|  |
| --- |
| **실험4. 수소의 발견과 이해 결과보고서** |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **실험일** | **제출함 No.** | **담당교수** | **점수** | | **Apr 13, 2023** |  | **박민진** |  | | **학과** | **학번** | **이름** | | **화학과** | **2023160236** | **정원준** |  1. **Abstract**   수소는 원자 번호 1번인 원소로, 우주에 존재하는 원소 중 가장 가벼운 원소이다. 따라서 수소는 다양한 원소들과 화학 결합을 이루며, 물, 탄수화물, 단백질, 지방 등 우리 주변의 여러 물질들을 구성한다. 따라서 수소의 물리/화학적 성질을 탐구하는 것은 다양한 물질들을 이해하는 기반이 된다. 본 탐구에서는 물, acid, 수소 기체에 대한 연구를 통해 수소의 성질을 확인하고자 한다.  본 탐구먼저 물의 전기 분해 실험에서 일어나는 반응을 조사하고 열역학적 계산을 통해 각 반응의 환원 전위를 규명했다. 그 결과 전해질 수용액에서 물이 전기분해되기 위한 조건은 발생한 전해질의 환원 전위(SATP)가 -0.414V~0.815V에 해당하지 않을 때임을 구했다.  두 번째로 금속과 염산을 반응하여 발생하는 수소 기체의 부피를 이용해 금속 원자의 몰질량(원자량)을 구하였다. 특정 질량의 마그네슘, 알루미늄, 아연을 플라스크에서 과량의 염산과 반응시켜 수소 기체를 얻었으며, 수위 조절기를 통해 1기압의 조건을 유지할 수 있도록 하였다. 발생한 수소 기체의 부피는 플라스크에 연결된 수위 조절관에서 물의 초기 눈금과 최종 눈금의 차이를 이용하여 계산했다. 부피는 이상 기체 상태 방정식을 통해 몰수(n=PV/RT)로 환산하였으며, 초기 투입한 금속의 질량을 반응한 금속의 몰수로 나누어 금속 원자의 몰질량을 구하였다. 그 결과 아연, 알루미늄, 마그네슘의 몰질량은 차례대로 63.9g/mol, 26.7g/mol, 21.7g/mol로 계산됐으며, 실제 몰질량 65.38g/mol, 26.98g/mol, 24.31g/mol과 바교했을 때 1%~10%의 오차 범위에서 값을 얻었다. 해당 실험에서 오차는 실험 오차와 더불어 플라스크 내의 평형이 완벽하게 도달하지 않았고 이상 기체 근사를 도입한 것이 원인으로 사료된다. |

|  |
| --- |
| **실험4. 수소의 발견과 이해 결과보고서** |
| 1. **Data & Results**   **II.1. 물의 전기 분해**   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **(-)극** | 발생한 수소기체의 부피 | | 2V | | 수소의 폭명성 확인 | | 있을 것으로 추정됨 | | [반응식] 4H3O+ + 4e- → 2H2 + 4H2O | | | | **(+)극** | 발생한 산소기체의 부피 | | V | | [반응식] 6H2O → O2 + 4H3O+ + 4e- | | | | **수소와 산소 기체의 발생 비율** | | 1. : 1 | |   **II.2. 금속 원소의 몰질량 결정**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | 실험실 온도 | 19℃ | 292K | | 물의 온도 | 18℃ | 291K | | 물의 증기압 (torr) | w.o.consideration | | | 대기압 (hPa) | 1015.5 | | | 보정 압력 (atm) | 1.0022 | |  |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | |  | 사용한 금속의 질량 (mg) | 처음 눈금 (mL) | 최종 눈금 (mL) | 발생한  H2(*g*)의 부피 (mL) | | **Zn** (65.38 g/mol) | 39.6 | 5.8 | 20.6 | 14.8 | | **Al** (26.98 g/mol) | 45 | 4.4 | 64.8 | 60.4 | | **Mg** (24.31 g/mol) | 40.4 | 5.4 | 49.8 | 44.4 |   기체 상수 *R* = 0.08206 atm∙L/mol∙K   |  |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | --- | |  | 기체의 몰수  (n, mol) | 금속의 몰수 (n’, mol)  (금속이온의 전하량 고려) | 몰질량 (g/mol) | 오차율 (%) | | **Zn** (65.38 g/mol) |  |  |  | 2.224 | | **Al** (26.98 g/mol) |  |  |  | 1.038 | | **Mg** (24.31 g/mol) |  |  |  | 10.58 |   **II.3. 수소의 선 스펙트럼**  과학자들은 Visible ray에 대한 분광학적 실험을 통해 다음의 스펙트럼을 얻었다.1  Balmer Series Definition in ScienceBalmer Series Definition in Science   1. **Calculation & Analysis**   **III.1. 금속 원소의 몰질량 결정**  **1.** 압력 보정의 과정은 다음과 같다.  Calibrated atmosphere(atm) = measured atmosphere(hPa)/1013(hPa/atm)  =(1015.5 hPa) / (1013 hPa/atm)=1.0022atm  **2.** 발생한 Hydrogen gas의 부피를 구하는 과정은 다음과 같다.  Measured volume of hydrogen(g) = 초기 눈금(mL) - 최종 눈금(mL)  Zinc을 활용한 실험을 예로 들면 초기 눈금 = 5.8mL, final graduation = 20.6mL이므로 measured volume = 14.8mL이다. Aluminium과 Magnesium에 대한 초기 눈금, 최종 눈금 값은 table에 있는 값을 이용하여 동일한 연산을 수행했고, 그 결과 각각 60.4mL, 44.4mL의 값을 얻을 수 있었다.  **3.** 발생한 수소 기체의 몰수를 구하는 과정은 다음과 같다. 이상기체 상태 방정식에서 n(mol)=PV/RT이고, temperature(T), pressure(P), volume(V)는 이미 measure된 값이므로 이를 활용했다. Universal gas constant *R* = 0.08206 atm∙L/mol∙K를 인용했다.  이때 V에 해당하는 값은 II.2. 에서 구한 수소 기체의 부피를 이용했다.   1. Zinc를 이용한 실험에서 quantity of hydrogen (mol)= 2. Aluminium을 이용한 실험에서 quantity of hydrogen (mol)= 3. Magneisum을 이용한 실험에서 quantity of hydrogen (mol)=   **4.** 반응한 금속의 몰수는 금속과 염산의 반응식에서 전하 보존의 원리를 이용해 구했다.  이때 반응한 금속의 quantity는 Magnesium과 Zinc의 경우 발생한 hydrogen의 quantity와 동일하지만 Aluminium의 경우 2/3배이다. 이를 이용하여 계산하면 Magnesium은 mol, Aluminium은 mol, Zinc는 mol 반응했음을 알 수 있다.  **5.** 금속의 몰질량은 반응한 금속의 질량을 반응한 금속의 몰수로 나누어 구할 수 있다.  **6.** 오차는 퍼센트 오차의 공식 에 대입하여 계산하였다. 이때 각 몰질량 Zn(65.38g/mol), Al(26.98g/mol), Mg(24.31g/mol)을 대입하였다.  마그네슘을 사용했을 때의 오차가 유독 높게 나타난 것은 실험 장치 조작 과정에서의 오류가 있었던 것으로 사료된다.   1. **Discussions2**   **1. 수소의 흡수 선 스펙트럼과 방출 선 스펙트럼의 원리를 설명하시오.**  스펙트럼은 특정 빛의 파장별 굴절률 차이를 이용하여 분광기를 통해 얻은 것으로, 구조 해석, 에너지 해석 등 화학의 여러 분야에 근간이 된다. 가시광선 분광광도계에서 스펙트럼의 차이는 스펙트럼을 얻는 방식과 그 형태에서 나타난다. 방출 스펙트럼이란 고온의 기체에서 방출하는 빛을 분광기에 통과시켰을 때 나타나는 스펙트럼을 의미하며, 검정 바탕에 특정 파장에서 선이 나타나게 된다. 반면 흡수 스펙트럼이란 고온의 광원에서 방출한 빛을 저온의 기체에 통과시켰을 때 나타나는 스펙트럼을 의미하며, 연속적인 색의 바탕에 검정색 흡수선이 나타나게 된다.  수소의 경우 방전관에 기체를 넣고 높은 전압을 걸어주면 음극으로부터 나온 전자가 수소 분자의 전자와 충돌하여 전자가 들뜨게 된다. 이 과정에서 H-H 결합을 끊을 만큼 충분한 에너지가 공급되면 수소 분자는 수소 원자 2개로 해리된다. 이때 들뜬 상태의 수소 원자가 다시 바닥 상태로 돌아가며 방출하는 빛을 분광기로 관찰하면 방출 스펙트럼을 얻을 수 있다. 흡수 스펙트럼의 경우 고온의 광원에서 방출하는 빛을 저온의 수소 기체를 통과시켜 얻을 수 있다. 특히 천문학에서 항성에서 방출된 빛은 수소가 대부분인 우주를 통과하여 지구에 도달하므로 천체의 흡수 스펙트럼을 이용하여 수소의 흡수선(H1선)을 구하기도 한다.  **2. 이번 실험에서 한계반응물과 초과반응물을 정의하고 실험방법대로 실험해도 문제가 없는지 설명하시오**  이번 실험에서 한계 반응물은 Mg, Al, Zn이며 초과 반응물은 HCl(aq)이다. 본 탐구에서 염산과 금속의 반응을 일으키는 목적은 두 가지가 있다. 먼저, 증류수를 수소 기체로 포화시켜 수소 기체가 용해되어 발생한 수소 기체의 부피가 낮게 측정되지 않도록 하기 위함이다. 둘째, 실제 금속과 반응시켜 수소 기체를 만들어 그 부피를 화학양론적으로 해석해 생성된 수소 기체의 몰수와 반응한 금속의 몰수 비를 구하기 위함이다.  이때 금속을 한계 반응물로 설정한 것은 합리적이다. 먼저, laboratory condition에서 유효한 부피의 수소 기체를 생성시키기 위한 과량의 금속을 투입하는 것은 비합리적이다. 또한, 과량의 금속을 모두 반응시킨 정확한 양의 염산을 측정하기 어렵다. 더불어 III.1.4에 언급한 것과 같이 수소 생성 반응에는 이온이 참여하는데, HCl의 휘발 비율과 이온화 비율을 모두 고려하는 계산은 매우 어렵다.  따라서 금속을 과량의 염산에 반응시키는 것은 매우 합리적인 결정이다. 단, 측정하고자 하는 것이 수소 기체의 부피임에 유의해야 한다. 염산 자체도 휘발성을 갖기에 plask에서 발생한 기체는 금속과 반응한 수소 기체의 부피도 존재하지만 염산이 기화되어 나타난 염화 수소 기체도 포함된다. 하지만 일련의 가설을 감안하더라도 거시적인 실험에서 5% 안팎의 오차를 얻은 것은 염산의 기화(phase equilibrium or vapor pressure equilibrium)는 발생한 수소 기체의 부피에 비해 상당 부분 무시 가능하다는 수준임을 시사한다. 이는 exterior pressure가 1atm과 유사하게 유지되도록 조절하며 실험한 것의 영향도 있다고 사료된다. 단, 이상적인 모델에서는 plask 내부 계가 완벽히 equilibrium에 도달하고 염산이 더 이상 기화되지 않는 상황에서 완벽한 등압 조건에서의 반응이 일어나 무시할 만큼의 발열로 인해 무시할 만큼의 염산이 기화된다고 설정하는 것이 타당하다.  요약하자면, 모든 실험 조건이 그렇듯 외부 오차가 존재하지만, 과량의 염산에 금속을 반응시키는 방법은 발열과 염산의 기화를 고려해도 교양 실험 수준에서는 유의미한 오차를 발생시키지 않는다.  **3. 물의 전기분해실험에서 증류수가 아닌 전해질 용액을 사용하는 이유는 무엇인가? 모든 전해질 용액이 전기분해 될 때 수소와 산소가 발생하는가?**  물의 전기분해 실험 과정에서 어떤 electrolyte도 첨가하지 않고 전기분해를 시도할 경우 대부분의 물은 전기분해되지 않는다. 이는 여러 가지 이유들로부터 기인한다. 우선, 물의 자체 이온화 상수(는 로 아주 작은 값을 가지기에 이온이 충분히 생성되지 않아 electrolysis를 위한 potential이 충분히 drive되지 않는다. 이는 전기적인 관점에서 해석하면, 물은 공유 결합 물질로 높은 저항을 가져 전기 전도성이 낮기에 동일한 결과가 발생한다고 해석할 수 있다.  Anode와 cathode에서 발생하는 redox reaction의 potential은 thermodynamic state의 영향을 받는다. 이때 standard reduction potential은 standard state를 기준으로 하기에 물의 농도 조건()과 실제 laboratory condition(temperature)을 고려해서 Nernst equation으로 실제 전극에서 일어나는 반응의 potential을 계산할 수 있다. 이때 electrolysis에 대해서 이고, 이에 해당하는 potential을 극복해야 한다. 하지만 만일 이 potential이 물의 electrolysis potential(SATP, 약 1.229V)보다 낮으면 물이 분해되는 것이 아닌 해당 electrolyte가 electrolysis된다. 일례로, NaI를 electrolyte로 사용했다고 생각해 보자. 이때 Nernst equation을 통해 계산(SATP)한 Na+의 reduction potential은 -2.77V로, hydronium ion의 reduction potential이 -0.414V보다 큰 음의 값이다. 따라서 Na+는 환원되지 않으며, H3O+가 환원된다. 반면 아이오딘의 경우 reduction potential이 Nernst equation으로 계산(SATP)하면 0.594V로, O2의 환원 전위 0.815V보다 작기에 아이오딘 이온의 oxidation이 물보다 더 선호된다. 일련의 중성 수용액에 대한 결론을 요약하자면 다음과 같다. (Oxtoby, 2018, p818)   * 어떤 화학종의 환원 전위가 대수적으로 -0.414V보다 더 클 때에만 그것이 환원될 수 있다. * 어떤 화학종의 환원 전위가 대수적으로 0.815V보다 더 작을 때에만 그것이 산화될 수 있다.   이를 전기 분해에 대해 재진술하면 다음과 같다.   * 전해질이 이온화되어 만든 화학종들에 대하여 환원될 화학종의 환원 전위가 대수적으로 -0.414V보다 더 작고, 산화될 화학종의 환원 전위가 대수적으로 0.815V보다 더 커야 물이 전기분해된다(SATP, 중성 수용액).   따라서 NaI(I-의 환원 전위 = 0.594V<0.815V), NiCl2(Ni2+의 환원 전위 = -0.26V>-0.414V) 등의 전해질을 사용할 경우 물은 전기분해되지 않는다.   1. **References**   1. *Image source:* <https://www.thoughtco.com/definition-of-balmer-series-604381>  2. Oxtoby, 현대 화학, 7/ed., Cengage, 2018, pp763-830 |