

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**Instituto de Física**  
**Curso de Pós-Graduação**  
**2o. Semestre de 2009**

**Título do Curso: Física Hadrônica e Nuclear: estrelas compactas.**

**Natureza do Curso: Curso de Leitura.**

**Professor Responsável: Cesar Augusto Zen Vasconcellos.**

**Carga Horária Semanal: 2 horas.**

**Créditos: 02.**

**Pré-requisitos: Mecânica Quântica do Curso de Graduação**

**População Alvo: Alunos do Curso de Pós-Graduação em Física**

**Súmula dos Conteúdos:**

Relatividade Geral. Invariância de Lorentz. Escalares, Vetores e Tensores em Coordenadas Espaço-Tempo Curvilíneas. Princípio da Equivalência da Inércia e da Gravitação. Gravidade. Covariância. Tensor de Curvatura de Riemann. Equações de Campo de Einstein. Estrelas Relativísticas. Estrelas Compactas. Anãs Brancas, Estrelas de Nêutrons e Buracos Negros.

**Conteúdo Programático e Cronograma:**

O cronograma do curso é o seguinte -

Início do Curso: 03/agosto/2009;

Término do Curso: 11/dezembro/2009.

O conteúdo programático será desenvolvido em três (3) partes organizadas na forma que segue:

• **Parte 1 - Introdução ao Tema (1a. e 2a. semanas):**

1. Estrelas Compactas.
2. Estrelas Compactas e a Física Nuclear Relativística.
3. Estrelas Compactas e a Física da Matéria Densa.

• **Parte 2 - Relatividade Geral (3a. - 9a. semanas):**

1. Invariância de Lorentz.
  - (a) Transformações de Lorentz.
  - (b) Vetores Covariantes e Contravariantes.
  - (c) Tensor Energia-Momentum de um Fluido Perfeito.
  - (d) Cone de Luz.
2. Escalares, Vetores e Tensores em Coordenadas Curvilíneas.
3. Princípio de Equivalência da Inércia e da Gravitação.
  - (a) Fótons em um Campo Gravitacional.
  - (b) Gravidade *Tidal* (*Efeito de Maré*).
  - (c) Curvatura do Espaço-Tempo.
  - (d) Conservação de Energia e Curvatura.
4. Gravidade.

- (a) Definição Matemática de Sistemas de Referência de Lorentz Locais.
  - (b) Geodésica.
  - (c) Comparação com Resultados da Formulação Newtoniana para a Gravidade.
5. Covariância.
- (a) Princípio Geral da Covariância.
  - (b) Diferenciação Covariante.
  - (c) Equação da Geodésica e o Princípio da Covariância.
  - (d) Divergência Covariante e Quantidades Conservadas.
6. Tensor de Curvatura de Riemann.
- (a) Derivada Covariante de Segunda Ordem de Escalares e de Vetores.
  - (b) Simetrias do Tensor de Riemann.
  - (c) Tensor de Riemann e Curvatura do Espaço-Tempo.
  - (d) Derivada Covariante em Segunda Ordem de Tensores.
  - (e) Identidades de Bianchi.
  - (f) Tensor de Einstein.
7. Equações do Campo Gravitacional de Einstein.
8. Estrelas Relativísticas.
- (a) Métrica no Espaço-Tempo Estático e Isotrópico.
  - (b) Solução de Schwarzschild.
  - (c) Tensor de Riemann e o Exterior de uma Estrela de Schwarzschild.
  - (d) Tensor de Energia-Momentum da Matéria.
  - (e) Equações de Oppenheimer-Volkoff.
  - (f) Colapso Gravitacional e Massa-Limite.
9. Princípio da Ação e a Gravidade.

• **Parte 3 - Estrelas Compactas (10a. - 18a. semanas):**

- 1. *Nascimento e Morte* de uma Estrela.
- 2. Unidades Gravitacionais e Parâmetros Dimensionais de Estrelas de Nêutrons.
- 3. Decomposição Parcial da Matéria sob a Ação do Campo Gravitacional.
- 4. Equações Relativísticas da Estrutura Estelar.
- 5. Neutralidade Elétrica de Estrelas.
- 6. Potencial Químico.
- 7. Deslocamento Gravitacional ao Vermelho.
  - (a) Átomo sob a Ação de Campos Intensos.
  - (b) Deslocamento ao Vermelho de um Campo Gravitacional Estático.
  - (c) Deslocamento Gravitacional ao Vermelho: Luz Emitida e Recebida.
  - (d) Medições de Razões Massa/Raio de Estrelas Através de Emissões com Deslocamento ao Vermelho.
- 8. Anãs Brancas e Estrelas de Nêutrons.
  - (a) Breve Revisão de Aspectos Fenomenológicos de Anãs Brancas e de Estrelas de Nêutrons.
  - (b) Equação de Estado do Gás de Fermi para Núcleons e Elétrons.
  - (c) Limites de Alta e Baixa Densidades.
  - (d) Anãs Brancas *Politrópicas* e *Newtonianas*.

- (e) Estabilidade Estelar.
  - (f) Região Eletrônica Não-Relativística.
  - (g) Região Eletrônica Relativística: Massa Assintótica de Anãs Brancas.
  - (h) Massas Limites de Anãs Brancas e Estrelas de Nêutrons.
  - (i) Estrela de Nêutrons como um Gás de Nêutrons Ideal.
9. Modelos de Anãs Brancas
    - (a) Matéria e sua Natureza à Densidades Típicas em Anãs Brancas.
    - (b) Anãs Brancas Compostas por Carbono e Hidrogênio.
  10. Sequências Estelares de Anãs Brancas e de Estrelas de Nêutrons.
  11. Estrelas com Densidade Uniforme.
  12. Número Bariônico de um Estrela.
  13. Limites de Massa Máxima de uma Estrela de Nêutrons.
  14. Região Acima dos Limites de Massa Máxima de uma Estrela de Nêutrons.
  15. Buracos Negros.
    - (a) Regiões Interiores e Exteriores de Buracos Negros.
    - (b) Densidades em Buracos Negros.

### **Procedimentos Didáticos:**

Devido à natureza da disciplina, o Curso terá caráter teórico, contemplando a análise e a discussão de modelos e de problemas associados ao tema proposto<sup>1</sup>. O Curso constituir-se-á da leitura e de encontros semanais, dos quais participarão o professor e os alunos do Curso, com o intuito de possibilitar a discussão acadêmica dos tópicos enumerados no conteúdo programático da disciplina. Os encontros supra mencionados serão realizados uma vez por semana, com duração de duas horas cada um deles.

### **Avaliação**

A avaliação terá como base: (a) o desempenho dos alunos demonstrado nas discussões mencionadas; (b) um relatório, circunstanciado, contendo uma síntese analítica dos principais tópicos abordados durante o Curso.

### **Critérios de Avaliação**

Serão avaliados o desempenho dos alunos nos encontros acima mencionados bem como o relatório citado. Nos encontros semanais, em particular, o aluno será avaliado tendo como base o grau de *evolução* que demonstrar na compreensão dos temas propostos. Cada aluno receberá então uma nota entre 0 e 10. O Conceito Final corresponderá à estas avaliações segundo o seguinte critério:

- $0.0 \leq \text{Nota} < 6.0$  - Conceito D
- $6.0 \leq \text{Nota} < 7.5$  - Conceito C
- $7.5 \leq \text{Nota} < 9.0$  - Conceito B
- $9.0 \leq \text{Nota}$  - Conceito A.

### **Referências Bibliográficas de Consulta:**

---

<sup>1</sup>Maiores informações sobre o conteúdo programático da disciplina podem ser encontradas nas referências bibliográficas apresentadas no texto.

## References

- [1] , J. D. Walecka, *Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics*, Oxford University Press, New York, 1995.
- [2] N. K. Glendenning, *Compact Stars*, Springer Verlag, berlin, 1997.
- [3] D. Blaschke, N. K. Glendenning, A. Sedrakian (Eds.), *Physics of Neutron Star Interiors*, Springer Verlag, Berlin, 2001.
- [4] W. Plessas, L. Mathelitsch (Eds.), *Lectures on Quark Matter*, Springer Verlag, Berlin, 2002.

**Professor: Cesar A. Z. Vasconcellos.**