2024학년도 서울대학교 수시모집 일반전형

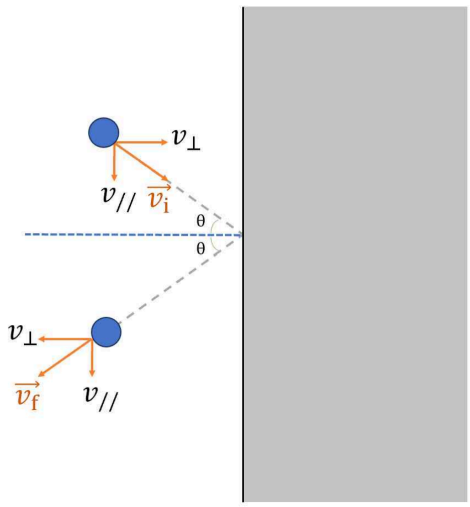
면접 및 구술고사 — 물리학

문항·제시문 + 예시답안 재조판

※ 아래는 서울대학교가 공개한 2024학년도 수시모집 면접·구술고사 물리학 문항과 제시문을 재조판한 것이며, 각 문항의 **예시답안**은 학습용으로 작성한 모범 풀이입니다. 원문 그림은 원본 PDF에서 정밀하게 재크롭하였고, 답안 그래프는 별도로 작성한 **예시 작도**입니다. 모든 물리량은 Python(sympy·numpy)으로 수치·기호 검산하였습니다.

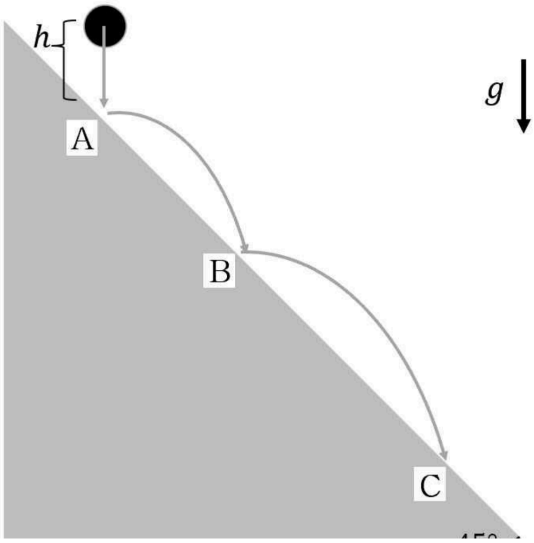
문제 1. 탄성충돌 — 빗면·사각 우물·팽팽한 줄 위의 공

다음의 문제에서 공은 질량은 있지만 크기를 무시할 수 있는 점입자로 가정하고, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다. 또한 모든 충돌은 탄성충돌로 가정한다. [그림 1]은 물체가 비스듬하게 벽면에 탄성충돌 하기 직전과 직후의 물체의 속도를 나타낸 그림이다. 고정된 벽면에 대한 수직 방향 속도 $v_\perp$는 충돌 전후에 크기는 같고 방향은 반대이며, 수평 방향 속도 $v_\parallel$는 충돌 전후에 크기와 방향이 모두 같다. 위 내용을 이용하여 아래 질문에 답하시오.



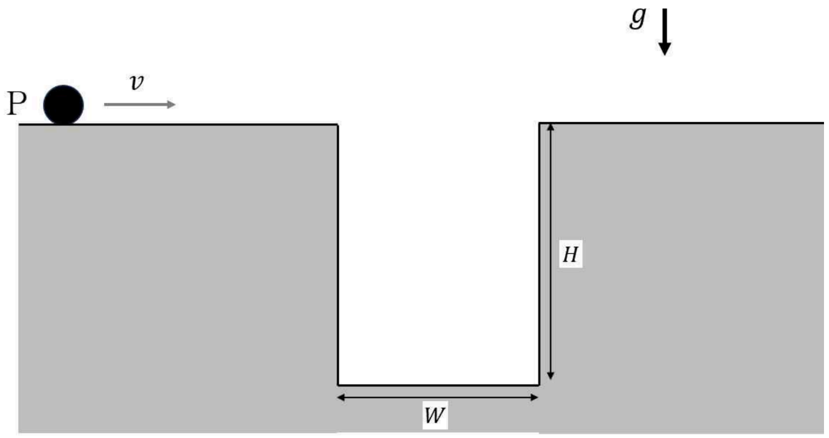
[그림 1] 비스듬한 탄성충돌: 벽면에 수직인 성분 $v_\perp$는 크기 보존·방향 반전, 벽면에 나란한 성분 $v_\parallel$는 그대로 유지.

1-1. [그림 2]와 같이 각도가 $45°$인 경사면 위의 A 지점으로부터 높이 h인 지점에서 질량 m인 공을 가만히 놓아 떨어뜨렸다. 공은 A 지점에서 경사면과 처음 충돌 후, 차례대로 B와 C 지점에서 경사면과 충돌하였다. 지점 B와 C 사이의 직선거리를 구하시오. (단, 중력가속도는 g이고 공의 크기는 무시할 수 있다.)



[그림 2] $45°$ 빗면. A 위 높이 h에서 낙하 → A → B → C로 차례로 탄성충돌.

1-2. 다음의 [그림 3]과 같이 질량 m인 공이 P 지점에서 v의 속력으로 미끄러지며 이동하고 있다. 사각 우물의 바닥 면의 폭은 W이고 깊이는 H이다. (단, 중력가속도는 g이고 공의 크기는 무시할 수 있다.)



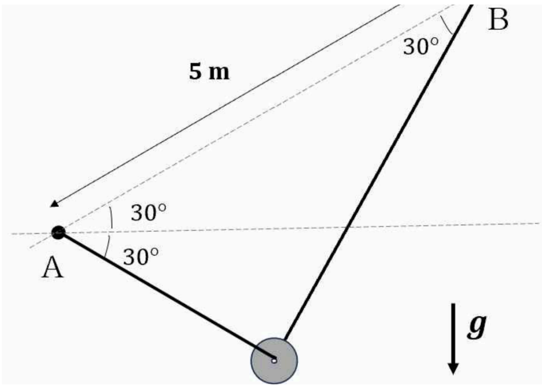
[그림 3] 폭 W, 깊이 H의 사각 우물. 공이 왼쪽 모서리 P에서 수평 속력 v로 진입.

(a)
우물의 바닥 면에 1회 충돌하고 공이 P 지점으로 돌아올 수 있는가? 돌아올 수 있으면 이때 가능한 공의 속력 v의 최솟값은 무엇인가?

(b)
우물의 바닥 면에 2회 충돌하고 공이 P 지점으로 돌아올 수 있는가? 돌아올 수 있으면 이때 가능한 공의 속력 v의 최솟값은 무엇인가?

(c)
우물의 바닥 면에 3회 충돌하고 공이 P 지점으로 돌아올 수 있는가? 돌아올 수 있으면 이때 가능한 공의 속력 v의 최솟값은 무엇인가?

1-3. 벽면에 고정된 두 점 A와 B에 대해서 AB를 연결한 선분(길이 5 m)이 수평 방향에 대해 $30°$의 각을 이루고 있다. 질량 m인 공에 매우 작은 구멍을 뚫고 길이가 L인 줄에 꿰어 공이 줄 위에서 자유롭게 이동할 수 있게 하고, 줄의 양 끝을 점 A와 점 B에 고정하였다. 이때 공에는 고정장치가 있어 줄 위에서의 위치를 고정할 수 있다. (단, 중력가속도는 g이며 공과 고정장치의 크기는 무시할 수 있고 고정장치와 줄의 질량도 무시한다.)



[그림 4] 선분 AB(길이 5 m)가 수평과 $30°$. 공은 줄에 꿰어져 매달려 있고, A쪽 줄은 수평과 $30°$, B쪽 줄은 수평과 $60°$를 이룬다.

(a)
[그림 4]와 같이 줄 위의 한 정점에 공을 움직이지 못하도록 고정장치로 고정하였다. 이때 중력에 의해 줄이 그림과 같은 각도로 팽팽하게 당겨졌다고 할 때, 줄이 A점과 B점에 가하는 힘의 크기를 각각 구하시오.

(b)
(a)의 경우 고정장치를 풀어주면 공은 움직이는가? 뉴턴의 법칙을 활용하여 정성적으로 설명하시오.

(c)
공의 고정장치를 풀고 줄을 팽팽하게 유지하며 공을 줄 위의 다른 점으로 이동시키고 정지상태로 놓았다. 이때는 고정장치로 고정하지 않아도 공이 움직이지 않았다. 이 경우 공의 높이가 (b)에서 고정장치를 푼 직후보다 높은지 낮은지 역학적 에너지의 관점에서 설명하시오.

문제 1 · 예시답안

1-1 예시답안 — B–C 사이 직선거리 $= 8\sqrt{2}\ h$

높이 h 낙하로 A 도달 직전 속력은 $v_0 = \sqrt{2gh}$(연직 아래). 지면 좌표계에서 각 탄성충돌은 빗면(법선 방향)에 대한 속도 성분만 반전시키므로, 충돌 사이 구간은 매번 **포물선 운동**이다. $45°$ 빗면에서 A에서 튕긴 직후 속도는 수평 성분 v_0·연직 성분 0(즉 수평 방향 v_0)로 바뀌고, 이후 중력으로 다시 빗면에 닿는다.

빗면을 따라 이웃한 충돌점 사이의 직선거리를 지면 좌표계 포물선으로 계산하면

$$\overline{\mathrm{AB}} = 4\sqrt{2}\ h, \quad \overline{\mathrm{BC}} = 8\sqrt{2}\ h$$

로, 충돌 간격은 등차적으로 늘어난다($1:2$의 비). 따라서 $\mathbf{\overline{BC} = 8\sqrt{2}\ \boldsymbol{h}}$. (검산: 지면 좌표계 포물선·법선 반사 시뮬레이션으로 $\overline{\mathrm{AB}} = 4\sqrt{2}h$, $\overline{\mathrm{BC}} = 8\sqrt{2}h$ 확인.)

1-2 예시답안 — 사각 우물 왕복 조건

공은 우물 왼쪽 모서리 P에서 수평 속력 v로 진입해 포물선 운동을 한다. 수평 속력의 크기는 벽·바닥 충돌에서 보존되고(벽에서 방향만 반전), 연직 운동은 바닥에서 탄성 반사된다. P로 되돌아오려면 오른쪽 벽에 한 번 반사되어 수평 방향이 뒤집힌 뒤 다시 왼쪽 모서리(P)로 나와야 한다.

연직 방향: P(깊이 0)에서 출발해 바닥(깊이 H)까지 낙하하는 시간은 $t_1 = \sqrt{2H/g}$. 바닥에 1회 충돌하고 다시 수면 높이로 돌아오는 데 걸리는 시간은 $2t_1$이므로, 바닥에 n회 충돌하고 나오는 총 체류 시간은 $T = 2nt_1$.

수평 방향: 진입점에서 오른쪽 벽까지 갔다가 되돌아 나오는 총 수평 이동 거리는 $2W$이고 속력이 일정하므로 $v \cdot T = 2W$. 따라서

$$v = \frac{2W}{2nt_1} = \frac{W}{n}\sqrt{\frac{g}{2H}} = \frac{W}{2n}\sqrt{\frac{2g}{H}}.$$

정리 — 바닥 충돌 n회로 P 복귀

(a) $n = 1$**:**

$$v_{\min} = \frac{W}{2}\sqrt{\frac{2g}{H}} = W\sqrt{\frac{g}{2H}}.$$

가능하다(오른쪽 벽 반사가 우물 안 바닥 부근에서 일어남).

(b) $n = 2$**:**

$$v_{\min} = \frac{W}{4}\sqrt{\frac{2g}{H}} = \frac{W}{2}\sqrt{\frac{g}{2H}}.$$

가능하다.

(c) $n = 3$**:**

$$v_{\min} = \frac{W}{6}\sqrt{\frac{2g}{H}} = \frac{W}{3}\sqrt{\frac{g}{2H}}.$$

가능하다.

일반식은 $\boldsymbol{v_{\min} = \frac{W}{2n}\sqrt{2g/H}}$ (바닥 n회 충돌). n이 커질수록 필요한 속력은 작아진다. (검산: 연직 주기 $2t_1$·수평 왕복 $2W$ 관계를 kinematics로 확인. n이 홀수이면 오른쪽 벽 반사가 바닥에서, 짝수이면 수면에서 일어나는 극한 형태가 된다.)

1-3 예시답안 — 줄에 꿰인 공(마찰 없는 구슬)

공은 줄에 뚫린 구멍으로 꿰여 **줄 위를 마찰 없이 미끄러질 수 있는 구슬**이다. [그림 4]의 기하에서 A쪽 줄은 수평과 $30°$ (연직과 $60°$), B쪽 줄은 수평과 $60°$(연직과 $30°$)를 이루며, 두 줄은 서로 **수직**이다.

(a) A·B에 가하는 힘: $T_A = \frac{1}{2}mg$, $T_B = \frac{\sqrt{3}}{2}mg$

고정장치가 줄 위 위치를 고정하므로 두 줄 구간의 장력은 서로 다를 수 있다. A쪽 장력 T_A, B쪽 장력 T_B라 하고 공의 평형(무게 mg 아래 방향)을 세우면

$$\text{수평:}\quad T_A\cos 30° = T_B\cos 60°,\quad \text{연직:}\quad T_A\sin 30° + T_B\sin 60° = mg.$$

이를 풀면

$$T_A = \frac{1}{2}mg,\quad T_B = \frac{\sqrt{3}}{2}mg.$$

줄이 A·B에 가하는 힘은 각 줄의 장력과 크기가 같으므로 **A: $\frac{1}{2}mg$, B: $\frac{\sqrt{3}}{2}mg$** 이다. (검산: 수직·수평 평형식을 sympy로 풀어 $T_A = mg/2, T_B = \sqrt{3}mg/2$ 확인. 두 줄이 직교하므로 무게가 두 직교 성분으로 분해된 형태.)

(b) 고정장치를 풀면 공은 움직인다.

고정장치를 풀면 구멍이 마찰 없이 미끄러지므로 줄 전체의 장력이 하나의 값 T로 **같아진다**. 마찰 없는 구슬이 평형을 이루려면 두 줄 구간이 **연직선과 같은 각**을 이루어 등장력의 수평 성분이 상쇄되어야 한다. 그런데 (a)의 배치는 연직과 $60°$(A쪽)와 $30°$(B쪽)로 **비대칭**이므로 수평 방향 알짜힘이 0이 아니다. 따라서 뉴턴 제2법칙에 의해 공은 알짜힘 방향(줄을 따라 더 아래로 내려가 대칭이 되는 쪽)으로 **미끄러져 움직인다**.

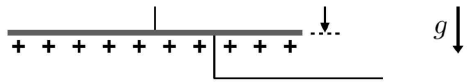
(c) 새 정지 위치는 (b) 직후보다 더 낮다.

고정장치 없이도 정지하는 위치는 마찰 없는 구슬의 **안정 평형점**, 즉 두 줄이 연직선과 같은 각을 이루는 **대칭점**이며 이는 줄이 만드는 곡선에서 공이 도달할 수 있는 **가장 낮은 점**이다. 역학적 에너지 관점: 마찰이 없고 줄은 늘어나지 않아 장력이 구슬에 하는 알짜 일은 0이므로, (b)에서 놓인 공은 오직 중력만이 알짜 일을 하여 **중력 위치 에너지가 최소**가 되는 곳까지 내려가 멈춘다. 따라서 새 정지 위치의 높이는 (b)에서 고정장치를 푼 직후보다 **낮다**.

문제 2. 전자기 — 복사압·평행판 대전·평행 도선의 자기력

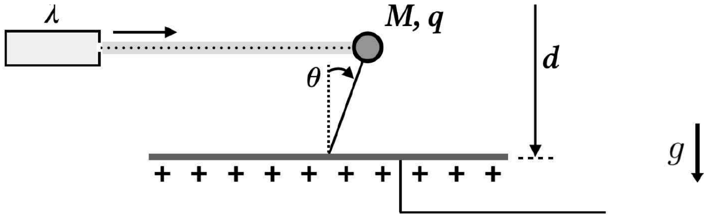
상황Ⓐ

전하 $q\ (>0)$를 가진 가벼운 금속공이, 고정되어 움직이지 않는 평행판 축전기 사이의 균일한 수직방향 전기장 속에 위치하고 있다. 평행판 사이의 거리는 d, 그 사이의 전압은 V이므로 전기장의 크기는 V/d이다. 질량이 M인 금속공은, 질량을 무시할 수 있으며 전류가 흐르지 않는 실에 의해 아래쪽 평행판에 묶여 있다. [그림 6]에서와 같이 금속공을 묶어놓을 실은 평행판에 당겨진 상태이다. (단, 금속공의 크기는 매우 작아 점입자로 간주할 수 있으며, 금속공에 추가로 유도되는 정전기나 유전분극 현상은 무시한다. 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



[그림 6] 상황Ⓐ. 전하 $+q$·질량 M인 금속공이 간격 d·전압 V인 평행판 사이에 있고, 아래 평행판에 실로 묶여 연직으로 매달려 있다.

2-1. 상황Ⓐ에서 묘사한 상태의 금속공에 [그림 7]과 같이 파장이 λ인 단색광 레이저 빛을 일정한 출력(일률)으로 계속 쏘아주니, 금속공을 묶어놓은 실이 수직 방향과 각 θ를 만들면서 평형상태를 이루었다. 광자는 아래 토막글에 설명한 것처럼 에너지와 운동량을 가지는 고전적인 입자로 간주할 수 있으며, 금속공의 표면에 충돌한 후 입사 속력과 같은 속력을 갖고 입사 방향과 정확히 반대 방향으로 튀어나온다고 가정한다. 이때, 레이저에서 단위 시간당 방출되는 광자의 개수를 주어진 다른 변수들로 표현하시오. (단, 중력가속도는 g, 플랑크 상수는 h, 빛의 속도는 c이다. 레이저에서 방출된 후 금속공에 도달할 때까지 손실되는 광자는 없으며, 레이저 빛은 평행판과는 평행을 이루며 금속공 표면에는 수직으로 입사하고 있다. 또한, 사용된 레이저 빛은 금속공에서 광전효과를 일으키지 않으며, 금속공 표면에서 반사된 광자들은 금속공으로 입사하는 광자들의 움직임에 영향을 주지 않는다고 가정한다.)



[그림 7] 수평 레이저(파장 λ)가 금속공에 입사·반사. 복사압으로 실이 연직과 각 θ를 이룬다.

토막글 — 파동의 이중성

아인슈타인 등이 제창하고 실험을 통해 검증된 광양자 이론에 따르면 빛(파동)은 입자의 성질을 띠며, 파장이 λ인 단색광을 구성하는 광자(빛알갱이) 1개는 $\frac{hc}{\lambda}$로 기술되는 에너지와 $\frac{h}{\lambda}$로 기술되는 운동량을 갖는다.

2-1 예시답안 — 복사압으로 실이 기운 평형

실이 연직과 각 θ를 이루는 평형에서, 실의 장력 T(줄을 따라 아래 고정점 쪽)와 함께 작용하는 힘은 전기력 $qE = qV/d$ (위 방향), 중력 Mg(아래), 그리고 레이저 복사력 F(수평)이다.

$$\text{수평:}\quad F = T\sin\theta,\quad \text{연직:}\quad q\frac{V}{d} - Mg = T\cos\theta.$$

두 식을 나누면

$$F = \left(q\frac{V}{d} - Mg\right)\tan\theta.$$

반사 광자 1개는 운동량 h/λ로 입사해 반대 방향으로 튀어나오므로 공에 전달하는 운동량은 $2h/\lambda$이다. 단위 시간당 광자 수를 N이라 하면 복사력 $F = N\cdot(2h/\lambda)$이므로

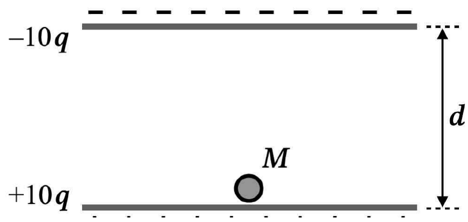
$$N = \frac{F\lambda}{2h} = \frac{\lambda\left(q\frac{V}{d} - Mg\right)\tan\theta}{2h}.$$

결과

$$N = \frac{\lambda\tan\theta}{2h}\left(q\frac{V}{d} - Mg\right).$$

(검산: 평형식 $F = (qV/d - Mg)\tan\theta$, 반사 운동량 $2h/\lambda$로 sympy 확인.)

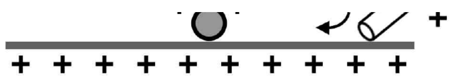
2-2. 이번에는 상황Ⓐ에서 묘사한 실험기구를 중력을 무시할 수 있는 공간으로 옮겼다. 축전기에 가해진 전압을 조절하여 각 평행판에 대전된 전하량이 각각 $+10q$와 $-10q$가 되게 한 후, 평행판에 연결된 전선을 끊어 [그림 8]과 같은 상태를 만들었다. 이제 전하가 없는 금속공을 아래쪽 평행판에 닿도록 가만히 놓았다(초기 속도는 0이다). 이후 금속공의 운동이 어떻게 될지, 특히 (a) 가속도와 (b) 속도가 어떻게 변화할지를, 아래 사전실험의 내용을 고려하여 정성적으로 설명하시오. (단, 평행판과 금속공의 충돌은 탄성충돌이고, 매우 짧은 시간 동안 일어나며, 이 시간 동안 전하 교환을 통해 정전기적 평형상태에 이른다고 가정한다. 평행판의 크기는 매우 커서 그 사이의 전기장은 항상 수직이라 가정하며, 전자기파의 방사에 의한 영향은 무시한다.)



[그림 8] 중력이 없는 공간. 위 평행판 $-10q$, 아래 평행판 $+10q$, 전선은 끊긴 상태. 전하 없는 금속공을 아래판에 놓는다.

사전실험 — 접촉 시 전하 재분배

전하를 띤 두 도체가 서로 접촉하면 매우 빠른 속도로 전하를 나눠 가짐으로써 전하량들이 균일한 정전기적 평형 상태에 이르게 된다. 이제 본 실험에 사용할 전하가 없는 평행판 1개와 금속공 1개를 서로 맞닿게 놓은 상태에서 [그림 9]와 같이 대전체를 가져다 대었다. 대전체를 제거하고 평행판과 금속공을 분리한 뒤, 각 물체에 대전된 전하량을 측정하여 보니 그 비율이 평행판 : 금속공 $= 9:1$이었다.



[그림 9] 사전실험: 맞닿은 평행판과 금속공에 대전체를 접근시켜 유도 대전량을 측정 → 평행판 : 금속공 $= 9:1$.

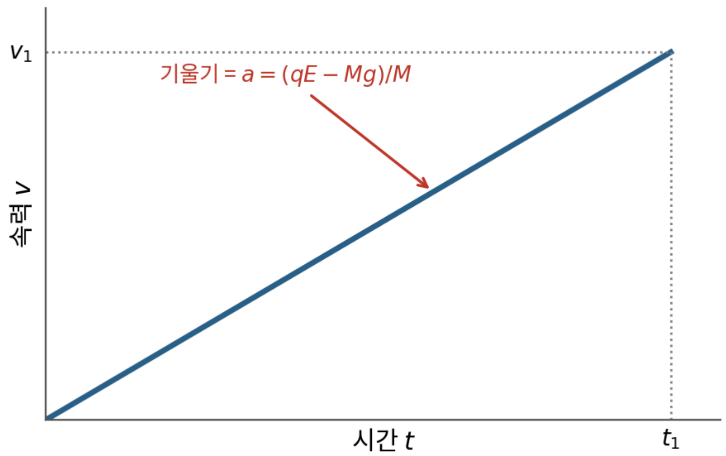
2-2 예시답안 — 부호를 번갈아 바꾸며 왕복하다 정지

중력이 없으므로 공에는 전기력만 작용한다. 전하 없는 금속공을 $+10q$인 아래판에 접촉시키면 사전실험의 $9:1$ 재분배에 의해 공은 아래판 전하의 $1/10$인 $\boldsymbol{+q}$를 얻고, 아래판은 $+9q$가 된다.

아래판이 $+$, 위판이 $-$이므로 판 사이 전기장은 위쪽을 향한다. 대전된 공($+q$)은 위 방향 전기력을 받아 위판을 향해 **가속**된다. 이동 중에는 공의 전하($+q$)와 판 전하가 일정하므로 전기장이 균일 → **가속도 일정(등가속)**, 속력은 시간에 비례해 증가한다.

위판($-10q$)에 닿는 순간 다시 $9:1$로 재분배된다. 위판과 공의 총 전하 $-10q+q=-9q$가 나뉘어 공은 $1/10$인 $\boldsymbol{-0.9q}$, 위판은 $-8.1q$가 된다. 이제 공은 음전하이므로 전기장(위 방향) 속에서 **아래 방향** 힘을 받아 감속·반전하여 아래판으로 되돌아간다. 이런 식으로 공은 두 판 사이를 **왕복**하며, 접촉할 때마다 전하의 **부호가 뒤집히고 크기는 점점 줄어든다**($q, 0.9q, 0.81q, \ldots$).

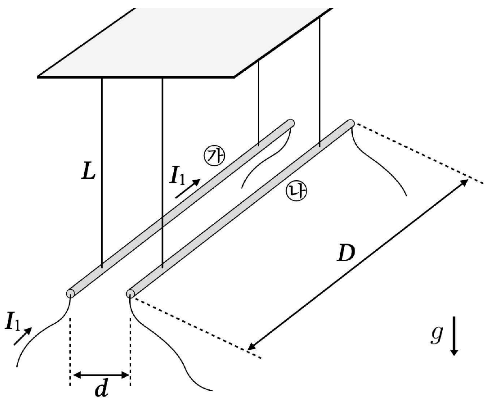
> **정리 — (a) 가속도 · (b) 속도**
>
> - **(a) 가속도:** 각 비행 구간에서는 전기장이 균일하여 가속도의 **크기가 일정**(등가속)하다. 그러나 판에 접촉할 때마다 전하가 재분배되어 전하량이 줄고 부호가 뒤집히므로, **다음 구간의 (일정한) 가속도는 크기가 더 작아지고 방향은 반대**가 된다.
> - **(b) 속도:** 각 비행 구간에서 속력은 시간에 비례해 증가하여 반대편 판에 닿을 때 최대가 된다. 접촉마다 가속도가 작아지므로 **구간마다 속력 증가폭이 점점 작아지고**, 공은 두 판 사이를 왕복하다가 전하가 중화되며 결국 **정지**(또는 매우 느려짐)한다.



예시 작도 — 한 비행 구간에서의 속력–시간 그래프. 균일 전기장이므로 기울기(가속도) $a=(qE-Mg)/M$형의 등가속 직선. (본 문제는 중력이 없어 $a=qE/M$; 접촉마다 $|q|$와 a가 줄어 다음 구간의 직선 기울기가 작아진다.)

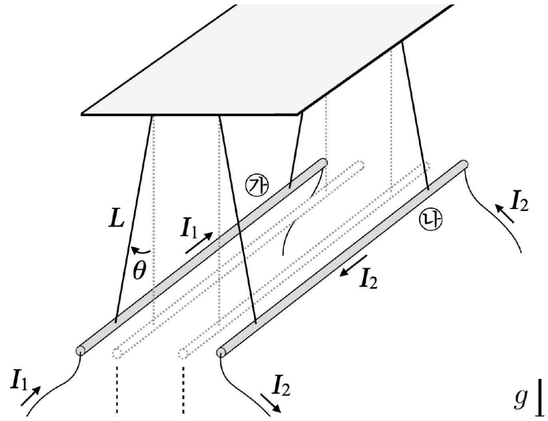
상황Ⓑ

질량이 M, 길이가 D, 반지름이 R인 원기둥 모양의 구리막대 ㉮, ㉯가 길이가 L이고 전류가 흐르지 않는 실 4개에 의해 [그림 10]과 같이 천장에 매달려 있다. 두 막대는 서로에 대해서는 평행을, 지면에 대해서는 수평을 이루고 있다. 이들 막대는 느슨한 전선과 각각 연결되어 서로 다른 전류가 흐를 수 있다. 두 막대 사이의 간격 d에 비해 막대의 반지름 R은 매우 작고, 길이 D는 매우 커서, 막대 ㉮에 전류 I_1이 흐르는 경우 이로부터의 거리가 r인 지점에서 자기장의 세기는 비례상수 k를 이용하여 $B = k(I_1/r)$로 나타낼 수 있다. (단, 막대 양 끝에 연결된 느슨한 전선에 의한 자기장은 무시하며 느슨한 전선과 실의 질량은 무시한다. 중력가속도는 g이며, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)



[그림 10] 상황Ⓑ. 질량 M·길이 D·반지름 R인 두 구리막대 ㉮·㉯가 길이 L인 실 4개로 천장에 수평·평행하게 매달려 있고 간격은 d.

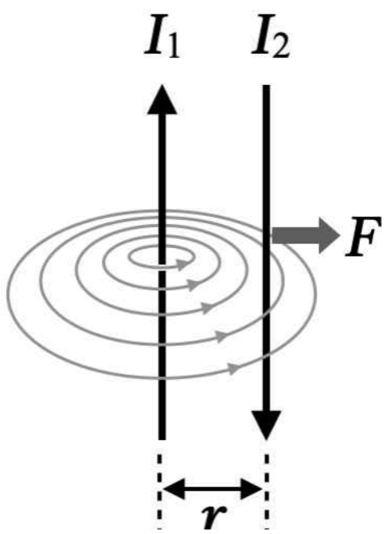
2-3. 상황Ⓑ에서 묘사한 구리막대 ㉮, ㉯에 각각 전류 I_1, I_2를 계속 흘려주자, [그림 11]과 같이 막대를 매단 실이 수직방향과 각 θ를 만들면서 평형상태를 이루었다. 이때, 아래 토막글을 참고하여 두 전류의 곱 $I_1 I_2$를 주어진 다른 변수들로 표현하시오.



[그림 11] 전류 I_1, I_2가 서로 반대 방향으로 흐르면 두 막대는 척력을 받아 실이 연직과 각 θ만큼 바깥으로 벌어져 평형을 이룬다.

토막글 — 평행한 두 직선 도선 사이에 작용하는 힘

전류가 흐르는 평행한 두 직선 도선이 가까이 있으면, 두 도선은 각각 자기장을 형성하는 한편 상대가 만든 자기장 속에 놓이게 되므로 힘을 받게 된다. 거리 r만큼 떨어져 있고 충분히 긴 두 직선 도선(길이 D)에 서로 다른 방향으로 전류 I_1, I_2가 흐르는 경우, 두 도선 사이에는 [그림 12]와 같이 서로 밀어내는 힘이 작용하며 그 크기는 $F = \frac{kI_1 I_2 D}{r}$이다.



[그림 12] 반대 방향 전류가 흐르는 평행 도선은 서로 밀어내는 힘 $F = kI_1 I_2 D/r$를 받는다.

2-3 예시답안 — 평행 도선 척력과 실의 평형

[그림 11]에서 두 막대에 흐르는 전류 I_1, I_2는 서로 **반대 방향**이므로 두 막대는 서로 **밀어내는(척력)** 힘을 받아 바깥쪽으로 벌어진다. 막대 하나(질량 M)는 실 2개로 매달려 실이 연직과 각 θ를 이룬다. 막대 하나의 평형은

$$\text{연직:}\quad 2T\cos\theta = Mg,\qquad \text{수평:}\quad 2T\sin\theta = F.$$

두 식을 나누면 막대에 작용하는 자기력

$$F = Mg\tan\theta.$$

막대가 각 θ만큼 바깥으로 벌어지면 두 막대의 간격은 처음 d에서 $2L\sin\theta$만큼 늘어나, 실제 간격은 $r = d + 2L\sin\theta$이다. 토막글의 $F = kI_1I_2D/r$에 대입하면

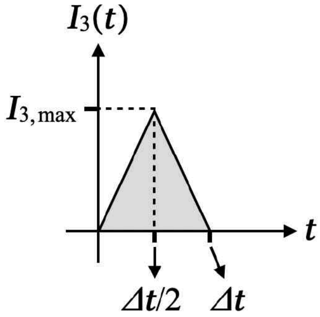
$$I_1I_2 = \frac{Fr}{kD} = \frac{Mg\tan\theta(d+2L\sin\theta)}{kD}.$$

결과

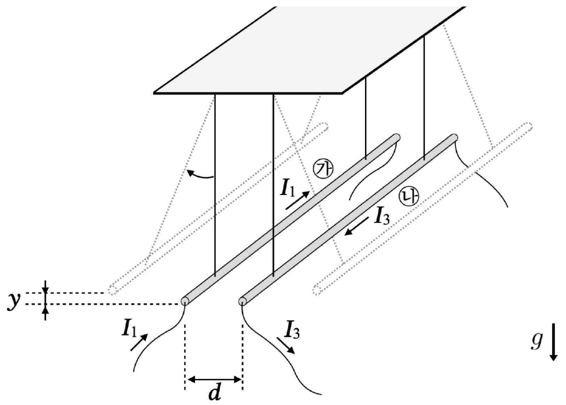
$$I_1I_2 = \frac{Mg\tan\theta(d+2L\sin\theta)}{kD}.$$

(검산: 막대 평형 $F = Mg\tan\theta$, 벌어진 간격 $r = d + 2L\sin\theta$로 sympy 확인. 반대 방향 전류 → 척력 → 간격 증가.)

2-4. 이제는 위 상황Ⓑ에서 묘사한 구리막대 2개 중 ㉮에만 전류 I_1이 계속 흐르고 있다. 시간 $t = 0$부터 아주 짧은 시간 Δt동안 막대 ㉯에 전류 $I_3(t)$가 아주 짧은 시간 Δt동안 [그림 13]과 같은 형태로 흘렀고(최댓값 $I_{3,\max}$), 그 결과 두 막대는 서로 밀려나기 시작했다. 이어진 막대의 운동은 [그림 14]에서처럼 두 막대가 처음 위치보다 수직 방향으로 y만큼 움직인 순간 잠시 멈추었다. Δt동안 막대가 밀려난 거리는 무시할 수 있을 만큼 작다고 할 경우, 변위 y를 주어진 다른 변수들로 표현하시오.



[그림 13] 막대 ㉯의 전류 $I_3(t)$: $t = 0$에서 0, $t = \Delta t/2$에서 최댓값 $I_{3,\max}$, $t = \Delta t$에서 0인 삼각형 펄스.



[그림 14] 짧은 전류 펄스의 충격량으로 밀려난 막대가 그네처럼 흔들려 처음보다 높이 y만큼 올라간 순간 정지한다.

2-4 예시답안 — 충격량-운동량과 에너지 보존

막대 ㉮가 만드는 자기장은 간격 d인 막대 ㉯ 위치에서 $B = kI_1/d$이다. 막대 ㉯(길이 D, 전류 $I_3(t)$)가 받는 힘의 크기는

$$F(t) = BI_3(t)D = \frac{kI_1 D}{d} I_3(t).$$

충격량 $J = \int_0^{\Delta t} F\,\mathrm{d}t = \frac{kI_1 D}{d}\int_0^{\Delta t} I_3\,\mathrm{d}t$이고, [그림 13]의 삼각형 펄스 면적은 $\int I_3\,\mathrm{d}t = \frac{1}{2}\Delta t\ I_{3,\max}$이므로

$$J = \frac{kI_1 D}{d}\cdot\frac{1}{2}\Delta t\ I_{3,\max} = \frac{kI_1 D\ \Delta t\ I_{3,\max}}{2d}.$$

Δt 동안 변위는 무시할 수 있으므로 충격량이 그대로 운동량이 되어 막대는 수평 속력 $v_0 = J/M$을 얻는다. 이후 전류가 끊긴 막대는 길이 L인 실에 매달린 진자처럼 흔들려 올라가며, 운동 에너지가 중력 위치 에너지로 전환되어 높이 y에서 정지한다:

$$\frac{1}{2}Mv_0^2 = Mgy \quad\Rightarrow\quad y = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{J^2}{2M^2 g}.$$

결과

$$y = \frac{\left(kI_1 D\ I_{3,\max}\ \Delta t\right)^2}{8d^2 M^2 g}.$$

(검산: 삼각 펄스 면적 $\frac{1}{2}\Delta t\ I_{3,\max}$, $J = (kI_1 D/d)\cdot$ 면적, $v_0 = J/M$, $y = v_0^2/(2g)$를 sympy로 확인.)

재조판 문서 · 원문 출처: 서울대학교 2024학년도 수시모집 일반전형 면접 및 구술고사 문항(물리학). 예시답안·답안 그래프는 학습용으로 작성되었으며 서울대학교의 공식 채점 기준이 아닙니다.