



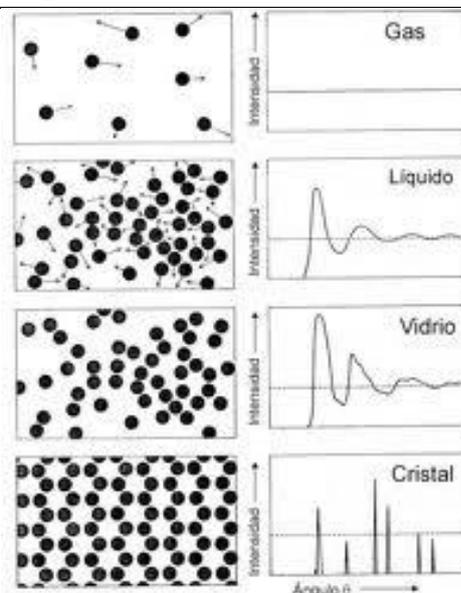
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA



Física Moderna I - 4300375
Período: noturno

1º Semestre de 2012

Guia de trabalho
Tópico I – A estrutura da matéria no
contexto da Física Clássica
(breve revisão)



Prof.^a Maria José (Mazé) Bechara



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



INSTITUTO DE FÍSICA

**Física Moderna I – 4300375 - período noturno
1º SEMESTRE de 2012**

Prof. Maria José (Mazé) Bechara

**Tópico I – A estrutura da matéria no contexto da física clássica
(breve revisão)**

tempo previsto – ~ 2,5 aulas

Objetivos específicos do Tópico:

Um dos objetivos deste primeiro tópico é repensar, para compreender, algumas concepções da física clássica, em particular o determinismo, o que caracteriza um movimento de ondas e de partículas e os modelos cinéticos da estrutura da matéria, no contexto da física clássica.

Em relação à estrutura da matéria focaremos em quem são os constituintes, sua distribuição espacial e os movimentos dos constituintes na matéria gasosa, líquida e sólida, dentro das concepções da física clássica.

Avançaremos em relação aos conhecimentos das disciplinas básicas discutindo o entendimento do determinismo da física clássica, que pode não ter sido explicitado nas disciplinas básicas. Para além do modelo cinético da matéria, abordaremos as bases da mecânica estatística clássica de Boltzmann, que é determinística, e em particular discutiremos o modelo de sólidos condutores e não condutores e o valor experimental do calor específico molar a volume constante no modelo de sólido no contexto da estatística de Boltzmann, que são relevantes para o que segue na disciplina.

Um aspecto importante quando se trata de descrever fenômenos e processos da “intimidade” da matéria é que a ciência usa de modelos e de teorias físicas de validade mais geral. Os modelos e as teorias a eles aplicadas são validados quando suas previsões concordam com o que se observa experimentalmente. Não há observação direta da “intimidade” da matéria. E esta é uma característica da ciência física dos séculos XX e XXI. Há que se trabalhar com abstrações.

Nesta breve revisão usaremos os modelos cinéticos clássicos visando firmar convicções sobre a estrutura da matéria, em algumas concepções gerais da física clássica, e também dos conceitos estatísticos da física clássica, para que posteriormente possam ser compreendidas as novas concepções da física quântica, em especial o caráter estatístico da mecânica quântica da partícula material.

Como os constituintes de toda matéria têm também cargas elétricas em contínuo movimento com acelerações e desacelerações, toda matéria necessariamente emite ondas eletromagnéticas a qualquer temperatura, segundo a eletrodinâmica clássica. Mas esta é outra história, que fica para o próximo tópico...

Conteúdo detalhado:

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.

Referências:

A ordem dos textos não é de prioridade. Veja comentário em cada uma das referências.

1. *Física em seis lições* de Richard Feynman; Ediouro (1999) (para visão qualitativa dos modelos mecânicos).
2. *Física Moderna* de Paul A. Tipler e Ralph A. Llewellyn (TL), LTC editora Copyright © 2001; Cap. 8.1 e 3.1. (Para tratamento mais quantitativo dos itens I.2 a I.4).
3. Notas de aulas de Roberto V. Ribas - endereço na Internet: <http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/download.html>; Cap. 1.
4. *Modern Physics for scientists and engineers* de Thornton & Rex (T&R); Copyright © 2000 by Saunders College Publishing; Cap.1, Cap. 9.1 a 9.6 e itens 3.1 e 3.2 do Cap.3. (O único com um tratamento, ainda que não muito explícito do sub-item 1.1 no seu capítulo 1).
5. *Introduction to Atomic Physics* de Enge, Wehr e Richards (EWR); Caps. 1. Copyright © 1972 by Addison-Wesley Publishing Company, Inc.

Leitura interessante

6. *FÍSICA MODERNA – Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos* de Francisco Caruso e Vitor Oguri; Editora Campus (2006); Cap. 1 e 2 (história do modelo de matéria – vale à pena ler); Cap. 3 até o item 3.2.3, Itens 8.1.1 a 8.1.5.

Segue uma **lista** de questões para testar o seu real conhecimento no assunto em breve revisão. Certamente em duas ou três aulas de revisão não serão tratadas todas as questões do tema. Não se iniba em tirar suas dúvidas com a professora ou monitores sobre o tópico. Se não precisasse de revisão, não haveria este tópico!

Questões relativas ao Tópico I
A estrutura da matéria da matéria no contexto da Física Clássica – breve revisão

(*) *Questões mais centrais na disciplina.*

Termodinâmica, modelos cinéticos e outras concepções da física clássica.

1. (*) O que você entende por determinismo na mecânica clássica?
2. (*) O que você entende por “Física Clássica”? Quais as grandes áreas desta Física? Quais destes temas foram abordados nas disciplinas anteriores? Justifique com clareza.
3. (*) Na contexto da Física Clássica pode um sistema ter movimento de partículas e de onda? Há partículas sem massa?
4. (*) Os movimentos ondulatórios estão sempre relacionados aos movimentos de massas no contexto da física clássica? Explique.
5. (*) Quais são as principais características do movimento de ondas que permitem que se distingam dos movimentos de partículas? Cite exemplos de fenômenos que permitem tal distinção.
6. Qual é o entendimento da Física sobre as grandezas físicas: temperatura, volume, pressão e calor específico molar a volume constante de um gás na Termodinâmica? E nos modelos cinéticos da matéria? O que você entende por modelos cinéticos da matéria?
7. (*) Em que sentido a mecânica estatística de Boltzmann é determinística? Explique com clareza e concisão.
8. Argumente sobre um resultado previsto pelo modelo cinético dos gases que é evidência da quantização da massa na matéria.
9. (*) Considere três materiais: um no estado gasoso, outro no estado sólido e um terceiro no estado líquido. Os três materiais estão na mesma temperatura e não interagem com sistemas externas. Descreva de forma comparativa, segundo os modelos cinéticos (ou mecânicos) da matéria, os seguintes aspectos:
 - (a) seus constituintes: o que são, como se distribuem no espaço, e a distância média entre eles;
 - (b) tipos de movimentos dos constituintes: translação, rotação, vibração, e interações entre os constituintes;
 - (c) energia cinética dos constituintes e a(s) grandeza(s) termodinâmica(s) a ela relacionada(s). Como se observa experimentalmente?
 - (d) energia total dos constituintes e a (s) grandeza(s) termodinâmicas relacionadas. Como se observa experimentalmente?

10. (*) (a) Descreva, de forma comparativa, a estrutura dos sólidos condutores e não condutores, explicitando: "quem" são os constituintes básicos dos sólidos, os tipos de movimentos e as diversas energias destes constituintes.
- (b) Como se justifica o fato do valor experimental do calor específico molar a volume constante ter praticamente o mesmo valor (dentro de menos de 1%) para sólidos condutores e não condutores segundo a equipartição de energia de Boltzmann? Estes valores dependem da temperatura? E os valores experimentais, dependem da temperatura?

Conceitos e previsões da mecânica estatística de Maxwell-Boltzmann.

11. (*) Qual é o princípio básico da mecânica estatística de Boltzmann? Qual é a consequência deste princípio em termos de distribuição de grandezas físicas para um sistema de muitas partículas idênticas? E como é a distribuição de velocidades (lembre-se que velocidade é grandeza vetorial)? E a distribuição de módulo de velocidade? Justifique todas as respostas.
12. (*) Usando a equipartição de energia determine o calor específico molar a volume constante (c_v) de um gás cujas moléculas podem ser descritas pelos seguintes modelos mecânicos:
- (a) Moléculas monoatômicas;
 - (b) Moléculas diatômicas na forma de halteres rígido, cujos átomos têm raios muito menores do que a distância (fixa) entre eles;
 - (c) Moléculas diatômicas na forma de halteres não rígidos, ou seja, que pode vibrar harmonicamente na direção que une os dois átomos.
13. A velocidade de propagação do som no ar a 27°C é de aproximadamente 348m/s . Determine a razão entre esta velocidade e a raiz quadrada da média da velocidade ao quadrado das moléculas de nitrogênio na mesma temperatura. Este resultado mudaria se o nitrogênio do ar fosse monoatômico? Justifique.
14. a) Esboce o gráfico da distribuição de módulo de velocidades das moléculas de hidrogênio (H_2), de hélio, do nitrogênio (N_2) na temperatura ambiente (300K).
- b) Determine a raiz quadrada da média da velocidade ao quadrado das moléculas de hidrogênio (H_2), do nitrogênio (N_2) e do hélio (He) na temperatura ambiente (300K).
- c) Dê um argumento, com base na distribuição das velocidades das moléculas sobre a maior densidade de nitrogênio e oxigênio na atmosfera da Terra comparada com a densidade do hidrogênio. Lembre-se da velocidade de escape (acima da qual um corpo se livra da atração gravitacional terrestre).
- d) Determine a quantidade de calor necessária para aquecer de um grau um mol de moléculas de hidrogênio (H_2) e de hélio (He) do ar na temperatura ambiente (300K). Esses resultados dependem da temperatura na mecânica estatística de Boltzmann? E segundo as medidas experimentais? Justifique.
15. A energia de ionização do átomo de hidrogênio (energia mínima para o átomo se tornar um íon H^+) é de $13,6\text{eV}$. Para qual valor de temperatura a energia cinética média de translação do átomo é igual à energia de ionização? Qual é a energia cinética de translação dos átomos de hidrogênio na temperatura da superfície do Sol (6000K)? E no interior do Sol (10^7K)?

16. É importante na física de reatores saber as propriedades dos nêutrons (partículas neutras com massa aproximadamente igual a do átomo de H) no interior do reator nuclear. Usando a hipótese de um gás de nêutrons no interior do reator determine: a velocidade média (em m/s), a velocidade mais provável (em m/s) e a energia cinética média em eV, quando a temperatura do reator for de 300K, de 500K e de 2500K.

17. (*) Em um material polaróide cada molécula oscila harmonicamente em torno de sua posição de equilíbrio em uma única direção. Assim, a energia de cada molécula pode ser dada, segundo a mecânica newtoniana por:

$$E = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}bx^2$$

x é a distância da molécula ao seu ponto de equilíbrio, m é a massa da molécula e b uma constante da força de oscilação. O sistema está em equilíbrio térmico.

- Determine a energia média das moléculas. Justifique.
- Qual é a distribuição das velocidades das moléculas do polaróide? Justifique.

18. (*) Considere o sólido no seu modelo mecânico mais básico, ou seja, constituído de átomos em arranjos geométricos simétricos, com oscilação harmônica tridimensional em torno das suas posições de equilíbrio.

- Determine a energia média do sólido. Justifique.
- Determine o calor específico molar a volume constante. Como este resultado se compara com o experimental?
- Qual a diferença, em termos de constituintes da matéria e seus movimentos, entre um sólido condutor e um sólido isolante no modelo cinético? Esta diferença tem consequência na energia do sistema segundo a equipartição de energia da mecânica estatística clássica? Justifique.
- Qual é a previsão da estatística de Boltzmann para o calor específico dos sólidos condutores e não condutores? Justifique. Compare tais previsões com os resultados experimentais, e comente se são concordantes.

19. (*) Um sistema é composto por N partículas idênticas cujas energias podem ser escritas como $\epsilon = n\epsilon_0$. ϵ_0 é uma constante e os n são números inteiros: $n=0,1,2,\dots$

- A partir da distribuição discreta de Boltzmann determine a energia média do sistema.
- Determine o calor específico molar a volume constante, justificando o seu procedimento.
- Determine o calor específico molar no limite de temperaturas muito altas ($kT \gg \epsilon_0$). Compare o resultado neste limite com o obtido para um sólido a uma dada temperatura T usando a distribuição contínua de Boltzmann.

Obs. Esse cálculo está relacionado com o cálculo de Einstein para o calor específico molar de sólidos a volume constante no início do século XX. Aguarde o próximo tópico!