

Respuestas de la Serie 2

1.

$$\hat{H} = - \underbrace{\sum_{I=1}^N \frac{\hbar^2}{2M_I} \nabla^2}_{\text{A}} - \underbrace{\sum_{i=1}^n \frac{\hbar^2}{2m_i} \nabla^2}_{\text{B}} + \underbrace{\sum_{I=1}^N \sum_{J>I}^N \frac{kZ^2 e^2}{|R_I - R_J|}}_{\text{C}} - \underbrace{\sum_I^N \sum_i^n \frac{kZe^2}{|R_I - r_i|}}_{\text{D}} + \underbrace{\sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n \frac{ke^2}{|r_i - r_j|}}_{\text{E}}$$

a) En el orden en el que aparecen:

A = Energía cinética de los núcleos

B = Energía cinética de los electrones

C = Energía potencial de interacciones núcleo-núcleo

D = Energía potencial de interacciones núcleo-electrón

E = Energía potencial de interacciones electrón-electrón

b) El hamiltoniano molecular para ${}_3\text{Li}$:

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2M} \nabla^2 - \sum_{i=1}^3 \frac{\hbar^2}{2m_i} \nabla^2 - \sum_{i=1}^3 \frac{kZe^2}{|R - r_i|} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j>i}^3 \frac{ke^2}{|r_i - r_j|}$$

Nota: Recuerden que utilizamos mayúsculas para núcleos y minúsculas para electrones.

c) En el Hamiltoniano para ${}_5\text{B}$, bajo la aproximación de Born-Oppenheimer ya no aparece el término de energía cinética del núcleo (dado que la aproximación considera a los núcleos fijos), tampoco aparece el término de interacción núcleo-núcleo ya que en un átomo sólo hay un núcleo. De esta forma el Hamiltoniano se escribe como:

$$\hat{H} = -\sum_{i=1}^5 \frac{\hbar^2}{2m_i} \nabla^2 - \sum_{i=1}^5 \frac{kZe^2}{|R - r_i|} + \sum_{i=1}^5 \sum_{j>i}^5 \frac{ke^2}{|r_i - r_j|}$$

d) El hamiltoniano para ${}_9\text{F}$, considerando las aproximaciones de Born-Oppenheimer y electrones independientes se escribe como una suma de Hamiltonianos mono-electrónicos que tienen la forma del Hamiltoniano del átomo de hidrógeno:

$$\hat{H} = \hat{h}_1 + \hat{h}_2 + \hat{h}_3 + \hat{h}_4 + \hat{h}_5 + \hat{h}_6 + \hat{h}_7 + \hat{h}_8 + \hat{h}_9 + \sum_{i=1}^9 \sum_{j>i}^9 \frac{ke^2}{|r_i - r_j|}$$

$$\hat{H} = \sum_{i=1}^9 \hat{h}_i + \sum_{i=1}^9 \sum_{j>i}^9 \frac{ke^2}{|r_i - r_j|}$$

donde:

$$\hat{h}_i = -\frac{\hbar^2}{2m_i} \nabla^2 - \frac{kZe^2}{|R - r_i|}$$

2. De acuerdo al modelo de la partícula en una caja:

a) La longitud de onda de la radiación que se emite cuando un electrón pasa de $n=3$ a $n=2$ es: $\lambda = 116.3$ nm.

b) Ultravioleta

3. a) Para el cuarto nivel de energía ($n=4$):

$$\begin{aligned}\Psi_{4,0,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,0}(r)\Theta_{0,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \\ \Psi_{4,1,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \\ \Psi_{4,1,1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,1}(\theta)\Phi_1(\phi) \\ \Psi_{4,1,-1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,-1}(\theta)\Phi_{-1}(\phi) \\ \Psi_{4,2,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \\ \Psi_{4,2,1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,1}(\theta)\Phi_1(\phi) \\ \Psi_{4,2,-1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,-1}(\theta)\Phi_{-1}(\phi) \\ \Psi_{4,2,2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,2}(\theta)\Phi_2(\phi) \\ \Psi_{4,2,-2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,-2}(\theta)\Phi_{-2}(\phi) \\ \Psi_{4,3,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \\ \Psi_{4,3,1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,1}(\theta)\Phi_1(\phi) \\ \Psi_{4,3,-1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,-1}(\theta)\Phi_{-1}(\phi) \\ \Psi_{4,3,2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,2}(\theta)\Phi_2(\phi) \\ \Psi_{4,3,-2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,-2}(\theta)\Phi_{-2}(\phi) \\ \Psi_{4,3,3}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,3}(\theta)\Phi_3(\phi) \\ \Psi_{4,3,-3}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,-3}(\theta)\Phi_{-3}(\phi)\end{aligned}$$

b) De acuerdo al valor que toma el número cuántico l , que está relacionado con la forma del orbital, se tiene 1 orbital 4s, 3 orbitales 4p, 5 orbitales 4d y 7 orbitales 4f.

$$\begin{aligned}\Psi_{4,0,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,0}(r)\Theta_{0,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow \Psi_{4s} \\ \Psi_{4,1,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow \Psi_{4p} \\ \Psi_{4,1,1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,1}(\theta)\Phi_1(\phi) \rightarrow \Psi_{4p} \\ \Psi_{4,1,-1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,-1}(\theta)\Phi_{-1}(\phi) \rightarrow \Psi_{4p} \\ \Psi_{4,2,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow \Psi_{4d} \\ \Psi_{4,2,1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,1}(\theta)\Phi_1(\phi) \rightarrow \Psi_{4d} \\ \Psi_{4,2,-1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,-1}(\theta)\Phi_{-1}(\phi) \rightarrow \Psi_{4d}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Psi_{4,2,2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,2}(\theta)\Phi_2(\phi) \rightarrow \Psi_{4d} \\
\Psi_{4,2,-2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,2}(r)\Theta_{2,-2}(\theta)\Phi_{-2}(\phi) \rightarrow \Psi_{4d} \\
\Psi_{4,3,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow \Psi_{4f} \\
\Psi_{4,3,1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,1}(\theta)\Phi_1(\phi) \rightarrow \Psi_{4f} \\
\Psi_{4,3,-1}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,-1}(\theta)\Phi_{-1}(\phi) \rightarrow \Psi_{4f} \\
\Psi_{4,3,2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,2}(\theta)\Phi_2(\phi) \rightarrow \Psi_{4f} \\
\Psi_{4,3,-2}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,-2}(\theta)\Phi_{-2}(\phi) \rightarrow \Psi_{4f} \\
\Psi_{4,3,3}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,3}(\theta)\Phi_3(\phi) \rightarrow \Psi_{4f} \\
\Psi_{4,3,-3}(r, \theta, \phi) &= R_{4,3}(r)\Theta_{3,-3}(\theta)\Phi_{-3}(\phi) \rightarrow \Psi_{4f}
\end{aligned}$$

c) 16 orbitales degenerados, que corresponden a todos los del inciso anterior. Están degenerados ya que al resolver la ecuación de Schrödinger la forma de la energía sólo depende del valor del número cuántico n y no de los demás números cuánticos.

d) ${}^4\text{Be}^{3+}$ es un sistema hidrogenoide, así que las soluciones van a ser de la misma forma que para el átomo de hidrógeno. Para un nivel $n = 3$ se tienen 9 funciones que son solución (orbitales), que además están degenerados por estar en el mismo nivel de energía.

e)

$$\begin{aligned}
\Psi_{3,2,0}(r, \theta, \phi) &= R_{3,2}(r)\Theta_{2,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow n = 3, l = 2, m = 0 \rightarrow \Psi_{3d} \\
\Psi_{4,1,0}(r, \theta, \phi) &= R_{4,1}(r)\Theta_{1,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow n = 4, l = 1, m = 0 \rightarrow \Psi_{4p} \\
\Psi_{2,0,0}(r, \theta, \phi) &= R_{2,0}(r)\Theta_{0,0}(\theta)\Phi_0(\phi) \rightarrow n = 2, l = 0, m = 0 \rightarrow \Psi_{2s}
\end{aligned}$$

4. Para un operador \hat{A} , su valor esperado A se calcula mediante la siguiente integral,

$$\langle A \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi^* \hat{A} \Psi \, d\tau$$

cuando Ψ es una función normalizada.

Como la función de onda para el átomo de hidrógeno está escrita en coordenadas esféricas, $\Psi(r, \theta, \phi)$, la integral se escribe de la siguiente forma,

$$\langle A \rangle = \int_0^{\infty} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \Psi^* \hat{A} \Psi \, r^2 \sin\theta \, d\phi \, d\theta \, dr$$

Si el operador de distancia, es un operador multiplicativo, $\hat{r} = r$ y la función corresponde a una $1s$, la integral queda como,

$$\langle r \rangle = \int_0^{\infty} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \Psi_{1s}^* \hat{r} \Psi_{1s} \, r^2 \sin\theta \, d\phi \, d\theta \, dr$$

La forma de la función Ψ_{1s} es:

$$\Psi_{1s} = \left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{-Zr}{a_o} \right)$$

La integral queda de la siguiente forma:

$$\langle r \rangle = \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \left[\left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{-Zr}{a_o} \right) \right] r \left[\left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right)^{1/2} \exp \left(\frac{-Zr}{a_o} \right) \right] r^2 \sin\theta \, d\phi \, d\theta \, dr$$

$$\langle r \rangle = \left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right) \int_0^\infty \int_0^\pi \int_0^{2\pi} r \exp \left(\frac{-2Zr}{a_o} \right) r^2 \sin\theta \, d\phi \, d\theta \, dr$$

$$\langle r \rangle = 2\pi \left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right) \int_0^\infty \int_0^\pi r^3 \exp \left(\frac{-2Zr}{a_o} \right) \sin\theta \, d\theta \, dr$$

$$\langle r \rangle = 4\pi \left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right) \int_0^\infty r^3 \exp \left(\frac{-2Zr}{a_o} \right) \, dr$$

Se resuelve con la integral

$$\int_0^\infty r^n e^{-br} \, dr = \frac{n!}{b^{n+1}}$$

Queda como:

$$\langle r \rangle = 4\pi \left(\frac{Z^3}{\pi a_o^3} \right) \left(\frac{3!}{(2Z/a_o)^4} \right)$$

$$\langle r \rangle = 4\pi \left(\frac{Z^3 \cdot 6 \cdot a_o^4}{\pi \cdot a_o^3 \cdot 24 \cdot Z^4} \right)$$

$$\langle r \rangle = \frac{3}{2} \frac{a_o}{Z}$$

5. inciso d)

6. **A** – 1s

B – 2s

C – 3s

D – 3s

E – 3p

E – 3d

- a) V
 b) V
 c) F
 d) V
 e) F
 f) V
7. a) 1s – 0 nodos radiales, 0 nodos angulares, 0 nodos totales
 b) 3s – 2 nodos radiales, 0 nodos angulares, 2 nodos totales
 c) 4p – 2 nodos radiales, 1 nodos angulares, 3 nodos totales
 d) 5d – 2 nodos radiales, 2 nodos angulares, 4 nodos totales
8. a) **b**
 b) **c**
 c) **b**
 d) **a**
9. De acuerdo al teorema de Koopmans

$$EI_i = -\varepsilon_i$$

a) Energías de ionización para el átomo de boro ${}_5\text{B}$:

Primera energía de ionización (EI_1)

B^0 : $1s^2 2s^2 2p^1$

Configuración de Slater: $(1s)^2 (2s 2p)^3$

$$\sigma = 2(0.35) + 2(0.85) = 2.4$$

$$Z^* = 5 - 2.4 = 2.6$$

$$\varepsilon_{2p} = -\frac{1}{2} \frac{Z^{*2}}{n^{*2}} = -\frac{1}{2} \frac{(2.6)^2}{2^2} = -0.845 \text{ Ha}$$

$$EI_1 = -\varepsilon_{2p} = 0.845 \text{ Ha} = 2 \ 218.54 \text{ kJ/mol}$$

Segunda energía de ionización (EI_2)

B^+ : $1s^2 2s^2$

Configuración de Slater: $(1s)^2 (2s 2p)^2$

$$\sigma = 1(0.35) + 2(0.85) = 2.05$$

$$Z^* = 5 - 2.05 = 2.95$$

$$\varepsilon_{2s} = -\frac{1}{2} \frac{Z^{*2}}{n^{*2}} = -\frac{1}{2} \frac{(2.95)^2}{2^2} = -1.087 \text{ Ha}$$

$$EI_2 = -\varepsilon_{2s} = 1.087 \text{ Ha} = 2\,856.052 \text{ kJ/mol}$$

Tercera energía de ionización (EI_3)

B^{2+} : $1s^2 2s^1$

Configuración de Slater: $(1s)^2 (2s 2p)^1$

$$\sigma = 2(0.85) = 1.7$$

$$Z^* = 5 - 1.7 = 3.3$$

$$\varepsilon_{2s} = -\frac{1}{2} \frac{Z^{*2}}{n^{*2}} = -\frac{1}{2} \frac{(3.3)^2}{2^2} = -1.361 \text{ Ha}$$

$$EI_3 = -\varepsilon_{2s} = 1.361 \text{ Ha} = 3\,573.961 \text{ kJ/mol}$$

Cuarta energía de ionización (EI_4)

B^{3+} : $1s^2$

Configuración de Slater: $(1s)^2$

$$\sigma = 1(0.35) = 0.35$$

$$Z^* = 5 - 0.35 = 4.65$$

$$\varepsilon_{1s} = -\frac{1}{2} \frac{Z^{*2}}{n^{*2}} = -\frac{1}{2} \frac{(4.65)^2}{1^2} = -10.811 \text{ Ha}$$

$$EI_4 = -\varepsilon_{1s} = 10.811 \text{ Ha} = 28\,384.937 \text{ kJ/mol}$$

Quinta energía de ionización (EI_5)

B^{4+} : $1s^1$

Configuración de Slater: $(1s)^1$

$$\sigma = 0.0$$

$$Z^* = Z = 5$$

$$\varepsilon_{1s} = -\frac{1}{2} \frac{Z^2}{n^2} = -\frac{1}{2} \frac{(5)^2}{1^2} = -12.5 \text{ Ha}$$

$$EI_5 = -\varepsilon_{1s} = 12.5 \text{ Ha} = 32\,818.75 \text{ kJ/mol}$$

b) Energía necesaria para quitar tres electrones al átomo neutro, $B^0 \rightarrow B^{+3} + 3e^-$:

$$B^0 \rightarrow B^+ + e^- \quad EI_1 = 2\,218.54 \text{ kJ/mol}$$

$$B^+ \rightarrow B^{+2} + e^- \quad EI_2 = 2\,856.052 \text{ kJ/mol}$$

$$B^{+2} \rightarrow B^{+3} + e^- \quad EI_3 = 3\,573.961 \text{ kJ/mol}$$

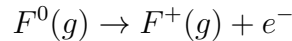
$$B^0 \rightarrow B^{+3} + 3e^- \quad EI = EI_1 + EI_2 + EI_3 = 8\,648.56 \text{ kJ/mol}$$

c) Energía total del átomo de boro:

$$E_T = \sum_{i=1}^{n=5} \varepsilon_i = - \sum_{i=1}^{n=5} EI_i$$

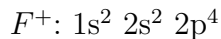
$$E_T = -69\,852.247 \text{ kJ/mol}$$

10. Primera energía de ionización (EI)



$$EI = E_T(F^+) - E_T(F^0)$$

Cálculo de $E_T(F^+)$:



Configuración de Slater: $(1s)^2 (2s 2p)^6$

$$Z_{2p}^* = Z_{2s}^* = Z - \sigma = 9 - [5(0.35) + 2(0.85)] = 9 - 3.45 = 5.55$$

$$Z_{1s}^* = Z - \sigma = 9 - [1(0.35)] = 9 - 0.35 = 8.65$$

$$E_T(F^+) = 4\varepsilon_{2p} + 2\varepsilon_{2s} + 2\varepsilon_{1s}$$

$$E_T(F^+) = 4 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{2p}^{*2}}{n^{*2}} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{2s}^{*2}}{n^{*2}} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{1s}^{*2}}{n^{*2}} \right)$$

$$E_T(F^+) = 4 \left(-\frac{1}{2} \frac{(5.55)^2}{2^2} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{(5.55)^2}{2^2} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{(8.65)^2}{1^2} \right)$$

$$E_T(F^+) = 4(-3.8503) + 2(-3.8503) + 2(-37.4113)$$

$$E_T(F^+) = -97.9244 \text{ Ha} = -257 \text{ 100.5122 kJ/mol}$$

Cálculo de $E_T(F^0)$:

$$F^0: 1s^2 2s^2 2p^5$$

Configuración de Slater: $(1s)^2 (2s 2p)^7$

$$Z_{2p}^* = Z_{2s}^* = Z - \sigma = 9 - [6(0.35) + 2(0.85)] = 9 - 3.8 = 5.2$$

$$Z_{1s}^* = Z - \sigma = 9 - [1(0.35)] = 9 - 0.35 = 8.65$$

$$E_T(F^0) = 5\varepsilon_{2p} + 2\varepsilon_{2s} + 2\varepsilon_{1s}$$

$$E_T(F^0) = 5 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{2p}^{*2}}{n^{*2}} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{2s}^{*2}}{n^{*2}} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{1s}^{*2}}{n^{*2}} \right)$$

$$E_T(F^0) = 5 \left(-\frac{1}{2} \frac{(5.2)^2}{2^2} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{(5.2)^2}{2^2} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{(8.65)^2}{1^2} \right)$$

$$E_T(F^0) = 5(-3.38) + 2(-3.38) + 2(-37.4113)$$

$$E_T(F^0) = -98.4826 \text{ Ha} = -258 \text{ 566.0663 kJ/mol}$$

La primer energía de ionización queda de la siguiente manera:

$$EI = E_T(F^+) - E_T(F^0) = -257 \text{ 100.5122} - (-258 \text{ 566.0663}) = 1 \text{ 465.5541 kJ/mol}$$

Afinidad electrónica (AE)

$$F^0(g) + e^- \rightarrow F^-(g)$$

$$AE = E_T(F^-) - E_T(F^0)$$

Cálculo de $E_T(F^-)$:

$$F^-: 1s^2 2s^2 2p^6$$

Configuración de Slater: $(1s)^2 (2s 2p)^8$

$$Z_{2p}^* = Z_{2s}^* = Z - \sigma = 9 - [7(0.35) + 2(0.85)] = 9 - 4.15 = 4.85$$

$$Z_{1s}^* = Z - \sigma = 9 - [1(0.35)] = 9 - 0.35 = 8.65$$

$$\begin{aligned}
E_T(F^-) &= 6\varepsilon_{2p} + 2\varepsilon_{2s} + 2\varepsilon_{1s} \\
E_T(F^-) &= 6 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{2p}^{*2}}{n^{*2}} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{2s}^{*2}}{n^{*2}} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{Z_{1s}^{*2}}{n^{*2}} \right) \\
E_T(F^-) &= 6 \left(-\frac{1}{2} \frac{(4.85)^2}{2^2} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{(4.85)^2}{2^2} \right) + 2 \left(-\frac{1}{2} \frac{(8.65)^2}{1^2} \right) \\
E_T(F^-) &= 6(-2.9403) + 2(-2.9403) + 2(-37.4113) \\
E_T(F^-) &= -98.345 \text{ Ha} = -258\,204.7975 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

La afinidad electrónica como esta definida, queda como:

$$AE = E_T(F^-) - E_T(F^0) = -258\,204.7975 - (-258\,566.0663) = 361.2688 \text{ kJ/mol}$$

11. ${}_{15}\mathbf{P} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$
 ${}_{16}\mathbf{S} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$
 ${}_{17}\mathbf{Cl} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$
 ${}_{18}\mathbf{Ar} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
 ${}_{19}\mathbf{K} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
 ${}_{20}\mathbf{Ca} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
 ${}_{26}\mathbf{Fe} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^6 4s^2$
 ${}_{55}\mathbf{Cs} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 5s^2 4d^{10} 5p^6 6s^1$

- a) Ar
b) Cs
c) Ar, Ca
d) Ar
e) K
f) Cl
g) S

12. a) $S^{2-} > F^- > Na^+ > Mg^{2+}$
b) K
c) B
d) $K < Li < C < N$