



Giuseppe
Mussardo*

SISSA, Trieste

Chandra. Il viaggio di una stella

Chandra. The journey of a star è la storia di un viaggio, anzi di più viaggi insieme, che Giuseppe Mussardo, con la regia di Enrico Agapito, ha sovrapposto in un intreccio carico di suggestioni, soggetto di un film documentario presentato lo scorso febbraio a Trieste, nell'ambito del *Microfestival su scienza, musica, arte, filosofia e tecnologia*.

Molti viaggi, molti cammini: la ricerca, in primo luogo, non è forse viaggiare? E più importante di tutto non è forse partire? "Non ascoltare tuo padre, non farti intimidire, fai solo quello che ti piace": così la madre Sitalakshmi incoraggia il giovane Subrahmanyan Chandrasekhar a partire e a seguire la sua vocazione per gli studi in fisica che lo porterà a diventare una figura leggendaria.

"Ma il vero viaggiatore è chi parte per partire" e la destinazione finale non è altrettanto importante, quanto meno nel senso che, di regola, essa è ignota e spesso sorprendente. Da Calcutta, via mare, passando per Venezia: la meta sognata dal giovane Chandra era Cambridge che però avrebbe presto lasciato, amareggiato e deluso, per partire nuovamente alla volta di Chicago. A Cambridge sognava di lavorare con Eddington per studiare la struttura e le condizioni di stabilità della materia stellare. In mare, nel riferimento in moto della cabina del bastimento Pilsna, Chandra inizia una prima tappa del suo viaggio intellettuale. Durante la navigazione elabora infatti un primo risultato sorprendente, scoprendo quello che verrà chiamato il limite di *massa di Chandrasekhar* per stelle nane bianche e che, come osserva Roger Penrose, avrebbe instradato "l'astrofisica sul cammino verso i buchi neri".

Però spesso "deviazioni perfettamente ragionevoli dalle vie battute" portano ad errori e a risultati "eretici". Un errore deleterio fu quello di Arthur Eddington: i suoi pregiudizi estetici nei confronti della relatività generale lo portarono a stroncare l'idea appunto "eretica" ma corretta del giovane Chandra. L'ostilità di Eddington fu la causa della partenza di Chandra per Chicago nel 1935 – "L'unica alternativa è quella di cambiare campo di ricerca", constatò amaramente – nonché di un rallentamento decennale dei progressi in astrofisica.

Può essere interessante accostare questa vicenda a quella, riportata in questo numero, relativa alla spedizione del 1919 all'isola del Principe; una missione scientifica organizzata e guidata da Eddington con l'obiettivo di documentare l'effetto di deflessione dei raggi luminosi in prossimità del Sole, come previsto dalla relatività generale. Documentare, forse più che falsificare, tanto per non "dispiacere al buon Dio" come avrebbe poi detto giustamente compiaciuto Einstein, divenuto a seguito di questa conferma sperimentale una *star* mediatica a livello mondiale.

Copie dvd del film su Chandrasekhar, offerte gratuitamente dall'autore, sono presto andate esaurite; tuttavia il prof. Mussardo, per soddisfare ulteriori richieste, ha messo a disposizione il video in rete, scaricabile da

* Giuseppe Mussardo è professore ordinario di Fisica teorica presso la Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) di Trieste, dove è coordinatore del gruppo di ricerca di Fisica statistica e del corso di PhD in Fisica statistica. Ha svolto attività di ricerca e di insegnamento presso molte università straniere e centri di ricerca, quali l'Università della California (Santa Barbara), il Niels Bohr Institute a Copenhagen, l'Imperial College a Londra, l'Université Pierre et Marie Curie a Parigi e l'Università di Melbourne.

chiunque. Per fare questo è sufficiente collegarsi alla seguente pagina web (contenente, tra l'altro, molti spunti e materiali interessanti per la storia della scienza e degli scienziati)

http://people.sissa.it/~mussardo/Professional_web/Welcome.html

seguire il link MOVIES in alto e poi quello al filmato su Chandra:

http://people.sissa.it/~mussardo/Professional_web/Chandra.html

dove l'intero video può essere scaricato attraverso il link

<http://www.events.sissa.it/chandra/>

Ringraziamo il prof. Mussardo per aver messo a disposizione della nostra rivista il seguente testo che illustra in parte il contenuto del video.

La mattina dell'1 agosto 1930, all'imbarcadero di Bombay della P&O, *Peninsular and Oriental Lines*, vi era la confusione solita di tutte le partenze, con i facchini che caricavano bagagli e grandi casse, i funzionari portuali impegnati a dare le ultime disposizioni e i marinai che andavano su e giù dai pontili tra corde e sartie. I viaggiatori stranieri si riconoscevano dall'ammirazione con cui guardavano la *Gateway of India*, considerata la quintessenza dell'India coloniale, un monumento costruito dagli inglesi negli anni Venti per simboleggiare la loro entrata nel Raj ma che presto, invece, ne avrebbe testimoniato solo la loro malinconica uscita. Fino a qualche ora prima la pioggia portata dal monsone aveva spazzato le banchine con raffiche furiose, ma era poi ritornato il caldo, un caldo soffocante; per l'umidità i vestiti erano bagnati e incollati al corpo, fino a diventare quasi trasparenti. Vicino al pontile del bastimento a vapore *Pilsna* del Lloyd Triestino, facente rotta da Bombay a Venezia, si era radunata una piccola folla di persone, composta da parenti e amici, venuti a salutare un ragazzo che si imbarcava alla volta dell'Europa. Minuto, scurissimo – di fatto nero – con il naso largo, la bocca carnosa e lucidi capelli neri che gli incorniciavano la fronte, quel giovane indiano aveva il portamento dignitoso di un bramino e una serietà inconsueta per la sua età. Lo sguardo era velato da un'aria di tristezza, gli mancava infatti l'abbraccio più importante, quello della madre, costretta a rimanere a casa perché seriamente malata. Era lei che più di tutti lo aveva incoraggiato a intraprendere quel viaggio verso l'Inghilterra e verso il tempio della scienza chiamato Cambridge. Partendo, temeva che non l'avrebbe più rivista. La nave lasciò infine la banchina, la silhouette del grande albergo coloniale Taj Mahal e tutta Bombay divennero presto un punto all'orizzonte. Quella traversata tra le acque del Mare Arabico, il Canale di Suez e il Mediterraneo, cambiò il corso dell'astrofisica. Quel viaggio cambiò per sempre anche la vita di quel ragazzo: il suo nome era Subrahmanyan Chandrasekhar, noto universalmente come Chandra.

Chandra nacque il 10 ottobre 1910 e, come primogenito maschio, gli fu assegnato il nome del nonno, Chandrasekhar, che in sanscrito vuol dire "luna". Nacque a Lahore, una città di cultura musulmana al nord del continente indiano, nota per le moschee e i fastosi monumenti dell'era Moghul: un luogo molto distante, sia geograficamente che culturalmente, dalla regione tamil del sud-est dell'India di cui era originaria la famiglia. Si trovavano a Lahore perché il padre, Ayyar, un contabile dell'amministrazione coloniale Britannica, era costretto spesso a muoversi per lavoro ed era stato trasferito lì come addetto della compagnia ferroviaria dell'India del nord-ovest. All'epoca coloniale, entrare nell'amministrazione pubblica britannica era una meta molto ambita per gli indiani, sia per le interessanti prospettive di carriera che per la garanzia di una certa agiatezza. Il padre di Chandrasekhar, Ayyar, fu uno di quelli che seguì questa strada, lavorando duramente per tutta la vita per assicurare il benessere della sua famiglia. A casa vestiva nello stile dell'India meridionale, con un comodo camicione, ma al lavoro adottava l'abbigliamento occidentale, con camicia, cravatta e pantaloni, ben-

ché non rinunciava ad indossare il tipico turbante tradizionale per sottolineare le sue origini. Per il resto, era un tipico padre indiano dei suoi tempi, autoritario e avaro di gesti affettuosi verso i figli: alle figlie assegnò i mariti, ai maschi cercò di assegnare le professioni. Il suo grande desiderio, in particolare, era che il primo figlio maschio seguisse la sua strada e trovasse un impiego nell'amministrazione coloniale. Doveva restare però deluso.

A Chandra di trovare un posto statale nella grande macchina coloniale dell'Impero Britannico non interessava per niente, gli piaceva molto di più la matematica. A Madras, dove la famiglia si era trasferita nel 1923, amava trascorrere molte ore nella biblioteca di casa, una stanza luminosa circondata da alberi di mango e palme di cocco. Qui aveva scoperto molti testi avanzati di matematica, e anche i volumi pieni di formule e di diagrammi scritti a mano dal nonno paterno. In quella biblioteca si erano aperti per lui nuovi affascinanti orizzonti, e si era immerso nello studio della geometria e dell'analisi, tanto che a quindici anni padroneggiava autorevolmente integrali, derivate e ogni altro strumento avanzato di calcolo. Un forte incoraggiamento agli studi gli veniva dalla madre, Sitalakshmi, una donna dal carattere aperto e solare: "Chandra, non ascoltare tuo padre, non farti intimidire, fai solo quello che ti piace". Il padre dovette arrendersi all'evidenza. Nel 1925 Chandra si iscrisse al Presidency College, la migliore università del paese, dove divenne presto famoso per la sua bravura nelle discipline scientifiche. Il suo idolo era Srinivasa Ramanujan, il primo indiano ad essere eletto *Fellow* della *Royal Society*. La vita di Ramanujan era quasi una leggenda, e lui il simbolo stesso del genio innato. I risultati strabilianti ottenuti da Ramanujan in teoria dei numeri – la regina della matematica – gli avevano aperto le porte del *Trinity College* di Cambridge e gli avevano attirato l'attenzione del grande matematico inglese Godfrey Hardy. Chandra aveva sentito parlare del grande Ramanujan dalla madre e dallo zio, il celebre fisico indiano Raman, e i toni usati da entrambi erano stati quelli di una orgogliosa ammirazione. Quei commenti rimasero impressi indelebilmente nella memoria di Chandra, la cui massima aspirazione divenne quella di seguirne i passi, di diventare come Ramanujan un grande matematico. Ma, in questo, il padre fu irremovibile, secondo lui con la matematica non si andava molto lontano, se proprio voleva proseguire negli studi scientifici, molto meglio la fisica, come lo zio Raman, che aveva avuto una carriera strepitosa.

Il momento, in effetti, era tra i più propizi. La scienza indiana, e più in generale, tutta la cultura indiana in tutte le sue espressioni artistiche e letterarie, conosceva negli anni '20 un momento di grande splendore. Mentre Rabindranath Tagore, con versi e racconti di grande lirismo, riceveva un'acclamazione internazionale, uomini di scienza come Satyendra Nath Bose, Meghnad Saha e Raman erano destinati a lasciare un'orma indelebile nella storia della scienza. Il loro riconoscimento da parte dei britannici, e più in generale, del mondo occidentale, era fonte di ispirazione e di orgoglio per milioni di indiani: una forma di riscatto dalla dominazione Britannica, un modo come un altro di affermare orgogliosamente le proprie capacità. Satyendra Bose, ad esempio, fu il primo a formulare l'ipotesi che particelle o atomi con spin intero, quali ad esempio gli atomi di rubidio, di potassio o di elio, soddisfano una statistica particolare. Tale statistica, applicata ai fotoni – le particelle di cui è fatta la luce – rendeva ragione immediatamente dello spettro del corpo nero che tanto aveva angustiato Max Planck. Oggigiorno la statistica dei bosoni, le particelle di spin intero così chiamate proprio in onore di Bose, è quella che spiega gli stupefacenti effetti quantistici, quali la superfluidità o la superconduttività, che si presentano in molti materiali a temperature bassissime. Megh Nad Saha, d'altro canto, elaborò una equazione, diventata ben presto famosa, in grado di predire la ionizzazione di un gas e di fornire, in tal modo, una corretta interpretazione degli spettri stellari. Raman, lo zio

di Chandrasekhar, nel 1928 aveva poi fatto l'importante scoperta dell'effetto che porta il suo nome: l'effetto Raman, che permette di identificare la struttura di una molecola a partire da come essa interagisce con la luce, aprì nuove strade nel campo della spettroscopia e spianò nel 1930 la strada del premio Nobel in Fisica al suo scopritore. A tale slancio intellettuale si affiancava anche tutto il fervore politico che in quegli anni scuoteva l'India, tesa a raggiungere l'indipendenza dall'Impero britannico: Mahatma Gandhi, Jawaharlal Nehru, Sardar Vallabhbhai Patel e altri leader politici erano diventati rapidamente nomi altrettanto famosi sia nel continente indiano che all'estero.

Scelto di studiare Fisica, Chandra si immerse nella lettura di un classico della scienza, il trattato *Atomic structure and spectral lines* di Arnold Sommerfeld, in cui si esponevano i principi della spettroscopia e della meccanica quantistica, nella versione in cui era conosciuta agli inizi degli anni '20, ovvero prima della rivoluzione scientifica e della definitiva formulazione fornita, da lì a qualche anno, dai vari Heisenberg, Pauli, Bohr, Schrödinger e Born. Chandra ebbe anche la fortuna di conoscere personalmente sia Sommerfeld che Heisenberg, venuti in visita in India proprio in quegli anni. Nei pomeriggi passati assieme, Sommerfeld spiegò al giovane Chandra con grande eleganza i nuovi concetti della fisica quantistica che ribaltavano tutte le idee fino ad allora elaborate per capire il mondo atomico. Sembrava, per esempio, che la natura quantistica degli elettroni in un metallo producesse inaspettatamente una pressione verso l'esterno in grado di tenere insieme il metallo e di dargli le proprietà di durezza che lo caratterizzano. Impaziente com'era di apprendere tutte quelle novità, Chandra recuperò gli articoli di Dirac e Fermi consigliatigli da Sommerfeld e in brevissimo tempo scrisse il suo primo articolo che venne pubblicato nel 1928 dall'*Indian Journal of Physics*. Decise di farne una pubblicazione più corposa, da pubblicare sulla prestigiosa rivista dei *Proceedings della Royal Society*, e così entrò in contatto per la prima volta con Ralph Fowler. Ma l'incontro più stimolante lo ebbe con Werner Heisenberg, venuto in India a tenere una conferenza al Presidency College. All'età di ventotto anni, Heisenberg era già una celebrità per le sue scoperte fondamentali fatte nel campo della fisica quantistica, e si parlava di lui come un possibile candidato al Nobel: suo il famoso principio di indeterminazione, sua la formulazione della meccanica quantistica in termini di algebra di matrici. Benché giovanissimo, come migliore studente del College, a Chandra fu affidato il compito prestigioso di tenere un discorso sul lavoro di Heisenberg e di presentare l'ospite. "Nell'arco di una giornata – scrisse in seguito Chandra al padre – semplicemente parlando con lui, sono riuscito ad imparare un mondo di cose su tante questioni fisiche. Di notte siamo andati in macchina lungo la marina di Madras e mi ha parlato dell'America." Nell'estate del primo anno gli fu offerta dallo zio la possibilità di trascorrere quei mesi nel suo laboratorio a Calcutta, con la possibilità di fare la prima esperienza di ricerca scientifica vera e propria. Ma, come nel caso del famoso fisico Pauli, noto per la sua idiosincrasia per gli apparati di laboratorio, i suoi esperimenti furono un disastro, gli strumenti si rompevano misteriosamente ad ogni suo tentativo di misura e niente funzionava. Divenne subito chiaro che la sua vera vocazione era la fisica teorica. Ritornò a Madras portando con sé un libro stimolante: *The internal constitution of the stars*, di Arthur Stanley Eddington. In questo trattato, Eddington conduceva il lettore fino alle frontiere dell'astrofisica dell'epoca, con uno stile brillante da grande scrittore. "È ragionevole pensare – scriveva Eddington – che in un futuro non molto lontano saremo in grado di comprendere una cosa tanto semplice quanto una stella". Chandra fu tanto affascinato da quella sfida che, vinta una borsa di studio per studiare in Inghilterra, non ebbe alcun dubbio su dove andare: Cambridge, il tempio della scienza, lì dov'erano Fowler, Eddington, i grandi nomi dell'astrofisica. Il suo sogno si stava avverando...

Anche se ci sembrano eterne, le stelle sono ciononostante mortali. Come ogni altra cosa al mondo, esse nascono, vivono e poi muoiono. A seconda della massa, la nascita di una stella può richiedere milioni o centinaia di milioni di anni, un tempo apparentemente lungo ma pur sempre un battito di ciglia nella scala dell'universo. Gli incubatori stellari sono le gelide regioni delle nebulose stellari – la Nebulosa di Orione, la spettacolare Nebulosa dell'Aquila o l'impressionante Grande Nube di Magellano – composte dal gas più semplice ed abbondante dell'universo: l'idrogeno. Collidendo accidentalmente, le particelle gassose di queste nebulose iniziano ad accumularsi intorno ad un nocciolo iniziale e, quando la concentrazione degli atomi diviene così densa che la temperatura raggiunge milioni di gradi, hanno inizio le reazioni nucleari. La stella può così affacciarsi alla vita.

Quanto essa poi vivrà e come morirà, anche questo dipende solo dalla sua massa: la stragrande maggioranza delle stelle della Via Lattea sono più fredde, più piccole e meno luminose del nostro Sole e vivranno miliardi di anni, diventando alla fine delle nane bianche, compatti oggetti cosmici che brillano della luce fredda dei diamanti. Ma per stelle di massa più grande di quella del Sole, circa 1.4 volte più grandi, il destino è molto diverso. Tali stelle, una volta esaurita tutta l'energia nucleare di cui dispongono, acquistano una densità terrificante tanto che la gravità può arrivare a vincere contro ogni altra forza, portando così la stella ad un completo collasso. Tale collasso può sfociare nella formazione di una stella a neutroni ma, per masse molto elevate, può anche dar luogo ad un buco nero, ovvero una cavità dello spazio-tempo in cui riposa quel che resta di una stella morta. Per decenni gli scienziati hanno respinto questa idea considerandola una pura stramberia, un'eccentricità che di fatto non poteva esistere: la natura avrebbe proibito tale assurdità – esclamava Sir Arthur Eddington – poiché appariva una brutta soluzione per la più bella teoria mai creata, quella della relatività generale di Albert Einstein. Ma oggi sappiamo che l'universo è pieno di questi mostri cosmici e che uno di questi – gigantesco – è situato proprio al centro della nostra galassia. Affinché una stella muoia come una nana bianca la sua massa non deve superare un valore limite, perché al di sopra di questo c'è solo il baratro gravitazionale: l'esistenza di tale valore (1.4 volte la massa del Sole), noto come *massa limite di Chandrasekhar*, fu la straordinaria scoperta che ebbe luogo nelle cabine del *Pilsna* in navigazione verso l'Europa.

Lasciata Bombay, la *Pilsna* fece scalo a Porto Said e poi ad Aden. Il grande mare arabo mandava riflessi meravigliosi, gli stessi che avevano ispirato lo zio Raman nella sua grande scoperta che gli aveva fruttato il Nobel. Chandra sognava anche lui di fare una scoperta sensazionale, di diventare famoso, di ritornare in India come un grande scienziato. Una folla di pensieri e di emozioni gli riempivano la testa, per distrarsi pensò che non c'era niente di meglio che dedicarsi alla fisica. Aveva con lui l'articolo che aveva scritto a Madras, dove aveva sviluppato la teoria di Fowler delle nane bianche. Fowler, usando le nuove leggi della meccanica statistica di Fermi e Dirac, era riuscito a demistificare un annoso paradosso riguardo la densità straordinaria delle nane bianche e Chandra voleva ora ottenere una descrizione migliore di cosa accadeva in queste stelle. Una delle sue prime conclusioni a cui giunse fu che la densità al centro della stella era sei volte maggiore della loro densità media. Di colpo, gli venne in mente una domanda fondamentale: se la densità al centro è così alta, è possibile che si debba considerare anche gli effetti relativistici? Il punto, secondo la statistica di Fermi-Dirac e il principio di Pauli, è che due elettroni non possono mai occupare lo stesso stato. Quindi, avendo un certo numero di elettroni, essi tendono a riempire tutti i livelli disponibili, e quelli con momento più alto, hanno energia di gran lunga più alta della loro massa a riposo. In questo caso è neces-

sario ricorrere alle leggi della relatività speciale di Einstein per la loro corretta descrizione. Eccitatissimo da questa scoperta, Chandra si mise subito al lavoro e, con sua grande sorpresa, scoprì che c'era qualcosa di assolutamente sorprendente. Se i suoi calcoli erano corretti, c'era un limite sulla massa di una stella che le consentiva di evolvere in una nana bianca. Se la massa della stella era troppo grande, non poteva diventare una nana bianca, poiché la teoria di Fowler avrebbe predetto in questo caso un valore negativo per il suo raggio! Il valore limite della massa, d'altro canto, era espresso in termini di costanti fondamentali della fisica e del peso molecolare medio della stella. Chandra fu affascinato da questo risultato, riuscire a trovare un valore limite della massa di una stella in termini di costanti fondamentali! Affascinato ma confuso: cosa sarebbe successo se la stella avesse avuto una massa più grande di questo limite? La stella sarebbe sparita nel nulla, inghiottita dalla sua stessa forza di gravità? L'idea, come Chandra scoprì anni dopo sulla propria pelle, era non solo rivoluzionaria, ma addirittura eretica.

Giunto a Cambridge, trascorse i quattro anni successivi immerso nel lavoro di PhD. Entrò anche in contatto con il gotha della fisica dell'epoca, i vari Dirac, Bohr, Born. Fu solo nel 1934 che Chandra ebbe modo di ritornare ad esaminare il problema delle nane bianche, raffinando i calcoli fatti quattro anni prima sulla nave e ricevendo quello che considerò, all'epoca, un incoraggiamento niente di meno che dallo stesso Eddington. Il vecchio astronomo si fermava spesso a parlare con lui e gli fece anche avere quello che era un vero e proprio lusso per il tempo, un calcolatore meccanico. La realtà era però molto diversa: Eddington era infatti convinto che Chandra stava prendendo una grossa cantonata, fatto che divenne abbondantemente chiaro nell'incontro che ebbe luogo l'11 Gennaio 1935 alla *Royal Astronomical Society*. "L'idea del Dr. Chandrasekhar che una stella debba contrarsi all'infinito è una buffonata cosmica. Penso che ci debba essere una legge della Natura che impedisca ad una stella di comportarsi in un modo così assurdo", proclamò Eddington nella relazione finale della conferenza. Il colpo fu devastante. Chandra sapeva che era stato ridicolizzato pubblicamente dall'astronomo più rispettato dell'epoca. E non fu neanche l'unica volta che questo accadde. Intorno a Chandra si creò il vuoto, e negli anni successivi non vi fu nessuno scienziato che pubblicamente spese una parola a suo favore. In una lettera al padre del 1940 scrisse "Sento che tutti gli astronomi, senza alcuna eccezione, pensano che io sia in torto. Che sia una specie di Don Quixote che cerca di az-zoppare Eddington. È una esperienza molto scoraggiante. L'unica alternativa è quella di cambiare campo di ricerca".

Insieme alle nane bianche, Chandra si lasciò alle spalle anche l'Impero Britannico. Emigrò negli Stati Uniti nel 1936, accettando un posto di professore presso lo *Yerkes Observatory*, vicino Chicago. I suoi calcoli erano però corretti. La stolta e baronale opposizione di Eddington, per certi versi inspiegabile, ebbe l'effetto di rallentare per decenni il progresso dell'astrofisica. Quando Chandra vinse il premio Nobel nel 1983, erano infatti passati più di cinquant'anni dalla scoperta fatta nella cabina della *Pilsna*. Di quel giovane ventenne, pieno di sogni e di speranze, rimaneva solo la malinconia del suo sguardo.

Ulteriori approfondimenti

KAMESH WALI, *Chandra*, The University of Chicago Press, Chicago 1990.

ARTHUR MILLER, *L'impero delle stelle*, Codice Edizioni, Torino 2006.

MITCHELL BEGELMAN, MARTIN REES, *L'attrazione fatale della gravità. I buchi neri dell'Universo*, Zanichelli editore, Bologna 1997.

Si veda anche, nel sito AIF (www.aif.it), per la rubrica *Il fisico della settimana*, curata da A. Gandolfi, la biografia di "Chandra" (2009, settimana 19-25 ottobre) [NdR].