

Programma del corso

Docente: prof. Paolo Bernardini

Anno accademico 2010–11

Col termine "Fisica Astroparticellare" si indica quell'insieme di studi, attività sperimentali e indagini teoriche, al confine tra l'astrofisica e la fisica delle particelle elementari. Da una parte, la strumentazione e i metodi tipici degli esperimenti ai grandi acceleratori vengono utilizzati nella ricerca di segnali provenienti dallo spazio esterno. Dall'altra, nell'universo vengono prodotte particelle (neutrini, protoni, raggi gamma) di altissima energia e la disponibilità di tali fasci naturali permette di eseguire misure diversamente impensabili in laboratorio.

Il corso fornisce agli studenti il quadro scientifico aggiornato dei principali temi della fisica astroparticellare (raggi cosmici, neutrini solari ed atmosferici, astronomia gamma e neutrinica, onde gravitazionali, materia oscura), da un punto di vista sia fenomenologico che sperimentale. Su tali argomenti sono incentrati numerosi programmi di ricerca in tutto il mondo e questo richiede una continua revisione del corso.

Per gli studenti frequentanti l'esame finale consiste in un seminario su un argomento concordato con il docente. Per gli studenti non frequentanti l'esame consiste in un colloquio sul programma del corso.

Durata: 45 ore. Crediti: 6. La frequenza delle lezioni è facoltativa.

Introduzione – Cenni storici sull'intreccio tra fisica ed astronomia. Definizione ed ambiti della fisica astroparticellare.

Raggi cosmici (RC) – Cenni storici sulla loro scoperta [STAN 1] e tecniche di rivelazione [STAN 5, PERK 6.1]. Origine, spettro differenziale e composizione elementare dei RC [STAN 4.3 e 5, PERK 6.1]. Effetti geomagnetici e solari [STAN 5.2-3, PERK 6.2]. Meccanismi di accelerazione dei RC [GAIS 11, STAN 3.2, PERK 6.3]. I meccanismi di Fermi [GAIS 11.2] e le supernovae come sorgenti [GAIS 11.3]. Cenni sulle possibili sorgenti oltre i 100 TeV [GAIS 12]. L'effetto GZK e le misure di AGASA [STAN 9, PERK 6.6] ed Auger.

Sciami in atmosfera – Produzione di particelle secondarie, componente *soft* e *hard* [PERK 6.4]. Il decadimento dei pioni e dei muoni. Perdite energetiche e sviluppo degli sciami, tecniche di rivelazione [PERK 6.5]. Sciami elettromagnetici [PERK 6.5.2]. Rivelatori a *sampling* e a copertura completa. Gli esperimenti AUGER, HIRES e AGASA.

Neutrini atmosferici – Flussi di neutrini elettronici e muonici [STAN 7.2]. Tecniche di rivelazione [PERK 6.9, STAN 7.2.1] e stima dei segnali attesi [GAIS 7 e 8]. Esperimenti: SuperKamiokande, Macro. Misure anomale. Ipotesi di neutrini massivi ed oscillanti [PERK 6.9]. Matrice PMNS [STAN 7.3].

Neutrini solari – Modelli solari (ipotesi chimica, gravitazionale e termonucleare). Ciclo pp nel Sole [PERK 7.3-4, STAN 3.1]. Esperimenti radiochimici e deficit misurato [PERK 6.10]. Misure dirette (SuperKamiokande e SNO). Oscillazione dei neutrini nella materia e condizioni di risonanza [PERK 6.11, STAN 7.3.1].

Altre misure sulle oscillazioni dei neutrini (cenni) – Esperimenti su lunga base ai reattori ed agli acceleratori (CHOOZ, KamLAND, K2K, CNGS, NUMI).

Astronomia con neutrini – Supernova 1987A, dati sperimentali e limite sulla massa dei neutrini [PERK 7.9, STAN 3.1.4]. Motivazioni della *multimessenger astronomy*. Telescopi neutrini e flussi attesi [PERK 6.12, STAN 10]. Rigenerazione del neutrino tau. Ricerca di sciame orizzontali di altissima energia [STAN 10.5.1]. La rivelazione di segnali radio e acustici [STAN 10.5.1, Halzen, 2005; Becker, 2007].

Astronomia con raggi cosmici – La correlazione tra raggi cosmici di altissima energia (UHE) e nuclei galattici attivi. Anisotropie nel flusso dei raggi cosmici.

Astronomia gamma – Meccanismi di emissione gamma (luce di sincrotrone, effetto Compton inverso, decadimento del pione neutro) [STAN 10.3]. Tecniche di rivelazione (satelliti, telescopi Cherenkov ed EAS-array) [Aharonian et al. 2005]. Sorgenti galattiche [STAN 10]. Gamma Ray Burst [PERK 6.8]. Nuclei galattici attivi, radio galassie e quasar [STAN 10.1 e 10.3, PERK 6.7].

Onde gravitazionali (cenni) – Potenza emessa da un quadropolo gravitazionale (analogia col quadropolo elettrico) [PERK 6.13]. Il sistema binario PSR 1913+16 [PERK 6.14]. Rivelazione delle onde gravitazionali: barre risonanti, interferometri [PERK 6.15].

Materia Oscura – Pesare l'Universo [PERK 4]. Effetti gravitazionali ed evidenza della materia oscura [PERK 4, RONC]. Lensing gravitazionale [PERK 4.2] e micro-lensing [PERK 4.3, RONC]. Ritardo di Shapiro. Cenni alla materia oscura non barionica: neutrini [PERK 4.6], assioni e WIMPs [RONC 2.7.2]. Rivelazione diretta dei WIMPs [PERK 4.10] e l'esperimento DAMA al Gran Sasso.

Riferimenti bibliografici

[BEND] – G. Bendiscioli "Fenomeni Radioattivi", La Goliardica Pavese (2000, Pavia)

[GAIS] – T.K. Gaisser "Cosmic Rays and Particle Physics", Cambridge University Press (1990, Cambridge)

[PERK] – D. Perkins "Particle Astrophysics", Oxford University Press (2003, Oxford)

[SCHLI] – R. Schlickeiser "Cosmic Rays Astrophysics", Springer (2002, Berlin)

[STAN] – T. Stanev "High Energy Cosmic Rays", Springer (2004, Berlin)

[RONC] – M. Roncadelli "Aspetti astrofisici della materia oscura", Bibliopolis (2004, Napoli)

Articoli di approfondimento

V. Berezhinsky "Astroparticle Physics: Puzzles and Discoveries", arXiv:astro-ph/0801.3028v1. Vengono trattati diversi temi, approfondendo quelli relativi al flusso degli UHECR, alla materia oscura e all'espansione accelerata dell'universo.

P. Lipari "Problems in High Energy Astrophysics", arXiv:astro-ph/0808.0417v1. Vengono trattati vari temi relativi ai raggi cosmici (spettro, origine, meccanismi di accelerazione).

V. Berezhinsky "Ultra High Energy Cosmic Ray Protons: Signatures and Observations", Nucl. Physics B (Proc. Suppl.) 188 (2009) 227. Vengono discussi i risultati sperimentali relativi al flusso degli UHECR.

F. Halzen "Lectures on High-Energy Neutrino Astronomy", arXiv:astro-ph/0506248. Vengono discussi vari temi relativi all'astronomia a multi messaggeri, con particolare riferimento all'astronomia con neutrini.

J.K. Becker "High-energy neutrinos in the context of multimessenger astrophysics", arXiv:astro-ph/0710.1557. Articolo di rassegna sull'astronomia neutrinica.

J. Abraham et al. (Pierre Auger Collaboration) "Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects", *Science* 318 (2007) 938.

F. Aharonian et al. "High energy astrophysics with ground-based gamma ray detectors", arXiv:astro-ph/0506248. Articolo di rassegna sull'astronomia gamma.

I. Donnarumma et al. "The June 2008 Flare of Markarian 421 from Optical to TeV Energies", ApJ 691 (2008) L13. Studio a diverse lunghezze d'onda di una sorgente astrofisica.