

DENOMINAZIONE INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Fisica della Gravitazione

Gravitational Physics

INFORMAZIONI INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

A.A.	2026-2027	CdS	FISICA (LM-17)
Codice	8067547-8068902	Canale	Unico
CFU	6	Lingua	Inglese

DOCENTE RESPONSABILE DELL'INSEGNAMENTO / ATTIVITÀ FORMATIVA

Alessio Rocchi

CODOCENTE

Roberto Peron

Modulo:

OBIETTIVI FORMATIVI E RISULTATI DI APPRENDIMENTO ATTESI

Italiano	OBIETTIVI FORMATIVI: Il corso di studio è volto a fornire una preparazione avanzata di Fisica, con conoscenze di argomenti specialistici della recente ricerca in Fisica, in particolare nell'area della gravitazione sperimentale. Gli obiettivi formativi prevedono la conoscenza avanzata della fisica relativistica e dei metodi sperimentali per la verifica delle teorie metriche della gravitazione. CONOSCENZA E CAPACITÀ DI COMPrensIONE: Gli studenti dovranno dimostrare una buona comprensione delle più importanti teorie della gravitazione e delle relative problematiche sperimentali. La verifica delle conoscenze e capacità di comprensione viene fatta tramite prove orali. CAPACITÀ DI APPLICARE CONOSCENZA E COMPrensIONE: Gli studenti devono essere in grado di identificare gli elementi essenziali di un problema fisico (anche complesso) e saperne creare un modello approssimato. Devono essere in grado di aggiornare tali modelli confrontandoli con dati sperimentali esistenti. AUTONOMIA DI GIUDIZIO: Gli studenti devono essere in grado di eseguire ricerche bibliografiche e di selezionare i materiali interessanti, in particolare sul WEB.
-----------------	--

	ABILITÀ COMUNICATIVE: Gli studenti devono essere in grado di lavorare in gruppo (anche interdisciplinare) ed essere in grado di presentare il proprio lavoro di ricerca ad un pubblico sia di specialisti che di profani. CAPACITÀ DI APPRENDIMENTO: Gli studenti devono essere in grado di apprendere le necessarie competenze in nuovi campi in modo autonomo. Devono acquisire la capacità di proseguire gli studi in un dottorato di ricerca o altre scuole di specializzazione.
English	LEARNING OUTCOMES: <i>The class is aimed at providing an advanced preparation on Physics, in particular in the field of experimental gravitation. The educational objectives include knowledge of relativistic physics and experimental methods for the verification of the different metric theories of gravitation.</i> KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: <i>Students will have to demonstrate a good understanding of the most important theories of gravitation and related experimental problems. The verification of knowledge and understanding is done through an oral test.</i> APPLYING KNOWLEDGE AND UNDERSTANDING: <i>Students must be able to identify the essential elements of a physical problem (even a complex one) and learn how to create an approximate model. They must be able to update these models by comparing them with existing experimental data.</i> MAKING JUDGEMENTS: <i>Students must be able to perform bibliographic searches and to select interesting materials, particularly on the WEB.</i> COMMUNICATION SKILLS: <i>Students must be able to work in groups (even interdisciplinary) and be able to present their research work to an audience of both specialists and outsiders.</i> LEARNING SKILLS: <i>Students must be able to learn the necessary skills in new fields independently. They must acquire the ability to continue their studies in a research doctorate or other post-graduate schools.</i>

PREREQUISITI

Italiano	Calcolo 1 e 2, Geometria, Fisica 1, 2 e 3, Laboratorio 1, 2 e 3, Metodi matematici della fisica
----------	---

English	<i>Calculus 1 e 2, Geometry, Physics 1, 2 e 3, Laboratory 1, 2 e 3, Mathematical methods for Physics</i>
---------	--

PROGRAMMA E CRONOPROGRAMMA

Italiano	Gravitazione newtoniana (teoria del potenziale, fluidodinamica newtoniana, quantità conservate - corpi a simmetria sferica/non sferica, geodesia, maree - moto kepleriano, metodi perturbativi - verifiche della legge dell'inverso del quadrato, misure di G). Fondamenti - Principio di Equivalenza (WEP, EEP, SEP) e sue verifiche sperimentali. Gravitazione post-newtoniana (formalismo PPN, principali effetti PPN, equazioni del moto, gravitomagnetismo, effetti PPN in orbita terrestre). Verifiche sperimentali della gravitazione PPN (massa di prova gravitazionale, tecniche di inseguimento (SLR, radiometrica), satelliti geodetici, dinamica dei satelliti in orbita terrestre, sistemi di riferimento, POD dei satelliti geodinamici, GNSS, LLR, Cassini e altre missioni in spazio profondo, BepiColombo, ISA). Verifiche della Relatività Generale tramite l'osservazione radio di sistemi binari di stelle di neutroni. Pulsar Timing: correzioni relativistiche ai tempi di arrivo degli impulsi radio. Parametri post-Kepleriani nel formalismo PPN. Risultati osservativi da alcuni sistemi notevoli: PSR B1913+16; PSR B1534+12; PSR J0737-3039A/B. Brevi cenni sulle onde gravitazionali. Descrizione della dinamica di un sistema binario di oggetti compatti nel formalismo PPN. Verifiche sperimentali della Relatività Generale: consistenza della forma d'onda; gravitoni massivi; velocità di propagazione delle onde gravitazionali; principio di equivalenza; stati di polarizzazione.
English	<i>Newtonian gravitation (Potential theory, Newtonian fluid dynamics, Conserved quantities - Bodies with spherical/non-spherical symmetry, Geodesy, Tides - Keplerian motion, Perturbative methods - Tests of inverse-square law, Measurements of G). Foundations (Equivalence Principle (WEP, EEP, SEP) and its experimental tests). Post-Newtonian gravitation (PPN formalism, Main PPN effects, Equations of motion, Gravitomagnetism, PPN effects around Earth). Experimental tests of PPN gravitation (Gravitational test mass, Tracking techniques (SLR, radiometric), Geodetic satellites, Satellite dynamics in Earth orbit, Reference frames, POD of geodynamic satellites, GNSS, LLR, Cassini and other deep-space missions, BepiColombo, ISA).</i> <i>Tests of General Relativity with radio observations of binary neutron star systems. Pulsar Timing: relativistic corrections to Time of Arrivals. Post Keplerian parameters in the PPN formalism. Observational results from some peculiar systems: PSR B1913+16; PSR B1534+12; PSR J0737-3039A/B. Basics on gravitational waves. Description of the dynamic evolution of a binary system of compact objects in the PPN formalism. Tests of General Relativity: waveform consistency; massive graviton; speed of GWs; equivalence principle; polarization states.</i>

TESTI ADOTTATI E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Italiano	H.C. Ohanian, R. Ruffini, Gravitation and space-time, Cambridge University Press, 2013 (3)
----------	--

	E. Poisson and C.M. Will, <i>Gravity: Newtonian, Post-Newtonian, Relativistic</i>, Cambridge University Press, 2014 M. Maggiore <i>Gravitational Waves Volume 1. Theory and Experiments</i> Oxford University Press C.M. Will, <i>The Confrontation between General Relativity and Experiment</i>, <i>Living Rev. Relativity</i> 17, (2014), 4 S.M. Merkowitz, <i>Tests of Gravity Using Lunar Laser Ranging</i>, <i>Living Rev. Relativity</i> 13, (2010), 7 A. G. Lyne et al., <i>A Double-Pulsar System: A Rare Laboratory for Relativistic Gravity and Plasma Physics</i>, <i>Science</i> 303 (2004) M. Kramer et al., <i>Tests of General Relativity from Timing the Double Pulsar</i>, <i>Science</i> 314 (2006) I. Ciufolini and J. A. Wheeler, <i>Gravitation and Inertia</i>, Princeton University Press, 1995 B. Bertotti, P. Farinella, and D. Vokrouhlický, <i>Physics of the Solar System — Dynamics and Evolution, Space Physics, and Spacetime Structure</i>, Kluwer Academic Publishers, 2003 O. Montenbruck and E. Gill, <i>Satellite Orbits — Models, Methods and Applications</i>, Springer, 2000 B. P. Abbott et al., “Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger”, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 116, 061102 (2016) B. P. Abbott et al., “Tests of General Relativity with GW150914”, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 116, 221101 (2016) B. P. Abbott et al., “GW170814: A Three-Detector Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Coalescence”, <i>Phys. Rev. Lett.</i> 119, 141101 (2017) B. P. Abbott et al., “Tests of General Relativity with the Binary Black Hole Signals from the LIGO-Virgo Catalog GWTC-1”, arXiv:1903.04467v2
English	<i>H.C. Ohanian, R. Ruffini, Gravitation and space-time, Cambridge University Press, 2013 (3)</i> <i>E. Poisson and C.M. Will, Gravity: Newtonian, Post-Newtonian, Relativistic, Cambridge University Press, 2014</i> <i>M. Maggiore Gravitational Waves Volume 1. Theory and Experiments Oxford University Press</i> <i>C.M. Will, The Confrontation between General Relativity and Experiment, Living Rev. Relativity 17, (2014), 4</i> <i>S.M. Merkowitz, Tests of Gravity Using Lunar Laser Ranging, Living Rev. Relativity 13, (2010), 7</i> <i>A. G. Lyne et al., A Double-Pulsar System: A Rare Laboratory for Relativistic Gravity and Plasma Physics, Science 303 (2004)</i> <i>M. Kramer et al., Tests of General Relativity from Timing the Double Pulsar, Science 314 (2006)</i> <i>I. Ciufolini and J. A. Wheeler, Gravitation and Inertia, Princeton University Press, 1995</i> <i>B. Bertotti, P. Farinella, and D. Vokrouhlický, Physics of the Solar System — Dynamics and Evolution, Space Physics, and Spacetime Structure, Kluwer Academic Publishers, 2003</i>

	<i>O. Montenbruck and E. Gill, Satellite Orbits — Models, Methods and Applications, Springer, 2000</i> <i>B. P. Abbott et al., “Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger”, Phys. Rev. Lett. 116, 061102 (2016)</i> <i>B. P. Abbott et al., “Tests of General Relativity with GW150914”, Phys. Rev. Lett. 116, 221101 (2016)</i> <i>B. P. Abbott et al., “GW170814: A Three-Detector Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Coalescence”, Phys. Rev. Lett. 119, 141101 (2017)</i> <i>B. P. Abbott et al., “Tests of General Relativity with the Binary Black Hole Signals from the LIGO-Virgo Catalog GWTC-1”, arXiv:1903.04467v2</i>
--	--

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI SVOLGIMENTO E METODI DIDATTICI ADOTTATI

☒ In presenza ☐ A distanza

Italiano	Lezioni frontali con utilizzo di supporti telematici. Il materiale didattico, sia trasparenze che riferimenti bibliografici, viene reso disponibile agli studenti entro poche ore dalla conclusione della lezione stessa.
English	<i>Frontal lessons with the use of telematic supports. The teaching material, both transparencies and bibliographic references, is made available to students within a few hours of the conclusion of the lesson.</i>

MODALITÀ DI FREQUENZA

☐ frequenza obbligatoria ☒ frequenza facoltativa

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI FREQUENZA

Italiano	Lezioni frontali in aula non obbligatorie ma fortemente consigliate.
English	<i>Lectures. Not mandatory but highly recommended.</i>

MODALITÀ DI VALUTAZIONE

☐ Prova scritta ☒ Prova orale ☐ Prova di laboratorio ☐ Prova pratica
☐ Valutazione in itinere ☐ Valutazione di progetto ☐ Valutazione di tirocinio

COMPOSIZIONE DELLA COMMISSIONE VALUTATRICE

Alessio Rocchi, Roberto Peron

DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ E DEI CRITERI DI VERIFICA DELL'APPRENDIMENTO

Italiano	La prova d'esame sarà valutata secondo i seguenti criteri:
----------	--

	• Non idoneo: gravi lacune e/o imprecisioni nella conoscenza e comprensione degli argomenti; limitata capacità di analisi e sintesi, con frequenti generalizzazioni. • 18–20: conoscenza e comprensione appena sufficienti, con possibili imperfezioni; capacità di analisi, sintesi e giudizio autonome adeguate. • 21–23: conoscenza di base degli argomenti e comprensione complessiva; analisi e sintesi corrette, con argomentazioni coerenti. • 24–26: buona conoscenza e comprensione; capacità di analisi e sintesi solide, espresse con discreto rigore. • 27–29: conoscenza completa; spiccate capacità di analisi e sintesi e buona autonomia di giudizio. • 30–30 e lode: padronanza eccellente degli argomenti; elevate capacità di analisi, sintesi e giudizio autonomo, con esposizione originale.
English	<i>The exam will be assessed according to the following criteria:</i> • Fail: serious gaps and/or inaccuracies in knowledge and understanding of the topics; limited ability to analyze and synthesize, with frequent overgeneralizations. • 18–20: barely sufficient knowledge and understanding, with possible imperfections; adequate analytical, synthesis, and independent judgment skills. • 21–23: basic knowledge and overall understanding; correct analysis and synthesis, with coherent reasoning. • 24–26: good knowledge and understanding; solid analytical and synthesis skills, expressed with reasonable rigor. • 27–29: thorough knowledge; strong analytical and synthesis skills and good independent judgment. • 30–30 with honors: excellent mastery of the topics; outstanding analytical, synthesis, and independent judgment skills, with original presentation.