

Segnature di raggi cosmici su spettri e immagini

Costantino Sigismondi *prof.sigismondi@icra.it*

(ICRA/Sapienza Università di Roma e ITIS G. Ferraris, Roma)

Paolo Ochner *paolo.ochner@unipd.it*

(Università di Padova e INAF Osservatorio Astrofisico di Asiago)

Submitted March 31th 2021, accepted April 1st

Abstract A cosmic ray signature appeared in the spectrum of the SN in NGC 3310 AT2021gmj at the Galileo Telescope of Asiago. Cosmic rays are always present in the images of SOHO coronagraph C3. Their position is not an “image” and it relays on the energy transmitted to the detector in that pixel. For the spectrum an emission-line feature appears, less wide than the spectral resolution. For the coronagraph the trails left from cosmic rays are also related to their direction of motion, projected on the plane of the image. The Parker theory on the solar wind and the 11-year modulation of cosmic rays signatures density on SOHO images is mentioned.

Sommario La segnatura di un raggio cosmico è comparsa nello spettro della SN AT2021gmj osservata al Telescopio Galileo di Asiago il 31 marzo. I raggi cosmici sono sempre presenti nelle immagini del coronografo C3 di SOHO. La loro posizione non è un’immagine ed è legata all’energia trasmessa al rivelatore in quel pixel. Per lo spettro che dà informazioni unidimensionali (la lunghezza d’onda λ corrisponde all’ascissa e l’intensità $I(\lambda)$ ci mostra le varie righe spettrali) il “cosmico” è una riga stretta, più della risoluzione spettrale dello spettrografo. Per l’immagine al coronografo un’informazione bidimensionale della direzione di provenienza può conservarsi. Un cenno alla teoria di Parker sul vento solare e alla modulazione undecennale del campo magnetico solare sull’arrivo dei raggi cosmici galattici o extragalattico viene fatto.

Introduzione: I raggi cosmici Sono delle particelle che giungono dallo spazio con velocità molto elevate, senza che se ne conosca la sorgente di provenienza. All’ingresso in atmosfera possono generare delle cascate di particelle secondarie che possono perdere la direzione originaria. Si possono percepire ad occhio nudo come un punto luminoso istantaneo, su immagini al telescopio e su spettri, o come strisciate di bollicine in una camera a nebbia. Senza entrare nel dettaglio della loro fisica in interazione con la materia cerchiamo di cogliere alcuni aspetti di ottica ed energetica.

Un raggio cosmico nello spettro di una supernova

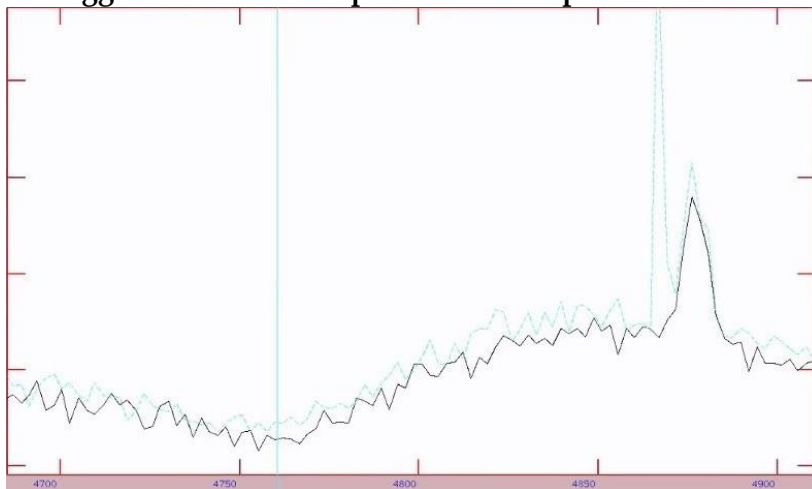


Fig. 1 Segnatura di raggio cosmico come picco verde a sinistra della riga H β dell'Idrogeno; sono due spettri sovrapposti.

La riga H β in un laboratorio in quiete rispetto al gas che emette questa radiazione, è la seconda riga della serie di [Balmer](#) con $\lambda=4861$ Å. Per la Supernova SN AT2021gmj in NGC 3310, scoperta il 17 marzo 2021, l'**effetto Doppler** dovuto alla velocità relativa tra noi e la sorgente ha spostato la riga a $\lambda=4878$ Å. Poiché $\Delta\lambda=17$ Å verso il rosso (λ maggiori) l'oggetto è in allontanamento da noi. Lo spostamento verso il rosso *red shift* $z=\Delta\lambda/\lambda=3.497/1000$ corrisponde a $v=cz=1049$ km/s. Questa velocità è la composizione tra la recessione cosmologica della galassia ospite NGC 3310 (legge di Hubble-Lemaître $v=H_0d$, con $H_0=81$ km/s/Mpc, da cui –se la velocità fosse solo dovuta all'espansione dell'Universo, $d=1049/81=12.95$ Mpc) e l'espansione della fireball della SN (che tipicamente vale sui 1000 km/s, per cui l'espansione non dovrebbe essere lungo la linea di vista). **Fluttuazioni statistiche** nei conteggi fotonici in questo spettro ottenuto al telescopio Galileo di Asiago, sono riconoscibili come dei piccoli zig-zag ampi un pixel.

Il rapporto Segnale/Rumore della riga $H\beta$ è molto maggiore delle fluttuazioni dove vale 1. Il **Rumore statistico** è la radice quadrata dei conteggi del fondo. Il raggio cosmico dello spettro verde, che è stato il primo di mezz'ora di tempo d'integrazione, ottenuto dalla Supernova, ha dato un segnale anche più forte di $H\beta$, ma non ha l'allargamento della riga tipico della risoluzione spettrale del nostro spettroscopio, o – eventualmente- dell'allargamento termico della sorgente che lo emette, che è l'altra causa di allargamento delle righe spettrali, intrinseca alla sorgente e non dovuta al rivelatore.

Passando nel rivelatore dello spettroscopio, il raggio cosmico ha rilasciato casualmente, proprio presso il pixel che corrisponde alla lunghezza d'onda di $H\beta$ la sua energia. Se fosse parte della segnatura di $H\beta$ bisognerebbe capire 1) perché è circa 10 Å di meno del resto di $H\beta$; 2) perché nel secondo spettro di uguale durata nell'acquisizione non compare più 3) perché la sua larghezza è solo di un pixel.

Questa terza questione è proprio l'indizio più chiaro che quel segnale è giunto al rivelatore senza aver subito la dispersione che produce, attraverso la fenditura e il prisma, lo spettro, ma è andato a colpire quel pixel proveniendo genericamente da quella direzione. Quanto a 2), ammesso che esistesse 1) una riga di λ 10 Å inferiore, bisognerebbe pensare che la sua intensità abbia fluttuato del 100% in mezz'ora, poco plausibile. È vero che lo studio delle SN oggi viene condotto con sempre maggiore risoluzione temporale, per identificare segnature relativistiche di contrazioni temporali sul segnale osservato, che comprimono fasi di giorni e ore in segnali di frazioni di secondi, ma comunque si tratta di considerazioni che hanno solo valore didattico, quando l'esperienza degli Astronomi ci risolve il problema.

Effetto Doppler sull'altra riga spettrale, la H α

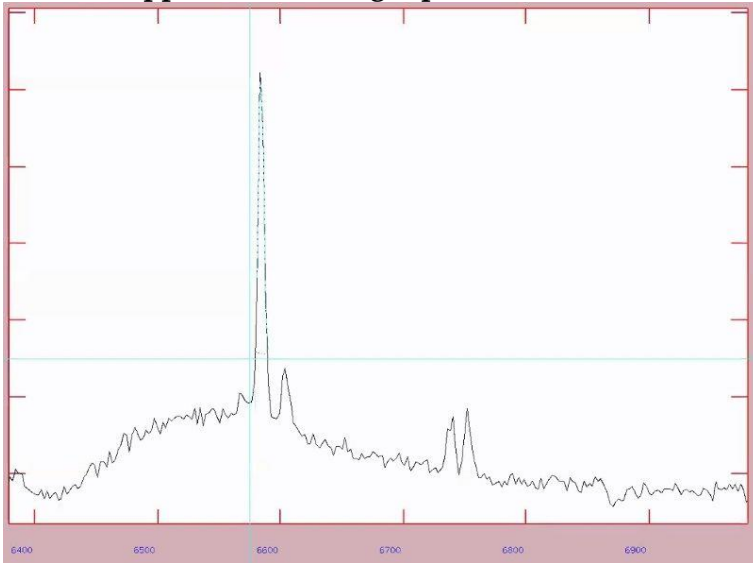


Fig. 2 la riga H α della stessa SN il 31 marzo h 20:30UT.

Il baricentro di questa riga è a $\lambda=6593 \text{ \AA}$, mentre a riposo $\lambda_{H\alpha}=6562.8\text{\AA}$, quindi abbiamo un redshift $z=\Delta\lambda/\lambda=20.2/6562.8=3.078/1000$ che corrisponde a $v=c z=923 \text{ km/s}$. L'oggetto è lo stesso e alla stessa distanza cosmologica da noi, ma le velocità di recessione (allontanamento) lungo la linea di vista sono differenti. Siccome la determinazione del baricentro della riga è statisticamente piuttosto accurata, il problema di interpretare questi dati si sposta su modelli spaziali di esplosioni anisotrope, dove diversi processi fisici corrispondenti a diverse righe ed energie termiche o cinetiche in gioco, avvengono in punti diversi della "palla di fuoco" fireball in espansione. Non entriamo in queste discussioni, ci basta mostrare quanti problemi si aprono da considerare dati molto accurati. L'Osservatorio Astrofisico di Asiago dal 1942 ha avuto un ruolo determinante nell'Astrofisica mondiale sullo studio e l'interpretazione di questi questi fenomeni.

Fotometria differenziale dall'immagine di guida della SN



Fig. 3 La SN AT2021gmj il 31/3/21 a destra ed il 21/3 nel riquadro più scuro e dettagliato ([Virtual Telescope](#)) e tutto a destra l'immagine di repertorio su [SIMBAD](#) di NCG3310.

L'immagine della camera di guida del Telescopio Galileo da 122 cm di diametro di Asiago è quella centrale con la galassia già saturata; la linea nera trasversa è la fenditura dello spettroscopio, prima che la SN vi sia posta per farne lo spettro. Il riquadro a sinistra è la foto della SN fatta col Virtual Telescope il 21/3, mentre a destra la SN non compare, e sul catalogo online di tutti gli oggetti astronomici come stella c'è solo la 2MASS J10384767+5331445 con magnitudine B=16.1 ed R=15.2. La "stella" sotto la galassia non è catalogata, e forse è una nube HII della galassia stessa, piuttosto che una stella della nostra galassia, ma è evidentemente al limite delle possibilità del catalogo... del resto stelle di quella magnitudine nella nostra galassia ce ne possono essere miliardi.

Se assumiamo queste due immagini "genericamente" nella banda visibile dello spettro, come fossero misure visuali, con l'occhio umano come rivelatore, dopo il percorso della luce nel telescopio, la stella indicata dalla freccia è la Supernova, poco

più intensa della stella/HII posta in basso e meno di quella 2MASS in alto, del riquadro. Nel campo della camera di guida del T122 Galileo la SN appare **relativamente più brillante** di entrambe le due stelle (che appartengono alla nostra Galassia) avendo leggermente superato quella di sopra. Nei 10 giorni tra le due immagini la SN ha aumentato la sua luminosità. Il metodo di valutazione visuale della magnitudine fu sviluppato nell'ottocento da Argelander, e richiede la conoscenza delle magnitudini delle stelle di confronto. Quindi possiamo dire che la SN ha eguagliato la magnitudine di 2MASS, che però nel nostro catalogo è solo B o R, e la banda V è intermedia tra le due. Valutando la magnitudine di 2MASS così a $V=15.65$, troviamo anche quella della Supernova il 31 marzo. Nel sito delle LATEST SUPERNOVAE gestito dalla Purdue University, alla scoperta il 20 marzo $12''.6$ E e $18''.2$ N del centro di NGC 3310 a magnitudine 15.1 questa supernova è passata alla 15.8 il 25 marzo e noi valutiamo 15.65 il 31 marzo. È una SN di tipo II con $z=0.0033$ mentre lo z della galassia ospite è $z=0.003312$ (da dati di repertorio).

L'incertezza sulla nostra misura fotometrica del 31 marzo è di qualche decimo di magnitudine, anche perché la banda fotometrica non è ben definita. Anche l'incertezza sul redshift a seconda delle righe ci vengono valori tra 0.0034 e 0.0031 compatibili, in ordine di grandezza con quelli pubblicati.

Qui si è trattato di un'analisi preliminare, per delineare solo alcuni principi di fisica.

Energia cinetica di un protone del vento solare

Sono raggi cosmici di origine solare, viaggiano a tipicamente a 400 km/s, qual è la loro energia cinetica in elettronvolt [eV]? Innanzitutto la scelta dell'unità di misura in un problema di Fisica è funzionale all'ambito di lavoro. Nelle cosiddette alte energie, e Fisica delle Particelle elementari conviene l'eV,

sapendo che un elettrone ottico (che interagisce con i fotoni visibili) scambia energie di 0.3-1 eV. L'energia cinetica non relativistica è $\frac{1}{2}mv^2$, la massa a riposo $E=mc^2$ del protone è circa 1 GeV (l'elettrone ha massa 0.511 MeV e il protone è 1837 volte quella dell'elettrone). Il rapporto tra energia cinetica e massa a riposo è $\frac{1}{2}(v/c)^2=9\cdot 10^{-7}$. Quindi l'energia cinetica del protone è $9\cdot 10^{-7}\cdot 1\text{GeV}=90\text{ eV}$. Questa energia viene ceduta dal protone al rivelatore quando ci sbatte sopra...dove ciò avviene. L'energia di 90 eV ceduta dalla particella non è visibile, perché la lunghezza d'onda cade nei raggi X ($E=h\cdot v$, legge di Einstein).

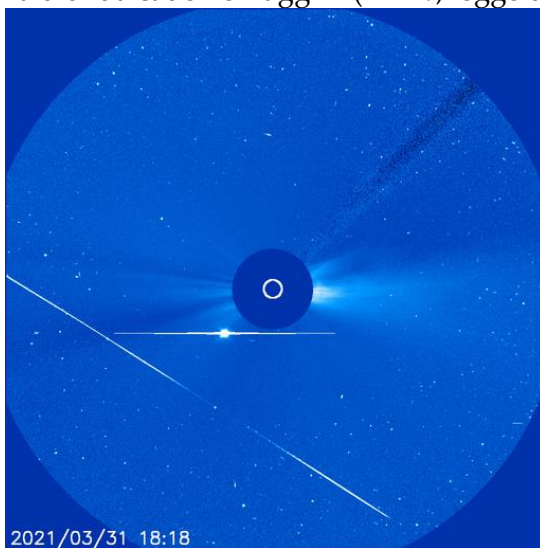


Fig. 4 Un raggio cosmico lascia una traccia diagonale, e Venere in congiunzione superiore al Sole, sversa fotoni lungo i pixel della stessa riga. La corona mostra i suoi streamers equatoriali. Venere è nei Pesci e $\delta\text{Psc } m_v=4.44$ è la stella "a ore 10" dal Sole. Normalmente i raggi cosmici visibili dal coronografo C3 di SOHO, quello a campo largo, sono sempre presenti in una singola immagine e la loro apparizione e traccia è del tutto casuale. Se i rivelatori del C3 sono sensibili alle energie

trasmesse dai protoni solari, quando arrivano “ventate” del vento solare abbiamo delle tracce parallele. Se consideriamo che un protone del vento solare possa anche essere animato dalla velocità di rotazione del Sole (circa 2 km/s alla fotosfera) abbiamo che la composizione tra velocità del vento e velocità tangenziale potrebbe avere un rapporto di 2/400. Sapendo che 1/100 radianti è il diametro del Sole, le traiettorie (invisibili se non nell'intersezione col piano del rivelatore) provengono dalla stessa direzione e lasciano tracce analoghe, si parla di radiante dei raggi cosmici in una tempesta solare? Sembra di sì

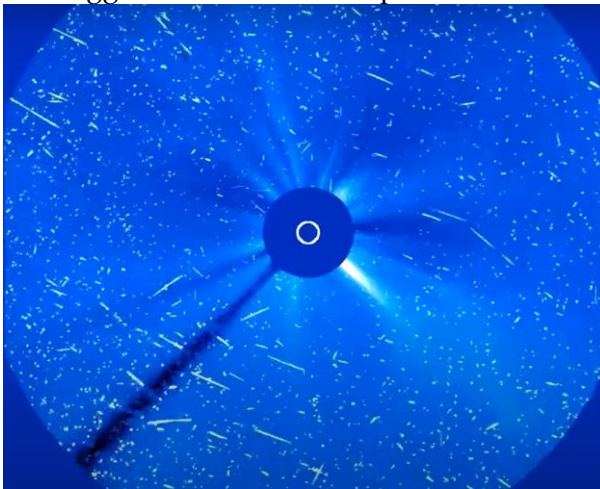


Fig. 5 La tempesta solare del 23 gennaio 2012: tracce parallele.

Conclusioni i raggi cosmici sono particelle elementari dallo spazio profondo, la cui radiazione secondaria può arrivare anche a Terra. Non possono essere focalizzati dalle ottiche e interagiscono direttamente con il rivelatore con punti o tracce.

Referenze

B. Rossi, *Raggi Cosmici*, Mondadori, Milano (1971)

C. Sigismondi, *Astronomia di Posizione per Muoni*, UPRA (2008)

<https://www.rochesterastronomy.org/supernova.html#2021gmj>

<https://soho.nascom.nasa.gov/data/Theater/> (25-31 marzo 2021 C3 e C2)

<https://www.youtube.com/watch?v=sZe692fyxOw> (23 Gennaio 2012)