

O Trabalho Científico do Astrofísico

Fabricio Ferrari

fabricio@ferrari.pro.br

IMEF–FURG

2012

O que é Astronomia

O que é Astronomia

- Estudo dos corpos celestes e fenômenos originados fora da atmosfera celeste.

O que é Astronomia

- Estudo dos corpos celestes e fenômenos originados fora da atmosfera celeste.
- planetas, estrelas, galáxias, matéria escura, energia escura, buracos negros, nebulosas, cometas, aglomerados estelares, radiação cósmica de fundo

O que é Astronomia

- Estudo dos corpos celestes e fenômenos originados fora da atmosfera celeste.
- planetas, estrelas, galáxias, matéria escura, energia escura, buracos negros, nebulosas, cometas, aglomerados estelares, radiação cósmica de fundo
- Formação e evolução (em todos os aspectos) dos objetos celestes e do Universo com um todo.

O que é Astronomia

- Estudo dos corpos celestes e fenômenos originados fora da atmosfera celeste.
- planetas, estrelas, galáxias, matéria escura, energia escura, buracos negros, nebulosas, cometas, aglomerados estelares, radiação cósmica de fundo
- Formação e evolução (em todos os aspectos) dos objetos celestes e do Universo com um todo.
- Astrometria, navegação celeste, sistemas de calendários, sistemas de tempo,

O que é Astronomia

- Estudo dos corpos celestes e fenômenos originados fora da atmosfera celeste.
- planetas, estrelas, galáxias, matéria escura, energia escura, buracos negros, nebulosas, cometas, aglomerados estelares, radiação cósmica de fundo
- Formação e evolução (em todos os aspectos) dos objetos celestes e do Universo com um todo.
- Astrometria, navegação celeste, sistemas de calendários, sistemas de tempo,
- Desenvolvimentos na matemática, física, estatística

Astronomia Antiga

Astronomia Antiga

- **Babilônios**

ciclos dos eclipses (Saros)

Astronomia Antiga

- **Babilônios**

ciclos dos eclipses (Saros)

- **Gregos**

Aristarchus de Samos (300 AC): o raio da Terra, Lua e Sol; modelo Heliocêntrico.

Hipparchus (150 AC): astrolábio, catálogo de 1020 estrelas.

Antikythera (100 AC): computador mecânico para posições astronômicas.



Astronomia Antiga

- **Babilônios**

ciclos dos eclipses (Saros)

- **Gregos**

Aristarchus de Samos (300 AC): o raio da Terra, Lua e Sol; modelo Heliocêntrico.

Hipparchus (150 AC): astrolábio, catálogo de 1020 estrelas.

Antikythera (100 AC): computador mecânico para posições astronômicas.

- **Islâmicos**

Observatórios no Século IX, nomes para estrelas, catálogo de objetos.



Astronomia Antiga

- **Babilônios**

ciclos dos eclipses (Saros)

- **Gregos**

Aristarchus de Samos (300 AC): o raio da Terra, Lua e Sol; modelo Heliocêntrico.

Hipparchus (150 AC): astrolábio, catálogo de 1020 estrelas.

Antikythera (100 AC): computador mecânico para posições astronômicas.

- **Islâmicos**

Observatórios no Século IX, nomes para estrelas, catálogo de objetos.

- **África**

Grande Zimbabwe (1100 DC): observatório



Astronomia e Revoluções Científicas

Astronomia e Revoluções Científicas

Renaissance

Copérnico: modelo heliocêntrico

Galileu: observações com telescópio

Kepler: sistema matemático para Sistema Solar

Newton: dinâmica e gravitação

Astronomia e Revoluções Científicas

Renaissance

Copérnico: modelo heliocêntrico

Galileu: observações com telescópio

Kepler: sistema matemático para Sistema Solar

Newton: dinâmica e gravitação

Séculos XVIII e XIX

Euler, Clairaut, and D'Alembert: problema de 3 corpos.

Lagrange, Laplace: mecânica celeste.

Fraunhofer, Kirchhoff: espectros estelares

Herschel: catálogo de 2000 'nebulosas', previsão e descoberta de Urano.

Astronomia no Brasil

- 1639: Observatório em Recife (1º Hemisfério Sul)
- 1730: Observatorio no Rio de Janeiro

Astronomia no Brasil

- 1639: Observatório em Recife (1º Hemisfério Sul)
- 1730: Observatorio no Rio de Janeiro
- 1827: **Observatório Nacional** (Dom Pedro I)
Expedição de 1919 em Sobral, CE → Relatividade Geral
- Início do Século XX: Porto Alegre, São Paulo.

Astronomia no Brasil

- 1639: Observatório em Recife (1º Hemisfério Sul)
- 1730: Observatorio no Rio de Janeiro
- 1827: **Observatório Nacional** (Dom Pedro I)
Expedição de 1919 em Sobral, CE → Relatividade Geral
- Início do Século XX: Porto Alegre, São Paulo.
- Anos 70:
Telescópios científicos para pesquisa
Instalação de pós-graduação em astrofísica.

Astronomia no Brasil

- 1639: Observatório em Recife (1º Hemisfério Sul)
- 1730: Observatorio no Rio de Janeiro
- 1827: **Observatório Nacional** (Dom Pedro I)
Expedição de 1919 em Sobral, CE → Relatividade Geral
- Início do Século XX: Porto Alegre, São Paulo.
- Anos 70:
Telescópios científicos para pesquisa
Instalação de pós-graduação em astrofísica.
- 1981: Observatório de Pico dos Dias (OPD)
Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)

Astronomia no Brasil

- 1639: Observatório em Recife (1º Hemisfério Sul)
- 1730: Observatorio no Rio de Janeiro
- 1827: **Observatório Nacional** (Dom Pedro I)
Expedição de 1919 em Sobral, CE → Relatividade Geral
- Início do Século XX: Porto Alegre, São Paulo.
- Anos 70:
Telescópios científicos para pesquisa
Instalação de pós-graduação em astrofísica.
- 1981: Observatório de Pico dos Dias (OPD)
Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)
- 1993: **Telescópios Gemini**
- 1998: **Telescópios SOAR**

Astronomia no Brasil

- 1639: Observatório em Recife (1º Hemisfério Sul)
- 1730: Observatorio no Rio de Janeiro
- 1827: **Observatório Nacional** (Dom Pedro I)
Expedição de 1919 em Sobral, CE → Relatividade Geral
- Início do Século XX: Porto Alegre, São Paulo.
- Anos 70:
Telescópios científicos para pesquisa
Instalação de pós-graduação em astrofísica.
- 1981: Observatório de Pico dos Dias (OPD)
Laboratório Nacional de Astrofísica (LNA)
- 1993: **Telescópios Gemini**
- 1998: **Telescópios SOAR**
- 2010: **European Southern Observatory** (...)

Pesquisa Atual em Astrofísica

250 Pesquisadores profissionais (IES)

250 Mestrados e Doutorandos

40 Instituições

200 publicações por ano (revistas indexadas)

Pesquisa Atual em Astrofísica

250 Pesquisadores profissionais (IES)

250 Mestrados e Doutorandos

40 Instituições

200 publicações por ano (revistas indexadas)

Projetos 2000-2011	Orçamento (US\$)
Gemini	4 600 000

Pesquisa Atual em Astrofísica

250 Pesquisadores profissionais (IES)

250 Mestrados e Doutorandos

40 Instituições

200 publicações por ano (revistas indexadas)

Projetos 2000-2011	Orçamento (US\$)
Gemini	4 600 000
SOAR	14 000 000
SIFS	1 420 000
BTFI	1 000 000
STELES	1 260 000
Spartan	775 000

Pesquisa Atual em Astrofísica

250 Pesquisadores profissionais (IES)

250 Mestrados e Doutorados

40 Instituições

200 publicações por ano (revistas indexadas)

Projetos 2000-2011	Orçamento (US\$)	
Gemini	4 600 000	
SOAR	14 000 000	
SIFS	1 420 000	
BTFI	1 000 000	
STELES	1 260 000	
Spartan	775 000	
IMPACTON	675 000	
Projeto Auger	4 100 000	
Antena gravitacional Schemberg	1 770 000,00	3 milhões/ano
COROT	1 700 000	
	~ 30 000 000	

Instrumentos Brasileiros

LNA, Pico dos Dias, MG, Brasil



Instrumentos Brasileiros

SOAR, Cerro Pachón, Chile



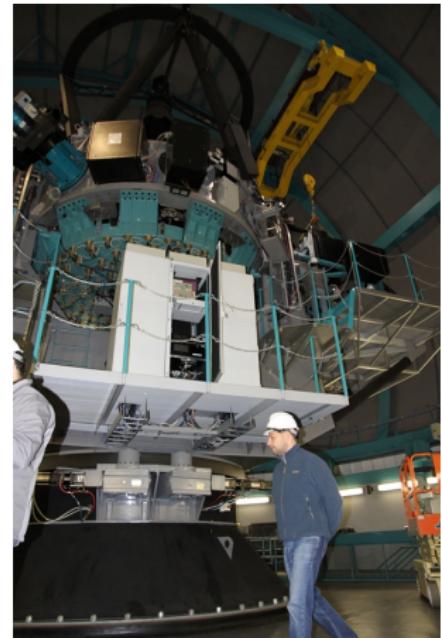
Brasil, EUA, Chile

Instrumentos Brasileiros

SOAR, Cerro Pachón, Chile



Brasil, EUA, Chile



Instrumentos Brasileiros

Gemini

1. Cerro Pachón, Chile

2. Mauna Kea, Hawaii, EUA



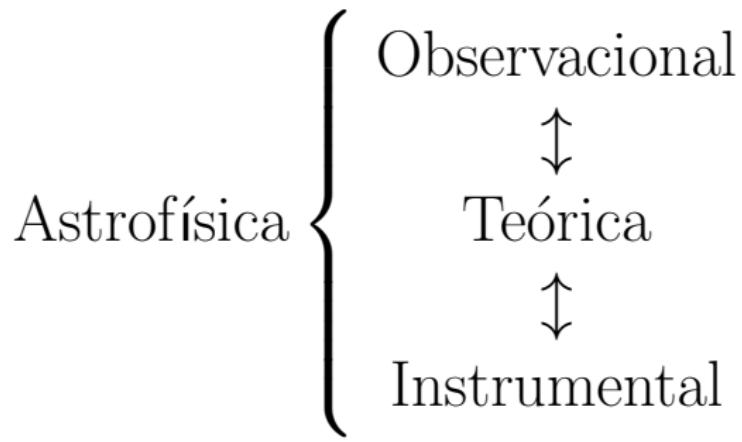
EUA, Reino Unido, Canadá, Chile, Austrália, Brasil e Argentina

Observatório Europeu do Sul

Cerro La Silla, Cerro Paranal, Chile



Países Europeus + Brasil?



Formação de um (bom) Astrofísico

Formação de um (bom) Astrofísico

Física:

- Mecânica Clássica*
- Mecânica Quântica
- Mecânica Estatística*,
- Termodinâmica
- Teoria Eletromagnética*
- Eletrônica*
- Física-matemática*
- Relatividade Especial e Geral
- Ótica*

Formação de um (bom) Astrofísico

Matemática e Estatística:

Física:

- Mecânica Clássica*
- Mecânica Quântica
- Mecânica Estatística*,
- Termodinâmica
- Teoria Eletromagnética*
- Eletrônica*
- Física-matemática*
- Relatividade Especial e Geral
- Ótica*

- Cálculo Diferencial e Integral*
- Álgebra Linear*
- Equações Diferenciais*
- Transformadas (Fourier, Laplace, Wavelets, Radon,...)*,
- Matemática Discreta*,
- Análise Numérica*
- Geometria Diferencial
- Teoria das Distribuições*
- PCA, ICA, (...)*

Formação de um (bom) Astrofísico

Física:

- Mecânica Clássica*
- Mecânica Quântica
- Mecânica Estatística*,
- Termodinâmica
- Teoria Eletromagnética*
- Eletrônica*
- Física-matemática*
- Relatividade Especial e Geral
- Ótica*

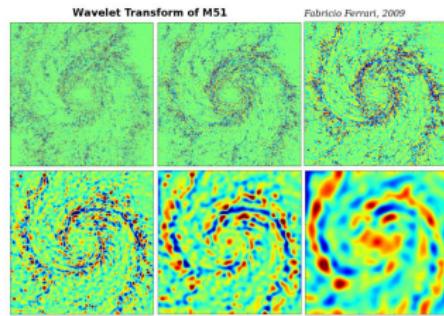
Matemática e Estatística:

- Cálculo Diferencial e Integral*
- Álgebra Linear*
- Equações Diferenciais*
- Transformadas (Fourier, Laplace, Wavelets, Radon,...)*,
- Matemática Discreta*,
- Análise Numérica*
- Geometria Diferencial
- Teoria das Distribuições*
- PCA, ICA, (...)*

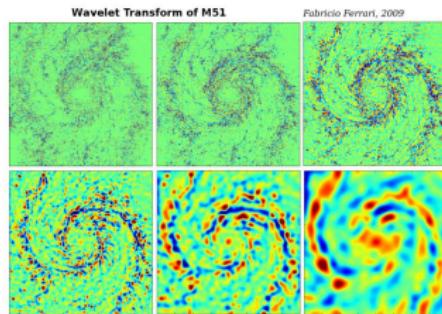
Computação

- Diferentes Arquiteturas (hw,sw)*
- Programação de alto desempenho*
- Programação paralela (cluster, GPUs)*
- Estruturas de dados*
- Banco de Dados
- Sistemas embarcados
- Computação Gráfica*
- Processamento de Sinais Digitais*

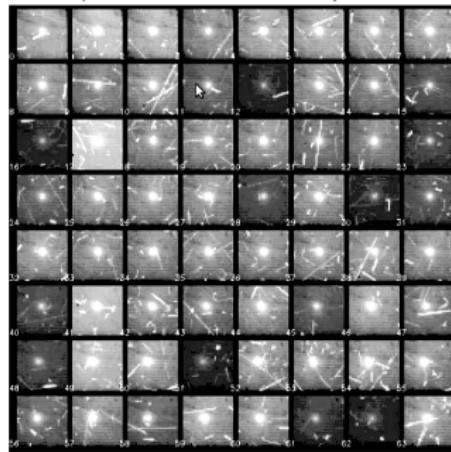
Exemplos



Exemplos

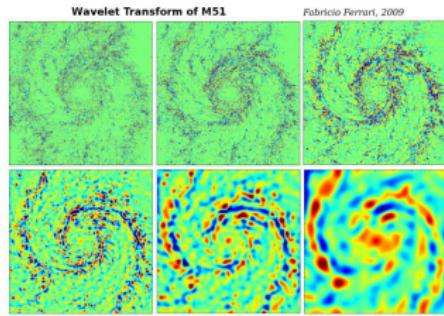


Observações do Satélite ISO antes do processamento

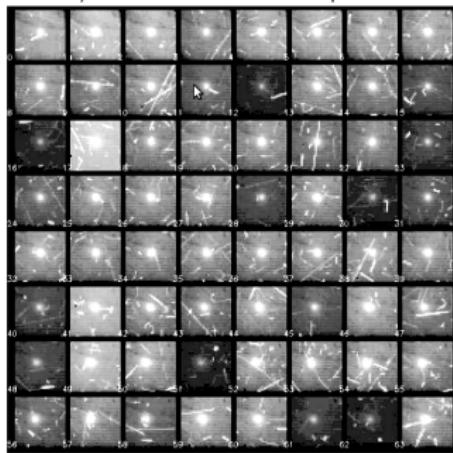


Exemplos

Modelo Nagai-Myamoto



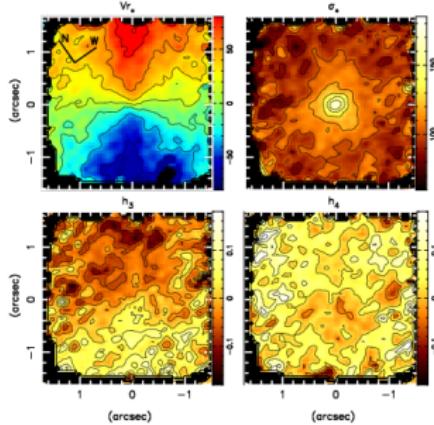
Observações do Satélite ISO antes do processamento



$$\langle v_\phi^2 \rangle(R, z) = \sigma^2 + R \frac{\partial \Phi}{\partial R} + \frac{R}{\rho} \frac{\partial}{\partial R} \int_z^\infty \rho \frac{\partial \Phi}{\partial z'} dz'$$
$$\zeta = \left[(z/a)^2 + (b/a)^2 \right]^{1/2} = \frac{1}{a} (z^2 + b^2)^{1/2}$$

$$\rho_{\text{NM}} \langle v_\phi^2 \rangle_{\text{NM}} = \frac{GM^2(b/a)^2}{8\pi a^4} \left\{ \frac{2r^2 + \zeta(\zeta+1)^2}{[r^2 + (\zeta+1)^2]^3 \zeta^3} \right\}$$
$$\rho_{\text{NM}} = \frac{b^2 M}{4\pi} \frac{aR^2 + [a + 3(z^2 + b^2)^{1/2}]}{[R^2 + [a + (z^2 + b^2)^{1/2}]^2]^{5/2}} \frac{[a + (z^2 + b^2)^{1/2}]^2}{(z^2 + b^2)^{3/2}}$$

Observações Gemini-GMOS NGC 4258



Atividades de um Astrofísico

- Planejar e conduzir observações.
- Desenvolver instrumentação e aplicativos para telescópios e dados oriundos deles.
- Utilizar telescópios para obtenção de dados científicos.

Atividades de um Astrofísico

- Planejar e conduzir observações.
- Desenvolver instrumentação e aplicativos para telescópios e dados oriundos deles.
- Utilizar telescópios para obtenção de dados científicos.
- Desenvolver e conduzir análise teórica e numérica para compreensão dos objetos astronômicos.
- Determinar implicações observáveis dos modelos teóricos e numéricos para confrontar com os dados.
- Estudar a formação, estrutura e evolução de planetas, estrelas, galáxias e do Universo como um todo.

Atividades de um Astrofísico

- Planejar e conduzir observações.
- Desenvolver instrumentação e aplicativos para telescópios e dados oriundos deles.
- Utilizar telescópios para obtenção de dados científicos.
- Desenvolver e conduzir análise teórica e numérica para compreensão dos objetos astronômicos.
- Determinar implicações observáveis dos modelos teóricos e numéricos para confrontar com os dados.
- Estudar a formação, estrutura e evolução de planetas, estrelas, galáxias e do Universo como um todo.
- Escrever e publicar os resultados científicos em revistas relevantes.
- Ensinar astronomia e astrofísica em diversos níveis.
- Apresentar palestras e seminários em conferências.

Telescópios + instrumentos

(quase) toda informação através de radiação eletromagnética
óptico, IV, UV, raios-X, rádio, microondas



Imageadores

olho → placa fotográfica → fotômetros → CCD

distribuição de matéria, distribuição de energia, distâncias

Imageadores

olho → placa fotográfica → fotômetros → CCD

distribuição de matéria, distribuição de energia, distâncias



Subaru Suprime Cam 80
Mpix

Imageadores

olho → placa fotográfica → fotômetros → CCD

distribuição de matéria, distribuição de energia, distâncias



Subaru Suprime Cam 80
Mpix

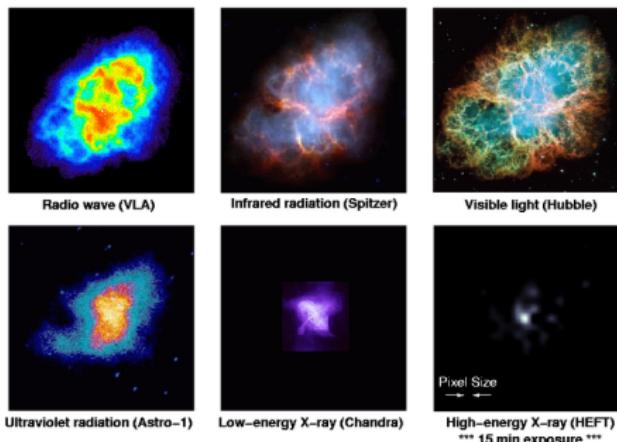
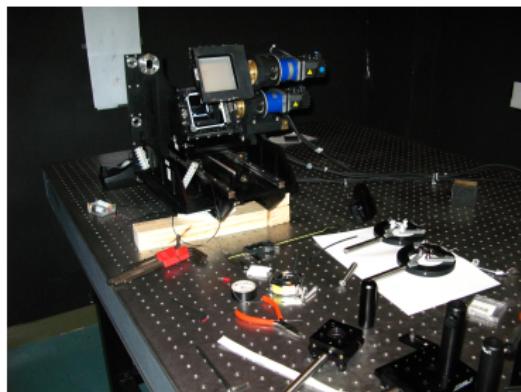


Aglomerado de Galáxias Abell 2218

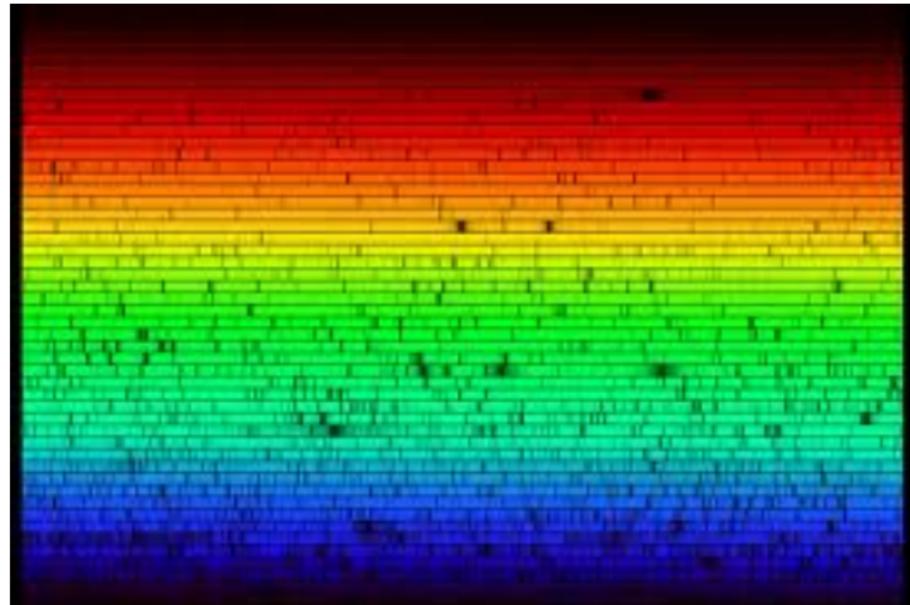
Espectrógrafos

Elementos químicos, temperatura, densidade, velocidade, populações estelares,

Crab Nebula: Remnant of an Exploded Star (Supernova)



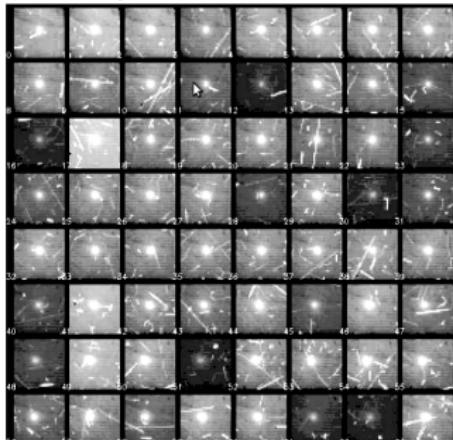
Espectro do Sol



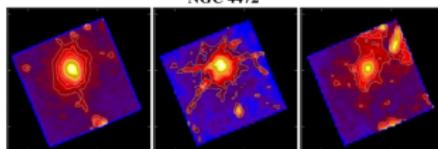
	abundância numérica	massa
H	92.0	73.4
He	7.8	25.0
C	0.02	0.20
N	0.008	0.09
O	0.06	0.8
Ne	0.01	0.16
Mg	0.003	0.06
Si	0.004	0.09
S	0.002	0.05
Fe	0.003	0.14

Análise dos Dados

sensibilidade do detector, ruído eletrônico, raios cósmicos, calibração em fluxo, calibração em comprimento de onda, aberrações.



NGC 4472



Satélite ISO (dados crus e processados) – F.Ferrari

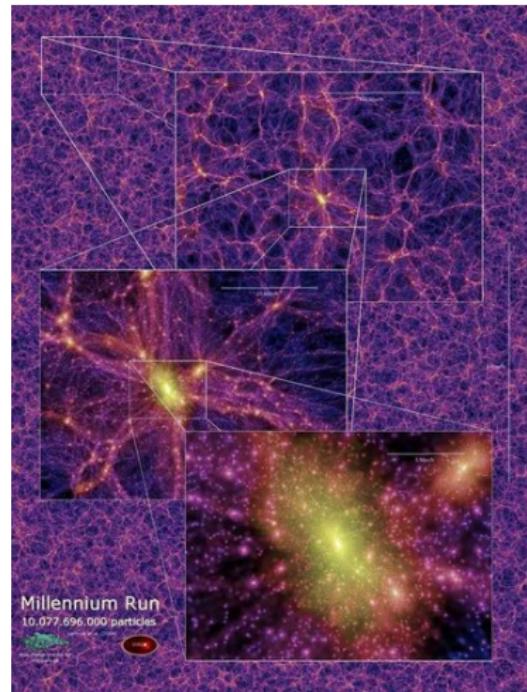


Imagens do HST antes e
depois da correção

Astrofísica Teórica

Dinâmica de Sistemas Estelares

- Teoria potencial
- Órbitas Estelares
- Equilíbrio e Estabilidade de Sistemas Estelares
- Estrutura Espiral
- Formação de Galáxias
- Cosmologia
- Simulações N-corpos



10^{10} partículas

Modelo Dinâmico de NGC 4258

Ferrari et al 2011

Equações de Jeans

$$\begin{aligned}\frac{\partial(\rho \langle v_R^2 \rangle)}{\partial R} + \frac{\partial(\rho \langle v_R v_z \rangle)}{\partial z} + \rho \left(\frac{\langle v_R^2 \rangle - \langle v_\phi^2 \rangle}{R} + \frac{\partial \Phi}{\partial R} \right) &= 0 \\ \frac{\rho \langle v_R v_\phi \rangle}{\partial R} + \frac{\partial(\rho \langle v_\phi v_z \rangle)}{\partial z} + \frac{2\rho \langle v_R v_\phi \rangle}{R} &= 0 \\ \frac{\rho \langle v_R v_z \rangle}{\partial R} + \frac{\rho \langle v_z^2 \rangle}{\partial z} + \frac{\rho \langle v_R v_z \rangle}{R} + \rho \frac{\partial \Phi}{\partial z} &= 0\end{aligned}$$

Modelo Nagai-Myamoto

$$\langle v_\phi^2 \rangle(R, z) = \sigma^2 + R \frac{\partial \Phi}{\partial R} + \frac{R}{\rho} \frac{\partial}{\partial R} \int_z^\infty \rho \frac{\partial \Phi}{\partial z'} dz'.$$

$$\zeta = [(z/a)^2 + (b/a)^2]^{1/2} = \frac{1}{a} (z^2 + b^2)^{1/2}$$

$$\rho_{\text{NM}} \langle v_\phi^2 \rangle_{\text{NM}} = \frac{GM^2(b/a)^2}{8\pi a^4} \left\{ \frac{2r^2 + \zeta(\zeta+1)^2}{[r^2 + (\zeta+1)^2]^3 \zeta^3} \right\}$$

$$\rho_{\text{NM}} = \frac{b^2 M}{4\pi} \frac{aR^2 + [a + 3(z^2 + b^2)^{1/2}] [a + (z^2 + b^2)^{1/2}]^2}{\left\{ R^2 + [a + (z^2 + b^2)^{1/2}]^2 \right\}^{5/2} (z^2 + b^2)^{3/2}}$$

Modelo Dinâmico de NGC 4258

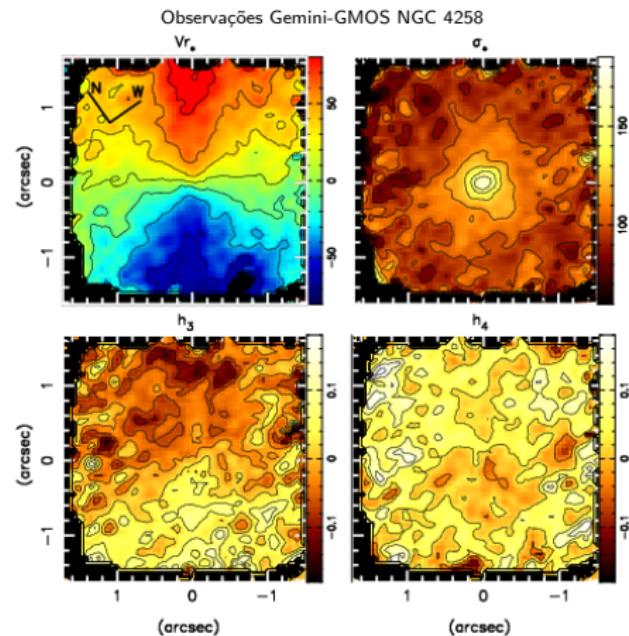
Ferrari et al 2011

Equações de Jeans

$$\begin{aligned}\frac{\partial(\rho \langle v_R^2 \rangle)}{\partial R} + \frac{\partial(\rho \langle v_R v_z \rangle)}{\partial z} + \rho \left(\frac{\langle v_R^2 \rangle - \langle v_\phi^2 \rangle}{R} + \frac{\partial \Phi}{\partial R} \right) &= 0 \\ \frac{\rho \langle v_R v_\phi \rangle}{\partial R} + \frac{\partial(\rho \langle v_\phi v_z \rangle)}{\partial z} + \frac{2\rho \langle v_R v_\phi \rangle}{R} &= 0 \\ \frac{\rho \langle v_R v_z \rangle}{\partial R} + \frac{\rho \langle v_z^2 \rangle}{\partial z} + \frac{\rho \langle v_R v_z \rangle}{R} + \rho \frac{\partial \Phi}{\partial z} &= 0\end{aligned}$$

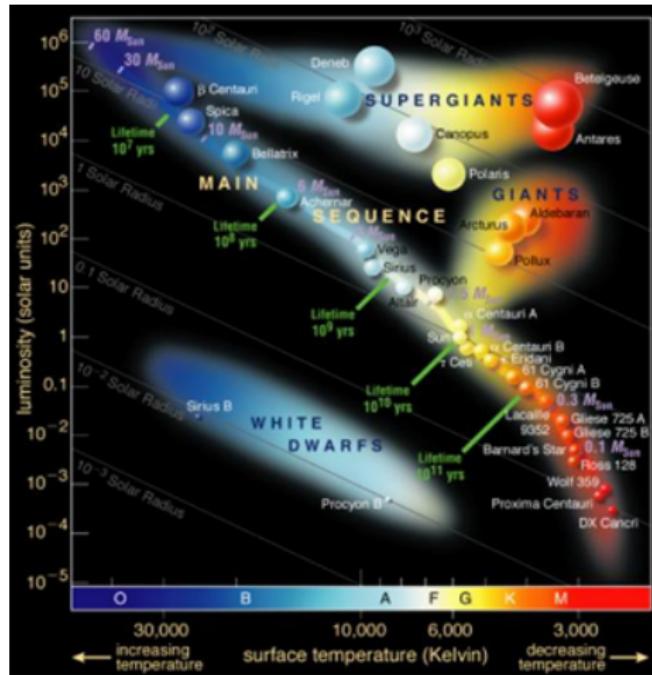
Modelo Nagai-Myamoto

$$\begin{aligned}\langle v_\phi^2 \rangle(R, z) &= \sigma^2 + R \frac{\partial \Phi}{\partial R} + \frac{R}{\rho} \frac{\partial}{\partial R} \int_z^\infty \rho \frac{\partial \Phi}{\partial z'} dz'. \\ \zeta &= [(z/a)^2 + (b/a)^2]^{1/2} = \frac{1}{a} (z^2 + b^2)^{1/2} \\ \rho_{\text{NM}} \langle v_\phi^2 \rangle_{\text{NM}} &= \frac{GM^2(b/a)^2}{8\pi a^4} \left\{ \frac{2r^2 + \zeta(\zeta+1)^2}{[r^2 + (\zeta+1)^2]^3 \zeta^3} \right\} \\ \rho_{\text{NM}} &= \frac{b^2 M}{4\pi} \frac{aR^2 + [a + 3(z^2 + b^2)^{1/2}] [a + (z^2 + b^2)^{1/2}]^2}{\left\{ R^2 + [a + (z^2 + b^2)^{1/2}]^2 \right\}^{5/2} (z^2 + b^2)^{3/2}}\end{aligned}$$



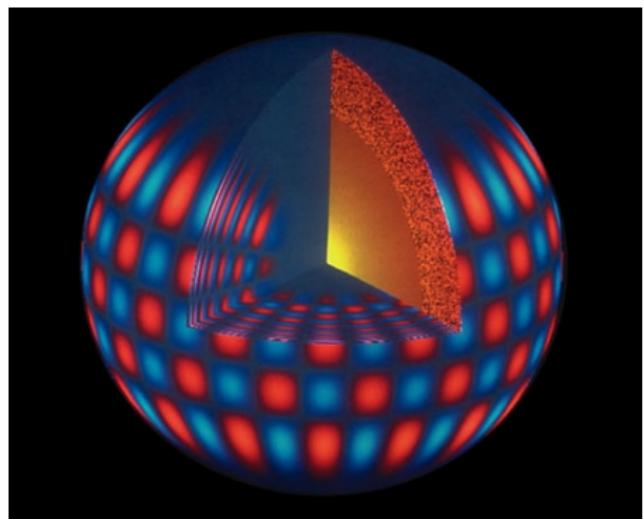
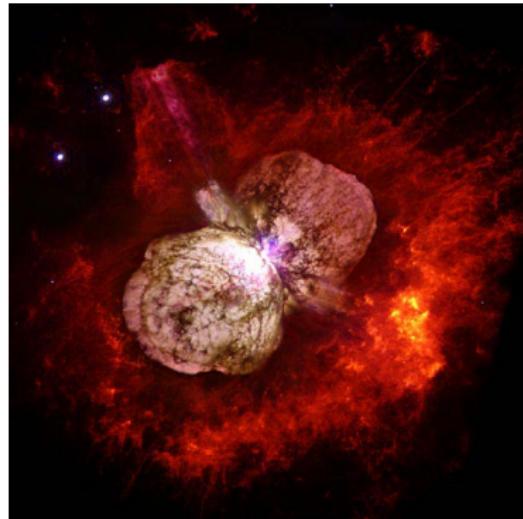
Evolução Estelar

- Formação
- Estrutura estelar
- Ciclo de vida
- Nucleosíntese
- Estágios tardios – anã-branca, estrela de nêutrons, buraco negro



Exemplos

Eta Carinae e Modelo de Pulsação

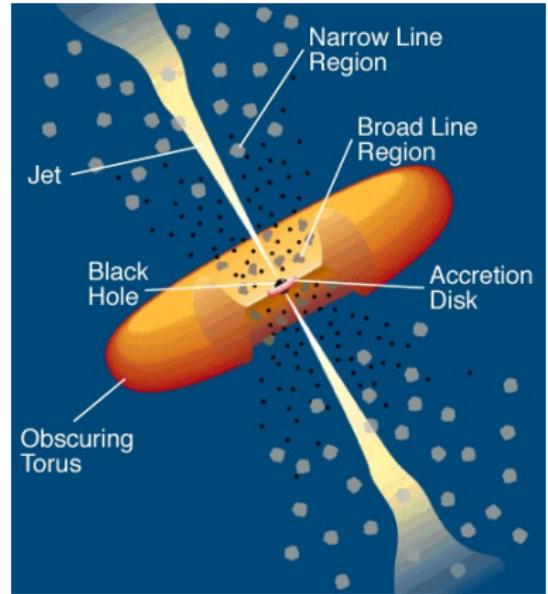


Processos Radiativos

- Emissão e absorção de radiação
- Equilíbrio térmico
- Linhas espectrais
- Difusão radiativa
- Radiação sincrotron, Cyclotron, Bremsstrahlung,
- Espalhamento Compton



Núcleos de Galáxias Ativas e Buracos Negros



Núcleos de Astrofísica

RS

- **FURG**
- UFPel
- UFRGS
- UFSM

Núcleos de Astrofísica

RS

- **FURG**
- UFPel
- UFRGS
- UFSM

BR

- UFSC, SC
- USP, SP
- Univap, SP
- INPE, SP
- Unesp, SP
- ON, RJ
- UFRJ, RJ
- UFRN, RN
- CBPF, RJ

...

Mais Informações

F.Ferrari www.ferrari.pro.br

IF-UFRGS astro.if.ufrgs.br
IAG-USP www.astro.iag.usp.br

LNA www.lna.br
SOAR www.soar telescope.org
Gemini www.gemini.edu