

Astronomia con fotoni e Raggi Cosmici carichi con esperimenti a terra e nello spazio

Aldo Morselli - INFN Roma Tor Vergata

I Raggi Cosmici sono particelle e nuclei atomici di alta energia che, muovendosi quasi alla velocità della luce, colpiscono la Terra da ogni direzione. Come dice il nome stesso, provengono dal Cosmo, cioè dallo spazio che ci circonda. La loro origine è sia galattica che extragalattica.

Quando i Raggi Cosmici entrano nell'atmosfera terrestre collidono con i nuclei di cui essa è composta. In queste collisioni viene prodotto un gran numero di particelle che a loro volta interagiscono o decadono creandone delle altre. Se vogliamo rivelare i Raggi Cosmici primari, dobbiamo usare esperimenti posti su satelliti in orbita che riescono a "catturare" i Raggi Cosmici prima che essi interagiscano con l'atmosfera.

L'opinione più diffusa è che la maggior parte dei Raggi Cosmici siano accelerati dalle esplosioni di supernova. Queste gigantesche esplosioni avvengono quando il nocciolo interno di una stella alla fine della sua vita collassa sotto il suo stesso peso.

Le esplosioni di supernova non sono gli unici oggetti, o eventi astrofisici, che possono produrre Raggi Cosmici. Le regioni centrali di particolari galassie (dette nuclei galattici attivi) rilasciano grandi quantità di energia, quando la materia di gas interstellare e di stelle disintegrate precipita verso giganteschi buchi neri (con una massa anche di miliardi di masse solari) che formano il centro di queste galassie.

Ci sono indicazioni che i Raggi Cosmici di energia più elevata siano formati proprio in questi mostruosi sistemi. Altri candidati per l'accelerazione dei Raggi Cosmici sono i cosiddetti lampi gamma (o Gamma Ray Bursts), le pulsar, i microquasar o forse anche processi più esotici come l'annichilazione di materia oscura. I lampi gamma sono il risultato di esplosioni cosmiche ancora più potenti delle supernovae, e sono per questo gli oggetti più lontani mai visti dalla Terra. L'origine di queste esplosioni sembra essere il collasso gravitazionale di stelle supermassive, oppure la coalescenza (dovuta alla radiazione di onde gravitazionali) di un sistema binario formato da due stelle di neutroni per formare un buco nero.

Insieme ai Raggi Cosmici tutti questi processi producono anche fotoni di alta energia o Raggi Gamma, che hanno il vantaggio, essendo neutri, di conservare la direzione iniziale non venendo deflessi dai campi magnetici galattici ed extragalattici.

Nel corso del seminario si illustreranno i principali strumenti utilizzati per rivelare i Raggi Cosmici e Raggi Gamma non di altissima energia e alcuni esempi dei risultati ottenuti.

Astronomia con raggi cosmici carichi di altissima energia e con neutrini

Antonio Capone – Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma e INFN Roma1

L'origine dei raggi cosmici di altissima energia (UHECR, con energia maggiore di $1 \text{ Joule} = 10^{19} \text{ eV}$) è ancora un'incognita. Non è facile immaginare nella nostra galassia un meccanismo di accelerazione capace di fornire una tale energia cosicché si accetta comunemente l'idea che tali UHECR siano di origine extragalattica.

L'osservazione di raggi gamma di alta energia sotto forma di GRB (Gamma Ray Bursts) od originati con continuità in corpi celesti quali AGN (Active Galactic Nuclei) indica alcuni candidati "acceleratori" di raggi cosmici alle energie più elevate. L'interazione dei fotoni con la radiazione cosmica di fondo e con la materia interstellare pone però un limite alla possibilità di "osservare" l'Universo tramite la "astronomia con fotoni".

Ciò che conosciamo sul meccanismo di produzione dei fotoni nei corpi celesti "acceleratori" ci insegna che, oltre ai fotoni, in tali "sorgenti di UHECR" vengano prodotti anche neutrini di alta energia. L'Universo è trasparente per tali neutrini che quindi ci si propongono come lo strumento ideale per uno studio con un "orizzonte" molto più vasto. Identificando la direzione di provenienza dei neutrini di alta energia potremmo localizzarne le sorgenti e, inoltre, acquisire informazioni sui meccanismi di accelerazione.

I flussi di tali neutrini sono però così poco intensi, e la loro sezione d'urto di interazione così piccola, che i rivelatori necessari per la loro rivelazione (definiti "Telescopi per neutrini di alta energia") dovranno essere di enormi proporzioni e posizionati al riparo dalla radiazione atmosferica.

Un rivelatore per neutrini astrofisici di alta energia (IceCube) è stato realizzato nei ghiacci del Polo Sud ed ha indicato l'effettiva esistenza di un flusso di neutrini in eccesso rispetto a quelli prodotti normalmente nell'atmosfera.

Un rivelatore più sensibile è in costruzione nel Mediterraneo (KM3NeT), a Sud-Est della costa siciliana, e ben presto inizierà a raccogliere dati per individuare le sorgenti di neutrini astrofisici di alta energia.

In tal modo associando le informazioni ottenute con i raggi cosmici di altissima energia, con quelle ottenute con i fotoni estremamente energetici, con l'astronomia ottica tradizionale e con eventuali segnali da onde gravitazionali si potrà consolidare la ricerca astronomica "multi-messengers".

Onde gravitazionali per l'osservazione dell'universo invisibile

Fulvio Ricci – Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma e INFN Roma1

Ipotizzate un secolo fa dalla teoria della relatività di Albert Einstein, le onde gravitazionali sono state rilevate direttamente per la prima volta il 15 settembre del 2015.

Con esse è possibile studiare la Fisica della Gravitazione in condizioni estreme, osservare quei fenomeni dell'universo finora invisibili come l'interazione tra buchi neri e studiare i processi di formazione di questi sistemi.

Processi dove sono coinvolti altri oggetti stellari compatti, quali le stelle di neutroni, sono generalmente accompagnati da emissione di onde elettrometriche, particelle elementari e onde gravitazionali. In questi casi l'informazione raccolta è così ricca da poter ottenere un quadro molto più completo di ciò che è avvenuto molto lontano da noi: questi eventi sono l'oggetto di studio dell'Astronomia Multimessaggero.

In questa presentazione ricorderemo brevemente cosa sono le onde gravitazionali, il principio di funzionamento dei rivelatori ed illustreremo alcuni dei numerosi risultati ottenuti nell'osservazione di questi processi astrofisici.

Cosmologia e Particelle: le osservazioni

Prof. Paolo de Bernardis – Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, e INFN Sezione di Roma¹

La struttura e l'evoluzione dell'universo a grandi scale dipendono da quali particelle e campi sono presenti nell'universo stesso. In altre parole, ciò che accade nell'infinitamente grande dipende dall'infinitamente piccolo. Lo confermiamo descrivendo quattro esempi di fenomeni fisici, che si osservano avvenire nell'universo a diverse scale, sempre maggiori, e per i quali si possono eseguire misure quantitative, confrontabili con le teorie della fisica fondamentale.

Il primo, di dimensioni molto grandi rispetto alle scale dell'esperienza quotidiana, ma evidentemente non cosmologiche, è il funzionamento delle stelle. La produzione di energia all'interno delle stelle, che contrasta l'enorme auto-gravità, impedendo il collasso gravitazionale della stella, e produce le enormi luminosità osservate, dipende dalle strane leggi della fisica quantistica, le uniche in grado di descrivere le reazioni nucleari all'origine della conversione di massa in energia.

Il secondo esempio riguarda la dinamica delle galassie a spirale, che richiede la presenza preponderante di materia che non interagisce elettromagneticamente, denominata materia oscura.

Il terzo esempio riguarda la dinamica dell'universo, e la sua espansione, i cui dettagli dipendono dalla composizione dell'universo in termini di forme diverse di massa energia: la materia (ordinaria e oscura), la radiazione (fotoni e particelle relativistiche), e la misteriosa energia oscura, che sembra essere la componente più abbondante.

Il quarto e ultimo esempio riguarda la storia termica dell'universo. Questo si espande, raffreddandosi, a partire da uno stato iniziale infinitamente caldo e denso, il big-bang. Via via che le energie cinetiche delle particelle diminuiscono, col diminuire della temperatura, si realizza una sequenza di stati legati che portano alla configurazione attuale dell'universo. Nella bariogenesi, nella nucleosintesi, alla ricombinazione, e durante la formazione delle strutture legate gravitazionalmente, la presenza dei fotoni del fondo cosmico di microonde, osservabili ancora oggi, ha una importanza fondamentale. Le sue osservazioni di precisione sono di conseguenza imprescindibili per una comprensione sempre migliore della Cosmologia.