

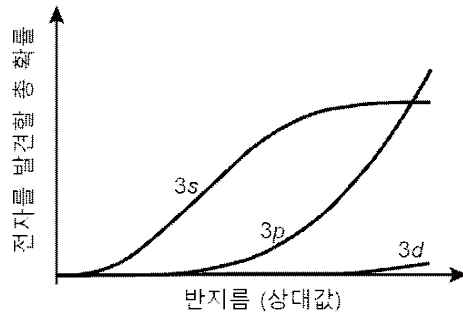
2021학년도 일반논술 전형 의예논술(화학)

【문제 1】 아래의 제시문을 읽고 다음 질문에 답하십시오.(20점)

- (가) 보어 원자 모형에 따르면, 전자는 특정한 에너지 준위($E_n, n=1, 2, 3, \dots$)를 갖는 원형 궤도를 따라 원자핵 주위를 원운동하고 있다. 그러나 이 모형은 강한 자기장 속에서 원자의 선 스펙트럼이 여러 갈래로 갈라지는 현상 등 원자의 스펙트럼과 관련된 다양한 현상을 설명할 수 없었다.
- (나) 하이젠베르크는 전자의 위치를 정확히 측정하려고 하면 운동량의 오차가 커지고, 반면에 운동량을 정확히 측정하려고 하면 위치의 오차가 커져서, 두 물리량을 동시에 정확히 측정하는 것이 불가능하다는 것을 알아내고, 이를 불확정성 원리라고 하였다.
- (다) 현대 원자 모형에서는 원자 내 전자의 운동을 원자핵 주위에서 전자가 발견될 확률 분포로 나타낸다. 이것을 오비탈이라고 하며, 전자의 위치를 공간상에서 점 밀도로 나타낼 수 있다. 원자 내에 있는 전자의 상태는 네 가지 양자수[주 양자수(n), 부 양자수(l), 자기 양자수(m_l), 스핀 자기 양자수(m_s)]로 나타낸다.
- (라) 수소 원자와 다전자 원자 오비탈의 에너지 준위는 다음과 같다.
수소 원자: $1s < 2s = 2p < 3s = 3p = 3d < 4s = 4p = 4d = 4f < \dots$
다전자 원자: $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < \dots$
- (마) 다전자 원자에서는 전자 사이의 반발력이 전자에 작용하는 원자핵의 인력을 약하게 만드는데, 이것을 가려막기 효과라고 한다. 가려막기 효과를 고려하여 전자에 실제로 작용하는 핵전하를 유효 핵전하라고 한다.

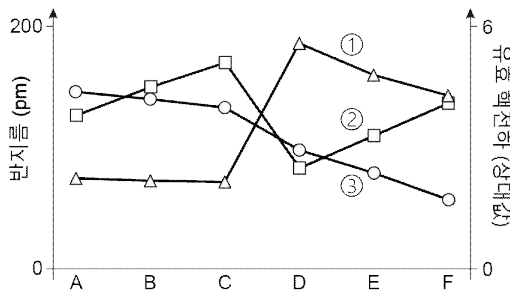
【문제 1-1】 제시문 (가), (나), (다)를 참고하여 현대 원자 모형에서 오비탈을 점 밀도 그림의 형태로 표현하는 이유를 서술하십시오. (3점)

【문제 1-2】 중심이 원자핵이고 반지름이 R 인 구를 생각해 보자. $3s, 3p, 3d$ 오비탈에 대해 구 내에서 전자를 발견하게 될 총 확률을 R 의 함수로 그리면 오른쪽 그림과 같다. 이 사실을 바탕으로, 다전자 원자에서 주 양자수가 같고 부 양자수가 다른 오비탈의 에너지 준위가 $s < p < d < f$ 순으로 증가하는 이유를 수소 원자와 비교하여 서술하십시오. (7점)



[문제 1-3] 알루미늄($_{13}\text{Al}$) 원자의 바닥 상태 전자 배치에서 가장 높은 에너지 준위를 가지는 오비탈에 존재하는 전자의 상태를 나타내는 양자수(n, l, m_l, m_s)를 쓰시오. 만약 양자수가 여러 개이면 모두 쓰고, 양자수에 따라 전자의 상태가 어떻게 다른지 서술하시오. (3점)

오른쪽 그림은 주기율표에서 비활성 기체를 제외한 2주기, 3주기의 원자 번호가 연속되는 6개 원소의 주기적 성질을 보여주고 있다. (단, A~F는 임의의 원소 기호이다).



[문제 1-4] ①, ②, ③이 각각 무엇을 나타내는지 쓰고, 이러한 경향성이 나타나는 까닭을 서술하시오. (3점)

[문제 1-5] B와 E, C와 D가 결합하여 각각 화합물 EB, DC를 형성할 때, 두 입자의 핵 간 거리(r)에 따른 에너지 변화 그래프를 그리고, 이를 바탕으로 두 화합물의 녹는점을 비교하여 서술하시오. (4점)

[문항해설]

(문제 1-1)

불확정성의 원리를 기반으로 보어 원자 모형과 현대 원자 모형을 비교 해석하는 문제이다. 보어 원자 모형에서는 전자가 원궤도를 따라 운동하고 있으므로 특정 시간에서 전자가 어느 위치에 있는지 정확히 알 수 있지만 현대 원자 모형에서는 특정 시간에서 전자의 위치를 확률로만 표현할 수 있다. 이러한 차이가 전자의 파동성으로부터 기인한다는 사실을 추론하고 설명하는 문제이다.

(문제 1-2)

수소원자와 다전자원자의 에너지 준위의 차이점을 설명하는 문제이다.

(문제 1-3)

다전자 원자에서 바닥 상태 전자 배치는 쌓음 원리, 파울리 배타 원리, 훈트 규칙에 따른다는 이해를 바탕으로 원자 번호가 13인 알루미늄 원자의 전자 배치를 한 후, 네 가지 양자수(주 양자수, 부 양자수,

자기 양자수, 스핀 자기 양자수)에 대한 이해를 바탕으로 양자수에 따라 오비탈로 표현되는 전자의 상태가 어떻게 다른지를 설명하는 문제이다. 양자수의 종류와 양자수를 정하는 규칙에 따라 전자의 상태를 양자수로 나타내고 양자수에 따라 전자의 상태가 어떻게 다른지를 설명하는 문제이다.

(문제 1-4)

원소의 주기적 성질을 이해하는 문제로 유효핵전하, 원자반지름, 이온반지름등 주기적 성질을 이용하여 경향성을 서술하는 문제로 원소의 주기적 성질을 잘 이해하고 공부한 학생이면 충분히 풀 수 있는 난이도 중에 해당하는 문제로 보여진다.

(문제 1-5)

이온결합의 특성과 성질을 이해하는 문제로, 이온 결합이 형성될 때 이온 사이의 핵간 거리에 따라 인력과 반발력에 의한 에너지 변화에 대한 두 화합물의 그래프를 작성, 비교하고 이를 바탕으로 결합이 형성되는 지점에서의 이온 간 거리와 이온의 전하량에 따른 에너지 크기의 비교를 통한 이온 결합력으로 두 화합물의 녹는점의 크기를 알아보는 문제이기에 결합력의 세기에 영향을 주는 2요소를 충분히 이해하고 있어야 한다.

[예시답안]

(문제 1-1)

제시문 (가)의 보어 원자 모형은 원자 스펙트럼과 관련된 다양한 실험적 결과를 해석하지 못하므로 원자 내 전자의 운동을 적절하게 설명하지 못함을 알 수 있다. 게다가 이 모형에 따르면, 전자는 원형 궤도를 따라서 원운동하고 있으므로 특정 시간에서 원자핵 주위를 운동하고 있는 전자의 위치를 정확하게 측정할 수 있는데, 이는 제시문 (나)의 불확정성 원리에 어긋난다.

제시문 (나)의 불확정성 원리에 따르면, 전자의 운동량과 위치를 동시에 정확하게 측정하는 것은 불가능하므로 원자핵 주위를 지속적으로 운동하고 있는 전자에 대해 특정 시간에서 전자 위치를 정확하게 측정하는 것은 불가능함을 알 수 있다. 이에 따라, 현대 원자 모형에서는 원자 내 전자의 운동을 원자핵 주위에서 전자가 발견될 확률인 오비탈(점 밀도 그림)로 표현하는 것이다.

(문제 1-2)

문제에 주어진 그래프에서, 원자핵과 가까운 위치에서 전자를 발견할 총 확률은 $s > p > d > f$ 순이다. 이는 주 양자수 n 이 동일한 경우 부 양자수 l 이 작은 오비탈부터 전자가 채워짐을 의미한다.

제시문 (마)에 따르면, 다전자 원자에서는 가려막기 효과가 존재하므로 (n, l) 오비탈의 전자는 $(k_1, k_2) [k_1 = 1, 2, \dots, n-1 \text{ 일 때}, k_2 = 0, 1, \dots, k_1 - 1; k_1 = n \text{ 일 때}, k_2 = 0, 1, \dots, l]$ 오비탈에 존재하는 전자들로부터 가려막기 효과를 경험하게 된다. 앞에서 설명한 것처럼 n 값이 동일할 때 l 값이 작은 오비탈부터 전자가 채워지므로, l 값이 커짐에 따라 오비탈의 전자에 작용하는 가려막기 효과는 $s < p < d < f$ 순이 되고 그 결과, 유효 핵전하 및 핵과 전자 사이의 인력은 $s > p > d > f$ 순이 된다. 따라서 주 양자수가 같을 때 부 양자수에 따른 오비탈 에너지 준위는 $s < p < d < f$ 순이다.

이에 반해, 수소 원자에는 전자가 1개만 존재하여 가려막기 효과가 없으므로 s, p, d, f 오비탈의 에너지 준위는 같다.

(문제 1-3)

Al의 바닥상태 전자 배치는 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$ 이다.

가장 높은 에너지 준위를 가지는 오비탈은 $3p$ 오비탈이므로

주 양자수 $n = 3$

부 양자수 $l = 1$

가능한 자기 양자수 $m_l = 1, 0, -1$

가능한 스핀 자기 양자수 $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$

그러므로 가능한 양자수 (n, l, m_l, m_s) 를 써보면,

$(3, 1, 1, +\frac{1}{2}), (3, 1, 1, -\frac{1}{2}),$

$(3, 1, 0, +\frac{1}{2}), (3, 1, 0, -\frac{1}{2}),$

$(3, 1, -1, +\frac{1}{2}), (3, 1, -1, -\frac{1}{2})$

m_l 값이 다르면 p 오비탈의 방향이 다르고

m_s 값이 다르면 전자의 스핀이 다르다.

(문제 1-4)

①: 원자 반지름

A~C, D~F:

같은 주기 내에서 유효 핵전하가 증가함에 따라 원자 반지름이 점차 감소한다.

C-D:

전자가 껍질 수가 2개에서 3개로 증가함에 따라 원자 반지름 급격히 증가한다.

②: 유효 핵전하

A~C, D~F:

같은 주기에서 오른쪽으로 갈수록 원자핵에 양성자가 하나씩 더해지고, 원자가 껍질에 전자가 하나씩 더해진다. 양성자가 하나 증가하면 핵전하는 1 만큼 증가한다. 그러나 원자가 껍질에 더해진 전자는 다른 전자들에 의하여 원자핵으로부터 완전히 가려지지도 않고, 다른 전자들을 완전히 가리지도 못한다. 즉, 원자가 껍질에 더해진 전자에 의한 가려막기 효과는 비교적 작다. 따라서 같은 주기에서 한 칸 오른쪽으로 갈 때, 핵전하는 1 만큼 증가하나 더해진 전자는 이를 완전히 상쇄하지 못하므로, 결과적으로 유효 핵전하는 증가한다.

C-D:

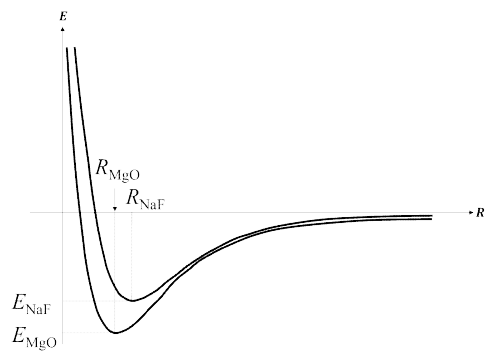
전자가 껍질의 수가 2개에서 3개로 증가함에 따라, 원자핵으로부터 가장 멀게 위치한 3번째 원자가 껍질에 존재하는 전자가 느끼는 유효 핵전하는 급격히 감소한다.

③: 안정화된 이온 반지름

A~F는 동일한 원자가 껍질과 전자 배치를 가지는 등전자 이온($A^{3-}, B^{2-}, C^-, D^+, E^{2+}, F^{3+}$ 이온)을 형성한다. 따라서 유효 핵전하가 증가함에 따라 핵과 전자 사이의 인력이 증가하므로 이온 반지름이 점차 작아진다.

(문제 1-5)

B는 O(산소), C는 F(플루오린), D는 Na(소듐), E는 마그네슘(Mg)이므로 화합물 EB는 MgO, DC는 NaF이다. 두 화합물 모두 이온결합 화합물이며 NaF는 1가 이온 사이의 결합, MgO는 2가 이온 사이의 결합이다. 이온 결합의 세기는 이온의 전하량의 곱에 비례하므로 MgO의 결합력이 더 세고 이온 사이의 거리가 더 짧다. 각각의 화합물에 대해 결합 에너지 그래프를 그리면 다음과 같다. 이 그래프와 이온 사이의 결합력을 고려할 때, MgO의 녹는점이 더 높을 것이다.



【문제 2】 아래 제시문을 읽고 문제에 답하시오.(20점)

(가) 증기 압력은 액체에서 증발과 응축이 평형을 이룰 때 이 액체의 증기가 나타내는 압력이다. 같은 온도에서 순수한 용매인 물에 설탕과 같은 비휘발성 용질을 녹이면, 용질 입자가 용액 표면의 일부를 차지하므로 용액 표면에서의 용매의 입자 수가 줄어든다. 즉, 비휘발성 용질이 용매 입자의 증발을 방해하여 순수한 용매만 있을 때보다 증발하려는 경향도 줄어들게 된다. 결국 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 낮아지게 되는데, 이러한 현상을 증기 압력 내림(ΔP)이라고 한다.

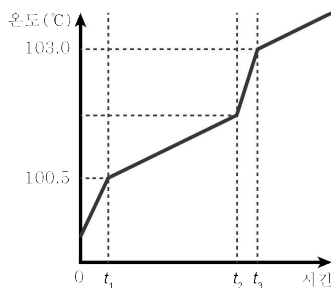
(나) 라울은 ‘비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은($P_{\text{용액}}$) 순수한 용매의 증기 압력($P_{\text{용매}}$)과 용액 내 용매의 몰 분율($x_{\text{용매}}$)의 곱과 같다’는 사실을 밝혀냈다. 이를 라울 법칙이라고 한다. 용액의 증기 압력 내림은 순수한 용매의 증기 압력에서 용액의 증기 압력을 뺀 것과 같다.

(다) 같은 온도에서 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액의 증기 압력은 순수한 용매의 증기 압력보다 작으므로 용액의 끓는점은 순수한 용매의 끓는점보다 높아지는데, 이러한 현상을 끓는점 오름이라고 한다. 용액의 끓는점 오름(ΔT_b)은 용액의 끓는점과 순수한 용매의 끓는점의 차이이며 몰랄 농도(m)에 비례한다.

$$\Delta T_b = K_b \times m \quad (K_b: \text{몰랄 오름 상수})$$

【문제 2-1】 25 °C에서 물 500 mL에 일정한 양의 비휘발성, 비전해질 용질 A가 녹아 있는 용액의 증기 압력이 23.2 mmHg 일 때, 이 용액의 끓는점을 구하시오. (단, 소수점 둘째 자리에서 반올림하시오. 25 °C에서 순수한 물의 증기 압력과 밀도는 각각 23.8 mmHg, 1.00 g/mL이고, 순수한 물의 끓는점은 100 °C, 몰랄 오름 상수는 $K_b = 0.51 \text{ } ^\circ\text{C}/m$ 이다.) **(8점)**

【문제 2-2】 1 기압에서 일정량의 물에 A 38 g, B 160 g을 녹인 수용액을 일정한 열원으로 가열하다가 시간 t_2 에서 C 400 g을 첨가하였다. 아래 그림은 시간에 따른 용액의 온도를 나타낸 것이다. 시간 t_1 에서 물의 질량(w_{t_1})과 시간 t_3 에서 물의 질량(w_{t_3})의 비율 $w_{t_1} : w_{t_3}$ 를 구하시오. 그리고 시간에 따른 몰랄 농도를 그래프로 나타내고, 그 이유를 설명하시오. (단, 화학식량은 A가 C의 3.8배, B가 C의 2배이다. A, B, C는 모두 비휘발성, 비전해질이고, 서로 반응하지 않는다.) **(12점)**



[문항해설]

(문제 2-1)

용액의 농도를 정의하는 다양한 방법과 증기 압력 내림, 라울 법칙, 끓는점 오름의 정확한 개념을 이해하고 묽은 용액의 성질을 분석하는 문제이다.

(문제 2-2)

비휘발성, 비전해질 용질이 녹아있는 묽은 용액의 끓는점이 용질의 종류와는 관계가 없고 몰랄 농도에 비례함을 이해하고, 이를 바탕으로 실험적인 결과를 분석하고 시간에 용액의 성질 변화를 추론할 수 있는지를 평가하는 문제이다.

[예시답안]

(문제 2-1)

용액, 용매의 증기 압력이 각각 23.2 torr, 23.8 torr 이므로

$$x_{\text{용매}} = \frac{P_{\text{용액}}}{P_{\text{용매}}} = \frac{23.2 \text{ mmHg}}{23.8 \text{ mmHg}} = \frac{116}{119}$$

$$x_{\text{용매}} = \frac{N_{\text{용매}}}{N_{\text{용매}} + N_{\text{용질}}}$$

$$N_{\text{용질}} = \frac{1 - x_{\text{용매}}}{x_{\text{용매}}} \times N_{\text{용매}}$$

$$= \frac{1 - \frac{116}{119}}{\frac{116}{119}} \times (500.0 \text{ mL}) \frac{(1.00 \text{ g})}{(1 \text{ mL})} \frac{(1 \text{ mol})}{(18 \text{ g})}$$

$$= \frac{125}{174} \text{ mol}$$

용액의 끓는점을 구해보면,

$$T_{b, \text{용액}} = T_{b, \text{용매}} + \Delta T_b$$

$$= T_{b, \text{용매}} + K_b \times m$$

$$= 100^\circ \text{C} + (0.51^\circ \text{C/m}) \times \frac{\frac{125}{174} \text{ mol}}{(500 \text{ mL}) \frac{(1 \text{ g})}{(1 \text{ mL})} \frac{(1 \text{ kg})}{(1000 \text{ g})}}$$

$$= 100 + \frac{85}{116}^\circ \text{C}$$

$$= 100.7^\circ \text{C}$$

(문제 2-2)

(1) 물의 질량비 $w_{t_1} : w_{t_3}$ 계산

t_1 에서 A, B 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = 0.5^\circ \text{C}$

t_3 에서 A, B, C 수용액의 끓는점 오름 $\Delta T_b = 3.0^\circ \text{C}$

$$m = \frac{\Delta T_b}{K_b} \text{ 이므로, } m_{(A,B)} : m_{(A,B,C)} = 1 : 6 \cdots \textcircled{1}$$

C의 화학식량을 n 으로 놓으면,

$$m_{(A,B)} = \frac{N_A + N_B}{w_{t_1}} = \frac{\frac{38 \text{ g}}{3.8n \text{ g/mol}} + \frac{160 \text{ g}}{2n \text{ g/mol}}}{w_{t_1} \text{ kg}} = \frac{90}{n \cdot w_{t_1}} \text{ mol/kg}$$

$$m_{(A,B,C)} = \frac{N_A + N_B + N_C}{w_{t_3}} = \frac{\frac{38 \text{ g}}{3.8n \text{ g/mol}} + \frac{160 \text{ g}}{2n \text{ g/mol}} + \frac{400 \text{ g}}{n \text{ g/mol}}}{w_{t_3} \text{ kg}} = \frac{490}{n \cdot w_{t_3}} \text{ mol/kg}$$

위 결과를 식 ①에 대입하면,

$$\frac{90}{n \cdot w_{t_1}} : \frac{490}{n \cdot w_{t_3}} = 1 : 6$$

$$\frac{540}{w_{t_1}} = \frac{490}{w_{t_3}}$$

$$\therefore w_{t_1} : w_{t_3} = 540 : 490$$

(2) 몰랄 농도 그래프

m

$6m_1$

m_1

t_1

$t_2 \ t_3$

시간

연번	시간	몰랄 농도 변화
1	구간 $(0, t_1)$	용액이 끓지 않으므로 초기 몰랄 농도 m_1 이 유지된다.
2	구간 (t_1, t_2)	용액이 끓으면서 물의 질량이 감소하여 몰랄 농도가 증가한다.
3	시간 t_2	C를 첨가하여 용액의 몰랄 농도가 초기 몰랄 농도의 6배인 $6m_1$ 이 된다.
4	구간 (t_2, t_3)	C의 첨가에 따른 용액의 끓는점 오름 현상에 의해 용액이 끓지 않으므로 몰랄 농도 $6m_1$ 이 유지된다.
5	시간 t_3 이후	용액이 끓으면서 물의 질량이 감소하여 몰랄 농도가 증가한다.