



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



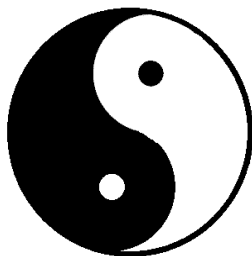
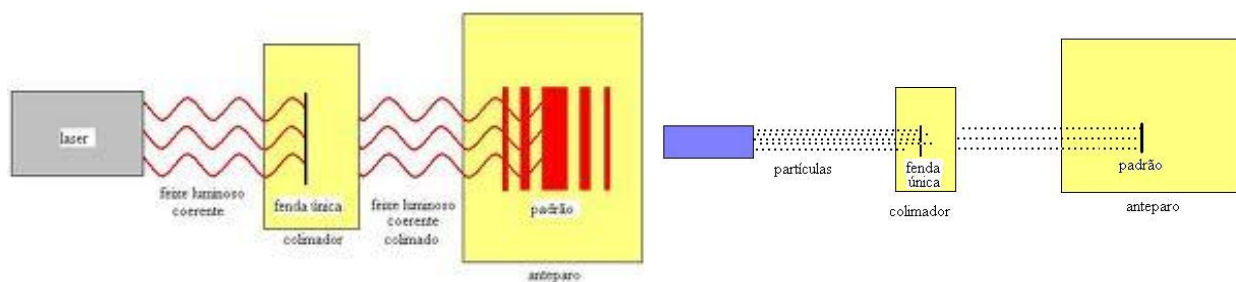
INSTITUTO DE FÍSICA

Física Moderna I - 4300375

Período: noturno

1º Semestre de 2012

Informações Gerais



Prof.^a Maria José (Mazé) Bechara



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



INSTITUTO DE FÍSICA

Física Moderna I – 4300311 - período noturno

1º SEMESTRE de 2012

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 a compreensão dos fenômenos e das novas concepções. 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.

Um novo conceito central, e incompreensível na teoria clássica, é o de que ambas, matéria e radiação eletromagnética, têm caráter dual, ou seja, mostram ter natureza ondulatória e corpuscular, ainda que em uma dada situação física seja possível observar apenas um dos lados (onda ou partícula) da natureza dual. Esta concepção será trabalhada continuamente na disciplina.

Para que seja incorporada a nova visão de mundo da Física, introduzida na primeira metade do século XX, é preciso ter clareza sobre vários aspectos das concepções clássicas de universo físico, em particular: o que é o determinismo clássico, o que caracteriza teórica e experimentalmente um fenômeno ondulatório e um fenômeno de partícula material, e de como a energia eletromagnética se propaga e interage com a matéria, entre outros.

Estes temas serão tratados na disciplina que, no seu desenvolvimento dará oportunidade aos estudantes de nova reflexão sobre os conceitos da Física clássica e de

seus limites de validade, trabalhados implícita ou explicitamente nas disciplinas anteriores. Centralmente a disciplina tratará da construção da concepção quântica da Física.

Este conhecimento se consolidará com o estudo de um leque de novos conhecimentos de Física Quântica, experimental e teórico, que serão tratados em outras disciplinas: Laboratório de Física Moderna e Física Moderna II, cujas bases são apresentadas na presente disciplina.

Para atingir aos objetivos pretendidos, que é a compreensão de novos processos e fenômenos, das concepções, modelos e teorias básicos da física quântica e 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, o desenvolvimento efetivo dos projetos em grupo. 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 envolvidos.

E como a formação visa futuros professores deve se refletir também sobre **o que se pode ensinar desta física para alunos do ensino médio, e como. Pode parecer muita coisa, mas é natural a abrangência quando se quer apreender conhecimentos, e não se limitar a conseguir alguns créditos.**

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: o material didático e as atividades de aprendizado, a ementa detalhada, os créditos-trabalho e referências bibliográficas, todas** revelam a visão de ensino-aprendizado da disciplina.

INFORMAÇÕES GERAIS

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

monitores: Ligia Valente; email: ligia@if.usp.br

Raphael Henrique Alves; email: raphael.alves@usp.br

sala de aulas: Sala 212 da Ala II do Edifício Principal.

Horário das aulas: Quartas-feiras: 21h às 22h50

Sextas-feiras: 19h às 20h45

página da disciplina no **novo moodle:430/4300375**

A maior parte do material e todas as informações no transcorrer da disciplina estarão na página da disciplina no **novo moodle** dentro do grupo de disciplinas 430, identificada pelo número dela: 4300375

Para entrar na página você precisa ser participante do **novo moodle**. Para isto você **precisa se logar no moodle** com seu nome de usuário e senha **e clicar no novo moodle**. A partir daí você estará inscrito no novo moodle com o mesmo nome de usuário e senha do anterior. Então poderá acessar às páginas de disciplinas do presente semestre.

Poderá eventualmente haver material de interesse da disciplina disponível apenas na Xerox do IFUSP em pasta com o nome da disciplina. Quando for este o caso haverá informação na aula ou na página da disciplina sobre o material disponível.

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 e enfoque será tratado cada tema na disciplina.

Os "guias" conterão os objetivos específicos do tópico, a listagem detalhada dos temas, bibliografia específica 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 individual 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. **Não se inibam, estas consultas podem ser úteis ao seu aprendizado!**

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

sessões de monitoria

A disciplina contará com dois estagiários, estudantes de pós-graduação, que coordenarão o que chamamos de *sessões de monitoria*. A proposta é que nessas sessões **os estudantes discutam** em grupos, **sob orientação dos monitores**, situações físicas propostas nos guias, nos trabalhos extra-classe e os projetos para o ensino médio dos **créditos-trabalho (veja no que segue).**

A participação nas sessões de monitoria é fortemente recomendada a TODOS e indispensável nas atividades dos créditos-trabalho.

Não se trata do 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 e aumentem a eficiência de seu aprendizado por meio de trabalho coletivo orientado.

As sessões de monitoria durarão uma hora e ocorrerão semanalmente nos dias da semana, horário e local, a serem combinados em conjunto com os estagiários na primeira aula.

Os estagiários estão aptos a esclarecer dúvidas e discutir questões de Física, principalmente as propostas nos TECs (definidos a seguir), nos "guias de trabalho" e nos projetos de ensino médio (definidos a seguir).

Esta colaboração não substitui a responsabilidade da professora no esclarecimento das dúvidas dos estudantes.

Experimente, tente, a monitoria pode ser diferente!

créditos-trabalho

“Tudo vale a pena quando a alma não é pequena” - Fernando Pessoa

I. Apresentação

Os 02 créditos trabalho são definidos para 04 horas de efetivo trabalho semanal independente dos alunos.

Na disciplina este trabalho terá a orientação de dois monitores, alunos de pós-graduação, e da professora.

Haverá dois tipos de atividades para a obtenção destes créditos, visando objetivos específicos:

(1) Os trabalhos extra-classe (TECs) visando o **aprofundamento** dos temas tratados na disciplina.

A idéia é dar segurança no conhecimento de Física Moderna, indispensável na formação de professores de qualquer nível de ensino. Ninguém pode ensinar um tema que não conhece.

Serão 04 ou 05 TECs, que podem ter pesos diferentes, que pretendem tratar de questões substantivas sobre os temas da disciplinas. Os estudantes devem fazê-los da maneira que considerarem mais produtiva para o seu conhecimento, incluindo a **discussão** com colegas, monitores e professor. No entanto a **redação do Tec deve ser incontestavelmente individual**. **Caberá ao monitores e professora a validação de redação individual do trabalho**, a partir de criteriosa leitura.

A idéia destes trabalhos é dar condições aos estudantes de acompanharem a disciplina com real entendimento dos tópicos tratados, através de questões substantivas e completas, para serem trabalhadas de forma pensada, tanto nas concepções como nas técnicas matemáticas que levam ao resultado quantitativo.

Além disto eles avaliam o quanto os estudantes refletiram, se aprofundaram, e efetivamente se apropriaram do conhecimento pretendido em cada tema, que é diferente do que se pode avaliar em provas de 02 horas sobre vários temas.

(2) Preparação de um projeto para o ensino médio de **um tema de física moderna, dentre 10** propostos.

Tal projeto visa o estudo e preparo de temas da física moderna para ser ensinado/aprendido no ensino médio, diretamente relacionados ao conteúdo da disciplina, ou seja, das bases da física quântica.

O projeto **deve tratar do preparo de 04 horas de aulas e atividades** para **estudantes do ensino médio** e deverá ser desenvolvido **em grupo de 02 alunos**.

O **projeto** deve ser apresentado **pelo grupo por escrito** até a data limite definida conforme o tema (item V).

Haverá também uma **apresentação oral de 15 a 20 minutos do projeto** para os demais colegas, **por um dos dois estudantes, sorteado na hora** da apresentação oral (veja datas no item V).

A **nota dos créditos-trabalho** será a média dos (4 ou 5) trabalhos de aprofundamento e da nota do projeto de ensino (parte escrita e apresentação oral), e **deve ser maior ou igual a 05 para aprovação na disciplina**.

Neste sentido **a nota dos créditos trabalho é eliminatória** na disciplina.

II. Critérios para a escolha do tema pelos grupos de dois alunos.

O **grupo de dois alunos** que desenvolverá o projeto para o ensino médio é de livre escolha dos estudantes, mas deve ser **comunicado** aos monitores **por escrito até 09 de março, com assinatura dos dois alunos do grupo**.

A **escolha dos temas** por cada grupo deve ser comunicada **por escrito** aos monitores **até 16 de março, com assinatura dos dois alunos do grupo**.

Cada tema poderá ser escolhido por **no máximo dois grupos**. Terão prioridade os dois grupos que **escolherem o tema primeiro**.

III. Os Temas para o projeto

Grupo Temático I

1. Modelos da estrutura da matéria sólida, líquida e gasosa. Os conceitos de temperatura e energia interna.
2. A radiação do corpo negro e a estimativa da temperatura da superfície do Sol.
3. A interação da radiação eletromagnética, luz e ultravioleta com a matéria condutora sólida e o caráter dual da radiação. Aplicações.
4. A interação da radiação eletromagnética (raios-X e raios-gama) com a matéria. Aplicações .
5. Processos de criação de raios-X e o seu caráter dual. O equipamento de raios X usado na medicina e na odontologia diagnóstica.

Grupo Temático II

6. O experimento de Rutherford e a estrutura atômica. As dimensões do átomo e do núcleo.
7. O modelo atômico de Bohr e observações que o validam.
8. A proposta de ondas das partículas materiais – o caráter dual da matéria. As relações de de Broglie entre as grandezas da partícula e da onda.
9. As ondas das partículas materiais na mecânica quântica.

IV. O que deve conter o projeto para o ensino médio.

Os nomes dos temas são de certa forma gerais, dentre os tratados na disciplina, para que os grupos de estudantes tenham espaço **para definir** o que apresentar aos estudantes do ensino médio, tendo em mente que este nível de formação deve visar a alfabetização científica de todos os jovens, e não só os que continuarão a estudar Física.

O projeto escrito, que deve ser defendido em seminário, deve conter necessariamente:

- A justificativa do que deve ser ensinado no tema e por que deve ser ensinado.
- O plano das 04 horas de aulas e das atividades sobre o tema que propiciariam o aprendizado dos alunos do ensino médio.
- A explicitação sobre a relação (ou não) do tema com a vida na sociedade do público alvo. Se tiver tal relação, devem ser preparadas aplicações à ela relacionadas.
- As referências adequadas para leitura dos alunos do ensino médio, e eventuais atividades para eles se apropriarem do tema. **Deve conter explicitamente comentário crítico sobre como o tema é tratado, ou não é tratado, no material didático das escolas públicas paulistas (1) .**
- **Explicitação dos pré-requisitos** de Física e de Matemática para o tema sugerindo, e em função também dos pré-requisitos, **o melhor ano do ensino médio para tratar do tema.**
- Explicitação, justificada, se o tema deve ser apresentado dentre outros específicos de Física Moderna, ou trabalhado dentro de um tópico de Física

Clássica, e neste último caso, explicitar qual o tópico no qual deve ser apresentado junto.

V. Datas importantes para o projeto – se organizem para seu cumprimento.

Datas importantes	Atividades de desenvolvimento do projeto
09 de março	Data limite para apresentação dos nomes dos alunos do grupo, por escrito e com as duas assinaturas
16 de março	Data limite para definição do tema do projeto, por escrito, com a assinatura dos dois alunos
16 a 20 de abril	Apresentação aos monitores, com hora agendada e tempo para discussão, do primeiro esquema do projeto pelos dois alunos dos grupos com temas do grupo temático I
09 a 11 de maio	Apresentação aos monitores, com hora agendada com tempo para discussão, o primeiro esquema do projeto pelos dois alunos dos grupos com temas do grupo temático II
28 de maio a 1º de junho	Apresentação ao monitor, com hora agendada, da versão final do projeto escrito pelos grupos com temas do grupo temático I, e marcar o dia e hora do seminário.
11 a 15 de junho	apresentação ao monitor, com hora agendada, versão final do projeto escrito pelos grupos com tema do grupo temático II, e marcar o dia e hora do seminário.
15 (22 de junho?) sexta-feira, 21h	seminários dos temas do grupo temático I - PRESENÇA OBRIGATÓRIA PARA TODOS
22 e 29 de junho, sexta-feira, 21h	seminários dos temas do grupo temático II - PRESENÇA OBRIGATÓRIA PARA TODOS.

Provas: Sala 202 da Ala II do Edifício Principal.

O curso terá como avaliação quatro provas, além das atividades dos créditos-trabalho.

A última prova abrangerá todo o conteúdo da disciplina e é obrigatória a todos os estudantes. Esta prova é uma oportunidade aos estudantes de revisitarem o conteúdo da disciplina de forma articulada, compreendendo a evolução das idéias de quantização na Física. Das outras três provas serão consideradas na média as duas com melhores notas.

Não deixe de fazer nenhuma prova. Cada uma delas é um bom teste para você mesmo avaliar seu conhecimento/ignorância no tema.

datas: 1ª. Prova: 11 de abril (quarta-feira)
2ª. Prova: 17 de maio (quarta-feira)
3ª. Prova: 27 de junho (quarta-feira)
prova final obrigatória: 04 de julho (quarta-feira)

normas da disciplina:

1. A **contestação** da correção e/ou da nota de **cada prova ou 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 TECs fazem parte das ações para o aprendizado. A nota não deve ser motivo de barganha entre aluno e professor ou aluno e monitor 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. **O compromisso com o horário faz parte da formação profissional.**

critério de aprovação:

nota(1ª avaliação) ≥ 5 e nota(créditos- trabalhos) ≥ 5 e frequência REAL ≥ 70%

$$\text{nota}(\text{créditos} - \text{trabalho}) = \frac{< \text{TECs} > + < \text{projetoens.medio} >}{2}$$

$$\text{nota}(1^{\text{a}} \text{ avaliação}) = 0,70 \frac{p_i + p_j + p_o}{3} + 0,30 \text{nota}(\text{créditos} - \text{trabalho})$$

- p_i e p_j são as duas melhores notas entre as três primeiras provas;
- p_o é a nota da prova final obrigatória.

Outras normas

1. **A presença** às aulas é **indispensável**. Pouquíssimos alunos (menos de 1%) são efetivamente autodidatas. A frequência será dada **pela assinatura nas listas de presença**.
2. Só **devem assinar** as listas de presença **os estudantes efetivamente presentes em pelo menos 70% de cada aula, como exige a nossa irrepreensível ética**. Haverá um **pacto de confiança** entre professora e alunos (professores em formação), que **esperamos possa ser mantido** até o final do semestre.
3. Para ter direito à **2ª avaliação**, com **prova de recuperação**, o aluno deve estar nas seguintes condições: **nota (1ª avaliação) ≥ 3,0 e nota(créditos- trabalho) ≥ 5 e frequência REAL ≥ 70%**.
4. Os alunos que provarem seu autodidatismo **com média de provas e média de créditos-trabalho superiores a 5,0** poderão ter aproximações em suas presenças finais.

5. A nota da **segunda avaliação** será a média ponderada da prova de recuperação (peso 2) com a nota da 1ª avaliação (peso 1), 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:

livros textos (alternativos): a leitura de pelo menos um deles é indispensável. Em alguns tópicos haverá referências específicas diferentes.

1. **Física quântica - Eisberg e Resnick (ER).** Há vários exemplares na biblioteca e o texto é em português. Este é um livro um tanto antigo, mas ainda é bom para esta disciplina. Ele não tem, entretanto, o conteúdo atualizado para Física Moderna II.
2. **Física Moderna - Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn (TL);** 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. Ele trata também dos temas de Física Moderna II.
3. **Notas de aulas do Prof. Roberto Ribas (IFUSP),** no seguinte endereço na Internet - <http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/download.html>. Um bom texto em português e acessível a todos. Não contém a parte final do tópico IV, e nem o conteúdo de Física Moderna II.
4. **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, incluído o conteúdo de Física Moderna II. Há exemplares na biblioteca.

outras referências:

1. **Modern Physics - Serway, Moses e Moyer (copyright 2000).** É um texto equivalente ao do T-Rex. Há uma edição que inclui disquete com questões/simulações muito interessantes. Há exemplares na biblioteca.
2. **Introduction to Atomic Physics - Enge, Wehr e Richards (EWR).** Este texto também é conciso e substantivo, mas é um texto antigo. A biblioteca deve ter vários exemplares em xérox.
3. **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.

Objetivos e programa da disciplina como consta do Júpiter:

Objetivos

Retomar as limitações dos modelos clássicos e a necessidade de quantização. Introduzir as idéias de dualidade onda-partícula para a matéria e para a radiação. Introduzir a mecânica quântica.

Programa resumido

Revisão dos problemas em aberto da física do final do séc XIX. I. Caráter dual da radiação eletromagnética. Efeito fotoelétrico. Energia e momento do fóton. Raios X produzidos no freamento de elétrons. Efeito Compton. Difração de raios-X. Dualidade onda eletromagnética-fóton. O modelo atômico de Rutherford e o problema da estabilidade do átomo na física clássica. O modelo de Bohr. II. O caráter dual da matéria: partícula-onda. Partículas e ondas. A hipótese de de Broglie. A experiência de Davisson e Germer. Discussão da experiência da fenda dupla com fótons e elétrons. III. A mecânica ondulatória de Schroedinger. Pacotes de ondas. O princípio da incerteza. Interpretação probabilística de Born. Uma equação de onda para as "ondas de elétrons". A equação de Schroedinger dependente do tempo em uma dimensão. Soluções em ondas planas e princípio da superposição. Problemas unidimensionais estacionários: estados ligados e espalhamento. Valores esperados. A equação de Schroedinger em três dimensões. Partícula na caixa cúbica. Degenerescência. A mecânica quântica e o átomo de hidrogênio.

conteúdo detalhado que será trabalhado na disciplina:

Um programa ou ementa se concretiza quando realizada aula a aula. A ementa detalhada deixa clara a abordagem e define o nível do conhecimento efetivamente trabalhado e avaliado na disciplina.

I. Estrutura da matéria no contexto da física clássica (breve revisão). tempo previsto: ~ 2,5 aulas (de 100 minutos)

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

I.2. Modelo mecânicos (determinísticos) de matéria para os gases, sólidos e líquidos. A interpretação estatística para a temperatura e energia interna termodinâmica.

I.3 Bases da mecânica estatística clássica (determinística) de Boltzmann, a equipartição da energia resultante e as previsões das energias internas e calores específicos molares a volume constante.

I.4 Modelo cinético para sólidos condutores e não condutores. Sucesso e fracasso no valor do calor específico molar a volume constante na previsão da estatística clássica.

II. Fenômenos físicos e o caráter dual da radiação eletromagnética: onda e partículas – os fótons. Tempo previsto: ~07 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 por efeito do corpo negro (por efeito de temperatura): a catástrofe do ultravioleta obtida teoricamente por 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 - o fóton - partícula de massa nula, energia proporcional à frequência e módulo do momento linear inversamente proporcional ao comprimento de onda. Comparação entre a quantização de Planck e a de Einstein.

II.3 A compatibilidade entre as descrições ondulatória e corpuscular da radiação eletromagnética para a intensidade da radiação eletromagnética monocromática e harmônica.

II. 4 Fenômenos que evidenciam o caráter corpuscular da radiação: o efeito fotoelétrico, o espalhamento de radiação com mudança de comprimento de onda (efeito Compton); a produção de par de partículas com massa (elétron e pósitron, por exemplo); a frequência máxima dos raios X produzidos no freamento de elétrons (de keV de energia cinética) na matéria.

II.5 A absorção da radiação pela matéria – compatibilidade das descrições ondulatória e corpuscular. A competição entre os vários fenômenos: a seção de choque (probabilidade) de cada fenômeno em função da frequência e a seção de choque total.

III. Modelos atômicos, as primeiras “regras” de quantização e o caráter dual da matéria: partícula-onda. Tempo previsto: ~07 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. O experimento de Rutherford: revisitando o conceito clássico de espalhamento de partículas: energia incidente, parâmetro de impacto, ângulo de espalhamento, seção de choque diferencial e total. 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 e a quantização da energia nos estados atômicos.

III.2 O caráter dual da matéria: partícula-onda

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

III.2.2 Possíveis ondas de partícula 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.

III.2.4 A 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. 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 ondulatória de Schroedinger. Tempo previsto: ~ 09 aulas

IV.1 Significado de função de onda para as partículas na interpretação de Max Born. O (novo) conceito de estatística na mecânica ondulatória de **uma** partícula.

IV.2. As grandezas físicas de uma partícula e suas representações na mecânica ondulatória no espaço real e no espaço dos momentos. Interpretação física dos valores médios e desvio padrão de grandezas físicas de uma partícula, e suas relações com as medidas destas grandezas.

IV.3 A equação de Schroedinger para a função de onda da partícula no espaço real: a equação dependente do tempo. Os estados estacionários na mecânica quântica e a equação de Schroedinger independente do tempo.

IV.4 As equações de autofunções de uma grandeza física. O significado físico das autofunções e dos autovalores.

IV.5 Soluções de autofunções de energia em potenciais unidimensionais para estados ligados da partícula: o potencial unidimensional infinito e finito, o oscilador harmônico unidimensional. O efeito de penetração em regiões classicamente proibidas nos potenciais unidimensionais (penetração da partícula “nas paredes”). As condições sobre os auto-estados de energia e a possibilidade de normalização e sua relação com a quantização da energia. O princípio de superposição e os estados de energia variável. Possibilidade de transições.

IV.6 Solução da equação de auto-estado para uma partícula livre: discussão da impossibilidade de normalização, a interpretação da conservação do número de partículas. 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: o degrau e a barreira finita unidimensionais. O efeito túnel.

IV.7 A equação de Schroedinger para potenciais centrais: a conservação e quantização do momento angular orbital e uma de suas componentes e os autoestados degenerados em energia e em outras grandezas físicas. O potencial coulombiano atrativo na descrição do átomo de hidrogênio: interpretação da parte radial da função de onda e a quantização da energia; a degenerescência nos auto-estados de energia do átomo de hidrogênio; comparação dos resultados da mecânica quântica com o modelo de Bohr e os resultados experimentais.