

## RESENHA

### O ENSINO DE RELATIVIDADE GERAL NA GRADUAÇÃO

#### 1. INTRODUÇÃO

Misner, Thorne e Wheeler, no prefácio de seu livro<sup>(1)</sup> comentam que em 1897, quando Einstein era estudante de graduação em Zurich, mais da metade das universidades da Europa não tinham, em seu currículo, um curso sequer da eletrodinâmica de Maxwell.

A situação da Teoria da Relatividade Geral em 1962 era a mesma da eletrodinâmica em 1897, a ponto de que um "bom" físico aconselhasse Kip S. Thorne, então iniciando sua pós-graduação, a não se dedicar a essa teoria "que tem tão pouca conexão com o restante da Física e Astronomia". O fato é citado em Will<sup>(2)</sup>.

Hoje, a situação mudou. Os estudantes ouvem falar em buracos negros, lei de Hubble para a expansão do Universo, teorias de gauge, pulsars, etc. e querem saber algo mais do que simples retórica a respeito da Teoria da Gravitação.

Respondendo a essa expectativa, foram surgindo diversos textos, em nível de graduação, tratando da Teoria de Einstein.

Dividimos a abordagem em duas grandes classes:

1ª Classe:- Textos que introduzem o cálculo tensorial tradicional, ou seja, com coordenadas.

Ex.:- Rindler<sup>(3)</sup>, Berman e Gomide<sup>(4)</sup>.

2ª Classe:- Textos que abordam a linguagem intrínseca da geometria diferencial moderna.

Ex.:- Schutz<sup>(5)</sup>, Clarke<sup>(6)</sup> e Burke<sup>(7)</sup>.

Os exemplos que apresentamos representam os casos "típicos" de cada abordagem.

#### 11. TEXTOS COM O CÁLCULO TENSORIAL CLÁSSICO

O Cálculo Tensorial Clássico é aquele no qual os tensores são definidos por suas propriedades transformacionais, de um sistema de referência para outro qualquer arbitrário.

Nesta categoria os textos para a graduação são de dois tipos: ou eles sobrelevam os aspectos qualitativos (como Rindler) sem deixar de lado os principais cálculos, ou eles procuram apresentar a teoria tal e qual Einstein a concebeu (como Berman e Gomide).

No texto de Rindler, que possui quase 300 páginas, são respondidas perguntas que a média dos estudantes se faz sobre a Teoria Restrita e a Geral, além de ser abordada a Cosmologia, no último capítulo.

Cerca de 100 páginas são dedicadas à Teoria da Relatividade Restrita, o mesmo número é dedicado à Teoria Geral, e o restante é repartido entre a Cosmologia e vários apêndices. Mas, ele é pobre em cálculos. Não chega nem mesmo a demonstrar a fórmula do tensor de Riemann-Christoffel de curvatura.

O texto de Berman e Gomide aborda o Cálculo Tensorial Clássico em espaços de Riemann, e a Teoria de Einstein da Relatividade Geral, nos diversos cálculos, que vão desde a aproximação newtoniana das equações rigorosas de campo, até as deduções dos resultados clássicos que redundaram nas verificações experimentais da teoria. Neste livro, em Apêndices, são abordadas ferramentas avançadas, como a derivada de Lie de um tensor, e as isometrias do campo gravitacional.

Em ambos os livros, somente se exige conhecimento das equações de Maxwell, Física Geral e Cálculo Avançado, ferramentas conhecidas nos últimos anos da graduação em Física.

### III. TEXTOS INCORPORANDO GEOMETRIA DIFERENCIAL MODERNA

O livro de Clarke examina formalmente a Relatividade Restrita e a Geral. 47 páginas são devotadas à primeira das teorias e 80 páginas à geral. São analisados os campos fracos, incluindo ondas gravitacionais, e a Cosmologia.

Como o título do livro admite, a abordagem é elementar, porém a inclusão da matemática "livre" de coordenadas torna este livro muito útil, podendo ser seguido de um estudo do livro de Misner, Thorne e Wheeler, já em nível de pós-graduação.

O livro de Bernard Schutz é mais abrangente. São 360 páginas assim distribuídas: 115 páginas de Relatividade Restrita, 85 páginas de fatos fundamentais e teóricos sobre Relatividade Geral e o restante do livro é dividido em 4 capítulos, intitulados: Radiação Gravitacional; Soluções Esféricas para Estrelas; Geometria de Schwarzschild e buracos negros; Cosmologia.

Um tópico muito interessante deste livro é a discussão do efeito Hawking, ou seja, a emissão quântica de radiação pelos bura-

cos negros. Este livro foi previsto para servir de texto para um curso anual, porém, omitindo partes, poderia servir para um curso de semestre. O livro de Schutz introduz as formas diferenciais, embora o formalismo esteja balanceado entre a linguagem clássica e a linguagem "livre" de coordenadas.

Mais original, porém, sem muito detalhe de cálculo analítico, é o livro de William Burke. Os capítulos de seu livro intitulam-se:

- 1) Relatividade Restrita
- 2) Geometria
- 3) Gravitação
- 4) Cosmologia.

Porém, apesar de ter 300 páginas, não se chega aqui a introduzir nem o tensor de curvatura nem o tensor energia-momento e, logo, não há lugar neste livro para as equações de campo de Einstein. No prefácio, Burke diz que este livro está no meio do caminho entre "Space-time Physics", de Taylor e Wheeler, e "Gravitation"<sup>(1)</sup>. Eu não concordo. O nível é o mais fraco de todos os livros citados neste artigo, embora Burke demonstre no livro que é muito inteligente e especialista em analogias.

#### IV. CONCLUSÕES

Hoje, na década de 80, dada a sua importância, a Teoria da Relatividade Geral deve ser estudada na graduação. A Teoria da Gravitação de Einstein está no coração da Física do século XX.

Os livros por nós analisados oferecem diversas possibilidades de introdução da teoria para a graduação.

#### REFERÊNCIAS

- (1) Misner, Thorne, Wheeler, "Gravitation", Freeman, 1973.
- (2) C.M. Will, "Theory and Experiment in Gravitational Physics", CUP, 1981.
- (3) W. Rindler, "Essential Relativity", Springer-Verlag, revised ed., 1983.
- (4) M.S. Berman, F.M. Gomide, "Cálculo Tensorial e Relatividade Geral - Uma Introdução", McGraw-Hill, São Paulo, 2ª edição, 1987.
- (5) B. Schutz, "A First Course in General Relativity", CUP, 1985.
- (6) C. Clarke, "Elementary General Relativity", Arnold, 1983.
- (7) W. Burke, "Spacetime, Geometry, Cosmology", University Science Books, 1980.