

---

## CATÁLOGO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ASTROFÍSICA

---

### **Coordenador Acadêmico**

André de Castro Milone

### **Conselho do Programa**

André de Castro Milone, Coordenador Acadêmico (Presidente)  
João Braga, Coordenador Acadêmico Substituto (Vice-Presidente)  
Cláudia Vilega Rodrigues  
José Carlos Neves de Araujo  
Denimara Dias dos Santos, Representante Discente Titular  
Bruno Benedito Bizarria, 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. Christine Córdula Dantas - Doutora, INPE, 2001
6. Diego Antônio Falceta Gonçalves - Doutor, USP, 2005
7. Flavio D'Amico - Doutor, INPE, 1997
8. Francisco José Jablonski - Doutor, USP, 1989
9. Grzegorz Kowal - Doutor, Uniwersytet Jagielloński (Universidade Jaguelônica), Polônia, 2006
10. João Braga - Doutor, USP, 1990
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
14. Oswaldo Duarte Miranda - Doutor, USP, 1997

### **Docentes Colaboradores**

15. Camila Paiva Novaes - Doutora, INPE, 2015
16. Jaziel Goulart Coelho - Doutor, ITA, 2013
17. Massimo Tinto - Doutor, University College, País de Gales (Reino Unido), 1987
18. 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



**EMENTAS DAS DISCIPLINAS DO PROGRAMA DE ASTROFÍSICA**  
**OBRIGATÓRIAS**

<b>AST-200-3</b>	<b>Evolução Estelar I</b>
------------------	---------------------------

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

<b>AST-202-3</b>	<b>Evolução Estelar II</b>
------------------	----------------------------

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).

<b>AST-203-4</b>	<b>Técnicas Observacionais de Astrofísica</b>
------------------	---

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 radio-frequências. 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. 3a. ed., 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. 3a. ed., Cambridge Univ. Press, 2008.

HOWELL, S. B., Handbook of CCD Astronomy, 2a. ed., Cambridge, 2006

KITCHIN, C.R. Astrophysical Techniques. 5a. ed., CRC, 2008.

LÉNA, P., LEBRUN, F., MIGNARD, F. Observational Astrophysics. 2a. ed., Springer-Verw, 1998.

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

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

<b>AST-204-4</b>	<b>Processos Radiativos I</b>
------------------	-------------------------------

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 e 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**

<b>AST-300-3</b>	<b>Astrofísica de Ondas Gravitacionais</b>
------------------	--

Pré-requisitos: não há.

Ondas gravitacionais: natureza, derivação matemática a partir da relatividade geral, interação onda-matéria. Instrumentação para a detecção de ondas gravitacionais: interação onda-detector, antenas de massa ressonante, interferômetros laser, interferômetros no espaço, "Pulsar Timing Arrays", detecção dos modos B da radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Fontes de ruído, telessensores, transdutores eletromecânicos, isolamento vibracional. Aquisição e processamento de dados: aquisição dos dados, filtragem digital, análise de ruído, limite quântico e previsão de desempenho. Observatórios de ondas gravitacionais futuros.

### **Bibliografia**

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

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

MISNER, R., THORNE, K., WHEELER, J.C. Gravitation. Freeman, San Francisco, 1973.

WILL, C.M. WAS EINSTEIN RIGHT. Basic Books, NY, 1986.

THORNE, K.S. "Gravitational Radiation," in 300 Years of Gravitation, ed. S. W. Hawking and W. Israel, Cambridge, 1987, pp. 330-458.

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

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

MAGGIORE, M. Gravitational Waves, Vol. 1: Theory and Experiments and Vol. 2: Astrophysics and Cosmology, Oxford, 2008 and 2018.

REITZE, D., SAULSON, P. and GROTE, H., Advanced Interferometric Gravitational-Wave Detector (In 2 Volumes), Volume I: Essentials of Gravitational-Wave Detectors, Volume II: Advanced LIGO, Advanced Virgo and Beyond, World Scientific, 2019. <https://doi.org/10.1142/10181>

<b>AST-301-4</b>	<b>Plasmas Astrofísicos</b>
------------------	-----------------------------

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, discontinuidades e solução. Radiação gyrosincrotron e sincrotron. Emissão de partículas untrrelativistas 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. and TSYTOVICH, V.N. Plasma Astrophysics. Pergamon Press, 1973.

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

GEORGE BEKEFI Radiation Processes in Plasmas Hardcover. Wiley, 1966.

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

<b>AST-302-4</b>	<b>Técnicas Experimentais de Radioastronomia</b>
------------------	--

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.and CARVER, RK 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.

<b>AST-305-3</b>	<b>Problemas Atuais da Astrofísica</b>
------------------	--

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.

<b>AST-306-3</b>	<b>Processos Radiativos II</b>
------------------	--------------------------------

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 Shrodinger; 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.

<b>AST-307-4</b>	<b>Mecânica Quântica I</b>
------------------	----------------------------

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: 2<sup>nd</sup> Edition, 2017.

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

BRANDEN, C.J. & JOACHAIN, P.H., Quantum Mechanics, Pearson: 2<sup>nd</sup> Edition, 2012.

ZETTILI, N., Quantum Mechanics: Concepts and Applications, Wiley: 2<sup>nd</sup> Edition, 2010.

SHANKAR, R. Principles of Quantum Mechanics, Plenum Press: 2<sup>nd</sup> Edition, 1994.

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

<b>AST-308-4</b>	<b>Astrofísica Extragaláctica</b>
------------------	-----------------------------------

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 Friedmann

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; o contínuo IR, óptico e UV; A 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 Schneider: Extragalactic Astronomy and Cosmology, Springer

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

Steven Phillips, 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/>

<b>AST-402-4</b>	<b>Introdução à Relatividade Geral</b>
------------------	--

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**

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

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

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

Leitura recomendada adicional:

MISNER; THORNE; WHEELER Gravitation. Freeman, 1973.

STEPHANI General Relativity. 2nd ed., 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. Mc Graw-Hill, 2a. ed., 1987.

<b>AST-404-4</b>	<b>Astrofísica de Altas Energias</b>
------------------	--------------------------------------

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. Crescimento 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., RAINE, 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.

<b>AST-405-4</b>	<b>Astrofísica no Infravermelho</b>
------------------	-------------------------------------

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

<b>AST-406-3</b>	<b>Radiofísica do Sol</b>
------------------	---------------------------

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.

<b>AST-409-3</b>	<b>Física do Meio Interestelar</b>
------------------	------------------------------------

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.

J. E. DYSON & 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.

W. J. MACIEL, "Astrofísica do Meio interestelar", EDUSP, 2002.

<b>AST-411-3</b>	<b>Séries Temporais em Astrofísica</b>
------------------	--

Pré-requisitos: não há.

Séries Temporais de amostragem regular e irregular em Astrofísica. Sinais periódicos em Astrofísica: Período Orbital, Pulsações radiais e não-radiais, Períodos Rotacionais, Pulsares, Oscilações Quase-Periódica. A Transformada de Fourier: Propriedades, Convulsão, Correlação, Séries de Fouries e Teorema da Amostragem. A Transformada Discreta de Fourier: Convulsão e Correlação Discreta. Transformada Rápida de Fourier. Espectro de Potência. Janela Espectral. Estatística no Espectro de Potência. Níveis de Significância. Sensibilidade a Sinais Periódicos. Periodograma de Lomb-Scargle. Diagrama de Fase. Métodos de Minimização da Dispersão em Fase. O PDM do IRAF. Método CLEAN. Método da Máxima Entropia.

## **Bibliografia**

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. AND 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.

<b>AST-412-3</b>	<b>Variáveis Cataclísmicas</b>
------------------	--------------------------------

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 acreção 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

<b>AST-413-4</b>	<b>Fundamentos de Cosmologia</b>
------------------	----------------------------------

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

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

S. DODELSON. 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.

<b>AST-414-3</b>	<b>Populações Estelares</b>
------------------	-----------------------------

Pré-requisitos: AST-200-3 e AST-202-3

Conceito de populações estelares: histórico e atualidade. Populações estelares na Galáxia e em galáxias externas. Modelos de populações estelares simples. 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, nucleossínteses primordial e estelar, e modelos simples.

### **Bibliografia**

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

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.

TINSLEY, B. M. Evolution of the Stars and Gas in Galaxies - Fundamentals of Cosmic Physics. Gordon and Breach Science Publishers Ltd., Great Britain, 1980.

Artigos clássicos e/ou recentes.

<b>AST-415-3</b>	<b>Tópicos Especiais em Astrofísica</b>
------------------	---

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.

<b>AST-416-3</b>	<b>Fundamentos de Astrobiologia</b>
------------------	-------------------------------------

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, Titan; Terraformação; busca de exoplanetas; o projeto SETI.

### **Bibliografia**

DAVID A. ROTHERY & IAIN GILMOUR. An Introduction to Astrobiology, Cambridge, 2018.

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

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

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

IAN W. M. SMITH, CHARLES S. COCKELL, SYDNEY LEACH (Eds.). Astrochemistry and Astrobiology (Physical Chemistry in Action), Springer, 2013

CHRIS IMPEY, JONATHAN LUNINE, JOSÉ FUNES (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. Benajmin Cummings, 2004.

<b>AST-417-3</b>	<b>Astroestatística</b>
------------------	-------------------------

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.

<b>AST-408-4</b>	<b>Astrofísica Computacional</b>
------------------	----------------------------------

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. Mãos 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.

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, 25 de novembro de 2022

Catálogo aprovado pelo CPG em 29 de novembro de 2022.