Propostas de alterações na Estrutura Curricular do Bacharelado em Física

A reforma curricular de 1992 introduziu o novo curso de Bacharelado em Física (BF), que se distingue do anterior por uma forte redução do número de créditos obrigatórios (126 contra 164). Paralelamente foi criada a Habilitação em Pesquisa Básica (HPB), que mantém muitas das características do Bacharelado vigente até 1991. Na HPB, as matérias de Mecânica, Eletromagnetismo e Mecânica Quântica continuam sendo ministradas em duas disciplinas semestrais cada (identificadas como I e II), enquanto o BF dedica a cada uma delas um único semestre. Com esta finalidade foram criadas as novas disciplinas Mecânica Clássica, Eletromagnetismo Clássico e Introdução à Física Quântica, que deveriam distinguir-se das correspondentes Mecânica I, Eletromagnetismo I e Mecânica Quântica I por apresentarem o conteúdo mínimo indispensável para a formação de um bacharel em física sem maior especialização.

Na avaliação da CG e de numerosos colegas, essas intenções não se concretizaram na prática, invalidando a justificativa para o que, no fundo, constituía uma duplicação de disciplinas. Para corrigir este estado de coisas, a CG está propondo uma unificação das disciplinas correspondentes, com os ajustes curriculares necessários para não se trair o espírito da proposta original do BF. Nessa tarefa a CG teve o inestimável auxílio de comissões *ad hoc* formadas por professores com experiência nas disciplinas envolvidas.

Apresentamos a seguir nossas propostas de alteração de disciplinas obrigatórias do currículo de Bacharelado em Física, subentendendo-se que as mesmas se aplicam igualmente às habilitações em Física Aplicada e Instrumentação, Microeletrônica e Oceanografia Física.

Proposta 1: Substituir Eletromagnetismo Clássico (FMA312) por Eletromagnetismo I (FMA303).

Comentários: Esta substituição sempre existiu na prática: FMA312 nunca chegou a ser oferecida, e a equivalência das duas disciplinas logo passou a ser automática para efeitos de regularização de histórico escolar. Esta decisão resultou de entendimentos entre a CG da época e o Departamento de Física Matemática.

Proposta 2: Substituir Mecânica Clássica (FMT312) por Mecânica I (FMT305), com ajustes nas ementas desta última e de Mecânica II (FMT306).

Comentários: A ementa de FMT312 foi considerada excessivamente ambiciosa por docentes que a ministraram. A ementa de FMT305, embora mais bem dimensionada, não teria o caráter de terminalidade necessário para uma disciplina única de Mecânica no currículo do BF (por exemplo, as equações de Lagrange são introduzidas somente em FMT306). Nossa proposta consiste em permutar material entre as Mecânicas I e II, de acordo com as sugestões da comissão *ad hoc* (formada pelos

Profs. Emerson J. V. Passos, Kasuo Ueta, Kazunori Watari e Vilma W. S. Vuolo) apresentadas em detalhe no Anexo I.

Proposta 3: Substituir Introdução à Física Quântica (FMA314) por Mecânica Quântica I (FMA403), com ajustes nas ementas desta última e de Mecânica Quântica II (FMA404) e aumento da carga horária de FMA403 de 4 para 6 h/semana.

Comentários: A comissão *ad hoc* (formada pelos Profs. Fernando T. C. Brant, João Carlos A. Barata, Maria José Bechara e Ricardo M. O. Galvão), ao propor a expansão do conteúdo de FMA403 e o conseqüente aumento da sua carga horária, levou em conta a importância dessa disciplina na formação básica dos alunos, e em particular o fato de que a mesma é requisito para as introduções à Física Nuclear, Física do Estado Sólido, Física Atômica e Molecular, etc. De fato, têm sido freqüentes as queixas de docentes dessas últimas disciplinas quanto à base insuficiente dos alunos em mecânica quântica. Cabe observar ainda que a ampliação sugerida restabeleceria a equivalência do antigo conjunto Estrutura da Matéria I e II + Introdução à Mecânica Quântica (5+5+6 créditos) com o atual conjunto Física V + Mecânica Quântica I e II (6+6+4 créditos). Tais argumentos levaram a CG a endossar a proposta, com a ressalva de que *não haverá aumento do número total de créditos obrigatórios em qualquer dos cursos do Bacharelado*. A nova ementa proposta para FMA403 (com um pequeno reflexo em FMA404) encontra-se no Anexo II.

ANEXO I

Prof. Hercílio Rechenberg
Presidente da CG/IF

São Paulo, 15 de abril de 1996

Caro Prof. Rechenberg.

Como membros da comissão formada a seu pedido para constituir uma proposta de adequação das ementas dos cursos "Física V" e "Mecânica Quântica I" (tendo em vista a substituição da disciplina "Introdução à Física Quântica"), vimos por meio desta apresentar as conclusões de nossos trabalhos.

Em primeiro lugar decidimos que a ementa do curso "Física V" deve ser mantida em sua integridade tal como consta do manual de "Programas Detalhados e Horários" distribuido no primeiro semestre de 1993 pela CG. Segundo nosso parecer, esta ementa é a que efetivamente vem sendo seguida nos cursos (a menos de pequenas adaptações individuais de cada professor ministrante) não sendo, assim, necessária nenhuma adaptação da mesma à atualidade do curso. (A sugestão de atualizar a ementa partiu da representação discente junto à CG que, provavelmente, baseou sua interpretação de que a ementa do curso não se encontrava atualizada em uma comparação dos cursos atuais com uma ementa simplificada encontrada nos manuais de graduação anuais, a qual não reproduz bem a ementa do manual supra-citado de 1993).

Recomendamos, porém, que a bibliografia desse curso seja alterada e passe a constar dos seguintes textos:

1. R. Eisberg e R. Resnick - "Física Quântica de Átomos e Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas".
2. H. Enge, M. R. Wehr e J. A. Richards - "Introduction to Atomic Physics".
3. R. A. Serway, C. J. Moses e C. A. Mayer - "Modern Physics".
4. P. Tipler - "Física Moderna".
5. M. Alonso e E. J. Finn - "Fundamental University Physics". Volume 3.

6. H. Haken e C. Wolf - "Atomic and Quantum Physics".

Em segundo lugar, a versão que propomos para a ementa do curso de "Mecânica Quântica I" é a seguinte:

1. Revisão de conceitos básicos de Mecânica Clássica: formalismo Lagrangeano e Hamiltoniano; variáveis conjugadas. (4h)

2. Revisão dos postulados da Mecânica Quântica. Estados e observáveis. Médias e variâncias. Evolução temporal (caso da partícula livre). A equação de onda para a partícula livre. Interpretação probabilística e valores médios. Equação para a partícula em um potencial. (4h)

3. Revisão das noções de auto-funções e auto-valores. A equação de auto-valores para a energia. Ortogonalidade das auto-funções. O postulado da expansão e interpretação dos coeficientes de expansão. Auto-funções do momento. Auto-funções simultâneas. (4h)

4. Problemas unidimensionais: a) partícula livre, b) degraus, barreiras e poços constituídos por regiões de potencial constante, c) o problema do poço duplo, d) o modelo de Kronig-Penney. (6h)

5. O oscilador harmônico unidimensional. (4h)

6. Teoria das perturbações independentes do tempo aplicada a problemas unidimensionais: efeitos em primeira e segunda ordem. (6h)

7. Estrutura geral da Mecânica Quântica: auto-funções e o teorema de expansão, operadores lineares, operadores auto-adjuntos, completeza, degenerescência, observáveis simultâneos, ortogonalização de estados degenerados. (6h)

8. A equação de Schrödinger em três dimensões. Separação do movimento do centro de massa. Invariância por rotação. A separação do momento angular. A equação radial. (4h)

9. Momento angular. O problema de auto-alores para L_z e L^2. Os operadores L. Funções de Legendre. (6h)

10. Momento de dipolo magnético orbital. Experiência de Stern-Gerlach. Spin. (4h)

11. Solução da equação radial no caso da partícula livre, do poço radial e do potencial coulombiano. (8h)

12. Átomo de hidrogênio. Números quânticos e degenerescências. O momento angular total e a interação spin-órbita. Estrutura fina. (6h)

13. Partículas idênticas. Indistinguibilidade. Simetria por troca de partículas idênticas. O principio de Pauli. Tabela periódica. Férmions e bósons. Noções de estatísticas quânticas. (8h)

A bibliografia proposta é a seguinte:

1. S. Gasiorowicz - "Física Quântica".

2. R. Liboff - "Quantum Physics".

3. B. H. Bransden e C. J. Joachin - "Introduction to Quantum Mechanics".

4. R. H. Dicke e J. P. Wittke - "Introduction to Quantum Mechanics".

5. J. J. Sakurai - "Modern Quantum Mechanics".

Com respeito à ementa proposta acima fazemos notar que a mesma foi montada tendo em vista um curso com **seis (6)** horas semanais e não quatro (4) horas semanais como atualmente se faz. É nosso entender que tal carga horária é totalmente indispensável a esse curso. Justificamos essa proposta de aumento da carga horária do curso na absoluta impossibilidade de apresentação adequada dos tópicos propostos em um tempo inferior, posto que a ementa proposta contém apenas o mínimo requerido a um curso introdutório de Mecânica Quântica que sirva às diferentes modalidades de bacharelado em Física existentes em nosso Instituto. Fazemos notar que a proposta de aumento do número de horas semanais desse curso não fere a idéia usualmente seguida em nosso Instituto de reduzir a carga de cursos localizados após o quarto semestre (e dar assim aos alunos mais tempo e oportunidade de dedicar-se ao estudo individual) pois o curso introdutório de Mecânica Quântica é um curso de natureza fundamental para toda a Física a ser aprendida nesse período da vida acadêmica de nossos alunos, merecendo assim um tempo maior de atividades em classe.

Finalmente, propomos que o tópico

- Sistemas de dois níveis. Coeficientes de Einstein.

passe a fazer parte integrante do curso "Mecânica Quântica II", após o tópico "Teoria de Perturbação independente do tempo". O mesmo tópico foi retirado da ementa do curso "Mecânica Quântica I" por falta de espaço e por ser mais adequado ao curso "Mecânica Quântica II".

Propomos também que os textos

- R. Liboff - "Quantum Physics".
- B. H. Bransden e C. J. Joachin - "Introduction to Quantum Mechanics".

passem a fazer parte da bibliografia recomendada para o curso "Mecânica Quântica II".

Consideramos que a ementa detalhada deve ser, assim que aprovada, reeditada e enviada a todos os docentes para conhecimento, não só da ementa do curso própriamente dita, mas também de seus pré-requisitos.

Membros da Comissão:
Prof. J. C. A. Barata
Prof.a M. J. Bechara
Prof. F. T. C. Brandt
Prof. R. M. O. Galvão

Em nome da Comissão

João Carlos Alves Barata
Departamento de Física Matemática
Tel. 818 7002

ANEXO II

MECÂNICA I

Movimento de uma partícula em uma dimensão

Leis de Newton. Exemplos simples de problemas de mecânica.

Conservação da energia. Energia potencial. Discussão qualitativa do movimento de uma partícula em uma dimensão. Movimento periódico. Oscilações lineares. Diagramas de fase. Oscilações amortecidas. Oscilações forçadas. Força externa oscilante. Princípio da super posição. Método da função de Green.

Movimento em um campo de força central

Conservação da energia. Forças centrais. Conservação do momento angular. Equação de movimento de uma partícula sob a ação de uma força central. Equação da órbita. Potencial efetivo. Discussão qualitativa do movimento de uma partícula em um campo de força central. Problema de 2 corpos. Massa reduzida. Movimento de uma partícula em um campo de força central inversamente proporcional ao quadrado da distância. Leis de Kepler. Teoria do espalhamento. Seção de choque. Espalhamento coulombiano. Cinemática do espalhamento de duas partículas.

Sistemas de muitas partículas
Momento Linear, Momento Angular e
Energia de um sistema de partículas
Leis de consevação para um sistema de partículas
Movimento em referenciais não inerciais.
Rotação de um sistema de coordenadas
Sistemas de coordenadas girante. Velocidade angular do sistema girante
Movimento em referenciais não inerciais. Força de Coriolis

Formalismo Lagrangeno

Coordenadas generalizadas. Equações de Lagrange. Potencial generalizado. Lagrangeana. Sistemas com vínculos. Princípio do trabalho virtual. Princípio de D'Alembert. Coordenadas generalizadas para sistemas com vínculos. Equações de Lagrange para sistemas com vínculos.

Simetrias e leis de conservação no formalismo lagrangeano.

Formalismo Hamiltoniano. Equações de Hamilton em termos dos parênteses de Poisson.

MECÂNICA II

Cinemática e Dinâmica dos corpos rígidos.
Coordenadas independentes do corpo rígido. Ângulos de Euler. Velocidade angular do corpo rígido. Energia cinética e momento angular de um corpo rígido.
Tensor de inércia e momentos principais de inércia. Equação de Euler.
Rotação em torno de um eixo.
Movimento do pião.

Pequenas oscilações

Frequências características e modos normais. Exemplos. Simetria e degeneres ciência.

Formalismo Hamiltoniano. Equações de Hamilton.

Cálculo das variações. Princípio de Hamilton. Princípio variacional para a equação de Hamilton.

Transformações canônicas. Parênteses de Poisson. Transformações canônicas infinitesimais. Simetrias e leis de conservação no formalismo Hamiltoniano.

Teoria de Hamilton-Jacobi. Variáveis de ângulo e ação.