KAIST형 모의 면접·구술고사

물리학

PHYSICS

비행 시간 원소 분석 · 이온의 운동과 물질파

※ 면접위원(감독관)의 "시작" 신호가 있기 전에는 절대로 문제지를 펼치지 마십시오. ※

수험번호		성 명	
모집단위		고사실	
입실 시각	시 분	감독관 확인	(서명)

■ 시험 구성

문항	주제	준비·답변	배점
문제 1	나선 운동과 정면 탄성 충돌 — 비행 시간으로 원소 알아내기	10분 · 8분	5점
문제 2	격자 에너지, 종단 속력, 물질파, 자기장에 의한 이온 분리	10분 · 8분	5점
계	출제 범위: 물리학 Ⅰ · 물리학 Ⅱ	준비 20분 · 답변 문항당 8분 내외	**10점**

■ 수험생 유의사항

1. 휴대전화·스마트워치 등 모든 전자기기는 전원을 끈 뒤 감독관에게 제출하십시오. 소지 사실이 확인되면 **부정행위**로 간주되어 해당 전형 지원이 무효 처리됩니다.
2. 문제지는 표지 포함 총 **3쪽**입니다. "시작" 신호 후 쪽수와 인쇄 상태를 먼저 확인하고, 이상이 있으면 즉시 손을 들어 알리십시오.
3. 준비 시간(20분) 동안 문제지 여백과 배부된 메모지에 풀이를 정리할 수 있습니다. 계산기·참고 서적·본인 필기구 이외의 물품은 사용할 수 없습니다.
4. 면접실에서는 문제지와 메모지를 지참하고, 면접위원의 질문 순서에 따라 **근거를 들어 구술**로 답하십시오. 최종 결과만 말하는 답변은 배점의 일부만 인정됩니다.
5. 면접위원은 답변 도중 추가 질문을 할 수 있으며, 이는 감점 요소가 아니라 평가 절차의 일부입니다.
6. 문제지·메모지는 면접 종료 후 **전량 회수**됩니다. 문항 내용을 기록·촬영·유출하는 행위는 부정행위로 처리됩니다.
7. 문항에 이상이 있다고 판단되더라도 임의로 조건을 바꾸지 말고, 본인이 세운 가정을 명확히 밝힌 뒤 답하십시오.
8. 면접 종료 신호 후에는 답변을 계속할 수 없습니다. 시간 배분에 유의하십시오.

문항 코드 KAIST형 · PHYSICS-27 **제작** 2026. 9. **봉인 상태 확인** 개봉 흔적이 있으면 배부 전 감독관에게 알리십시오.

본 문항은 KAIST 면접 및 구술고사 공개 문항 형식에 맞추어 자체 제작한 **비공식 창작 모의문항**입니다. KAIST의 공식 또는 예상 문항이 아니며, 특정 대학의 실제 시험 문항을 옮긴 것이 아닙니다.

문제 1 비행 시간으로 알아내는 미지 시료

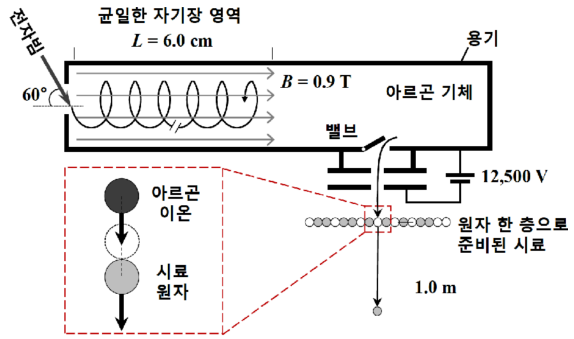
물리학 Ⅰ·Ⅱ | 자기장 속 전하의 나선 운동, 전기장에 의한 가속, 정면 탄성 충돌, 자료 해석 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

문항 및 제시문

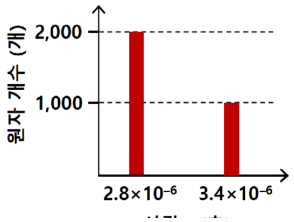
[그림 1]과 같이 아르곤 기체가 든 용기의 위쪽에 길이 $L = 6.0$ cm인 균일한 자기장 영역이 있다. 자기장의 세기는 $B = 0.9$ T이고 방향은 용기의 긴 방향과 나란하다. 왼쪽에서 자기장 방향과 60°를 이루며 들어온 전자는 자기력을 받아 나선을 그리며 이 영역을 지나간다. 전자는 지나는 동안 아르곤 원자와 부딪혀 이를 Ar^+ 이온으로 만든다. 이온화로 아르곤의 질량은 달라지지 않는다.

용기 아래쪽의 밸브는 아주 짧은 시간 동안만 열려 아르곤 이온을 하나씩 내보낸다. 이 이온은 전위차 $V = 12,500$ V로 가속된 뒤, 원자 한 층으로 준비된 시료의 원자 하나와 일직선상에서 정면 탄성 충돌을 한다. 충돌한 시료 원자는 연직 아래로 출발하여 1.0 m 떨어진 검출점까지 등속 직선 운동을 하며, 그 비행 시간을 t라 한다. 시료 원자의 질량은 xm_u로 쓴다.

미지의 시료에 대해 이 측정을 3000번 반복한 결과가 [그림 2]이며, 표시된 두 시각 이외에 도달한 시료 원자는 없었다.



[그림 1] 전자빔의 나선 운동, 아르곤 이온의 가속, 시료와의 정면 탄성 충돌과 1.0 m 비행.



[그림 2] 비행 시간 t에 따른 검출 원자 수 (총 3000회 측정).

<표 1> 원소의 질량수 (질량은 질량수 $\times\, m_u$)

원소	C	N	O	F	Ne	Na	Mg
질량수	12	14	16	19	20	23	24
원소	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
질량수	27	28	31	32	35	40	

상수는 $\pi = 3.0$, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m_e = 9.0 \times 10^{-31}$ kg, $m_u = 1.6 \times 10^{-27}$ kg, 1 eV $= 1.6 \times 10^{-19}$ J을 쓰고, 중력·공기 저항·지구 자기장은 무시한다. 아르곤 이온의 질량은 $40m_u$로 본다.

(1) 운동 에너지가 180 eV인 전자가 아르곤 원자와 부딪히지 않고 자기장 영역을 통과하였다. 이 전자가 나선 운동을 하며 회전한 총 횟수를 구하시오. **[1점]**

(2) 크기가 같고 질량이 다른 두 쇠공의 충돌처럼, 아르곤 이온이 정지한 질량 xm_u인 시료 원자와 일직선상에서 정면 탄성 충돌을 한다. 충돌 전 아르곤 이온의 속력 v_0에 대한 충돌 후 시료 원자의 속력 v_x의 비 v_x/v_0를 x로 나타내고, 시료가 Mg일 때의 값을 구하시오. **[1점]**

(3) 가속된 아르곤 이온의 속력을 구하고, 비행 시간 t를 x의 식으로 나타내시오. 질량수가 1만큼 차이 나는 두 원소의 비행 시간 차 Δt를 구하고, [그림 2]와 <표 1>로부터 미지 시료의 구성 원소와 그 개수비를 추론하시오. **[2점]**

(4) 검출기가 구별할 수 있는 최소 시간 간격이 2.0×10^{-8} s라 하자. 가속 전압을 V로 바꾸었을 때 Δt가 V에 어떻게 의존하는지 밝히고, 질량수가 1만큼 차이 나는 두 원소를 여전히 구별할 수 있는 V의 최댓값을 구하시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

문제 2 이온의 운동과 물질파

물리학 I · II | 전기적 위치 에너지, 저항력과 종단 속력, 드브로이 물질파, 자기장 속 전하의 원운동 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

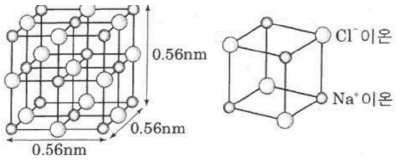
문항 및 제시문

(가) 무한히 멀리 떨어져 정지해 있던 두 점전하 q_1, q_2를 거리 r만큼 가까이 모으면 계의 전기적 위치 에너지가 kq_1q_2/r만큼 변한다. $k = 9.0 \times 10^9$ N·m²/C²이다.

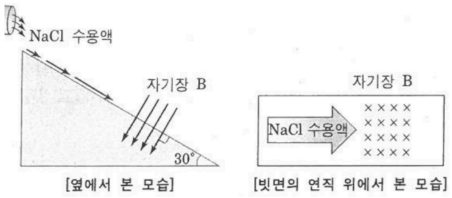
(나) [그림 3]과 같이 NaCl 고체에서는 Na^+와 Cl^-가 번갈아 놓이며, 가장 가까운 두 이온의 중심 간 거리는 0.28 nm이다. 각 이온은 원자가 전자 1개를 완전히 잃거나 얻은 것으로 보고, 전하는 각각 $+e$, $-e$이다.

(다) NaCl을 물에 녹이면 Na^+와 Cl^-로 나뉜다. 이 수용액을 [그림 4]와 같이 경사각 30°인 빗면을 따라 흘려보내면, 각 이온은 자신의 운동량 p에 비례하는 저항력 $f = -bp$ ($b = 100$ Hz)를 계속 받는다. 빗면의 아래쪽 영역에는 빗면에 수직으로 들어가는 균일한 자기장 $B = 1.0$ T가 있다. 이온은 자기장 영역에 들어가기 전에 이미 일정한 속력에 도달하며, 빗면에 나란한 평면 안에서만 움직인다.

(라) 운동량의 크기가 p인 입자의 물질파 파장은 $\lambda = h/p$이다.



[그림 3] NaCl 고체의 격자 구조와 이온 8개로 이루어진 정육면체.



[그림 4] 빗면을 따라 흐르는 NaCl 수용액과 빗면에 수직인 자기장 영역.

상수는 $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m_u = 1.7 \times 10^{-27}$ kg, $m_{\mathrm{Na}} = 23m_u$, $m_{\mathrm{Cl}} = 35m_u$, $g = 10$ m/s², $h = 6.6 \times 10^{-34}$ J·s, $N_A = 6.0 \times 10^{23}$ /mol을 쓴다. 이온의 크기와 전자 질량, 이온끼리의 상호 작용은 무시한다.

(1) 무한히 멀리 떨어져 정지해 있던 Na^+ 4개와 Cl^- 4개를 [그림 3]의 오른쪽과 같이 한 변이 0.28 nm인 정육면체의 여덟 꼭짓점으로 모으는 데 필요한 일을 구하시오. **[1점]**

(2) 빗면을 내려오는 이온이 도달하는 일정한 속력을 구하고, Na^+와 Cl^-의 물질파 파장을 각각 구하시오. **[1점]**

(3) 자기장 영역에 들어간 두 이온의 운동을 설명하시오. 자기력과 빗면 방향 중력 성분의 크기를 비교하고, 회전 반지름과 주기를 각각 구하여 두 이온이 어떻게 갈라지는지 밝히시오. **[2점]**

(4) 자기장 영역에서도 중력과 저항력은 계속 작용한다. 이 때문에 이온의 회전 중심이 일정한 속력으로 떠내려간다고 할 때 그 표류 속력을 각 이온에 대해 구하고, 두 이온이 반 바퀴를 돈 뒤 벌어진 거리를 구하시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

면접위원용 자료

물리학 제 27 회 — 출제 의도 · 채점 기준 · 예시 답안

수험생에게 배부하지 마십시오. 이 부분은 문항정보(일반정보·출제 근거·문항 해설·채점 기준·예시 답안·추가 질문)를 담고 있으며, 면접 후 문항 검토와 피드백에 사용합니다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 27 회 · 문제 1]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사
전형명	KAIST형 자체 제작 모의 면접
계열(과목) / 문항번호	물리학 / 문제 1
출제 범위 (과목명)	물리학 I , 물리학 II
핵심 개념 및 용어	자기장 속 전하의 나선 운동, 회전 주기 $T = 2\pi m/(eB)$, 전기장에 의한 가속 $eV = (1/2)mv^2$, 일차원 정면 탄성 충돌, 비행 시간 질량 분석, 자료 해석
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 1-(1) 속도를 자기장에 나란한 성분과 수직인 성분으로 분해하고, 회전 주기가 속력·반지름과 무관하다는 사실을 이용해 통과 시간을 주기로 나눌 수 있는지 평가한다.
· 1-(2) 운동량 보존과 운동 에너지 보존을 연립하여 정면 탄성 충돌의 표준 결과를 스스로 유도할 수 있는지 평가한다.
· 1-(3) 가속·충돌·비행의 세 단계를 하나의 식으로 이어 붙여 t를 질량수의 일차식으로 만들고, 그 역함수로 측정값을 원소로 되돌릴 수 있는지 평가한다.
· 1-(4) 측정 장치의 분해능이라는 실험적 제약을 식의 비례 관계로 옮겨 설계 조건을 끌어낼 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)	물리학 II — 전자기장	자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 힘을 이해하고 그 궤도를 설명할 수 있다.
(2)	물리학 I — 역학과 에너지	충돌에서 운동량 보존을 적용하고 탄성 충돌과 비탄성 충돌을 구분할 수 있다.
(3)(4)	물리학 II — 전자기장	전위차로 가속된 전하의 운동 에너지를 구하고 질량 분석에 적용할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 II	전자기장 — 자기장 속 전하의 운동, 전위차와 가속
고등학교 물리학 I	역학과 에너지 — 운동량 보존과 충돌

4. 문항 해설

(1) $E_K = (1/2)m_e v^2$에서 $v = 8.0 \times 10^6$ m/s이고, 자기장에 나란한 성분은 $v\cos 60° = 4.0 \times 10^6$ m/s이다. 통과 시간은 $t_L = L/(v\cos 60°) = 1.5 \times 10^{-8}$ s, 회전 주기는 $T = 2\pi m_e/(eB) = 3.75 \times 10^{-11}$ s이므로 회전 수는 $t_L/T = 400$회이다. (2) 운동량·에너지 보존을 연립하면 상대 속도 관계 $v_0 = v_x - v'$이 나오고 $v_x/v_0 = 2 \cdot 40/(40 + x)$이다. $x = 24$이면 $5/4$이다. (3) $eV = (1/2)(40m_u)v_0^2$에서 $v_0 = 2.5 \times 10^5$ m/s이고, $t = 1.0/v_x = (x + 40)/(80v_0)$이므로 $t = (5.0 \times 10^{-8})x + 2.0 \times 10^{-6}$ (초)이다. $\Delta t = 1/(80v_0) = 5.0 \times 10^{-8}$ s로 질량수 자체와 무관하다. 측정값을 되돌리면 $x = 80v_0 t - 40$에서 $2.8\ \mu\text{s} \to x = 16$(O), $3.4\ \mu\text{s} \to x = 28$(Si)이고 개수비가 $2000 : 1000 = 2 : 1$이므로 시료는 SiO_2 조성이다. (4) $v_0 \propto \sqrt{V}$이므로 $\Delta t \propto V^{-1/2}$이고, $\Delta t \geq 2.0 \times 10^{-8}$ s이려면 $V \leq 12500 \times (5.0/2.0)^2 = 7.8 \times 10^4$ V이다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	속도를 두 성분으로 분해하여 $t_L = 1.5\times10^{-8}$ s, $T = 2\pi m_e/(eB) = 3.75\times10^{-11}$ s를 구하고 400회를 얻은 경우	1
(2)	두 보존 법칙을 연립하여 $v_x/v_0 = 80/(40+x)$를 유도하고 Mg에서 $5/4$를 얻은 경우	1
(3)	$v_0 = 2.5\times10^5$ m/s와 $t = (x+40)/(80v_0)$, $\Delta t = 5.0\times10^{-8}$ s를 구한 경우 (1점) / 두 측정값에서 O와 Si를 읽어 내고 개수비 $2:1$로 조성을 밝힌 경우 (1점)	2
(4)	$\Delta t \propto V^{-1/2}$를 보이고 $V_{\max} = 7.8\times10^4$ V를 구한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 나선 운동의 회전 수

전자의 속력은 $E_K = (1/2)m_e v^2$에서

$$v = \sqrt{\frac{2E_K}{m_e}} = \sqrt{\frac{2\times180\times1.6\times10^{-19}}{9.0\times10^{-31}}} = 8.0\times10^6 \ \text{m/s}\,.$$

자기장에 나란한 성분 $v_\parallel = v\cos60^\circ = 4.0\times10^6$ m/s는 자기력을 받지 않으므로 등속이다. 따라서 영역을 지나는 시간은

$$t_L = \frac{L}{v_\parallel} = \frac{6.0\times10^{-2}}{4.0\times10^6} = 1.5\times10^{-8}\ \text{s}\,.$$

수직 성분 $v_\perp$는 등속 원운동을 하며 $m_e v_\perp^2/r = e v_\perp B$에서 $r = m_e v_\perp/(eB)$이므로

$$T = \frac{2\pi r}{v_\perp} = \frac{2\pi m_e}{eB} = \frac{2\times3.0\times9.0\times10^{-31}}{1.6\times10^{-19}\times0.9} = 3.75\times10^{-11}\ \text{s}$$

로 속력과 반지름에 무관하다. 그러므로

$$N = \frac{t_L}{T} = \frac{1.5\times10^{-8}}{3.75\times10^{-11}} = 400 \ \text{회}\,.$$

> 나선의 반지름은 $r = m_e v_\perp/(eB) \approx 4.3\times10^{-5}$ m, 한 바퀴당 전진 거리(피치)는 $v_\parallel T = 1.5\times10^{-4}$ m로 영역 길이의 $1/400$이다. 실제 경로 길이는 $vt_L = 0.12$ m로 직선 거리 0.06 m의 두 배여서, 자기장이 이온화 확률을 높인다는 제시문의 설명과 맞는다.

(2) 정면 탄성 충돌에서의 속력비

충돌 후 아르곤 이온의 속도를 v', 시료 원자의 속도를 v_x라 하면 ($m_1 = 40m_u$, $m_2 = xm_u$)

$$m_1 v_0 = m_1 v' + m_2 v_x, \quad \frac{1}{2}m_1 v_0^2 = \frac{1}{2}m_1 v'^2 + \frac{1}{2}m_2 v_x^2.$$

첫 식에서 $m_1(v_0 - v') = m_2 v_x$, 둘째 식에서 $m_1(v_0 - v')(v_0 + v') = m_2 v_x^2$이므로 두 식을 나누면 $v_0 + v' = v_x$, 즉 $v' = v_x - v_0$이다. 이를 첫 식에 넣으면 $2m_1 v_0 = (m_1 + m_2)v_x$이므로

$$\frac{v_x}{v_0} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} = \frac{80}{40 + x}.$$

답 $x = 24$(Mg)이면 $v_x/v_0 = 80/64 = 5/4$이다. 가벼운 원자일수록 더 빨리 튀어 나가며, $x < 40$이면 $v_x > v_0$이다.

(3) 비행 시간과 미지 시료의 조성

가속된 아르곤 이온은 $eV = (1/2)(40m_u)v_0^2$에서

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eV}{40m_u}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.6 \times 10^{-19} \times 12500}{40 \times 1.6 \times 10^{-27}}} = 2.5 \times 10^5 \ \ \mathrm{m/s}\ .$$

시료 원자는 $v_x = 80v_0/(40+x)$로 출발하여 1.0 m를 등속으로 가므로

$$t = \frac{1.0}{v_x} = \frac{x+40}{80v_0} = (5.0 \times 10^{-8})x + 2.0 \times 10^{-6} \quad (\text{단위: s}).$$

t가 x의 일차식이므로 질량수가 1 차이 나면

답

$$\Delta t = \frac{1}{80v_0} = \frac{1}{80 \times 2.5 \times 10^5} = 5.0 \times 10^{-8} \ \ \mathrm{s}$$

로, 질량 자체가 아니라 **질량 차에만** 의존한다.

거꾸로 $x = 80v_0 t - 40$이므로 측정된 두 시각은

$$t = 2.8 \times 10^{-6} \ \ \mathrm{s} \to x = 16, \quad t = 3.4 \times 10^{-6} \ \ \mathrm{s} \to x = 28.$$

<표 1>에서 $x = 16$은 O, $x = 28$은 Si이고 검출 개수비가 $2000 : 1000 = 2 : 1$이므로

답 미지 시료는 O와 Si가 $2:1$로 들어 있는 **SiO_2** 조성이다.

(4) 가속 전압과 질량 분해능

$v_0 = \sqrt{2eV/(40m_u)} \propto \sqrt{V}$이고 $\Delta t = 1/(80v_0)$이므로

$$\Delta t \propto V^{-1/2}.$$

전압을 올리면 이온이 빨라져 비행 시간이 짧아지고 두 원소의 시간 차도 함께 줄어 구별이 어려워진다. $\Delta t \geq 2.0 \times 10^{-8}$ s이려면 $\sqrt{V}$가 지금의 $5.0/2.0 = 2.5$배를 넘지 않아야 하므로

답

$$V \leq 12500 \times 2.5^2 = 7.8 \times 10^4 \ \ \mathrm{V}\ .$$

> 같은 관계에서 장치를 개선하는 방향도 읽을 수 있다. 전압을 낮추면 분해능은 좋아지지만 비행 시간이 길어져 측정 시간이 늘고, 가로축 눈금이 성겨지는 대신 신호 세기가 약해진다. 분해능 $\Delta t/t = \Delta m/(m + 40m_u)$는 전압과 무관하므로, 실제로는 비행 거리를 늘리는 쪽이 더 효과적이다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: “시료 원자의 질량수가 40보다 크면 충돌 후 아르곤 이온은 어느 쪽으로 움직이는가?” ($v' = (40-x)/(40+x)\cdot v_0$이므로 $x > 40$이면 되튀어 나간다)
· 추가 질문: “에너지 전달률 $4m_1m_2/(m_1+m_2)^2$이 최대가 되는 시료 질량은 얼마인가?” ($x = 40$에서 1)
· 검토 의견: (1)에서 속도를 분해하지 않고 전체 속력으로 통과 시간을 구하는 실수가 가장 흔하다. “자기장과 나란한 방향으로는 어떤 힘을 받는가”를 먼저 묻는다. (3)에서 t를 x의 일차식으로 정리하지 못하면 $x = 16$과 $x = 28$을 직접 대입해 보게 하여 관계를 찾게 한다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 27 회 · 문제 2]

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사 □ 선다형고사
전형명	KAIST형 자체 제작 모의 면접
계열(과목) / 문항번호	물리학 / 문제 2
출제 범위 (과목명)	물리학 I , 물리학 II
핵심 개념 및 용어	전기적 위치 에너지 kq_1q_2/r, 격자 에너지, 운동량에 비례하는 저항력과 종단 속력, 드브로이 파장 $\lambda = h/p$, 자기장 속 전하의 원운동, 표류 운동
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 2-(1) 여덟 점전하가 만드는 모든 쌍의 상호 작용을 거리별로 분류하여 빠짐없이 더할 수 있는지 평가한다.
· 2-(2) 저항력이 운동량에 비례할 때 질량이 소거되어 종단 속력이 모든 이온에서 같아진다는 점을 알아채고, 그 결과를 물질파 파장으로 이어 갈 수 있는지 평가한다.
· 2-(3) 자기력과 다른 힘의 크기를 수로 비교하여 근사가 정당함을 스스로 보이고, 전하 부호에 따라 회전 방향이 갈라짐을 설명할 수 있는지 평가한다.
· 2-(4) 원운동에 작은 힘이 덧붙었을 때 나타나는 표류를 힘의 평형으로 구하고, 분리 장치의 성능으로 해석할 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)	물리학 II — 전자기장	점전하 사이의 전기적 위치 에너지를 구하고 여러 전하 계에 적용할 수 있다.
(2)	물리학 I · II — 역학과 에너지	저항력이 있는 운동에서 종단 속력의 조건을 설명할 수 있다.
(2)(3)(4)	물리학 II — 전자기장, 양자	물질파 파장을 구하고, 자기장 속 전하의 원운동을 분석할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 II	전자기장 — 전기 퍼텐셜 에너지, 자기장 속 전하의 운동
고등학교 물리학 I · II	역학과 에너지 — 저항력과 종단 속력 / 양자 — 물질파

4. 문항 해설

(1) 여덟 꼭짓점의 쌍은 $C(8,2) = 28$개이고 거리에 따라 모서리 12쌍(r, 이종, 인력), 면대각선 12쌍($\sqrt{2}r$, 동종, 척력), 공간대각선 4쌍($\sqrt{3}r$, 이종, 인력)으로 나뉜다. 따라서 $W = (ke^2/r)\left(-12 + 12/\sqrt{2} - 4/\sqrt{3}\right) = -5.82 \times (8.23 \times 10^{-19})$ J $\approx -4.8 \times 10^{-18}$ J이다. (2) 빗면 방향 운동 방정식 $m(dv/dt) = mg\sin 30° - bmv$에서 질량이 소거되어 $v_t = g/(2b) = 0.05$ m/s로 두 이온이 같다. 파장은 $\lambda = h/(mv_t)$이므로 Na^+는 3.4×10^{-7} m, Cl^-는 2.2×10^{-7} m이고 비는 $35 : 23$이다. (3) 자기력 $ev_tB = 8.0 \times 10^{-21}$ N은 빗면 방향 중력 성분 $(1/2)mg$($\approx 2 \times 10^{-25}$ N)의 약 10^4배이므로 거의 등속 원운동이다. $R = mv_t/(eB)$에서 $R_{Na} = 1.2 \times 10^{-8}$ m, $R_{Cl} = 1.9 \times 10^{-8}$ m, $T = 2\pi m/(eB)$에서 1.5×10^{-6} s, 2.3×10^{-6} s이며 전하 부호가 반대이므로 두 이온은 서로 반대쪽으로 휘어 갈라진다. (4) 중력 성분과 자기력이 균형을 이루는 표류 속력은 $v_d = (1/2)mg/(eB) = bR$로, Na^+가 1.2×10^{-6} m/s, Cl^-가 1.9×10^{-6} m/s이다. 반 바퀴 뒤 두 이온은 $2(R_{Na} + R_{Cl}) \approx 6.2 \times 10^{-8}$ m 떨어진다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	세 가지 거리로 쌍을 분류하여 $W = (ke^2/r)\left(-12 + 6\sqrt{2} - 4/\sqrt{3}\right) \approx -4.8 \times 10^{-18}$ J를 구한 경우	1
(2)	$v_t = g/(2b) = 0.05$ m/s가 질량과 무관함을 보이고 두 파장 3.4×10^{-7} m, 2.2×10^{-7} m를 구한 경우	1
(3)	자기력이 중력 성분보다 약 10^4배 큼을 보여 등속 원운동으로 볼 수 있음을 밝힌 경우 (1점) / R과 T를 구하고 두 이온이 반대쪽으로 갈라짐을 설명한 경우 (1점)	2
(4)	$v_d = (1/2)mg/(eB)$를 유도하여 두 값을 구하고 분리 거리 $2(R_{\mathrm{Na}} + R_{\mathrm{Cl}})$를 제시한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 이온 8개를 모으는 데 필요한 일

외부가 한 일은 완성된 배열의 전기적 위치 에너지와 같다. 꼭짓점을 좌표 $(0$ 또는 $1)^3$으로 두면 좌표 합이 짝수인 곳은 Na^+, 홀수인 곳은 Cl^-이다. 두 꼭짓점의 좌표가

- 한 자리 다르면 모서리로 거리 r, 부호가 반대(인력) — 12쌍
- 두 자리 다르면 면대각선으로 거리 $\sqrt{2}r$, 부호가 같음(척력) — 12쌍
- 세 자리 다르면 공간대각선으로 거리 $\sqrt{3}r$, 부호가 반대(인력) — 4쌍

이고 $12 + 12 + 4 = 28 = C(8, 2)$로 빠짐이 없다. 따라서

$$W = \frac{ke^2}{r}\left(-12 + \frac{12}{\sqrt{2}} - \frac{4}{\sqrt{3}}\right) = \frac{ke^2}{r}\left(6\sqrt{2} - 12 - \frac{4}{\sqrt{3}}\right).$$

$ke^2/r = (9.0 \times 10^9)(1.6 \times 10^{-19})^2/(2.8 \times 10^{-10}) = 8.23 \times 10^{-19}$ J이고 괄호 안은 -5.82이므로

$$W \approx -4.8 \times 10^{-18} \ \text{J}.$$

답 $W < 0$은 모으는 동안 계가 오히려 4.8×10^{-18} J을 내놓는다는 뜻으로, 이온 결합이 안정하게 만들어지는 까닭이다. 이 덩어리는 NaCl 네 쌍에 해당하므로 1몰로 환산하면 $(4.8 \times 10^{-18}/4) \times 6.0 \times 10^{23} \approx 7.2 \times 10^5$ J/mol, 곧 약 720 kJ/mol이다.

(2) 종단 속력과 물질파 파장

빗면 아래 방향을 양으로 두면 저항력이 $f = -bp = -bmv$이므로

$$m\frac{dv}{dt} = mg\sin 30^\circ - bmv \quad \Longrightarrow \quad \frac{dv}{dt} = \frac{g}{2} - bv.$$

양변에서 질량이 소거되므로 두 이온의 운동 방정식이 같다. 속력이 일정해지면 $dv/dt = 0$이므로

$$v_t = \frac{g}{2b} = \frac{10}{2 \times 100} = 0.05 \ \text{m/s} \quad (\ \mathrm{Na}^+,\ \mathrm{Cl}^- \ \textbf{공통}).$$

질량은 $m_{\mathrm{Na}} = 23 \times 1.7 \times 10^{-27} = 3.91 \times 10^{-26}$ kg, $m_{\mathrm{Cl}} = 35 \times 1.7 \times 10^{-27} = 5.95 \times 10^{-26}$ kg이므로 $\lambda = h/(mv_t)$에서

답

$$\lambda_{\mathrm{Na}} = \frac{6.6 \times 10^{-34}}{(3.91 \times 10^{-26})(0.05)} \approx 3.4 \times 10^{-7} \ \text{m}, \quad \lambda_{\mathrm{Cl}} \approx 2.2 \times 10^{-7} \ \text{m}.$$

속력이 같으므로 $\lambda_{\mathrm{Na}} : \lambda_{\mathrm{Cl}} = m_{\mathrm{Cl}} : m_{\mathrm{Na}} = 35 : 23$이다.

두 파장 모두 이온 사이 거리 0.28 nm의 약 1000배여서, 이 상황에서 이온은 파동성이 드러나지 않는 보통의 입자처럼 행동한다.

(3) 자기장 영역 안에서의 운동

(i) 힘의 크기 비교. 종단 속력 상태이므로 저항력의 크기는 빗면 방향 중력 성분과 같고 그 값은 Na^+에서 $(1/2)m_{\mathrm{Na}}g = 2.0\times10^{-25}$ N, Cl^-에서 3.0×10^{-25} N이다. 반면 자기력은

$$F_B = ev_tB = (1.6\times10^{-19})(0.05)(1.0) = 8.0\times10^{-21}\ \ \mathrm{N}$$

으로 약 10^4배 크다. 따라서 짧은 시간 동안은 자기력만 있는 것으로 보아도 좋다.

(ii) 원운동. 속도가 자기장에 수직이고 자기력은 일을 하지 않으므로 속력이 변하지 않는 등속 원운동이다. $ev_tB = mv_t^2/R$에서

$$R = \frac{mv_t}{eB},\quad T = \frac{2\pi R}{v_t} = \frac{2\pi m}{eB}.$$

$$R_{\mathrm{Na}} = \frac{(3.91\times10^{-26})(0.05)}{(1.6\times10^{-19})(1.0)} \approx 1.2\times10^{-8}\ \ \mathrm{m},\quad R_{\mathrm{Cl}} \approx 1.9\times10^{-8}\ \ \mathrm{m},$$

$$T_{\mathrm{Na}} \approx 1.5\times10^{-6}\ \ \mathrm{s},\quad T_{\mathrm{Cl}} \approx 2.3\times10^{-6}\ \ \mathrm{s}\ .$$

답 전하의 부호가 반대이므로 $F = qv\times B$에 따라 Na^+와 Cl^-는 진행 방향을 기준으로 **서로 반대쪽**으로 휜다. 반지름과 주기가 모두 질량에 비례하여 $R_{\mathrm{Na}}:R_{\mathrm{Cl}} = T_{\mathrm{Na}}:T_{\mathrm{Cl}} = 23:35$이므로, 수용액이 자기장 영역에 들어가는 순간 양이온과 음이온은 양쪽으로 갈라진다.

(4) 표류 속력과 분리 거리

자기장 영역에서도 빗면 방향 중력 성분 $(1/2)mg$는 계속 작용한다. 회전 중심이 일정한 속력 v_d로 떠내려가면서 이 힘을 자기력이 상쇄한다고 보면 $ev_dB = (1/2)mg$에서

$$v_d = \frac{mg}{2eB} = bR.$$

$$v_{d,\mathrm{Na}} = \frac{(3.91\times10^{-26})(10)}{2(1.6\times10^{-19})(1.0)} \approx 1.2\times10^{-6}\ \ \mathrm{m/s},\quad v_{d,\mathrm{Cl}} \approx 1.9\times10^{-6}\ \ \mathrm{m/s}\ .$$

회전 속력 0.05 m/s의 약 4만분의 1이므로, 궤도는 거의 원이고 중심만 아주 천천히 밀려간다. 한편 두 이온은 들어온 지점에서 반대 방향으로 휘므로 반 바퀴를 돈 뒤의 거리는

답

$$d = 2R_{\mathrm{Na}} + 2R_{\mathrm{Cl}} \approx 2(1.2+1.9)\times10^{-8} \approx 6.2\times10^{-8}\ \ \mathrm{m}\ .$$

표류가 그 사이에 움직이는 거리는 $v_d\times(T/2) \approx 10^{-12}$ m 수준이어서 분리 거리에 거의 영향을 주지 않는다.

양이온과 음이온이 반대쪽 가장자리에 쌓이면 그 사이에 전위차가 생기고, 그 전기력이 자기력과 균형을 이루면 분리가 멈춘다. 홀 효과와 같은 원리이다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: "저항력이 운동량이 아니라 속도에 비례한다면 $(f=-b'v)$ 종단 속력은 어떻게 달라지는가?" ($v_t = mg/(2b')$로 질량에 비례하여 두 이온의 속력이 달라지고, $R\propto m^2$가 된다)
· 추가 질문: "정육면체의 Na^+ 하나만 무한히 떼어 내는 데 필요한 일은 얼마인가?" ($(ke^2/r)\left(3-3/\sqrt{2}+1/\sqrt{3}\right) \approx 1.2\times10^{-18}$ J)
· 검토 의견: (1)에서 면대각선 쌍이 같은 부호임을 놓쳐 모두 인력으로 더하는 실수가 가장 잦으므로, 좌표의 짝·홀로 이온 종류를 정하는 방법을 먼저 확인시킨다.

PARTNER SERVICE

써봄 AI 논술 첨삭 서비스

말로 준비한 답, 글로 써 보면 빈틈이 보인다.

구술 답안을 글로 정리해 올리면, AI가 평가 기준에 따라 채점하고 상세한 피드백을 준다.

4개 영역 점수

논리구조 · 근거타당성 · 주장명확성 · 언어표현을 영역별 점수로 제공한다.

상세 피드백

강점, 개선점, 구체적 제안사항을 함께 짚어 준다.

간편한 업로드

PDF · DOCX · TXT 파일을 지원하고, 최대 10편까지 일괄 처리한다.

리포트 저장

첨삭 결과 리포트를 PDF로 내려받아 다시 볼 수 있다.

이 모의고사와 함께 쓰는 법

① 문항마다 내 답변을 한 편의 글로 정리한다. 결론 → 근거 → 검증 순서로 쓴다.

② writegrow.net 에 답안을 올려 영역별 점수와 피드백을 받는다.

③ 예시답안과 비교해 빠진 논리 단계를 채우고, 다시 써서 점수 변화를 확인한다.

회원가입 시 3회 무료 분석

Google Gemini 기반 AI가 논술문을 자동 분석한다.

writegrow.net