



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



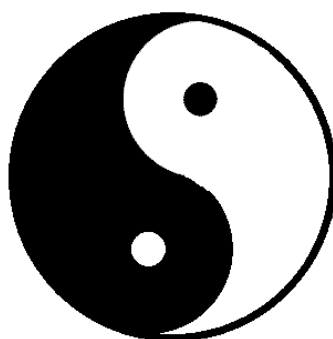
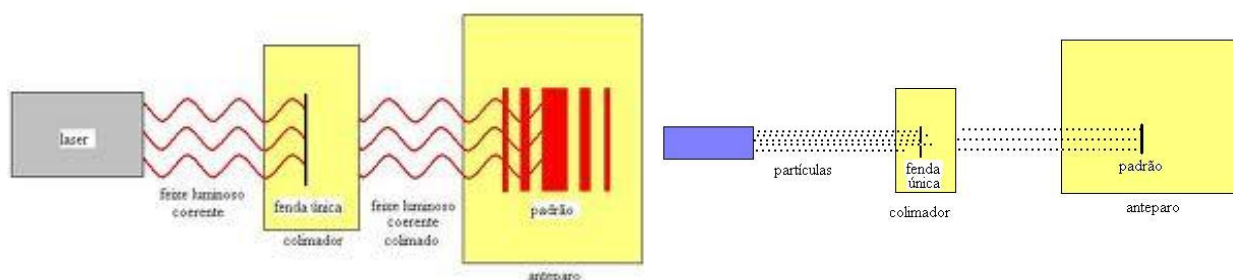
INSTITUTO DE FÍSICA

Física V - 4300311

Período: diurno

1º Semestre de 2013

Apresentação e Informações Gerais da disciplina



Prof.^a Maria José (Mazé) Bechara



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



INSTITUTO DE FÍSICA

Física V – 4300311 - período diurno

1º SEMESTRE de 2013

Prof.^a Maria José (Mazé) Bechara

apresentação

O objetivo prioritário da disciplina é uma introdução à Física Quântica. Nela são estudados alguns fenômenos e as idéias para descrevê-los que fizeram a transição da física clássica para a física quântica, até as bases da nova teoria, a mecânica ondulatória de Schroedinger, e algumas de suas aplicações.

Estes fenômenos e idéias estão associados ao entendimento do que é mais "íntimo" naquilo que compõe o universo físico: a matéria e a radiação eletromagnética. Neste sentido esta disciplina estuda a visão atual *da estrutura da matéria e da radiação eletromagnética* nas ciências físicas.

A disciplina será focada no entendimento dos fenômenos que não podiam ser descritos na física clássica, e que levaram às propostas de novas concepções sobre o universo físico a compreensão dos fenômenos. Este entendimento será trabalhado em nível científico e teórico, o que inclui a quantificação que é feita na linguagem matemática.

É bom ter em mente que a (indispensável) instrumentalização na linguagem matemática não leva automaticamente à compreensão das concepções físicas e nem dos resultados quantitativos. Mas também que a física é ciência que chega a resultados quantitativos teóricos, e que são inspiradores de concepções e outro nível de entendimento dos fenômenos físicos.

No desenvolvimento da disciplina teremos a oportunidade de nova reflexão sobre os conceitos da Física clássica e de seus limites de validade, trabalhados implícita ou explicitamente nas disciplinas anteriores. Além disso se iniciará a construção da concepção quântica da Física. Outros fenômenos observados e compreendidos teoricamente nos séculos XX e XXI serão tratados nas diversas disciplinas que seguem na estrutura curricular do curso de bacharelado em Física, a partir das bases aqui trabalhadas.

Para atingir os objetivos pretendidos: a compreensão de novos processos e fenômenos, as concepções, modelos e teorias básicos da física quântica, e a consolidação do conhecimento da física clássica, o caminho é o mesmo para se apropriar de qualquer conhecimento humano: ***espírito aberto e crítico e um real envolvimento na busca deste conhecimento.***

Do ponto de vista de **ações** são necessárias diferentes estratégias. As **que envolvem diálogos**: a efetiva participação nas aulas, a discussão dos temas com colegas, professora e monitores da disciplina. Mas também **o trabalho pessoal**: a leitura crítica de textos sobre o assunto, a aquisição de competência técnica, que no caso de disciplina teórica inclui a linguagem matemática e não dispensa o entendimento de experimentos, do que é mensurável, dos processos, resultados e interpretações.

Cada indivíduo precisa mais de uma ou de outra estratégia para chegar à compreensão necessária, mas **nenhum tipo de envolvimento do aprendiz é dispensável**.

No texto que segue são apresentados aspectos organizativos da disciplina tais como: a sala de aulas, horários, **data de provas, regras da disciplina e critérios, incluído o da avaliação**; mas também **informações substantivas: a visão do ensino/aprendizado** na disciplina, **a ementa detalhada**, e **referências bibliográficas**.

INFORMAÇÕES GERAIS

professora: Mazé (Maria José) Bechara, sala 117 do Ed. Oscar Sala, ramal 7050 ou 6942; email: bechara@if.usp.br.

monitores: Edgar Fernando Aliaga Ayllón (pós-graduação);
Gabriel Salimene Zoha (graduação) (a ser confirmado)

sala de aulas:

horário: segundass-feiras: 10h às 11h50
terças-feiras: 14h às 15h50
quintas-feiras: 14h às 15h50

guias de trabalho

A disciplina terá **"guias de trabalho"** para cada um dos **tópicos** nos quais organizamos o conteúdo. A organização do conteúdo envolve uma visão do que é mais relevante e com que ênfase será tratado cada tema na disciplina.

Os "guias" conterão os objetivos específicos do tópico, a listagem detalhada dos temas, referências e sugestões de questões para serem trabalhadas de forma independente pelos estudantes, sempre visando o aprendizado das concepções e dos procedimentos técnicos para se chegar a resultados quantitativos com efetiva compreensão.

Use esses guias como ponto de partida ***para construir a sua forma própria de trabalhar, sempre visando apreender.***

Atendimento da professora

Para facilitar o contato individual ou de pequenos grupos de alunos com a professora haverá uma hora semanal, fora do horário de aulas, **reservado** para atendimento dos estudantes da disciplina, **embora a professora possa ser procurada em outros horários** em sua sala de trabalho no IFUSP.

O horário deste atendimento será acordado na primeira aula do semestre.

Não se iniba, estas consultas podem ser úteis ao seu aprendizado!

sessões de monitoria

A disciplina contará com monitores, estudante de pós-graduação e de graduação (a ser confirmado) , que coordenarão o que chamamos de *sessões de monitoria*. A proposta é que nessas sessões **os estudantes trabalhem** em grupos, **sob orientação dos monitores**, tendo como questões motivadoras situações físicas propostas nos guias e nos trabalhos extra-classe.

A participação nas sessões de monitoria é voluntária, mas é fortemente recomendada a TODOS. O que se pretende é que não se limite ao usual plantão de dúvidas, embora possam ser tiradas dúvidas nesses encontros. A idéia é que os estudantes tenham oportunidade de desenvolver habilidades no trabalho em equipe, discutindo em grupos com colegas de turma, e que aumentem a eficiência de seu aprendizado, através de trabalho coletivo orientado por colegas mais avançados.

As sessões de monitoria durarão uma hora e ocorrerão semanalmente no mesmo dia da semana, horário e local, a ser combinado com os monitores em uma das aulas da primeira semana.

Os monitores estão aptos a esclarecer dúvidas e discutir questões de Física V, principalmente as propostas nos trabalhos extra-classe (TECs) e nos "guias de trabalho". Entretanto esta **colaboração não substitui a responsabilidade da professora no esclarecimento das dúvidas dos estudantes.**

Experimente, tente, a monitoria pode ser diferente!

trabalhos extra-classe

Durante o semestre serão propostas algumas questões, com o nome **de trabalhos extra-classe (TECs)**, que deverão ser trabalhadas pelos estudantes e farão parte da avaliação do aluno na disciplina.

Os TECs visam contribuir na organização e ritmo do estudo dos alunos e se pretende que sejam constituídas de questões de relevância, tanto em termos de aprofundamento conceitual dos temas como no desenvolvimento técnico.

Os TECs podem ser feitos com consultas, discussões, individualmente, coletivamente, ou seja, da forma que o aluno preferir, **mas a redação das TECs deve ser incontestavelmente individual. Serão anulados os trabalhos que no julgamento concencioso dos monitores e/ou da professora, não foram redigidos de forma individual.**

Cada TEC terá o seu peso relativo aos demais definido quando apresentado aos estudantes.

provas

A disciplina terá como avaliação **quatro provas e quatro ou cinco TECs**.

A última prova abrangerá todo o conteúdo da disciplina e é obrigatória a todos os estudantes. Esta prova é uma oportunidade dos estudantes revisitarem o conteúdo da disciplina de forma articulada, compreendendo a evolução das idéias de quantização na Física.

datas: 1^a. Prova: 02 de abril (terça-feira)

2^a. Prova: 14 de maio (terça-feira)

3^a. Prova: 18 de junho (terça-feira)

prova final obrigatória: 25 de junho (terça-feira)

Local das provas: Aud. A. de Moraes

observações:

1. A **contestação** da correção e/ou da nota de **cada prova e de cada TEC** só poderá ser feita **até uma semana depois de entregue aos estudantes**. É responsabilidade do aluno estar atento a esta entrega. A correção das provas e dos TECs faz parte das ações para o aprendizado. A nota não deve ser motivo de barganha entre aluno e professor por ocasião do final do semestre.

2. O **atraso máximo** permitido nos **dias de prova** é de **dez minutos**. Por favor, **não insista em entrar** após esse prazo. É nosso entendimento que **o compromisso com o horário faz parte da formação profissional**.

critério de aprovação:

média ≥ 5 e 70% ou mais de frequência EFETIVA às aulas

$$\text{nota (primeira avaliação)} = 0,85 \frac{p_i + p_j + p_o}{3} + 0,15 < \text{TECs} >$$

- p_i e p_j são as duas melhores notas entre as três primeiras provas;
- p_o é a nota da prova final obrigatória;
- $<\text{TECs}>$ Média nas notas dos TECs.

outros critérios

1. A **presença** às aulas é **indispensável** pela constatação de que pouquíssimas pessoas são efetivamente autodidatas.
2. A **frequência** será dada pela assinatura do estudante nas listas de presença.

3. Só devem assinar as listas de presença os estudantes efetivamente participantes de pelo menos 70% da aula, **como exige a nossa irrepreensível ética.** Haverá nisto um pacto de confiança entre professora e alunos, **que esperamos seja mantido até o final do semestre. Casos de alunos que burlem tal código serão tratados com o rigor que o deslize ético exige.**
4. Os alunos que **provarem seu autodidatismo com média de provas E nos TECs superior a 5,0 poderão ter suas presenças aproximadas.**
5. Para ter direito à **2ª avaliação, com prova de recuperação,** o aluno deve ter **nota na 1ª avaliação maior ou igual a 3,0, e 70% ou mais de EFETIVA** presença às aulas.
6. A nota da **segunda avaliação** será a média ponderada da nota da primeira avaliação (peso 1) e da nota da prova de recuperação (peso 2), ou seja:

$$\text{nota}(2^{\text{a}} \text{ avaliação}) = \frac{2 \times \text{prova de recuperação} + \text{nota}(1^{\text{a}} \text{ avaliação})}{3}$$

Bibliografia sugerida:

livros textos (alternativos): **a leitura de pelo menos um deles é indispensável.**

1. **Física quântica** - Eisberg e Resnick. Há vários exemplares na biblioteca e o texto é em português. Este é um livro um tanto antigo, mas ainda é bom para essa disciplina. Mas não tem de forma conveniente o Tópico I.
2. **Notas de aulas do Prof. Roberto Ribas (IFUSP)**, no seguinte endereço na Internet: <http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/arquivos.html>. Um bom texto em português. **Não contém a parte final do tópico IV.**
3. **Modern Physics for Scientists and Engineers** - Stephen. T. Thornton e Andrew Rex (T-Rex) (copyright 2000). A abordagem deste texto é concisa, mas em geral substantiva. Ele aborda praticamente todos os assuntos da Física do século XX. Há exemplares na biblioteca.
4. **Modern Physics** - Serway, Moses e Moyer (copyright 2000). É um texto equivalente ao T-Rex. Há uma edição que inclui disquete com questões/simulações muito interessantes. Há exemplares na biblioteca.
5. **Introduction to Atomic Physics** - Enge, Wehr e Richards. Este texto também é conciso e substantivo. É um tanto antigo visualmente, mas interessante na abordagem. A biblioteca deve ter vários exemplares.

outras referências:

1. **Física Moderna** - Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn; terceira edição - traduzido para o português pela editora LTC. Este texto é um tanto resumido demais, dificultando o entendimento de alguns tópicos. É bom como uma segunda leitura que resume o essencial, ou para consulta após um estudo mais extensivo.
2. **FÍSICA MODERNA – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos** – Francisco Caruso e Vitor Oguri; Editora Campus (2006). Este texto é muito interessante no que

concerne à ligação entre a visão clássica e a quântica, com muitas referências dos trabalhos originais. Vale a pena consultá-lo com frequência.

ementa da disciplina (como consta do Júpiter):

Evidências para uma descrição atômica da matéria. Teoria cinética dos gases. Distribuição de Boltzmann da energia. Evidências experimentais para a quantização da radiação eletromagnética: o problema do corpo negro, calor específico dos sólidos, efeito fotoelétrico, efeito Compton, produção e aniquilação do par elétron-pósitron. O modelo de Rutherford e o problema da estabilidade dos átomos, o modelo de Bohr. A dualidade onda-partícula no caso da radiação eletromagnética. Difração de raios-X e de elétrons. A hipótese de de Broglie e a dualidade partícula-onda. Pacotes de onda, velocidade de grupo e relações de incerteza. A equação de Schroedinger unidimensional dependente do tempo. Discussão de algumas soluções estacionárias da equação de Schroedinger com potenciais constantes unidimensionais. A equação de Schroedinger em três dimensões. Partícula da caixa cúbica. Degenerescência. A equação de Schroedinger para potenciais centrais e átomo de hidrogênio na mecânica quântica.

conteúdo detalhado que será trabalhado na disciplina (as cores dos tópicos fazem relação com o que consta da ementa com a mesma cor):

A ementa se concretiza quando realizada. A ementa detalhada deixa mais clara a abordagem e indica o nível do conhecimento que será trabalhado e avaliado na disciplina.

I. A estrutura da matéria no contexto da Física Clássica tempo previsto ~ 08 aulas (de 100 minutos)

I.1. Concepções gerais da Física Clássica: determinismo e características gerais dos movimentos de partículas e de ondas.

I.2. Revisão estendida: modelos mecânicos (determinísticos) de matéria gasosa, sólida e líquida: os constituintes, seus movimentos e interações na mecânica clássica. O princípio da equipartição de energia e a interpretação da temperatura e da energia interna termodinâmica em termos de energias dos constituintes da matéria – proposta de Maxwell. Os calores específicos molares a volume constante de gases e sólidos experimentais e os resultados dos modelos cinéticos simples.

I.3 Bases da mecânica estatística clássica (determinística) de Maxwell - Boltzmann:

(1) Hipóteses básicas da mecânica estatística clássica e o teorema de Boltzmann para distribuições de um sistema de N constituintes no espaço de fase clássico (posições e velocidades);

- (2) Distribuições de velocidades, de módulo de velocidades e de energia cinética dos constituintes da matéria gasosa, sólida ou líquida a partir do teorema de Boltzmann.
- (3) A equipartição da energia a partir do teorema de Boltzmann. Os sólidos condutores no modelo de Drude. O calor específico molar a volume constante de sólidos condutores e não condutores na previsão da Mecânica estatística clássica e nas medidas experimentais.

II. Fenômenos físicos e o caráter dual da radiação eletromagnética: onda e partículas – os fótons.

Tempo previsto: ~10 aulas

II.1 A radiação de um corpo real por efeito de temperatura e a radiação do corpo negro: resultados experimentais. O fracasso das previsões da teoria clássica do eletromagnetismo e da mecânica estatística clássica dos sólidos para descrever a emissão do corpo negro. A catástrofe do ultravioleta no contexto de Rayleigh e Jeans. **A proposta de Planck que permitiu a descrição das observações do corpo negro – o início da Física Quântica.**

II.2 A proposta do caráter corpuscular da radiação eletromagnética por Einstein - os fótons.

- (1) Comparação da quantização de Planck com a de Einstein.
- (2) O número de fótons por área e tempo que garante a compatibilidade entre as descrições ondulatória e corpuscular da radiação eletromagnética na intensidade da radiação eletromagnética monocromática e harmônica.

II.3 Fenômenos que evidenciam o caráter corpuscular da radiação:

- (1) o **efeito fotoelétrico** com luz e ultravioleta;
- (2) o espalhamento de raios-X e γ com mudança de comprimento de onda - **efeito Compton**;
- (3) A **produção e a aniquilação de** pares de partícula-antipartícula;
- (4) O **espectro de raios-X** produzidos na desaceleração de feixe de elétrons na matéria pesada.

II.4 A absorção e espalhamento da radiação-X e gama pela matéria – compatibilidade das descrições ondulatória e corpuscular e o conceito de seção de choque. **A competição entre os fenômenos de absorção:** efeito fotoelétrico e produção do pares, **e de espalhamento:** sem (Thomson) e com mudança no comprimento de onda (Compton). A seção de choque total.

III. Modelos atômicos, as primeiras “regras” de quantização e o caráter dual da matéria: partícula-onda.

Tempo previsto: ~12 aulas

III.1 modelos atômicos e as primeiras regras de quantização

III.1.1 Os espectros discretos de radiação emitida e absorvida por substâncias gasosas indicando quantizações nos átomos – o que são, como são e como se observa. **O modelo de J.J. Thomson para o átomo:** descrição do estado fundamental e a

possibilidade de emissão quantizada no átomo de hidrogênio. Os acertos e dificuldades do modelo.

III.1.2. Os resultados do experimento de Rutherford que levam à proposta de átomo nucleado. A estimativa do tamanho do núcleo a partir da comparação dos resultados experimentais da seção de choque diferencial versus energia incidente com os previstos no modelo do átomo nucleado de Rutherford.

III.1.3. O modelo de Bohr para a estrutura e as transições no átomo de hidrogênio e seu acordo com os espectros de emissão e absorção de experimentais de radiação eletromagnética. Os picos característicos dos espectros de produção de Raios-X e o modelo de camadas para os elétrons dos átomos (discussão qualitativa). **O experimento de Frank-Hertz.**

III.1.4 A regra de quantização de Bohr-Sommerfeld. Aplicações. Comparação com os resultados do modelo de Bohr para o átomo de H e da quantização de Planck para as oscilações harmônicas.

III.1.5. A estrutura fina do espectro do átomo de hidrogênio e o efeito relativístico na dinâmica dos constituintes do átomo de H.

III.2 O caráter dual das partículas materiais

III.2.1 A proposta (teórica) de de Broglie do caráter dual das partículas materiais: razões físicas e as relações que vinculam o caráter ondulatório ao corpuscular na radiação eletromagnética e nas ondas de partículas materiais.

III.2.2 Possíveis ondas de partículas materiais com módulo de velocidade constante (partícula presa em uma caixa e o átomo de H) na proposta de de Broglie. Quantizações decorrentes.

III.2.3 A realidade do caráter ondulatório das partículas revelado pioneiramente no **experimento de Davisson e Germer**. Outros experimentos que revelam o caráter ondulatório das partículas materiais.

III.2.4 Os pacotes de onda na física ondulatória clássica – velocidade de fase e da onda, e as relações de dispersão que vinculam posição e número de onda, tempo e frequência da onda. **Uma interpretação das relações do pacote de onda de partículas - o princípio de incerteza de Heisenberg** para a posição-momento linear e para a energia e tempo. A energia mínima das partículas segundo o princípio de incerteza. Relação entre o tempo característico de um estado não estável e a indeterminação na energia do estado.

IV. A mecânica quântica (ondulatória) de Schroedinger. **tempo previsto: ~ 14 aulas**

IV.1. Bases da mecânica quântica: a interpretação probabilística de Max Born para as funções de onda de uma partícula ou o não determinismo no universo físico quântico. As duas funções de onda possíveis: no espaço-tempo e as no momento-tempo – relação entre elas e o princípio de incerteza. As representações das grandezas físicas que dependem do momento quando se trabalha com a função de onda espaço-temporal. Valores mais prováveis, valores médios e desvios padrão de grandezas físicas de uma partícula, e suas relações com as medidas destas grandezas. A interpretação das equações de autofunções de uma grandeza física e dos seus auto-valores.

IV.2 A equação de Schroedinger dependente do tempo ou a equação para a função de onda da partícula no espaço real - tempo: a equação geral da mecânica quântica. A chamada equação de Schroedinger independente do tempo: **a equação dos estados estacionários para os potenciais conservativos.**

IV.3 Soluções das autofunções de energia de estados ligados da partícula sujeita a potenciais unidimensionais: (a) “a caixa” unidimensional de “paredes” infinitas; (a) “a caixa” de “paredes” finitas; (c) o oscilador harmônico. O efeito de “penetração em paredes”. A quantização da energia e sua relação com a normalização da função de onda.

IV.4 As auto-funções de energia como uma base completa e ortonormal para todos os estados quânticos. Os estados mistos – combinações lineares de auto-estados de energia (estados não estacionários) e sua densidade variável no tempo. O valor medido e o valor médio da energia dos estados não estacionários.

IV.5 Solução da equação de auto-estado para uma partícula livre: a impossibilidade de normalização.

IV.6 A interpretação da conservação do número de partículas. Uma equação de continuidade para a densidade de probabilidade: os fluxos de incidência, de reflexão e de transmissão. **Os coeficientes de incidência, reflexão e transmissão. Os auto-estados de energia de potenciais não ligados unidimensionais:** o degrau e a barreira finita unidimensionais. **O efeito túnel.**

IV.7. A equação de Schroedinger para potenciais tridimensionais: o poço infinito. **Os estados degenerados em energia que aparecem em movimentos não unidimensionais..**

IV.8 A equação de Schroedinger para potenciais centrais tridimensionais: a conservação e quantização do momento angular do movimento relativo e de uma de suas componentes e os números quânticos associados.

IV.9. O átomo de hidrogênio: solução da equação de Schroedinger para estados estacionários do potencial coulombiano atrativo. A “degenerescência em energia”, em módulo de momento angular e na componente z do momento angular nos auto-estados de energia. Comparação dos resultados da mecânica quântica com o modelo de Bohr e os resultados experimentais. **Os estados mistos e as transições atômicas.**