

Notizie dalla stazione spaziale

Antimateria e materia oscura al vaglio di Ams

di Bruna Bertucci



a.
Un *selfie* scattato in orbita da un astronauta: in alto a sinistra è visibile l'esperimento Ams-02 installato sulla struttura della Iss.

“[...] dobbiamo considerare un puro caso, che la Terra (e presumibilmente l'intero sistema solare) contenga una preponderanza di elettroni negativi e di protoni positivi. Tuttavia, è possibile che per alcune stelle valga il contrario, ossia che esse siano costituite principalmente da positroni (elettroni positivi, ndr) e protoni negativi...”. Terminò così, Paul Dirac, il discorso in occasione del conferimento del premio Nobel il 12 dicembre del 1933.

La conclusione del discorso di Dirac rappresenta idealmente il punto di partenza per l'avventura dell'Alpha Magnetic Spectrometer (Ams-02), a cui partecipano per l'Italia l'Infn e l'Asi (Agenzia Spaziale Italiana), uno strumento che ora si trova sulla Stazione Spaziale Internazionale (Iss) concepito per cercare proprio i deboli segnali di antiparticelle di materia nel flusso ininterrotto dei raggi cosmici che popola lo spazio attorno alla Terra.

La ricerca di questi segnali che appartengono all'infinitamente piccolo può infatti fornire gli indizi necessari a risolvere alcuni dei misteri ancora insoluti dell'infinitamente grande: l'universo.

Il primo mistero è legato alla predominanza di particelle di “materia” attorno a noi (la bariogenesi): dove sono finite le particelle di antimateria? Nei primi istanti di vita dopo il Big Bang siamo infatti portati a supporre che l'universo fosse “simmetrico”, ossia popolato in egual misura di particelle elementari di materia e delle loro antiparticelle. La loro naturale e violenta annichilazione ha apparentemente condotto alla scomparsa dell'intera popolazione di antiparticelle e l'universo si sarebbe quindi evoluto a partire dalle particelle di materia – una

parte su un miliardo – sopravvissute all'annichilazione. Non esistono ad oggi giustificazioni teoriche sufficienti a spiegare la nascita di quest'asimmetria. Trovare quindi dei nuclei di anti-elio o di elementi più pesanti, che non possono essere prodotti naturalmente in un universo fatto di sola materia, aprirebbe un nuovo scenario in cui l'antimateria non sarebbe scomparsa, ma solo confinata in regioni dell'universo lontane dalla Terra. Il secondo mistero è la natura della materia che compone il nostro universo. Solo il 5% del contenuto di massa-energia del nostro universo è attribuibile alla materia ordinaria di cui siamo fatti, sostanzialmente protoni, neutroni ed elettroni, mentre circa il 22% è rappresentato da particelle di materia oscura, nuove specie di particelle elementari debolmente interagenti con la materia ordinaria e quindi "invisibili" ai telescopi sensibili alla luce prodotta dalle interazioni elettromagnetiche della materia. Ma da rare collisioni di particelle di materia oscura (che scontrandosi tra di loro si auto-annichilano), possono essere generati fotoni, particelle e antiparticelle di materia ordinaria (elettroni/positroni,

protoni/antiprotoni), il cui flusso si sovrappone a quello dei raggi cosmici. Pur esistendo diverse teorie e ipotesi sulla natura della materia oscura e molte incertezze sul numero di collisioni attese, in tutti gli scenari possibili i flussi di particelle prodotti dalle collisioni di materia oscura sono di diversi ordini di grandezza più piccoli rispetto a quelli delle particelle dei raggi cosmici, prevalentemente protoni, nuclei di elio ed elementi più pesanti con una piccola percentuale (1%) di elettroni. L'unica speranza per individuare un segnale di materia oscura sono i flussi di antiparticelle, particolarmente deboli nei raggi cosmici ordinari. Abbondanze di circa un antiprotone ogni 10.000 protoni e di un positrone ogni 10 elettroni sono attese a causa delle collisioni dei raggi cosmici con il mezzo interstellare: questi flussi possono essere paragonabili a quelli attesi dalla materia oscura e costituiscono quindi un "fondo" contro cui lottare ad armi pari nella caccia a nuovi fenomeni. Sperimentalmente, la prima sfida nel cercare segnali deboli come le particelle di antimateria richiede di intercettare i

raggi cosmici prima che essi abbiano la possibilità di interagire con l'atmosfera terrestre, generando un flusso di particelle di antimateria che potrebbero falsare la misura. Per questo motivo i rivelatori dedicati a questo tipo di ricerca sono inviati negli strati superiori dell'atmosfera con palloni aerostatici o messi in orbita nello spazio con satelliti, come Pamela o Fermi, o a bordo della Iss, come Ams-02.

La seconda sfida è quella di riuscire a raccogliere un campione significativo di particelle. Il numero di antiparticelle atteso alle energie interessanti per identificare nuovi fenomeni è di poche centinaia di eventi all'anno per superfici esposte dell'ordine del metro quadro. Tuttavia, i limiti di peso e potenza elettrica per far funzionare uno strumento nello spazio impediscono di aumentare a piacimento le dimensioni degli apparati. Pertanto, l'unica alternativa è quella di progettare strumenti in grado di operare con alta efficienza per anni.

Ma il punto fondamentale è quello di riuscire a identificare con precisione le rare antiparticelle: un elettrone o un



b.
L'esperimento Ams-02 al Kennedy Space Center della Nasa poco prima del suo inserimento nel vano di carico dello Shuttle Endeavour.

protoni differiscono dalle loro antiparticelle solo per il segno della carica elettrica. Solo l'effetto di un campo magnetico, in grado di curvare in direzioni opposte particelle positive e negative può separare particelle e antiparticelle. Allo stesso tempo, un positrone e un protone hanno entrambi lo stesso valore della carica elettrica, positiva, ma c'è solo un positrone ogni 1000 protoni. Per separare le due specie, come pure per separare gli antiprotoni dai più abbondanti elettroni, è necessario sfruttare le differenti maniere con cui le due specie interagiscono con la materia.

L'esperimento Ams-02 è stato quindi concepito come uno spettrometro magnetico, il cui cuore è formato da un magnete permanente e un rivelatore di tracce costituito da circa 6,4 m² di sensori a microstrip di silicio organizzati in nove differenti strati, in grado di misurare la posizione delle particelle che attraversano l'apparato con un'accuratezza di 10 micrometri. Altri cinque strumenti completano l'apparato, per definire con precisione l'identità delle particelle che lo attraversano mediante misure complementari e indipendenti.

Le tecniche utilizzate e la complessità dell'apparato sono comparabili a quelle dei più moderni strumenti operanti negli acceleratori di particelle, ma adattate per operare in un ambiente spaziale. Ams-02 opera continuamente, dal maggio 2011, a bordo della stazione spaziale internazionale, in orbita a circa 400 km dalla superficie terrestre, assorbendo una potenza complessiva di 2kW – meno di una lavatrice! Le dimensioni dell'apparato di 3 metri di larghezza per 3 metri di lunghezza e 5 metri di altezza, con un peso complessivo di circa 7 tonnellate, lo rendono un gigante nello spazio, ma corrispondono a una piccola frazione del tipico esperimento

che opera in Lhc. Il controllo dell'esperimento avviene a distanza, mediante la rete satellitare della Nasa, che permette di comunicare con la Isp e attraverso cui vengono anche scaricati i dati dei suoi circa 300.000 canali di elettronica. Nella sala di controllo del Cern e nella sua gemella a Taiwan, i fisici di turno verificano 24 ore su 24 che non ci siano problemi nell'apparato e reagiscono in tempo reale, aggiustando i parametri di controllo dell'esperimento in base alle necessità che si presentano a bordo della stazione.

Nei primi trenta mesi di presa dati, Ams-02 ha raccolto i segnali provenienti da circa 40 miliardi di particelle cosmiche, una statistica superiore a quella accumulata dall'insieme di tutti gli esperimenti condotti nel corso del secolo che ci separa dalla scoperta dei raggi cosmici. Tra queste particelle, sono stati identificati circa 10 milioni di elettroni e circa un milione di positroni, con cui è stata effettuata la misura del rapporto tra i positroni sull'insieme di elettroni e positroni, raggiungendo un limite di energie finora inesplorato per questi componenti della radiazione cosmica. Questo risultato conferma un eccesso di positroni rispetto alle abbondanze naturali aspettate nei raggi cosmici, come già osservato in precedenza da Pamela e nei primi 18 mesi di operazione di Ams-02, estendendo l'intervallo di energia misurata e migliorandone la precisione. Ciò è di estrema importanza per tracciare un identikit di possibili sorgenti di antimateria. Una di queste sorgenti potrebbero essere proprio le collisioni di materia oscura (vd. approfondimento).

Ma l'aumento della frazione di positroni è dovuta a una sorgente aggiuntiva di positroni o a una "sparizione" di elettroni? Lo studio del flusso separato di elettroni e positroni

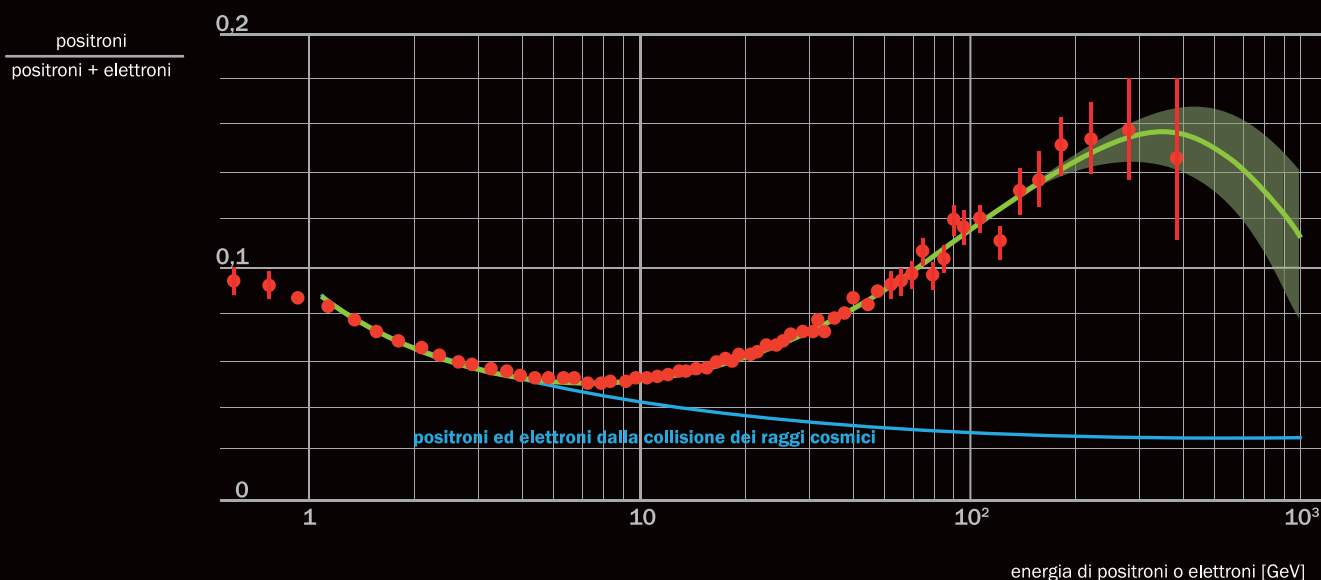


c.
Lo Shuttle Endeavour, che nel 2011 ha portato Ams-02 sulla Isp, sulla rampa di lancio del Kennedy Space Center di Cape Canaveral, in Florida.

Positroni di troppo

1.

Elaborazione grafica della misura effettuata da Ams-02 della frazione di positroni rispetto alla somma di elettroni e positroni (punti rossi). In azzurro l'andamento atteso dai raggi cosmici. La curva verde è quella che meglio descrive i dati sperimentali.



Come si vede in fig. 1, la frazione di positroni osservata da Ams-02 cresce rapidamente a partire da un'energia di 8 GeV, indicando l'esistenza di una nuova sorgente di questa componente di antimateria, rispetto a quanto previsto dalla produzione "standard" di positroni nella radiazione cosmica. L'eccesso osservato di positroni appare *isotropo* (cioè ha la stessa intensità qualunque sia la direzione di osservazione) entro un'incertezza del 3%, suggerendo che non ci siano direzioni particolari da cui nasce questo eccesso di positroni. Un'analisi

dettagliata della frazione di positroni con l'energia mostra un andamento graduale del suo tasso di crescita, escludendo variazioni improvvise, picchi o avvallamenti, e sembra indicare il raggiungimento di un valore massimo a energie attorno ai 275 GeV. Continuando l'osservazione nei prossimi anni, la misura sarà estesa a energie ancora superiori e questo potrà aiutarci a migliorare la comprensione della natura del fenomeno osservato e descriverne ancora più accuratamente le sue caratteristiche.

ne caratterizza con estrema precisione l'andamento con l'energia. I risultati indicano chiaramente che non ci sono brusche variazioni spettrali del flusso di elettroni, confermando quindi che l'andamento con l'energia della componente dei positroni richiede la presenza di nuovi fenomeni per la loro produzione.

Queste osservazioni sono interpretabili con il flusso di positroni generato nelle collisioni di particelle di materia oscura (in particolare, i neutralini) di massa dell'ordine di 1 TeV.

Tuttavia, per stabilire se l'origine dell'eccesso dei positroni è realmente legata alla materia oscura o se sia dovuto a sorgenti astrofisiche, ad esempio pulsar vicine al nostro pianeta, dovrà essere determinato il tasso di decrescita della frazione (vd. fig. 1)

e confrontato l'effetto osservato con quello misurato in altre componenti di antimateria, ad esempio gli antiprotoni. D'altra parte, la missione di Ams-02 è solo all'inizio, e si prevede che l'esperimento continuerà la sua presa dati durante tutta la vita operativa della Iss, quindi ancora un decennio di osservazioni e misure lo attendono, per proseguire la caccia all'antimateria e osservare o definitivamente escludere la presenza di anti-elio nel nostro universo. Allo stesso tempo, le misure di composizione e di spettro energetico dei raggi cosmici ordinari permetteranno di avanzare nello studio delle loro sorgenti e dei meccanismi con cui giungono a noi attraversando la galassia, l'eliosfera e la magnetosfera terrestre.

Biografia

Bruna Bertucci è professore di fisica presso l'Università di Perugia. La sua attività di ricerca nasce nel campo delle particelle elementari alla fine degli anni '80 con la partecipazione agli esperimenti del Lep del Cern. Dalla fine degli anni '90 si dedica prevalentemente allo studio sperimentale dei raggi cosmici nello spazio, prima con l'esperimento Ams-01 e quindi con Ams-02, di cui è attualmente responsabile italiano.

Link sul web

www.ams02.org

<http://www.asdc.asi.it/>