

[한국과학기술원(KAIST) 문항 정보 5]

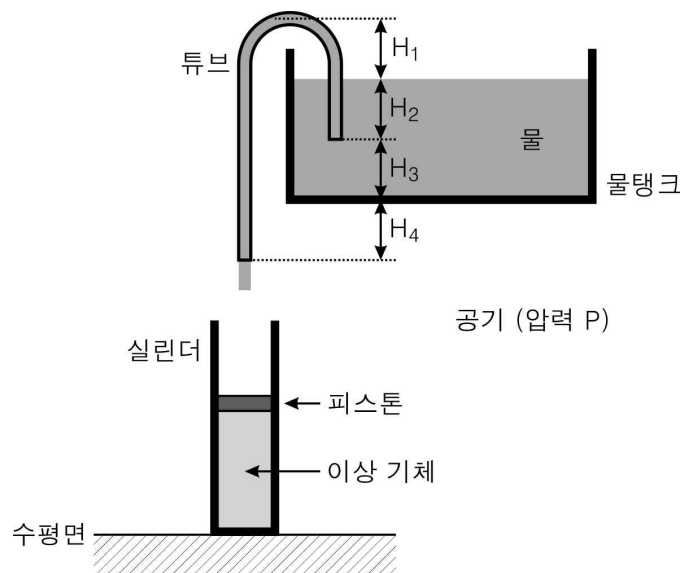
1. 일반정보

유형	<input type="checkbox"/> 논술고사 <input checked="" type="checkbox"/> 면접 및 구술고사	
전형명	일반전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제1	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	물리 I, 물리 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리 I, 물리 II
	핵심개념 및 용어	베르누이 법칙, 이상 기체 상태 방정식, 등적(정적) 과정, 열역학 제1법칙
예상 소요 시간	7분	

2. 문항 및 제시문

실린더와 물탱크가 압력이 P 인 공기 중에 있다. 실린더는 수평면 위에 연직 방향으로 세워져 고정되어 있고, 그 안에 압력 $3P/2$, 부피 V 의 단원자 분자 이상 기체가 평형 상태로 들어 있다. 이제 U자형 튜브를 적절히 사용하여 물탱크 안의 물을 튜브를 통과시켜 피스톤 위로 옮기고자 한다. $H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = h$ 가 되도록 튜브를 고정시키고 피스톤 위에 1시간에 걸쳐 물이 일정한 속도로 쌓이게 했더니 평형 상태에서 이상 기체의 압력이 $2P$ 로 증가하였다. (실린더를 통해 이상 기체와 물이 빠져나가거나 들어오지는 못한다.)

피스톤 위의 물을 모두 없애고 $H_1 = h$, $H_2 = 2h$, $H_3 = 3h$, $H_4 = 4h$ 가 되도록 튜브와 물탱크를 다시 설치한 후 같은 작업을 반복하자. 피스톤 위에 물이 일정한 속도로 쌓이는 1시간 동안 이상 기체의 부피가 V 로 일정하게 유지되고 있었다면, 이 과정에서 이상 기체에 공급된 열은 얼마인가? (물탱크의 면적이 매우 넓어 물탱크 수면의 높이 변화는 무시할 수 있다고 하자. 피스톤과 실린더 사이의 마찰과 물의 압축성 및 점성도 무시하자. 피스톤 위에 쌓일 수 있는 물의 양이 충분히 크기 때문에, 물이 피스톤 위에 쌓이다가 실린더 밖으로 넘치는 상황은 일어나지 않는다고 하자.) (4점)



3. 출제 의도

- 비압축성 유체에 적용되는 베르누이 법칙과 이상 기체에 적용되는 상태 방정식 및 열역학 제1법칙을 이해하고 있는지 평가한다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준/ 영역별 내용	물리 I-(4) 에너지-(나) 힘과 에너지의 이용 ④ 베르누이 법칙을 이용하여 양력과 마그누스 힘을 이해하고, 항공기와 구기 운동에 대한 이용을 안다. 물리 II-(1) 운동과 에너지-(나) 열에너지 ④ 열과 일의 출입에 따른 여러 가지 열역학 과정을 이해한다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	물리 I	김영민 외	교학사	2011	329-331
	물리 II	곽성일 외	천재교육	2011	83-86
기타					

5. 문항 해설

이상 기체가 들어있는 실린더의 피스톤 위로 물탱크의 물이 튜브를 통해 일정하게 흘러내려 쌓여 실린더의 내부 압력이 증가하는 상황에서, 이상 기체의 등적 변화 과정이 일어날 때 내부 에너지의 변화량을 묻는 문항이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
	<ul style="list-style-type: none"> - ‘베르누이 법칙’ 또는 ‘역학적 에너지 보존의 법칙’을 사용하였고, ‘등적 과정에서 [이상 기체에 공급된 열] = [이상 기체의 내부 에너지 변화량]’임을 사용하여 문제를 해결하려 했다면 +1점 - ‘베르누이 법칙’ 또는 ‘역학적 에너지 보존의 법칙’을 사용하여, 경우②에서 튜브를 빠져나오는 물의 속도가 경우①에 비하여 $\sqrt{3}$배가 됨을 구했으면 +1점 - 경우②에서 1시간 동안 물이 쌓인 후 이상 기체의 압력이 $\Delta P_2 = \sqrt{3} \Delta P_1 = \frac{\sqrt{3}P}{2}$ 만큼 증가함을 구했으면 +1점 - ‘등적 과정에서 [이상 기체에 공급된 열] = [이상 기체의 내부 에너지 변화량]’임을 사용하여 $\frac{3\sqrt{3}}{4}PV$를 답했으면 +1점 	4점

7. 예시답안

두 점 A, B에 대해 베르누이 법칙을 적용하면,

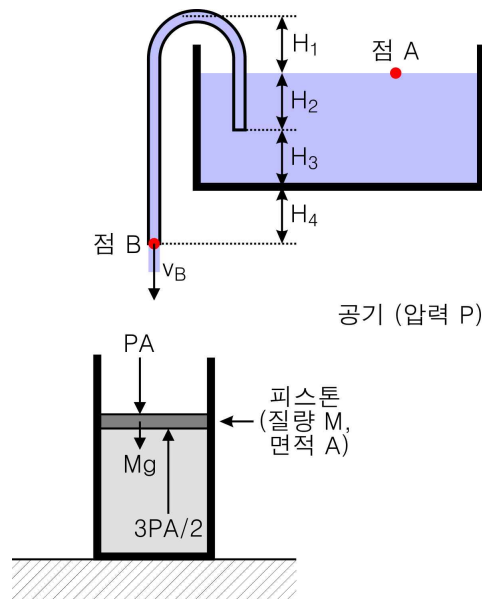
$$P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 + \rho gh_A = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2 + \rho gh_B \quad (\rho: \text{물의 밀도}, g: \text{중력 가속도})$$

$$P_A = P_B = P, \quad v_A = 0, \quad h_A - h_B = H_2 + H_3 + H_4 \rightarrow v_B = \sqrt{2g(H_2 + H_3 + H_4)}$$

또는 두 점 A, B에서의 압력이 서로 같으므로, 역학적 에너지 보존의 법칙을 바로

$$\text{적용하면, } mg(H_2 + H_3 + H_4) = \frac{1}{2}mv_B^2 \quad (m: \text{물의 질량}, g: \text{중력 가속도})$$

$$\rightarrow v_B = \sqrt{2g(H_2 + H_3 + H_4)}$$



$$\text{경우 ① : } H_1 = H_2 = H_3 = H_4 = h \rightarrow H_2 + H_3 + H_4 = 3h$$

점 B에서 물이 속도 v_{B1} 로 빠져나오고 1시간 동안 총 질량 M_1 의 물이 피스톤 위에

쌓여서 이상 기체의 압력이 $\Delta P_1 = \frac{M_1 g}{A} = \frac{P}{2}$ 만큼 증가하였다면,

$$\text{경우 ② : } H_1 = h, \quad H_2 = 2h, \quad H_3 = 3h, \quad H_4 = 4h \rightarrow H_2 + H_3 + H_4 = 9h$$

점 B에서 물이 속도 $v_{B2} = \sqrt{3}v_{B1}$ 로 빠져나오므로, 1시간 동안 총 질량

$M_2 = \sqrt{3}M_1$ 의 물이 피스톤 위에 쌓여 이상 기체의 압력이

$$\Delta P_2 = \frac{M_2 g}{A} = \sqrt{3} \Delta P_1 = \frac{\sqrt{3}P}{2} \text{만큼 증가하게 된다.}$$

경우②의 등적 과정에서 이상 기체가 한 일은 0이고 이상 기체의 내부 에너지 변화량은 $\frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}V\Delta P_2 = \frac{3\sqrt{3}}{4}PV$ 이다. (n: 이상 기체 몰 수, R: 기체 상수, ΔT : 온도 변화) 열역학 제1법칙에 의하여 이상 기체에 공급된 열은 내부 에너지 변화량 $\frac{3\sqrt{3}}{4}PV$ 와 같다.

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

튜브를 빠져나오는 물의 속력으로 같은 시간에 쌓이는 물의 양을 알 수 있는데, 물리 I의 베르누이 법칙 또는 역학적 에너지 보존을 이용하면 구할 수 있다. 물리 I, 물리 II의 보일의 법칙, 이상 기체 상태 방정식, 열역학 제1법칙 등을 이용하여 압력의 변화를 구하고 등적 변화 과정에서 내부 에너지의 변화량 곧 이상 기체에 공급된 열을 구할 수 있다. 물리 I, 물리 II 수준의 물리 개념을 활용하여 충분히 해결할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

[고등학교 물리교사 B]

물탱크 안의 물이 튜브를 통해 피스톤 위로 이동하여 실린더 내부 이상 기체의 부피가 일정하고 압력이 증가하는 열역학적 과정이 일어날 때, 베르누이 법칙과 열역학 제1법칙을 각각의 상황에 적용하여 압력 변화를 비교하고 이상 기체에 공급된 열을 구하는 문제임. 물리 I 교과에서 학습한 내용을 이해하고 각각의 법칙을 주어진 조건에 알맞게 적용하면 충분히 해결할 수 있는 문제이므로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.

[한국과학기술원(KAIST) 문항 정보 6]

1. 일반정보

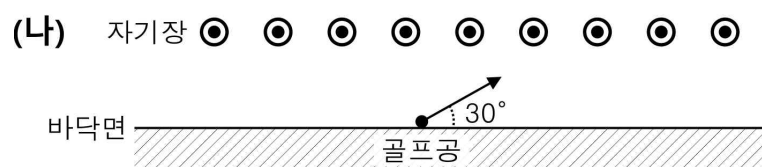
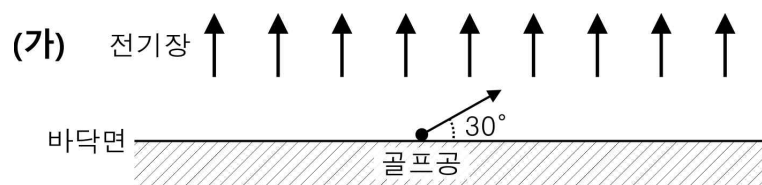
유형	<input type="checkbox"/> 논술고사 <input checked="" type="checkbox"/> 면접 및 구술고사	
전형명	일반전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제2	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	물리 I, 물리 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리 II
	핵심개념 및 용어	전기장, 자기장, 전기력, 로렌츠 힘, 등가속도 포물선 운동, 등속 원운동, 수평 도달 거리
예상 소요 시간	8분	

2. 문항 및 제시문

무중력 우주 공간에 그림과 같이 두 개의 골프장을 건설하였다. 그림 (가)의 골프장에는 바닥 면에 수직인 위 방향으로 균일한 전기장이 걸려있고, 그림 (나)의 골프장에는 바닥 면에 평행하면서 종이면 밖으로 나오는 방향으로 균일한 자기장이 걸려있다.

두 골프장에서 각각 전하를 띤 서로 다른 골프공을 동일한 초기 속도로 바닥 면에 대해 30° 오른쪽 위로 쳤더니, 두 골프공은 바닥 면으로부터 같은 최대 높이까지 올라간 후 출발 지점으로부터 오른쪽에 떨어졌다. 이때 그림 (가)의 골프공은 60초의 체공 시간 동안 오른쪽으로 $2\sqrt{3}$ km의 수평 도달거리를 움직였다. (골프공의 크기와 전자기파 발생은 무시하자.) (총 6점)

- (1) 두 골프공이 각각 어떤 부호의 전하를 띠고 어떤 형태의 궤적을 따라 운동하는지 정성적으로 설명하라.
- (2) 그림 (나)의 골프장에서 자기장의 방향만 반대로 바꾸고 나머지 조건은 같게 유지한 채 실험을 반복하면 골프공은 얼마의 체공 시간 후 어느 위치에 떨어지는지 답하라.



3. 출제 의도

- 전하를 띤 입자가 전기장과 자기장에 의하여 받는 힘을 이해하고 이 힘에 의하여 입자가 겪는 가속도 운동을 기술할 수 있는지 평가한다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준/ 영역별 내용	물리Ⅱ-(1) 운동과 에너지-㉠ 힘과 운동 ③ 지표면 근처에서 일어나는 포물선운동과 원운동을 분석할 수 있다. 물리Ⅱ-(2) 전기와 자기-㉠ 전하와 전기장 ① 전기장, 전기력선, 전위의 관계를 이해하고, 전기쌍극자의 의미를자 안다. 물리Ⅱ-(2) 전기와 자기-㉡ 전류와 자기장 ④ 자기장 속에서 운동하는 전하가 받는 로렌츠 힘을 안다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	물리Ⅱ	김영민 외	교학사	2011	30-33, 127 147-149
	물리Ⅱ	곽성일 외	천재교육	2011	31-34, 108 149-151
기타					

5. 문항 해설

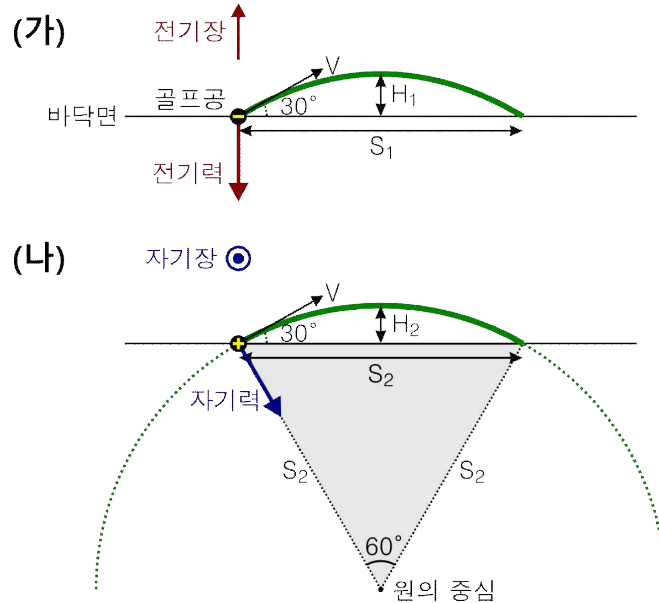
(1)번 문항은 균일한 전기장과 자기장에 전하를 띤 입자가 각각 같은 속도로 입사했을 때 입자에 작용하는 전기력과 로렌츠 힘을 고려하여 입자가 띤 전하의 종류와 운동 형태를 정성적으로 묻는 문제이다. (2)번 문항은 (1)번의 균일한 자기장이 걸려 있는 전하를 띤 입자의 운동에서 자기장의 방향만 바꿀 때 체공 시간과 수평 도달 거리의 변화를 정량적으로 비교할 수 있는지 묻는 문제이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	- 그림 (가)의 골프공의 전하의 부호 및 운동 궤적을 바르게 답하면 +1점 - 그림 (나)의 골프공의 전하의 부호 및 운동 궤적을 바르게 답하면 +1점	2점
(2)	- 그림 (나)의 상황에서 수평 도달거리를 바르게 답하면 +1점 - 그림 (나)의 상황에서 체공 시간을 바르게 답하면 +1점 - 자기장의 방향이 반대로 바뀌면 출발 지점으로부터 왼쪽으로 같은 수평 도달 거리만큼 떨어진 지점에 낙하함을 답하면 +1점 - 자기장의 방향이 반대로 바뀌면 체공 시간이 5배가 됨을 답하면 +1점	4점

7. 예시 답안

(1) 그림 (가)의 골프공은 아래 방향으로 전기력을 받아야 하므로 음전하를 띠어야 하고, 아래 방향의 가속도를 갖는 등가속도 포물선 운동을 한다. 그림 (나)의 골프공은 (운동 방향에 수직하면서) 아래 방향으로의 자기력을 받아야 하므로 양전하를 띠어야 하고, 원호를 따라 등속 원운동을 한다. (이때 원호의 중심각은 60° 임)



(2) 그림 (가)의 골프공의 체공 시간과 가속도를 각각 T_1 , a 라 하면,

$$H_1 = \frac{(V \sin 30^\circ)^2}{2a}, \quad T_1 = \frac{2V \sin 30^\circ}{a} = \frac{4H_1}{V \sin 30^\circ}, \quad S_1 = (V \cos 30^\circ) T_1 = \frac{4H_1}{\tan 30^\circ}$$

그림 (나)의 골프공의 수평 도달거리는 원운동 반경과 같으므로 (회색 삼각형이 정삼각형임을 고려), $H_2 = (1 - \cos 30^\circ) S_2$

두 골프공이 서로 같은 최대 높이까지 올라갔으므로,

$$H_1 = H_2 = (1 - \cos 30^\circ) S_2 \rightarrow S_2 = \frac{\tan 30^\circ}{4(1 - \cos 30^\circ)} S_1 = \frac{2 + \sqrt{3}}{2\sqrt{3}} S_1$$

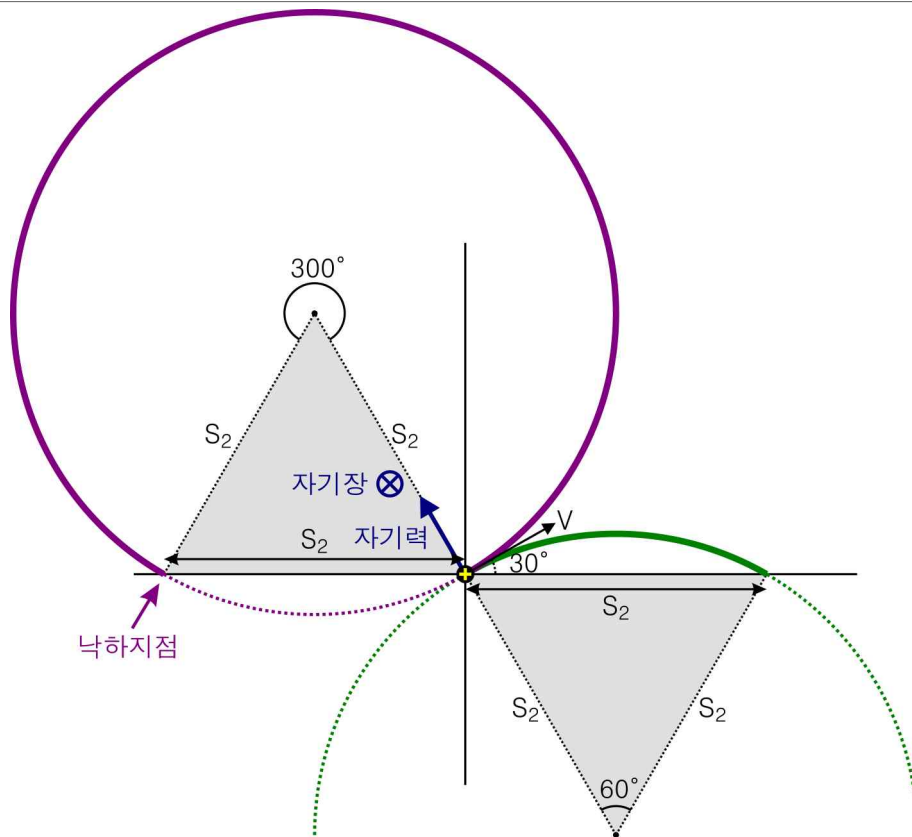
$$S_1 = 2\sqrt{3} \text{ km} \rightarrow S_2 = (2 + \sqrt{3}) \text{ km}$$

또한 그림 (나)에서 골프공의 원호 궤적의 길이는 $\frac{\pi}{3} S_2$ 이므로 체공 시간은

$$T_2 = \frac{\pi S_2}{3V} = \frac{\pi}{3} \frac{2 + \sqrt{3}}{2\sqrt{3}} T_1 \cos 30^\circ = \frac{(2 + \sqrt{3})\pi}{12} T_1 = 5(2 + \sqrt{3})\pi \text{ (초)}$$

이제 그림 (나)에서 자기장의 방향을 반대로 바꿔서 실험을 반복하면 아래 그림과 같이 골프공이 받는 자기력의 방향이 반대로 바뀌어 중심각이 300° 인 원호 궤적을 따라 등속 원운동을 한다. 따라서 체공 시간은 5배로 늘어난 $5T_2 = 25(2 + \sqrt{3})\pi$ (초)

이고 출발 지점으로부터 왼쪽으로 $S_2 = (2 + \sqrt{3}) \text{ km}$ 의 수평 도달거리만큼 떨어진 지점에 낙하한다.



8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

균일한 전기장에서 비스듬히 입사한 전하를 띤 입자의 운동은 입자가 전기장과 나란하게 일정한 힘을 받으므로 중력장에서 비스듬히 던진 물체와 같은 등가속도 포물선 운동을 하게 된다. 균일한 자기장에 입사한 전하를 띤 입자의 운동은 로렌츠 힘을 받아 운동 방향과 수직으로 힘을 일정한 크기로 받게 되어 원운동을 하게 된다. 물리Ⅱ 수준의 물리 개념을 활용하여 충분히 해결할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

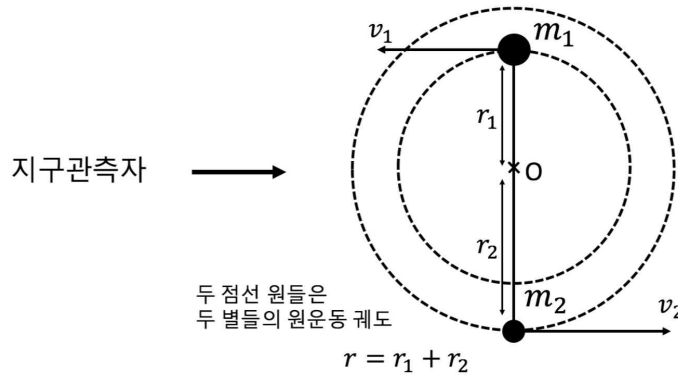
[고등학교 물리교사 B]

균일한 전기장 영역에서 입자가 포물선 운동할 때와 균일한 자기장 영역에서 입자가 원운동 할 때 포물선 운동과 전기력, 원운동과 로렌츠 힘에 대한 이해를 바탕으로 각각의 운동을 분석하여 답을 구하는 문제임. 물리Ⅱ 교과에서 학습한 내용을 이해하고 수식들을 논리적으로 전개할 수 있다면 입자의 종류를 정성적으로 설명할 수 있고, 각각의 상황에서 체공 시간과 수평 도달 거리를 구할 수 있으므로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.

1. 일반정보

유형	□ 논술고사 ■ 면접 및 구술고사	
전형명	학교장추천전형, 고른기회전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제1	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	물리 I, 물리 II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리 I, 물리 II
	핵심개념 및 용어	만유인력, 등속 원운동
예상 소요 시간	7분	

2. 문항 및 제시문



위 그림과 같이 질량이 m_1 , m_2 인 두 별들이 원점 O를 중심으로 점선의 궤적을 따라 같은 주기로 등속 원운동을 하고 있다. 지구의 관측자는 원점과 두 별 사이의 거리인 r_1 , r_2 와 별들의 원운동 주기 T 를 측정할 수 있다.

$r_1 = 1, r_2 = 2, T = \pi$ 로 측정되었다고 할 때, 두 별들의 질량 m_1 , m_2 를 유도하시오. (단, 만유인력 상수는 G 로 표현한다.) (4점)

3. 출제 의도

- 별들 사이의 만유인력, 별들의 등속 원운동 원리 이해하고 있는지 평가한다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준/ 영역별 내용	물리 I -(1) 시공간과 우주-(나) 시공간의 새로운 이해 ① 행성의 운동에 대한 케플러 법칙이 뉴턴의 중력 법칙을 만족함을 설명할 수 있다. 물리 II -(1) 운동과 에너지-(가) 힘과 운동 ③ 지표면 근처에서 일어나는 포물선운동과 원운동을 분석하여 기술할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	물리 I	김영민 외	교학사	2011	62-65
	물리 II	곽성일 외	천재교육	2011	29-35
기타					

5. 문항 해설

둘 사이의 만유인력이 작용하여 각각의 별들이 등속 원운동할 때, 주어진 조건을 활용하여 운동을 분석할 수 있는지를 평가하는 문제이다. 만유인력이 구심력으로 작용함을 식으로 나타내고 주어진 $r = r_1 + r_2 = 3$ 라는 조건을 적용하여 변수들의 관계를 도출할 수 있다. 물리 I, 물리 II 교육과정에 서 다루고 있는 만유인력 법칙과 등속 원운동을 이용하여 정량적으로 계산할 수 있다.

6. 채점 기준

채점 기준	배점
(1) 만유인력=원심력 \Rightarrow 1점	4점
(2) $m_1 r_1 = m_2 r_2 \Rightarrow$ 1점	
(3) 각 질량을 정확히 유도/계산 \Rightarrow 2점	

7. 예시 답안

두 별들이 같은 각속도 $\omega = 2\pi/T$ 로 원운동을 하므로 아래의 두 방정식을 얻는다.

$$\frac{Gm_1m_2}{r^2} = m_2r_2\omega^2, \quad \frac{Gm_1m_2}{r^2} = m_1r_1\omega^2 \quad : \text{수식 (1)}$$

두 방정식의 좌변이 동일하기 때문에 다음의 관계식을 얻을 수 있다.

$$m_1 r_1 = m_2 r_2 : \text{수식 (2)}$$

수식 (2)와 $r = r_1 + r_2 = 3$ 를 이용하면 각각의 r_1, r_2 는 다음과 같이 주어진다.

$$r_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} r, \quad r_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} r : \text{수식 (3)}$$

수식 (3)의 r_1 또는 r_2 를 수식 (1)에 대입함으로써 총 질량을 얻는다.

$$\text{총 질량은 } m = m_1 + m_2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2} = \frac{108}{G}.$$

수식 (2)를 이용하면 각각의 질량 m_1, m_2 를 얻을 수 있다.

$$m_1 = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2 \left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right)} = \frac{72}{G}, \quad m_2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2 \left(1 + \frac{r_2}{r_1}\right)} = \frac{36}{G}$$

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

한 점을 기준으로 반지름이 다르며 같은 주기로 서로 등속 원운동하고 있는 질량이 서로 다른 별의 운동은, 각각의 별이 만유인력을 구심력으로 하여 원운동함을 공식으로 계산하면 정량적으로 물리량을 비교할 수 있다. 물리 I, 물리 II 수준의 물리 개념을 활용하여 충분히 해결할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

[고등학교 물리교사 B]

둘 사이의 만유인력이 작용하여 각각의 별들이 등속 원운동할 때, 등속 원운동과 만유인력에 대한 이해를 바탕으로 주어진 조건에 적용하여 질량을 정량적으로 구하는 문제임. 물리 I, 물리 II 교과에서 학습한 내용을 이해하고 수식들을 논리적으로 전개할 수 있다면 충분히 해결할 수 있는 문제이므로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.

1. 일반정보

유형	<input type="checkbox"/> 논술고사 <input checked="" type="checkbox"/> 면접 및 구술고사	
전형명	학교장추천전형, 고른기회전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제2	
모집요강에 제시한 출제 범위(과목명)	물리 I, 물리II	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리II
	핵심개념 및 용어	전자기유도(패러데이 법칙), 자기력, 역학적 에너지
예상 소요시간	8분	

2. 문항 및 제시문

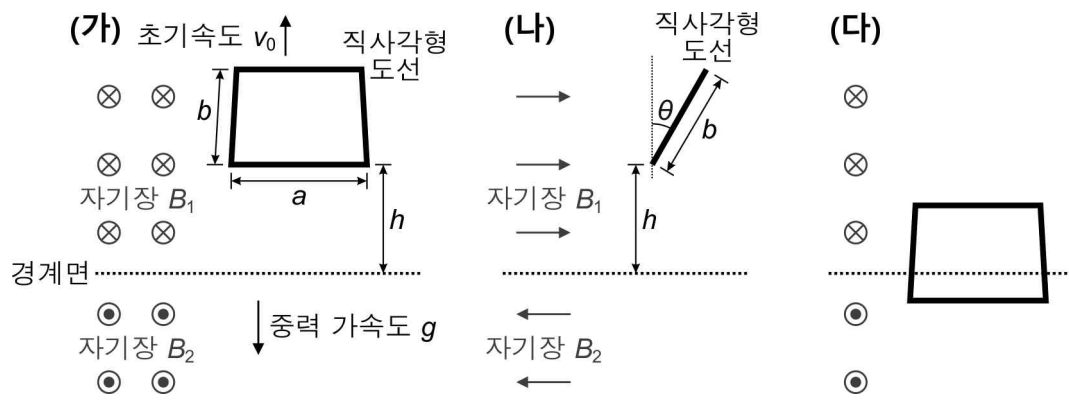
한 수평 경계면을 기준으로, 위쪽 영역에는 균일한 자기장 $B_1 = 1\text{ T}$ 가 종이면 안으로 들어가는 방향으로, 아래쪽 영역에는 균일한 자기장 $B_2 = 1\text{ T}$ 가 종이면 밖으로 나오는 방향으로 걸려있다. 위쪽 영역에 질량 200 g , 저항 $3\text{ }\Omega$, 세로 $b=40\text{ cm}$, 가로 $a=50\text{ cm}$ 인 대전되어 있지 않은 균일한 직사각형 도선이 있다. 도선의 가로변은 그림 (가)처럼 경계면과 평행하면서 자기장에 수직이고 세로변은 그림 (나)처럼 연직 방향과 각도 $\theta=30^\circ$ 를 이루며 기울어져 있다.

(그림 (나)는 그림 (가)를 오른쪽 옆에서 본 측면도임)

도선의 아래쪽 가로변과 경계면의 거리가 $h=1\text{ m}$ 가 되는 위치에서 도선을 연직 위로 초기 속도 v_0 로 회전이 일어나지 않도록 던졌고, 얼마 후 그림 (다)처럼 도선이 경계면에 걸쳐있는 동안에는 등속도 운동을 하는 것이 관찰되었다. (중력 가속도는 $g=10\text{ m/s}^2$ 이고, 공기저항과 도선의 굵기는 무시할 수 있다고 하자.) (총 6점)

(1) 도선이 경계면에 걸쳐있는 동안에 등속도 운동을 하게 되는 원리를 정성적으로 설명하고, 도선의 초기 속도 v_0 를 구하시오.

(2) 도선을 연직 위로 던진 직후부터 도선의 모든 부분이 경계면 아래쪽 영역으로 완전히 넘어가기까지 도선에서 발생한 총 열에너지는 얼마인가?



3. 출제 의도

- 등가속도 직선운동, 렌츠 법칙 및 패러데이 법칙, 전류가 흐르는 도선이 자기장에서 움직일 때 받는 자기력, 저항에서 발생하는 열에너지를 이해하고 있는지 평가한다.

4. 문항 및 제시문의 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정	교육과학기술부 고시 제 2011-361호[별책9] “과학과 교육과정”
성취기준/ 영역별 내용	물리Ⅱ-(2) 전기와 자기-(나) 전류와 자기장 ② 전류가 흐르는 도체에 작용하는 자기력이나 평행한 도선 사이에 작용하는 힘을 이해한다. ③ 패러데이 법칙을 이용하여 자기선속이 시간에 따라 변화할 때 회로에 유도되는 기전력을 구할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행 연도	쪽수
고등학교 교과서	물리Ⅱ	김영민 외	교학사	2011	152-154 159-162
	물리Ⅱ	곽성일 외	천재교육	2011	137-147
기타					

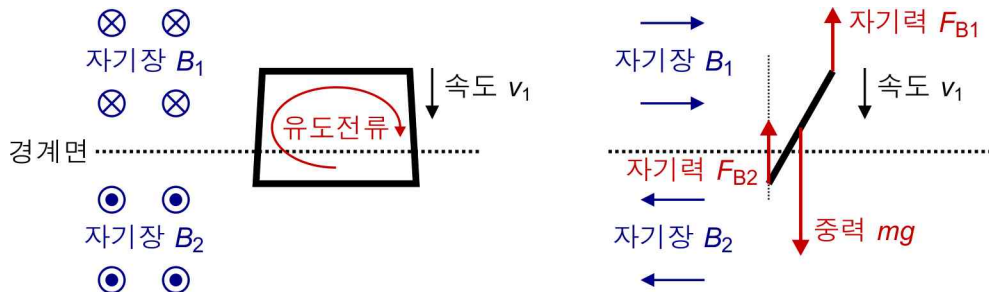
5. 문항 해설

(1)번 문항은 균일한 두 자기장 영역에서 기울어진 직사각형 도선이 운동할 때, 패러데이 법칙, 역학적 에너지 보존을 활용하여 운동을 분석하는 문제이다. 유도기전력, 유도전류, 자기력을 차례로 도출한 후, 힘의 평형 관계를 이용해 등속도 운동하는 원리를 정성적으로 설명하고 초기 속도를 구할 수 있다. (2)번 문항은 도선에서 발생하는 열에너지를 묻는 문제로, 전류가 흐르는 도선에서 소비 전력이나 역학적 에너지의 변화를 이용해 구할 수 있다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	<ul style="list-style-type: none"> - 등속도 운동을 하게 되는 다음의 두 가지 원리를 정성적으로 바르게 설명 <ul style="list-style-type: none"> ① 렌츠 법칙 및 패러데이 법칙에 의한 유도 전류 발생 : +1점 ② 세 힘의 알짜힘이 0 : +1점 - 등속운동 속도 $v_1 = 6 \text{ m/s}$를 답했으면 +1점 - 초기 속도 $v_0 = 4 \text{ m/s}$를 답했으면 +1점 	4점
(2)	<ul style="list-style-type: none"> - 어느 방법으로든 $0.4\sqrt{3} \text{ J}$을 바르게 답했으면 +2점 - 열에너지 값은 틀렸으나 어느 방법으로든 열에너지를 구하는 과정을 정성적으로 바르게 제시했으면 +1점 	2점

7. 예시 답안



(1) 도선이 경계면 위쪽 영역에 있을 때는 도선에 유도 전류가 발생하지 않는다. 도선이 경계면 아래쪽 영역에 진입하는 순간의 속도를 v_1 이라 하자. 그러면 다음과 같은 과정에 의해 도선이 등속도 운동을 할 수 있다.

- 유도 기전력 $(B_1 + B_2)av_1$ 발생 (렌츠 법칙 및 패러데이 법칙. 여기서 도선이 각도 θ 만큼 기울어진 효과는 $(B_1 + B_2)\cos\theta$ 와 $v_1/\cos\theta$ 로 나타나고, 이 둘의 곱에서 $\cos\theta$ 가 상쇄되어 유도 기전력이 θ 에 무관하게 됨)
- 유도 전류 $I = (B_1 + B_2)av_1/R$ (R : 도선의 저항)가 시계 방향으로 흐름
- 중력 mg , 위쪽 가로변에 작용하는 자기력 $F_{B1} = IaB_1$, 아래쪽 가로변에 작용하는 자기력 $F_{B2} = IaB_2$ 가 서로 상쇄되어 알짜힘이 0이 되면 등속도 운동을 하게 됨 (세로변에 작용하는 수평 방향의 자기력은 서로 상쇄됨)

$$mg = IaB_1 + IaB_2 \rightarrow v_1 = \frac{mgR}{(B_1 + B_2)^2 a^2} = 6 \text{ m/s}$$

등가속도 직선운동에 대한 공식 또는 역학적 에너지 보존의 법칙으로부터,

$$v_0 = \sqrt{v_1^2 - 2gh} = 4 \text{ m/s}$$

(2) 도선이 경계면 위쪽 영역에서 $g=10 \text{ m/s}^2$ 의 등가속도 직선운동을 할 때는 도선에 유도 전류가 발생하지 않으므로 열에너지가 발생하지 않는다. 반면, 도선이 경계면을 통과하며 등속도 운동을 하는 $b\cos\theta/v_1 = 0.1/\sqrt{3} \text{ s}$ 의 시간 동안에는 유도 전류에 의한 열에너지가 발생한다.

(방법1) 유도 기전력 6 V, 유도 전류 2 A가 발생하여 저항 3 Ω 에서 12 W의 전력이 소모되므로, $0.1/\sqrt{3} \text{ s}$ 동안 $12 \text{ W} \times 0.1/\sqrt{3} \text{ s} = 0.4\sqrt{3} \text{ J}$ 의 열에너지가 발생하였다.

(방법2) 등속도 운동 과정에서 운동 에너지는 변하지 않으면서 위치에너지가 $mgb\cos\theta = 0.4\sqrt{3} \text{ J}$ 만큼 감소하였으므로, 에너지 보존의 법칙에 의하여 이만큼의 에너지가 열에너지로 변환되었어야 한다.

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

균일한 자기장에 떨어지는 직사각형 도선이 등속 운동을 하면 도선이 받는 중력과 전자기력이 평형을 이루는 것이고, 등속 운동을 하는 동안에는 도선에 발생한 유도 기전력에 의해 저항에서 열에너지가 도선의 감소된 위치 에너지만큼 발생하게 된다. 패러데이 법칙, 전류가 흐르는 도선에 작용하는 자기력 등 물리 I, 물리 II 수준의 물리 개념을 활용하여 충분히 해결할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

[고등학교 물리교사 B]

균일한 두 자기장 영역에서 기울어진 직사각형 도선이 운동할 때, 패러데이 법칙과 자기력에 대한 이해를 바탕으로 유도 전류와 자기력의 세기를 구하고, 힘의 평형 관계와 에너지 보존을 이용해 초기 속력과 저항에서 발생하는 열에너지를 구하는 문제임. 물리 II 교과에서 학습한 내용을 이해하였고 문항에서 주어진 공간적인 조건들을 지각할 수 있다면 충분히 해결할 수 있는 문제이므로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.
