

Aula 1 – 1/8/18. Evidências para uma descrição atômica da matéria. Boa parte do assunto está no capítulo 1 do texto do Professor Roberto Ribas, <http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/download/EstrMat-I.pdf>, último acesso em 30/7/2018. A parte inicial está muito resumida, assim vou chamar a atenção para os fatos importantes.

Embora a palavra átomo venha do grego e a ideia de unidades mínimas indivisíveis aparecesse na filosofia antiga, ela nada tinha de científica. A estrutura atômica não é observável pelos sentidos de maneira direta, assim a construção de equipamentos que permitam estendê-los a ponto de revelar os componentes fundamentais das substâncias ou o desenvolvimento de um quadro teórico acerca da constituição da matéria é essencial para que essa ideia passe de especulativa a científica.

1. O átomo e as leis dos gases

É um fato que podemos transformar gelo em água, água em vapor (e vice-versa) quantas vezes quisermos, em qualquer lugar e na rapidez que desejamos. Isso sugere que existe algo a que chamamos água que independe da temperatura e do local onde se encontra. A existência de uma unidade fundamental dessa substância traz perguntas fundamentais: que tamanho tem? Que outras propriedades se podem medir (forma, densidade, carga elétrica, com que substâncias reage)?

O conjunto das medidas dessas propriedades parece ter levado os físicos a darem o primeiro passo na construção da teoria atômica, com a descrição cinética dos gases, tratado por extenso na disciplina de Mecânica Estatística, que vários de vocês já cursaram. No texto do Prof. Ribas, você encontra a teoria cinética da pressão (seção 1.2), a equipartição da energia (seção 1.3) e a distribuição das velocidades em um gás (seção 1.5). O capítulo 1 do Volume 1 do Feynman Lectures on Physics (<http://www.feynmanlectures.caltech.edu/>, último acesso em 30/7/2018) é uma leitura muito interessante sobre o assunto.

Questão 1. É muito comum assoprar a colher de sopa a fim de esfriá-la. Isso funciona? Explique sua resposta.

2. A história da teoria atômica e a química

Os químicos adentraram o mundo científico no fim do século XVII e início do século XVIII. Avogadro (1811) esboçou o quadro da teoria atômica que explica as reações e transformações químicas, que incluía a Lei das proporções múltiplas (Dalton) e as da conservação da massa e da composição constante (Lavoisier e Proust).

Certifique-se que tem clareza quanto a:

- definir substância pura e molécula, elemento e átomo.
- estimar a separação média entre átomos de um elemento sólido.
- estimar a separação média entre moléculas de um gás.
- determinar fórmulas moleculares possíveis para uma substância sabendo em que proporções as massas de cada um dos elementos que a compõem se combina com um determinado elemento.
- o valor da unidade de massa atômica, no SI.
- o valor do número de Avogadro e suas consequências nos fenômenos naturais.

Questão 2. Num curso da Khan, URL

<https://www.khanacademy.org/science/biology/chemistry--of-life/elements-and-atoms/a/matter-elements-atoms-article>,

a pergunta: *What is the specific difference between atoms and molecules?*

tem como resposta preferida a seguinte:

Molecules are made up of two or more atoms.

- a) Você concorda com a resposta? Se não, como você responderia?
- b) Explique porque a resposta dada não aporta nenhum significado ao conceito de molécula.

3. A descoberta do elétron; medida da razão e/m

A matéria é basicamente neutra – as cargas positiva e negativa contidas em um 1 g de Hidrogênio, mantidas separadas a 300 km de distância, produzem uma força capaz de sustentar o peso do MASP. No entanto, é relativamente fácil remover carga elétrica negativa da matéria, o que, com o uso das leis do eletromagnetismo, permitiu determinar suas propriedades. A descoberta do elétron, a experiência de Millikan (que vários de vocês fizeram em Física Experimental V) e a experiência da medida da razão carga/massa do elétron, está descrita na seção 1.1 do texto do Prof. Ribas.

Certifique-se que:

- sabe o que é um Faraday de carga e seu valor numérico.
- sabe o valor da carga do elétron.
- faz ideia do número de elétrons em um canudo plástico eletrizado que gruda na parede
- sabe qual a razão entre as massas do elétron e do hidrogênio.
- entende que a quantização da carga **não** desempenha papel evidente na corrente que circula na resistência do ferro de passar roupa.

Questão 3. Qual é a conexão da quantização da carga com a teoria atômica?

Questão 4. Que informação o valor da razão e/m_e traz para a teoria atômica?

4. Calor específico e a teoria atômica

Aceitar que existam átomos permite definir o mol. Com isso, é possível procurar propriedades e grandezas invariantes com a *substância química* – uma substância química é definida pela maneira como reage com outras substâncias, não pelas suas propriedades físicas. A tabela ao lado mostra os valores da capacidade térmica molar a pressão constante, C_p , a 25 °C de temperatura, para alguns sólidos. As diferenças entre os dados da tabela são pequenas, o que não acontece com as propriedades químicas bem como outras propriedades físicas

| Substância | Calor específico (J/mol/°C) |
|------------|-----------------------------|
| alumínio | 24,4 |
| enxofre | 22,4 |
| zinco | 25,4 |
| cobre | 24,5 |
| prata | 25,5 |
| estanho | 26,4 |
| chumbo | 26,4 |

(densidade, dureza, cor, modo de cristalização, temperatura de fusão, como exemplos) dessas substâncias – o calor específico molar é mesmo quase invariante com a substância. Essa propriedade deriva da equipartição da energia, que é ligada a características das interações entre os átomos quando estão em equilíbrio no interior de um corpo ou volume.

No entanto, a tabela mostra que há diferenças, pequenas, mas que podem ser muito maiores para certos sólidos. Este é um assunto que veremos em detalhe adiante.

Já os gases apresentam variações ainda mais complicadas, refletindo a estrutura interna das moléculas. É o assunto da seção 1.4 do texto do Prof. Ribas. Uma explicação mais detalhada, com algumas figuras, está no artigo “Heat Capacity”, da Wikipedia (em inglês).

5. Movimento browniano

A seção 1.6 do texto do Prof. Ribas lida com esse tema em bastante detalhe. O capítulo 6 do volume 1 do Feynman Lectures on Physics trata desse assunto de maneira interessante.

A tese de doutorado de Einstein foi sobre esse assunto, veja o comentário de N. Straumann (arXiv:physics/0504201 [physics.hist-ph], último acesso em 30/7/2018) :

“Einstein's thesis "A New Determination of Molecular Dimensions" was the second of his five celebrated papers in 1905. As an important application of the theoretical results for the viscosity and diffusion of solutions, he got (after eliminating a calculational error) an excellent value for the Avogadro number from data for sugar dissolved in water.”

Questão 5. O movimento browniano é uma manifestação da estrutura atômica da matéria acessível aos nossos sentidos? Dê uma resposta e a justifique.

Exercícios

Quando necessário, busque na literatura os dados que faltam para resolver os problemas.

1. 2 cm^3 de óxido nítrico são separados em 1 cm^3 de nitrogênio e 1 cm^3 de oxigênio. Considerando todos os volumes medidos nas mesmas condições de temperatura e pressão, determine uma possível fórmula molecular do óxido nítrico.

2. 3 cm^3 de N_2O_4 são separados em oxigênio e nitrogênio.
Determine os volumes obtidos para oxigênio e nitrogênio, nas mesmas condições de temperatura e pressão.

3. O etileno pode ser separado em C e H, de modo que as concentrações de Carbono e Hidrogênio, em massa, ([C] e [H], respectivamente), estão na proporção

$$\frac{[\text{C}]}{[\text{H}]} = \frac{85,62}{14,38}$$

Determine a fórmula química do etileno.

4. Uma folha de Alumínio com $20,0 \text{ cm}^2$ de área tem massa igual a $1,00 \text{ mg}$.
Determine o número de átomos por cm^2 dessa folha.

5. (exercício 3 do texto do Prof. Ribas, ligeiramente reescrito) Considere um volume de gás H_2 à temperatura $T = 300 \text{ K}$ à pressão atmosférica normal. Determine:

- v_{rms} de uma molécula.
- qual deveria ser a temperatura T , mantida a pressão, para a qual v_{rms} igualasse a velocidade de escape do campo gravitacional terrestre, de $11,2 \text{ km/s}$.
- em que condições a pressão é uma variável irrelevante para este problema.

6. Uma gota de massa $m = 3,26 \cdot 10^{-16} \text{ kg}$ e carga igual à de 3 elétrons, em uma região do espaço em que o campo elétrico vale E , sobe com uma velocidade cujo módulo é o dobro daquele da velocidade com que cai quando o campo é eliminado. Adote $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Determine E .

7. Um feixe fino de íons positivos de diferentes valores de e/m passa pela combinação de campos elétricos e magnéticos do dispositivo da figura 1.1 do texto do Prof. Ribas. Depois de passar pelos campos, o feixe atravessa um orifício pequeno, feito de forma que apenas íons não defletidos sejam transmitidos.

- Mostre que esse aparelho transmite íons de velocidade v bem definida, qualquer que seja sua carga específica e/m .
- Calcule v quando $E = 10^5 \text{ V/m}$ e $B = 0,1 \text{ T}$.

8. Os íons de Cs^+ emitidos por um filamento incandescente formam uma corrente elétrica de 10^{-10} A . Depois de acelerados num potencial de 110 V , eles colidem com um alvo, inelasticamente, de modo a transferirem toda sua quantidade de movimento para o alvo.

Determine a intensidade da força sobre o alvo devida ao feixe de íons

9. Um feixe de elétrons de 10 mA e 20 kV é absorvido por um copo de Faraday com 50 g de massa; o calor específico do material do copo é $0,5 \text{ J/(g } ^\circ\text{C)}$

Determine o tempo necessário para que o copo de Faraday aumente 1° C de temperatura – ignore a perda de energia do copo tanto por radiação (térmica ou raio-X) quanto pelo escape de elétrons do copo.