forma di raggi cosmici. Questo valore è stato calcolato, indipendentemente e per vie diverse, da studiosi russi e americani, che sono giunti, pressappoco, allo stesso risultato. Da questo si può ricavare quale percentuale di energia

raggiunge la parte più alta dell'atmosfera terrestre, naturalmente supponendo la stella a una determinata distanza. Il flusso attuale di raggi cosmici è noto, ed è anche noto che produce una dose di 0,03 r (roentgen) all'anno, che non disturba affatto la vita sulla Terra.

Consideriamo ora le supernovae del cosiddetto II tipo, che sembrano essere le più frequenti. Ammettendo un'opportuna distribuzione spaziale e supponendo che le esplosioni si verifichino al ritmo di una ogni 50 anni, Terry e Tucker trovano che in una sfera di 600 anni luce di raggio, centrata sulla Terra, deve esplodere una supernova ogni 50 milioni di anni. In tale occasione, sempre ammettendo una distanza di 600 anni luce, la dose di raggi cosmici che investirebbe la Terra, in pochi giorni, sarebbe di almeno 500 r.

Naturalmente, se la supernova fosse più vicina, l'irraggiamento sarebbe maggiore (se l'energia liberata nell'esplosione è sempre la stessa), ma questo evento sarebbe più raro. In pratica, nei 600 milioni di anni trascorsi dal periodo precambriano a oggi, possono essere esplose dieci supernovae capaci di produrre un irraggiamento di 500 r, quattro di 1000 r e una sola che avrebbe prodotto una dose di 2500 r. Il confronto con l'attuale flusso di raggi cosmici mostra che queste dosi sono fortissime, probabilmente letali. L'esplosione di supernovae nel più remoto passato potrebbe quindi spiegare uno dei fenomeni più misteriosi nella storia della vita sul nostro pianeta: quello dell'improvvisa scomparsa di intere specie di animali, verificatasi più volte nelle varie ere geologiche. Per vedere fino a che punto una simile interpretazione possa essere accettabile occorre precisare meglio le dosi di raggi cosmici letali per le varie forme viventi sul nostro pianeta.

Effettuando esperimenti di laboratorio, è risultato che, per la maggior parte degli animali, esse vanno dai 200 ai 700 r. Non solo ma gran parte di essi, sottoposti a irraggiamento, vengono resi sterili.

I vegetali sono risultati molto più resistenti. Secondo esperienze effettuate qualche anno fa, la dose letale per la maggior parte delle piante è superiore ai 2000 r. Per compromettere seriamente la crescita delle conifere occorrono dai 500 agli 800 r, ma per le piante a foglie caduche addirittura da 3000 a 7000 r. Più grande ancora è la resistenza dei semi o delle spore, che arrivano a sopportare qualche decina di migliaia di roentgen.

Un discorso a parte va fatto per la vita nel mare. È noto che l'intensità dei raggi cosmici si riduce rapidamente attraversando uno strato di acqua: una dose di 1000 r viene ridotta a soli 72 r nel mare, a 25 m di profondità. Così, plancton, pesci e piante marine viventi in superficie potrebbero essere distrutti dall'esplosione di una supernova, mentre la vita sottomarina al di sotto dei 50 m potrebbe proseguire indisturbata, anche se la dose alla superficie raggiungesse i 5000 r.

Questa selezione nella distribuzione delle specie viventi spiegherebbe

come mai le supernovae non siano riuscite a cancellare dalla faccia della Terra la vita, che da poche tracce superstiti avrebbe poi ripreso a svilupparsi al cessare della causa distruttrice. Non solo ma, secondo Terry e Tucker, l'ipotesi delle supernovae spiegherebbe come mai l'estinzione delle specie si sia verificata contemporaneamente su tutta la Terra, mari compresi, e come mai la flora abbia risentito sempre molto meno di queste crisi che hanno decimato o cancellato intere specie animali. È significativo infine che, dal periodo cambriano, queste estinzioni in massa risultano essersi ripetute con la frequenza di una ogni 60 milioni di anni circa, pressoché coincidente con quella delle esplosioni di supernovae abbastanza vicine da fornire dosi di 500 r.

L'esplorazione nel mondo delle stelle variabili è terminata. Iniziata con la conoscenza di stelle che variano di splendore solo apparentemente, siamo giunti poi a scoprirne altre con variazioni reali e sempre maggiori, fino al punto di imbatterci in vere e proprie catastrofi stellari, nelle quali si scatena una quantità di energia tale da portare la morte fino a distanze enormi.

Forse, un giorno, vedremo comparire improvvisamente una nuova stella, brillantissima, molto più fulgida di quella che ha formato la Nebulosa del Granchio e tutti gli esseri viventi sulla Terra cadranno colpiti a morte. Non ci sarà il tempo neppure di prepararsi alla fine, poiché nel momento in cui arriverà il raggio luminoso che ci permetterà di vedere l'esplosione arriveranno anche le radiazioni mortali, che viaggiano alla stessa velocità della luce. Quando ciò accadrà la stella sarà già esplosa da decine o centinaia di anni, poiché tanti sono gli anni che impiega la radiazione, alla velocità di 300 000 km/s, a superare l'enorme distanza che ci separa da essa. Durante quegli anni nessuno saprà nulla e tutti continueranno a vivere svolgendo tranquillamente le loro attività e ignorando che la fine dell'intera specie si sta avvicinando. Forse sta accadendo fin da ora a noi stessi: stiamo parlando di quegli anni proiettandoli in un futuro remoto e il raggio mortale che dovrà distruggere l'umanità è già partito.

V

Dove nascono le stelle

LE NEBULOSE

Dopo aver assistito ai fantasmagorici spettacoli delle stelle doppie e alle catastrofi delle novae e delle supernovae, il nostro viaggio prosegue ora verso altre mete, alla ricerca di nuovi orizzonti per la conoscenza e di nuovi spazi per la fantasia. Il prossimo traguardo è la costellazione di Orione, una delle più antiche e delle più belle di tutto il cielo. Un telescopio, anche modesto, è sufficiente a offrire una suggestiva visione della zona in cui ci fermeremo: una nebulosa luminosa, nota agli astronomi con la denominazione di M 42[1].

Avevamo già incontrato una nebulosa: la Nebulosa del Granchio, residuo dell'esplosione di una supernova. Questa, però, è enormemente più grande, più luminosa e di struttura radicalmente diversa, e ciò dimostra che appartiene a una categoria di oggetti completamente diversi dalla Nebulosa del Granchio. La parte più brillante si sviluppa nei pressi della stella ϑ Orionis che, osservata con telescopi sufficientemente potenti, si scinde in due gruppi di stelle bianco-azzurre, il più numeroso dei quali forma una stella sestupla, le cui componenti principali sono disposte secondo i vertici di un trapezio. Le zone più deboli della nebulosa sono visibili solo attraverso strumenti ad alta luminosità o su fotografie ottenute con lunghe pose. In un telescopio di grandi dimensioni (cioè di diametro superiore a un metro) la zona offre una visione indimenticabile: intorno al gruppo delle stelle ϑ, scintillanti come brillanti, si stendono veli luminosi

[1] Questa sigla deriva dal fatto che è il 42° oggetto del catalogo compilato nel XVIII secolo da Messier, comprendente, in pratica, i più begli oggetti celesti. Per ulteriori particolari, si veda l'appendice III a pag. 316.