

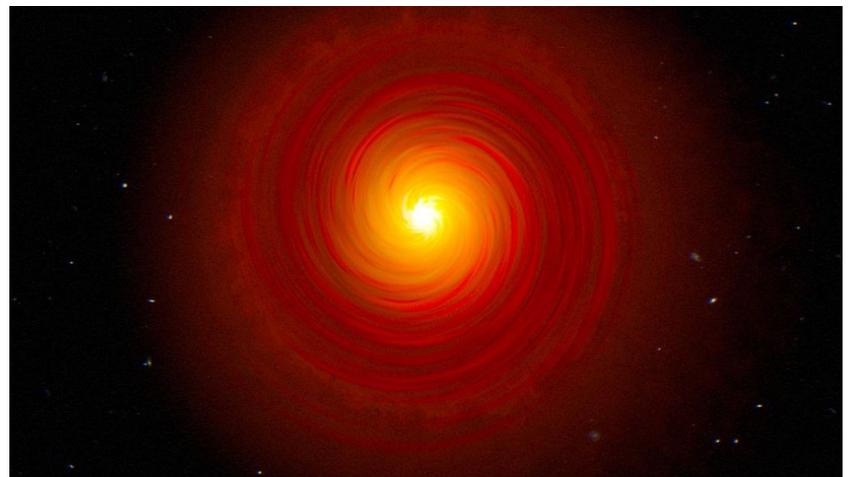
LEGGERE UNA GRANDE STORIA NELLE RIGHE DI UNO SPETTRO

di *Andrea Banzatti**

L'autore ripercorre le tappe salienti di una storia iniziata scomponendo la luce solare nei diversi colori e che oggi vede la spettroscopia come una delle tecniche osservative fondamentali in astronomia. Per arrivare alla recente scoperta, grazie ai dati raccolti dal Telescopio Spaziale Webb, che spiega come l'acqua può essere acquisita da un pianeta in formazione.

** Astrofisico, assistant professor al Dipartimento di Fisica della Texas State University a San Marcos (Texas)*

Sono un astrofisico, vivo negli Usa con la mia famiglia dal 2013 e studio la formazione di pianeti attorno ad altre stelle, chiamati pianeti "extra-solari". La tecnica che uso nella mia ricerca è la spettroscopia, in particolare nell'infrarosso che è la parte dello spettro elettromagnetico oltre il colore rosso nel visibile a energia minore di quella che i nostri occhi possono vedere. Ed è proprio questo che dopo tanti anni di lavoro ancora costituisce l'aspetto che più mi stupisce e attrae: la spettroscopia è una tecnica che ci fa vedere quel che i nostri occhi non possono vedere (non solo nell'infrarosso, anche nel visibile). Ai miei studenti la introduco sempre con questa domanda: «*how can we see what we cannot see?*» (come possiamo vedere ciò che non possiamo vedere?). La spettroscopia è un dono che riceviamo dalla Natura per poter vedere cose inimmaginabili e in astronomia è ancora più importante perché ci permette di studiare cose molto lontane come se fossero molto vicine. In questo breve articolo vorrei condividere qualcosa di quello che ho imparato in questi anni di lavoro di ricerca e dall'insegnamento di un corso di *Spettroscopia astronomica* che insegno da tre anni.



Rielaborazione artistica di un disco protoplanetario (Joseph Olmsted (STScI), NASA, ESA, CSA)

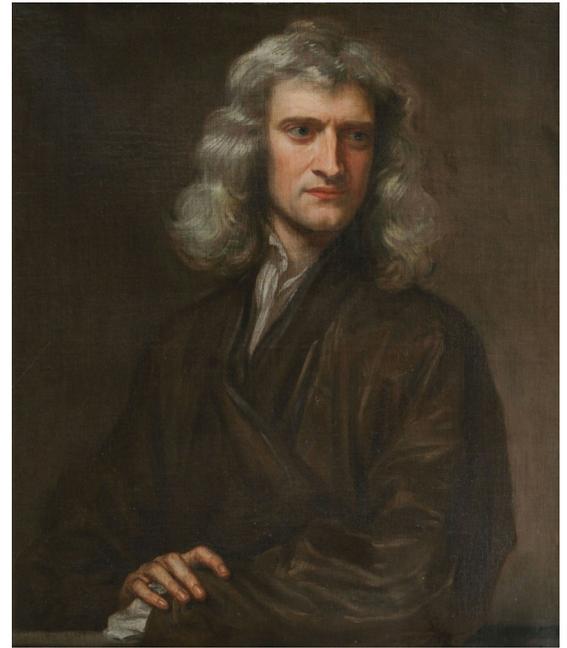
Quelle 600 righe nere sull'arcobaleno

Nel suo *Astrophysics for Physicists*, Arnab R. Choudhuri sostiene che la nascita della spettroscopia abbia portato alla nascita dell'astrofisica moderna: sono convinto di questa idea per i seguenti motivi (che ovviamente devo solo brevemente delineare). L'astronomia antica è certamente stata guidata da fattori

pratici: l'elaborazione del calendario, o più specificamente la scansione delle stagioni (necessaria per l'agricoltura), e la navigazione. Sugli studiosi "meno pratici", l'osservazione del cielo ha intrigato per il moto dei pianeti sulla sfera delle stelle fisse, problematica che ha assorbito la maggiore creatività scientifica da Ipparco (II secolo a.C.) fino a Newton (passando da Tolomeo, Copernico, Keplero e Galileo). Tutti questi filosofi (gli scienziati di quel tempo) si muovevano immersi in idee eterne dettate da Aristotele. Due tra le più forti erano: che le stelle sono fisse su una sfera di cristallo; che tutti i corpi celesti sono composti di etere, ovvero qualcosa di diverso dalla materia terrestre e che segue leggi diverse. In altre parole, il cielo è lontano, puro, e sostanzialmente non conoscibile attraverso l'esperienza delle cose terrestri. Mentre i filosofi si arrabattavano a spiegare le loro intuizioni e osservazioni nel contesto di queste idee eterne, due scoperte hanno prodotto una scossa mortale che ne ha determinato la fine. Una è la scoperta della parallasse, attorno al 1838, che ha "rotto" la sfera di cristallo e ha dimostrato che le stelle hanno distanze diverse. L'altra, quasi due secoli prima, è legata leggendariamente alla caduta di una mela da un albero nella placida campagna inglese, mentre a Londra infuriava la peste (1666). Con questa osservazione, il giovane introverso Newton ebbe la geniale intuizione che la forza che faceva cadere una mela era la stessa che teneva la Luna attaccata alla Terra. Il cielo, dunque, non è determinato da diverse leggi fisiche rispetto alla Terra, come diceva Aristotele. Improvvisamente, il cielo diventava meno estraneo e molto più vicino. Ma tutto questo non intaccava ancora una parte delle idee: quella relativa alla materia di cui gli oggetti celesti sono fatti. Anche su questa idea, fu Newton a cominciare la scalata che avrebbe portato a una visione completamente nuova 200 anni dopo (pensate, con i ritmi di oggi, cosa vuol dire aspettare 200 anni).

Newton riportò una serie di osservazioni sull'effetto che un prisma ha su un raggio di luce del Sole. Il fenomeno dell'arcobaleno era noto fin dall'antichità ed è stato il primo modo in cui la Natura ha rivelato il dono di cui parlavo prima. Ma Newton anche qui ha avuto una grande intuizione ed è riuscito a dimostrare che i colori sono le componenti della luce bianca solare. Come ha fatto? Ha semplicemente aggiunto un secondo prisma davanti al primo e ha fatto vedere che l'arcobaleno emergente dal primo prisma veniva ricomposto dal secondo dal quale emergeva luce bianca. Semplice e geniale. In una pubblicazione alla *Royal Society*, Newton chiamò questo fenomeno *spectrum* per indicarne la natura di apparizione fugace e inconsistente (basta muovere il prisma e lo spettro sparisce).

Per 150 anni non ci fu sostanziale progresso su questa scoperta, finché un giorno fuori da Monaco, in un vecchio monastero trasformato in laboratorio, una accidentale scoperta (e quante volte è successo che una scoperta fosse accidentale) bussò alle porte del mondo scientifico. Un costruttore di lenti per applicazioni militari, dopo aver imparato la tecnica in Svizzera, era al lavoro per dimostrare la perfezione del vetro da lui forgiato nel suo laboratorio; la purezza del vetro si testava con luce solare fatta passare da elementi di dispersione, quali i prismi (come aveva fatto Newton) o crini di cavallo (che causano la diffrazione della luce). Con queste tecniche, il giovane Joseph osservò con disappunto una fittissima rete di righe nere nell'arcobaleno prodotto dalle sue lenti. Col tempo e ulteriori tentativi, il disappunto si trasforma in interesse e stupore: le righe erano reali, non erano un segno di impurezze nel vetro ed erano più di 600; ancora oggi le più visibili sono conosciute col suo nome: le righe di Fraunhofer, a cui la Germania ha anche dedicato un bel francobollo. Purtroppo, Joseph Fraunhofer morì presto, troppo presto per poter scoprire la portata rivoluzionaria della sua scoperta.



Isaac Newton
(ritratto di Godfrey Kneller, 1689)



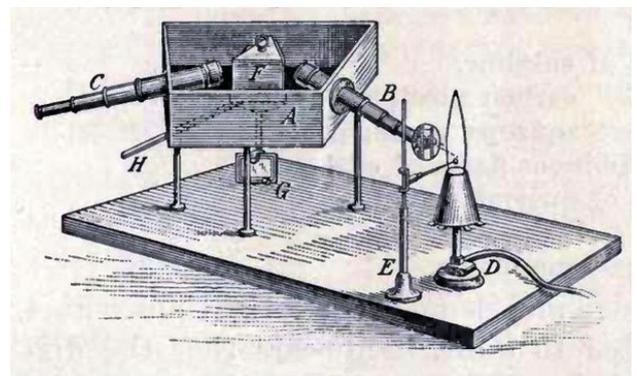
A questo punto è interessante leggere una citazione che porta a riflettere su un certo modo di usare la ragione. Vent'anni dopo la scoperta di Fraunhofer, il filosofo francese Auguste Comte, il padre del positivismo, faceva delle affermazioni molto forti in campo astronomico: «non potremo mai arrivare a studiare la composizione chimica delle stelle, in alcun modo» e «persisto nell'opinione che qualsiasi conoscenza della temperatura delle stelle sarà necessariamente sempre inarrivabile». Immagino che arrivasse a queste convinzioni seguendo fedelmente la sua logica positivista, strettamente legata a ciò che è misurabile e sperimentabile. In effetti, a quel tempo ancora non c'era modo di misurare queste cose. Ma con queste asserzioni ha lasciato ai posteri anche un grande insegnamento, a posteriori: «ci son più cose in cielo e in terra, Orazio, di quanto può sognarsi la tua filosofia», come ci ha insegnato un altro grande maestro. Talvolta non con il nostro esempio, ma coi nostri errori possiamo aiutare altri a fare dei passi in più.

Dalla spettroscopia all'astrofisica

Ad ogni modo, ci volle davvero ancora molto tempo prima che la scoperta accidentale di Fraunhofer si mostrasse in tutta la sua gloria. E ancora una volta è impressionante considerare cosa ci volle. Possiamo immaginarci degli uomini chiusi in stanze buie a bruciare piccole fiamme di elementi chimici da osservare molto scomodamente attraverso degli oculari posti al di là di un prisma. La luce di queste fiammelle veniva dispersa come succede all'arcobaleno, ma invece di mostrare tutti i colori mostrava delle sottili righe di alcuni colori soltanto. Per esempio, una fiammella di potassio mostrava righe rosse, mentre quella di sodio righe gialle. Gli scritti di un certo Henry Fox Talbot ci dimostrano che ebbe una grande intuizione, ovvero che un colore specifico potesse indicare la presenza di un elemento specifico. Purtroppo però, la contaminazione di sodio rallentò il progresso in questo campo per 30-40 anni.

Finché due scienziati con esperienza si ritrovarono a lavorare assieme ad Heidelberg, decisi a fare un lavoro sistematico sulle fiammelle colorate e scoprirne il senso. Pare che l'intuizione geniale venne loro un giorno che osservarono dalla finestra l'incendio di un palazzo non molto distante, e vedendo attraverso il loro strumento delle righe di un certo colore ne dedussero che nel palazzo ci dovesse essere un certo elemento chimico. A questo punto, si fecero la domanda: ma se possiamo farlo con un incendio, perché non pensarlo possibile con il Sole stesso? Così, dopo infinite ore a catalogare gli spettri di righe colorate di molti elementi chimici, Kirchhoff e Bunsen arrivarono nel 1860 a una conclusione di portata rivoluzionaria: le righe nere scoperte da Fraunhofer corrispondevano in modo esatto a righe colorate di elementi chimici terrestri, rendendo possibile la prima analisi chimica del nostro Sole. Purtroppo, Comte era morto tre anni prima della pubblicazione, altrimenti avrebbe dovuto seriamente rivedere le sue affermazioni sulla nostra possibilità di studiare le stelle. Questa scoperta generò grande clamore e ammirazione nella comunità scientifica e diede l'ultima sferzata mortale a quelle idee eterne lasciate da Aristotele: gli oggetti celesti sono fatti della stessa materia che abbiamo qui sulla Terra. L'astrofisica moderna era nata: non solo era possibile studiare il moto degli astri nel cielo, ma da quel momento fu possibile studiarne la composizione chimica, la temperatura, la densità, la velocità, persino la pressione! L'Universo si apriva improvvisamente come un immenso laboratorio alla portata dei nostri apparecchi di misura.

C'erano voluti 150 anni dopo Newton per scoprire le righe di assorbimento nello spettro solare, e altri 50 per scoprirne la natura e l'origine; ma da quel momento, non ci vollero che pochi anni perché la prima classificazione spettroscopica stellare venisse formulata. E fu un personaggio inatteso a entrare in gioco, certo uno che i miei studenti non si aspettano. Un prete, padre Angelo Secchi, già esperto di astronomia, si era fatto costruire un telescopio sopra la cupola di una chiesa di Roma (un posto un po' insolito, ma c'era bisogno di solidi



Lo spettroscopio di Bunsen e Kirchhoff

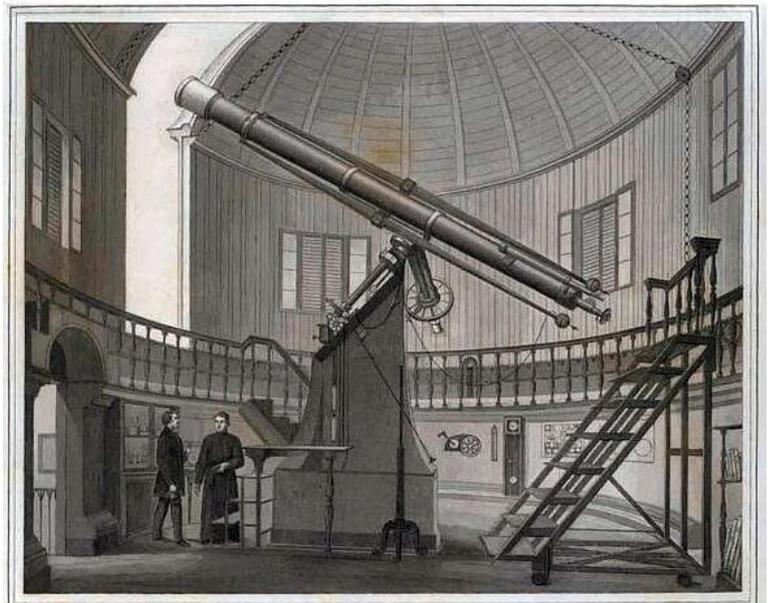
sostegni e cosa meglio delle solide colonne di una chiesa?). Da lì, in pochi anni osservò e catalogò a occhio più di 4000 stelle (io in più di dieci anni penso di averne analizzate solo qualche centinaio, meno di mille di certo), e arrivò a proporre una prima classificazione stellare basata sulle righe che poteva osservare nei loro spettri, ancora catalogate con le lettere usate da Fraunhofer all'inizio del secolo.

Nel frattempo, un *sir* inglese e sua moglie, i coniugi Huggins, facevano ulteriori osservazioni espandendo il catalogo di spettri elementari con le fiammelle in laboratorio, riuscendo così a identificare molti più elementi chimici nei loro spettri. Con questo nuovo lavoro, arrivarono all'inizio del 1900 a una conclusione di portata simile a quella della legge di gravitazione di Newton : *a common chemistry ... exists throughout the Universe* , c'è una sola chimica che permea l'Universo.

Questa storia venne poi seguita da un capitolo importantissimo di spettroscopia stellare, in cui un gruppo di donne ad Harvard giunse a osservare a occhio e catalogare non 4000 stelle, come aveva fatto padre Secchi, ma ben 400.000, un numero che toglie il fiato. La principale protagonista di questo monumentale lavoro, Annie Jump Cannon, morì nel 1941, dopo essere diventata il direttore del gruppo di Harvard e aver proposto la classificazione OBAFGKM che ancora oggi usiamo (in inglese è facile ricordarsela perché corrisponde a una simpatica frasetta). C'è una bella foto di Annie Cannon in tarda età, di fronte a una delle centinaia di migliaia di piastre fotografiche prese col telescopio, una foto che esprime la paziente umiltà di un lavoro così grande e fondamentale, ma per lo più nascosto.

Così nascono i pianeti

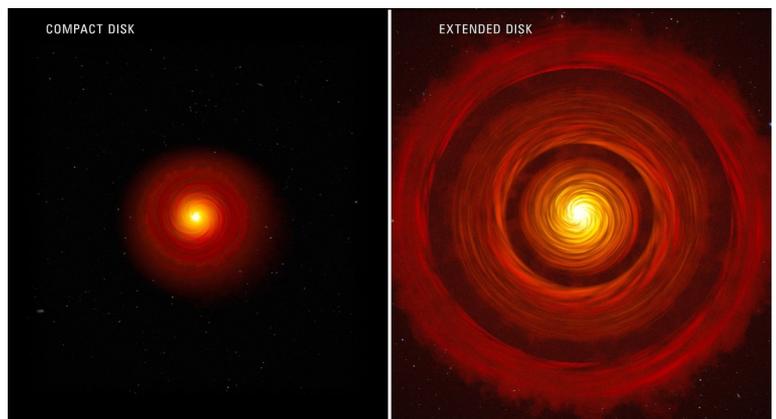
La spettroscopia è diventata nel tempo una delle tecniche osservative fondamentali in astronomia, se non la più fondamentale per lo studio delle proprietà fisiche e chimiche dell'Universo, dal nostro sistema solare fino alle prime galassie formatesi dopo il Big Bang. Una delle misure più fondamentali che ha permesso, anche se può sembrare difficile capirlo, è quello della massa di oggetti e sistemi nello spazio, usando l'effetto Doppler. Questo ha portato ad alcune delle più importanti scoperte recenti, tra qui la materia oscura tra il 1930 e il 1980, e i pianeti extra-solari nel 1995. Questi ultimi, infatti, per molto tempo non sono stati visti direttamente (ancora oggi non ne abbiamo visti che pochissimi), sono invece stati rivelati in base al movimento periodico delle righe spettrali della loro stella, fatta "danzare" avanti e indietro rispetto al nostro punto di osservazione a causa della massa del pianeta che le gira attorno. Come ogni telescopio ottico o infrarosso prima di lui, il nuovo telescopio della Nasa, Esa, e Csa (collaborazione americana, europea, e canadese), il *James Webb Space Telescope*, ha a bordo degli spettrografi che ci rivelano la chimica e la cinematica dell'universo, dalle atmosfere dei pianeti extra-solari fino alle galassie più lontane (e quindi più vicine al Big Bang) che siano mai state viste.



Sala dell'equatoriale Merz, allestita da padre Angelo Secchi nell'Osservatorio del Collegio Romano



Annie Cannon esamina uno spettrogramma stellare



La rielaborazione artistica, su dati del telescopio Webb, mette a confronto due tipici dischi di pianeti in formazione attorno a una neonata stella di tipo solare (Joseph Olmsted (STScI), NASA, ESA, CSA)

La mia ricerca si occupa proprio di questi spettri, presi con lo strumento MIRI che osserva le zone di formazione stellare, dove nuovi pianeti si stanno formando nei dischi protoplanetari. Nel mio lavoro, osservo e analizzo centinaia di spettri per scoprire la storia (formazione ed evoluzione) di alcune molecole presenti nelle zone di formazione planetaria. Una in particolare ci è molto cara: l'acqua, che è una molecola non rara nello spazio e produce spettri che sono allo stesso tempo molto complessi e molto affascinanti, con migliaia di righe spettrali con forma e intensità diverse. Dopo l'ultimo articolo che ho appena sottomesso per valutazione e pubblicazione, una mia collega ha esclamato: «Andrea, ora sei l'esperto mondiale di questi spettri!» In effetti, mi sono sentito un po' come i primi pionieri a imparare a "leggere" spettri mai visti, e credo di aver ormai speso più tempo di tutti i miei attuali colleghi nel farlo.

Quello che stiamo imparando è la storia dell'acqua e di come può essere acquisita da un pianeta in formazione. In un lavoro pubblicato l'anno scorso, abbiamo scoperto un piccolo segnale nello spettro dell'acqua che ci racconta di una grande storia: nell'interpretazione attuale, ci fa vedere come il ghiaccio viene trasportato nel disco protoplanetario dalle zone ghiacciate, le stesse da dove arrivano le comete ancora oggi, fino alla zona dei pianeti terrestri. Ci parla quindi di come l'acqua viene "spedita" a un pianeta come la Terra. È stata una scoperta così interessante che la Nasa l'ha scelta per un [comunicato stampa](#) ufficiale, uscito l'8 novembre 2023.

Al di là delle scoperte grandi o piccole e del clamore che fanno, la cosa più affascinante per me è sempre la stessa: la possibilità di «vedere quel che non possiamo vedere», di leggere una grande storia nelle piccole righe di uno spettro che ci arriva dallo spazio. Il fascino di una Natura che ci comunica continuamente attraverso piccoli segni, per chi è disposto al sacrificio di imparare ad ascoltare. La storia della scienza e di ogni scienziato è fatta molto di più da questo che dalle grandi scoperte, che possono arrivare ma non giustificano da sole il tempo, l'energia, e la passione che si spendono giorno dopo giorno nella vita di ciascuno di noi. Il vero motivo è quel rapporto quotidiano con questa Natura conoscibile, che non solo si fa conoscere ma che anche ci rivela a noi stessi se ci sorprendiamo nella ricerca.

Andrea Banzatti

Astrofisico, assistant professor al Dipartimento di Fisica della Texas State University a San Marcos (Texas)

