
CATÁLOGO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTROFÍSICA

Coordenador Acadêmico

André de Castro Milone

Conselho do Programa

André de Castro Milone, Coordenador Acadêmico (Presidente)

Felipe de Almeida Fernandes, Coordenador Acadêmico Substituto (Vice-Presidente)

Cláudia Vilega Rodrigues

José Carlos Neves de Araujo

Fernando Falkenberg Marques, Representante Discente Titular

Helissa Helen da Costa, Representante Discente Suplente

Docentes Permanentes

1. Alberto Rodriguez Ardila - Doutor, UFRGS, 2000
2. André de Castro Milone - Doutor, USP, 1996
3. Carlos Alexandre Wuensche de Souza - Doutor, INPE, 1995
4. Cláudia Vilega Rodrigues - Doutora, USP, 1997
5. Diego Antônio Falceta Gonçalves - Doutor, USP, 2005
6. Eder Martioli - Doutor, INPE, 2010
7. Felipe de Almeida Fernandes - Doutor, UFRJ, 2019
8. Flávio D'Amico - Doutor, INPE, 1997
9. Francisco José Jablonski - Doutor, USP, 1989
10. Grzegorz Kowal - Doutor, Uniwersytet Jagielloński (Universidade Jaguelônica), Polônia, 2006
11. Joaquim Eduardo Rezende Costa - Doutor, INPE, 1990
12. José Carlos Neves de Araujo - Doutor, USP, 1990
13. Odylio Denys de Aguiar - Doutor, Louisiana State University, EUA, 1990

Docentes Colaboradores

14. Camila Paiva Novaes - Doutora, INPE, 2015
15. Jaziel Goulart Coelho - Doutor, ITA, 2013
16. Massimo Tinto - Doutor, University College, País de Gales (Reino Unido), 1987
17. Rafael da Costa Nunes - Doutor, UFJF, 2018

DISCIPLINAS

OBRIGATÓRIAS

AST-200-3	Evolução Estelar I
AST-202-3	Evolução Estelar II
AST-203-4	Técnicas Observacionais em Astrofísica
AST-204-4	Processos Radiativos I

ELETIVAS

AST-300-3	Astrofísica de Ondas Gravitacionais
AST-301-4	Plasmas Astrofísicos
AST-302-4	Técnicas Experimentais de Radioastronomia
AST-305-3	Problemas Atuais da Astrofísica
AST-306-3	Processos Radiativos II
AST-307-4	Mecânica Quântica I
AST-308-4	Astrofísica Extragaláctica
AST-402-4	Introdução à Relatividade Geral
AST-404-4	Astrofísica de Altas Energias
AST-405-4	Astrofísica no Infravermelho
AST-406-3	Radiofísica do Sol
AST-409-3	Física do Meio Interestelar
AST-411-3	Séries Temporais em Astrofísica

AST-412-3	Variáveis Cataclísmicas
AST-413-4	Fundamentos de Cosmologia
AST-414-3	Populações Estelares
AST-415-3	Tópicos Especiais de Astrofísica
AST-416-3	Fundamentos de Astrobiologia
AST-417-3	Astroestatística
AST-408-4	Astrofísica Computacional
AST-418-3	Estrutura da Galáxia

EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO PROGRAMA DE ASTROFÍSICA
OBRIGATÓRIAS

AST-200-3	Evolução Estelar I
-----------	--------------------

Pré-requisitos: não há.

Propriedades observacionais das estrelas. Condições físicas no interior estelar. Equações da estrutura interna das estrelas. Equações de estado do gás; termodinâmica do interior estelar. Transporte de energia no interior estelar. Processos nucleares no interior estelar. Modelos politrópicos.

Bibliografia

BÖHM-VITENSE, E. *Introduction of Stellar Astrophysics - Volume 3 Stellar Structure and Evolution*. Cambridge University Press, 1989.

CLAYTON, D. D. *Principles of Stellar evolution and nucleosynthesis*. University of Chicago Press, 1983.

HANSEN, C. J., KAWALER, S. D. & TRIMBLE, V. *Stellar Interiors - Physical Principles, Structure, and Evolution*. Springer, 2004.

KIPPENHAHN, R., WEIGERT, A. & WEISS, A. *Stellar Structure and Evolution*. Springer – A&A Library, 2012.

MACIEL, W. J. *Introdução à Estrutura e Evolução Estelar*. Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

NOVOTNY, E. *Introduction of Stellar Atmospheres and Interiors*. Oxford University Press, 1973.

ROSE, W. K. *Advanced Stellar Astrophysics*, Cambridge University Press, 1988

AST-202-3	Evolução Estelar II
-----------	---------------------

Pré-requisito: AST-200-3

Evolução estelar: formação estelar, evolução anterior à sequência principal; a sequência principal; evolução pós-sequência principal; nucleossíntese; estágios avançados de evolução. Nebulosas planetárias; anãs brancas; supernovas; estrelas de nêutrons; buracos negros, estrelas binárias e evolução das binárias cerradas.

Bibliografia

CAMENZIND, M. *Compact Objects in Astrophysics*. Springer, 2007.

- CARROL, B. W. & OSTLIE, DALE A. *An introduction to Modern Astrophysics*. Addison-Wesley, 1996
- CLAYTON, D.D. *Principles of stellar evolution and nucleosynthesis*. University of Chicago Press, 1983.
- HANSEN, C. J.; KAWALER, S. D. & TRIMBLE, V. *Stellar Interiors – Physical Principles, Structure, and Evolution*. Springer, 2004.
- HARWITT, M. *Astrophysical Concepts*, Springer-Verlag, 4th Ed., 2006.
- KIPPENHAHN, R.; WEIGERT, A. & WEISS, A. *Stellar Structure and Evolution*. Springer-Verlag, 2nd Ed., 2012
- LEBLANC, F. *An Introduction to Stellar Astrophysics*. Wiley, 2010
- MACIEL, W. J. *Introdução à estrutura e evolução estelar*. EDUSP, 1999.
- PRIALNIK, D. *An introduction to the Theory of Stellar Structure and Evolution* (2nd ed). Cambridge, 2010
- ROSE, W. *Advanced Stellar Astrophysics*. Cambridge, 1998
- SHAPIRO, S. & TEUKOLSKY, S. *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron Stars: the physics of compact objects*. Wiley (2004).

AST-203-4	Técnicas Observacionais de Astrofísica
-----------	--

Pré-requisitos: não há.

Coordenadas astronômicas. A atmosfera terrestre; estrutura, absorção, emissão e difusão de radiação. O que se observa em Astrofísica. Transformada de Fourier. Tratamento estatístico de dados. Detectores: princípios físicos de detecção. Detectores quânticos, térmicos e em radiofrequências. Medida do sinal. Fotometria e polarimetria: definição de grandezas. Métodos de calibração. Vetor Stokes. Imagem: formação (telescópios), degradação e tratamento. Análise espectral: instrumentos. Medida de contínuo e de linhas espectrais.

Bibliografia

- BEVINGTON, P. R. & ROBINSON, D. K. *Data reduction and error analysis for the physical sciences*, 3rd edition, McGraw-Hill Inc., 2002
- BRADT, H. *Astronomy Methods: A Physical Approach to Astronomical Observations*, Cambridge Univ. Press, 2004.
- GRAY, D. F. *Observation and analysis of stellar photospheres*, 3rd edition, Cambridge Univ. Press, 2008.
- HOWELL, S. B. *Handbook of CCD Astronomy*, 2nd edition, Cambridge, 2006

KITCHIN, C. R. *Astrophysical Techniques*, 5th edition, CRC, 2008.

LÉNA, P., LEBRUN, F. & MIGNARD, F. *Observational Astrophysics*, 2nd edition, Springer-Ver, 1998.

MCLEAN, I. S. *Electronic imaging in astronomy: detectors and instrumentation*. Springer & Praxis. 2008.

WALKER, G. *Astronomical observations: an optical perspective*. Cambridge Univ. Press, 1987.

AST-204-4	Processos Radiativos I
-----------	------------------------

Pré-requisitos: não há.

1. Conceitos fundamentais de transferência radiativa: a intensidade específica e seus momentos; a equação de transferência radiativa; radiação térmica; radiação de corpo negro; coeficientes de Einstein; espalhamento; difusão radiativa.
2. Teoria básica dos campos de radiação: ondas eletromagnéticas; espectro da radiação; polarização.
3. Radiação por cargas em movimento: os potenciais de Liénard-Wiechart; campos de radiação; fórmula de Larmor; espalhamento Thomson; radiação produzida por partículas harmonicamente ligadas.
4. Radiação produzida por partículas relativísticas: quadri-vetores e tensores; o tensor eletromagnético; campos produzidos por uma partícula relativística em movimento uniforme; emissão de radiação por partículas relativísticas.
5. Bremsstrahlung.
6. Radiação síncrotron: potência total emitida; espectro; polarização.
7. Radiação por espalhamento Compton inverso: Comptonização.

Bibliografia

RYBICKI, N., LIGHTMAN, S. *Radiative Processes in Astrophysics*. Wiley, NY, 1979.

SHU, F. *The Physics of Astrophysics*. Univ. Science Books, 1992

JACKSON, J.D. *Classical Electrodynamics* (2nd Ed.). Wiley, 1975

ELETIVAS

AST-300-3	Astrofísica de Ondas Gravitacionais
-----------	-------------------------------------

Pré-requisitos: não há.

Ondas gravitacionais (OGs): natureza, introdução à relatividade geral (RG), derivação matemática a partir da RG, geração, propagação, princípio de detecção;

Fontes de OGs: artificiais, astrofísicas, cosmológicas;

Detectores/observatórios: massa ressonante (barras e esferas, Schenberg), interferômetros laser, “pulsar timing arrays”, detectores eletromagnéticos da Radiação Cósmica de Fundo em Microondas, detectores de alta frequência, outros detectores;

Instrumentação: fontes de ruído, ruído quântico, ruído térmico, ruído sísmico, forças de gradientes gravitacionais Newtonianos, isolamento vibracional, luz espalhada, ruídos de intensidade e de frequência do laser, acoplamento do deslocamento com flutuações angulares, técnicas de diagnóstico e minimização de ruídos, criogenia, óptica principal, óptica auxiliar, revestimentos dos espelhos, fontes de laser, “squeezing”, suspensão ativa e passiva, simulação/controle e calibração;

Aquisição e processamento de dados: aquisição de dados, filtragem digital, análise de ruído, limitação quântica e previsão de desempenho, detecções/observações já realizadas, física e astrofísica aprendidas com essas detecções/observações;

Detectores/observatórios futuros: ET, “Cosmic Explorer”, AIGO, LIGO-India e SAGO.

Bibliografia

MAGGIORE, M. *Gravitational Waves: Volume 1: Theory and Experiments*. Oxford, 2007.

MAGGIORE, M. *Gravitational Waves: Volume 2: Astrophysics and Cosmology*. Oxford, 2018.

REITZE, D., SAULSON, P. & GROTE, H. *Advanced Interferometric Gravitational-Wave Detectors*, two volumes in “100 Years of General Relativity – vol. 5”, World Scientific, 2019.

MISNER, C.; THORNE, K. & WHEELER, J. C. *Gravitation*. Freeman, San Francisco, 1973.

THORNE, K. S. *Gravitational Radiation*. In *300 Years of Gravitation*, ed. by HAWKING, S & ISRAEL, W.. Cambridge, 1987.

WEBER, J. *General Relativity and Gravitational Waves*. Interscience, NY, 1961.

BLAIR, D. G. *The Detection of Gravitational Waves*. Cambridge, 1991.

WEINBERG, S. *Gravitation and Cosmology*. Wiley, NY, 1972.

WILL, C. M. *WAS EINSTEIN RIGHT*. Basic Books, NY, 1986 HAWKING, S; ISRAEL, W. *300 Years of Gravitation*. Cambridge, 1987.

AGUIAR, O. D. *Parametric Motion Transducer for Gravitational Wave Detectors*. INPE-5238-TAE/002, 1991.

DAVIES, P. C. W. *The Search for Gravity Waves*. Cambridge, 1980.

Artigos nos tópicos acima.

AST-301-4	Plasmas Astrofísicos
-----------	----------------------

Pré-requisito: AST-204-4

Interação de feixes com plasmas, geração de ondas de Langmuir. Conversão de ondas em radiação: mecanismos lineares e não lineares. Colisões, "Landau damping". Propagação em plasmas frios. Choques, descontinuidades e solução. Radiação gyrosíncrotron e syncrotron. Emissão de partículas ultrarelativísticas num plasma. Fontes de raios X solares. Radiação gama solar e não solar.

Bibliografia

CHEN, F. *Introduction to Plasma Physics*. Plenum Press, 1974.

RAMATY, R. *Journal of Geophysical Research A: Space Physics*. vol. 73, nº 11, June 1, 1968 pp.3573.

RAMATY, R. *The Astrophysical Journal*. vol. 158, nov., 1969. pp. 753.

WILD, J. P.; SMERD, S.F. & Weiss, A. A. *Anual Review of Astronomy and Astrophysics*. pg. 291, 1963.

KAPLAN, S. A. & TSYTOVICH, V. N. *Plasma Astrophysics*. Pergamon Press, 1973.

ZHELEZNYAKOV, V. V. *Radio Emission of the Sun and Planets*. Pergamon Press, 1970.

GEORGE, B. *Radiation Processes in Plasmas*. Wiley, 1966.

ARNAB RAI CHOUDHURI *The Physics of Fluids and Plasmas: An Introduction for Astrophysicists*. Cambridge University Press, 1998.

AST-302-4	Técnicas Experimentais de Radioastronomia
-----------	---

Pré-requisitos: não há.

Instalação de um Rádio Observatório. Atmosfera Terrestre. Antenas para radioastronomia. Polarização de ondas. Calibração de Antenas Parabólicas. Alimentadores e efeitos de iluminação. Resolução e sensibilidade. Análise dos parâmetros de eficiência. Radiometria: radiômetros, amplificadores, mixers, osciladores, guias de onda, geradores. Definição de parâmetros radioastronômicos. Radiômetros utilizados em Radioastronomia. Analisadores espectrais. Antenas e interferômetros. Sistemas de aquisição de dados. Métodos de observação.

Bibliografia

KRAUS, J. D. *Radio Astronomy*. Wiley, NY, 1965.

KRAUS, J. D. & CARVER, R. K. *Eletromagnetics*. McGraw-Hill, 1973.

MEEKS, M. L. *Astrophysics - Part C - Methods of Experimental Physics*. Vol. 12, Academic Press.

BAARS, J. W. M. *Dual Bean Parabolic Antennas in Radio Astronomy*.

AST-305-3	Problemas Atuais da Astrofísica
-----------	---------------------------------

Pré-requisitos: AST-200-3, AST-204-4, AST-203-4 e AST-202-3.

É feita uma revisão das questões mais importantes que a Astrofísica tenta responder na atualidade. A disciplina é baseada em seminários por professores do curso e também pelos alunos.

Bibliografia

BAHCALL, J. & OSTRIKER, J. *Unsolved Problems in Astrophysics*. Princeton University Press, 1997.

AST-306-3	Processos Radiativos II
-----------	-------------------------

Pré-requisitos: AST-204-4

1. Efeitos de plasma na radiação: dispersão; rotação de Faraday; radiação Cherenkov; efeito Razin.
2. Revisão de estrutura atômica: equação de Shrödinger; átomo de hidrogênio; átomos de muitos elétrons; separação de níveis ("splitting"); diagramas de termos; acoplamento L-S; interação spin-órbita; efeito Zeeman; estrutura hiperfina; distribuição térmica de níveis de energia e ionização: a equação de Saha.
3. Transições radiativas: probabilidade de transição; aproximação de dipolo; forças de oscilador; regras de seleção; taxas de transição; mecanismos de alargamento de linhas.
4. Transições moleculares: aproximação de Born-Oppenheimer; ligação eletrônica dos núcleos; espectros de rotação pura; espectros de rotação e vibração; espectros eletrônicos, de rotação e de vibração;

Bibliografia

RYBICKI, N. & LIGHTMAN, A. *Radiative Processes in Astrophysics*. Wiley. NY, 1979.

SHU, F. *The Physics of Astrophysics*. Univ. Science Books, 1992.

DOPITA, M. & SUTHERLAND, R. S. *Astrophysics of the Diffuse Universe*. Springer, 2003.

OSTERBROCK, D. *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*. University Science Books, 1989.

GRAY, D. *Observation and Analysis of Stellar Photospheres*. Willey, 1992

NOVOTNY, E. *Introduction to stellar atmospheres and interiors*. Oxford, 1973.

Pré-requisitos: não há.

I. Conceitos Fundamentais

- I.1 O Experimento de Stern-Gerlach
- I.2 Kets, Bras e Operadores
- I.3 Kets de Base e Representações Matriciais
- I.4 Medições, Observáveis e as Relações de Incerteza
- I.5 Mudança de Base
- I.6 Posição, Momento e Translação
- I.7 Funções de Onda no Espaço de Posição e Momento

II Dinâmica Quântica

- II.1 Evolução Temporal e Equação de Schrödinger
- II.2 A Representação de Schrödinger versus a Representação de Heisenberg
- II.3 O Oscilador Harmônico Simples
- II.4 A Equação de Onda de Schrödinger
- II.5 Soluções Elementares da Equação de Onda de Schrödinger
- II.6 Propagadores e Integrais de Caminho de Feynman
- II.7 Potenciais e Transformações de Calibre

III Teoria do Momento Angular

- III.1 Rotações e Relações de Comutação de Momento Angular
- III.2 Spin 1/2 e Rotações Finitas
- III.3 $S_0(3)$, $SU(2)$ e Rotações de Euler
- III.4 Operador Densidade e Ensemble Puro versus Ensemble Misto
- III.5 Autovalores e Autovetores do Momento Angular
- III.6 Momento Angular Orbital
- III.7 Equação de Schrödinger para Potenciais Centrais
- III.8 Adição de Momento Angular
- III.9 O Modelo de Oscilador de Schwinger para o Momento Angular
- III.10 Medidas de Correlação de Spin e Desigualdade de Bell
- III.11 Operadores Tensoriais

IV Simetria em Mecânica Quântica

- IV.1 Simetrias, Leis de Conservação e Degenerescências
- IV.2 Simetrias Discretas, Paridade ou Inversão Espacial
- IV.3 Translação na Rede como Simetria Discreta
- IV.4 Simetria de Reversão Temporal Discreta

Bibliografia

SAKURAI, J. J. & NAPOLITANO, J. Modern Quantum Mechanics. Cambridge University Press, 2nd Edition, 2017.

COHEN-TANNOUDJI, C.; DIU, B. & LALOË, F. Quantum Mechanics. Volumes I and II, Wiley-VCH Verlag, 2nd Edition, 2020.

BRANSDEN, C. J. & JOACHAIN, P. H. Quantum Mechanics. Pearson, 2nd Edition, 2012.

ZETTILI, N. Quantum Mechanics: Concepts and Applications. Wiley, 2nd Edition, 2010.

SHANKAR, R. Principles of Quantum Mechanics. Plenum Press, 2nd Edition, 1994.

MAHON, J. R. P. Mecânica Quântica - Desenvolvimento Contemporâneo com Aplicações. LTC Editora - Grupo GEN, 2011.

AST-308-4

Astrofísica Extragaláctica

Pré-requisito: AST-204-4

Galáxias: classificação e morfologia; propriedades globais.
Galáxias: composição estelar; conteúdo gasoso; relações de escala.
Galáxias: movimentos internos e dinâmica; Buracos negros no centro de galáxias
Função de luminosidade.
IMF & Síntese de população estelar.
Galáxias peculiares. Radio fontes extragalácticas: tipos, número e luminosidades.
Estrutura das rádio-galáxias; evolução das rádio fontes.
A constante de Hubble e os indicadores de distância: introdução aos Modelos de Friedman.
Quasares e núcleos ativos: introdução; propriedades fundamentais; quasares como rádio-fontes; zoologia de AGNs; a fonte central de energia; acréscimo de matéria.
Quasares e núcleos ativos: componentes de um AGN; contínuos IR, óptico e UV; região de linhas largas; região de linhas estreitas; emissão de raios-x; modelos unificados.
Estrutura em grande escala: contagens de galáxias e mapeamento das estruturas.
Superaglomerado local; movimentos peculiares; aglomerados de galáxias; o meio intergaláctico.
Grandes levantamentos.

Bibliografia

Peter, S. Extragalactic Astronomy and Cosmology, Springer

Bradley, M. P.: Introduction to Active Galactic Nuclei, Cambridge Univ. Press

Steven P. The Structure & Evolution of Galaxies, Wiley

Whittle, M. Notas de aula - <http://www.astro.virginia.edu/class/whittle/astr553>

Keel, W. Notas de aula - <http://www.astr.ua.edu/keel/galaxies/>

AST-402-4

Introdução à Relatividade Geral

Pré-requisitos: não há.

Álgebra tensorial. Campos vetoriais em espaços com conexão afim. Particularização para espaços riemannianos. Análise tensorial. Formas diferenciais. Aplicação de Cálculo Tensorial à Física (Eletromagnetismo, Mecânica Relativística, Gravitação e Relatividade Restrita). Tensor de curvatura. Equações do campo gravitacional no espaço vazio e com termo fonte. Solução de

Schwarzschild, incluindo buracos negros.

Bibliografia

D'INVERNO, R. *Introducing Einstein's Relativity*. Clarendon Press, 1992. (Livro-texto)

ADLER; BAZIN & SCHIFFER *Introduction to General Relativity*. Mc Graw-Hill, 2nd edition, 1975. (Livro-texto complementar)

WEINBERG. *Gravitation and Cosmology*. Wiley, 1973. (Livro-texto complementar)

Leitura recomendada adicional:

MISNER; THORNE & WHEELER. *Gravitation*. Freeman, 1973.

STEPHANI. *General Relativity*, 2nd edition, Cambridge University Press, 1992.

SCHUTZ. *A first course in General Relativity*. Cambridge U.P., 1985.

LIGHTMAN; PRESS; PRICE & TEUKOSKI. *Problem Book in Relativity and Gravitation*. Princeton U.P., 1975.

BERMAN & GOMIDE. *Cálculo Tensorial e Relatividade Geral: uma introdução*. McGraw-Hill, 2a. edição, 1987.

AST-404-4	Astrofísica de Altas Energias
-----------	-------------------------------

Pré-requisitos: AST-204-4 e AST-202-3

Introdução e histórico. Observações de Raios-X e Raios-Gama: origem, e processos de interação. Detetores de Raios-X e Gama; técnicas observacionais. Anãs Brancas, Estrelas de Nêutrons e Buracos Negros. Acreção sobre objetos compactos: sistemas binários; discos de acreção; acreção sobre anãs brancas: variáveis cataclísmicas; acreção sobre estrelas de nêutrons e buracos negros: binárias de raios-X. Fenômenos transientes: surtos de emissão em binárias; surtos de raios gama. Quasares e núcleos ativos de galáxias. Fontes difusas de raios-X: ruído de fundo de raios-X e raios-Gama. Atividade computacional prática: modelamento espectral de uma binária de raios-X com o uso de ferramental apropriado; as Ftools e o Xspec.

Bibliografia

FRANK, J.; KING, A. & RAINES, D. *Accretion Power in Astrophysics* (Third Edition). Cambridge University Press, 2002.

COURVOISIER, T. High Energy Astrophysics. Springer, 2013

LONGAIR, M. S. *High Energy Astrophysics* (Third Edition). Cambridge University Press, 2011.

LEWIN, W. H. G. & van der Klis, M. (eds.). *Compact Stellar X-Ray Sources*. Cambridge University Press, 2006

KNOLL, G. F. *Radiation Detection and Measurement* (Fourth Edition). Wiley, 2010.

AST-405-4	Astrofísica no Infravermelho
-----------	------------------------------

Pré-requisitos: AST-204-4, AST-202-3

Programa: poeira interestelar: características de sua emissão e absorção; formação de moléculas em grãos de poeira; processos de emissão e sua interpretação: processos de emissão atômicos e iônicos, interpretação astrofísica do espectro molecular; fontes galácticas: atmosferas planetárias, sol regiões HII, estrelas, nebulosas planetárias, centro galáctico; sistemas extragalácticos; instrumentação e catálogos.

Bibliografia

GLASS, I. S. *Handbook of Infrared Astronomy*. Cambridge University Press, 1999, ISBN 0521633117

MCLEAN, I. *Infrared Astronomy with Arrays. The Next Generation Astrophysics and Space Science Library*, Vol. 190. ISBN 0792327780

AST-406-3	Radiofísica do Sol
-----------	--------------------

Pré-requisitos: AST-204-4

A atmosfera solar em rádio. Fundamentos necessários de Radioastronomia. O Sol calmo e o plasma coronal. Métodos de estudo de regiões ativas, modelos. Atividade explosiva, erupções métricas e decimétricas. Erupções centimétricas e milimétricas. Atividades solar e raios-X e gama e associação com diagnóstico em rádio. Evolução temporal e espectros. Modelos recentes de interpretação de transitórios em plasmas quentes.

Bibliografia

KRUEGER, A. *Introduction to solar radio astronomy and radio physics*. Dordrecht, D. Reidel, 1979.

STURROCK, J. *Solar flares*. Boulder. Associated University Press, 1960.

TANDBERG-HANSEN, E. *Solar activity*. Waltham, Blaisdell, 1967.

ZIRIN, H. *The solar atmosphere*. Waltham Blaisdell, 1966.

AST-409-3	Física do Meio Interestelar
-----------	-----------------------------

Pré-requisitos: AST-204-4 e AST-202-3

Meio Interestelar: aspectos globais. Como são obtidas informações sobre o meio interestelar (MI): linhas espectrais térmicas e não térmicas; emissão contínua. Processos microscópicos

no MI: introdução; Aquecimento do gás interestelar; refrigeração do gás interestelar; reações químicas. Regiões excitadas radiativamente: introdução; nebulosas de hidrogênio; nebulosas contendo elementos pesados; estrutura das nebulosas. Introdução à dinâmica do gás: equações básicas (leis de conservação). Ondas acústicas e a propagação de perturbação nos gases; ondas de choque e suas propriedades. Processos dinâmicos no espaço interestelar: expansão de nebulosas; efeito do vento estelar no gás interestelar. Quadro atual do gás interestelar e a formação de estrelas.

Bibliografia

- SPITZER, L. *Diffuse Matter in Space*. Wiley, NY, 1977.
- DYSON, J. E. & WILLIAMS, D. A. *The Physics of the Interstellar Medium*. Institute of Physics Publishing 1997.
- BALLY, J. *The Structure and Kinematic of Star Forming Clouds*. Proc. of ESO Workshop, 1989.
- ELITZUR, M. *Physical Characteristics of Astronomical Masers*. Rev. of Modern. Phys., 1982.
- BOWERS, R. L. & DEEMING, T. *Astrophysics I-II*. Jones and Bartlett Publishers Inc., Boston, 1984.
- MACIEL, W. J. *Astrofísica do Meio interestelar*. EDUSP, 2002.

AST-411-3	Séries Temporais em Astrofísica
-----------	---------------------------------

Pré-requisitos: não há.

A Transformada de Fourier: Propriedades, Convolução, Correlação, Séries de Fourier e Teorema da Amostragem. A Transformada Discreta de Fourier: Convolução e Correlação Discretas. Transformada Rápida de Fourier. Espectro de Potência. Janela Espectral. Estatística no Espectro de Potências. Níveis de Significância. Sensibilidade a Sinais Periódicos. Séries Temporais de amostragem irregular em Astrofísica. Periodograma de Lomb-Scargle. Métodos de procura de periodicidades baseados no diagrama de fases. Método CLEAN. Miscelânea: Diagramas O-C, Método de Onduletas, Detecção de Sinais Transientes, Leituras selecionadas da literatura em Astrofísica.

Bibliografia

- ROBINSON, E. L. *Data Analysis for Scientists and Engineers* (Caps. 8, 9, 10). Princeton Univ. Press, 2016.
- FEIGELSON, E. & BABU G. *Modern Statistical Methods for Astronomy With R Applications*. Cambridge Univ. Press, 2012.
- COWPERTWAIT, P. & METCALFE, A. *Introductory Time Series with R*. Springer, 2008.
- MAOZ, D.; STERNBERG, A. & LEIBOWITZ, E. *Astronomical Time Series*. Kluwer Academic Pub., 1997.
- BLOOMFIELD, P. *Fourier Analysis of Time Series*. John Wiley & Sons, 1976.

- BRACEWELL, R. *The Fourier Transform and its Applications*. McGraw-Hill Int. Eds., 1986.
- BRIGHAM, E. *The Fast Fourier Transform*. Prentice-Hall Inc., 1974.
- PRESS, W.; TEUKOLSKY, S. & VETERLING, W. *Numerical Recipes in Fortran*. Cambridge Univ. Press, 1992.
- VAN DER KLISS, M. *Fourier Techniques in X-Ray Timing*. in *Timing Neutron Stars*, Eds. H. Ogelman e E.P.J. van den Heuvel, Kluwer Academic Pub., 1989.

AST-412-3	Variáveis Cataclísmicas
-----------	-------------------------

Pré-requisitos: AST-200-3, AST-202-3, AST-203-4 e AST-204-4

Observação de variáveis cataclísmicas. Componentes do sistema binário e ciclo orbital. Características espectrais. Evolução de variáveis cataclísmicas. Disco de acréscimo e erupções. Fenomenologia de variabilidade e possíveis causas. Variáveis cataclísmicas magnéticas: polares e polares intermediárias. Flickering e oscilações. Estrelas novas. Fenômenos associados às estrelas secundárias.

Bibliografia

- HELLIER, C. *Cataclysmic variable stars*. Praxis, 2001.
- WARNER, B. *Cataclysmic variables stars*. Cambridge. 1995

AST-413-4	Fundamentos de Cosmologia
-----------	---------------------------

Pré-requisitos: não há.

Introdução: Observações e o Universo em geral; Arcabouço teórico; O Universo homogêneo: história térmica, inventário cósmico, situações além do modelo padrão; O Universo não homogêneo: perturbações de densidade, evolução das perturbações. O estado da arte: formação de estruturas e radiação cósmica de fundo em microondas, cosmologia de 21 cm. Inflação.

Bibliografia

- LIDDLE, A. *An Introduction to Modern Cosmology*. Cambridge, 2015
- SCHNEIDER, P. *Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction*. Springer, 2014
- WEINBERG, S. *Cosmology*. Wiley, 2008
- MUKHANOV, V. *Physical Foundations of Cosmology*. Cambridge, 2005

BERGSTRÖM, L. & GOOBAR, A. *Cosmology and particle astrophysics*. Springer, 2004

DODELSON, S. *Modern Cosmology*. Academic Press, 2003

PADMANABHAM, T. *Theoretical Astrophysics: Volume 3. Galaxies and Cosmology*, Cambridge, 2002

LONGAIR, M. *Galaxy Formation*. Springer, 1998.

PEACOCK, J. A. *Cosmological Physics*. Cambridge Astrophysics, 1998.

PEEBLES, P. J. E. *Principles of Physical Cosmology*. Princeton University Press, 1993.

KOLB, E., TURNER, M. *The early Universe*. Addison-Wesley Press, 1994

PADMANABHAN, T. *Formation of Structure in the Universe*. Cambridge, 1994.

MOSHE, C. *Classical Fields, General Relativity and Gauge Theory*. World Scientific, 1982

WEINBERG, S. *Gravitation and Cosmology*. Wiley, 1972

DURRER, R. *The Cosmic Microwave Background*. Cambridge, 2008

NASELSKY, P. & NOVIKOV, D. *The Physics of the Cosmic Microwave Background*. Cambridge, 2006.

AST-414-3	Populações Estelares
-----------	----------------------

Pré-requisitos: AST-200-3 e AST-202-3

Populações estelares na Galáxia e em galáxias espirais e "early-type. Síntese de populações estelares: métodos e ferramentas. Tópicos de dinâmica de sistemas estelares. Evolução química de populações estelares em galáxias: taxa de formação estelar, função de massa inicial, entrada/saída de matéria, nucleossíntese primordial e estelar.

Bibliografia

BINNEY, J. & MERRIFIELD, M. *Galactic Astronomy*. Princeton University Press, New Jersey, 1998.

MACIEL, W. J. *Fundamentos de evolução química da Galáxia*. IAG-USP, São Paulo, 2020.

MATTEUCCI, F. *Chemical Evolution of Galaxies*. Springer – A&A Library, Berlin, 2012.

MO, H., VAN DEN BOSCH, F. & WHITE, S. *Galaxy Formation and Evolution*, Cambridge University

Press, Cambridge, 2010.

PAGEL, B. E. J. Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies. Cambridge University Press, Cambridge, 2009.

SPARKE, L. F. & GALLAGHER III, J. S. Galaxies in the Universe: An Introduction - 2nd Edition. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

Artigos relacionados aos temas da ementa.

AST-415-3

Tópicos Especiais em Astrofísica

Pré-requisitos: não há.

Abordam-se tópicos avançados em Astrofísica. Conteúdo variado, de acordo com a motivação e momento em que o curso for ministrado.

Bibliografia

Artigos de Revistas Especializadas.

AST-416-3

Fundamentos de Astrobiologia

Pré-requisitos: não há.

Questões fundamentais: o que é vida? O que é a vida na Terra? A vida como “não a conhecemos”. As condições no Universo: matéria e radiação; a formação dos elementos químicos; física e química básica para o aparecimento da vida; evolução estelar. Habitabilidade planetária: zona habitável, atmosferas; a bioquímica do meio interestelar; a necessidade de água; a estrutura do Sistema Solar; exoplanetas. Evolução da Terra e da vida na Terra: Terra pré-biótica; primeiros estágios da vida na Terra; necessidade do oxigênio; ciclos de longo prazo (solares, atmosféricos, geológicos); formação e evolução da atmosfera; extremófilos e suas implicações; evolução e diversidade biológica. A busca de vida fora da Terra: a exploração do Sistema Solar; Marte, Europa, Ganimedes, Titã; Terra: formação; busca de exoplanetas; o projeto SETI.

Bibliografia

ROTHERY, D. A. & GILMOUR, I. An Introduction to Astrobiology, Cambridge, 2018.

GORDON, R. & SHAROV, A. (Eds.). Habitability of the Universe before Earth. Volume 1: Astrobiology: Exploring Life on Earth and Beyond (series), Academic Press, 2018

Galante, D.; da Silva, E. P.; Rodrigues, F.; Horvath, J. E. & de Avellar, M. G. B. (orgs.) Astrobiologia: uma ciência emergente. Tikinet/USP (2016) – Livro-texto eletrônico

COCKEL, C. Astrobiology: Understanding Life in the Universe. Wiley-Blackwell, 2015

Wiley-Blackwell

SMITH, I. W. M.; COCKELL, C. S. & LEACH, S. (Eds.). Astrochemistry and Astrobiology. Physical Chemistry in Action, Springer, 2013

IMPEY, C.; LUNINE, J. & FUNES, J. (Eds.) Frontiers of Astrobiology. 1st Edition, Cambridge, 2012

IMPEY, C. O Universo vivo. Larousse, 2009

SHAW, A. M. Astrochemistry: from astronomy to astrobiology. Wiley, 2006

WARD, P. Life as we DO NOT know it. Viking, 2005

LUNINE, J. Astrobiology: a multi-disciplinary approach. Benjamin Cummings, 2004.

AST-417-3	Astroestatística
-----------	------------------

Pré-requisitos: não há.

Parte 1: Teoria da probabilidade. Funções de distribuição de probabilidade. Abordagem bayesiana da probabilidade.

Parte 2: Números aleatórios e métodos de Monte Carlo (MCMC). Informação de Fisher. Estimativa de parâmetros. Intervalos de confiança, testes de hipóteses, limites superiores.

Parte 3: Práticas em Astronomia. A arte da computação científica.

Conteúdo extra (optativo): Introdução ao Processo Gaussiano e Machine learning. Estimativa de parâmetros em Cosmologia e Análise de dados de Ondas Gravitacionais.

Bibliografia

WASSERMAN, L. All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference. Springer Texts in Statistics, 2004.

LIST, L. Statistical Methods for Data Analysis in Particle Physics. Springer Lecture Notes in Physics 909, 2016.

PRESS, W. H; TEUKOLSKY, S. A. & VETTERLING, W. T. Numerical Recipes, 3rd edition: The Art of Scientific Computing. Cambridge University Press, 2007.

WALL, J. V. & JENKINS, C. R. Practical Statistics for Astronomers, 2nd edition, Cambridge University Press, 2013.

ALPAYDIN, E. Introduction to Machine Learning Third Edition. The MIT Press, 2014.

AST-408-4	Astrofísica Computacional
-----------	---------------------------

Pré-requisitos: não há.

Módulo I: Introdução ao Python. Introdução e visão global da linguagem Python. Acesso ao Python; formas de execução de programas em Python. Comandos básicos: expressões e atribuições; formatação de texto e números; palavras reservadas. Tipos. Estruturas de controle. Introdução aos módulos SciPy, NumPy, Matplotlib, Astropy, Pandas e outros. Computação com fórmulas e exibição dados. Funções. Computação com arrays e matrizes. Data I/O básico. Exceções, erros numéricos, overflow. Exemplos do Matplotlib.

Módulo II: Métodos numéricos para Astrofísica I. Interpolação e extrapolação. Ajuste de curva. Raízes de uma função. Integração e diferenciação numéricas: aspectos práticos; métodos. Análise de Fourier. Histogramas. Modelagem de dados; distribuições. Aplicações deste módulo em astrofísica.

Módulo III: Métodos numéricos para Astrofísica II. Solução numérica de equações diferenciais: introdução. Solução numérica de equações diferenciais: aplicações.

Módulo IV: Astrofísica Computacional Moderna. Visão geral de Estatística Computacional. Visão geral de Análise de Dados Astronômicos. Visão geral de Machine Learning (Aprendizagem de Máquina) e a Neural Networks (Redes Neurais).

Módulo V: Mini-Projetos. Preparação, discussão e apresentação dos mini-projetos dos alunos.

Bibliografia

BEVINGTON, P. R. Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences, 3rd. Edition, McGraw-Hill Education, 2002.

DOWNEY, A. B. Think Stats: Exploratory Data Analysis, 2nd. Edition, O'Reilly Media, 2014.

DOWNEY, A. B. Think Bayes: Bayesian Statistics in Python, 2nd. Edition, O'Reilly Media, 2021.

GÉRON, A. Mão à obra: aprendizado de máquina com Scikit-Learn, Keras & TensorFlow: Conceitos, ferramentas e técnicas para a construção de sistemas inteligentes, 2a. edição, Alta Books, 2021.

GOODFELLOW, I. et al. Deep Learning. MIT Press, 2016.

GRUS, J. Data science do zero: primeiras regras com o Python. Alta Books, 2016.

HUNT, J. A. Beginners Guide to Python 3 Programming. Springer, 2020.

LANGTANGEN, H. P. A Primer on Scientific Programming with Python, 5th. Edition, Springer, 2016.

NETTO, A. Python Para Data Science e Machine Learning Descomplicado. Alta Books, 2021.

PRESS, W. H.; TEUKOLSKY, S. A.; VETTERLING, W. T. & FLANNERY, B. P. Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing, 2nd. Edition, Cambridge University Press, 1992.

SCHERER, P. O. J. Computational Physics: Simulation of Classical and Quantum Systems, 3rd. Edition, Springer, 2017.

SCHMIDT, W. & M. VÖLSCHOW, M. Numerical Python in Astronomy and Astrophysics. Springer, 2021.

SIVIA, D. S. & SKILLING, J. Data Analysis: A Bayesian Tutorial, 2nd. Edition, Oxford University Press, 2006.

SKIENA, S. S. The Data Science Design Manual. Springer, 2017.

STICKLER, B. A. & EWALD SCHACHINGER, E. Basic Concepts in Computational Physics, 2nd. Edition, Springer, 2016.

AST-418-4	Estrutura da Galáxia
-----------	----------------------

Pré-requisitos: AST-200-3 (Evolução Estelar I), AST-202-3 (Evolução Estelar II)

Revisão de propriedades estelares, formação e evolução estelar, e processos de nucleossíntese. Componentes da Via Láctea: bojo, barra, discos fino/espesso, halo e aglomerados globulares, gás e poeira. Arqueologia Galáctica: datação estelar, abundâncias químicas, cinemática de populações estelares na Galáxia; formação da Galáxia. Cinemática de estrelas no disco: curva de rotação, estrutura espiral. Subestruturas: correntes estelares, grupos móveis e subestruturas do halo. Modelos da Galáxia: distribuição de massa e potencial gravitacional, histórico de formação estelar, função de massa inicial e evolução química da Galáxia.

Bibliografia

BINNEY, J. & MERRIFIELD, M. Galactic Astronomy. Princeton University Press, New Jersey, 1998.

BINNEY, J. & TREMAINE, S. Galactic Dynamics: Second Edition. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA, 2008.

NEWBERG, H. & CARLIN, J. Tidal Streams in the Local Group and Beyond: Observations and Implications. Astrophysics and Space Science Library, 2016.

MACIEL, W. Fundamentos de Evolução Química da Galáxia. IAG/USP, São Paulo, 2020.

MINCHEV, I. Constraining the Milky Way assembly history with Galactic Archaeology. Astronomische Nachrichten, Vol. 337, Issue 7, p. 703, 2016.

Artigos especializados da área.

Os trabalhos auxiliares ou finais do programa de Pós-Graduação serão identificados na forma abaixo indicada:

AST-730	Pesquisa de Mestrado em Astrofísica*
---------	--------------------------------------

0 crédito

AST-750	Dissertação de Mestrado em Astrofísica
---------	--

12 créditos

AST-780	Pesquisa de Doutorado em Astrofísica*
---------	---------------------------------------

0 crédito

AST-800	Tese de Doutorado em Astrofísica
---------	----------------------------------

36 créditos

* Atividade obrigatória, em cada período letivo para todo aluno em fase de Pesquisa, definida pela oficialização de seu Orientador de Pesquisa que avaliará o desempenho do aluno nesta atividade. Obrigatória, também, antes da oficialização citada, para o aluno que não esteja matriculado em alguma disciplina; neste caso, a orientação e avaliação deverá ser feita por Docente aprovado pelo Coordenador Acadêmico.

São José dos Campos, 31 de janeiro de 2025

Catálogo aprovado pelo CPG em 03/02/2025.