



Plano de Estudos

Escola: Instituto de Investigação e Formação Avançada

Grau: Programa de Doutoramento

Curso: Astrofísica Computacional (cód. 234)

1.º Ano - 1.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT08858D	Modelação Avançada em Astrofísica	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08859D	Fluidos Astrofísicos e Turbulência	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08860D	Hidrodinâmica Numérica	Matemática	3	Semestral	78
Tese					

1.º Ano - 2.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT08861D	MPI/OpenMP e Aplicações à Astrofísica	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08862D	Redução de Dados e Métodos Estatísticos	Matemática	6	Semestral	156
MAT08863D	Magnetohidrodinâmica Numérica	Matemática	3	Semestral	78
Tese					

2.º Ano - 3.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT08864D	Grelhas Adaptativas - AMR e BMR	Astrofísica	3	Semestral	78
Grupo de Optativas					
Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT08866D	Astrofísica Estelar	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08867D	Astronomia Galáctica	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08868D	Cosmologia	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08869D	Astrofísica de Meios Difusos	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08870D	Plasmas Astrofísicos	Astrofísica	6	Semestral	156
Tese					

2.º Ano - 4.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT08865D	Métodos SPH e N-Corpos	Matemática	3	Semestral	78



2.º Ano - 4.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Grupo de Optativas					
Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
MAT08866D	Astrofísica Estelar	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08867D	Astronomia Galáctica	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08868D	Cosmologia	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08869D	Astrofísica de Meios Difusos	Astrofísica	6	Semestral	156
MAT08870D	Plasmas Astrofísicos	Astrofísica	6	Semestral	156
FIS08871D	Física da Matéria Condensada/Nuclear Avançada	Física	6	Semestral	156
Tese					

3.º Ano - 5.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					

3.º Ano - 6.º Semestre

Código	Nome	Área Científica	ECTS	Duração	Horas
Tese					

Condições para obtenção do Grau:

Para aprovação na componente curricular, curso de doutoramento com 48 ECTS), é necessário a aprovação (através de avaliação ou creditação) das seguintes unidades curriculares: { \ }newline

{ \ }newline

1º Semestre: { \ }newline

- 3 UC Obrigatórias num total de 15 ECTS

{ \ }newline

2º Semestre: { \ }newline

- 3 UC Obrigatórias num total de 15 ECTS

{ \ }newline

3º Semestre: { \ }newline

- 1 UC Obrigatória num total de 3 ECTS { \ }newline

- 1 UC Optativa num total de 6 ECTS do conjunto de optativas disponíveis no plano de estudos

4º Semestre: { \ }newline

- 1 UC Obrigatória num total de 3 ECTS { \ }newline

- 1 UC Optativa num total de 6 ECTS do conjunto de optativas disponíveis no plano de estudos { \ }newline

Para obtenção do grau necessita de obter também aprovação nas provas públicas de defesa da Tese, decorrendo a investigação (Trabalho de Investigação para a Dissertação) desde o 1º ao 6º semestre, com um total de 132 ECTS

Conteúdos Programáticos



[Voltar](#)

Modelação Avançada em Astrofísica (MAT08858D)

I - Introdução à programação em C

Operadores aritméticos e lógicos. Instruções de controle de fluxo.

Funções. Vectores (arrays).

Apontadores. Estruturas e uniões.

II - Programação avançada em C

Desenvolvimento de um programa estruturado em C.

Gestão de ficheiros.

Memória stack e memória heap. Funções de alocação dinâmica de memória.

Pré-processor. Funções de entrada e saída de dados.

Opções do compilador gcc de controle do grau de optimização e do tipo de saída.

III - Formulação e implementação computacional de métodos numéricos

Polinómios de Legendre, Laguerre, Hermite e Chebyshev.

Resolução de sistemas de equações lineares. Métodos de Gauss-Seidel e pivoteamento. Factorização LU.

Sistemas de equações diferenciais stiff e não-stiff. Métodos de RK4 e RK5. Método de DBF (Backward Differentiation Formula) para sistemas stiff.

A equação de Poisson.

A equação do calor.

[Voltar](#)

Fluidos Astrofísicos e Turbulência (MAT08859D)

Natureza e características do movimento turbulento. Análise dimensional; teorema de Buckingham. Decomposição de Reynolds; tensões de Reynolds; o problema do fecho. Teoria de Prandtl; teoria-K. Difusão turbulenta de calor e de vapor de água. Teoria estatística da turbulência de Taylor; energia cinética turbulenta. Teoria de Kolmogorov. Espectro da turbulência. Definição de camada limite; estrutura da camada limite. Teoria estatística da turbulência. Difusão turbulenta. Turbulência em astrofísica. Dinâmica da vorticidade em movimentos turbulentos. Turbulência e dissipação. Viscosidade negativa.

[Voltar](#)

Hidrodinâmica Numérica (MAT08860D)

Escoamento de fluidos;

Método das Diferenças Finitas.

Método dos Volume Finitos;

Discretização conservativa.

Consistência, Estabilidade e Convergência.

Discretização temporal de equações Parabólicas e Hiperbólicas.

Discretização da equação de convecção-Difusão.

Leis de Conservação.

Método de Lax-Wendroff-Richtmeyer,

Método de Gudonov;

‘Solvers’ exacto e aproximados de Riemann;

Métodos HLL, HLLD, MUSCL e PPM;

Métodos implícitos.

[Voltar](#)

MPI/OpenMP e Aplicações à Astrofísica (MAT08861D)

Modelos de programação paralela: memória partilhada e memória distribuída. OpenMP. Message Passing Interface (MPI):

Funções, macros e tipos; Topologias; Comunicações: ponto-a-ponto, sincronizada e não-sincronizada, colectiva; Grupos e redes

virtuais. Aplicações: tempos de comunicação, números aleatórios, integração de Monte-Carlo, equação de Poisson e álgebra linear.



[Voltar](#)

Redução de Dados e Métodos Estatísticos (MAT08862D)

1. Análise Exploratória de Dados
2. Teoria das Probabilidades . Abordagem Clássica/Abordagem Bayesiana
3. Modelos Estatísticos . Estimção da densidade: Métodos paramétricos e não paramétricos
4. Inferência Estatística. Métodos de Estimção
5. Testes de Hipótese Paramétricos
6. Testes de Hipótese não Paramétricos
7. Análise de Correlação.
8. Análise de Regressão. Regressão linear: Symmetric least-squares regression. Ordinary least squares. Robust regression. Quantile regression. Measurement error models. Nonlinear regression and Generalized linear modeling (GLM): Poisson regression. Logistic regression. Residual analysis.
9. Análise Multivariada (Análise em Componentes Principais, Análise de Clusters)
10. Estimção e métodos de Monte Carlo
11. Métodos de Re-amostragem (Jackknife e bootstrap).
12. Redes Neurais e regressão

[Voltar](#)

Magnetohidrodinâmica Numérica (MAT08863D)

Magnetohydrodynamical Model

The magnetohydrodynamical model. Induction equation (ideal vs. resistive). MHD equations. Conservation form of the equations. Sources and sinks. Scale independence. Alfvén and Magnetosonic waves. Shocks and MHD jump conditions.

Amplification of the magnetic field

Dynamo mechanisms. Non-ideal MHD model. Shear box model. Numerical implementation.

[Voltar](#)

Grelhas Adaptativas - AMR e BMR (MAT08864D)

1. Introduction to grid refinement
2. Adaptive and block mesh refinement
3. Parallel mesh refinement - patching versus blocking mesh refinement
4. Efficiency and load balancing
5. Adaptive and block mesh refinement for MHD equations

6. Numerical implementation of AMR and BMR techniques
7. Visualization of AMR and BMR data-structures using pplot, Visit and Paraview



[Voltar](#)

Astrofísica de Meios Difusos (MAT08869D)

Atomic configuration and spectroscopy.

Indistinguishable particles. Shells and subshells. LS coupling. Fine and hyperfine structure. Electronic configuration and energy level separation. Spectroscopic notation. Worked examples. Hund's rules. Selection rules. Lifetime of excited states. Two-photon emission. Grotrian diagrams. Energy levels and transitions. Detailed examples: OII, SII, ArIV.

Atomic processes

Electron impact ionization (EII), excitation-autoionization, radiative and dielectronic recombination, charge exchange recombination and ionisation with H and He ions, as well as between ions of the same species, e.g., O and O⁺, H and H⁺, C and C⁺, etc.. Thermal and non-thermal distributions. Rates of two-particle processes. Abundances.

Population distributions

Local thermodynamic equilibrium (LTE). Corona equilibrium (CE). Validity conditions for LTE and CE. Steady state and time-dependent collisional radiative model. Ionic populations. Methods of calculation for the steady state condition. Ionic populations for the case of collisional ionisation equilibrium and non-equilibrium ionization.

Turbulence.

Reynolds decomposition. Kinematics of the mean flow. Momentum vs. viscous stress - Reynolds number. Laminar vs. turbulent flow. Turbulence in inviscid fluids. Transition to turbulence. Energy transfer and dissipation. Kinematics of the turbulent flow. Richardson cascade. Ergodicity. The closure problem. Kinetic energy in spectral space. Kolmogorov model. Dissipation and injection scales.

The interstellar medium (ISM) in galaxies.

General properties and constituents of the ISM. Elemental composition. Energy densities. The interstellar radiation field and its components: Galactic synchrotron emission, cosmic microwave background radiation, free-free emission and recombination continuum, infrared emission from dust, X-ray emission from hot plasma, radiation from photodissociation regions and starlight.

Neutral gas

Absorption lines (line profile, curve of growth), neutral atomic hydrogen (transition, density and temperature determination). Hot gas: Heating the gas; Observations (absorption lines, x-ray emission and absorption); Cooling the hot gas; Fountains, outflows and winds; Hot gas in cluster of galaxies.

Ionized gas

Saha equation, recombinations lines, absorption coefficients of RRLs, non-LTE conditions, Stromgren sphere. Chemistry of the ISM. Gas-phase chemistry (ion-molecule reactions, neutral-neutral reactions, photo-dissociation, dissociative recombination, grain-surface chemistry). Photodissociation regions (chemistry in PDRs, heating, cooling).

Star-formation

Cloud structure, fragmentation into self-gravitating Jeans unstable cores, turbulence in clouds, initial and present-day mass functions. Star formation across different types of galaxies. Modelling star formation.



Voltar

Plasmas Astrofísicos (MAT08870D)

Basic concepts

Definition of a plasma; Plasmas in the Universe; Ways of describing plasmas (exact, distribution functions, MHD); Governing equations (Maxwell's equations, MHD, kinetic theory, frame transformations); Basic plasma phenomena (Plasma oscillations; Charge shielding; Collisions, mean free path, and collisionless Plasmas). Individual particle motion: Equation of motion; Motion in uniform and static magnetic field (Larmor radius, Cyclotron frequency); Motion in uniform, static magnetic and electric fields.

Particle motions

Particle drifts (gravitational, curvature, and gradient drifts). Parameters for describing particle motion (pitch angle, guiding centre, magnetic moment). Motion in static, non-uniform magnetic field. Conservation of magnetic moment. Relativistic motion. Applications of particle motion (trapping, transport, acceleration and radiation).

Magnetohydrodynamics

One fluid MHD equations; Magnetic field behaviour in MHD; Flux freezing; The plasma cell model of astrophysical plasmas; electromagnetic forces in MHD. MHD waves, equilibria and instabilities. Resistivity MHD.

Dynamos

The dynamo problem. Qualitative dynamo behaviour. Magnetic fields in galaxies and the Galactic magnetic field. Magnetic field reversals in the Milky Way. Growth of cosmic magnetic fields. The Biermann battery. Cowling's theorem. Slow and fast dynamos. Mean field dynamo theory. Criticisms to the mean-field theory. Magnetic quenching. Alpha and omega effects. The alpha-omega dynamo. Parker instability. Cosmic-ray dynamo. Laboratory dynamo experiment.

Magnetic reconnection

Current-sheet formation: x-point collapse, current-sheets in potential fields, current-sheets in force-free and magnetostatic fields. Null points. Classification in 2D (super-slow reconnection, slow reconnection, fast reconnection); Steady reconnection-classical solutions (Sweet-Parker mechanism, Petschek's mechanism). Numerical modelling of magnetic reconnection. Reconnection in three-dimensions: 3D null points. Local bifurcations. Magnetic helicity. Reconnection at a 3D null point. Magnetic flipping. Numerical experiments.

MHD shocks

Shocks conservation relations (parallel shock, perpendicular shock, oblique shocks). Shock structure. Multi-fluid models. Formulation. Generalised Ohm's Law. Waves in cold two-fluid Plasmas.

Emission processes in plasmas

Emission due to fast particles, e.g., electrons and cosmic-rays. Ionisation structure and the effect of non-thermal distributions in the plasma emission. Numerical implementation of ionisation structure and emission processes.