

# FISICA (LM38)

(Lecce - Università degli Studi)

## Insegnamento FISICA ASTROPARTICELLARE

GenCod A004138

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** 2020/2021

**Erogato nel** 2021/2022

**Anno di corso** 2

**Lingua** ITALIANO

**Percorso** FISICA SPERIMENTALE DELLE  
INTERAZIONI FONDAMENTALI

**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.

---

## APPELLI D'ESAME

Le date d'esame verranno pubblicate a breve. In ogni caso si potranno tenere esami anche su richiesta dello studente.

---

## 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 Cerenkov. L'interazione dei fotoni con la materia (effetto fotoelettrico, effetto Compton e produzione di coppia) [LEO 2]. Sviluppo di sciami 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 sciami estesi (ARGO-YB), Pierre Auger Observatory) [SPU 4.6, 7.6, 7.8, 9.2] e telescopi Cerenkov [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], il fenomeno della spallazione [SPU 5.1]. Cenni sulle tecniche di datazione [SPU 5.2, BEN III.3]. Tempi di permanenza e confinamento dei RC nella galassia (*leaky box*) [SPU 5.4, 5.5]. Meccanismi stocastici di accelerazione [SPU 6.1, 6.4]: gli specchi magnetici e i due modelli di Fermi. Energia massima da supernova [SPU 6.3].

Sciami in atmosfera - Interazione dei RC nell'atmosfera terrestre e produzione di sciami [SPU 4.1, 11.4]. Struttura dell'atmosfera [SPU 4.2]. Sciami elettromagnetici [SPU 4.3] e sciami adronici [SPU 4.4]. Il flusso dei RC al ginocchio [SPU 4.9]. I RC 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].

Neutrini atmosferici – Neutrini dal decadimento dei mesoni carichi [SPU 11.3] e loro produzione 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]. 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]. La 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]. 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](http://icecube.wisc.edu/science/highlights/neutrino_astronomy)].

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 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 extragalattiche [SPU 9.9, 9.10, 9.11, 9.12].

Onde gravitazionali - 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](http://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. Ipotesi sulla materia oscura non barionica [SPU 13.4, 13.5; PER 4.6]. Misure dirette (esperimento DAMA-LIBRA, XENON) ed indirette [SPU 13.8, 13.9]. Anomalie nelle misure di positroni ed antiprotoni nel flusso dei raggi 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)

Eventuali letture di approfondimento

Y. Fukuda et al. (Super-Kamiokande Collaboration) "Evidence for Oscillation of Atmospheric Neutrinos", Phys. Rev. Letters 81 (1989) 1562

M. Ambrosio et al. (MACRO Collaboration) "Measurement of atmospheric neutrino-induced upgoing muon flux using MACRO", Physics Letters B 434 (1998) 451

Q.R. Ahmad et al. (SNO Collaboration) "Direct evidence for neutrino flavor transformation from neutral-current interactions in the Sudbury Neutrino Observatory", Phys. Rev. Letters 89 (2002) 011301

K. Hirata et al. (Kamiokande Collaboration) "Observation of a neutrino burst from the Supernova SN1987A", Phys. Rev. Letters 58 (1987) 1490

IceCube Collaboration "Evidence of High-Energy Extraterrestrial Neutrinos at the IceCube Detector", Science 342 (2013) 1242856

IceCube, Fermi-LAT, MAGIC ... Collaborations "Multimessenger observations of a flaring blazar coincident with high-energy neutrino IceCube-170922A", Science 361 (2018) eaa1378

B.P. Abbott et al. (LIGO and Virgo Collaborations) "Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger", Phys. Rev. Lett. 116 (2016) 061102

B.P. Abbott et al. "Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A", Astrophys. Journal Letters 848 (2017) L13

E. Aprile et al. (XENON Collaboration) "Excess electronic recoil events in XENON1T", Phys. Rev. D 102 (2020) 072004

---

## TESTI DI RIFERIMENTO

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

*A. De Angelis, M. Pimenta 'Introduction to Particle and Astroparticle Physics', Springer (Heidelberg, 2018)*