



SCHEDA INSEGNAMENTO

A004137 - FISICA ASTROPARTICELLARE

Corso di studi di riferimento	LM38 - FISICA
Dipartimento di riferimento	DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E FISICA "ENNIO DE GIORGI"
Settore Scientifico Disciplinare	FIS/04
Crediti Formativi Universitari	7
Ore di attività frontale	LEZ:49
Ore di studio individuale	
Anno di corso	2°
Semestre	
Lingua di erogazione	Italiano
Percorso	A63 - ASTROFISICA E FISICA TEORICA e A64 - FISICA SPERIMENTALE DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI

Prerequisiti	Pur non essendoci vere e proprie propedeuticità, si presuppone che gli studenti abbiano una certa conoscenza della fisica delle particelle elementari. In particolare risulta utile aver frequentato i corsi "Fisica Nucleare e Subnucleare" (laurea triennale) e "Fenomenologia delle Particelle Elementari" (laurea magistrale).
Contenuti	Col termine "Fisica Astroparticellare" si indica quell'insieme di studi, attività sperimentali e indagini teoriche, al confine tra l'astrofisica, la cosmologia e la fisica delle particelle



	<p>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. Infatti molti ritengono che i segnali di nuova fisica verranno dalle astroparticelle e non dagli acceleratori costruiti dall'uomo.</p> <p>Gli studi di fisica astroparticellare sono in continua, rapida ed entusiasmante evoluzione e il corso intende fornire un quadro abbastanza completo e continuamente aggiornato di tali studi. Le principali tematiche, trattate sia da un punto di vista fenomenologico che strettamente sperimentale, sono: la fisica dei raggi cosmici, i neutrini solari ed atmosferici, l'astronomia gamma e neutrinica, le onde gravitazionali e la materia oscura.</p>
Obiettivi formativi	<p>Alla fine del corso gli studenti ...</p> <ul style="list-style-type: none">- avranno acquisito una conoscenza abbastanza approfondita ed aggiornata dei principali settori della fisica astroparticellare (conoscenze e comprensione)- saranno in grado di comprendere i risultati dei principali esperimenti di fisica astroparticellare, interpretare grafici e dati numerici, in relazione ai modelli fisici proposti (capacità di applicare conoscenze e comprensione)- sapranno valutare la significatività dei dati sperimentali, sempre in relazione al modello fisico che si intende confermare o viceversa smentire (autonomia di giudizio)- saranno in grado di presentare in maniera sintetica, ma completa i risultati dei diversi esperimenti, utilizzando disegni schematici dei rivelatori e rappresentazioni grafiche delle misure (abilità comunicative)- avranno ben chiaro che la fisica astroparticellare è una branca della fisica in continua evoluzione e potranno seguirne autonomamente gli sviluppi futuri (capacità di apprendimento)
Metodi didattici	<p>Il corso si sviluppa in lezioni cattedratiche, con l'ausilio di immagini e filmati. Domande e interventi da parte degli studenti sono ben accettati ed anzi stimolati.</p>
Modalità d'esame	<p>L'esame finale consiste in un colloquio nel quale il candidato deve trattare due argomenti del programma, uno a sua scelta, l'altro</p>



	indicato dalla commissione durante il colloquio stesso.
Programma esteso	<p>Introduzione – Generalità sulla fisica astroparticellare [SPU 1.1].</p> <p>Tecniche di rivelazione [SPU 3.1, 3.2, 3.3, 3.4] - L'interazione radiazione-materia (sezione d'urto, diffusione elastica e perdite d'energia, formula di Bethe-Bloch) [LEO 2]. Multiplo scattering. Emissione di luce Cerenkov. L'interazione dei fotoni con la materia (effetto fotoelettrico, effetto Compton e produzione di coppia) [LEO 2]. Sviluppo di sciame in atmosfera, modello di Heitler [SPU 4.3.1]. Rivelatori a ionizzazione (multiple counters, drift chambers, scintillatori) [LEO 6]. Rivelatori per misure dirette (spettrometri e calorimetri). Rivelatori al suolo per sciame estesi (ARGO-YBJ, Pierre Auger Observatory) [SPU 4.6, 7.6, 7.8, 9.2] e telescopi Cerenkov [SPU 9.1].</p> <p>Raggi cosmici (RC) – Introduzione [SPU 1.2]. La scoperta dei RC [SPU 2.1] e nuove particelle [SPU 2.2, 2.3]. Generalità sullo spettro dei RC [SPU 2.5, 2.6]. I RC nella galassia [SPU 2.7]. Cenni ai RC dal Sole [SPU 2.8]. Effetti del campo geomagnetico [SPU 2.9]. Densità di energia nella galassia [SPU 2.10] e considerazioni energetiche sui RC [SPU 2.11]. Cenni circa il rivelatore <i>AMS-02</i> [SPU 3.5]. Composizione elementare dei RC [SPU 3.6, 3.7] e il fenomeno della spallazione [SPU 5.1]. Cenni sulle tecniche di datazione [SPU 5.2, BEN III.3]. Confinamento dei raggi cosmici nella galassia (<i>leaky box</i>) [SPU 5.4, 5.5]. Meccanismi stocastici di accelerazione dei RC [SPU 6.1, 6.4]: gli specchi magnetici e i due modelli di Fermi. Energia massima da supernova [SPU 6.3].</p> <p>Sciame in atmosfera - Interazione dei raggi cosmici nell'atmosfera terrestre e produzione di sciame [SPU 4.1, 11.4]. Struttura dell'atmosfera [SPU 4.2]. Sciame elettromagnetici [SPU 4.3] e sciame adronici [SPU 4.4]. Il flusso dei RC al ginocchio [SPU 4.9]. I RC cosmici alle energie più alte [SPU 7.3, 7.4] e le perdite energetiche ipotizzate [SPU 7.5]. Misure e modelli dello spettro dei RC alle energie più alte [SPU 7.9, 7.10].</p> <p>Neutrini atmosferici – Neutrini dal decadimento dei mesoni carichi [SPU 11.3] e neutrini prodotti in atmosfera [SPU 11.7]. Il fenomeno delle oscillazioni [SPU 11.8]. Esperimenti sotterranei SuperKamio-kande e Macro [SPU 11.9]. Cenni ad altri esperimenti su lunga base [SPU 11.10].</p> <p>Neutrini solari - Modelli solare, cicli di fusione nucleare e</p>



neutrini [SPU 12.1, 12.2]. Esperimenti dedicati [SPU 12.3]. La misura del Sudbury Neutrino Observatory [SPU 12.4]. L'esperimento Kamland [SPU 12.5]. Cenni alle oscillazioni dei neutrini nella materia e condizioni di risonanza [SPU 12.6, 12.7].

Neutrini da supernova – Cenni alla fisica delle supernovae [SPU 12.10, 12.11]. Neutrini da supernova [SPU 12.12]. Supernova 1987A [SPU 12.13] e limite sulla massa dei neutrini [PER 7.9, STA 3.1.4].

Astronomia a molti messaggeri – Connessioni tra RC, neutrini e gamma [SPU 10.1]. Diversi meccanismi di emissione gamma: adronici [SPU 8.2, 8.3] e leptonici [SPU 8.4].

Astronomia neutrinica – Rivelazione di neutrini astrofisici anche grazie ad *array* di superficie [SPU 10.1, 10.2, 10.3]. Cenni ai flussi attesi di neutrini [SPU 10.4]. Telescopi operativi e progetti futuri [SPU 10.7]. Prime misure di neutrini astrofisici [SPU 10.9]. Stato delle osservazioni col rivelatore Icecube [http://icecube.wisc.edu/science/highlights/neutrino_astronomy].

Astronomia con raggi cosmici – Possibile correlazione tra raggi cosmici di altissima energia (UHE) e nuclei galattici attivi [SPU 7.3, 7.11]. Cenni alle anisotropie nel flusso dei raggi cosmici [SPU 5.7, 7.3].

Astronomia gamma – Introduzione [SPU 8.1]. Tecniche di rivelazione: satelliti [SPU 8.5, 8.6], telescopi Čerenkov [SPU 9.1] ed EAS array [SPU 9.2]. Cenni alle sorgenti gamma galattiche [SPU 8.7, 8.8, 8.9, 9.3, 9.4]. La nebulosa del Granchio [SPU 9.5]. La ricerca delle sorgenti dei raggi cosmici [SPU 9.6, 9.7, 9.8]. Cenni alle sorgenti gamma extragalattiche [SPU 9.9, 9.10, 9.11, 9.12].

Onde gravitazionali (cenni) - Potenza emessa da un quadrupolo gravitazionale (analogia col quadrupolo elettrico) [PER 6.13]. Cenni alle misure sul sistema binario PSR 1913+16 [PER 6.14]. Rivelazione delle onde gravitazionali: barre risonanti, interferometri [PER 6.15]. Le misure di LIGO e VIRGO [PRL 116 (2016) 061102]. Contemporanea osservazione di onde gravitazionali e Gamma Ray Burst [arXiv:1710.05834, www.ligo.caltech.edu/page/press-release-gw170817]

Materia Oscura - Effetti gravitazionali ed evidenza della materia oscura [SPU 13.3]. Cenni al lensing gravitazionale [PER 4.2] ed al microlensing [PER 4.3] per la ricerca di



	<p>materia oscura barionica. Materia oscura non barionica [SPU 13.4, 13.5; PER 4.6]. Rivelazione dei WIMP (esperimento DAMA-LIBRA) [SPU 13.8, 13.9]. Anomalie nelle misure di positroni ed elettroni [SPU 3.9, 13.9].</p> <p>Bibliografia</p> <ul style="list-style-type: none">• G. BENDiscioli “Fenomeni radioattivi”, La Goliardica Pavese (2000)• W.R. LEO "Techniques for nuclear and particle physics experiments", Springer (1987, Berlin)• D. PERkins "Particle Astrophysics", Oxford University Press (2003, Oxford)• M. SPURio “Particles and Astrophysics”, Springer (2015, Heidelberg)• T. STANEV "High Energy Cosmic Rays", Springer (2004, Berlin)
Testi di riferimento	<i>M. Spurio “Particles and Astrophysics”, Springer (Heidelberg, 2015)</i>
Altre informazioni utili	Il dott. Antonio Surdo (Istituto Nazionale Fisica Nucleare. Lecce) introduce il corso con alcune lezioni sulle principali tecniche di rivelazione utilizzate in fisica astroparticellare.