

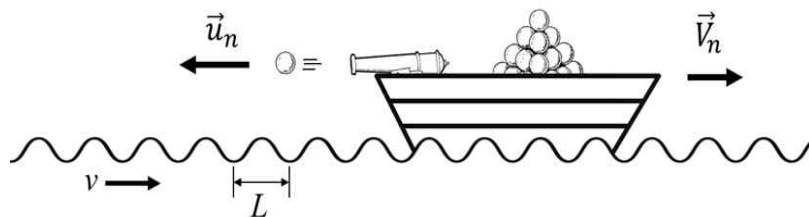
[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 5]

1. 일반정보

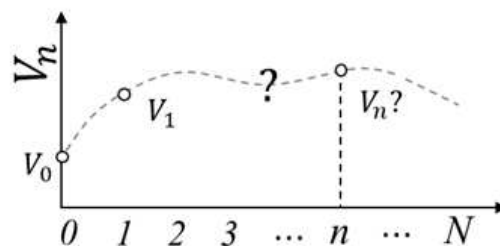
유형	☐ 논술고사 ☒ 면접 및 구술고사 ☐ 선다형고사	
전형명	일반전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제1	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리학 I, 물리학 II
	핵심개념 및 용어	운동량 보존, 상대 속도, 도플러 효과
예상 소요 시간	10분	

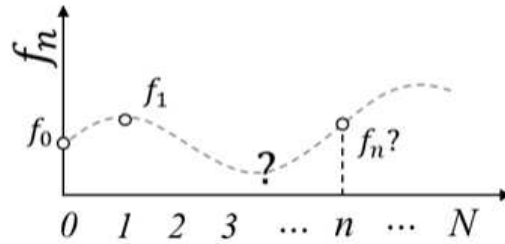
2. 문항 및 제시문

배에 질량이 m 인 포탄이 N 개 실려 있고 포탄을 제외한 배의 질량은 M 이다. 배는 물의 흐름이 없는 호수에서 수평 방향의 초기속력 V_0 로 등속직선운동을 하고 있다. 호수 밖의 정지해 있는 관찰자가 보기에, 수면에는 인접한 두 마루 사이의 거리가 L 이고 v 의 속력으로 움직이는 물결파가 배의 운동 방향과 같은 방향으로 진행하고 있다. ($v > V_0$ 라고 가정한다.) (총 5점)



1) 배의 운동 방향과 반대 방향으로 배에 대한 상대 속력 u 로 포탄을 하나씩 발사하자. 호수 밖의 정지해 있는 관찰자가 보기에, 발사된 포탄의 개수 n ($0 \leq n \leq N$)이 증가함에 따라 배의 속력(V_n)과 단위 시간당 배에 도달하는 물결파 마루의 개수(f_n)는 어떻게 변하는지 설명하라. 즉, n 에 따른 V_n 과 f_n 의 그래프의 형태와 중요한 특성을 정성적으로 설명하라. (단, 물결파는 배의 운동에 영향을 미치지 않으며, 포탄이나 배의 운동 역시 물결파에 영향을 미치지 않는다고 가정하자. 공기 저항 및 물의 저항도 무시하자.) (4점)





(2) 만약 포탄의 질량이 $m/2$ 이 되고 포탄의 개수가 $2N$ 이 되면, (1)에서와 같은 조건으로 포탄이 모두 발사된 후의 배의 최종속도는 (1)의 경우에 비해 늘어날지, 줄어들지, 아니면 변화가 없을지를 정성적으로 설명하라. (1점)

3. 출제 의도

- 운동량 보존, 상대 속도, 도플러 효과의 개념을 이해하고 문제의 해결단계에 이러한 개념을 적용할 수 있는지 평가한다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	물리Ⅰ, Ⅰ. 역학과 에너지- 1. 물체의 운동- 04. 운동량 보존 물리Ⅰ, Ⅰ. 역학과 에너지- 3. 시공간의 이해- 01. 특수 상대성 이론 물리Ⅱ, Ⅲ. 파동과 물질의 성질- 1. 전자기파와 통신- 02. 도플러 효과
	성취기준· 성취수준	[12물리Ⅰ 01-04] 물체의 1차원 충돌에서 충돌 전후의 운동량 보존을 이용하여 속력의 변화를 정량적으로 예측할 수 있다 [12물리Ⅰ 01-09] 모든 관성계에서 빛의 속도가 동일함을 알고 시간 지연, 길이 수축, 동시성과 관련된 현상을 설명할 수 있다
(2)	교육과정	물리Ⅰ, Ⅰ. 역학과 에너지- 1. 물체의 운동- 04. 운동량 보존 물리Ⅰ, Ⅰ. 역학과 에너지- 3. 시공간의 이해- 01. 특수 상대성 이론
	성취기준· 성취수준	[12물리Ⅰ 01-04] 물체의 1차원 충돌에서 충돌 전후의 운동량 보존을 이용하여 속력의 변화를 정량적으로 예측할 수 있다 [12물리Ⅰ 01-09] 모든 관성계에서 빛의 속도가 동일함을 알고 시간 지연, 길이 수축, 동시성과 관련된 현상을 설명할 수 있다 [12물리Ⅱ 03-02] 파원의 속도에 따라 파장이 달라짐을 이해하고, 활용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	물리학 I	김성진 외 6인	(주)미래엔	2020. 3. 1.	36, 73
	물리학 II	김성진 외 6인	(주)미래엔	2020. 3. 1.	168
	물리학 I	손정우 외 5인	(주)비상교육	2020.03.01	30, 66
기타	EBS 수능완성 (물리학 II)		한국교육방송공사	2020.06.16	90

5. 문항 해설

(1)번 문항은 외력이 작용하지 않는 배에서 내부에 실린 포탄을 일정한 상대 속도로 발사했을 때 증가하는 배의 속도 변화를 상대 속도와 운동량 보존 법칙을 이용하여 유도하여 해석하고, 관찰자의 입장인 배에 도달하는 물결파의 진동수가 변화함을 도플러 효과를 이용하여 유도하고 해석할 수 있는지 묻는 문항이다.

(2)번 문항은 질량이 절반인 포탄을 2배만큼 많은 횟수로 발사하는 새로운 조건을 기존 조건과 비교하여 해석하는 과정에서 상대 속도와 운동량 보존 법칙을 적절히 적용함으로써 새로운 조건에서 배의 최종 속도 변화를 해석할 수 있는지 묻는 문항이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	- $V_n - V_{n-1}$에 대한 식을 유도했으면 +1점 - 유도한 식을 이용하거나 운동량 보존의 개념을 이용하여, 속력 V_n이 점점 증가함을 설명했으면 +1점 - 배의 속력의 변화량 $V_n - V_{n-1}$이 점점 증가함을 설명했으면 +1점 (발사되는 포탄의 질량 대비 배와 남은 포탄의 질량의 비율이 점점 줄어듦. 따라서 비록 배가 받는 충격량(운동량 변화량)은 점점 줄어드나 배의 속력의 변화량은 점점 증가함) - 배가 물결파보다 느린 경우의 f_n의 변화 경향을 바르게 설명했으면 +0.5점 - 배가 물결파보다 빨라지는 경우까지 정성적으로 바르게 설명했으면 +0.5점 (f_n 그래프의 구체적인 모양은 중요하지 않으며 증가 및 감소만 잘 설명하면 됨)	4점
(2)	- 옳은 답과 함께 부분적으로라도 개념을 설명했다면 +0.5점 - 개념까지 바르게 설명했다면 +0.5점	1점

7. 예시 답안

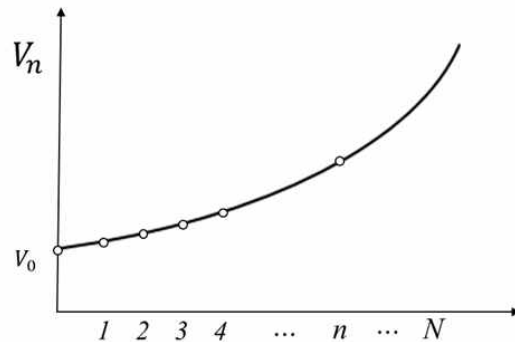
(1) n 번째 포탄을 발사하기 전과 후에 대하여 운동량 보존 법칙을 적용하면,

$$\{(N-n+1)m + M\} V_{n-1} = \{(N-n)m + M\} V_n + m u_n.$$

여기서 u_n 은 호수 밖의 정지해 있는 관찰자가 보기에 n 번째 포탄의 속력이다. 포탄의 배에 대한 상대속도가 $-u$ 이므로 $-u = u_n - V_{n-1}$. 두 식을 연립하여 u_n 을

$$\text{소거하면, } V_n - V_{n-1} = \frac{mu}{(N-n)m + M}.$$

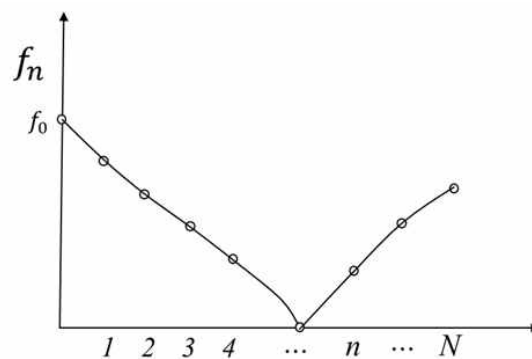
n 이 커짐에 따라 배의 속력(V_n)은 점점 증가하며($V_n > V_{n-1}$) 그 증가량($\Delta V_n = V_n - V_{n-1}$)도 증가함을 알 수 있다. 그래프로 나타내면 아래와 같이 기울기가 점점 커지는 증가함수로 표현된다.



단위 시간당 배에 도달하는 물결과 마루의 개수(f_n)는 도플러 효과에 의해 배의 속력(V_n)에 따라 다음과 같이 변한다.

$$f_n = f \left(1 - \frac{V_n}{v} \right)$$

(여기서 f 는 배가 정지해 있을 때의 단위 시간당 배에 도달하는 물결과 마루의 개수임) 따라서 n 이 증가함에 따라 V_n 이 증가하여 f_n 이 점점 작아지고, V_n 이 v 와 같아지면 f_n 이 0이 된다. V_n 이 v 보다 커지면, 배가 물결과를 추월하여 배의 앞부분에 물결과 마루가 닿게 될 것이고 f_n 은 다시 증가한다.



(2) m 과 N 이 각각 $1/2$ 배, 2 배인 (2)의 경우와 비교하여, (1)의 경우는 질량이 $m/2$ 인 포탄을 한 번에 2 개씩 쏘는 것과 마찬가지이다. (2)의 경우와 같이 포탄 2 개를 1 개씩 차례로 쏘면 두 번째 포탄의 속력이 첫 번째 포탄보다 감소하여(배에 대한 포탄의 상대속도는 일정한데 배의 속력이 증가해 있음) 배에 가해지는 충격량이 작아 배의 속력을 증가시키는 효과가 줄어든다. 따라서 (2)에서의 최종 속도는 (1)의 경우보다 줄어든다.

참고로 이를 수식으로 기술하자면, 예를 들어 (1)에서 첫 번째 포탄(질량 m)을 발사한 후 배의 속력 변화는

$$V_1 - V_0 = \frac{mu}{(N-1)m + M} = \frac{(m/2)u}{(N-1)m + M} + \frac{(m/2)u}{(N-1)m + M}$$

반면에 (2)에서 첫 번째 및 두 번째 포탄(각각 질량 $m/2$)을 발사한 후 배의 속력 변화는

$$\begin{aligned} V_2 - V_0 &= (V_2 - V_1) + (V_1 - V_0) \\ &= \frac{(m/2)u}{(2N-2)(m/2) + M} + \frac{(m/2)u}{(2N-1)(m/2) + M} = \frac{(m/2)u}{(N-1)m + M} + \frac{(m/2)u}{(N-1/2)m + M} \end{aligned}$$

두 경우의 첫 항은 같으므로, 두 번째 항을 비교하면,

$$\frac{(m/2)u}{(N-1)m + M} \geq \frac{(m/2)u}{(N-1/2)m + M}$$

즉, (1) $m \times 1$ 발 속도증가 $\geq$ (2) $m/2 \times 2$ 발 속도증가

따라서 (1)의 경우가 배의 속력이 더 많이 증가한다.

(위 식에서 보듯, (2)의 경우에는 질량 $m/2$ 인 포탄 첫발을 발사 직후, 남아있는 포탄의 질량이 $(N-1/2)m$ 인데 비하여, (1)의 경우에는 질량 $m/2$ 인 포탄 두 발을 한꺼번에 발사하므로 남아있는 포탄의 질량이 $(N-1)m$ 으로 (2)에 비해 조금 더 작다. 따라서, (1)의 경우에 포탄 발사로 인한 속력의 증가가 더 크다.)

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

물리학 I의 운동량 보존 법칙을 이용하여 n 번째 포탄을 발사하기 전과 후의 운동량 관계식을 기술하고, 물리학 I의 상대 속도 개념을 적용함으로써 배의 속도 변화를 유도하여 해석할 수 있다. 또한 배에 도달하는 물결과 진동수의 변화를 물리학 I의 도플러 효과를 적용하여 기술하고 해석할 수 있으며, 질량과 발사 횟수가 달라지는 새로운 상황도 기존 조건과 비교함에 있어 고교 교육과정에서 다루는 상대 속도, 운동량 보존 법칙으로 충분히 해결할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

[고등학교 물리교사 B]

1차원 충돌에서 충돌 전·후의 운동량 보존 법칙과 상대 속도 개념, 도플러 효과를 명확하게 이해하고 있는 학생이라면 배의 속력과 단위 시간 당 배에 도달하는 물결과 마루를 계산하는 것을 쉽게 해결할 수 있을 것이라고 사료됨. 또한, 포탄을 발사함에 따라 포탄의 최종 속력을 상대 속도와 운동량 보존 법칙만으로도 쉽게 해결할 수 있기 때문에 교과에서 학습한 내용을 충실하게 이해한 학생은 주어진 시간 안에 충분히 해결할 수 있다고 판단됨. 따라서 이 문항은 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.

〈 유사 기출 문제 〉	
유사문제	(주)미래엔 출판사 물리I p37 예시
근거	두 사람이 서로 밀어내어 분리되는 경우 운동량 보존 법칙 적용의 예가 배에서 포탄을 던졌을 때와 유사한 상황으로 볼 수 있다.

〈 유사 기출 문제 〉	
유사문제	2020학년도 대수능 13번 문항
근거	음원과 음파 측정기가 운동할 때 도플러 효과에 의한 진동수의 변화로부터 속력을 구하는 유사 문제로서 운동하는 배에 도달하는 물결파의 진동수를 도플러 효과를 적용하여 유도하는 상황과 유사하다고 볼 수 있다.

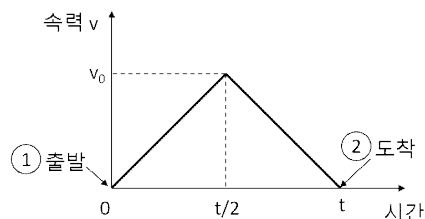
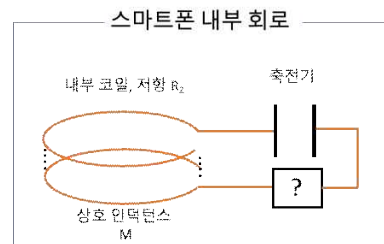
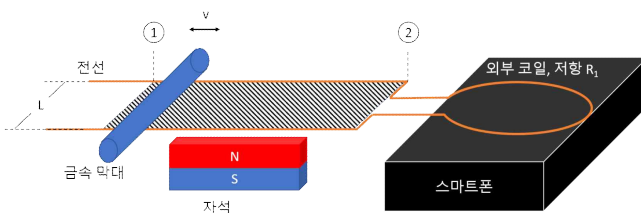
[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 6]

1. 일반정보

유형	☐ 논술고사 ☒ 면접 및 구술고사 ☐ 선다형고사	
전형명	일반전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제2	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리학 I, 물리학 II
	핵심개념 및 용어	다이오드, 유도 기전력, 상호 유도, 전기 에너지
예상 소요 시간	10분	

2. 문항 및 제시문

당신은 등산하다가 깊은 숲에서 조난을 당했고, 구조 요청을 해야 하는데 스마트폰 배터리가 완전히 방전되었다. 다행히 무선 충전이 가능한 스마트폰이라 아래 그림과 같이 자석, 전선, 금속 막대를 이용하여 충전하려고 한다. 세기 B의 균일한 자기장이 폭이 L인 빗금 친 면을 수직하게 통과하게 하고, 금속 막대를 다음과 같이 두 지점 ①과 ② 사이를 반복해서 왕복운동하게 하자. 그래프와 같이 지점 ①을 정지상태에서 출발하여 중간지점까지는 $t/2$ 의 시간 동안 속력이 v_0 까지 증가하는 등가속도 운동을, 중간지점에서 지점 ②까지는 $t/2$ 의 시간 동안 속력이 v_0 에서 0으로 감소하는 등가속도 운동을 하게 한다. 지점 ②에서 지점 ①로 돌아올 때도 같은 방식으로 움직이게 하고, 여기까지의 운동을 ‘왕복운동 1회’ 라고 부르자. 외부 코일의 저항은 R_1 , 내부 코일의 저항은 R_2 이며 다른 전선의 저항은 무시하자. (외부 코일의 모든 자기장이 스마트폰 내부의 코일을 통과한다고 가정하자.) (총 5점)



- (1) 스마트폰이 충전되기 위해서는 스마트폰 내부의 코일에 유도되는 전압의 크기가 V_2 이어야 한다고 한다. 스마트폰 내부 코일의 상호 인덕턴스가 M 일 때, 금속 막대의 최대속력 v_0 는 얼마가 되어야 하는가? (3점)
- (2) 외부 코일로부터 전달된 전기 에너지가 스마트폰 내부의 축전기에 저장되기 위해서는 내부 회로도의 물음표 상자에 무엇이 들어가야 하는가? (스마트폰 내부 회로도에서 축전기가 배터리의 역할을 하여 에너지를 저장하며, 회로도에 나타난 배선 이외의 추가 배선 및 전원 장치는 없다) 또한, 축전기에 전기 에너지 W 를 충전하려면 금속 막대는 왕복운동을 몇 회 해야 하는가? (저항에서 열에너지로의 변환은 무시할 수 있다고 가정하자) (2점)

3. 출제 의도

- 분석적 사고를 통해 상황을 분석하고 여러 필요 지식을 선별 및 활용하여 해답을 도출할 수 있는가를 평가한다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예) 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	물리학II - 역학적 상호 작용(등가속도 운동) 물리학II - 전자기장 (전자기유도/상호유도)
	성취기준·성취수준	[12물리II01-03] 평면상의 등가속도 운동에서 물체의 속도와 위치를 정량적으로 예측할 수 있다. [12물리II02-07] 자기선속이 시간에 따라 변화할 때 유도 기전력이 회로에 유도되는 현상에서 기전력의 크기를 구할 수 있다. [12물리II02-08] 상호유도를 이해하고, 활용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.
(2)	교육과정	물리학I - 물질과 전자기장(다이오드) 물리학II - 전자기장(축전기/전기 에너지)
	성취기준·성취수준	[12물리I 02-04] 종류가 다른 원소를 이용하여 반도체 소자를 만들 수 있음을 다이오드를 이용하여 설명할 수 있다. [12물리II02-03] 직류 회로에서 저항의 연결에 따른 전류와 전위차 및 저항에서 소모되는 전기 에너지를 구할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	물리학I	손정우 외 5명	비상교육	2020	106~107
	물리학II	손정우 외 5명	비상교육	2020	22~27, 125, 128~129, 98~101
기타					

5. 문항 해설

(1)번 문항은 코일을 통과하는 자속의 변화에 의해 발생하는 유도 기전력을 정량적으로 기술하고, 2차 코일에 발생한 유도 기전력은 1차 코일에 흐르는 전류의 시간적 변화에 비례한다는 상호 유도의 개념을 적용할 수 있는지를 평가하는 문항이다.
(2)번 문항은 pn접합 다이오드의 정류 작용을 이해하고 축전기에 저장된 전기 에너지를 구할 수 있는지 평가하는 문항이다.

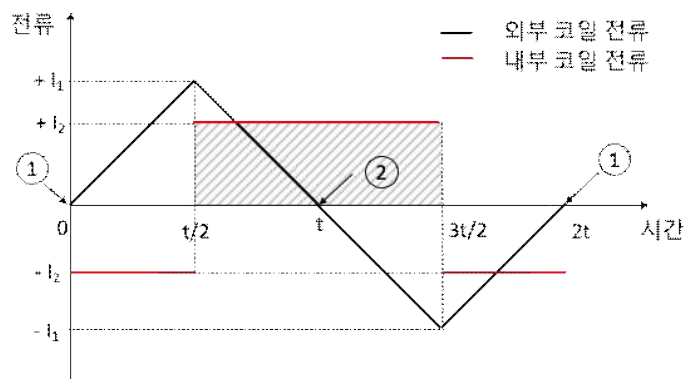
6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	- 유도 기전력 $V_1 = BLv$이 외부 코일에 걸림을 설명했으면 <u>+1점</u> - 내부 코일에 전압 V_2가 유도되려면 단위 시간당 전류 변화 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -\frac{V_2}{M}$가 필요함을 설명했으면 <u>+1점</u> - 최대속력이 $v_0 = \frac{tR_1 V_2}{2MBL}$임을 구했으면 <u>+1점</u>	3점
(2)	- 내부 코일에 흐르는 전류의 방향이 계속 바뀌므로 충전을 위해서는 정류 작용을 해주는 다이오드가 필요하다고 설명했으면 <u>+1점</u> - 왕복운동 1회당 충전되는 전기 에너지 $W_1 = P_2 t = V_2 I_2 t = \frac{(V_2)^2 t}{R_2}$와 필요한 총 왕복운동 횟수 $N = \frac{W}{W_1} = \frac{WR_2}{(V_2)^2 t}$를 구했으면 <u>+1점</u>	2점

7. 예시 답안

(1) 내부 코일에 전압 V_2 가 유도되기 위해서는 (상호유도 관계식 $V_2 = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ 으로 부터) 외부 코일에 단위 시간당 전류 변화가 $\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = -\frac{V_2}{M}$ 만큼 있어야 한다. 외부 코일에 흐르는 전류 I_1 는 금속 막대의 운동으로 유발되는 유도기전력 $V_1 = BLv$ 로부터 발생하므로 $I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{BLv}{R_1}$ 이다. 이때, 필요 전압 V_2 를 유도하기 위해서는 금속 막대의 가속도의 크기가 $a = \left| \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| = \frac{R_1}{BL} \left| \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \right| = \frac{R_1 V_2}{MBL}$ 가 되어야 한다. 그러므로 $\frac{t}{2}$ 시점에서의 최대속력은 $v_0 = \frac{tR_1 V_2}{2MBL}$ 이다.

(2) 금속 막대가 주어진 그래프의 속도로 왕복운동을 하면, 외부 코일과 내부 코일에는 각각 전류가 아래와 같이 흐르게 된다.



이때 $I_2 = \frac{V_2}{R_2}$ 이다. 축전기에 전기 에너지가 충전되기 위해서는 일정한 방향으로 전류가 흘러야 하므로 물음표 상자에는 정류 작용을 할 수 있는 p-n접합 다이오드 또는 트랜지스터가 필요하다. 문제에서 추가 배선 및 전원 장치가 없다고 하였으므로 트랜지스터는 적용이 안 되고, p-n접합 다이오드만 사용 가능하다.

정류 후, 1회 왕복운동으로 축전기에 축적되는 전기 에너지는 $W_1 = P_2 t = V_2 I_2 t = \frac{(V_2)^2 t}{R_2}$ (빗금 영역)이며, 전기 에너지 W 를 축적하기 위해서는 왕복운동을 $N = \frac{W}{W_1} = \frac{WR_2}{(V_2)^2 t}$ 회 반복해야 한다.

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

균일한 자기장에 수직으로 놓인 ㄷ자형 도선 위를 도체 막대가 운동할 때 회로에 흐르는 전류를 전자기 유도 법칙으로 구하고, ㄷ자형 도선과 연결된 외부 코일에 흐르는 전류의 시간적 변화에 따라 내부 코일에 발생하는 유도 기전력을 상호 유도의 개념을 활용해 정량적으로 구할 수 있다. 또 pn접합 다이오드의 정류 작용에 대해 이해하고 저항과 유도 기전력을 이용해 전기 에너지를 구할 수 있다. 고교 교육과정에서 pn접합 다이오드의 특징과 전자기 유도, 상호 유도의 개념을 활용하면 충분히 해결할 수 있는 문항으로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.

[고등학교 물리교사 B]

물리학II의 상호유도, 도선 내부 면적 변화에 의한 유도 기전력 내용을 적용하여 외부 코일에 흐르는 전류와 내부 코일에 유도되는 전압의 관계식을 구할 수 있으며, 등가속도 운동에서 가속도와 속도의 관계식을 적용함으로써 문제에서 주어진 기전력을 유도하기 위한 막대의 최대 속력을 유도할 수 있다. 또한 물리학I의 p-n 접합 다이오드, 물리학II의 축전기 개념으로 충전을 위해 정류작용이 가능한 p-n 접합 다이오드가 사용됨을 유추할 수 있으며, 물리학II의 전력 개념을 적용하여 충전하기 위한 왕복 운동 횟수를 구할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

< 유사 기출 문제 >

유사문제 비상출판사 물리학 II 전자기장 단원 연습문제 05번

근거

- 균일한 자기장 속에 놓여 있는 ㄷ자형 도선 위에서 금속 막대가 움직이는 문제의 상황이 유사함.

< 유사 기출 문제 >

유사문제 EBS 수능완성 물리학 II P83 05번

근거

- 1차 코일에 흐르는 전류와 2차 코일의 유도 기전력의 관계를 물어보는 문항으로 문제의 상황과 유사함

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 7]

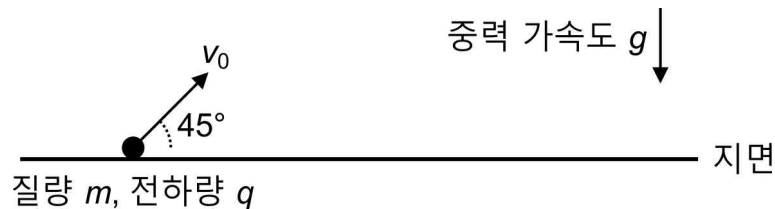
1. 일반정보

유형	☐ 논술고사 ☒ 면접 및 구술고사 ☐ 선다형고사	
전형명	학교장추천전형, 고른기회전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제1	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리학 I, 물리학 II
	핵심개념 및 용어	중력, 포물선 운동, 수평 도달 거리, 합력, 전기력
예상 소요 시간	10분	

2. 문항 및 제시문

그림과 같이 질량이 m 이고 전하량이 q ($q > 0$)인 물체를 지면에 대해 45° 각도로 v_0 의 속력으로 던진다. 이제 지면에 수직인 방향으로 균일한 전기장을 걸어서 물체의 수평 방향 이동 거리를 조절하려고 한다. 수평 방향 이동 거리가 전기장이 없는 경우의 3배가 되게 하려면 얼마의 전기장을 어느 방향으로 걸어 주어야 하는가? (단, 중력 가속도는 g 이며, 물체의 크기 및 공기 저항은 무시한다.)

(총 5점)



3. 출제 의도

- 속도, 가속도 등의 개념과 중력 및 전자기장 내에서의 물체의 운동을 잘 이해하고 있는지 점검한다.

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예) 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	물리학 II, I. 힘과 운동- 1. 시공간과 운동, 2. 힘 물리학 II, II. 전기와 자기-1. 전기
	성취기준· 성취수준	[12물리 II 01-01] 평면상에서 여러 가지 힘이 합성될 때 힘의 벡터를 이용하여 알짜힘을 구할 수 있다. [12물리 II 01-04] 뉴턴 운동 법칙을 이용하여 물체의 포물선 운동을 정량적으로 설명할 수 있다. [12물리 II 02-01] 정지한 전하 주위의 전기장을 정량적으로 구하고, 전기력선으 로 표현할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	물리학 II	손정우 외 5인	비상교육	2020	12-15, 22-31, 86-89
	물리학 II	김영민 외 7인	교학사	2019	12-19, 30-34, 95-102
기타	EBS 수능완성 (물리학 II)		한국교육방송공사	2020	12-19, 46-53

5. 문항 해설

중력장 내에서 비스듬히 위로 던져 올린 물체의 포물선 운동을 이용하여 수평 방향 이동 거리를 구하는 문제 상황에서, 균일한 전기장을 추가로 걸어 줌으로써 변화된 수평 방향 이동 거리를 통해 걸어 준 전기장의 크기와 방향을 구할 수 있는지 묻는 문항이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
없음	- “수평 방향으로는 전기장에 상관없이 물체는 같은 속력의 등속도 운동을 하여, 수평 방향 이동 거리는 체공 시간에 비례함” 을 알고 활용했으면 +1점 - 체공 시간이 가속도에 반비례한다는 식(예: $t = \frac{\sqrt{2}v_0}{g}$)을 얻었으면 +1점 - “수평 방향 이동 거리가 전기장이 없는 경우의 3배가 되게 하려면, 체공 시간을 3배로 만들면 되고, 이를 위해서는 가속도가 연직 아래 방향으로 $g/3$가 되도록 전기장을 걸면 된다” 는 아이디어를 갖고 문제를 풀려고 했으면 +1점 - 물체가 양전하를 띠고 있으므로($q > 0$) 전기장을 연직 위 방향으로 걸어야 한다고 답했으면 +1점 - 전기장의 크기가 $E = \frac{2mg}{3q}$임을 구했으면 +1점	5점

7. 예시 답안

초기 속도의 수평 성분과 수직 성분은 모두 $v_{0x} = v_{0y} = v_0 \sin 45^\circ = \frac{v_0}{\sqrt{2}}$ 이다. 전기장을 지면에 수직인 방향으로 걸므로, 수평 방향으로는 전기장이 있든 없든 상관없이 물체는 동일한 속력 $v_{0x} = v_0/\sqrt{2}$ 의 등속도 운동을 하고, 따라서 수평 방향 이동 거리는 체공 시간 t 에 비례한다.

- 전기장이 없는 경우: 물체는 수직 방향으로는 연직 아래 방향으로의 가속도 g 로 등가속도 운동을 한다. (또한, 물체가 던져진 후 다시 지면에 도달했을 때의 속도의 수직 성분은 $-v_{0y} = -v_0/\sqrt{2}$ 이다.) $v_y = v_{0y} - gt = 0$ 로부터 최고점까지의 도달시간은 $t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0}{\sqrt{2}g}$ 이고, 따라서 체공시간은 이의 두배인 $\frac{\sqrt{2}v_0}{g}$ 이다.
- 지면에 수직인 방향으로 전기장 E 가 걸린 경우: 힘의 방정식이 $F = ma = -mg + qE$ 가 되어, 물체는 지면에 수직인 방향으로 여전히 등가속도 운동을 하지만 가속도가 $a = -g + \frac{qE}{m}$ 로 바뀐다. 그리고 위에서 얻은 식 $t = \frac{\sqrt{2}v_0}{g}$ 으로부터 체공 시간 t 는 연직 아래 방향의 가속도($-a$)에 반비례함을 알 수 있다.

따라서 수평 방향 이동 거리가 전기장이 없는 경우의 3배가 되게 하려면, 체공 시간 t 를 3배로 만들면 되고, 이를 위해서는 가속도가 연직 아래 방향으로 $\frac{g}{3}$ 가 되도록 전기장을 걸면 된다. 즉,

$$a = -g + \frac{qE}{m} = -\frac{g}{3} \quad \rightarrow \quad E = \frac{2mg}{3q}$$

물체가 양전하를 띠고 있으므로 ($q > 0$), 연직 위 방향으로 전기장을 걸어야 한다.

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

물리학 I 과 물리학 II에서 다루는 개념(중력장 내에서의 운동, 수평 도달 거리, 합력, 전기력 등)을 함께 적용하여 해결할 수 있는 문제로, 고등학교 교육과정을 충실히 이수하고 상기 개념을 정확하게 이해하고 응용할 수 있는 능력을 갖춘 학생이라면 주어진 시간 안에 해결 방안을 찾을 수 있을 것이라고 사료 됨. 많이 노출된 소재이지만, 등가속도 운동과 힘의 합성, 전기장 및 전기력 등을 통합적으로 사고하는 능력을 확인하는 것으로 고등학교 교육과정 내에서 적합하게 출제됨.

[고등학교 물리교사 B]

물리학 II의 중력과 전기장, 전하에 작용하는 전기력의 개념을 적용하여 지면에 수직인 방향의 가속도를 유도하고, 이를 통해 비스듬히 위로 던진 물체의 운동에서 수평이동거리 관계식을 유도함으로써 해당 문제에서 요구하는 조건을 만족하는 전기장의 세기와 방향을 충분히 구할 수 있는 문항이므로 고교 교육과정을 벗어나지 않았다.

〈 유사 기출 문제 〉	
유사문제	예) 2020학년도 EBS수능완성 물리 II 06. 전기장과 정전기 유도 수능 3점 테스트 6번
근거	전하량 q, 질량 m인 입자가 지면 및 균일한 전기장에 놓여 있는 문제 상황이 매우 유사하며, 전기장을 걸어 주었을 때 수평 도달 거리가 $\frac{1}{3}$배로 감소한다는 점과 전기장의 크기와 방향이 아닌 전위차를 묻고 있다는 점에서 차이가 있음.

[한국과학기술원(KAIST) 문항정보 8]

1. 일반정보

유형	☐ 논술고사 ☒ 면접 및 구술고사 ☐ 선다형고사	
전형명	학교장추천전형, 고른기회전형	
해당 대학의 계열(과목) / 문항번호	자연계열(물리) / 문제2	
출제 범위	과학과 교육과정 과목명	물리학 I, 물리학 II
	핵심개념 및 용어	회절, 전자기파, 광자의 에너지
예상 소요 시간	10분	

2. 문항 및 제시문

5G 통신은 LTE 통신보다 높은 주파수의 전자기파를 이용하고 넓은 주파수 대역을 사용하여 더 빠른 무선통신을 제공하는 것으로 알려져 있다. (총 5점)

- (1) 5G 통신은 LTE 통신에 비하여 기지국 안테나의 크기를 작게 할 수 있는 장점이 있지만, 전자기파가 건물과 같은 사물에 가려질 경우 수신이 나빠지는 단점이 있다고 한다. 이러한 장점과 단점의 이유를 설명해 보라. (2점)
- (2) 감마선과 같이 에너지가 높은 전자기파는 원자로부터 전자를 유리(전리)시켜 DNA를 손상시키는 작용을 할 수 있다. 5G 통신에 50 W 출력을 가지는 3.5 GHz 주파수의 전자기파가 사용된다고 할 때, 이러한 전자기파가 DNA를 손상시킬 수 있는 위험도는 어느 정도인가? 이온화 에너지가 다른 원자들에 비해 낮은 것으로 알려진 세슘 원자의 이온화 에너지는 6.2×10^{-19} J이다. (플랑크 상수는 $h=6.6 \times 10^{-34}$ kg · m²/s이다.) (1.5점)
- (3) 전자기파는 물체에 흡수될 때 열에너지로 전환될 수 있다. 기지국으로부터 50W의 전자기파가 발생하여 모든 방향으로 고르게 퍼져나간다. 기지국으로부터 5m 떨어진 곳에서 전자기파가 전달할 수 있는 최대 열에너지를 지표면에서의 태양 복사에너지와 비교해 보라. (맑은 날 1 m²의 지표면에 한 시간 동안 약 3600 kJ의 태양 복사에너지가 도달한다.) (1.5점)

3. 출제 의도

- 전자기파의 성질에 대해 종합적인 이해가 있는지 평가

4. 출제 근거

가) 교육과정 및 관련 성취기준

적용 교육과정		예) 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9] “과학과 교육과정”
문항 및 제시문		학습내용 성취 기준
(1)	교육과정	물리학II 파동과 물질의 성질(회절)
	성취기준·성취수준	[12물리II03-01] 전자기파의 간섭과 회절을 이해하고 이와 관련된 다양한 예를 조사하여 설명할 수 있다.
(2)	교육과정	물리학I 물질과 전자기장(에너지 준위) 물리학II 파동과 물질의 성질(빛의 입자성)
	성취기준·성취수준	[12물리I02-01] 전자가 원자에 속박되어 있음을 전기력을 이용하여 정성적으로 설명할 수 있다. [12물리II03-06] 광전 효과 실험을 근거로 빛의 입자성을 설명할 수 있다.
(3)	교육과정	물리학I 파동과 정보통신(파동의 발생) 물리학II 전자기장(전기에너지)
	성취기준·성취수준	[12물리I03-01] 파동의 진동수, 파장, 속력 사이의 관계를 알고 매질에 따라 파동의 속력이 다른 것을 활용한 예를 설명할 수 있다. [12물리II02-03] 직류 회로에서 저항의 연결에 따른 전류와 전위차 및 저항에서 소모되는 전기 에너지를 구할 수 있다.

나) 자료 출처

참고자료	도서명	저자	발행처	발행년도	쪽수
고등학교 교과서	물리학I	손정우 외 5명	비상교육	2020	94, 142
	물리학II	손정우 외 5명	비상교육	2020	147, 156, 174,
기타					

5. 문항 해설

(1)번 문항은 전자기파의 파동성을 이해하여 진동수와 파장이 반비례한다는 성질을 이용하여 진동수에 따른 전자기파의 회절 정도를 설명하고, 전자기파의 수신 과정에서 파장이 작은 경우 적절한 안테나의 크기를 유추해 설명하는 문항이다. (2)번 문항은 전자기파의 입자성을 이해하고 광자의 에너지를 정량적으로 구해 세슘의 이온화 에너지와 비교하는 문항이다. (3)번 문항은 에너지 손실 없이 전자기파가 공간으로 퍼져 나갈 때 단위 면적당 단위 시간당 에너지를 구해 태양 복사에너지와 비교하는 문항이다.

6. 채점 기준

하위 문항	채점 기준	배점
(1)	- 5G 통신의 장점을 설명할 때, 주파수와 파장의 관계를 바르게 설명했으면 +1점 - 5G 통신의 단점을 설명할 때, 파장의 길이와 회절의 정도를 바르게 설명했으면 +1점	2점
(2)	- 광자 에너지가 세슘 원자의 이온화 에너지보다도 훨씬 낮으므로 전자기파가 원자를 이온화시켜 DNA를 손상시킬 가능성이 극히 낮다고 답했으면 +1점 - 50W (빛의 파동성)가 아닌 광자 에너지 hf (빛의 입자성)를 고려해야 하는 이유를 설명했으면 +0.5점	1.5점
(3)	- 기지국으로부터 5 m 떨어진 곳에서 전자기파가 전달할 수 있는 최대 열 에너지 0.16 W/m²를 구했으면 +1점 - 지표면에서의 태양 복사에너지를 구해서, 기지국으로부터 전달받을 수 있는 열에너지가 태양 복사에너지보다 매우 적다고 답했으면 +0.5점	1.5점

7. 예시 답안

(1) **장점**: 전자기파의 진동수와 파장은 서로 반비례하는 관계가 있다. 5G 통신은 이용되는 전자기파의 주파수가 높아 파장이 짧으므로 전자기파를 송수신하는 장치(안테나 등)의 크기가 파장의 길이에 비례하여 작아질 수 있다.

단점: 5G 통신은 전자기파의 파장이 짧아 회절을 적게 하므로(즉, 직진성이 강하므로), 건물이나 사물의 너머에 수신 기기가 있으면 전파가 도달하지 못하는 영역이 더 커져 수신이 나빠진다.

(2) 전자기파는 입자성과 파동성을 동시에 갖는다. 전자기파가 원자 내 전자와 상호작용할 때는 파동 에너지가 누적되어 전자가 원자로부터 분리되는 것이 아니라, 입자성에 의한 광자 에너지 $hf = (6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \times (3.5 \times 10^9 \text{ Hz}) = 2.3 \times 10^{-24} \text{ J}$ 를 고려해야 한다. 이 광자 에너지는 세슘 원자의 이온화 에너지 $6.2 \times 10^{-19} \text{ J}$ 보다도 훨씬 작으므로, 5G 통신에 이용되는 전자기파는 원자를 이온화시켜 DNA를 손상시킬 가능성이 극히 낮아 안전하다고 할 수 있다.

(3) 전자기파 에너지가 보존되어야 하므로, 전자기파의 에너지가 모든 방향으로 고르게 퍼져나간다면, 기지국으로부터 5m 떨어진 곳에서 단위 면적(1 m²)당 전달되는 전자기파의 전력은 $\frac{P}{4\pi R^2} = \frac{(50 \text{ W})}{4\pi \times (5 \text{ m})^2} \simeq 0.16 \text{ W/m}^2$ 이고, 이것이 단위 시간 동안 전자기파가 단위 면적당 전달할 수 있는 최대 열에너지이다. 그리고 지표면에서 단위 시간 동안 단위 면적당 전달되는 태양 복사에너지는 $\frac{3600 \text{ kJ/m}^2}{3600 \text{ s}} = 1 \text{ kW/m}^2$ 이다. 따라서 기지국으로부터 전달받을 수 있는 열에너지는 태양 복사에너지보다 매우 작다.

8. 총 평

[고등학교 물리교사 A]

빛의 속력이 일정하다는 사실로부터 5G 통신과 LTE 통신에서 사용하는 전자기파 파장을 비교할 수 있다. 이를 통해 파장이 작은 5G 통신이 직진성이 강하고 안테나의 크기가 파장에 비례한다는 사실로 부터 수신 안테나의 크기가 작음을 정성적으로 설명할 수 있다. 전자와 상호작용하는 전자기파는 입자로 다루며 광자의 개념을 도입해 에너지를 구할 수 있다. 또 전자기파가 공간으로 고르게 퍼져나가는 경우 에너지 보존의 개념을 활용해 단위 면적당 단위 시간당 에너지를 구할 수 있다. 고교 교육과정에서 다루는 파동의 발생과 회절, 광자의 에너지 개념을 활용하면 충분히 해결할 수 있는 문항이므로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어려움.

[고등학교 물리교사 B]

물리학 I의 광속 불변의 법칙과 파동의 속력, 진동수, 파장의 관계식을 활용하여 5G통신의 경우 LTE 보다 더 작은 파장을 가진 전자기파를 발생함을 알 수 있으며, 이를 통해 송수신 장치가 더 작을 수 있음을 유추할 수 있다. 또한 물리학II의 전자기파 회절에서 파장이 짧을 수록 회절을 적게 하는 개념을 적용함으로써 건물 너머에서 수신이 어려운 단점을 설명할 수 있다. 또한 물리학II의 빛의 입자성 단원에서 광자의 에너지 관계식을 통해 세슘의 이온화 에너지 보다 광자 에너지가 훨씬 작음을 알 수 있으며, 물리학II의 전력 개념을 통해 단위 면적당 전력을 구하여 주어진 태양 복사에너지의 경우와 비교할 수 있다. 이와 같이 본 문항은 고교 교육과정의 개념을 이용하여 충분히 해결할 수 있으므로 선행학습을 유발하는 문제로 보기 어렵다.

〈 유사 기출 문제 〉	
유사문제	천재교육 물리학I 파동과 물질의 성질 단원 P199 7번
근거	파장이 긴 전파와 짧은 전파가 무선 통신에서 지닌 장점을 설명하는 문제와 상황이 유사함.