

Programma del corso

Docente: prof. Paolo Bernardini

Anno accademico 2009–10

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.

I principali argomenti del corso (raggi cosmici, neutrini solari ed atmosferici, astronomia gamma e neutrinica, onde gravitazionali, materia oscura) vengono trattati da un punto di vista sia fenomenologico che sperimentale.

Durata: 45 ore. Crediti: 6.

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 elementale 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 neutrinici e flussi attesi [PERK

6.12, STAN 10]. Rigenerazione del neutrino tau. Ricerca di sciami 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 quadrupolo gravitazionale (analogia col quadrupolo 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 molti 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.