

두 날 개



김보석 지음

여러분, 그리고 이 책

먼저 물리학Ⅱ라는 과목에 도전하는 여러분께 진심 어린 박수를 보냅니다.

주변의 만류와 수많은 유혹 속에서도 한 길을 선택해 끝까지 나아간다는 것은 결코 쉬운 일이 아닙니다. 여러분 각자의 목표를 마음에 품고, 꾸준한 노력으로 마지막 결승선까지 완주하시기를 진심으로 응원합니다.

이전 교육과정의 물리Ⅱ를 공부하며 늘 아쉬웠던 점은, 참고할 수 있는 자료가 지나치게 부족하다는 것이었습니다. 기출문제집조차 쉽게 구할 수 없던 환경에서 공부해야 했던 경험은, 이 과목을 선택한 학생들에게 적지 않은 부담이었습니다.

현행 교육과정으로 개편된 이후 콘텐츠의 양은 이전보다 다소 늘어났지만, 여전히 다른 탐구 과목들과 비교하면 자료가 충분하다고 말하기는 어렵습니다.

이 책 「두날개」가 그러한 물리학Ⅱ의 콘텐츠 부족을 조금이나마 해소해 줄 수 있는 자료가 되기를 바랍니다.

첫째, 책의 제목 그대로 이 책이 여러분의 물리학Ⅱ 학습을 한 단계 더 끌어올려 줄 ‘두 날개’가 되었으면 합니다.

이 책은 수능 원년도부터 2026학년도 수능까지의 모든 물리학Ⅱ 기출문제를 중심으로

이전 교육과정 물리Ⅰ에서 현 교육과정 물리학Ⅱ로 편입된 단원의 문제, 그리고 더 깊이 있는 사고에 도전하고자 하는 학생들을 위한 PEET 기출문제로 구성되어 있습니다. 또한 현 교육과정에서 새롭게 등장한 개념에 대해서는 자체 제작 문항과 고등과학 문항을 함께 수록하였습니다.

물리학은 개념을 완전히 숙지한 뒤 그 개념에 대한 확신을 바탕으로 문제와 연결하는 과정이 중요합니다.

개념에 대한 확신에서 문제와의 연결로 이어지게끔 하고, 천천히 차근차근 집중하며 푸는 버릇이 실전에서의 속도감으로 이어질 것입니다.

이번 두날개는 개정 물리학Ⅱ 교육과정을 반영한 여섯 번째 개정판이자 교육과정 개편으로 인해 물리학Ⅱ로 뮌게되는 마지막 두날개로, 범위 내 문항 선별과 검증을 위해 검토진과 함께 많은 노력을 기울였습니다.

이 책이 여러분의 학습에 실질적인 도움이 되기를 바랍니다.

둘째, 단순한 양치기에 의존하는 물리가 아니라 생각하는 힘을 기르는 물리가 되기를 바랍니다.

두날개의 첫 집필 의도 역시 콘텐츠가 부족한 물리Ⅱ 영역에서 충분한 연습량을 제공하자는 것이었지만, 문제의 양보다 더 중요한 것은 문제를 대하는 태도라고 생각합니다.

‘왜 이런 현상이 나타나는가’, ‘왜 이 개념이 필요한가’라는 질문을 던지며 과학적 표현을 관찰하고 인과관계를 이해하는 과정이 물리적 사고력을 키워줍니다.

따라서 기출문제 분석을 시작하기 전, 적어도 개념 단계에서는

‘왜’라는 질문이 남아 있지 않은 상태에 이르기를 권합니다.

또한 틀린 문제를 복기할 때에는

단순히 풀이 과정을 이해하는 데서 그치지 말고,

왜 그 순간 필요한 개념을 떠올리지 못했는지까지 반드시 점검하고 넘어가시기 바랍니다.

셋째로, 이 책을 집필하며 가장 드리고 싶었던 이야기입니다.

투과목 선택 하나는 여러분이 고3이든, N수생이든 그동안 쌓아 온 노력을 한순간에 무너뜨릴 수 있습니다. 따라서 자신의 현재 위치를 감정이 아닌 현실적인 지표로 냉정하게 판단하는 일이 무엇보다 중요합니다. 물리학Ⅱ는 매년 응시자 수가 5천 명 내외에 불과한 비교적 작은 표본 안에서 등급이 결정됩니다. 이 표본은 단순히 ‘적다’는 의미를 넘어, 대부분이 물리에 대한 이해도가 높고 문제 해결 경험이 풍부한 학생들로 구성되어 있다는 점에서 다른 I 유형의 탐구 과목과는 다른 성격을 가집니다. 실제로 2016학년도 수능에서 발생한 2등급 증발 사태, 3점 문항 하나의 실수로 등급이 같았던 여러 해의 사례, 원점수 48점 또는 50점이 1등급 컷이었던 수능 결과들은 물리학Ⅱ가 난이도와 무관하게 ‘만점 아니면 위험한 과목’임을 분명히 보여 줍니다. 즉, 물리학Ⅱ에서는 ‘어렵게 나와서 모두가 틀리길 기대하는 전략’이나 ‘한두 문제 실수는 감안해도 된다’는 생각이 통계적으로 거의 성립하지 않습니다. 특히 대학별 환산 점수 0.1점 차이로 합격과 불합격이 갈리는 상위권 입시에서는 잘못된 탐구 선택 하나가 수년간의 학습, 시간, 비용, 그리고 한 해의 인생을 통째로 흔들 수 있습니다. 부족함을 인지하고 I 과목으로 전환하는 선택은 실패가 아닙니다. 그것은 더 안정적인 전략을 택하는 용기 있는 판단이며, 원하는 대학과 학과에 도달하기 위한 또 하나의 현실적인 길입니다. 더 나아가, 2024학년도 입시부터 서울대학교와 한국과학기술원에서 과학탐구 II 과목 필수 응시가 폐지되면서, 투과목 선택으로 얻을 수 있는 3점 또는 5점의 조정 점수보다 최악의 컨디션 속에서도 만점을 만들어 낼 수 있는 I 과목 실력이 입시 전체에서 더 큰 안정성을 제공하는 경우도 많아졌습니다.

그리고, 마지막으로 물리학Ⅱ 수험생분들에게

2027학년도 수능은 물리학Ⅱ라는 이름으로 시험을 치르는 마지막 해입니다. 오랜 시간 유지되어 온 과목이 역사 속으로 사라지는 시점에서, 이 과목을 선택한 여러분은 분명 쉽지 않은 길을 택한 사람들입니다. 누군가는 비효율적이라 말하고, 누군가는 굳이 감수할 필요 없는 위험이라 말하겠지만, 그럼에도 불구하고 물리학Ⅱ를 끝까지 선택하고 도전한 여러분의 결정에는 분명한 각오와 책임, 그리고 자부심이 담겨 있다고 믿습니다. 이 책 두날개가 물리학Ⅱ의 마지막 수험생들에게 기출을 가장 효율적으로 정리하고, 한 문제, 한 개념이라도 더 정확하게 다듬을 수 있는 작은 디딤돌이 되기를 바랍니다.

끝으로 출판 전 항상 응원과 좋은 말씀을 해주신 분들, 그리고 작년 두날개의 오타자에 대해 지적해주시고 조언해주신 분들께 다시 한번 감사드립니다. 또한 이제 막 고3이 되거나, 더 좋은 결과를 얻기 위해 다시 도전하는 학생들, 또는 현장에서 학생들을 가르치는 선생님들, 위에서 말씀드린 모든 난관을 뒤로한 채 물리학Ⅱ에 도전하는 이 책을 보는 모든 분들에게 다시 한번 박수와 감사의 말씀을 드립니다. 우리의 목표는 단순한 1등급이 아니라 만점입니다. 이 책이 이름 그대로 물리학Ⅱ 만점을 향해 나아가는 여러분의 발걸음에 두 개의 날개를 달아줄 수 있다면, 저자로서 그보다 더 큰 보람은 없을 것입니다. 많은 분들의 수고 덕분에 또 한 권의 책이 세상에 모습을 드러냅니다. 매년 새로운 시작이고, 매 순간 새로운 도전이지만 행복한 2027년을 향해 달려가는 여러분들에게 이 책 「두날개」는 꾸준한 노력을 해온 지금까지의 모습 그대로, 이후에도 목표달성을 위한 험난한 여정에 든든한 동반자가 될 것입니다. 두날개와 함께하는 여러분의 미래의 입시성공과 더불어 좋은 소식만 가득하길 소망합니다.

목차

content

1

역학적 상호 작용

	23년 수능	24년 수능	25년 수능
I 힘과 운동			
1. 힘의 합성과 분해	08		✓
2. 일과 에너지			
① 힘이 한 일	14	✓	✓
② 마찰력이 한 일	26	✓	
3. 역학적 에너지 보존	30		
4. 물체의 평형			
① 알짜힘의 평형	50	✓	
② 돌림힘의 평형	53	✓	
II 물체의 운동			
1. 운동의 기술	76		
2. 직선, 평면운동	98	✓	✓
3. 포물선 운동	129	✓	✓
4. 등속 원운동	172	✓	✓
5. 단진자	209	✓	✓
6. 케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙	228	✓	✓
III 일반 상대성 이론			
1. 가속 좌표계와 관성력	256	✓	✓
2. 등가 원리	272		
3. 중력 렌즈와 블랙홀	277		
IV 열에너지			
1. 열의 일당량	285		
2. 열역학 제1법칙	304		

2

전기와 자기

	23년 수능	24년 수능	25년 수능
I 전기			
1. 전기장과 전기력선	309	✓	✓
2. 정전기 유도	351		
II 자기			
1. 전류에 의한 자기장	361	✓	✓
2. 전자기 유도	385	✓	✓
3. 상호 유도	417		
III 회로와 능 · 수동 소자			
1. 직류 회로	426	✓	✓
2. 트랜지스터	472	✓	✓
3. 축전기			
① 축전기의 전기 용량과 유전체	481	✓	✓
② 축전기의 연결	502		✓

3

파동과 빛

		23년 수능	24년 수능	25년 수능
I 파동의 발생과 전달				
1. 파동의 간섭과 회절	521			
2. 이중 슬릿의 간섭 실험	535	✓	✓	✓
3. 전자기파의 발생과 수신	561	✓	✓	
4. 전기 신호의 조절	571			✓
5. 도플러 효과	589	✓	✓	✓
II 빛의 이용				
1. 볼록렌즈의 구조와 원리	607	✓	✓	✓

4

현대 물리

		23년 수능	24년 수능	25년 수능
I 빛과 물질의 이중성				
1. 빛의 입자성	621	✓	✓	✓
2. 입자의 파동성	631			
3. 불확정성 원리	637			
4. 현대적 원자 모형	639	✓	✓	✓

두날개
2027

1

역학적 상호 작용

- I 힘과 운동
- II 물체의 운동
- III 일반 상대성 이론
- IV 열에너지

1-2 물체의 운동

1. 운동의 기술

(1) 속력과 속도

이동거리 : 물체가 움직인 경로의 길이	변위 : 위치의 변화량
속력 = $\frac{\text{이동거리}}{\text{걸린시간}}$	속도 = $\frac{\text{변위}}{\text{걸린시간}}$
(단위 : m/s)	(단위 : m/s)

2. 직선, 평면운동

가속도 : 단위시간(1초) 동안의 속도의 변화량

$$\text{평균 가속도} : \vec{a}_{\text{평균}} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\text{순간 가속도} : \vec{a}_{\text{순간}} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

3. 포물선 운동

(1) 수평으로 던진 물체의 운동

① 높이 H 인 곳에서 물체를 수평 방향으로 던졌을 때 지면 도달 시

$$\text{간}(t_1) : H = \frac{1}{2}gt_1^2 \rightarrow t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$\text{② 수평 도달 거리}(R) : R = v_0 t_1 = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

$$\text{③ } t \text{초일 때 속력}(v) : v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$$

(2) 비스듬히 위로 던진 물체의 운동

① 최고점에서의 속도(v) : $v = v_x = v_0 \cos \theta$

$$\text{② 최고점 도달 시간}(t_H) : v_0 \sin \theta - gt_H = 0 \rightarrow t_H = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$$

③ 최고점의 높이(H) : $-2gH = 0 - (v_0 \sin \theta)^2$

$$\rightarrow H = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$$

④ 수평 도달 거리(R) :

$$R = v_0 \cos \theta \cdot 2t_H = v_0 \cos \theta \times \frac{2v_0 \sin \theta}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

4. 등속 원운동 : 물체가 일정한 속력으로 원을 그리며 회전하는 운동

(1) 구심력 : 반지름 r 인 궤도를 등속 원운동하는 질량 m 인 물체에 작용하는 힘

$$F = ma = mr\omega^2 = \frac{mv^2}{r} \quad (\text{방향은 원의 중심 방향})$$

5. 단진자

(1) 단진자 : 가벼운 실에 추를 매달아 작은 진폭으로 왕복 운동하는 것으로, 주기

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ 이다.}$$

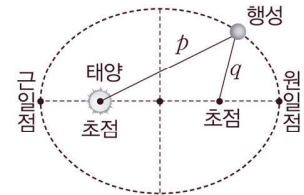
6. 케플러 법칙과 뉴턴 중력 법칙

(1) 케플러 법칙

① 케플러 제1법칙(타원 궤도 법칙) : 행성은 태양을 하나의

초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다

($p + q = \text{일정} = 2a$, a 는 장반경).

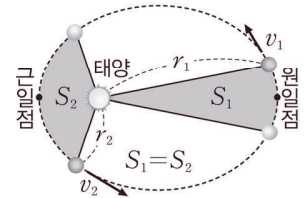


② 케플러 제2법칙(면적 속도 일정 법칙) : 행성과 태양을 연결하는 선은 같은 시간 동안

같은 면적을 쓸고 지나가며, 따라서 행성의 속력은 태양에 가까울수록 크다.

($S_1 = S_2$). 즉, $r_1 > r_2$ 이면

$v_1 < v_2$ 이므로, 행성의 속력은 근일점을 지날 때 가장 빠르고, 원일점을 지날 때 가장 느리다.

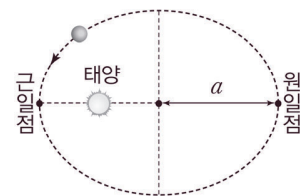


③ 케플러 제3법칙(조화법칙) :

행성의 공전 주기 T 의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름 a 의 세제곱에 비례한다

($T^2 = ka^3$). 즉, 태양으로부터

더 멀리 있는 행성일수록 공전 주기가 길다.

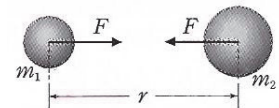


(2) 중력 법칙

① 중력 법칙 : 질량을 가진 두 물체 사이에 서로 끌어당기는 만유인력이 작용하며, 이 힘의 크기는 두 물체의 질량의 곱에 비례하고, 거리의 제곱에 반비례한다.

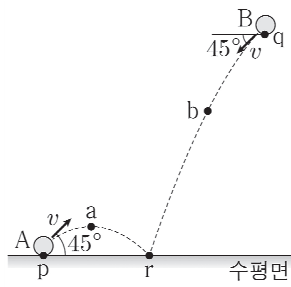
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

(G : 만유인력 상수)



(3) 케플러 법칙과 중력 법칙 : 태양계의 행성들은 타원 궤도를 운동하지만 거의 원궤도에 가깝다. 행성에 작용하는 만유인력이 행

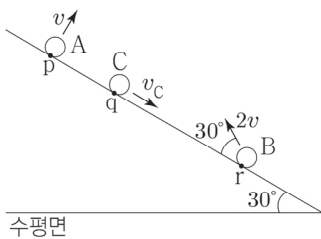
그림과 같이 점 p에서 물체 A를 수평면과 45° 의 각으로 속력 v 로 던진 순간, 물체 B는 수평면과 45° 의 각을 이루며 속력 v 로 점 q를 지난다. A, B는 각각 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 r에 동시에 도달한다. A가 최고점 a를 지나는 순간 B는 점 b를 지난다.



a와 b 사이의 거리는? (단, 중력 가속도는 g 이고, A, B는 동일 연직 면상에서 운동하며, 물체의 크기는 무시한다.)

- ① $\frac{\sqrt{2}v^2}{g}$ ② $\frac{v^2}{g}$ ③ $\frac{\sqrt{2}v^2}{2g}$ ④ $\frac{v^2}{2g}$ ⑤ $\frac{v^2}{3g}$

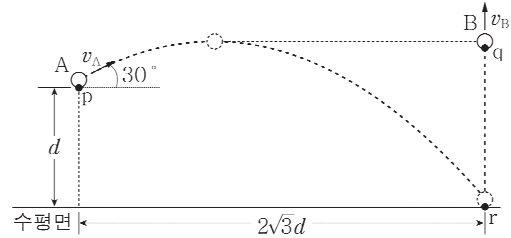
그림과 같이 경사각이 30° 인 빗면 위에서 물체 A, B를 각각 점 p에서 빗면에 수직인 방향으로 속력 $2v$ 로, 점 r에서 빗면과 30° 의 각을 이루는 방향으로 속력 $2v$ 로 동시에 던지



는 순간, 빗면을 내려오던 물체 C가 점 q를 속력 v_C 로 지난다. A와 B가 포물선 운동을 하여 q에서 만나는 순간 C는 r를 지난다. v_C 는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기, 모든 마찰은 무시한다.) [3점]

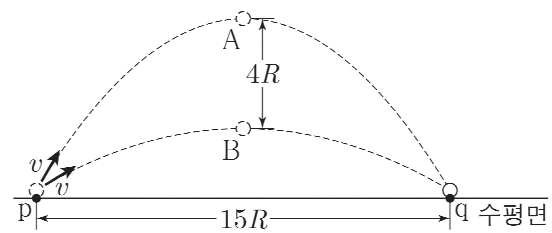
- ① $\frac{1}{\sqrt{3}}v$ ② $\frac{1}{\sqrt{2}}v$ ③ 2 ④ $\sqrt{2}v$ ⑤ $\sqrt{3}v$

그림과 같이 물체 A가 점 p에서 수평 방향과 30° 의 각을 이루며 속력 v_A 로 발사된 순간, 물체 B가 점 q에서 연직 위 방향으로 속력 v_B 로 발사되었다. A는 포물선 운동, B는 등가속도 직선 운동하여 수평면상의 점 r에 동시에 도달한다. p에서 r까지 A의 수평 이동 거리는 $2\sqrt{3}d$ 이다. p의 높이는 d 이고, A의 최고점과 q의 높이는 같다.



- ① $\frac{1}{4}$ ② $\frac{1}{3}$ ③ $\frac{5}{12}$ ④ $\frac{1}{2}$ ⑤ $\frac{7}{12}$

그림과 같이 수평면상의 점 p에서 물체 A, B를 속력 v 로 던졌더니 A, B가 각각 포물선 운동을 하여 수평면상의 점 q에 도달하였다. A, B의 최고점 높이의 차는 $4R$ 이고, p와 q 사이의 거리는 $15R$ 이다. A, B가 p에서 q까지 가는 데 걸린 시간은 각각 t_A, t_B 이다.



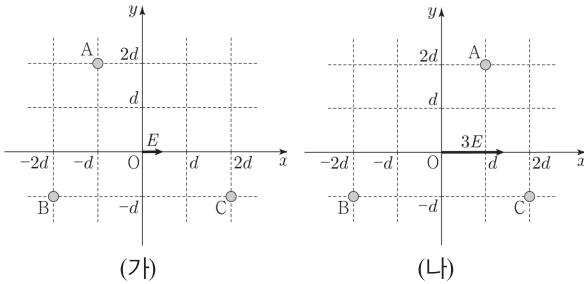
$\frac{t_A}{t_B}$ 는? (단, 물체는 동일 연직면상에서 운동하고, 물체의 크기는 무시한다.) [3점]

- ① $\frac{13}{12}$ ② $\frac{6}{5}$ ③ $\frac{5}{4}$ ④ $\frac{8}{5}$ ⑤ $\frac{5}{3}$

135

2026학년도 6월 평가원 20번

그림 (가)와 같이 xy 평면에서 점전하 A, B, C를 각각 $(-d, 2d)$, $(-2d, -d)$, $(2d, -d)$ 인 지점에 고정하였을 때, 원점 O에서 전기장은 세기가 E 이고 방향은 $+x$ 방향이다. 그림 (나)와 같이 (가)에서 A를 옮겨 $(d, 2d)$ 인 지점에 고정하였을 때, O에서 전기장은 세기가 $3E$ 이고 방향은 $+x$ 방향이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

◀ 보기 ▶

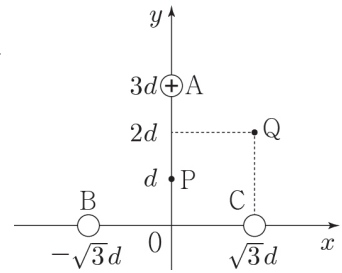
- ㄱ. B는 양(+) 전하이다.
- ㄴ. 전하량의 크기는 C가 B의 3배이다.
- ㄷ. O에서 C에 의한 전기장의 세기는 $\frac{3\sqrt{5}}{2}E$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

136

2025년 7월 교육청 17번

그림과 같이 전하량의 크기가 각각 q , q_B , q_C 인 점전하 A, B, C가 xy 평면에서 y 축상의 $y = 3d$ 와 x 축상의 $x = -\sqrt{3}d$, $x = \sqrt{3}d$ 에 각각 고정되어 있다.



점 P, Q에서 전기장의 세기는 각각 E_0 , E 이고 방향은 모두 $-y$ 방향이다. A는 양(+)전하이고, $q_B > q_C$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

◀ 보기 ▶

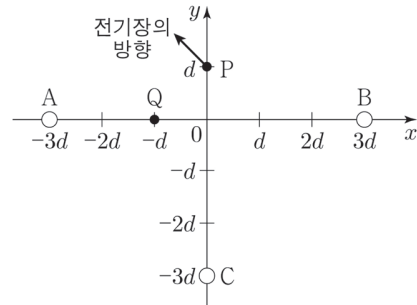
- ㄱ. B는 양(+)전하이다.
- ㄴ. C의 전하량의 크기는 $4q$ 이다.
- ㄷ. A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 $2qE$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

137

2026학년도 9월 평가원 19번

그림과 같이 점전하 A, B, C가 xy 평면에 고정되어 있다. A와 B의 전하량은 각각 $+q$, $+3q$ 이고, xy 평면의 점 P(0, d)에서 A, B, C에 의한 전기장의 x , y 성분의 크기는 같고, 전기장의 방향은 화살표 방향이다. xy 평면의 점 Q($-d$, 0)에서 A, B, C에 의한 전기장의 x , y 성분은 각각 E_x , E_y 이다.



$$\frac{E_y}{E_x} \text{ 는?}$$

- ① $\frac{192}{61}$ ② $\frac{182}{71}$ ③ $\frac{172}{81}$ ④ $\frac{162}{91}$ ⑤ $\frac{152}{101}$

$\frac{v}{\sqrt{2}} T = \frac{v^2}{g}$ 만큼 내려가 q 의 높이는 r 보다 $\frac{2v^2}{g}$ 만큼 높다.

따라서 q 에서 시간 $\frac{T}{2}$ 후인 점 b 의 높이는

$$\frac{2v^2}{g} - \left(\frac{v}{\sqrt{2}} \cdot \frac{T}{2} + \frac{1}{2} g \left(\frac{T}{2} \right)^2 \right) = \frac{2v^2}{g} - \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{v^2}{4g} \right) = \frac{5v^2}{4g} \text{ 이고,}$$

따라서 점 a 와 점 b 사이의 연직거리는 $\frac{5v^2}{4g} - \frac{v^2}{4g} = \frac{v^2}{g}$ 이다. 점

a 와 점 b 사이의 수평거리와 연직거리가 각각 $\frac{v^2}{g}$ 이므로

$$ab = \sqrt{\left(\frac{v^2}{g} \right)^2 + \left(\frac{v^2}{g} \right)^2} = \frac{\sqrt{2}v^2}{g} \text{ 이다.}$$

※ [다른풀이]

A, B가 포물선 운동을 하는 동안 각 위치에서 속도의 수평 성분 v_x 와 속도의 연직 성분 v_y 를 나타내면 다음과 같다.

속도 성분	A의 위치		
	p	a	r
v_x	$\frac{\sqrt{2}}{2}v$	$\frac{\sqrt{2}}{2}v$	$\frac{\sqrt{2}}{2}v$
v_y	$\frac{\sqrt{2}}{2}v$	0	$-\frac{\sqrt{2}}{2}v$

속도 성분	B의 위치		
	q	b	r
v_x	$-\frac{\sqrt{2}}{2}v$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}v$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}v$
v_y	$-\frac{\sqrt{2}}{2}v$	$-\sqrt{2}v$	$-\frac{3\sqrt{2}}{2}v$

A가 p에서 r까지 포물선 운동하는 데 걸린 시간을 t 라고 하면, t 동안 A의 속도의 연직 성분의 변화량은

$$(-g)t = \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}v \right) - \left(\frac{\sqrt{2}}{2}v \right) = -\sqrt{2}v \text{ 이므로 } t = \frac{\sqrt{2}v}{g} \text{ 이다.}$$

a에서 b까지 변위의 수평 성분의 크기를 ΔS_x , 연직 성분의 크기를 ΔS_y 라고 하자.

$$\Delta S_x = 2 \left(\frac{\sqrt{2}}{2}v \right) \left(\frac{t}{2} \right) = 2 \left(\frac{\sqrt{2}}{2}v \right) \left(\frac{\sqrt{2}}{2g}v \right) = \frac{v^2}{g} \text{ 이고,}$$

a, b의 높이를 각각 h_a , h_b 라고 하면,

$$\Delta S_y = h_b - h_a$$

$$= \left(\frac{\sqrt{2}v + \frac{3\sqrt{2}}{2}v}{2} \right) \left(\frac{t}{2} \right) - \left(\frac{\sqrt{2}}{2}v + 0 \right) \left(\frac{t}{2} \right) = \frac{v^2}{g} \text{ 이다.}$$

따라서 a와 b 사이의 거리는

$$\sqrt{(\Delta S_x)^2 + (\Delta S_y)^2} = \sqrt{\left(\frac{v^2}{g} \right)^2 + \left(\frac{v^2}{g} \right)^2} = \frac{\sqrt{2}v^2}{g} \text{ 이다.}$$

145 정답 ①

빗면을 기준으로 A, B의 가속도의 크기는 빗면에 수직한 방향, 빗면에

나란한 방향으로 각각 $\frac{\sqrt{3}}{2}g$, $\frac{1}{2}g$ 이다. A가 q에 도달하는 데 걸린

시간은 $\frac{4v}{\sqrt{3}g}$ 이므로, q와 r 사이의 거리는 $\frac{8v^2}{3g}$ 이다.

따라서 $v_C = \frac{1}{\sqrt{3}}v$ 이다.

146 정답 ③

A가 r에 도달하는 데 걸린 시간을 t 라 하면

$$(v_A \sin 30^\circ)t - \frac{1}{2}gt^2 = -d, \quad (v_A \cos 30^\circ)t = 2\sqrt{3}d \text{ 이고,}$$

최고점 도달 시간은 $\frac{1}{3}t$, q의 높이는 $\frac{4d}{3}$ 이다. $2g\left(\frac{d}{3}\right) = \left(\frac{v_A}{2}\right)^2$,

$$-\frac{4d}{3} = v_B \sqrt{\frac{6d}{g}} - \frac{g}{2} \left(\sqrt{\frac{6d}{g}} \right)^2 \text{ 이다.}$$

147 정답 ⑤

A와 B는 수평 방향으로 등속도 운동을 하므로 A와 B 속도의

수평 성분의 크기는 각각 $\frac{15R}{t_A}$, $\frac{15R}{t_B}$ 이다. 또한, A와 B는

연직 방향으로 중력가속도 g 에 의한 등가속도 직선운동을 하고

최고점에서 속도의 연직 성분은 0이므로 p에서 A와 B 속도의

연직 성분의 크기는 각각 $g\frac{t_A}{2}$, $g\frac{t_B}{2}$ 이다.

p에서 A, B의 속도의 크기는 같으므로

$$\left(\frac{15R}{t_A} \right)^2 + \left(g\frac{t_A}{2} \right)^2 = \left(\frac{15R}{t_B} \right)^2 + \left(g\frac{t_B}{2} \right)^2 \text{ 이고, 정리하면}$$

$$t_A t_B = \frac{30}{g}R \dots \textcircled{1} \text{ 이다. A, B의 최고점 높이의 차는 } 4R \text{ 이므로}$$

$$\frac{1}{2}g\left(\frac{t_A}{2}\right)^2 - \frac{1}{2}g\left(\frac{t_B}{2}\right)^2 = 4R \text{ 이고,}$$

$$\text{정리하면 } t_A^2 - t_B^2 = \frac{32R}{g} \dots \textcircled{2} \text{ 이다.}$$

$$\text{식 } \textcircled{1} \text{과 식 } \textcircled{2} \text{를 연립하면 } t_A^2 - t_B^2 = \frac{16}{15}t_A t_B \text{ 이고,}$$

$$\text{식을 정리하면 } \frac{t_A}{t_B} = \frac{5}{3} \text{ 이다.}$$

※ [다른풀이]

두 물체는 같은 속력 v 로 같은 두 점 $p \rightarrow q$ 를 연결하는 포물선 운동을

하므로 $15R = \frac{v^2}{g} \sin 2\theta$ 를 각각 만족한다. 또한 v 와 $15R$ 가 두

물체에서 같으므로 $\sin 2\theta_A = \sin 2\theta_B$ 이고, 같은 속력으로 던져진

두 물체가 동일한 출발점 p에서 동일한 도착점 q에 도달하므로 두

물체의 수평 이동거리는 같다. 이 조건을 만족하는 서로 다른 두

발사각에 대해서는 발사각의 합이 90° 가 된다. 따라서 물체 A의 발사각을 θ_A , 물체 B의 발사각을 θ_B 라 하고 $2\sin\theta_A + 2\sin\theta_B = 180^\circ$ 이 성립하므로 $\tan\theta_A = \cot\theta_B$ 이고 $\tan\theta_B = \cot\theta_A$ 이다.

최고점 높이는 $H = \frac{v^2 \sin^2 \theta}{2g}$ 이므로 최고점 높이 차이가 $4R$ 라는 조건은

$\frac{v^2}{2g}(\sin^2 \theta_A - \sin^2 \theta_B) = 4R$ 이다. 여기서 $\theta_A + \theta_B = 90^\circ$ 이므로

$\sin^2 \theta_B = \cos^2 \theta_A$ 이고, 따라서

$\sin^2 \theta_A - \sin^2 \theta_B = \sin^2 \theta_A - \cos^2 \theta_A = -\cos 2\theta_A$ 이다. 즉

$-\frac{v^2}{2g} \cos 2\theta_A = 4R$ 이다.

한편 두 물체가 같은 속력으로 던져져 p 에서 출발하여 q 까지 이동한

수평 거리가 $15R$ 이므로 $\sin 2\theta_A = \frac{15Rg}{v^2}$ 이다. 또한 최고점 높이

차가 $4R$ 이므로 앞에서 얻은 관계로부터 $\cos 2\theta_A = -\frac{8Rg}{v^2}$ 가

성립한다. 따라서 $\tan 2\theta_A = \frac{\sin 2\theta_A}{\cos 2\theta_A} = -\frac{15}{8}$ 이다. 이제

$\tan 2\theta = \frac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}$ 를 적용하면 $\frac{2\tan\theta_A}{1-\tan^2\theta_A} = -\frac{15}{8} \Rightarrow$

$15\tan^2\theta_A - 16\tan\theta_A - 15 = 0$ 이고, $\tan\theta_A > 0$ 이므로

$\tan\theta_A = \frac{5}{3}$, 따라서 $\tan\theta_B = \cot\theta_A = \frac{3}{5}$ 이다.

비행시간 t 는 $t = \frac{2v \sin\theta}{g}$ 이므로 A의 비행시간을 t_A , B의

비행시간을 t_B 라 한다면 $\frac{t_A}{t_B} = \frac{\sin\theta_A}{\sin\theta_B}$ 이며 $\theta_B = 90^\circ - \theta_A$ 이므로

$\sin\theta_B = \cos\theta_A$ 이고, $\frac{t_A}{t_B} = \frac{\sin\theta_A}{\cos\theta_B} = \tan\theta_A = \frac{5}{3}$ 이다.

148 정답 ④

연직 방향 운동 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 우선 t 를 소개해야 한다.

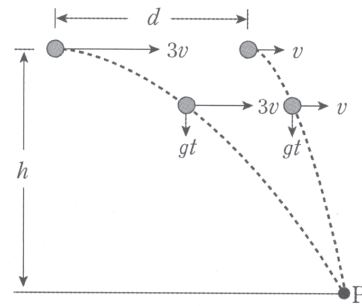
수평 방향 운동에서 두 물체 사이 운동거리 차이는

$d = 3vt - vt = 2vt$ 이므로

$t = \frac{d}{2v}$ 가 된다.

따라서 $h = \frac{1}{2}g\left(\frac{d}{2v}\right)^2 = \frac{gd^2}{8v^2}$ 이다.

※ 중력장에서 움직이는 물체는 물체의 질량과 관계없이 중력 가속도 g 를 갖는다. 움직이는 물체들의 가속도가 같다는 의미는 움직이는 동안 물체 사이의 상대속도는 초기의 상대속도를 계속 유지한다는 것이다.



그림에서 출발하는 순간 두 물체의 상대속도는 $+2v$ (오른쪽 방향을 + 방향으로 설정)인데, 시간 t 후 두 물체의 x 방향의 속도는 각각 일정하며 y 방향의 속도는 각각 gt 로 동일하다. 따라서 시간이 지나도 두 물체의 상대속도는 $+2v$ 로 일정하다.

충돌 시간을 찾는 것은 물체의 상대속도를 이용하면 편리하다. 속력이 v 인 물체 입장에서 속력이 $3v$ 인 물체를 관찰하면 처음 $2v$ (상대 속도)인 속도로 충돌 때까지 그 값을 유지한다. 즉, 속력이 v 인 물체가 정지해 있다고 가정하고, 다른 물체가 거리 d 를 속력 $2v$ 로 충돌하는

것과 같은 상황이다. 따라서 충돌 시간은 $t = \frac{d}{2v}$ 이다. 이 시간 동안

물체가 낙하한 거리 h 는 $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{d}{2v}\right)^2$ 가 된다.

149 정답 ④

문제에서 $\sin 2\theta$ 를 묻고 있으므로 θ 위로 던진 물체는

$Lg = v_0^2 \sin 2\theta$ 에서 문제에 있는 조건을 활용해 g 와 v_0 를 소개해야 한다. 수평선으로 던진 물체의 수평 방향에서 $v_0 t = L$ 이라는 조건을

얻을 수 있고, 연직 방향에서 $d = \frac{1}{2}gt^2$ 이라는 조건을 얻을 수 있다.

수평선으로 던진 물체의 위 두 식에서 t 를 소개하고 v_0 를 구하면

$d = \frac{1}{2}g\left(\frac{L}{v_0}\right)^2$ 가 되므로 $v_0^2 = \frac{gL^2}{2d}$ 을 이끌어 낼 수 있다.

θ 위로 던진 물체로부터 다시 v_0 를 소개하면 $Lg = \frac{gL^2}{2d} \sin 2\theta$ 이므로

로 $\sin 2\theta = \frac{2d}{L}$ 이다.

※ [다른풀이] A의 P점의 도달 시간은 $v_0 \sin \theta$ 로 연직 상방으로 던져

진 물체가 제자리로 돌아오는 시간과 같으므로 $\frac{2v_0 \sin \theta}{g}$ 이다. 이

시간 동안 물체 A는 수평 방향으로 $v_0 \cos \theta$ 의 속력으로 등속 운동하

기 때문에 $L = v_0 \cos \theta \times \left(\frac{2v_0 \sin \theta}{g}\right) = \frac{2v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ 이다. 그런데 물

체 B의 Q점의 도달 시간은 $d = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 $t = \sqrt{\frac{2d}{g}}$ 이다. 이 시간

동안 물체 B는 v_0 의 속력으로 수평 방향 등속 운동을 하기 때문에

ㄷ. B에 연결된 전기력선의 수가 C에 연결된 전기력선의 수보다 많으므로 전하량의 크기는 B가 C보다 크다.

134 정답 ①

ㄱ. $x = d$ 에서 A, B, C에 의한 전기장의 y 성분이 0이므로 A와 B의 전하량은 같다. 따라서 B는 양(+)전하이다.

오답풀이

ㄴ. $x = d$ 에서 A, B에 의한 전기장은 방향이 $+x$ 방향이고, 세기가 E 이다. $x = d$ 에서, A, B, C에 의한 전기장의 세기가 $2E$ 이므로 C에 의한 전기장은 방향이 $-x$ 방향이고, 세기는 $3E$ 이다. 따라서 C의 전하량은 $+3q$ 이다.

ㄷ. $x = 3d$ 에서 A에 의한 전기장의 세기는 $\frac{1}{3}E$ 이므로 A가 C에 작용하는 전기력의 크기는 qE 이다.

135 정답 ⑤

ㄴ. 그림과 같이 O에서

B, C 각각에 의한 전기장의 y 성분의 크기를 E_{By} , E_{Cy} 라고 하자. O에서 B,

C에 의한 전기장의 x , y 성분은 각각 $2E_{Cy} - 2E_{By} = 2E$, $-E_{By} - E_{Cy} = -2E$ 를 만족하므로 $E_{Cy} = 3E_{By}$ 이다.

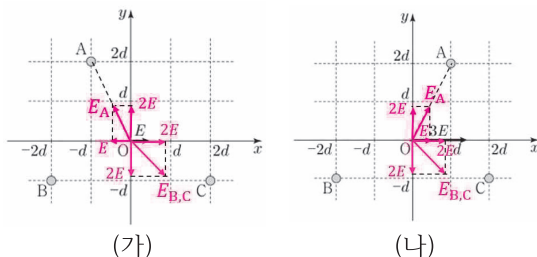
따라서 전하량의 크기는 C가 B의 3배이다.

ㄷ. $E_{Cy} = \frac{3}{2}E$ 이므로 O에서 C에 의한 전기장의 x 성분의 크기는 $3E$ 이다. 따라서 O에서 C에 의한 전기장의 세기는

$$\sqrt{\left(\frac{3E}{2}\right)^2 + (3E)^2} = \frac{3\sqrt{5}}{2}E \text{이다.}$$

오답풀이

ㄱ. 그림과 같이 A는 (가)와 (나)에서 y 축을 기준으로 대칭인 위치에 있다. O에서 전기장의 변화량은 (가)와 (나)에서 $3E - E = 2E$ 이므로 O에서 A에 의한 전기장(E_A)의 x 성분의 크기는 E 이고, A는 음(-)전하이다. O에서 A에 의한 전기장의 y 성분의 크기는 $2E$ 이고 방향은 $+y$ 방향이다. O에서 B, C에 의한 전기장($E_{B,C}$)의 x 성분은 크기가 $2E$ 이고 방향은 $+x$ 방향이며, y 성분은 크기가 $2E$ 이고 방향은 $-y$ 방향이다.



O에서 B, C에 의한 전기장의 x 성분과 전기장의 y 성분의 크기는 같고, B, C 각각에 의한 전기장의 x 성분의 크기는 전기장의 y 성분의 크기의 2배이므로 O에서 B, C 각각에 의한 전기장의 x 성분의 방향은 반대이고 전기장의 y 성분의 방향은 같다.

따라서 O에서 B, C 각각에 의한 전기장의 y 성분의 방향은 $-y$ 방향이므로 B와 C는 모두 음(-)전하이다.

※ [다른풀이]

ㄱ. 위 그림 (가)와 (나)에서 A는 y 축을 기준으로 대칭인 위치에 있다. 그림 (나)에서 O에서의 전기장은 $+x$ 방향으로 증가하므로, A에 의한 전기장의 x 성분은 $+x$ 방향이다.

이는 O에서 전기장이 A로부터 멀어지는 방향이므로, A는 음전하이다. 따라서 B, C에 의한 전기장의 y 성분 방향을 종합하면 B와 C 역시 음전하이다.

136 정답 ⑤

ㄱ. P에서 B와 C에 의한 전기장의 x 성분의 합이 0이므로 B와 C는 전하량의 크기가 같고, $q_B = q_C = 4q$ 이므로 B, C는 음(-)전하이다.

ㄴ. Q에서 A와 B에 의한 전기장의 x 성분의 합이 0이므로 $q_B = q_C = 4q$ 이다.

ㄷ. P에서 A에 의한 전기장의 세기를 E_A 라 하면

$$E_0 = E_A + 2E_A + 2E_A = 5E_A,$$

$$E = \frac{1}{2}E_A + \frac{1}{2}E_A + 4E_A = 5E_A \text{이므로 } E = E_0 \text{이다.}$$

137 정답 ①

P에서의 전기장에 대한 조건을 표로 정리하면 다음과 같다.

	P에서의 전기장	x 성분	y 성분
A의 전류	$k \frac{q}{10d^2}$	$k \frac{3q}{10\sqrt{10}d^2}$	$k \frac{q}{10\sqrt{10}d^2}$
B의 전류	$k \frac{3q}{10d^2}$	$k \frac{9q}{10\sqrt{10}d^2}$	$k \frac{3q}{10\sqrt{10}d^2}$
C의 전류	E_C	0	E_C

점 P에서 A, B, C에 의한 전기장의 x 성분과 y 성분의 크기가 같으므로 x 성분의 합은

$$k \frac{9q}{10\sqrt{10}d^2} - k \frac{3q}{10\sqrt{10}d^2} = k \frac{3q}{5\sqrt{10}d^2} \text{이고, } y \text{성분의 합은}$$

$$k \frac{q}{10\sqrt{10}d^2} + k \frac{3q}{10\sqrt{10}d^2} + E_C = k \frac{2q}{5\sqrt{10}d^2} + E_C \text{이다.}$$

$$k \frac{3q}{5\sqrt{10}d^2} = k \frac{2q}{5\sqrt{10}d^2} + E_C \text{에서}$$

$$E_C = k \frac{q_C}{16d^2} = k \frac{q}{5\sqrt{10}d^2} \text{이므로 } q_C = \frac{16}{5\sqrt{10}}q \text{이다.}$$

Q에서의 전기장에 대한 조건을 표로 정리하면 다음과 같다.

	Q에서의 전기장	x 성분	y 성분
A의 전류	$k \frac{q}{4d^2}$	$k \frac{q}{4d^2}$	0
B의 전류	$k \frac{3q}{16d^2}$	$k \frac{3q}{16d^2}$	0
C의 전류	$k \frac{8q}{25\sqrt{10}d^2}$	$k \frac{4q}{125d^2}$	$k \frac{12q}{125d^2}$

Q에서 A, B, C의 전류에 의한 전기장의

$$x \text{ 성분 } E_x = k \frac{q}{4d^2} - k \frac{3q}{16d^2} - k \frac{4q}{125d^2} = k \frac{61q}{2000d^2} \text{ 이고,}$$

$$y \text{ 성분 } E_y = k \frac{12q}{125d^2} \text{ 이다. 따라서 } \frac{E_y}{E_x} = \frac{192}{61} \text{ 이다.}$$

※ [다른풀이]

점 P에서 A에 의한 전기장은 A → P 방향이므로, AP의 수평 · 수직

변위는 3d, d이고 따라서 $\frac{E_{Ay}}{E_{Ax}} = \frac{d}{3d} = \frac{1}{3}$ 이다. 같은 점 P에서 B에

의한 전기장은 B → P 방향이므로, BP의 수평 · 수직 변위는 -3d,

d이고 따라서 $\frac{E_{By}}{E_{Bx}} = \frac{d}{-3d} = -\frac{1}{3}$ 이다. 또한 AP = BP이고

전하량이 q : 3q이므로 전기장 크기는 $E_B = 3E_A$ 이다.

이제 E_A 의 x 성분을 $E_{Ax} = a(a > 0)$ 로 두면 $E_{Ay} = \frac{a}{3}$ 이고,

$E_B = 3E_A$ 이므로 $E_{Bx} = -3a$, $E_{By} = +a$ 이다. 따라서 A와 B의 합성 전기장에 대해 $E_{ABx} = a - 3a = -2a$,

$E_{ABy} = \frac{a}{3} + a = \frac{4a}{3}$ 이므로 P에서 A와 B에 의한 전기장의

$$\text{방향(성분비)} = \frac{E_{ABy}}{E_{ABx}} = \frac{\frac{4a}{3}}{-2a} = -\frac{2}{3} \text{ 이다.}$$

문제 조건에 의해 P에서의 전체 전기장은 x, y 성분의 크기가 같고

방향이 화살표 방향이므로 $E_x < 0$, $E_y > 0$ 이며 $\frac{E_y}{E_x} = -1$ 을

만족한다.

점 C는 P의 바로 아래에 있으므로 P에서 C에 의한 전기장은 y 성분만

갖는다. 따라서 $E_{ABx} = -2a$ 는 그대로이고, E_y 만 $-\frac{2}{3}$ 에서 -1이

되도록 증가해야 하므로 전체 E_y 는 2a가 되어야 한다. 즉

$$E_{Cy} = 2a - \frac{4a}{3} = \frac{2a}{3} \text{ 이다.}$$

$$\text{이때 } |E_{AB}| = \sqrt{(-2a)^2 + \left(\frac{4a}{3}\right)^2} = \frac{2a}{3} \sqrt{13} \text{ 이므로}$$

$$|E_{AB}| : |E_C| = \sqrt{13} : 1 \text{ 인 관계가 얻어진다.}$$

$$AP = d\sqrt{10} \text{ 이므로 } E_A = \frac{kq}{(d\sqrt{10})^2} = \frac{kq}{10d^2},$$

$$E_{Ax} = E_A \cdot \frac{3}{\sqrt{10}} = \frac{3kq}{10\sqrt{10}d^2} \text{ 이고 따라서 } a = \frac{3kq}{10\sqrt{10}d^2} \text{ 이다.}$$

$$E_{Cy} = \frac{2a}{3} \text{ 이므로 } E_C(P) = \frac{2}{3} \cdot \frac{3kq}{10\sqrt{10}d^2} = \frac{kq}{5\sqrt{10}d^2} \text{ 이다.}$$

$$\text{한편 } CP = 4d \text{ 이므로 } E_C(P) = \frac{kq_C}{(4d)^2} = \frac{kq_C}{16d^2} \text{ 이고, 두 식을}$$

$$\text{등치하면 } \frac{kq_C}{16d^2} = \frac{kq}{5\sqrt{10}d^2} \Rightarrow q_C = \frac{16}{5\sqrt{10}}q \text{ 이다.}$$

점 Q에서의 전기장을 구하면 A는 Q의 왼쪽에 있고 AQ = 2d이므로

$$E_{Ax}(Q) = \frac{kq}{(2d)^2} = \frac{kq}{4d^2}, E_{Ay}(Q) = 0 \text{ 이다.}$$

B는 Q의 오른쪽에 있고 BQ = 4d이므로

$$E_{Bx}(Q) = -\frac{k(3q)}{(4d)^2} = -\frac{3kq}{16d^2}, E_{By}(Q) = 0 \text{ 이다.}$$

C에 대해서는 CQ = $d\sqrt{10}$, 방향은 (-d, 3d)이므로

$$E_C(Q) = \frac{kq_C}{10d^2}, E_{Cx}(Q) = -\frac{1}{\sqrt{10}} E_C(Q),$$

$$E_{Cy}(Q) = \frac{3}{\sqrt{10}} E_C(Q) \text{ 이다. 여기서 } q_C = \frac{16}{5\sqrt{10}}q \text{ 를 대입하면}$$

$$E_{Cx}(Q) = -\frac{kq_C}{10\sqrt{10}d^2} = -\frac{4kq}{125d^2},$$

$$E_{Cy}(Q) = \frac{3kq_C}{10\sqrt{10}d^2} = \frac{12kq}{125d^2} \text{ 이다.}$$

$$\text{따라서 } E_x = \frac{kq}{4d^2} - \frac{3kq}{16d^2} - \frac{4kq}{125d^2} = \frac{61}{2000} \frac{kq}{d^2},$$

$$E_y = \frac{12}{125} \frac{kq}{d^2} = \frac{192}{2000} \frac{kq}{d^2} \text{ 이므로 } \frac{E_y}{E_x} = \frac{192}{61} \text{ 이다.}$$

138 정답 ⑤

ㄱ. 양(+)전하가 만드는 전기장의 방향은 양(+)전하에서 멀어지는 방향이다.

ㄴ. x 축에 대칭으로 분포한 전하들이 Q에 만드는 전기장의 y 성분은 이다.

ㄷ. C와 E가 각각 P에, A와 D가 각각 Q에 만드는 전기장의 세기는 같고, $\angle EPC < \angle AQD$ 이다.

139 정답 ①

ㄱ. 전하에서 나오거나 들어가는 전기력선의 수가 많을수록 전하의 전하량 크기가 크다. 따라서 전하량의 크기는 A가 B보다 작다.

오답풀이

ㄴ. (가)에서 A, B가 x 축 위 -d, +d에

있으므로 $-d < x < d$ 의 임의의 점 P

를 잡는다.

만약 A와 B의 전하 종류가 서로 다르다

면, P에서 A가 만드는 전기장과 B가 만

