

Ligação Iônica

1. Introdução

Os átomos geralmente não existem livres na natureza, mas, sim, combinados, formando substâncias simples ou compostas. Para se combinarem, os átomos se valem de ligações químicas, isto é, interações de natureza elétrica que levam os átomos a uma maior estabilidade.

Alguns átomos, entretanto, se apresentam isolados na natureza e o maior exemplo dessa ocorrência são os átomos que constituem os gases nobres. Após a realização de experimentos, provou-se empiricamente que os gases nobres são quimicamente inertes (apesar de hoje já existirem compostos contendo gases nobres).

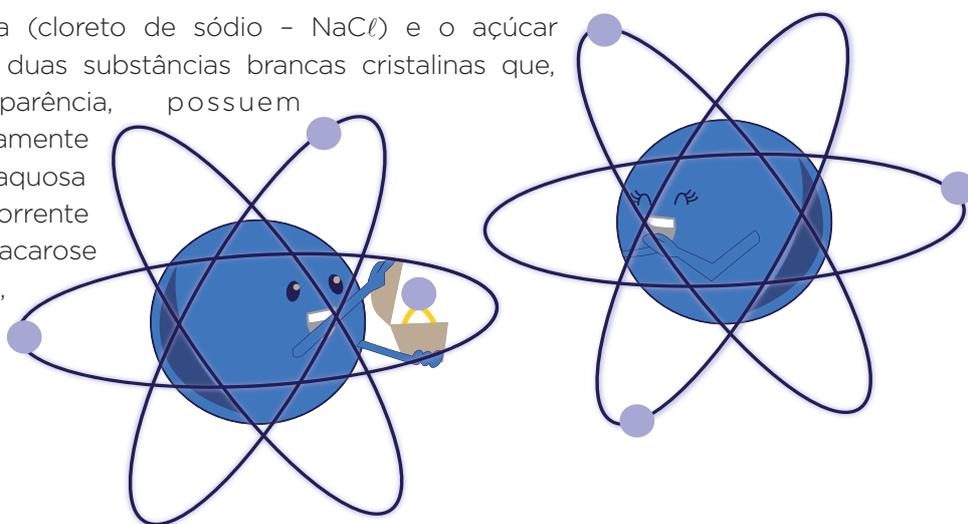
Essa inércia química dos gases nobres, bem como a observação das estruturas de outras substâncias levaram os cientistas a propor que os gases nobres fossem utilizados como modelos de estabilidade a serem seguidos por outros átomos. Assim, em 1919, o norte-americano Irving Langmuir enunciou a teoria do octeto para explicar as ligações químicas.

Atualmente são conhecidas muitas exceções para a regra do octeto e algumas interpretações da teoria original se mostraram incorretas. Um exemplo disso é a atribuição da estabilidade dos compostos químicos à mera semelhança da distribuição eletrônica com a dos gases nobres, isto é, simples ao fato de esses apresentarem a última camada eletrônica com os subníveis s e p completos.

O preenchimento desses subníveis, por si só, não explica a estabilidade de compostos químicos. Uma maneira melhor de explicar essa estabilidade é por meio da liberação de energia durante a formação das ligações que o compõem, uma vez que, quanto menor a energia do sistema, mais estável esse se apresenta.

A existência de grupos de substâncias com propriedades físicas semelhantes decorre dos tipos de ligações químicas existentes, uma vez que tais propriedades são determinadas pelas forças de coesão da matéria que, em grande parte, são exercidas pelas ligações químicas.

Por exemplo, o sal de cozinha (cloreto de sódio - NaCl) e o açúcar refinado (sacarose - $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) são duas substâncias brancas cristalinas que, apesar de suas similaridades na aparência, possuem propriedades físicas completamente diferentes: enquanto uma solução aquosa de cloreto de sódio conduz corrente elétrica, uma solução aquosa de sacarose não conduz. E essa diferença se deve, essencialmente, aos tipos de ligações presentes em tais compostos.



1.1. Valência

A valência indica a quantidade de elétrons que o átomo representativo perde ou ganha para atender à regra do octeto. Valência apresenta sinal; positivo indica perda de elétrons e o negativo ganho de elétrons.

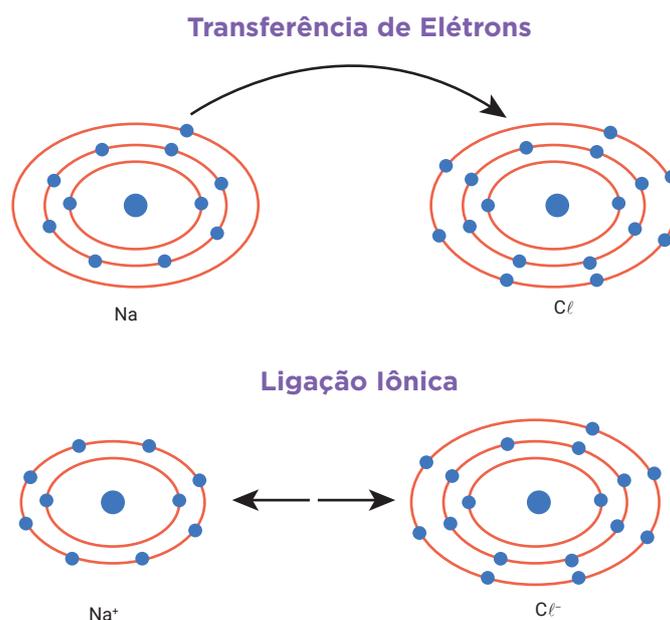
Já os elétrons de valência são os elétrons presentes na última camada.

Coluna	Elétrons de Valência	Valência
IA	1	1+
IIA	2	2+
IIIA	3	3+
IVA	4	4+ ou 4-
VA	5	3-
VIA	6	2-
VIIA	7	1-
VIIIA	8	0

2. Ligação Iônica ou Eletrovalente

A ligação iônica se dá pela atração eletrostática entre íons positivos e negativos. Esses íons são, geralmente, formados a partir da transferência de elétrons dos metais para os não metais. O átomo que perde elétrons torna-se um íon positivo (cátion), enquanto que o átomo que ganha elétrons torna-se um íon negativo (ânion). Os compostos formados por esse tipo de ligação são denominados compostos iônicos. Neles, a diferença de eletronegatividade entre os seus átomos constituintes deve ser superior a 1,7.

Observe o exemplo de formação da ligação iônica para o cloreto de sódio (NaCl).



É a atração entre os íons que constitui a ligação iônica. Quando pensamos no cloreto de sódio (NaCl), não podemos imaginar apenas um íon de cada formando uma substância diatômica.

Mas sim uma série deles unidos na proporção de 1:1, formando um imenso agregado ou aglomerado iônico.

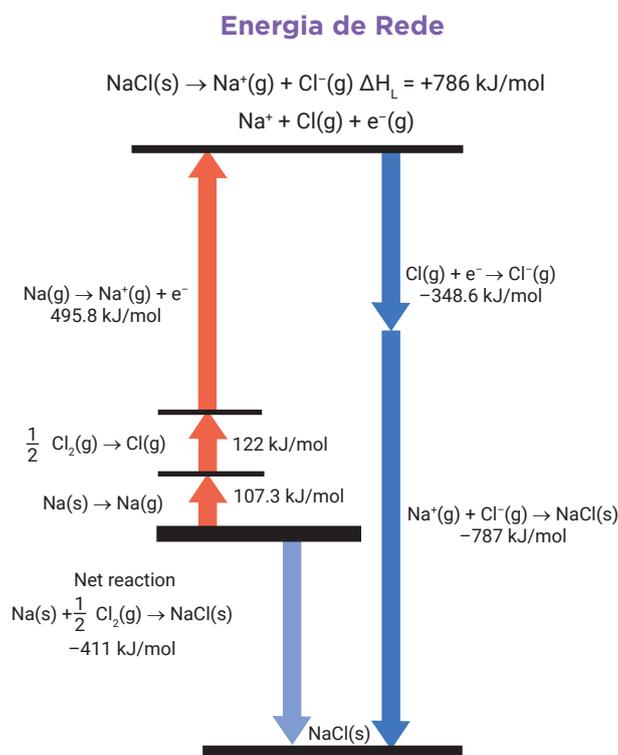
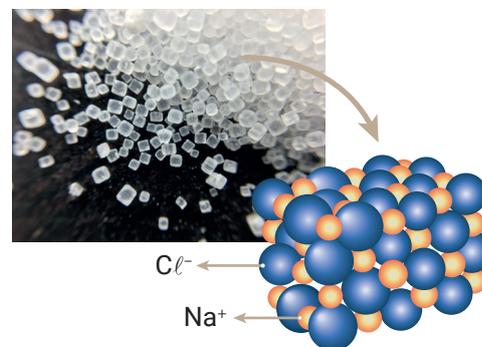
A principal razão para os compostos iônicos serem estáveis é a atração entre os íons de cargas opostas.

Nas substâncias iônicas, cátions e ânions distribuem-se regularmente no espaço, formando redes cristalinas, em que as interações atrativas são maximizadas e as repulsivas, minimizadas.

2.1 Energia de Rede

Um composto iônico não é formado apenas pela interação entre um íon negativo e um positivo. Esse tipo de composto é formado por um aglomerado de íons. Assim, a estabilidade de um composto iônico se dá pelas atrações entre todos esses íons.

A energia necessária para separar completamente 1 mol de composto iônico em íons isolados na fase gasosa é denominada **Energia de Rede**. Quanto maior for a Energia de Rede de um composto iônico, maior a energia necessária para separar os íons desse retículo, dessa forma, mais estável é o composto iônico.



2.2 Fatores que afetam a intensidade da ligação iônica

A estabilidade da estrutura cristalina depende basicamente de dois fatores: das cargas elétricas dos íons (q_1 e q_2) envolvidos e da distância entre os centros de carga desses íons (d), podendo ser expressas pela seguinte equação:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

Dessa forma, quanto maiores forem as cargas dos cátions e ânions e menor for a distância entre seus centros de cargas, mais intensas serão as interações entre eles e, portanto, mais forte será a ligação.

1ª comparação: Estruturas cristalinas semelhantes com cargas diferentes

O óxido de cálcio (CaO) e o cloreto de sódio (NaCl) apresentam estruturas cristalinas e íons de tamanhos similares. Entretanto, a energia de rede do CaO 3461 kJ.mol^{-1} , cerca de 4 vezes maior que a do NaCl, 788 kJ.mol^{-1} . Essa diferença pode ser analisada comparando os produtos das cargas dos íons em cada um dos compostos. A carga relativa do íon Ca^{2+} é o dobro do íon Na^+ ; e a carga do íon O^{2-} também é o dobro da do íon Cl^- . Logo, o produto das cargas no CaO é quatro vezes maior do que no NaCl.

2ª comparação: Cargas elétricas similares, mas diferem quanto à distância média entre os seus centros de carga.

O cloreto de potássio (KCl) e o cloreto de sódio (NaCl) apresentam cargas similares, porém o íon K^+ apresenta maior raio que o Na^+ . Dessa forma, a distância média entre os íons K^+ e Cl^- é maior que a distância média entre os íons Na^+ e Cl^- , o que enfraquece a atração eletrostática entre esses íons.

2.3 Determinação da fórmula de uma substância iônica.

A fórmula de um composto iônico, resultante da combinação de dois elementos, pode ser obtida utilizando-se as cargas dos elementos. Para tanto, é necessário sabermos que as fórmulas das substâncias iônicas são eletricamente neutras, ou seja, as cargas totais positivas e negativas são iguais. Para que essa neutralidade seja obtida, basta inverter as cargas dos elementos, fazendo com que a carga de um seja a atomicidade do outro.

Exemplos:

Íons: Al^{3+} O^{2-} fórmula: Al_2O_3

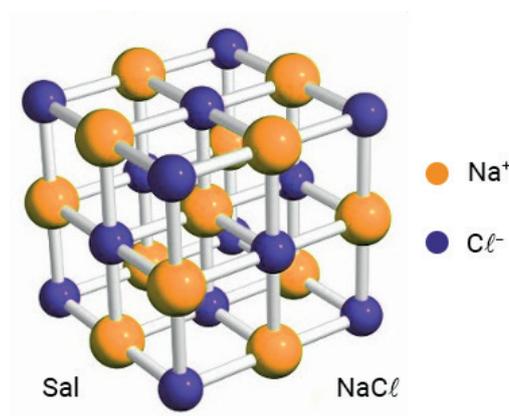
Íons: Ca^{2+} Br^- fórmula: CaBr_2

Íons: Mg^{2+} O^{2-} fórmula: MgO

2.4 Propriedades dos compostos iônicos

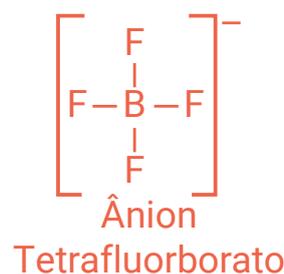
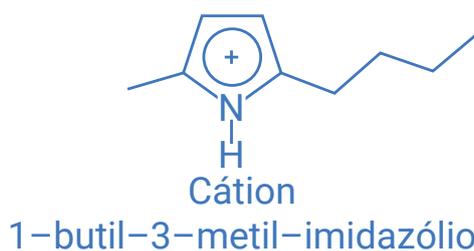
- São sólidos à temperatura ambiente. A forte atração entre os íons produz aglomerados com formas geométricas bem definidas. Os agrupamentos geométricos são denominados retículo cristalino. No retículo cristalino, cada cátion atrai simultaneamente vários ânions e cada ânion atrai simultaneamente vários cátions.

Por exemplo: no sal de cozinha, cada íon Cl^- é cercado por 6 íons Na^+ e vice-versa. Veja a figura a seguir.



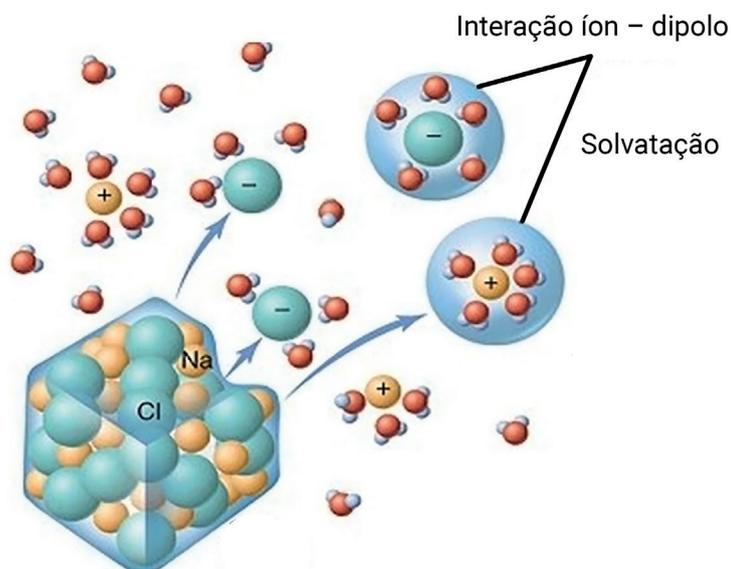
Obs.: Existem alguns compostos iônicos que se encontram no estado líquido em condições ambientes. Esses compostos são denominados de líquidos iônicos. A atração é mais fraca, pois esses compostos apresentam íons muito volumosos, o que aumenta a distância entre os centros de cargas, dificultando, dessa forma, a formação de retículos cristalinos.

Um exemplo de um líquido iônico está representado na figura a seguir. O cátion é um íon muito volumoso.



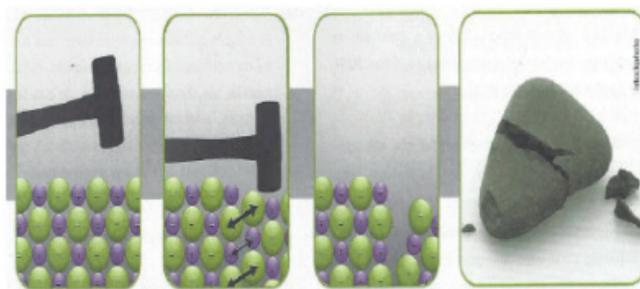
- Apresentam elevadas temperaturas de fusão e ebulição. Os cristais iônicos apresentam elevados valores de energia de rede. Assim, torna-se necessário uma elevada quantidade de energia para separar os íons durante a fusão e a ebulição.
- Seu melhor solvente é a água, mas existem vários compostos iônicos que não se dissolvem em água. A água interage com os íons do cristal por meio de seus polos e os separa.

Observe a dissolução do cloreto de sódio:



A água não é capaz de dissociar todas as substâncias iônicas, portanto não se pode dizer que todas as substâncias iônicas sejam solúveis na mesma.

- Não conduzem corrente elétrica no estado sólido. No estado sólido, os íons estão presos na rede cristalina e têm pequeno grau de liberdade.
- Conduzem corrente elétrica quando fundidos (estado líquido) ou em solução aquosa devido à presença de íons livres. Quando aquecidos até a fusão ou dissolvidos em água, as substâncias iônicas dissociam seus íons, que, com grande liberdade, são capazes de conduzir eletricidade.
- São duros (resistentes ao risco) e quebradiços, originando fragmentos de faces planas.



A elevada dureza é consequência do forte grau de interação entre os íons. Em contrapartida, quando submetidos ao choque mecânico, costumam fragmentar-se em cristais menores devido ao fato de o choque promover o deslizamento de planos dentro da estrutura cristalina, aproximando íons de mesmo sinal da rede fazendo com que as interações repulsivas tornam-se mais intensas do que as interações atrativas



EXERCÍCIOS

Questão 1

Átomos do elemento genérico M, que forma cátions trivalentes, ligam-se com átomos do elemento Y, pertencentes à família do calcogênios.

- A) M_3Y_2 B) M_2Y_3 C) MY_3 D) M_3Y

Questão 2

Na reação de metal A com um elemento B, obteve-se um substância de fórmula A_2B . O elemento B é, provavelmente;

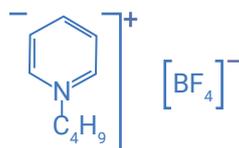
- A) Halogênio C) Metal nobre
B) Metal de transição D) Calcogênio

Questão 3

Um elemento X, pertencente à família IIA da tabela periódica, forma uma ligação química com outro elemento Y da família VIIA. Sabe-se que X não é Berílio, qual a fórmula mínima do composto formado e nome da ligação entre X e Y.

Questão 4

Recentemente, os químicos têm investigado uma nova classe de materiais – os líquidos iônicos. A novidade desses materiais é que, nas condições ambientais, as substâncias iônicas mais comuns são sólidas. A estrutura exemplifica um líquido iônico:



Essa substância tem propriedades interessantes:

- é líquida, nas condições ambientais;
- é solúvel em água;
- é um bom solvente para muitas substâncias polares e apolares.

Com base nas características estruturais dessa substância, justifique o fato de ela ser um bom solvente para muitas substâncias apolares.

A) Analise a estrutura dessa substância e, com base na interação eletrostática entre seu cátion e seu ânion, Justifique o fato de ela ser líquida.

Questão 5

(UFMG) Este quadro apresenta os valores das temperaturas de fusão e ebulição dos cloretos de sódio, magnésio e alumínio, todos a uma pressão de 1 atmosfera:

Composto	Temperatura de fusão / °C	Temperatura de ebulição/ °C
Cloreto de Sódio	801	1413
Cloreto de Magnésio	706	1412
Cloreto de Alumínio	Sublima a 178 °C	

Considerando-se essas propriedades e os modelos de ligação química aplicáveis às três substâncias, é **CORRETO** afirmar que

- A) a ligação iônica no cloreto de alumínio é mais fraca que as dos demais compostos, pois, nela, o cátion divide a sua força de atração entre três ânions.
- B) as ligações químicas do cloreto de sódio, em estado sólido, se quebram com maior facilidade que as dos demais compostos, também em estado sólido.
- C) o cloreto de alumínio tem um forte caráter molecular, não sendo puramente iônico.
- D) os três compostos têm fórmulas correspondentes à estequiometria de um cátion para um ânion.

Questão 6

Entre os compostos iônicos a seguir, todos com estruturas cristalinas similares, assinale aquele que apresenta maior temperatura de fusão.

- A) NaF
- B) KF
- C) NaCl
- D) KCl

Questão 7

(UFMG) Existem algumas propriedades que são adequadas para caracterizar os sólidos iônicos, uma vez que a grande maioria desses sólidos apresenta essas propriedades. Outras propriedades não são adequadas para esse fim, pois podem existir sólidos iônicos que não apresentam essas outras propriedades. Considere o conjunto dos sólidos iônicos.

Entre as propriedades relacionadas, indique a que **NÃO** será exibida por um grande número de sólidos.

- A) Apresentar altas temperaturas de fusão
- B) Conduzir corrente elétrica quando fundido
- C) Ser isolante térmico e elétrico no estado sólido
- D) Ser solúvel em água.

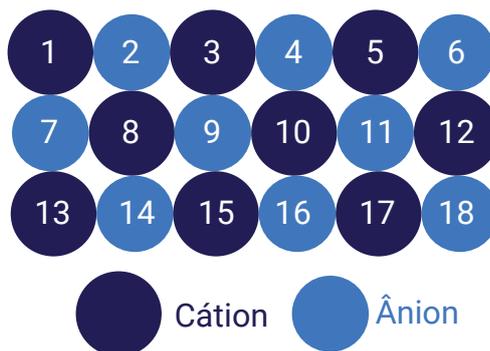
Questão 8

Sobre os compostos iônicos e suas propriedades nas condições ambiente, todas as alternativas estão corretas, **EXCETO**

- A) Em sua grande maioria são isolantes elétricos
- B) Se formados por íons muito volumosos podem ser encontrados no estado líquido
- C) A proporção entre as quantidades de cátions e ânions do composto é o fator determinante nas forças atrativas que mantêm coeso o retículo cristalino
- D) Em geral, apresentam altas temperaturas de fusão e ebulição.

Questão 9

A figura a seguir representa a estrutura cristalina de um composto iônico nas condições ambiente. Suas propriedades são explicadas pelas ligações químicas exibidas pelo mesmo.



Considere as ligações químicas apropriadas, podemos afirmar, **EXCETO**

- A) Sendo composto iônico, as interações que o mantêm são forças de atrações eletrostáticas.
- B) O cátion identificado por 8 atrai, com a mesma intensidade, os ânions identificados por 2, 7, 9 e 14.
- C) Devido à distância existente entre os íons identificados por 1 e 18, eles não se atraem.
- D) Nas condições descritas no enunciado, trata-se de um isolante elétrico.

Questão 10

(FCMMG) Após o estudo do capítulo sobre ligação iônica, que inclui considerações sobre raios iônicos, energias de rede e suas implicações nas propriedades macroscópicas das substâncias, um estudante chegou às seguintes conclusões:

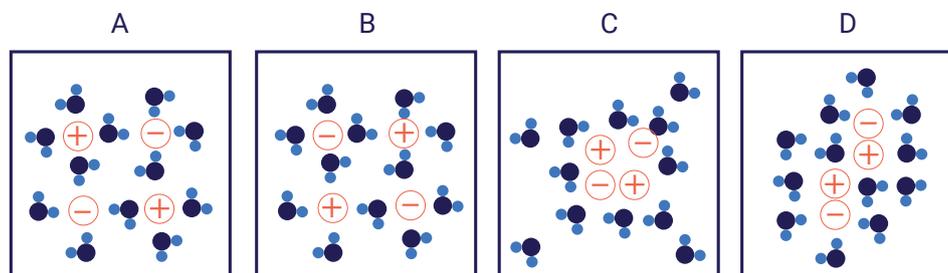
- CaO(s) tem maior temperatura de fusão do que NaF(s) .
- NaF(s) tem maior temperatura de fusão do que CsBr(s) .
- Em módulo, a energia de rede de CsBr(s) é maior do que a de NaF(s) .

Com relação às conclusões do estudante, pode-se afirmar que

- A) todas estão erradas.
 B) todas estão corretas.
 C) apenas uma está correta.
 D) apenas duas estão corretas.

Questão 11

(UFMG/adaptada) O cloreto de sódio, NaCl , é um sólido iônico que apresenta alta solubilidade em água. As figuras apresentam quatro modelos distintos para descrever a solvatação do NaCl pelas moléculas de água.



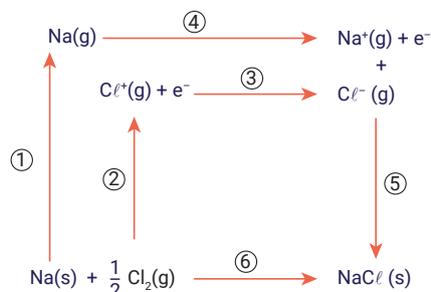
Legenda: ● átomo de hidrogênio ⊕ cátion sódio
 ● átomo de oxigênio ⊖ ânion cloreto

INDIQUE qual dos modelos (A, B, C e D) descreve melhor a solvatação do NaCl em solução aquosa diluída. **JUSTIFIQUE** sua indicação levando em consideração os polos da água.

DÊ o nome da principal interação existente entre os íons e as moléculas de água.

Questão 12

(FCMMG-2006) Considere a formação do cloreto de sódio sólido, a partir das substâncias elementares sódio e cloro, através de uma série de etapas.

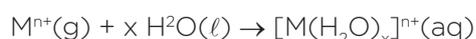


Em relação às energias envolvidas nesse processo, a afirmativa **ERRADA** é:

- A) As etapas 1, 2 e 3 são endotérmicas.
- B) A energia envolvida na etapa 2 corresponde à metade da energia de ligação do cloro.
- C) A estabilidade do cristal se deve, principalmente, à energia envolvida na etapa 5.
- D) A energia envolvida na etapa 6 é denominada calor de formação do NaCl(s).

Questão 13

(FCMMG-2013) A variação de entalpia de hidratação para um íon metálico $Mn^+(g)$ é definida como a variação de entalpia para o processo em que o íon gasoso, associando-se a um número x de moléculas de água líquida, origina uma solução aquosa desse íon, como representado na equação

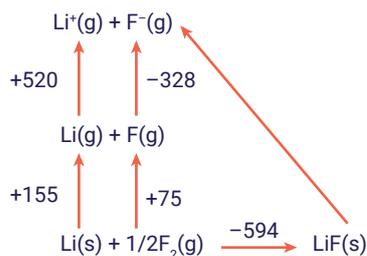


Considerando-se a natureza e as características das interações intermoleculares que se formam na solução, pode-se afirmar que a alternativa na qual os íons $K^+(g)$, $Mg^{2+}(g)$ e $Cs^+(g)$ estão ordenados segundo os valores crescentes dos módulos de suas entalpias de hidratação é

- A) $Mg^{2+}(g) < K^+(g) < Cs^+(g)$
- B) $Mg^{2+}(g) < Cs^+(g) < K^+(g)$
- C) $K^+(g) < Cs^+(g) < Mg^{2+}(g)$
- D) $Cs^+(g) < K^+(g) < Mg^{2+}(g)$

Questão 14

(CMMG/17) Uma medida quantitativa da estabilidade de qualquer sólido iônico é sua energia de rede, ou seja, a energia necessária para separar completamente 1,0 mol de um composto iônico sólido em seus átomos gasosos. Assim, pode-se medir a energia de rede do fluoreto de lítio - LiF(s) $\rightarrow Li^+(g) + F^-(g)$ - através do ciclo de Born-Haber utilizando o seguinte diagrama energético, onde os valores de ΔH_o são em kJ/mol.



O valor encontrado para a energia de rede do fluoreto de lítio é:

- A) 192. B) 786. C) 1016. D) 1672.

Questão 15

Considere os seguintes elementos químicos e suas respectivas famílias ou grupos da tabela periódica:

Elementos químicos	Família
Sódio (Na)	Alcalinos
Lítio (Li)	Alcalinos
Bário (Ba)	Alcalinoterrosos
Alumínio (Al)	Do boro
Oxigênio (O)	Calcogênios
Cloro (Cl)	Halogênios

Alguns desses elementos realizam ligações iônicas entre si, formando compostos. **INDIQUE** qual das fórmulas unitárias dos compostos formados a seguir está **INCORRETA**

- A) Al_3O_2 B) NaCl C) Li_2O D) $BaCl_2$ E) AlF_3

GABARITO

- 1) B
- 2) D
- 3) XY_2 . Ligação iônica
- 4) A) O cátion apresenta uma porção de caráter predominantemente apolar, o que torna favorável sua interação com substâncias de caráter apolar.
- 5) B) Como os íons são volumosos, a distância entre os centros de cargas é grande e faz com que a força de atração eletrostática entre eles seja suficientemente pequena para que na temperatura ambiente exista energia suficiente para separar os íons.
- 6) C
- 7) A
- 8) D
- 9) C
- 10) C
- 11) D
- 12) A) Modelo A. Os íons se encontram solvatados, sendo que o oxigênio da molécula de água interage com o íon positivo, enquanto que o hidrogênio interage com íon negativo.
- 13) B) Interação íon-dipolo
- 14) A
- 15) D
- 16) C
- 17) A