KAIST형 모의 면접·구술고사

물리학

PHYSICS

자유낙하 과녁과 포물선 운동 · 이온 산란과 속도 선택

※ 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	자유낙하하는 과녁에 연속 발사한 총알의 점수	10분 · 8분	5점
문제 2	산란된 이온을 거르는 속도 선택기와 질량 분해능	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-22 **제작** 2026. 9. **봉인 상태 확인** 개봉 흔적이 있으면 배부 전 감독관에게 알리십시오.

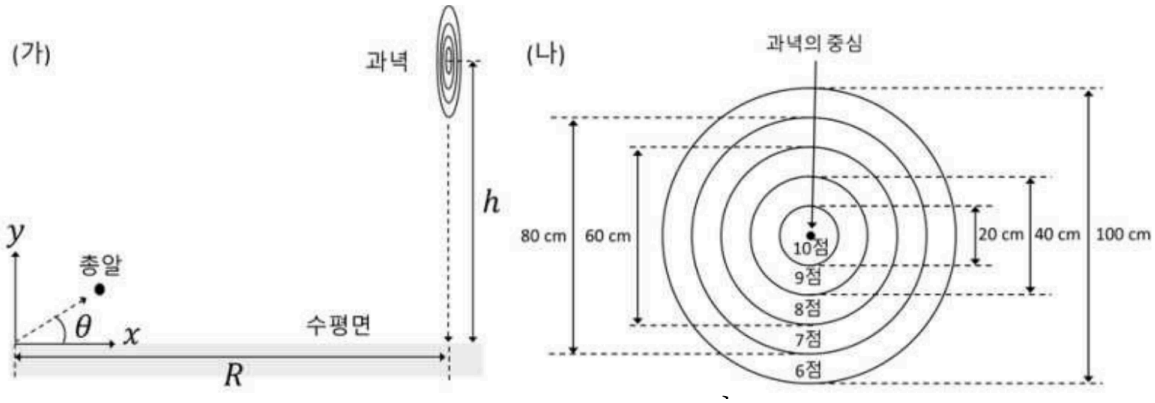
본 문항은 KAIST 면접 및 구술고사 공개 문항 형식에 맞추어 자체 제작한 **비공식 창작 모의문항**입니다. KAIST의 공식 또는 예상 문항이 아니며, 특정 대학의 실제 시험 문항을 옮긴 것이 아닙니다.

문제 1 자유낙하하는 과녁과 연속 발사

물리학 I | 포물선 운동, 자유낙하, 상대 운동, 등가속도 운동 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

문항 및 제시문

[그림 1]의 (가)와 같이 수평면 위 원점에 놓인 총으로, 수평 거리 $R = 8$ m 떨어진 곳에 매달려 있는 과녁을 쏜다. 과녁은 반지름 0.5 m인 원판이고 중심의 처음 높이는 $h = 6$ m이다. (나)와 같이 과녁에는 지름이 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm, 100 cm인 동심원이 그려져 있어 중심에서 가까운 쪽부터 10점, 9점, 8점, 7점, 6점이며, 경계선에 맞으면 더 높은 점수를 인정한다.



[그림 1] (가) 발사 상황과 매달린 과녁 (나) 과녁의 점수 구역.

총알은 과녁의 중심을 조준한 상태에서 첫 발이 발사되며, 바로 그 순간 과녁을 매단 줄이 끊어져 과녁은 정지 상태에서 자유낙하를 시작한다(이 순간을 $t = 0$으로 한다). 그 뒤 과녁의 바닥이 수평면에 닿을 때까지 0.01초 간격으로 총알을 계속 발사한다. 총알의 크기와 과녁의 두께, 공기 저항은 무시하고 중력 가속도는 $g = 10$ m/s²이다. 총알이 과녁이 놓인 연직면을 지나는 순간의 높이와 그때 과녁 중심의 높이의 차이가 곧 과녁 중심에서 맞은 자리까지의 거리이다.

(1) 과녁의 중심을 조준하여 쏜 첫 총알은 총알의 발사 속력에 관계없이 언제나 과녁의 중심에 맞는다. 그 까닭을 운동을 수평·연직 성분으로 나누어 설명하시오. **[1점]**

(2) 모든 총알의 발사 속력이 10 m/s일 때 발사각 θ와 총알의 비행 시간을 구하시오. 또 과녁의 바닥이 수평면에 닿는 시각을 구하여, 발사한 총알 가운데 몇 발이 과녁을 맞히는지 밝히시오. **[1점]**

(3) (2)와 같이 모든 총알을 같은 각 θ로 같은 속력 10 m/s로 발사할 때, 과녁을 맞힌 총알들이 각각 몇 점을 얻는지 구하고 총점을 구하시오. **[2점]**

(4) 이번에는 0.01초 간격으로 매번 그 순간의 과녁 중심을 다시 조준하여 발사한다. 각 총알의 수평 방향 속도 성분은 모두 8 m/s이다. 이때의 총점을 구하고, (3)과 비교하여 차이가 생기는 까닭을 설명하시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

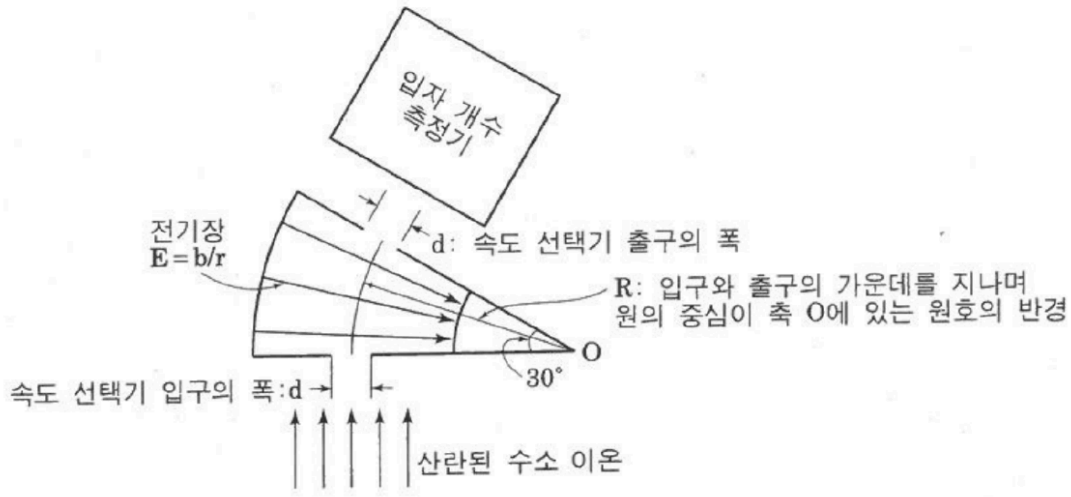
문제 2 속도 선택기와 원자핵의 질량 분해능

물리학 I · II | 전기장과 구심력, 운동량·운동에너지 보존, 탄성 산란, 등가속도 근사 | 준비 10분 · 답변 8분 | 5점

문항 및 제시문

질량 m, 전하량 e인 수소 이온을 운동에너지 E_0로 가속하여 얇은 시료에 쏜다. 이온은 시료 속 원자핵과 단 한 번만 탄성 충돌하며, 처음 정지해 있던 원자핵의 질량은 M이다. 입자 검출기는 산란각 $90°$인 방향에 놓여 있고, 산란된 이온 가운데 특정한 속력을 가진 것만 골라 세는 **속도 선택기**와 입자 개수 측정기로 이루어져 있다.

[그림 2]와 같이 속도 선택기는 중심각이 $30°$인 부채꼴 모양의 통로이다. 부채꼴의 축 O로부터 거리가 r인 곳의 전기장은 O를 향하고 그 크기는 $E = b/r$(b는 상수)이다. 입구와 출구의 폭은 모두 d이고, 입구와 출구의 가운데를 지나며 중심이 O인 원호의 반지름은 R이다($d \ll R$).



[그림 2] 속도 선택기의 단면. 산란된 이온은 입구에 수직으로 들어와 출구를 지나면 측정기로 들어간다.

산란된 이온은 입구에 수직으로 입사하며, 입사 위치는 폭 d 안에서 무작위이다. 통로의 벽에 부딪힌 이온은 걸러지고, 출구를 빠져나온 이온만 측정기에 들어간다. 이온에 작용하는 중력과 이온 사이의 상호작용은 무시하고, 이온의 속력은 빛의 속력보다 훨씬 작다. 아래에서 $\theta = 30° = \pi/6$ rad이다.

(1) 반지름 R인 원호를 그대로 따라 통로를 지나가는 이온의 속력 v_0를 구하시오. 이 값이 r와 무관함을 밝히고, 이 장치를 '속도 선택기'라 부르는 까닭을 설명하시오. **[1점]**

(2) 처음 운동에너지가 E_0인 이온이 질량 M인 원자핵과 탄성 충돌하여 $90°$로 산란되었을 때 이온의 운동에너지 E를 E_0, m, M으로 나타내고, 거꾸로 M을 E_0와 E로 나타내시오. **[1점]**

(3) 속력이 v_0와 조금 다른 이온은 원호가 아닌 곡선을 그리지만 출구를 빠져나올 수도 있다. 부채꼴 통로를 폭 d, 길이 $R\theta$인 곧은 통로로 펴고 통로 안의 전기장을 b/R로 보는 근사를 써서, 출구를 통과할 수 있는 이온의 속력 범위를 구하시오. **[2점]**

(4) (2)와 (3)을 이용하여, 이 검출기가 구별할 수 있는 원자핵 질량의 최소 차이(분해능) ΔM을 구하시오. 분해능을 좋게 하려면 d, R, θ를 어떻게 바꾸어야 하는지도 밝히시오. **[1점]**

메모란 (풀이 정리용 · 채점 대상 아님)

면접위원용 자료

물리학 제 22 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 22 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
핵심 개념 및 용어	포물선 운동의 성분 분해, 자유낙하 $h = 1/2gt^2$, 상대 운동, 비행 시간 $t = R/(v\cos\theta)$, 수치 조건의 판별
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 1-(1) 포물선 운동과 자유낙하가 연직 방향으로 똑같은 $-(1/2)gt^2$ 항을 가진다는 점을 찾아, 발사 속력과 무관한 명중이라는 결론을 스스로 이끌어 낼 수 있는지 평가한다.
· 1-(2) 주어진 기하에서 발사각과 비행 시간을 구하고, '과녁이 아직 공중에 있는가'라는 물리적 제한을 부등식으로 옮겨 유효한 총알 수를 판정할 수 있는지 평가한다.
· 1-(3) 모든 총알의 비행 시간이 같다는 사실을 이용해 높이 차를 발사 시각의 함수로 정리하고, 경계 조건이 걸린 점수 판정을 정확히 수행할 수 있는지 평가한다.
· 1-(4) 조준을 갱신하는 경우로 상황을 바꾸어 높이 차가 $10t$라는 간단한 식으로 바뀜을 보이고, 두 전략의 차이를 정량적으로 비교할 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)(2)	물리학 I — 역학과 에너지	포물선 운동을 수평 등속 운동과 연직 등가속도 운동으로 나누어 설명할 수 있다.
(1)(4)	물리학 I — 역학과 에너지	자유낙하 운동이 처음 속도와 무관하게 같은 가속도를 가짐을 이해한다.
(2)(3)	물리학 I — 역학과 에너지	등가속도 운동의 변위·시간 관계를 이용하여 조건을 판별할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 I	역학과 에너지 — 여러 가지 운동, 포물선 운동
고등학교 물리학 II	역학적 상호작용 — 평면 운동의 성분 분해

4. 문항 해설

(1) 총알의 높이는 $v\sin\theta\cdot t-(1/2)gt^2$이고 과녁 중심의 높이는 $h-(1/2)gt^2$이다. 비행 시간 $t_f = R/(v\cos\theta)$를 넣으면 $v\sin\theta\cdot t_f = R\tan\theta = h$이므로 두 높이가 정확히 같다. 즉 중력이 없다면 조준선을 따라 직진해 명중할 총알이, 중력이 있으면 과녁과 똑같은 양만큼 함께 떨어지므로 역시 명중한다. (2) $\tan\theta = 6/8$에서 $\sin\theta = 0.6$, $\cos\theta = 0.8$이므로 수평 속도는 8 m/s, 비행 시간은 $8/8 = 1$ s이다. 과녁 바닥의 처음 높이는 $6-0.5 = 5.5$ m이므로 $5.5-5t^2 = 0$에서 $t = \sqrt{1.1} \approx 1.049$ s에 지면에 닿는다. k번째 총알의 도착 시각은 $0.01k+1$이고 이것이 1.049보다 작아야 하므로 $k = 0, 1, 2, 3, 4$의 다섯 발만 과녁을 맞힌다. (3) 모든 총알의 높이는 1 m로 같고, 도착 시각 t에서 과녁 중심은 $6-5t^2$이므로 높이 차는 $5t^2-5$이다. $t = 1, 1.01, 1.02, 1.03, 1.04$에서 0, 10.05, 20.2, 30.45, 40.8 cm이므로 10, 9, 8, 7, 6점이 되어 총 40점이다. (4) 발사 시각 t_k에서 과녁 중심은 $6-5t_k^2$이고 이를 조준하므로 총알의 연직 처음 속도는 $(6-5t_k^2)$ m/s이다. 1초 뒤 총알의 높이는 $(6-5t_k^2)-5$, 과녁 중심은 $6-5(t_k+1)^2$이므로 차이는 정확히 $10t_k$이다. 0, 10, 20, 30, 40 cm가 모두 경계값이어서 10, 10, 9, 8, 7점, 총 44점이 된다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	두 높이의 $-(1/2)gt^2$ 항이 같음을 보이고 $R\tan\theta = h$를 이용해 명중을 증명한 경우	1
(2)	$\cos\theta = 0.8$, 비행 시간 1 s, 지면 도달 시각 $\sqrt{1.1}$ s를 구하고 5발임을 밝힌 경우	1
(3)	높이 차 $5t^2 - 5$를 유도한 경우 (1점) / 다섯 발의 점수 10, 9, 8, 7, 6과 총점 40점을 구한 경우 (1점)	2
(4)	높이 차가 $10t_k$임을 보이고 경계 판정을 반영하여 총점 44점을 구한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 첫 총알이 반드시 명중하는 까닭

발사각을 θ, 발사 속력을 v라 하면 $\tan\theta = h/R$이다. 총알이 과녁이 놓인 연직면에 닿는 시각은 수평 방향이 등속이므로

$$t_f = \frac{R}{v\cos\theta}.$$

그 순간 총알의 높이와 과녁 중심의 높이는 각각

$$y_{\text{총알}} = v\sin\theta\cdot t_f - \frac{1}{2}gt_f^2 = R\tan\theta - \frac{1}{2}gt_f^2 = h - \frac{1}{2}gt_f^2, \quad y_{\text{과녁}} = h - \frac{1}{2}gt_f^2.$$

두 값이 같으므로 v와 θ가 어떤 값이든(총알이 도달하기 전에 과녁이 땅에 닿지만 않으면) 총알은 과녁의 중심에 맞는다.

중력이 없다면 총알은 조준선을 따라 직진해 처음 위치의 과녁 중심에 맞는다. 중력이 있으면 총알과 과녁이 **똑같이** $(1/2)gt^2$만큼 아래로 내려가므로, 과녁을 기준으로 한 상대 운동에서는 중력이 상쇄되어 총알이 조준선 방향으로 등속 직선 운동을 하는 셈이다.

(2) 발사각, 비행 시간, 과녁을 맞히는 총알 수

$\tan\theta = h/R = 6/8 = 0.75$이므로 $\sin\theta = 0.6, \cos\theta = 0.8$이다. 발사 속력이 10 m/s이므로 수평 속도는 $10\times 0.8 = 8$ m/s, 연직 처음 속도는 6 m/s이고

$$t_f = \frac{R}{v\cos\theta} = \frac{8}{8} = 1 \ \text{s} \quad (\textbf{모든 총알에 대해 같다}).$$

과녁 바닥의 처음 높이는 $6 - 0.5 = 5.5$ m이고 과녁 전체가 자유낙하하므로 바닥의 높이는 $5.5 - 5t^2$이다. 이것이 0이 되는 시각은

$$t = \sqrt{\frac{5.5}{5}} = \sqrt{1.1} \approx 1.049 \ \text{s}.$$

k번째($k = 0, 1, 2, \ldots$) 총알은 $0.01k$초에 발사되어 $0.01k + 1$초에 과녁 면에 닿는다. 그때까지 과녁이 공중에 있어야 하므로

$$0.01k + 1 < 1.049 \quad\Longrightarrow\quad k < 4.88.$$

답 $k = 0, 1, 2, 3, 4$, 즉 **다섯 발**만 과녁을 맞힌다. 그 뒤에 발사된 총알이 도착할 때는 과녁이 이미 바닥에 닿아 있다.

(3) 같은 각으로 계속 쏘는 경우의 총점

모든 총알은 같은 속도로 발사되어 1초를 날아가므로 과녁 면에 닿는 순간의 높이는 모두 같다.

$$y_{\text{총알}} = 6\times 1 - 5\times 1^2 = 1 \ \text{m}.$$

도착 시각 $t = 1 + 0.01k$에서 과녁 중심의 높이는 $6 - 5t^2$이므로 중심에서 벗어난 거리는

$$\Delta y = 1 - (6 - 5t^2) = 5t^2 - 5 = 5(t+1)(t-1).$$

다섯 발에 대해 계산하면 다음과 같다(경계선은 높은 점수).

도착 시각 (s)	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04
Δy (cm)	0	10.05	20.2	30.45	40.8
점수	10	9	8	7	6

답 총점 $= 10 + 9 + 8 + 7 + 6 = 40$점.

둘째 총알의 10.05 cm는 10 cm 경계를 아주 조금 넘기 때문에 10점이 아니라 9점이다. Δy가 t^2에 비례해 커지므로 점수는 한 발마다 정확히 1점씩 떨어진다.

(4) 매번 다시 조준하는 경우의 총점

$t_k = 0.01k$초에 발사할 때 과녁 중심의 높이는 $y_k = 6 - 5t_k^2$이다. 이 점을 조준하므로 $\tan\theta_k = y_k/8$이고, 수평 속도가 8 m/s이므로 연직 처음 속도는 $8\tan\theta_k = y_k$ (수치상 m/s)이고 비행 시간은 역시 1초이다. 도착할 때 총알의 높이는

$$y_{\text{총알}} = y_k \times 1 - 5 \times 1^2 = 6 - 5t_k^2 - 5 = 1 - 5t_k^2.$$

도착 시각은 $t_k + 1$이므로 과녁 중심의 높이는 $6 - 5(t_k+1)^2$이다. 따라서

$$\Delta y = (1 - 5t_k^2) - \left(6 - 5(t_k+1)^2\right) = 10t_k.$$

$t_k = 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04$에서 $\Delta y = 0, 10, 20, 30, 40$ cm이고, 이 값들이 모두 점수 구역의 **경계선**에 정확히 놓이므로 높은 점수를 인정받아 10, 10, 9, 8, 7점이 된다.

답 총점 $= 10 + 10 + 9 + 8 + 7 = 44$점으로 (3)보다 4점 높다.

(3)에서는 과녁이 떨어진 거리의 차이가 $5(t^2 - 1)$로 t에 대해 이차로 벌어지는 반면, (4)에서는 조준을 갱신하는 덕분에 오차가 발사 시각에 정비례하는 $10t_k$로 줄어든다. 되돌아보면 (1)의 원리에 따라 '과녁이 그 자리에 멈춰 있었다면' 모든 총알이 명중할 것이고, 실제 오차는 조준한 순간과 발사 순간 사이에 과녁이 이미 얻은 낙하 속도 $10t_k$에 비행 시간 1초를 곱한 값과 같다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: "발사 간격을 Δt로 바꾸면 (4)의 오차는 $10k\Delta t$가 된다. 총점을 가장 크게 하려면 Δt를 어떻게 잡아야 하는가?" (간격을 좁히면 발수는 늘지만 과녁이 땅에 닿기까지의 시간이 정해져 있어 유효 발수에 한계가 있다)
· 추가 질문: "거리 R를 늘려 가면 첫 총알조차 명중하지 못하는 한계는 언제 생기는가?" (비행 시간이 $\sqrt{1.1}$ s를 넘으면 과녁이 먼저 바닥에 닿는다)
· 검토 의견: (2)에서 '과녁 중심'이 아니라 '과녁 바닥'이 지면에 닿는 시각을 써야 한다는 점(반지름 0.5 m)을 놓치는 답이 가장 많다. (3)에서 10.05 cm를 10 cm로 반올림해 10점으로 처리하는 오답이 잦으므로, 경계 규정을 정확히 읽었는지 되묻는다.

[모의 면접 문항정보 — 물리학 제 22 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	전기력과 구심력 $mv^2/r = eE$, 탄성 산란의 운동량·에너지 보존, 등가속도 근사, 통과 조건과 분해능
예상 소요 시간	준비 10분 · 답변 8분

2. 출제 의도

· 2-(1) $1/r$에 비례하는 전기장에서 구심력 조건이 반지름에 무관한 속력을 정해 준다는, 속도 선택기의 핵심 아이디어를 읽어 낼 수 있는지 평가한다.
· 2-(2) 이차원 탄성 충돌에서 운동량 두 성분과 에너지를 함께 쓰고, 결과를 측정량에서 미지의 질량을 역산하는 꼴로 뒤집을 수 있는지 평가한다.
· 2-(3) 곡선 통로를 곧은 통로로 펴는 근사를 받아들여 반지름 방향의 이탈을 등가속도 운동으로 다루고, 기하학적 통과 조건을 부등식으로 옮길 수 있는지 평가한다.
· 2-(4) 속력 범위를 질량 범위로 옮겨 장치의 성능 지표인 분해능을 끌어내고, 설계 변수와 신호 세기 사이의 절충을 설명할 수 있는지 평가한다.

3. 출제 근거

가) 적용 교육과정 및 학습내용 성취 기준

문항	교육과정	학습내용 성취 기준
(1)	물리학 II — 전기와 자기	전기장 속 전하가 받는 힘을 구하고 원운동의 구심력과 연결할 수 있다.
(2)	물리학 I · II — 역학적 상호작용	충돌에서 운동량과 운동에너지의 보존을 이용하여 결과를 예측할 수 있다.
(3)(4)	물리학 I — 역학과 에너지	등가속도 운동의 식을 이용하여 변위를 구하고 조건을 판별할 수 있다.

나) 자료 출처

참고 자료	해당 내용
고등학교 물리학 II	전기와 자기 — 전기장과 전기력, 하전 입자의 운동
고등학교 물리학 I	역학과 에너지 — 운동량 보존과 충돌

4. 문항 해설

(1) 반지름 r인 원호를 그리려면 $mv^2/r = eE = eb/r$이어야 하고, 양변의 r가 약분되어 $v_0 = \sqrt{eb/m}$이 된다. 반지름에 무관하므로 입구의 어느 위치로 들어와도 이 속력이면 자기 반지름을 유지한 채 통과하고, 다른 속력은 벽에 부딪혀 걸러진다. (2) 입사 방향을 x, 산란 방향을 y라 하고 운동량 두 성분과 운동에너지 보존을 연립하면 $v^2 = ((M-m)/(M+m))v_0^2$, 즉 $E = ((M-m)/(M+m))E_0$이다. 뒤집으면 $M = ((E_0+E)/(E_0-E))m$으로, E_0와 E를 재면 원자핵의 질량을 알 수 있다. (3) 반지름 방향 바깥쪽 이탈량을 y라 하면 $m\ddot{y} = mv^2/R - eb/R$이므로 가속도는 $(v^2 - eb/m)/R$로 일정하고, 통과 시간은 $R\theta/v_0$이다. 따라서 $y = (mR\theta^2/(2eb))(v^2 - eb/m)$이고, 입사 위치가 폭 d 안에서 자유로우므로 $|y| < d$이면 통과하는 이온이 있다. 정리하면 $(eb/m)(1 - 2d/(R\theta^2)) < v^2 < (eb/m)(1 + 2d/(R\theta^2))$이다. (4) $v^2 = 2E/m$을 넣어 에너지 범위 $A < E < B$를 얻고, M이 E의 증가함수임을 이

용해 질량 범위로 옮기면 $\Delta M \approx (4ebd/(R\theta^2))E_0 m/(E_0 - eb/2)^2$이다. d를 좁히고 R, θ를 키우면 분해능이 좋아지지만 통과하는 이온 수가 줄어든다.

5. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	$mv^2/r = eb/r$에서 $v_0 = \sqrt{eb/m}$를 구하고 r에 무관함을 밝힌 경우	1
(2)	$E = ((M-m)/(M+m))E_0$를 유도하고 $M = ((E_0+E)/(E_0-E))m$으로 뒤집은 경우	1
(3)	이탈량 $y = (mR\theta^2/(2eb))(v^2 - eb/m)$를 유도한 경우 (1점) / 통과 조건 $\lvert y\rvert < d$에서 속력 범위를 바르게 쓴 경우 (1점)	2
(4)	속력 범위를 질량 범위로 옮겨 ΔM을 구하고 d, R, θ의 역할과 절충을 설명한 경우	1

6. 예시 답안

(1) 원호를 따라 통과하는 속력

전기장이 축 O를 향하므로 양전하인 이온은 항상 O 쪽으로 힘 $eE = eb/r$를 받는다. 반지름 r인 원호를 따라 등속으로 돌려면 이 힘이 구심력이어야 하므로

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{eb}{r} \quad\Longrightarrow\quad v^2 = \frac{eb}{m}.$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{eb}{m}} \quad (r \text{ 에 무관}).$$

양변에 똑같이 $1/r$가 들어 있어 약분되는 것이 핵심이다. 그 결과 입구의 어느 위치로 들어오든 속력이 v_0이기만 하면 자기가 들어온 반지름을 그대로 유지한 채 출구로 나온다. 속력이 v_0와 크게 다른 이온은 안쪽이나 바깥쪽 벽으로 밀려 걸러지므로, 이 장치는 **속력이 v_0 부근인 이온만 통과시키는 거름 장치**가 된다.

(2) 90° 산란된 이온의 운동에너지

입사 방향을 x, 산란된 이온의 진행 방향을 y라 하고, 충돌 전 이온의 속력을 u($E_0 = (1/2)mu^2$), 충돌 후 이온의 속력을 v, 원자핵의 속도를 (V_x, V_y)라 하자.

$$x:\quad mu = MV_x, \quad y:\quad 0 = mv + MV_y, \quad \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}M(V_x^2 + V_y^2).$$

$V_x = (m/M)u$, $V_y = -(m/M)v$를 에너지 식에 넣고 정리하면 $mu^2(M-m) = mv^2(M+m)$이므로

$$v^2 = \frac{M-m}{M+m}u^2 \quad\Longrightarrow\quad E = \frac{M-m}{M+m}E_0.$$

$M > m$이어야 해가 있으므로 수소 이온보다 가벼운 표적에서는 90° 산란이 일어나지 않는다. 이 식을 M에 대해 풀면

답

$$M = \frac{E_0 + E}{E_0 - E}m.$$

E_0와 E를 재면 표적 원자핵의 질량을 알 수 있다는 것이 이 실험의 원리이다.

(3) 출구를 통과할 수 있는 속력 범위

통로의 전기장을 대푯값 b/R로 보고, 반지름 R인 원호에서 바깥쪽으로 벗어난 양을 y라 하자. 반지름 방향의 운동방정식은 (바깥쪽을 양으로)

$$m\ddot{y} = \frac{mv^2}{R} - \frac{eb}{R} \quad\Longrightarrow\quad a_y = \frac{1}{R}\left(v^2 - \frac{eb}{m}\right) \quad (\text{일정}).$$

진행 방향 속력은 거의 $v_0 = \sqrt{eb/m}$로 유지되므로 통로를 지나는 시간은 $t = R\theta/v_0$이고, 처음 반지름 방향 속도가 0이므로

$$y = \frac{1}{2}a_y t^2 = \frac{mR\theta^2}{2eb}\left(v^2 - \frac{eb}{m}\right).$$

입사 위치가 폭 d 안에서 무작위이므로, 이탈량의 크기가 d보다 작기만 하면 출구로 빠져나오는 이온이 적어도 일부 존재한다. $|y| < d$에서

$$-d < \frac{mR\theta^2}{2eb}\left(v^2 - \frac{eb}{m}\right) < d \quad\Longrightarrow\quad \left|v^2 - \frac{eb}{m}\right| < \frac{2ebd}{mR\theta^2}.$$

답

$$\frac{eb}{m}\left(1 - \frac{2d}{R\theta^2}\right) < v^2 < \frac{eb}{m}\left(1 + \frac{2d}{R\theta^2}\right), \quad \theta = \frac{\pi}{6} \approx 0.524 \ \text{ rad}\,.$$

$\theta^2 = \pi^2/36 \approx 0.274$이며, 아래 끝이 양수이려면 $2d < R\theta^2$여야 한다. 범위의 한가운데 값 v_0만이 정확한 원호를 그린다.

(4) 질량 분해능

$v^2 = 2E/m$이므로 (3)의 부등식에 $m/2$를 곱하면 통과하는 이온의 운동에너지 범위는

$$A < E < B, \quad A = \frac{eb}{2}\left(1 - \frac{2d}{R\theta^2}\right), \quad B = \frac{eb}{2}\left(1 + \frac{2d}{R\theta^2}\right).$$

(2)의 $M = ((E_0 + E)/(E_0 - E))m$은 E에 대한 증가함수이므로, 측정기에 신호를 남기는 원자핵의 질량 범위는

$$\frac{E_0 + A}{E_0 - A}m < M < \frac{E_0 + B}{E_0 - B}m.$$

이 폭이 곧 구별할 수 없는 질량의 폭, 즉 분해능이다. $B - A = 2ebd/(R\theta^2)$이고 $d/(R\theta^2) \ll 1$이므로 $(E_0 - A)(E_0 - B) \approx (E_0 - eb/2)^2$로 놓으면

$$\Delta M = \frac{2(B - A)E_0}{(E_0 - A)(E_0 - B)}m \approx \frac{4ebd}{R\theta^2} \cdot \frac{E_0 m}{(E_0 - eb/2)^2}.$$

답 d를 좁히거나 R 또는 θ를 크게 할수록 ΔM이 작아져 분해능이 좋아진다. 다만 d를 좁히면 통과하는 이온 수가 줄어 신호가 약해지므로 절충이 필요하다.

한편 통로 한가운데에 대응하는 질량을 $M_0 = ((E_0 + eb/2)/(E_0 - eb/2))m$이라 하면 위 식은 $\Delta M \approx (2d/(R\theta^2))(M_0^2 - m^2)/m$으로도 쓸 수 있어, 무거운 원자핵일수록($M_0$가 클수록) 분해능이 급격히 나빠짐을 한눈에 볼 수 있다. 실제로 E가 E_0에 가까워지면 질량 차이가 에너지 차이로 거의 드러나지 않기 때문이다.

7. 면접 추가 질문 및 검토 의견

· 추가 질문: "전기장이 $E = b/r$가 아니라 균일한 E_1이라면 통과 속력이 반지름에 따라 달라지는가?" ($mv^2/r = eE_1$에서 $v = \sqrt{eE_1 r/m}$로 r에 의존해 속도 선택기 구실을 하지 못한다)
· 추가 질문: "$1/r$ 장에서 원 궤도 주변의 미소 진동을 각운동량 보존으로 다루면 각진동수가 $\sqrt{2}v_0/R$이다. 이를 쓰면 (3)의 결과가 어떻게 수정되는가?"
· 검토 의견: (1)에서 r가 약분된다는 사실을 말로만 언급하고 식으로 보이지 않는 답이 많다. (3)에서 통과 조건을 $|y| < d/2$로 잘못 잡는 경우가 잦으므로, '입사 위치가 폭 d 안에서 무작위'라는 조건의 뜻을 먼저 되묻는다. 각도를 30(도 단위)으로 넣어 θ^2를 계산하는 실수도 흔하므로 라디안 변환을 반드시 확인한다.

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