



Física V – 4300311 - período diurno

1^o. SEMESTRE DE 2013

Cronograma proposto
cronograma realizado

prof.^a Maria José (Mazé) Bechara

dia	aula	semana	ASSUNTO
25 / 2	1 1		Apresentação dos Protagonistas: Alunos do 1° semestre de 2012; Professora; Monitores. Apresentação da disciplina: O conteúdo e o enfoque da disciplina: O contexto histórico e conceitual da Física Clássica no qual surge a Física Quântica.
26/2	2 1		Relação Ciência, Filosofia, Sociedade e as revoluções científicas, em particular, a que possibilitou a Física Quântica. As áreas atuais na Física. O IFUSP e as áreas da Física. As grandes sínteses da Física Clássica <i>que serão descartadas ou modificadas na Física Quântica</i> (ATENÇÃO –REOLHANDO O QUE SE PENSA APREENDIDO!) i. O determinismo II. A natureza corpuscular OU a natureza ondulatória. A Relatividade especial e as mudanças conceituais em relação à Física clássica – os conceitos de espaço-tempo; massa-energia. Sua representação qualitativa da matéria sólida, líquida e gasosa. i. Constituintes; ii. Distribuição espacial dos constituintes; iii. Movimentos dos constituintes
28/2	3 1		Uma representação da matéria: a visão pictórica de Feynman (com base no conhecimento das ciências naturais) – os constituintes e de como se organizam na matéria gasosa, líquida e sólida. Modelos mecânicos (cinéticos) da matéria. Da termodinâmica dos gases aos modelos mecânicos de matéria gasosa, líquida e sólida. A relação entre as variáveis do estado termodinâmico: pressão, volume, <i>temperatura e energia interna</i> e grandezas da dinâmica dos constituintes da matéria no modelo mecânico (cinético) mais básico. A medida da energia interna (termodinâmica) da matéria: o calor específico molar a volume constante. Modelos mecânicos dos constituintes da matéria. O princípio de equipartição da energia.

**Continuação do programa realizado de física V no 1º SEMESTRE/2013-
diurno**

Profa. Mazé Bechara

DIA	aula	semana	ASSUNTO
04/3	4	2	Estimativa dos do calor específico molar a volume constante em gases mono, bi e poliatômicos e nos sólidos cristalinos com uso do “princípio” da equipartição da energia de Maxwell. Bases da Mecânica Estatística Clássica (Maxwell-Boltzmann). Hipóteses e consequencias. Uma mecânica para um sistema de muitas partículas: a mecânica estatística clássica i.O conceito matemático de distribuição na estatística (distinga do conceito de função). ii. Hipóteses básicas da mecânica estatística de Boltzmann. iii. Consequência das hipóteses básicas: a distribuição do espaço de fase dos constituintes da matéria (grandezas físicas contínuas) no equilíbrio termodinâmico na teoria de Boltzmann – a independência das distribuições espacial e de velocidades e o determinismo na estatística clássica. A distribuição normalizada de velocidades (Gaussiana) no equilíbrio termodinâmico a partir do teorema de Boltzmann – velocidade mais provável e velocidade média.
05/3	5	2.	Uma mecânica para um sistema de muitas partículas: a mecânica estatística clássica – continuação v. A distribuição de módulo de velocidades (Maxwelliana) no equilíbrio termodinâmico a partir da distribuição de velocidades. vi. Conceito e cálculo de módulo de velocidade mais provável, módulo de velocidade menos provável, média do módulo e média do módulo ao quadrado. A distribuição de energia cinética de qualquer matéria na temperatura
07/3	6	2	. Aplicação com valores numéricos: atmosfera terrestre desprezando a interação com a gravidade. O experimento de Perrin. A distribuição espacial das moléculas na superfície da Terra – discussão qualitativa. Esclarecimento de dúvidas dos estudantes.

DIA	aula	semana	ASSUNTO
11/3	7	3	A distribuição espacial dos gases da atmosfera: (a) desprezando a força da gravidade; (b) considerando a força da gravidade constante. Medidas experimentais dos módulos de velocidade – a validação experimental direta da distribuição. Um sistema de N constituintes em movimento MHS unidimensional. A distribuição de energia (Atenção cuidado!) de um sistema MHS unidimensional; O valor média da energia e o c_v . O valor média da energia e o c_v , supondo MHS-tridimensional - modelo de sólidos. Distribuição de energias de MHS supondo energias quantizadas: $e=ne_0$ com $n=0,1,2,3..$ (proposta de Planck – <i>nunca antes observada na Física!</i>): O valor média da energia nos movimentos uni e tridimensionais.
12/3	8	3	O Calor específico molar a volume constante dos sólidos condutores considerando o modelo de Drude para a condução elétrica. Tudo o que você queria saber sobre temas do Tópico I mas AINDA não teve coragem de perguntar. Conteúdo detalhado do Tópico II. A emissão de energia eletromagnética por efeito de temperatura e a definição de corpo negro (os constituintes da matéria são neutros, mas têm cargas em movimentos com aceleração). Características experimentais da radiação de corpo negro: Lei de Stefan – Boltzmann para a intensidade (radiança) total emitida pelo corpo negro, a Lei de deslocamento de Wien e a radiança espectral. Relação da emissão do corpo negro, ou forno ideal, com a de um forno real na mesma temperatura. Aplicação das leis empíricas: a emissão da superfície do Sol.
14/3	9	3	Aplicação das leis empíricas: a emissão da superfície do Sol (continuação) . Uma determinação da radiança espectral de uma cavidade, no contexto da Física Clássica: as idéias e a expressão de Rayleigh e Jeans. Comparação com os resultados experimentais e a chamada “catástrofe do ultravioleta”. A proposta de quantização de Planck e as suas implicações: na energia média da radiação eletromagnética da cavidade e na radiança espectral emitida. O bom acordo do resultado de Planck com os resultados experimentais.

**Continuação do programa realizado de física V no 1º SEMESTRE/2013-
diurno**

Profa. Mazé Bechara

DIA aula	semana	ASSUNTO
18/3	10 4	A constante de Planck h . Quando quantização de Planck coincide com Física clássica. A Lei de deslocamento de Wien a partir da radiança espectral de Planck. A frequência mais provável (que não é a frequência do comprimento de onda mais provável). A lei de Stefan Boltzmann a partir da radiança espectral de Planck. Aplicação de corpo negro. Um pouco (revisão?) sobre ondas eletromagnéticas: Fontes de ondas planas, cilíndricas e esféricas e as frentes de ondas. A Intensidade das ondas: distribuição espacial de energia nas frentes das ondas monocromáticas. DATA LIMITE PARA ENTREGA DO TEC1 (ÀS 10H10).
19/3	11 4	A proposta de Einstein de granulação na energia da onda eletromagnética: as <i>partículas da onda</i> - os <i>fótons</i> . Distinguindo a quantização de Einstein da de Planck. Visão fotônica: A compatibilidade entre as visões de Maxwell e Einstein na intensidade das fontes – o número médio de fótons por unidade de tempo e área nas frentes da onda eletromagnética monocromáticas. A difração e o caráter dual da radiação eletromagnética. Aplicação. Efeito fotoelétrico: O que é, o que se observa. Características da emissão fotoelétrica que podem, e as que não podem ser descritas pelo caráter ondulatório do feixe de luz. A proposta de Einstein para descrever o efeito fotoelétrico. Como a proposta de Einstein permite a descrição de todas as características observadas no efeito fotoelétrico. Aplicação de Efeito fotoelétrico.
21/3	12 4	Aplicações.
<hr/> 25/3 a 30/3 recesso da semana Santa <hr/>		
01/4	13 5	A proposta de Einstein de granulação na energia da onda eletromagnética: as <i>partículas da onda</i> – os <i>fótons</i> . Efeito fotoelétrico (revisão): O que se observa. A explicação de Einstein e seu acordo com os resultados experimentais. Uma representação para o efeito. Aplicações
02/4	5	1ª prova – conteúdo das aulas 1 a 12 - DATA LIMITE PARA ENTREGA DA 1ª AVALIAÇÃO DA DISCIPLINA (ÀS 14H10).
04/4	14 5	O Efeito ou espalhamento Compton – o que é. As características dos espectros de radiação eletromagnética espalhada. Determinação quantitativa da diferença de comprimentos de onda nos dois picos espalhados, em função do ângulo do espalhamento, segundo a idéia fotônica: natureza e cálculo do <i>efeito Compton</i> . O espalhamento Thomson segundo a visão ondulatória e a fotônica. Condições para ocorrer com feixe de raios-X o efeito fotoelétrico (absorção do fóton por um elétron ligado da matéria) e o espalhamento de fótons por elétrons “livres” e por elétrons ligados na matéria: os espalhamentos Compton e Thomson respectivamente – diferenciando os três fenômenos. Aplicação
08/4	15 6	1. Comentários finais sobre o efeito Compton. 2. Raios-X - Breve histórico da sua descoberta e aplicações. 3. O Tubo que cria raios-X por incidência de elétrons, com energia cinética da ordem de KeV, sobre matéria pesada. 4. Principais características do espectro de intensidade de Raios-X versus comprimento de onda ou frequência. A necessidade da visão fotônica para entender a frequência de corte e a estrutura fina.
09/4	16	A antimatéria e a antipartícula – o que são. Processos que evidenciam o caráter corpuscular a radiação e que são chocantes para a concepção de matéria na Física Clássica!: (a) O processo de criação de matéria, ou melhor, de um par de partícula e sua anti-partícula pela absorção de um fóton por matéria “pesada”. A criação do par elétron-positron – o que precisa de menor energia de um fóton. Aplicação. (b) O processo de aniquilação da matéria. Aplicações.
11/4	17 6	O funcionamento do PET – positron emission tomography, para diagnósticos de tumores. A competição entre vários processos dos que mais ocorrem na interação da radiação eletromagnética, raios-X e raios- γ , com a matéria. A compatibilidade entre as visões ondulatória e fotônica. Outras Aplicações sobre o caráter dual da radiação. Dúvidas dos alunos sobre o Tópico II.

Continuação do programa realizado de física V no 1º SEMESTRE/2013-diurno

Profa. Mazé Bechara

DIA aula semana	ASSUNTO
15/4 18 7	Comentários sobre as soluções das questões da prova. Critérios de correção. Apresentando o Tópico III.
16/4 19 7	Evidências experimentais da existência de estrutura nos átomos (até aqui na disciplina e na história da Física no início dos anos 1900). Os espectros de linha de matéria gasosa – espectros de emissão e de absorção de radiação eletromagnética (REM) dos átomos – o que são, condições para serem observados e porque se entende serem espectros dos átomos. Características dos espectros da absorção e de emissão. O Modelo atômico (simplificado) de Thomson – primeira tentativa de descrever as interações atômicas como eletromagnética atrativa entre seus constituintes. Os estados fundamentais (que nada emitem). Os estados tundrafundamentais do H e He e os estados (excitados) que emitem REM.
18/4 20 7	O experimento de Geiger, Marsden de espalhamento elástico de partículas alfa por folhas de ouro e outros elementos, e seus resultados experimentais conflitantes com o modelo atômico de Thomson. A proposta de Rutherford para a interação com tais resultados – discussão qualitativa. Conceitos e definições: espalhamento elástico de um feixe de partículas por um “alvo” espalhador; ângulo de espalhamento, parâmetro de impacto no espalhamento; relação entre o parâmetro de impacto e o ângulo de espalhamento. O conceito e uma expressão da <u>seção de choque diferencial para qualquer força de interação</u> . Determinação da seção de choque diferencial para o espalhamento elástico por interação repulsiva coulombiana ou a seção de choque de Rutherford. Comparação com os resultados experimentais.
22/4 21 8	A comparação da seção de choque de Rutherford com os resultados experimentais. A mínima distância entre núcleo e partícula alfa espalhada e a dimensão nuclear, a partir de resultados experimentais de espalhamento de Rutherford. Aplicação. A densidade de matéria e a nuclear da prata <i>A questão da estabilidade deste átomo nucleado. Colocado na página o TEC 3.</i>
23/4 22 8.	As hipóteses do modelo de Bohr para a estrutura e as transições atômicas. Determinações de um elétron interagindo com o núcleo no modelo de Bohr : raios, velocidades e energias permitidos no movimento relativo em cada estado atômico. O átomo de hidrogênio – resultados do modelo. Comparação com os resultados experimentais. Aplicação. DATA FINAL PARA ENTREGA DO 2º TEC
25/4 23	Aplicações relativas ao modelo de Bohr: continuação da aplicação da aula 22: Q15 do Guia ao Tópico III; o átomo positrônico. Átomos de muitos elétrons – os raios e velocidades das órbitas dos elétrons comparadas com a do H. O modelo de camadas + o princípio de exclusão de Pauli para descrever as propriedades físico-químicas dos elementos. A descoberta de Moseley sobre a relação entre a frequência do raio-X e o Z (na linguagem atual) do átomo. O processo que gera a estrutura fina dos espectros de raios X.

**Continuação do programa realizado de física V no 1º SEMESTRE/2013-
diurno**

Profa. Mazé Bechara

DIA aula semana	ASSUNTO
29/4 24 09	<i>O princípio de correspondência de Bohr. Aplicação ao átomo de H. O Experimento de Franck e Hertz – mais uma evidência da quantização nos estados atômicos, agora com excitação dos átomos via energia de elétrons . A regra de Quantização de Wilson-Sommerfeld. Aplicações: MHS unidimensional; uma partícula presa em uma caixa, no MCU do átomo de H. Aplicação do princípio de correspondência de Bohr no MHS e no MCU de uma bolinha macroscópica. .</i>
30/4 25 09	<i>Ainda um elétron agora em órbita elíptica em torno de um núcleo +Ze - Wilson-Sommerfeld. O átomo de H. Efeito da correção relativística e os estados degenerados em energia. O estado da arte para o H – comentários. A proposta de de Broglie de caráter dual da matéria: enunciado e as relações de conexão entre as grandezas ondulatórias (frequência, comprimento de onda) e as mais características de partículas (energia e momento linear). A velocidade da onda da partícula material com velocidades não relativísticas ou relativísticas. As regras de quantização que decorrem das ondas estacionárias das partículas na proposta de de Broglie: no átomo de H, na partícula presa em uma caixa com movimento de velocidade constante. Comparação com a quantização de Wilson-Sommerfeld.</i>
02/5 26 09	<i>Comprimentos de onda e frequências de partículas materiais e de fótons – comparação de valores numéricos. Ondas não harmônicas – sempre uma composição de ondas harmônicas(Fourier). Batimento – fenômeno da onda composta de duas ondas monocromáticas (clássicas) –As relações dispersão na onda de batimento. Outros pacotes de onda e as relações de dispersão. O pacote gaussiano ou o de menor relação de dispersão. As relações de dispersão quando valem as relações de de Broglie – as relações de incerteza de Heisenberg. Interpretações e consequências: a impossibilidade de partícula parada; a largura natural das energias (e portanto nas linhas emitidas) nos estados atômicos.</i>
06/5 27 10	<i>Princípio de Incerteza de Heisenberg: entendimento e consequências – Aula trabalho.</i>
07/5 28 10	<i>A existência de funções de onda da partícula em dinâmica uni, bi ou tridimensional e o significado físico delas segundo Max Born. Experimentos que revelam a onda de partículas - sequencia histórica (com entendimento dos experimentos). O Princípio de Complementaridade de Bohr. Outros postulados da interpretação probabilística da função de onda na Mecânica Quântica , devida à Max Born.</i>
09/5 29 10	<i>Outros postulados da Mecânica Quântica - continuação. Propriedades das funções de onda decorrentes da interpretação probabilística de Max Born. Função de onda de partícula material – um exemplo. PRAZO FINAL PARA ENTREGA DO TEC 3. Avaliação institucional da disciplina</i>

**Continuação do programa realizado de física V no 1º SEMESTRE/2013-
diurno**

Profa. Mazé Bechara

DIA	aula	semana	ASSUNTO
13/5	30	11	Continuando a aplicação da aula anterior – dada a função de onda espaço-temporal, quais as informações sobre o sistema físico podem ser obtidos, incluída a validade do princípio de incerteza, e das relações de de Broglie. Discussão de Dúvidas dos estudantes.
14/5	11	2º	PROVA - CONTEÚDO PROVA: ATÉ A AULA 28, COM ÊNFASE NOS TEMAS DAS AULAS 13 a 29
16/5	31	11	Estados estacionários na mecânica de Schroedinger – um conjunto de soluções possíveis para os potenciais conservativos na física clássica. Ou a equações de Schroedinger independente do tempo; ou os auto-estados de energia ; ou os estados de energia constante. Estados estacionários e ligados de uma partícula presa em uma caixa em movimento unidimensional com potencial finito nos extremos da caixa – as auto-funções de de energia em termos de constantes não nulas. A solução das funções de auto-funções da energia e seus auto-valores no caso de potencial infinito nos extremos da caixa. Comparação com os resultados de de Broglie e de Wilson-Sommerfeld.
20/05	32	12	O “poço de potencial” finito: colocando as condições de continuidade nas funções de onda e suas derivadas; determinação gráfica dos valores de energia e das constantes das funções de onda. Estados estacionários do oscilador harmônico – discussão semi-quantitativa. Comparação das energias dos estados estacionários com a proposta de Planck e resultados da quantização de Wilson-Sommerfeld e da onda estacionária de de Broglie.
21/5	33	12	As características gerais dos movimentos de estados ligados na mecânica quântica: na auto-função da energia, nos valores das energias. Um potencial nuclear para a interação de uma partícula alfa com as outras partículas de um núcleo – discussão qualitativa. A “realidade” da partícula atravessar a parede: possibilidade de existirem núcleos estáveis e os que decaem com emissão de uma alfa. A ortonormalidade dos auto-estados de energia dos estados ligados: uma base para descrever todas as funções de onda (espaço de Hilbert). As combinações lineares de auto-estados de energia: a ncondição de normalização; o valor médio da energia; a densidade de probabilidade variável no tempo e a possibilidade de emissão de fótons com energia igual a diferença entre a energia de dois estados, como proposto por Bohr.
23/5	34	12	A partícula livre. As auto-funções de energia e de momento linear – a onda plana da partícula na mecânica quântica. A impossibilidade de normalização da função de onda. A partícula na condição inicial e sua evolução dinâmica. O princípio de incerteza na onda localizada no espaço. Reinterpretação da conservação da partícula O conceito de incidência, reflexão e transmissão da partícula por um potencial, quando em movimento unidimensional. Os fluxos de incidência, reflexão e transmissão da partícula e a equação da conservação da partícula. A solução dos auto-estados de energia dos estados não ligados do potencial degrau.

**Continuação do programa realizado de física V no 1º SEMESTRE/2013-
diurno**

Profa. Mazé Bechara

DIA	aula	semana	ASSUNTO
26/5	35	13	A solução dos auto-estados de energia dos estados não ligados do potencial degrau – continuação. As constantes das funções de onda. Os fluxos e os coeficientes de reflexão e de transmissão da partícula para energias abaixo do potencial degrau, e para energias acima do potencial degrau. Uma barreira de potencial. As funções de onda a partir da equação de auto-estados de energia. Os fluxos de incidência, reflexão e transmissão, a partir das condições físicas de continuidade da função de onda e de sua derivada para energias abaixo da barreira. (Ufa! Haja conta!!!) Os coeficientes de reflexão e transmissão da partícula pela barreira e a relação da conservação da partícula! O limite dos coeficientes de reflexão e de transmissão para largura $a \rightarrow \infty$: o resultado do potencial degrau!
27/5	36	13	Características gerais dos potenciais ligados e não ligados. Uma observação do experimento de Young com elétrons (1961). A caixa tridimensional de potencial infinito – auto-funções de energia e seus auto-valores. A degenerescência em energia no caso da caixa cúbica. A conveniência de se usar as coordenadas esféricas para potenciais centrais. Os operadores energia e momento angular e quadrado de momento angular em coordenadas esféricas. A equação de auto-estados de energia de um <u>potencial central</u> . ENTREGUE AOS ALUNOS O TEC 3 CORRIGIDO
30/5		13	recesso de Corpus Christi
03/6	37	14	Discussão da solução das questões e critérios de correção da 2ª prova.
04/6	38	14	A solução dos auto-estados de energia pelo método de separação das variáveis angulares da variável radial. A parte angular de todas as auto-funções de energia de qualquer potencial central: conservação e quantização do quadrado do momento angular e de sua componente z. Uma imagem vetorial do momento angular orbital e da sua componente quantizada, levando em conta que L_x e L_y não são constantes de movimento e têm valores médios nulos. A parte radial da função de onda do átomo de H – potencial coulombiano atrativo. Os estados degenerados em energia: estados de mesma energia e diversos módulos de momento angular e diferentes componentes z do momento angular.
06/6	39	14	Um pouco mais sobre os estados degenerados em energia. O significado das “camadas s, p e d” da Química. Gráficos das funções de onda radiais para o átomo de hidrogênio. As densidades volumétricas de probabilidade e a simetria esférica em Schroedinger. Os máximos das densidades volumétricas e seus significados. As densidades radiais de probabilidade: conceito e cálculo.
10/6	40	15	Aplicação: o valor mais provável (“raio” mais provável), o menos provável e o valor médio (“raio” médio) da distância do elétron ao núcleo no estado fundamental: comparação com o raio do Modelo de Bohr. Idem para um dos 1s estados excitados. O estado da arte da mecânica quântica para o átomo de H – algumas palavras. Aplicação: Os estados mistos do átomo de H.
11/6	41	15	Aplicações e dúvidas dos estudantes.
13/6	42	15	Aplicações e dúvidas dos estudantes. Conversa sobre a avaliação institucional da disciplina DATA FINAL PARA ENTREGA DO TEC 4.
17/6	43	16	Dúvidas dos estudantes
18/6		16	3ª prova – conteúdo: ênfase nos temas de Mecânica Quântica
20/6	44	16	Discussão da 3ª prova
24/6		17	recesso para estudo
25/6		17	17 prova final obrigatória – conteúdo de todas as aulas

“Tudo vale a pena se a alma não é pequena”.
Fernando Pessoa
