

2020년 고교교육 기여대학 지원사업

2021학년도
연세대학교 논술전형 모의논술
출제의도 및 해설
- 자연계열 (물리학) -



연세대학교 입학처

2021학년도 연세대학교 논술전형 모의논술 문제,
출제의도 및 해설의 저작권은 연세대학교에 있습니다.

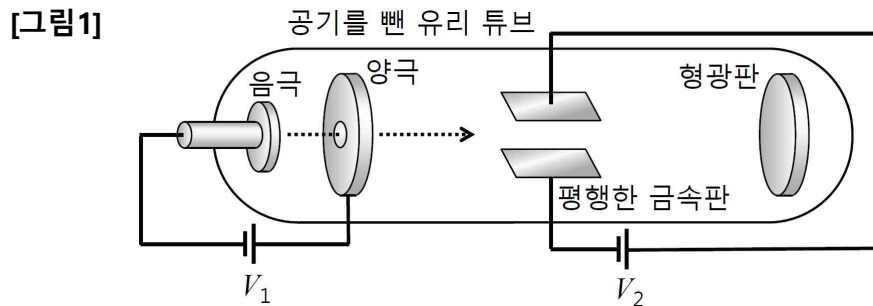
상업적인 사용을 금합니다.

2021학년도 연세대학교 논술전형 모의논술

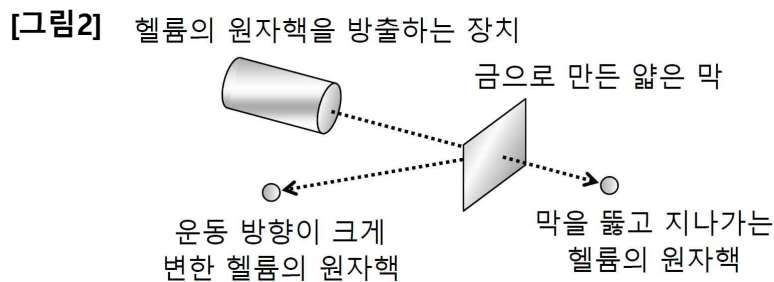
자연계열 (물리학) 문제

※다음 제시문을 읽고 아래 질문에 답하시오.

[가] 공기를 뺀 유리 튜브 안에 [그림 1]과 같이 음극과 양극, 두 평행한 금속판, 형광판을 설치하고 음극과 양극 사이에 높은 전압(V_1)을 가하면 음극에서 나온 입자가 음극과 양극 사이에서 가속되어 양극의 가운데에 있는 구멍을 통과한다. 그리고 통과한 입자는 전압(V_2)가 걸린 두 평행한 금속판 사이에서 휘어져 형광판에 도달한다. 톰슨은 이러한 실험에서 이 입자가 (-) 전하를 띠는 입자임을 알아내었고, 이 입자를 전자라고 하였다.



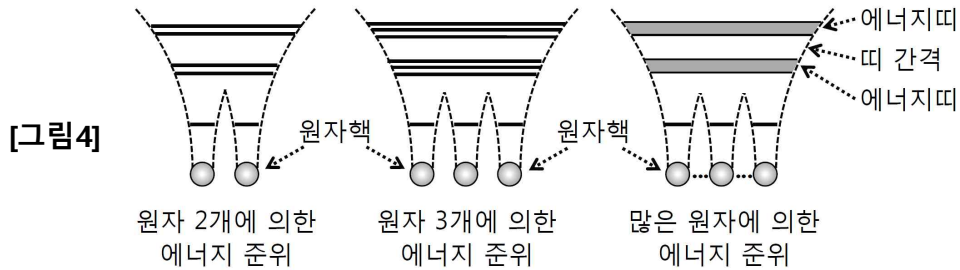
[나] 헬륨의 원자핵들을 [그림 2]와 같이 금으로 만든 얇은 막을 향하여 보내면 대부분은 금으로 만든 얇은 막을 뚫고 지나갔고 일부는 운동 방향이 큰 각도로 변하였다. 러더퍼드는 이러한 실험 결과로부터 원자의 중심에 (+) 전하를 띠는 원자핵이 존재하고, 전자가 원자핵의 주위를 원운동 하는 원자 모델을 제안하였다.



[다] 수소 원자에서 방출되는 빛은 [그림 3]과 같이 불연속적인 선 스펙트럼이다. 이러한 선 스펙트럼을 설명하기 위해 보어는 전자가 원자핵 주위를 특정한 반지름으로 원운동 하는 원자 모델을 제안하였다. 수소 원자에 대한 보어의 원자 모형에서 전자는 -13.6 eV , -3.40 eV , -1.51 eV , -0.85 eV 등과 같은 에너지를 가질 수 있다.



[라] 원자 내에서 전자는 불연속적인 에너지 준위를 가지며, 원자들이 많이 있어도 서로 멀리 떨어져 있으면 전자의 에너지 준위는 원자 1개의 경우와 같다. 한편, 원자 2개가 가까이 있으면 [그림 4]와 같이 전자의 에너지 준위가 2개로 갈라지고, 원자 3개가 가까이 있으면 전자의 에너지 준위가 3개로 갈라진다. 많은 원자들이 규칙적으로 모인 결정에서는 원자 1개에 있던 에너지 준위가 모여 에너지띠가 된다. 에너지띠 사이의 간격을 띠 간격이라고 하는데, 전자는 띠 간격에 해당되는 에너지를 가질 수 없다.



[주의] 아래 질문에 답할 때 물리 상수는 [표 1]의 값을 사용한다.

[표 1] 물리 상수와 단위 변환

기본 전하량 e	$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	전자의 질량 m_e	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
광속 c	$3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$	양성자의 질량 m_p	$1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$
쿨롱 상수 k	$9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$	중성자의 질량 m_n	$1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$
진공 유전율 ϵ_0	$8.9 \times 10^{-12} \text{ F/m}$	에너지 단위 변환	$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
플랑크 상수 h	$6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$		

[문제 1] [그림 1]의 실험에서 음극과 양극 사이의 전압(V_1)이 $1.0 \times 10^3 \text{ V}$ 이고 두 평행한 금속판 사이의 전압(V_2)이 $1.0 \times 10^2 \text{ V}$ 인 경우에, 두 평행한 금속판 사이를 지나기 전과 후의 전자의 운동 방향을 비교하여 논하고, 전자 1개가 형광판에 도달하여 흡수되는 경우에 형광판이 받는 충격량의 크기에 대해 논하시오. 단, 두 평행한 금속판 사이의 간격은 $1.0 \times 10^{-1} \text{ m}$ 이고 각각의 금속판은 한 변의 길이가 $1.0 \times 10^{-1} \text{ m}$ 인 정사각형이다. [10점]

[문제 2] [그림 2]의 실험에서 헬륨의 원자핵이 금의 원자핵과 충돌하여 헬륨 원자핵의 운동 방향이 처음 운동 방향과 반대가 되고 금 원자핵 중 하나만 운동하게 되었을 때, 충돌 전후 헬륨 원자핵의 속도와 금 원자핵의 속도를 비교하여 논하시오. 또한 만약 러더퍼드의 원자 모형처럼 금 원자핵을 중심으로 전자 1개가 반지름 $1.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ 인 원 궤도를 따라 운동하는 경우 이 전자의 속력에 대해 논하시오. 단, 헬륨의 원자핵은 양성자 2개와 중성자 2개로 구성되어 있고, 금 원자핵은 양성자 79개와 중성자 118개로 구성되어 있으며, 금 원자핵 주위에 전자가 1개만 있다고 가정한다. [10점]

[문제 3] 제시문 [다]를 바탕으로 수소 원자에서 방출되는 가시광선 영역의 빛 중에서 파장이 가장 큰 빛의 파장에 대해 논하고, 이 빛의 파장을 이중 슬릿의 간섭 실험을 이용하여 측정하려고 할 때 실험 기구 또는 실험 장치에서 알아야 하는 값들과 예상되는 실험 결과에 대해 논하시오. [10점]

[문제 4] 제시문 [라]를 바탕으로 도체, 반도체, 절연체, n형 반도체, p형 반도체를 비교하여 논하고, 규소(Si)를 이용하여 n형 반도체와 p형 반도체를 만들기 위해 필요한 원소에 대해 논하시오. [10점]

2021학년도 연세대학교 논술전형 모의논술

자연계열 (물리학) 출제의도 및 해설

• 출제의도 •

고등학교 물리 교과과정의 기본 개념과 원리 이해를 바탕으로, 구체적인 상황에서 과제를 수행하도록 하여, 문제 이해력, 논리적 분석력, 문제 통합 및 해결 능력을 골고루 평가하고자 하였다. 특히, 기본 개념으로부터 시작하여, 다양한 물리적 상황을 체계적으로 해결하는 능력을 집중적으로 평가하고자 노력하였다.

• 문제 해설 •

[문제 1] [그림 1]의 실험에서 음극과 양극 사이의 전압(V_1)이 1.0×10^3 V이고 두 평행한 금속판 사이의 전압(V_2)이 1.0×10^2 V인 경우에, 두 평행한 금속판 사이를 지나기 전과 후의 전자의 운동 방향을 비교하여 논하고, 전자 1개가 형광판에 도달하여 흡수되는 경우에 형광판이 받는 충격량의 크기에 대해 논하시오. 단, 두 평행한 금속판 사이의 간격은 1.0×10^{-1} m이고 각각의 금속판은 한 변의 길이가 1.0×10^{-1} m인 정사각형이다. [10점]

<문제 해설>

질량이 m_e 인 전자가 음극과 양극 사이의 전압 V_1 에 의해 가속된 후에 속력을 v_0 라고 하면 전자의 전하량이 $-e$ 이므로 에너지 보존 법칙에 의해 $\frac{1}{2}m_e v_0^2 = eV_1$ 이다.

두 평행한 금속판의 한 변의 길이를 L 이라고 하면 전자가 두 평행한 금속판 사이를 지나가는데 걸리는 시간 $\Delta t = \frac{L}{v_0}$ 이다. 전자가 두 평행한 금속판 사이를 지나는 동안에 두 평행한 금속판 사이의 전기장에 의해 전기장의 반대 방향으로 일정한 힘을 받아 일정한 가속도로 속도가 변한다.

전자가 두 평행한 금속판 사이를 완전히 통과한 후 금속판에 수직한 방향의 속도의 크기가 $v_1 = \frac{e(V_2/L)}{m_e} \Delta t = \frac{e(V_2/L)}{m_e} \frac{L}{v_0} = \frac{eV_2}{m_e v_0}$ 이다. 따라서 두 평행한 금속판 사이를 지나기 전의 운동 방향과 지나간 후의 운동 방향이 이루는 각도를 θ 라고 하면

$$\tan\theta = \frac{v_1}{v_0} = \frac{eV_2}{m_e v_0^2} = \frac{eV_2}{2eV_1} = \frac{V_2}{2V_1} = \frac{1.0 \times 10^2 \text{ V}}{2 \times 1.0 \times 10^3 \text{ V}} = \frac{1}{20} = 0.05 \text{ 이다.}$$

전자 1개가 형광판에 도달하여 흡수되는 경우에 형광판이 받는 충격량의 크기는 전자 1개의 질량과 충돌 직전의 속력 v 을 곱한 값과 같다.

$$\begin{aligned} \text{따라서 형광판이 받는 충격량의 크기는 } m_e v &= m_e \sqrt{v_0^2 + v_1^2} = m_e v_0 \sqrt{1 + \frac{v_1^2}{v_0^2}} = m_e \sqrt{\frac{2eV_1}{m_e}} \frac{\sqrt{401}}{20} \\ &= \sqrt{2m_e e V_1} \frac{\sqrt{401}}{20} = \sqrt{2 \times 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1.0 \times 10^3 \text{ V}} \frac{\sqrt{401}}{20} = 1.7 \times 10^{-23} \text{ N} \cdot \text{s} \text{ 이다.} \end{aligned}$$

<채점기준>

상: ① 힘과 에너지를 이용하여 두 평행한 금속판 사이를 지나지 전과 후의 전자의 운동 방향을 정확히 논하고 ② 전자의 질량과 속력을 이용하여 형광판이 받는 충격량의 크기를 정확히 논함

중: 위 ①과 ② 중에서 하나만 정확히 논함

하: 위 ①과 ② 중에서 정확히 논한 것이 없음

<검토교사 의견>

물리학 I 물질의 전기적 특성 단원에서 다루는 실험들이 그대로 제시문에 주어졌으므로 학생들에게 매우 친숙하게 느껴질 것으로 보인다. 제시된 상황은 물리학 I 과목에서 배우지만, [문제 1]을 정량적으로 답하기 위해서는 물리학 II 과목에서 전위와 전기장에서의 일 단원 내용을 이해해야 한다. 문제에서 주어진 전위차와 입자의 전하량을 통해 받은 일의 양을 통해 증가한 운동에너지를 바탕으로 입자의 속력 및 운동량을 구하는 부분, 운동량의 변화량을 통해 충격량을 구하는 부분은 중상위권 학생들도 충분히 풀 수 있는 수준이다. 운동량의 변화량과 충격량 사이의 관계는 물리학 I의 역학과 에너지 중 운동량과 충격량 단원에서 중요하게 다루고 있는 내용이다.

[문제 2] [그림 2]의 실험에서 헬륨의 원자핵이 금의 원자핵과 충돌하여 헬륨 원자핵의 운동 방향이 처음 운동 방향과 반대가 되고 금 원자핵 중 하나만 운동하게 되었을 때, 충돌 전후 헬륨 원자핵의 속도와 금 원자핵의 속도를 비교하여 논하시오. 또한 만약 러더퍼드의 원자 모형처럼 금 원자핵을 중심으로 전자 1개가 반지름 $1.5 \times 10^{-10} \text{ m}$ 인 원 궤도를 따라 운동하는 경우 이 전자의 속력에 대해 논하시오. 단, 헬륨의 원자핵은 양성자 2개와 중성자 2개로 구성되어 있고, 금 원자핵은 양성자 79개와 중성자 118개로 구성되어 있으며, 금 원자핵 주위에 전자가 1개만 있다고 가정한다. [10점]

<문제 해설>

헬륨의 원자핵 1개와 금 원자핵 1개의 질량비는 약 $(2+2):(79+118) = 4:197$ 이고, 충돌 전후에 헬륨 원자핵과 금 원자핵의 운동량의 합이 일정하다.

따라서 충돌 전 헬륨 원자핵의 속도의 크기를 v_0 라고 하고 충돌 후 헬륨 원자핵의 속도의 크기를 v_1 라고 하고 충돌 후 금 원자핵의 속도의 크기를 v_2 라고 하면 $4v_0 = -4v_1 + 197v_2$ 이다.

따라서 충돌 후에 헬륨 원자핵의 속도의 크기는 $v_1 = \frac{197}{4}v_2 - v_0$ 이고 금 원자핵의 속도의 크기는 $v_2 = \frac{4}{197}(v_0 + v_1)$ 이다.

전자 1개가 금 원자핵을 중심으로 반지름이 r 인 원 궤도를 따라 운동한다면 금 원자핵과 전자 사이의 전기력이 구심력으로 작용하므로 전자의 속력을 v 라고 하면 $\frac{m_e v^2}{r} = \frac{k(79)e^2}{r^2}$ 이다.

따라서 전자의 속력은 $v = \sqrt{\frac{k(79)e^2}{m_e r}} = \sqrt{\frac{(9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \times 79 \times (1.6 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{9.1 \times 10^{-31} \text{ kg} \times 1.5 \times 10^{-10} \text{ m}}}$
 $= 1.2 \times 10^7 \text{ m/s}$ 이다.

<채점기준>

상: ① 운동량을 이용하여 충돌 전후 헬륨 원자핵의 속도와 금 원자핵의 속도를 비교하여 정확히 논하고 ② 전기력과 구심력을 이용하여 원 궤도를 따라 운동하는 전자의 속력을 정확히 논함

중: 위 ①과 ② 중에서 하나만 정확히 논함

하: 위 ①과 ② 중에서 정확히 논한 것이 없음

<검토교사 의견>

[문제 2]는 물리학 I의 운동량 보존법칙을 활용해야 하고, 물리학 II의 역학적상호작용 중 물체의 운동 단원에서 구심력에 의한 원운동을 잘 이해하고 있어야 풀 수 있다. 이때 구심력으로 전기력이 작용하므로 물리학 I의 쿨롱법칙을 활용할 필요가 있다. 이 모든 개념들을 잘 이해한 학생들은 답안을 작성하는 데 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

[문제 3] 제시문 [다]를 바탕으로 수소 원자에서 방출되는 가시광선 영역의 빛 중에서 파장이 가장 큰 빛의 파장에 대해 논하고, 이 빛의 파장을 이중 슬릿의 간섭 실험을 이용하여 측정하려고 할 때 실험 기구 또는 실험 장치에서 알아야 하는 값들과 예상되는 실험 결과에 대해 논하시오. [10점]

<문제 해설>

가시광선 영역의 빛 중에서 파장이 가장 큰 빛의 에너지는 전자가 -1.51 eV 의 에너지를 가지는 상태에서 -3.40 eV 의 에너지를 가지는 상태로 전이하면서 방출하는 빛이다.

이 빛의 파장을 λ 라고 하면 $(3.40 - 1.51) \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J} = hc/\lambda$ 이다.

따라서 이 빛의 파장은 $\lambda = \frac{6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}}{(3.40 - 1.51) \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}} = 6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$ 이다.

이중 슬릿 실험으로 이 빛의 파장을 측정하기 위해서는 슬릿 사이의 간격 d 와 슬릿과 스크린 사이의 거리 L 을 알아야한다.

실험 결과, 스크린에 밝은 무늬와 어두운 무늬가 반복하여 나타나며, 스크린의 가운데에 생기는 밝은 무늬와 이로부터 첫번째 밝은 무늬 사이의 간격을 x 라고 하면 $\frac{dx}{L} = \lambda$ 이므로 $x = \frac{\lambda L}{d}$ 이다.

<채점기준>

상: ① 수소 원자에서 전자가 가질 수 있는 에너지를 이용하여 가시광선 영역의 빛 중에서 파장이 가장 큰 빛의 파장에 대해 정확히 논하고 ② 이중 슬릿 실험에서 실험 기구 또는 실험 장치에서 알아야 하는 값들과 예상되는 실험 결과에 대해 정확히 논함

중: 위 ①과 ② 중에서 하나만 정확히 논함

하: 위 ①과 ② 중에서 정확히 논한 것이 없음

<검토교사 의견>

[문제 3]은 물리학 I 물질과 전자기장 중 물질의 전기적 특성 단원에 나오는 원자와 스펙트럼 내용과 물리학 II 파동과 물질의 성질에서 전자기파의 간섭과 회절 단원에서 다루는 이중슬릿 실험 내용을 바탕으로 하고 있다. 해당 단원의 내용을 잘 이해한 학생의 경우 정량적으로 잘 설명하며 답안을 작성할 수 있을 것으로 판단된다.

[문제 4] 제시문 [라]를 바탕으로 도체, 반도체, 절연체, n형 반도체, p형 반도체를 비교하여 논하고, 규소(Si)를 이용하여 n형 반도체와 p형 반도체를 만들기 위해 필요한 원소에 대해 논하시오. [10점]

<문제 해설>

도체는 전자가 채워진 에너지띠 중에서 에너지가 가장 높은 띠의 일부가 전자로 채워진 경우이다.

반도체와 절연체는 전자가 채워진 에너지띠 중에서 에너지가 가장 높은 띠가 전자로 모두 채워지고, 이 띠와 그 바로 위의 에너지띠 사이에 띠 간격이 있는 경우이다. 반도체의 경우에는 이 띠 간격이 작아서 상온에서 전자가 열에너지를 얻어 띠 간격 위로 전이할 수 있는 경우이고, 절연체의 경우에는 띠 간격이 커서 상온에서 전자가 열에너지를 얻어도 띠 간격 위로 전이하지 못하는 경우이다.

n형 반도체는 순수한 반도체에 넣은 불순물에서 전자가 나와서 반도체의 띠 간격 위의 에너지띠에 전자가 있는 경우이고, p형 반도체는 순수한 반도체에 넣은 불순물이 전자를 받아서 반도체의 띠 간격 아래의 에너지띠에 양공이 있는 경우이다.

규소를 이용하여 n형 반도체를 만들기 위해서는 원자가 전자수가 규소보다 큰 원소를 넣어야 하고 p형 반도체를 만들기 위해서는 원자가 전자수가 규소보다 작은 원소를 넣어야 한다.

<채점기준>

상: ① 에너지띠와 띠 간격을 이용하여 도체, 반도체, 절연체, n형 반도체, p형 반도체에 대해 정확히 논하고 ② n형 반도체와 p형 반도체를 만들기 위해 필요한 원소에 대해 정확히 논함

중: 위 ①과 ② 중에서 하나만 정확히 논함

하: 위 ①과 ② 중에서 정확히 논한 것이 없음

<검토교사 의견>

에너지 띠 이론과 도체, 반도체, 절연체등은 모두 물리학 I의 물질의 전기적 특성 단원에서 다루는 내용이다. 이를 만드는 방법도 언급하고 있으므로 교육과정을 착실히 이수한 학생의 경우 답안을 쉽게 작성할 수 있다고 판단된다. 반도체 제조공정을 심화탐구한 학생의 경우 반도체를 만드는 방법에 대해 심도깊은 답변도 가능할 것으로 예상된다.