

Presentazione della dott.ssa Arianna Gallo
Dottorato di Ricerca in Fisica - XXXIV Ciclo
Università degli Studi di Torino

Dottoranda: Arianna Gallo

Relatrice: Luisa Ostorero

Titolo della tesi:

Probing the dark matter halo of the Milky Way with hypervelocity stars

Durante il triennio di dottorato la dott.ssa Arianna Gallo ha seguito e sostenuto l'esame relativo ai seguenti corsi della Scuola:

- Primo anno:
 - Chemo-dynamical evolution of the Milky Way – A. Spagna
 - Data Analysis Techniques – L. Bianchi (esame sostenuto alla fine del primo anno; crediti assegnati il secondo anno)
 - Corso di formazione generale per lavoratori in materia di igiene e sicurezza (corso online) – Università degli Studi di Torino
- Secondo Anno:
 - Search and characterization for extrasolar planets – A. Sozzetti
- Terzo anno:
 - Dark Matter and Neutrino Physics – C. Giunti & M. Taoso
 - Big Data Science and Machine Learning – F. Legger

L'attività della dott.ssa Gallo si colloca nell'ambito di studi mirati a definire gli obiettivi scientifici e le specifiche tecniche di una futura missione spaziale astrometrica, Theia, che succederà alla missione Gaia nello studio della Via Lattea. Gallo ha elaborato un nuovo metodo per vincolare la forma dell'alone di materia oscura che è atteso avvolgere la Via Lattea nel caso in cui, su scala galattica, valga la legge della gravitazione universale di Newton. La forma di tale alone è al momento fonte di dibattito e metodi diversi forniscono indicazioni contrastanti. L'idea alla base del metodo di Gallo è l'utilizzo delle stelle iperveloci (hypervelocity stars, HVS) come sonde del potenziale gravitazionale della Via Lattea: espulse dal centro Galattico con velocità puramente radiali superiori alla velocità di fuga dalla Galassia, le

HVS sono in grado di viaggiare dal centro galattico fino alle regioni esterne della Via Lattea prima di spegnersi. Le loro traiettorie sono influenzate dalla distribuzione di materia ordinaria della Galassia, a simmetria assiale, e dalla distribuzione di materia oscura, potenzialmente non assisimmetrica. Il nuovo metodo di Gallo è un metodo statistico che consente di vincolare i rapporti assiali di un alone di materia oscura triassiale a partire dalle distribuzioni delle componenti latitudinale e azimutale delle velocità tangenziali galattocentriche di un campione simulato di ~ 800 HVS, corrispondente al campione osservativo atteso, cui ambire in futuro. Il metodo ha un'efficacia $> 90\%$, senza precedenti, nel restituire i corretti rapporti assiali dell'alone, mentre nel restante $< 10\%$ dei casi suggerisce rapporti assiali errati solo di 0.1. L'efficacia del metodo diminuisce fino al 40-60% per campioni di ~ 90 stelle, confrontabili con quello attualmente disponibile. Questo dimostra la necessità di ingrandire i campioni osservativi di HVS di un fattore ~ 10 , sia con osservazioni a minor flusso limite che identifichino HVS nell'alone della Via Lattea, sia con metodi di validazione di candidate HVS già disponibili nell'archivio di Gaia e in altre *survey* effettuate da Terra. Il metodo di Gallo è presentato in un corposo articolo, **Gallo et al. (ready for submission to A&A)**, e sta già contribuendo agli studi preliminari per Theia (Malbet et al., 2021, *Experimental Astronomy*, in press).

Parallelamente, Gallo ha anche esplorato l'utilizzo delle HVS per distinguere tra la legge di Newton, che richiede la presenza di materia oscura nelle Via Lattea, e la Modified Newtonian Dynamics (MOND), che non la richiede. Il confronto delle simulazioni di Gallo delle traiettorie delle HVS in gravità newtoniana con le traiettorie in MOND ha portato all'elaborazione di un nuovo test di validità di MOND. Nell'articolo di **Chakrabarty, Ostroero, Gallo et al. (A&A, submitted)** viene mostrato come in MOND le HVS localizzate entro 60 kpc dal centro galattico debbano avere velocità azimutali al di sotto di un limite superiore che dipende dalla distanza. L'osservazione di un campione anche esiguo di HVS con velocità al di sopra di tale limite escluderebbe MOND a favore della legge di Newton su scale galattiche. Gallo ha già applicato il nuovo test ad un campione di HVS osservate; tuttavia, a causa di incertezze sulle velocità delle HVS, che spesso superano il 100% anche utilizzando i più recenti dati della missione Gaia, il test non è al momento decisivo. Si rivela necessario ridurre tali incertezze di un fattore ~ 10 .

Le incertezze sulle misure delle velocità sono un fattore determinante non solo per il test di MOND, ma anche per il successo del metodo di Gallo per vincolare la forma dell'alone di materia oscura. Gallo ha quindi investigato, in un lavoro ancora in fase di stesura (**Gallo et al., in preparation**), il ruolo delle diverse fonti di errore nelle incertezze sulle velocità galattocentriche

delle HVS, mostrando che gli errori sui moti propri rivestono un ruolo preponderante. Questo studio di Gallo sarà cruciale per definire la precisione sui moti propri che la futura missione astrometrica *Theia* dovrà raggiungere per poter vincolare in modo significativo la forma dell'alone di materia oscura.

Nel corso del suo dottorato di ricerca, Gallo ha ampiamente esplorato la letteratura dedicata al problema della legge della gravitazione su scala galattica, mettendo a fuoco le problematiche non risolte del modello newtoniano con materia oscura fredda e le loro possibili soluzioni nell'ambito di teorie alternative di gravità e di diversi candidati di materia oscura. Ha dato un contributo fondamentale alla stesura di un articolo di rassegna (**De Martino, Chakrabarty, Cesare, Gallo, et al., 2020, Universe, 6 (8), 107**) in collaborazione con post-doc e dottorandi del nostro gruppo di ricerca.

L'attività di ricerca della dott.ssa Gallo ha purtroppo sofferto sia delle ricadute generali della pandemia, sia di problemi di salute personali della dottoressa (la contrazione del COVID-19 nella primavera 2020 e un intervento chirurgico molto serio nell'autunno 2020, seguito da terapie di alcuni mesi). Questi eventi hanno non solo limitato l'interazione personale tra Gallo e il gruppo di ricerca, ma hanno impedito che Gallo partecipasse di persona alle conferenze durante il secondo e il terzo anno di dottorato, quando i risultati del suo lavoro scientifico cominciavano ad essere concreti e pronti per essere presentati e discussi con la comunità. Tali eventi avversi hanno anche reso impossibile a Gallo effettuare il soggiorno che avevo previsto per lei per il 2020-21 allo Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics di Cambridge, MA, USA, dove avrebbe collaborato con W. Brown, scopritore della prima stella iperveloce e coinvolto nella missione *Theia*, su aspetti di misura delle velocità radiali in campioni di HVS.

Le limitazioni sopraelencate hanno avuto inevitabili ripercussioni sui tempi di pubblicazione dei lavori di Gallo, sullo sviluppo di nuove collaborazioni, nonché sulla piena maturazione della sua capacità di comunicazione e interazione in ambito scientifico. A parte questi aspetti, Gallo ha dimostrato grande costanza, dedizione, iniziativa personale e indipendenza nel suo progetto di dottorato. Nel corso del triennio, ha ampliato ed approfondito le sue competenze sia astrofisiche che operative, grazie ad un congruo numero di corsi e di scuole, frequentate in presenza fino al 2019 e poi online, e allo studio individuale. Ha acquisito competenze numeriche che le hanno permesso di scrivere il codice per la simulazione delle traiettorie delle HVS e di parallelizzarlo; ha familiarizzato con le problematiche osservative sia astrometriche che spettroscopiche relative alle misure di velocità delle HVS, diventando esperta nell'utilizzo di software per estrarre e manipolare dati osservativi da

grandi cataloghi, come quello di Gaia; ha esteso le sue competenze nell'ambito delle teorie di gravità e della materia oscura; ha sviluppato, in completa autonomia, competenze statistiche che le hanno permesso di ideare un nuovo metodo per vincolare la forma dell'alone di materia oscura della Via Lattea mediante le velocità delle HVS, andando oltre le proposte della letteratura. Ha presentato con successo i suoi risultati alla comunità scientifica in occasione di due conferenze (online) internazionali.

Conosco Gallo dal periodo della laurea magistrale e confermo, dopo il triennio del dottorato, il suo elevato potenziale e la sua apprezzabile attitudine a riflettere molto prima di agire ed esprimersi, per arrivare ad elaborare idee originali e ottenere risultati scientificamente robusti. Purtroppo, il suo elevato potenziale è ancora troppo spesso celato da un eccesso di timidezza ed autocritica, che mal si sposano con l'ambiente scientifico e la penalizzano nell'interazione con la comunità. Le limitazioni imposte dalla pandemia non sono state di aiuto nel farle superare completamente questo ostacolo nell'arco del dottorato, come invece io speravo. Dal punto di vista professionale, considero Gallo come una persona scientificamente matura ed esprimo grande apprezzamento per il lavoro da lei svolto, che sarà importante per la missione Theia e costituirà il punto di partenza per i progetti di altri studenti negli anni a venire.

Torino, 30 settembre 2021

Il tutore

Luisa Ostorero

Firma



Partecipazione a scuole e conferenze

- Theoretical Aspects of Astroparticle Physics, Cosmology and Gravitation, Galileo Galilei Institute for Theoretical Physics, Firenze (Italy), March 11-22, 2019
<https://agenda.infn.it/event/17246/>;
- International School of Space Science - Course on Space Astrometry For Astrophysics, L'Aquila (Italy), June 3-7, 2019
<http://www.cifs-iss.org>;
- 2nd Italian Astrostatistics School, Milano (Italy), June 24-28, 2019
<http://iaa.mi.oa-brera.inaf.it/IAA/secondAstroStatisticsSchool.html>;
- Kashiwa Dark Matter Symposium 2020, Online Symposium, November 16-19, 2020 (**TALK**)
<http://2020.kashiwa-darkmatter-symposia.org/>;
- Linking the Galactic and Extragalactic - Stellar dynamics and stellar populations of the Milky Way and its siblings, Online Meeting, December 3-4, 2020
<http://extragalactic-milkyways.org/>;
- MW-Gaia Workshop 2021 - Online Workshop on the Galactic Centre and Inner Galaxy, February 10-12, 2021
<https://zah.uni-heidelberg.de/mw-gaia2021>;
- 21st BritGrav meeting - Online Meeting, April 12-16, 2021 (**TALK**)
<https://sites.google.com/view/britgrav21/>;
- Current challenges in gravitational physics WORKSHOP, Online Workshop, April 21-28, 2021
<https://grams-815673.wixsite.com/gravityworkshop>.

Elenco delle pubblicazioni

- “Dark matters on the scale of galaxies”
De Martino I., Chakrabarty S.S., Cesare V., **Gallo A.**, Ostorero L., & Diaferio A.
2020, Universe, 6 (8), 107

- “Probing MOND with hypervelocity stars”
Chakrabarty S.S., Ostorero L., **Gallo A.**, Ebagezio S., & Diaferio A.
2021, submitted to Astronomy & Astrophysics
(<https://arxiv.org/abs/2104.10174>)
- “A new method to probe the shape of the dark matter halo of the Milky Way with hypervelocity stars”
Gallo A., Ostorero L., Chakrabarty S.S., Ebagezio S., & Diaferio A.
2021, Astronomy & Astrophysics, ready for submission to A&A