

Collisioni cosmiche con l'esperimento LHCb al CERN

Candidato: Saverio Mariani

saverio.mariani@fi.infn.it

La misura della frazione di antimateria nei raggi cosmici, potenzialmente sensibile a un'osservazione indiretta di materia oscura, è eseguita con precisione sempre maggiore dagli esperimenti orbitali PAMELA ed AMS. I dati vengono confrontati con il flusso atteso per l'antimateria ipotizzando, come unico meccanismo di produzione, collisioni ad alta energia fra un raggio cosmico primario e il mezzo interstellare, prevalentemente composto da idrogeno ed elio. Dal rapporto fra i flussi di antiprotoni e protoni mostrato in Figura 1 emerge un indizio di eccesso dei primi che potrebbe essere dovuto al decadimento o all'annichilazione di materia oscura [1]. L'elevata incertezza teorica limita ad oggi la solidità di ogni conclusione. Per energie superiori a 10 GeV la maggiore sorgente di essa è legata alle sezioni d'urto σ dei processi che concorrono alla produzione secondaria di antimateria. Non esistendo misure dirette, $\sigma(pHe \rightarrow \bar{p}X)$ è in particolare ottenuta da estrapolazioni di dati raccolti in collisioni pp o pC a diverse scale di energia.

La prima misura diretta di $\sigma(pHe \rightarrow \bar{p}X, \sqrt{s_{NN}} = 110 \text{ GeV})$ è in esecuzione con l'esperimento LHCb al CERN [2, 3], concepito inizialmente per lo studio dei *quark* pesanti. La geometria del rivelatore, a singolo braccio in avanti, è ideale per la configurazione a bersaglio fisso. Un sistema apposito chiamato SMOG (*System for Measuring Overlap with Gas*) permette l'iniezione di alcuni gas nobili nel tubo a vuoto di LHC [4] e i protoni accelerati a 6.5 TeV collidono con i nuclei di elio a riposo (nel sistema nucleone-nucleone ciò corrisponde a un'energia $\sqrt{s_{NN}} = 110 \text{ GeV}$). Tale configurazione risulta di grande interesse al fine di formulare un modello per il flusso di antiprotoni rilevato da AMS. La misura è infine possibile grazie alle eccellenti capacità del rivelatore nell'individuazione dei vertici, nella tracciatura e nell'identificazione delle particelle.

Misura e primi risultati

Gli antiprotoni sono detti *primari* se prodotti direttamente nelle collisioni pHe (o da decadimenti per interazioni forte o elettromagnetica); *secondari* se originati nei decadimenti deboli degli anti-iperoni $\bar{\Lambda}^0 \rightarrow \bar{p}\pi^+$ e $\bar{\Sigma}^+ \rightarrow \bar{p}\pi^0$.

La sezione d'urto di produzione della componente primaria è misurata in intervalli cinematici nella regione fiduciale $p \in [12, 110] \text{ GeV}/c$ e $p_T > 400 \text{ MeV}/c$ [5]. Dal momento che SMOG non è ad oggi provvisto di strumenti di precisione per la misura della pressione del gas iniettato, la luminosità viene ricavata indirettamente attraverso la rivelazione delle collisioni elastiche tra i protoni e gli elettroni degli atomi di elio. La sezione d'urto di tale processo è infatti ben nota teoricamente e il processo è ben riconoscibile sperimentalmente dalla presenza della traccia dell'elettrone, isolata e di bassa energia. Ciononostante, dalla misura della luminosità deriva il contributo dominante all'incertezza sistematica su $\sigma(pHe \rightarrow \bar{p}X)$. La componente secondaria, obiettivo del mio lavoro di tesi magistrale, è invece indirettamente studiata dalla misura di $R = \frac{\sigma_{SEC}}{\sigma_{PR}} = \frac{N_{SEC/\epsilon_{SEC}}}{N_{PR/\epsilon_{PR}}}$ con N numero di antiprotoni e ϵ efficienza di ricostruzione e selezione. Gli antiprotoni ricostruiti e selezionati si classificano come primari o secondari sulla base del parametro d'impatto rispetto al vertice primario dove avviene la collisione pHe . I valori di $N_{PR,SEC}$ si ottengono, per ciascun intervallo cinematico, con una procedura iterativa (*fit*) in cui un modello statistico ottenuto dal campione simulato è confrontato alla distribuzione misurata del parametro d'impatto al variare delle abbondanze di antiprotoni primari e secondari. La misura di R , ottenuta correggendo il rapporto N_{SEC}/N_{PR} per le efficienze predette dalla simulazione, è mostrata in Fig. 2. L'analisi conferma quindi l'andamento rispetto alle variabili cinematiche predetto dai principali modelli teorici, ma evidenzia un valore assoluto R nettamente superiore alle predizioni.

Obiettivi del progetto

Durante il mio dottorato intendo contribuire alle misure che potranno fornire i dati necessari a ridurre l'incertezza della predizione sulla frazione di antimateria prodotta nelle collisioni fra raggi cosmici e mezzo interstellare. In particolare, mi occuperò dei seguenti temi:

- La misura di R mediante approccio inclusivo deve essere confermata a partire da un campione indipendente di antiprotoni ottenuti dalla ricostruzione completa dei decadimenti $\bar{\Lambda}^0 \rightarrow \bar{p}\pi^+$.

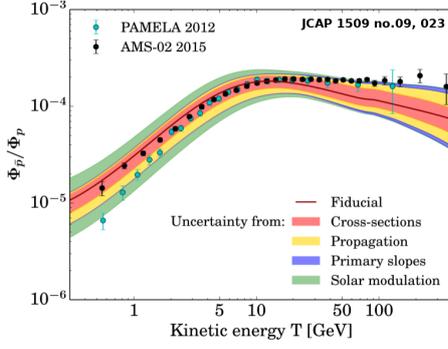


Figura 1: Misure di PAMELA e AMS della frazione di antiprotoni nei raggi cosmici. Emerge un indizio di eccesso rispetto alla predizione potenzialmente riconducibile a una sorgente primaria come il decadimento di materia oscura ma che non è conclusivo a causa dell'alta incertezza teorica.

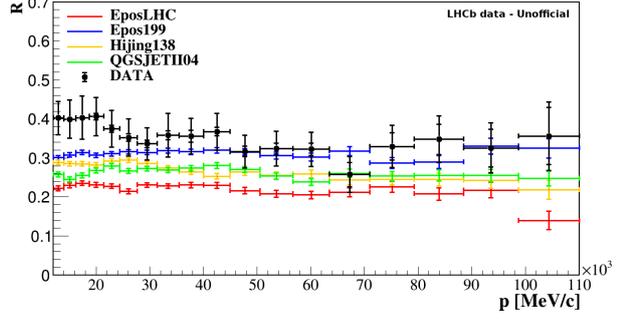


Figura 2: Rapporto del numero di antiprotoni secondari e primari in funzione dell'impulso dell'antiprotonone. Nei dati, le barre di errore interne rappresentano l'errore statistico, le esterne la somma in quadratura del contributo statistico e sistematico. La dipendenza cinematica predetta è confermata, ma la misura è largamente superiore.

- Al fine di ridurre l'incertezza sulla predizione degli antiprotoni cosmici, è essenziale misurare l'evoluzione con l'energia della sezione d'urto [6]. Ripeterò la misura illustrata sopra analizzando un campione disponibile di collisioni pHe raccolto in novembre 2016 con protoni da 4 TeV di energia, corrispondente a $\sqrt{s_{NN}} = 87$ GeV. È attualmente in discussione la possibilità di abbassare ulteriormente l'energia dei fasci di LHC fino a 0.9 TeV ($\sqrt{s_{NN}} = 41$ GeV).
- Le ottime prestazioni nell'identificazione delle particelle dell'esperimento LHCb potrebbero essere estese all'identificazione di anti-deuterio e altri anti-nuclei leggeri [7]. Dato che la probabilità di produrli in collisioni con il mezzo interstellare è alcuni ordini di grandezza inferiore rispetto a quella degli antiprotoni, questi canali di osservazione potrebbero rivelarsi più sensibili ad eventuali sorgenti esotiche come la materia oscura. Contribuirò agli studi in corso per provare la fattibilità della misura analizzando i campioni di collisioni pHe .
- Infine, sono ad oggi in corso all'interno e all'esterno della collaborazione studi volti al miglioramento e a possibili estensioni del programma a bersaglio fisso di LHCb. Tra questi, si prevede la possibilità di inserire nella regione più interna del rivelatore una camera di confinamento per il gas che permetterebbe di aumentarne la densità fino a due ordini di grandezza e di misurarne con precisione la pressione, diminuendo così notevolmente l'incertezza sistematica sulle misure di produzione. La possibilità di acquisire collisioni a bersaglio fisso a frequenze molto maggiori rispetto alle attuali e simultaneamente alle collisioni pp richiede un sostanziale sviluppo delle procedure di trigger e di processamento dei dati al quale intendo contribuire nel corso del dottorato.

Riferimenti bibliografici

- [1] G. Giesen et al., *AMS-02 antiprotons, at last! - Secondary astrophysical component and implications for Dark Matter*, JCAP 1509 no.09, 023, arXiv:1504.04276v3, (2015).
- [2] LHCb Collaboration, *The LHCb detector at the LHC*, JINST 3 S08005, (2008).
- [3] LHCb Collaboration, *LHCb detector performances*, Int J. Mod.Phys A30 1530022, arXiv:1412:6352, (2015).
- [4] LHCb Collaboration, *Precision luminosity measurements at LHCb*, JINST 9 P12005, arXiv:1410.0149v2 (2014).
- [5] LHCb Collaboration, *Measurement of antiproton production in pHe collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 110$ GeV*, LHCb-CONF-2017-002 (2017).
- [6] M. Korsmeier et al., *Production cross section of cosmic antiprotons in the light of new data from NA61 and LHCb experiment*, Phys.Rev. D97 no.10, 103019, arXiv: 1802.03030v1, (2018).
- [7] Baker S. (LHCb Collaboration), *Anti-deuteron sensitivity studies at LHCb*, poster at LHCP, (2018).