

# FISICA (LM38)

(Lecce - Università degli Studi)

## Insegnamento FISICA ASTROPARTICELLARE

GenCod A004137

Docente titolare Paolo BERNARDINI

**Insegnamento** FISICA  
ASTROPARTICELLARE

**Insegnamento in inglese**  
ASTROPARTICLE PHYSICS

**Settore disciplinare** FIS/04

**Corso di studi di riferimento** FISICA

**Tipo corso di studi** Laurea Magistrale

**Crediti** 7.0

**Ripartizione oraria** Ore Attività frontale: 49.0

**Per immatricolati nel** 2017/2018

**Erogato nel** 2018/2019

**Anno di corso** 2

**Lingua** ITALIANO

**Percorso** ASTROFISICA E FISICA  
TEORICA

**Sede** Lecce

**Periodo** Primo Semestre

**Tipo esame** Orale

**Valutazione** Voto Finale

**Orario dell'insegnamento**

<https://easyroom.unisalento.it/Orario>

### BREVE DESCRIZIONE DEL CORSO

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 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. 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.

### 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).

---

## OBIETTIVI FORMATIVI

Alla fine del corso gli studenti ...

- 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

Il corso si sviluppa in lezioni cattedratiche, con l'ausilio di immagini e filmati. Domande e interventi da parte degli studenti sono ben accetti ed anzi stimolati.

---

## MODALITA' D'ESAME

L'esame finale consiste in un colloquio nel quale il candidato deve trattare due argomenti del programma, uno a sua scelta, l'altro indicato dalla commissione durante il colloquio stesso.

---

## 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.

Introduzione – Generalità sulla fisica astroparticellare [SPU 1.1].

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 Čerenkov. 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-YB), Pierre Auger Observatory) [SPU 4.6, 7.6, 7.8, 9.2] e telescopi Čerenkov [SPU 9.1].

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 *AMS-02* [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 (*leaky box*) [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].

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 possibili interazioni col fondo cosmico a 2.7 K [SPU 7.5]. Misure e modelli dello spettro dei RC alle energie più alte [SPU 7.9, 7.10].

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 SuperKamiokande e Macro [SPU 11.9]. Cenni ad altri esperimenti su lunga base [SPU 11.10]. Neutrini solari - Modelli solare, cicli di fusione nucleare e neutrini [SPU 12.1, 12.2]. Esperimenti dedicati [SPU 12.3]. La misura del Sudbury Neutrino Observatory [SPU 12.4]. Cenni all'esperimento Kamland [SPU 12.5], alle oscillazioni dei neutrini nella materia ed alle 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 [SPU 10.1, 10.2, 10.3]. Telescopi operativi e progetti futuri [SPU 10.7]. Prime osservazioni di neutrini astrofisici [SPU 10.9] in coincidenza con un segnale gamma [Science, 361 (2018) eaat1378]

Astronomia con raggi cosmici – Possibile correlazione tra raggi cosmici di altissima energia (UHE) e nuclei galattici attivi [SPU 7.3, 7.11].

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 [PER 6.13]. Evidenza dell'emissione di onde gravitazionali dal sistema binario PSR 1513+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 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 cosmici [SPU 3.9, 13.9].

## Bibliografia

- 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

*M. Spurio "Particles and Astrophysics", Springer (Heidelberg, 2015)*