

이름: _____ 학번: _____ 학과: _____

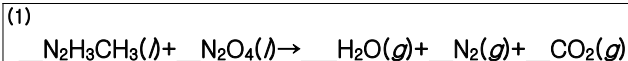
- 시험시간: 오후 3시 ~ 오후 4시 30분
- 휴대전화는 끌 것.
- 지우개, 계산기는 서로 빌려줄 수 없음.
- 숫자로 답이 나오는 경우에 유효 숫자가 틀리지 않도록 주의 할 것. 유효 숫자가 틀리면 감점 있음.
- 답은 각 문제에 주어진 네모 안 에 적어라.
- 각 문항에서 빈 공간이 있는 경우는 풀이 과정을 적으라는 의미임.
- 시험에 필요한 상수, 데이터, 주기율표는 맨 뒤 장에 있음.
- 문제수: 59
- Page 수: 6

-- PROJECT KNUEESPACE --

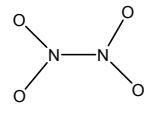
2007년 6월에 경북대학교 전자공학과 몇몇 학생들은 우주선의 추진 원리를 알아보기로 하고 연구 그룹 (Team KNUEESPACE) 을 구성하여 서로 조사한 내용을 발표하고 토론하기로 하였다.

철수는 우주선이 발사되어 하늘로 오를 수 있는 이유는 “우주선 안에 추진 원료들의 화학반응 때 발생하는 많은 양의 반응열에 의하여 그 에너지가 우주선의 운동에너지로 바뀌어 하늘로 오른다. 지구에서는 자동차 또는 증기 (또는 디젤) 기관차 등이 운동에너지를 얻기 위하여 가솔린 또는 석탄 (또는 경유) 을 가지고 다니면서 엔진 속에서 이들 원료를 공기로부터 흡입한 산소 (O_2) 와 반응시켜 (즉, 연소시켜) 반응열을 얻지만 우주에서는 산소 (O_2) 를 공급 받을 수 없으므로 산소를 가지고 가던가 아니면 산소를 사용하지 않고 많은 반응열을 얻을 수 있는 화학반응을 이용하여야 한다. 또한 부피를 줄일 수 있는 액체 또는 고체 연료가 써야 한다.” 고 발표하였다. 그리고 “여러 가지의 추진연료들이 있지만 메틸히드라진 ($N_2H_3CH_3$) 과 사산화이질소 (N_2O_4) 는 독성이 강하여 위험하기는 하지만 넓은 범위의 온도 와 압력에서 액체 상태로 존재하고 보관하기 쉬우며 두 화합물을 섞기만 하면 즉시 반응이 일어나므로 (hypergolic, 자동점화성) 반응을 일으키기 위한 다른 점화 장치가 필요 없어서 군사용 궤도위성 또는 원거리 우주선 (deep space rocket) 에 사용된다. 액체 메틸히드라진 ($N_2H_3CH_3$) 과 액체 사산화이질소 (N_2O_4) 를 반응시키면 수증기, 질소, 이산화탄소 세 가지의 종류의 기체 분자가 발생하는데 이 반응이 특히 좋은 이유는 반응에 의하여 많은 기체가 생성되고 반응열에 의하여 기체들이 많은 운동에너지를 가지게 되고 이 운동에너지가 우주선에 효과적으로 전달되기 때문이다.” 라고 하였다.

KNUEESPACE의 화학반응 짱 재석이는 즉시 이 반응의 균형잡힌 화학 반응식이 (밑줄에 맞춘 수를 적을 것)



라고 칠판에 적었다. 그리고 이 반응의 성격을 알기 위하여서는 각 분자를 정확히 이해하여야 할 필요가 있으므로 일단 분자에서 개개 원자의 최외각 전자배치는 희유기체 (noble gas) 의 최외각 전자 배치를 하는 경향이 있다고 하는 것을 바탕으로 한 루이스 구조식 (Lewis Structure) 을 칠판에 적어 보기로 하였다. 그런데 정확히 적을 수 없어서 재석이는 수소를 제외한 원자들의 배열이 다음과 같을 것이라고 예측하였다. (주의: 단지 원자의 배열 순서만을 나타낸 것일 뿐 단일 결합이라는 의미는 아님)

분자	수소를 제외한 원자의 배열	분자	수소를 제외한 원자의 배열
$N_2H_3CH_3$	$N-N-C$	H_2O	O
N_2O_4		N_2	$N-N$
		CO_2	$O-C-O$

KNUEESPACE 학생들은 Zumdahl의 일반화학 교과서를 참고로 하여 루이스 구조에 대하여 이해하고 정확한 루이스 구조식은 다음의 표에 나타난 바와 같고 재석이의 처음 예측이 맞는 것이라는 것을 알았다.

분자	루이스 구조식
$N_2H_3CH_3$	(2)
N_2O_4	(3)
H_2O	(4)
N_2	(5)
CO_2	(6)

또한 위의 루이스 구조에서 공명 (resonance) 구조를 갖는 분자는

(7) 이고 이 분자는 모두 (8) 개

의 공명 구조를 가지기 때문에 N-O 결합의 결합차수는 (9) 로 예측되어 결합 길

이가 N=O 이중결합보다 (10) 짧아, 길어 (맞는 것에 동그라미) 질 것으로 예상할 수 있었다.

KNUEESPACE의 화학결합 짱 형돈이는 “이들 분자들의 화학 결합은 원자가결합이론 (Valence Bond Theory, VBT) 로 설명을 할 수 있는데 VBT는 Pauling이 제안한 것으로서 분자의 각 원자에서 화학결합을 위한 적당한 혼성오비탈이 형성되고 이들 혼성오비탈 또는 원자오비탈 사이의 겹침 (overlap) 이 일어나서 화학결합이 생기는 것으로 설명한다. 따라서 먼저 위의 루이스 구조를 바탕으로 각 분자의 N, C, O 원자에서 형성되는 혼성오비탈을 알아야 한다.” 며 다음의 혼성오비탈 표를 칠판에 적었다.

분자	원자	형성되는 혼성 오비탈	원자	형성되는 혼성 오비탈
$N_2H_3CH_3$	N	(11)	C	(12)
N_2O_4	N	(13)	O	(14)
H_2O	O	(15)		
N_2	N	(16)		
CO_2	C	(17)	O	(18)

계속해서 형돈이는 “VBT에서 이야기 하는 화학결합을 정확히 이해하려면 각 원자에서의 전자배치를 알아야 하는데 원자들의 바닥상태 전자배치는 쌓음 원리 (aufbau principle) 에 따라 다음과 같이 쓸 수 있다.

원자	바닥상태 전자배치
H	(19)
C	(20)
N	(21)
O	(22)

여기서, 1s, 2p 등은 전자의 상태를 나타내는 궤도함수 (wave function)를 나타내는 것으로서 오비탈이라고도 하며 궤도함수는 주양자수(n), 각 운동량 양자수(l), 그리고 자기 양자수 (m_l)로 정의되는 수학적 함수이다. 전자의 상

태는 궤도함수와 전자 스핀 상태를 나타내는

(23) 양자수 (m_s)

에 의하여 완전히 정의 될 수 있다. 따라서 위의 원자 중에서 질소의 2p 오비탈에 있는 세 개의 전자의 상태는 요약하여 다음의 표로 정리할 수 있다.”고 말하였다. (다음의 표에서 전자 1, 2, 3은 세 개의 전자에 번호를 붙였다고 가정하고 각 전자를 나타낸 것이다.)

전자	주양자수 (n)	각 운동량 양자수 (l)	자기양자수 (m_l)	* * 양자수 (m_s)
1	(24)	(25)	(26)	(27)
2				
3				

그러자 KNUESPACE 홍철이는 “나는 아직도 화학결합이 이해가 되지 않는다. H_2O 와 N_2 를 예를 들어 그림으로 설명하여 주었으면 좋겠다.” 라고 하자 형돈이는 “ H_2O 에서는 산소에서 (15)의 혼성오비탈

(28) 개

가 생기고 이들은 모두 동등한 성격을 가지고 있다. 또

(29) 개

한 N_2 에서는 각 질소 원자에서 (16)의 혼성오비탈 가 생기고 이들은 모두 동등한 성격을 가지고 있다. 따라서 물 분자에 있는 산소 원자와 질소 분자에 있는 질소 원자에서의 최외각 전자배치는 혼성오비탈을 포함하여 쓸 때 다음과 같이 쓸 수 있다.

분자	원자	최외각 전자배치
CH_4	C	(예) $(sp^3)^4$
H_2O	O	(30)
N_2	N	(31)

따라서 물 분자의 경우 산소원자 (15)의 혼성오비탈 중

(32) 개

의 오비탈에 각각 1개의 전자가 들어가고 나머지 오비탈 들에는 각각 2개의 전자가 들어간다. 즉 물 분자에서 산소원자에는 비공유

전자쌍 (고립 전자쌍, lone pair) 이 (33) 쌍 존재한다. 1개의 전자를 가지고 있는 혼성오비탈과 1 개의 전자를 가지고 있는 수소의 1s 오

비탈이 중첩 (겹침) 하여 (34) 결합 이 생긴다. 이를 종합하여 그림으로 나타내면

(35) H_2O 의 화학결합 및 고립전자쌍 배치를 VBT를 이용하여 설명하는 그림 (자세히)

(35)번 그림과 같다. (15)의 혼성오비탈들은 (36) 의 중심에서 꼭지점을 향하여 있으므로 결국 물 분자에서 두 개의 O-H 결합 사

이의 각도는 (36) ° (도) 일 것으로 예상되나 이는 실제와 조금 다른데 이는 VSEPR (원자가 궤점 전자쌍 반발원리)로 될 수 있다.” 며 다음과 같이 설명하였다.

(37) H_2O 에서 H-O-H 각도가 (36)번의 각도와 비교하여 어떻게 되는가를 VSEPR을 이용하여 설명

형돈이는 계속하여 “질소 분자에서의 화학결합 및 비공유전자쌍의 배치 역시 쉽게 그림으로 설명할 수 있는데 이는 다음과 같다. 여기서는

(38) N_2 의 화학결합 및 고립전자쌍 배치를 VBT를 이용하여 설명하는 그림 (자세히)

그림에서 보는 바와 같이 (39) 결합 이 1 개 그리고

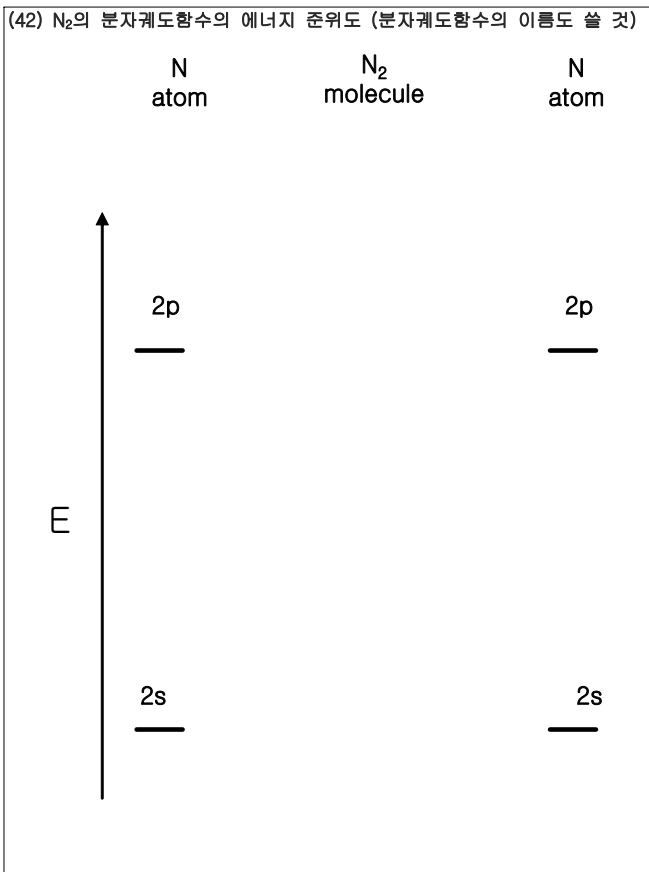
(40) 결합

이

(41) 개

생긴다.” 라고 설명하였다.

KNUESPACE 민정이는 “루이스 구조식, VBT, VSEPR 등의 모델은 쉽게 이해할 수 있으나 몇 가지 단점이 있다. 화학결합을 설명하는 다른 이론으로는 분자궤도함수 (MO) 이론이 있는데 이를 이용하여 N_2 분자를 설명하면 다음 그림에서와 같이 두 개의 질소 원자의 2s 오비탈과 2p 오비탈들 끼리 서로 linear combination 되어 MO 들을 만든다. 이 때 만들어진 MO들의 에너지 준위는 다음과 같다.



분자	ΔH_f° (kJ/mol)	분자	ΔH_f° (kJ/mol)
N ₂ H ₃ CH ₃ (l)	54	H ₂ O(l)	-286
N ₂ O ₄ (l)	-20	H ₂ O(g)	-242
N ₂ O ₄ (g)	10	CO ₂ (g)	-394

그리고 Hess의 법칙을 이용하여 충분한 양의 N₂H₃CH₃(l)가 공급되어 지는 조건에서 184 g의 N₂O₄(l)이 공급되면 (1)의 반응으로부터 반응열 (ΔH_r°)은

(43)

따라서 N₂의 전자배치는

로 쓸 수 있다. 또한 결합성 분자궤도함수 (bonding MO)에 모두

(44) 개

또한 반 결합성 분자궤도함수 (antibonding MO)에

(44) 개

모두 (44) 개의 전자가 있어서 결합차수는 (5)의 루이스 구조와 일치한다. 분자궤도함수의 모양은 다음과 같다.”라고 설명하였다.

분자궤도함수 이름	분자궤도함수 모양 (위상을 표시할 것, N은 핵의 위치를 나타냄)
π_{2p}	(45)
π_{2p}^*	(46)

(48)

kJ (부호주의)

가 된다고 계산하였다.

KNUEESPACE 학생들은 그러면 과연 이 반응열이 어떻게 우주선의 추진으로 전환되는가를 토론하였지만 쉽게 이해가 되지 않았다. 이 때 화학과 친구 민영이가 민정이를 만나기 위하여 방문하였다가 토론에 참여하게 되었다. 반응식을 살펴보면 민영이가 “이 반응의 특징은 많은 기체가 발생하는 것이다. 아마도 반응열에 의하여 기체가 운동에너지를 가지게 되고 그것이 추진의 근본 원인이 되는 것 같다. 왜냐하면 기체의 특성 중에 하나는 용기 벽에 압력을 미치는 것이니까 그 압력에 의하여 용기 벽 즉 우주선이 힘을 받을 것으로 예측된다.” 며 184 g의 N₂O₄(l)이 공급될 때 H₂O(g), N₂(g), CO₂(g) 기체가 각각

발생한 분자	184 g의 N ₂ O ₄ (l)이 공급될 때 발생한 몰 수
H ₂ O(g)	(48-1) mol
N ₂ (g)	(48-2) mol
CO ₂ (g)	(48-3) mol
total	10.00 mol

발생한다고 칠판에 적었다. 민영이는 계속해서 “기체분자운동론에 의하면 분자의 종류에 상관없이 평균운동에너지는 아래와 같이 켈빈 온도에 비례하므로

$$(KE)_{avg} = \frac{3}{2} RT$$

KNUEESPACE 민지는 “분자의 특성을 나타내는 중요한 것 중의 하나는 극성으로서 극성은 근본적으로 원자들 사이의 전기음성도 차이에 의하여 발생하는 것으로서 분자 구조로 보아 위의 N₂H₃CH₃, N₂O₄, H₂O, N₂, CO₂ 분자들 중에서 무극성 (nonpolar) 분자는 (모두 적을 것)

(47)

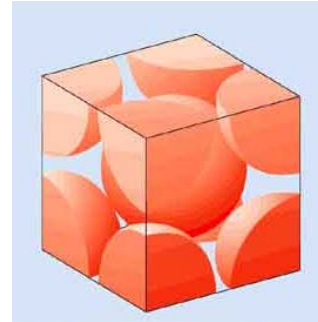
들 이다.”라고 하였다.

KNUEESPACE 열역학광 호동이는 “분자에 대하여 자세히 알아보았으니 이제 과연 (1)의 반응에서 얼마나 많은 열이 발생하는가를 알아보자.” 며 열역학 데이터가 있는 표를 찾아서 다음과 같이 정리하였다.

184 g 의 $N_2O_4(l)$ 이 공급될 때 발생한 반응열이 전체 10.00 mol 기체들의 운동에너지로 전환된다고 가정하면 용기의 온도는

기로 하고 이번 토론에서는 다른 우주선 연료는 없는지 인터넷을 통하여 조사하여 보았다. 조사하여 보니 상당히 효율이 좋은 삼성분연료(tripropellant)가 있었다. 이는 Li, F_2 , H_2 로 이루어진 것으로서 실험실에서만 테스트되었을 뿐 실제 우주선에서는 사용되지 않았다. 그 이유는 위의 세 성분을 모두 액체 상태로 보관하였다가 사용하여야 하는데 액체 수소는 $-252^\circ C$ 이하, 액체 Li 은 $180^\circ C$ 이상으로 유지시켜야 하는 어려움이 있기 때문이었다.

KNUEESPACE 현영이는 “그러면 Li 은 표준상태에서 고체로 존재하는 것이고 책에서 보니 Li 의 밀도는 535 kg/m^3 이고 결정구조는 체심 입방격자를 한다고 하는데 이것을 가지고 Li의 원자 반경을 계산할 수 있지 않을까 우리 한번 시도해 보자.” 며 다음과 같이 자기의 생각을 이야기 하였다.



“Li 원자의 반경을 r 이라고 하면 체심 입방격자 단위세포의 대각선은 $4r$ 이 된다. 따라서 단위세포의 한변의 길이를 구할 수 있고 그러면 단위세포의 체적을 r 의 함수로 표현할 수 있다. 그 안에 있는 Li의 질량을 원자량으로부터 구할 수 있으니 결국 밀도로부터 r 을 구할 수 있다.” 이에 KNUEESPACE 팀원은 논리적인 생각이라며 계산하여

(49)

K

가 된다.” 고 계산하였다. 그런데 계산된 온도는 너무 높아서 이 온도에 견딜 수 있는 어떠한 용기도 없다고 준하가 문제점을 제시하였다. 그러자 호동이 “어떠한 열역학적 엔진도 100% 열효율을 가질 수 없고 20% 정도의 효율만 있어도 상당히 훌륭한 엔진이다. 그리고 반응열이 전부 운동에너지로 바뀔 수는 없다. 왜냐하면 반응열의 일부는 분자들의 진동에너지로 변환되고 또한 용기의 비열을 고려하면 상당량의 반응열이 용기의 온도를 높이는데 쓰 이므로 반응열 중 10% 정도가 기체 분자의 운동에너지로 변환되었다고 하면 적당할 것으로 생각한다.” 라고 하여 (49)에서 계산한 온도의 10% 즉

(50)

K

가 용기 내의 온도일 것으로 어림 잡았다. 이 때 용기의 부피, 즉 로켓 엔진의 내부 부피가 만일 60.0 L 이면 이상기체 상태 방정식으로부터 엔진 내부의 압력은

(51)

Pa (= N/m^2)

이 될 것임을 예상할 수 있었고 이로부터 우주선이 얻을 수 있는 힘은 용기의 모양에 의존 할 것이기 때문에 이를 다음 번 토론까지 각자 조사하여 보

(52)

Å (단위주의)

의 결과를 얻었고 교과서

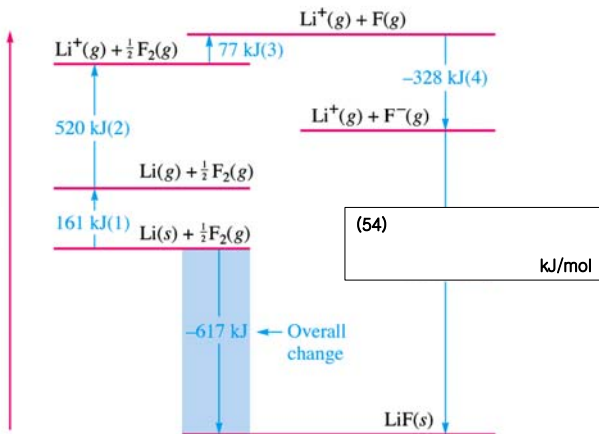
에 나와 있는 원자 반경과 거의 일치함을 확인하였다.

토론이 열기를 더해가면서 팀원들은 후덥지근 함을 느껴서 방에 있는 에어컨을 작동시켰고 곧 시원함을 느꼈다. 그런데 현영이가 또 “온도가 내려가서 시원한 것은 알겠는데 왜 습도도 떨어지는 것 처럼 느껴질까? 이는 물의 증기압도 관련이 되어 있는 것은 아닐까? 조금 전에 에어컨을 켜기 전에는 방의 온도가 $30^\circ C$ 였는데 지금은 $23^\circ C$ 야. Zumdahl 책 표 10.8 에 보니 $30^\circ C$ 에서 물의 증기압이 31.824 torr 로 나와 있고 증기압 계산식을 보니 $\ln(P_{\text{증기압}})$ 은 온도에 반비례한다고 되어있으니까 즉 $(1/T)$ 에 비례하는 것이고 비례상수는 아까 호동이 칠판에 적은 열역학 데이터와 관계되어 되어 있으니 $23^\circ C$ 에서 물의 증기압을 계산할 수 있겠다.” 며 직접 풀어서 $23^\circ C$ 에서 물의 증기압이

(53) torr 가 텀을 알고

증기압이 감소하였다는 사실을 알았다. 따라서 우리가 느끼는 후덥지근함은 물의 증기압과도 관련이 되어 있음을 알았다.

KNUEESPACE 하하는 “위의 삼성분연료를 사용하면 어떤 생성물이 생기지?” 하고 의문을 표시하자 재석이가 “일단 LiF 가 생길 것 같다.” 하였다. 그러자 하하가 “LiF는 이온 화합물로서 상온에서 고체로 존재하는데 반응 생성물이 고체가 나오는 반응 연료는 별로 좋지 않을 것 같다.”라며 의문을 표시하여 팀원들은 그것에 대한 의문은 다음 토론에서 좀 더 정확한 것을 알아보기로 하고 지금은 LiF에 대하여 알아보기로 하였다. 그러자 하하는 “LiF는 내가 좀 알지” 하며 다음의 그림을 그리고 “네모 안에 LiF의 격자 에너지를 적어봐” 하였다.



화학이야기가 재미없어서 옆에서 계속 졸고 있던 상렬이가 “우리 다른 이야기 좀 하자.”며 “나는 전자과니까 우주왕복선의 통신에 관심이 있어서 조사를 하여 본 적이 있는데 우주왕복선이 지상과 교신할 때 144 MHz ~ 148 MHz 대역의 주파수를 사용한다고 들었어. 따라서 이 대역의 성능이 좋은 수신기가 있으면 일반인들도 우주왕복선과 지상의 우주센터 사이의 교신을 들을 수도 있으니 우리도 한번 시도 해 보자. 누가 알겠어. 운이 따라 준다면 들을 수 있을지” 라고 하였다. 그러자 하하가 “왜 갑자기 끼여냐 위 그림 이야기나 계속하자.” 며 “상렬아. 그러면 위에서 니의 이온화에너지는 mol 당 얼마냐?” 하자 상렬이가 “나도 그것쯤은 안다.

(55) kJ/mol 이다. 따라서 Li의 이온화에너지의 파장은

(56) m 이기 때문에 이는 우주왕복선 교신 주파수(146 MHz) 에 비하여 파장이 짧다.” 라고 대꾸 했다.

분위기가 차가와 지는 경향이 있자 현영이가 “이제 토론은 그만 하고 뒤풀이로 맥주 마시러 가자.”하고 복문 앞 호프집으로 갔다. 맥주병의 거품을 보면서 재석이가 “심심한데 맥주병 속에 녹아 있던 CO₂의 질량은 얼마지” 하며 “맥주병 온도가 25°C 이고 압력이 5 atm, 맥주의 부피가 500 ml, 대기 중의 CO₂의 부분압이 4.0 x 10⁻⁴ atm 이라고 가정 하면 CO₂의 Henry 상수가 25°C에서 3.1 x 10⁻² mol/(L·atm) 이니까 맥주병의 뚜껑을 열기 전에 맥주 속에 녹아 있는 CO₂의 농도는

(57) M (=mol/L)

이고 뚜껑을 연 후에는

(58) M (=mol/L)

이니까 뚜껑을 열기 전에 CO₂는

(59) g

있었네” 하며 “미안, 이제부터는 정말 다른 이야기 하자.” 며 웃으면서 “이번 화학 기말고사 성적 <http://bh.knu.ac.kr/~leehi> 에 공고한다고 하였으니 꼭 체크해보자.” 고 하였다. KNUEESPACE 팀원들은 다음에는 좀 더 조사해서 우주선의 발사 원리를 물리적 (역학적) 으로 이해하는 토론을 하기로 하고 헤어졌다.

PERIODIC CHART OF THE ELEMENTS

PERIODIC CHART OF THE ELEMENTS																		INERT GASES			
IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA					
1 H 1.00797																1 H 1.00797	2 He 4.0026				
3 Li 6.939	4 Be 9.0122															5 B 10.811	6 C 12.0112	7 N 14.0067	8 O 15.9994	9 F 18.9984	10 Ne 20.183
11 Na 22.9898	12 Mg 24.372															13 Al 26.9815	14 Si 28.086	15 P 30.9738	16 S 32.064	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.102	20 Ca 40.08	21 Sc 44.956	22 Ti 47.90	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.9380	26 Fe 55.847	27 Co 58.9332	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.37	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.9216	34 Se 78.96	35 Br 79.909	36 Kr 83.80				
37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.905	40 Zr 91.22	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (99)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.905	46 Pd 106.4	47 Ag 107.870	48 Cd 112.40	49 In 114.82	50 Sn 118.69	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.904	54 Xe 131.30				
55 Cs 132.905	56 Ba 137.34	*57 La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.948	74 W 183.85	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.09	79 Au 196.967	80 Hg 200.59	81 Tl 204.37	82 Pb 207.19	83 Bi 208.980	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)				
87 Fr (223)	88 Ra (226)	†89 Ac (227)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 ? (271)	111 ? (272)	112 ? (277)										

Numbers in parenthesis are mass numbers of most stable or most common isotope.

Atomic weights corrected to conform to the 1963 values of the Commission on Atomic Weights.

The group designations used here are the former Chemical Abstract Service numbers.

* Lanthanide Series

58 Ce 140.12	59 Pr 140.907	60 Nd 144.24	61 Pm (147)	62 Sm 150.35	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.924	66 Dy 162.50	67 Ho 164.930	68 Er 167.26	69 Tm 168.934	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
--------------------	---------------------	--------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	---------------------	--------------------	--------------------

† Actinide Series

90 Th 232.038	91 Pa (231)	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (256)	103 Lr (257)
---------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

- 여러 가지 상수들 -

- 광속 = 3.00×10^8 m/s
- 아보가드로의 수 (Avogadro's number) = 6.022×10^{23}
- R (기체상수) = $0.0821 \text{ L} \cdot \text{atm} / (\text{mol} \cdot \text{K}) = 8.314 \text{ J} / (\text{mol} \cdot \text{K})$
- h (Planck 상수) = $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

문항	점수	문항	점수
1	5	34	2
2	2	35	5
3	2	36	2
4	2	36	2
5	2	37	5
6	2	38	5
7	2	39	2
8	2	40	2
9	2	41	2
10	2	42	10
11	2	43	2
12	2	44	2
13	2	44	2
14	2	45	3
15	2	46	3
16	2	47	2
17	2	48	10
18	2	48-1	3
19	2	48-2	3
20	2	48-3	3
21	2	49	10
22	2	50	2
23	2	51	10
24	3	52	10
25	3	53	10
26	3	54	5
27	3	55	2
28	2	56	10
29	2	57	10
30	2	58	10
31	2	58	10
32	2	총점	232
33	2		