

FI263 - Tópicos de Física Teórica I (Turma B)

Introdução ao Cálculo Tensorial e a Formulações Covariantes na Física

Docente: Marcio José Menon (DRCC)

Período: segundo semestre de 2014 - segundas e quartas - 14:00 e 15:00 hs

Número de Créditos: 4

I. Programa

0. Introdução Geral: Conceitos de Vetores e Objetivos da Álgebra Tensorial

- 0.1 Representação Geométrica Elementar
- 0.2 Álgebras Vetoriais: Gibbs-Heaviside e Quatérnions
- 0.3 Álgebra Linear: Espaço Vetorial sobre um Corpo
- 0.4 Transformação de Coordenadas e Álgebra Tensorial

1. Simetrias, Sistemas de Coordenadas e Métrica

- 1.1 Simetrias Retangular, Circular, Esférica e Cilíndrica
- 1.2 Sistemas de Coordenadas Curvilíneas
- 1.3 Forma Quadrática Fundamental e Métrica

2. Transformação de Coordenadas: Definições de Escalares, Vetores e Operadores

- 2.1 Conceitos Básicos
- 2.2 Transformação de Vetores e Escalares
- 2.3 Transformação de Operadores
- 2.4 Definições Via Transformação de Coordenadas

3. Componentes Contravariantes e Covariantes de um Vetor

- 3.1 Introdução
- 3.2 Aspectos Geométricos das Componentes de um Vetor: “O Problema”
- 3.3 Bases Recíprocas
- 3.4 Componentes Contravariantes e Covariantes
- 3.5 Transformação de Coordenadas - Denominações
- 3.6 Relações entre as Componentes Contravariantes e Covariantes: Métrica
- 3.7 Aplicações: Sistemas de Coordenadas Curvilíneas e Retilíneas
- 3.8 Definição Geral de Vetores Via Transformação de Coordenadas

4. Introdução ao Conceito de Tensores

- 4.1 Definição de Operadores: Transformação de Coordenadas
- 4.2 Tensores do Ordem 0, 1 e 2 em Espaços de Dimensão 3
- 4.3 Tensores de Ordem N em Espaços de Dimensão 3
- 4.4 Tensores de Ordem N em Espaços de Dimensão n
- 4.5 Exemplos e Aplicações
- 4.6 Conceitos Básicos de Análise Tensorial

5. Tópicos de Relatividade Especial e Geral

- 5.1 Mecânica Newtoniana e as Transformações de Galileu
- 5.2 Princípios da Relatividade Especial e as Transformações de Lorentz
- 5.3 Intervalo entre Dois Eventos (Tempo, Luz e Espaço)
- 5.4 Contração do Comprimento e Dilatação Temporal
- 5.5 Espaço de Minkowski - Quadri vetores
- 5.6 Componentes Covariantes e Contravariantes
- 5.7 Métrica do Espaço de Minkowski - Tensores
- 5.8 Quadrivelocidade e Quadrimomento
- 5.9 Relatividade Geral e Formulação Covariante

6. Formulação Covariante da Eletrodinâmica

- 6.1 Equações de Maxwell e os Potenciais Escalar e Vetorial
- 6.2 Invariância de Calibre - Calibres de Lorentz e de Coulomb
- 6.3 Quadri vetor Nabla e D'Alembertiano
- 6.4 Quadri vetores Densidade de Corrente e Potencial
- 6.5 Simetrias Associadas aos Campos Elétrico e Magnético
- 6.6 Tensor Intensidade do Campo Eletromagnético - Tensor Dual
- 6.7 Equações de Maxwell na Forma Tensorial

II. Bibliografia

- Básica

- M.J. Menon, Notas de Aula (slides), <http://www.ifi.unicamp.br/~menon/Fisica-Matematica/>
- A.I. Borisenko, I.E. Tarapov, *Vector and Tensor Analysis with Applications* (Dover, New York, 1979).
- I.S. Sokolnikoff, *Tensor Analysis* (John Wiley, New York, 1964).
- B.F. Schutz, *A First Course in General Relativity* (Cambridge University Press, Cambridge, 1993).
- J. Foster, J.D. Nightingale, *A Short Course in General Relativity* (Springer, New York, 1994).

- W. Rindler, *Essential Relativity*, Texts and Monographs in Physics, (Spring-Verlag, 1979).
 - A. Einstein, “Os Fundamentos da Teoria da Relatividade Geral”, in *O Princípio da Relatividade*, Textos Fundamentais de Física Moderna, Volume I (Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1971).
- Complementar
- M.J. Menon, *Tópicos de Análise Vetorial, Álgebra Linear e Introdução ao Conceito de Tensores*, Apostila (em fase de edição).
 - C. Kittel e outros *Mecânica*, Curso de Física de Berkeley Vol. 1 (Edgard Blücher, São Paulo, 1970), Caps. 10 a 14.
 - R. Resnick, *Introdução à Relatividade Especial* (Polígono, São Paulo, 1971).
 - F.W. Byron, R.W. Fuller, *Mathematics of Classical and Quantum Physics*, (Dover, 1992).
 - G.B. Arfken, H.J. Weber, *Mathematical Methods for Physicists* (Hacourt A.P., 2001), caps. 1, 2 e 3.
 - M.R. Spiegel, *Análise Vetorial* (McGraw-Hill, São Paulo, 1974).
 - C.C. Silva, “Da força ao tensor: evolução do conceito físico e representação matemática do campo eletromagnético”, Tese de Doutorado, IFGW-UNICAMP, 2002.
(disponível em <http://webbif.ifi.unicamp.br/teses>)
 - J. Vaz Jr. “A Álgebra Geométrica do Espaço-Tempo e a Teoria da Relatividade”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 22, N. 1 (2000), pp. 5 - 31.
 - M.J. Menon, “Sobre as Origens das Definições dos Produtos Escalar e Vetorial”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vo. 31, N. 2 (2009), 2305 (1 a 11).
 - M. Cyrillo, M.J. Menon, “Expansão Multipolar do Potencial Eletrostático e a Definição do Momento de Quadrupolo”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, Vol. 18, N. 3 (1996), pp. 155 - 164.

III. Critério de Avaliação

- Avaliações

- Duas provas escritas, em sala de aula, individuais, com consulta livre a qualquer material (livros, apostilas, trabalhos, cadernos, anotações de aula).
- Um trabalho escrito *opcional*, individual ou em grupo de até 3 alunos (Seção IV).
- Um exame final.

- Aproveitamento

M : média aritmética das notas das provas ou das provas e do trabalho.

E : exame

$$\text{Média final } M_f = \frac{M + E}{2}.$$

Se $M \geq 7,0$: dispensa do exame.

$M_f \Rightarrow [8.5 - 10.0]$: A, $[7.0 - 8.4]$: B, $[5,0 - 6,9]$:C, < 5 : D.

IV. Trabalho Escrito

- Tema: o trabalho deverá ter como tema qualquer assunto ou tópico de interesse no curso.
- Nível: adequado a alunos com curso básico completo de Física ou Matemática (2 primeiros anos da graduação) e que permita um aprofundamento e/ou complementação dos conhecimentos adquiridos nesta disciplina.
- Estrutura: o texto poderá ser compuscripto ou manuscrito, devendo constar: título, autores, RA, resumo, introdução (motivação/importância do tema escolhido), desenvolvimento do tema em seções/subseções, conclusões e bibliografia.
- Bibliografia básica: Seção II.
- Apesar de o tema (com base no curso) ser livre, indicam-se a seguir, como exemplos, alguns assuntos de interesse:
 - Origens e Evolução Histórica do Cálculo Tensorial
 - Colisões de Partículas em Altas Energias: Leis de Conservação e Quadri-vetores
 - Bases Recíprocas e Cristalografia
 - Tensor de Ordem 2 - Momento de Quadrupolo (Eletromagnetismo, Física Nuclear)
 - Tensor de Ordem 3 - Momento de Octupolo
 - Espaços Métricos (e/ou Geometria Diferencial)
 - Espaço de Riemann
 - Espaço de Minkowski
 - Álgebra de Quatérnions
 - Álgebra de Grassmann (e/ou Álgebra de Clifford)
 - Tensor de Maxwell
 - Tópicos de Relatividade Geral (Formulação Tensorial)

UNICAMP, junho, 2014

Marcio José Menon