

이름: _____ 학번: _____ 학과: _____

- 시험시간: 오후 7시 ~ 오후 9시
- 휴대전화는 끌 것.
- 지우개, 계산기는 서로 빌려줄 수 없음.
- 부정행위가 적발되면 감독 조교는 경고 없이 학생의 인적 사항을 파악하여 추후에 교수에게 통보할 것이고 그 학생의 점수는 이유 여하를 막론하고 0 점 처리 될 것임.
- 숫자로 답이 나오는 경우에 유효 숫자가 틀리면 각 문항 당 1점 감점.
- 답은 각 문제에 주어진 네모 안 에 적을 것. 네모의 크기와 답의 길이는 상관관계가 없음.
- 각 문항에서 빈 공간이 있는 경우는 풀이 과정을 적으라는 의미임.
- 실험에 필요한 상수나 데이터는 맨 뒤에 있음.
- 문제수: 53
- Page 수: 4
- 만점: 203 점

다음의 빈칸을 채워라.

“우주는 태초에 대폭발 (Big Bang) 에 의하여 공간과 (1) 이 창조됨으로써 생겼다. 이때 공간은 (2) 와 ‘공간을 차지하고 질량을 가지는 것’ 이라고 정의되는 (3) 이 채우게 되었다. 태초의 (3)은 쿼크 (quark) 라고 불리는 근본적인 입자로서 대폭발에 의하여 발생된 높은 온도 때문에 빠른 운동속도를 가지게 되어 우주는 팽창하게 되었다.”

quark에는 여섯 가지 종류가 있다. 그 중에서 "charm" 이라고 불리는 quark 는 그 질량이 $1.5 \text{ GeV}/c^2$ ($G=giga=10^9$, $e=e$ 전자의 전하량, $V=volt$, $c=광속$) 이고 전하량은 $+2/3$ 라고 알려져 있다. 따라서 charm의 질량은

(4) g 이다.

“이때 우주의 온도는 대략 10^9 K 라고 알려져 있다.”

만일 charm이 기체 상태로 있다고 하면 charm의 근제곱평균속도 (u_{rms}) 는 (우주의 온도, 10^9 K , 는 완전수라고 생각하고 계산하여라.)

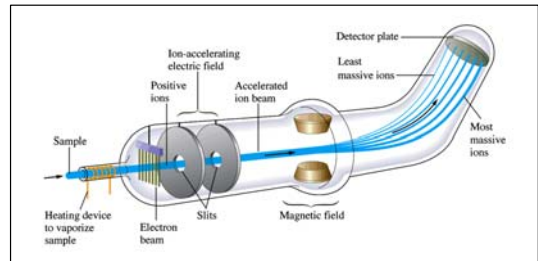
(5) m/s 가 된다.

(물론 초기 우주를 위와 같이 quark의 고전역학적인 운동으로 단순히 기술할 수는 없다.)

“그 후 우주는 진화를 거듭하여 현재의 우주의 모양이 되었다. 현재 과학자들은 우주에 존재할 수 있는 원자의 종류가 이론적으로 (6) 가지 까지 있다는 것을 알아내었고 이 중에서 지구에서 자연 상태에서 발견되는 것은 원자번호 1번 수소(H) 에서 92번인 우라늄 (U) 까지이다. (이중 43번 테크네튬(Tc)과 61번 프로메튬(Pm)은 자연 상태에서 원소의 형태로 발견되지

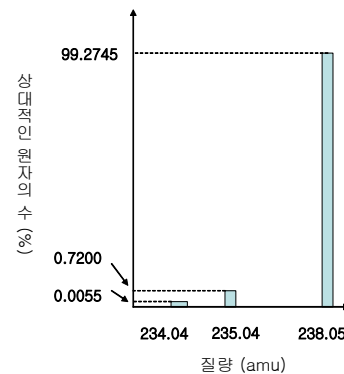
않고 화합물의 형태로만 발견된다.) 우라늄은 잘 알려진 바와 같이 원자력 발전소의 원료로 쓰이는 것으로서 우라늄의 동위원소에는 ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U 의 세 가지가 있다.”

우라늄 동위원소들의 정확한 질량과 자연존재비를 알기 위하여 우라늄을 다음과 같은 질량분석계를 사용하여 분석을 하였다.



질량분석계

다음은 그 스펙트럼이다.



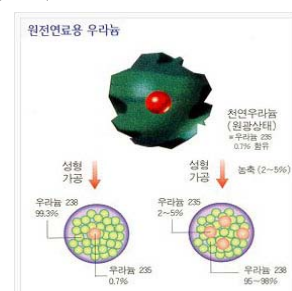
다음은 스펙트럼의 분석으로 정리한 표이다.

동위원소	질량 수	양성자의수	중성자의수	질량 (amu)	자연존재비 (%)
^{234}U	234	(7)	(8)	(9)	(10)
^{235}U	235	(11)	(12)	(13)	(14)
^{238}U	238	(15)	(16)	(17)	(18)

따라서 우라늄의 평균원자량은

(19) amu 이다.

“위의 세가지 동위원소 중에서 실제로 원자력 발전소에서 원료로 쓰이는 것은 ^{235}U 로서 자연존재비가 극히 적기 때문에 우라늄 광산으로부터 얻은 광석에서 추출한 우라늄을 원료로 사용하기 위하여서는 ^{235}U 를 분리하여야 하는데 실제 사용하는 원료는 ^{235}U 가 2~5% 정도이다. 이 과정을 ‘우라늄 농축’ 이라 하고 종종 우리는 이 단어를 뉴스 매체를 통하여 들을 수 있다. 아쉽게도 우리나라는 아직 이 농축 기술이 없기 때문에 농축된 우라늄 원료를 수입하여 사용하여야 한다.”



농축 우라늄 1 mol 을 수입하여 질량을 재어보니 237.95 g 이었고 ^{234}U 는 0.0000 % 존재한다고 하자. 이 때 농축 우라늄에서 ^{235}U 와 ^{238}U 의 조성비는 각각

위의 주기를 표에서 * 표한 원소들은, 즉 원자번호 21번에서 30번 사이의 원소와 그 아래 원소들은, (31) 라고 불린다.

“탄소는 유기화합물의 가장 중요한 원소로서 생명현상의 가장 중요한 원소 중의 하나 라고 할 수 있다. 대부분의 유기화합물은 탄소, 수소, 산소로 이루어져 있는데 이러한 유기화합물이 어떤 것인가를 알기 위한 여러가지 방법 중 하나는 유기화합물을 태워서 나오는 이산화탄소와 물의 질량 측정으로부터 유기화합물을 알아내는 것이다.”

탄소, 수소, 산소로 이루어진 어떤 유기화합물 10.68 mg을 연소시켰더니 이산화탄소 16.01 mg 과 물 4.37 mg이 생겼다. 이 유기화합물의 실험식을 구해보면

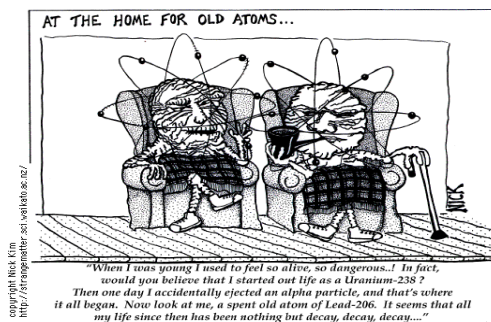
(20) ^{235}U 의 조성비 = % , (21) ^{238}U 의 조성비 = % 이다.

“좀 더 심각한 ‘우라늄 농축’은 ^{235}U 의 조성비가 약 90% 정도 되는 우라늄으로서 이것은 원자폭탄의 원료로 쓰인다. 방송 매체에서 듣는 ‘우라늄 농축’은 바로 90% 정도의 농축을 할 수 있는 기반 기술을 가지고 있는 것에 대한 것으로서 현재 미국, 영국, 프랑스, 러시아, 중국, 인도, 이스라엘, 파키스탄 등이 그 기술을 가지고 있는 것으로 알려져 있고 또한 최근에 북한, 이란 등도 그 기술을 가지고 있는 것으로 의심 받고 있다. 원자력 발전소에서 에너지를 얻는 원리와 원자폭탄의 폭발 원리는 모두 소위 핵 붕괴 (decay)로서 이때 관여하는 힘은 우주를 지배하는 네 가지의 힘,

(22) , (23) ,

(24) , (25) 중 에

서 (26) 이다.



우라늄은 붕괴되어 위 그림의 설명에 나와 있는 바와 같이 궁극적으로 납 (lead, Pb) 이 된다. 납은 주기율표 상에서 (27) 족 , (28) 주기 에 속하는 원소로서 같은 족에는 (29) 개 의 비금속 원소가 있고 그 중에 질량수가 작은 것은 (30) 이다.“

(32) 이 된다.

만일 위의 유기화합물의 물질량이 176.1 g/mol 이라면 이 화합물의 분자식은

(33) 이 된다.

“또한 탄소는 무기화합물에서도 많이 발견되는데 예를 들어 빵을 부풀게 하는 베이킹파우더로 쓰이는 NaHCO_3 는 영어로는

(34) 로 불리

1 H																	18 Ar
3 Li	4 Be															19 K	20 Ca
11 Na	12 Mg															29 Cu	30 Zn
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La*	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
87 Fr	88 Ra	89 Ac*	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

*Lanthanides
*Actinides

고 우리말로는 (35) 라고 불린다.”

공업적으로 NaHCO_3 는 소다회라고 하는 Na_2CO_3 를 수용액상에서 이산화탄소를 통과시켜서 얻는다. 따라서 Na_2CO_3 에서 NaHCO_3 를 만들어내는 화학 반응의 균형잡힌 화학 반응식은

(36) 이다.

철수는 NaHCO_3 를 제조하기 위하여 소다회 35.6 g 을 충분한 물에 녹인 후 25°C 에서 이산화탄소 20.8 L 를 통과시킨 후 얻은 NaHCO_3 를 여과종이로 거른 후 질량을 달아보니 얻은 NaHCO_3 의 질량은 45.7 g 이었다. 이론적으로 얻을 수 있는 NaHCO_3 의 질량은

발견하였다. 그래서 화학 시간에 배운 산-염기 적정을 이용하여 식초에서 아세트산의 질량 백분율을 알아보기로 하였다. (식초는 아세트산의 수용액이다) 식초 10.00 mL를 삼각 플라스크에 넣은 후 페놀프탈레인 한 방울을 첨가하고 뷰렛에 미리 준비한 0.5062 M NaOH 수용액으로 적정을 하였다. NaOH 용액 16.58 mL가 소모되었을 때 식초용액의 색이 무색에서 빨간색으로 변하였다. 따라서 철수는 식초에서 아세트산의 몰농도가

(42) M 임을 알아내었다.

철수는 또한 식초의 밀도와 산-염기 적정 실험에서 알아낸 아세트산의 농도로 부터 식초에서 아세트산의 질량 백분율이

(37) g 이므로 철수의 실험에서 수득률은

(38) % 이다.

“ NaHCO_3 는 공업적으로는 위의 식 (36)처럼 이산화탄소를 사용하여 알지만 Na_2CO_3 를 그냥 물에 녹여도 만들어진다. Na_2CO_3 를 물에 녹이면 용액은 염기성이 되는데 이는 수용액 상에서 NaHCO_3 도 만들어지지만 OH^- 이온도 만들어내기 때문이다.”

Na_2CO_3 를 물에 녹였을 때 수용액이 염기성이 되는 이유는 다음의 균형잡힌 화학반응식, (39) 으로 설명할 수 있다.

“수용액에서 OH^- 이온을 생성해 내는 것은 염기 (base), 그리고 (40) 을 생성해 내는 것은 산 (acid) 이라고 하는데 이는

(41) 의 산-염기 정의에 따른 것이다. 산과 염기가 만나서 일어나는 반응을 산-염기 반응이라고 한다. 산-염기 반응을 이용하면 농도를 알고 있는 산 또는 염기로부터 농도를 모르는 염기 또는 산의 농도를 알 수 있는데 이를 산-염기 적정이라고 한다.”

철수는 집의 부엌에 있는 식초병의 성분표에 식초의 밀도가 1.006 g/cm^3 라고 써 있는데 아세트산(CH_3COOH) 의 질량 백분율 표시가 지워진 것을

(43) % 임을 성공적으로 알아내었다.

“산-염기 적정에 많이 쓰이는 NaOH 용액 (염기성 용액)에 철 2가 이온 (Fe^{2+}) 을 넣으면 다음 그림과 같이 침전 $\{\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})\}$ 이 생기는데 여기에

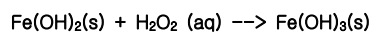


$\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$



$\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$

H_2O_2 를 넣으면 다른 종류의 침전 $\{\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})\}$ 이 생긴다. 이 반응은



라고 완성되지 않은 형태로 줄여 쓸 수 있다. 이때 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ 에서 Fe의 산화

수는 (44) , H₂O₂ 에서 O의 산화수는 (45) , Fe(OH)₃ 에서 Fe의 산화수는 (46) 이다. 이와 같이 화학 반응에서 산화수가 변화하는 반응을 (47) 반응 이라고 한다.“

Fe(OH)₂(s) + H₂O₂ (aq) --> Fe(OH)₃(s) 반응의 균형잡힌 반응식은

따라서 철수는 Fe(OH)₂ + O₂ --> Fe(OH)₃의 반응에서 Fe(OH)₂의 Fe는 (52) 개 의 전자만큼 산화되었고, O₂ 의 O는 (53) 개 의 전자만큼 환원 되었다는 것을 찾아내어서 Fe(OH)₂ + H₂O₂ --> Fe(OH)₃ 반응과는 비슷하지만 약간 다르다는 점을 알고 산화-환원 반응을 완전히 이해하였다.

- 여러 가지 상수들 -

- 아보가드로의 수 (Avogadro's number) = 6.022x10²³
- e (전자 전하량) = 1.602 x 10⁻¹⁹ C
- 1 eV = 1.602 x 10⁻¹⁹ J
- c (광속) = 2.998 x 10⁸ m/s
- u_{rms} = 근 제곱 평균 속도 (root mean square speed) = (3RT/M)^{1/2} 여기서 M은 분자량
- R (기체상수) = 0.0821 L·atm/(mol·K) = 8.314 J/(mol·K)
- Na 의 원자량 = 22.99 amu
- O 의 원자량 = 16.00 amu
- C 의 원자량 = 12.01 amu
- H 의 원자량 = 1.008 amu
- 25°C 에서 이산화탄소 1 mol의 부피 = 22.4 L (가정)

(48) 이다.

따라서 Fe(OH)₂의 Fe는 (49) 개 의 전자만큼 산화되었고, H₂O₂ 의 O는 (50) 개 의 전자만큼 환원되었다.

철수는 염기성용액에서 생성된 Fe(OH)₂ 가 H₂O₂ 에 의해 Fe(OH)₃로 바뀐다고 알고 있었고 (식 48) 그 반응을 직접 실험으로 확인하였다. 그런데 실험 중에 과다하게 만들어 놓은 Fe(OH)₂ 가 담겨있는 염기성 용액을 일부는 H₂O₂를 첨가하여 식 (48) 실험을 하였고 일부는 시험관에 따로 보관하여 놓았는데 며칠 후에 보니 그 시험관에 Fe(OH)₃ 가 생성되어 있는 것을 확인하였다. 그래서 철수는 H₂O₂가 없었는데 어떻게 Fe(OH)₃ 가 생기는가를 생각하여 보다가 다음과 같이 이 공기 중의 산소가 반응을 일으킬 수 있지 않을까 생각하였다.



그래서 교수님께 여쭙보니 공기 중의 산소에 의하여 Fe(OH)₂ 가 Fe(OH)₃로 산화될 수 있다고 하였고 균형잡힌 화학반응식은

(51) 라고 알려 주셨다.

문항	만점	점수
1	2	
2	2	
3	2	
4	6	
5	6	
6	2	
7	2	
8	2	
9	2	
10	2	
11	2	
12	2	
13	2	
14	2	
15	2	
16	2	
17	2	
18	2	
19	6	
20	5	
21	5	
22	2	
23	2	
24	2	
25	2	
26	2	
27	2	
28	2	
29	2	
30	2	
31	2	
32	10	
33	5	
34	5	
35	5	
36	8	
37	10	
38	5	
39	8	
40	2	
41	2	
42	10	
43	10	
44	3	
45	3	
46	3	
47	2	
48	10	
49	3	
50	3	
51	10	
52	3	
53	3	
합	203	