

한국과학기술원 면접·구술고사

자연계열 · 물리

문제 · 예시답안

시험 구분
전형
출제 과목
문항 수
핵심 개념

면접 및 구술고사 (자연계열, 물리)
일반전형 · 학교장추천전형 · 고른기회전형
물리 I, 물리 II
2문항 (소문항 6개)
단진자의 주기와 복원력, 유효 중력가속도,
전기력·자기력이 더해진 진자 운동, 실의 장력 조건,
원형 전류가 만드는 자기장, 로런츠 힘과 등속 원운동,
운동 궤적의 가역성과 시간 반전

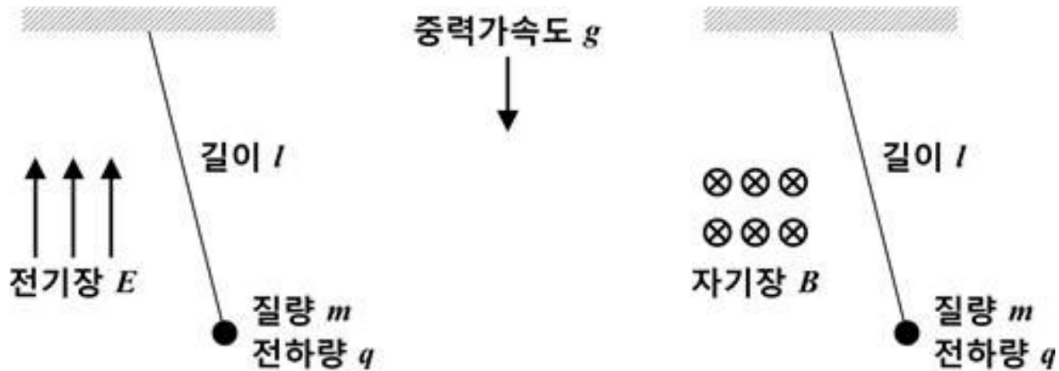
I. 문제

문제 1 전기장·자기장 속에서 단진동하는 대전된 진자

물리 I · II · 소문항 3개

질량 m , 전하량 q ($q > 0$)인 추가 길이가 l 인 실에 연결되어 단진동하고 있다. 실의 길이는 늘어나지 않으며, 공기 저항, 실의 질량, 추의 크기, 전하의 운동으로 인한 전자기파의 발생 등은 무시한다.

- (1) 아래 왼쪽 그림과 같이 진자에 세기가 균일한 전기장 $\vec{E}$ 를 연직 위 방향으로 가할 경우 단진동 주기는 어떻게 변하는가?
- (2) 반면 아래 오른쪽 그림과 같이 균일한 자기장 $\vec{B}$ 를 종이면에 수직하게 들어가는 방향으로 가할 경우 단진동 주기는 어떻게 변하는가?
- (3) 전기장 내지 자기장의 세기에 관계없이 단진동은 유지되는가? 유지되지 않는가? 그 이유에 대해서도 설명하시오.

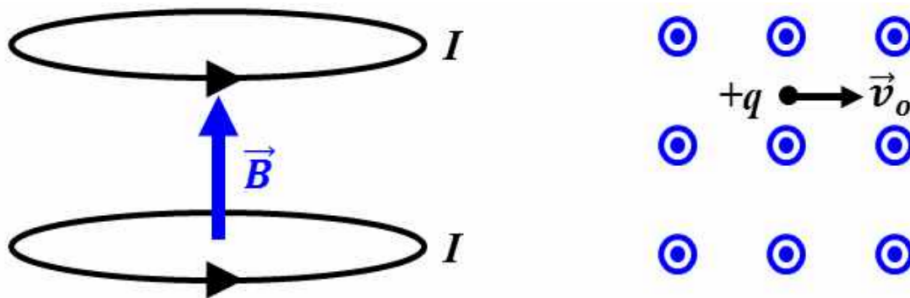


연직 위 방향의 전기장 E (왼쪽)와 종이면에 들어가는 자기장 B (오른쪽) 속의 진자

문제 2 원형 전류가 만드는 자기장 속 전하의 운동과 가역성

물리 II · 소문항 3개

다음 그림처럼 전류가 흐르는 두 개의 코일을 통해 자기장을 형성하였다. 이때 코일의 모양과 크기를 조절해, 충분한 크기의 영역에서 균일한 자기장 $\vec{B}$ 를 만들었다고 가정하자. 이 균일한 자기장 영역에서 $+q$ 의 전하가 자기장 방향에 수직한 초기속도 v_o 로 움직이고 있다.



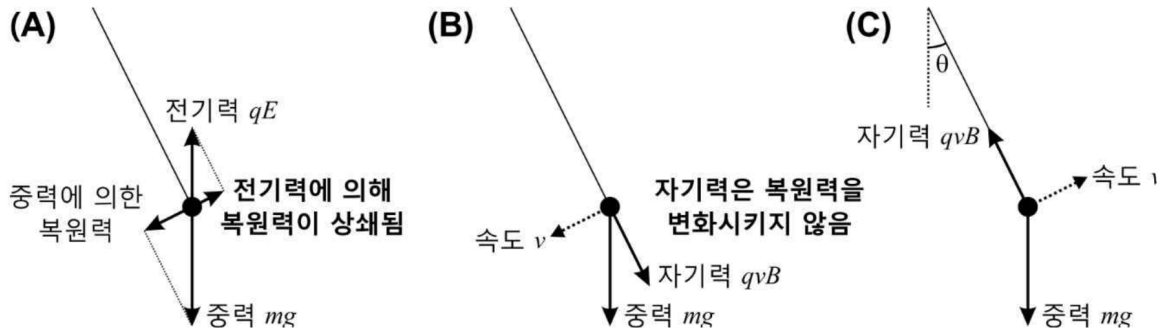
두 코일이 만드는 균일 자기장(왼쪽)과 그 자기장 영역을 v_o 로 지나는 전하 $+q$ (오른쪽)

- (1) 전하 $+q$ 에 작용하는 힘과 그 결과 나타나는 운동에 대해 구체적으로 설명하시오.
- (2) 동일한 자기장 분포에서 전하 $+q$ 는 (1)에서 보인 운동 궤적을 거꾸로 따라갈 수 있는가? 없는가? 그 이유는 무엇인가?
- (3) 시간을 거꾸로 돌리는 경우 전하 $+q$ 는 (1)에서 보인 운동 궤적을 거꾸로 따라가는가? 아닌가? 그 이유는 무엇인가?

II. 예시답안

문제 1 전기장·자기장 속에서 단진동하는 대전된 진자

유효 중력가속도 · 복원력 · 실의 장력



(A) 전기력이 복원력을 상쇄 · (B), (C) 자기력은 실 방향으로 작용하여 복원력을 바꾸지 않음

(1) 단진동 주기를 증가시킨다

전기장은 그림 (A)처럼 추에 연직 위 방향으로의 전기력 qE 를 가하면서 중력에 의한 복원력을 상쇄시키므로, **단진동 주기를 증가시킨다.**

즉 추에 작용하는 연직 방향의 알짜힘이 $mg - qE$ 로 줄어들므로, 유효 중력가속도가

$$g' = g - \frac{qE}{m} (< g)$$

로 작아지는 것과 같다. 단진동 주기 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 에서 유효한 중력가속도 g 를 감소시키는 효과와 동일하므로

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g'}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g - qE/m}} > 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

(2) 단진동 주기를 변화시키지 않는다

자기장은 그림 (B)나 (C)처럼 항상 추의 속도에 수직한 방향(실과 평행한 방향)으로 Lorentz 힘(자기력)을 가하고 이는 복원력을 변화시키지 않으므로, **단진동 주기를 변화시키지 않는다.**

추의 속도 $\vec{v}$ 는 언제나 원호의 접선 방향이므로, 자기력 $q\vec{v} \times \vec{B}$ 는 이에 수직한 방향, 즉 실을 따르는 지름 방향이 된다. 단진동의 주기를 결정하는 것은 접선 방향의 복원력뿐인데 자기력은 접선 성분을 전혀 갖지 않으므로 주기가 바뀌지 않는다. (자기력은 실의 장력만 바꿀 뿐이며, 자기력은 속도에 수직하므로 일을 하지 않아 에너지도 변화시키지 않는다.)

(3) 유지되지 않는다 — 세기가 충분히 커지면 단진동이 깨진다

전기장이 충분히 강해서 전기력 qE 가 중력 mg 보다 커지면 복원력이 존재하지 않아 단진동이 일어나지 않는다. 그리고 자기장이 충분히 강해서 자기력 qvB (v 는 추의 속력)가 중력 $mg \cos \theta$ 보다 크고 방향은 서로 반대이면 (그림 (C)처럼) 실의 장력이 없어져서 (즉, 실이 팽팽하지 못하고 휘어져서) **단진동이 유지되지 못한다.**

- 전기장: $qE > mg$ 이면 알짜 복원력의 방향이 뒤집혀(또는 사라져) 진동이 성립하지 않는다.
- 자기장: 자기력이 실을 따라 **안쪽**을 향할 때 실 방향의 힘의 평형은 $T_{\text{장력}} = mg \cos \theta - qvB + mv^2/l$ 이므로, 자기력이 커져 $qvB > mg \cos \theta + mv^2/l$ 이 되면 $T_{\text{장력}} < 0$ 이 되어 실이 느슨해진다.

문제 2 원형 전류가 만드는 자기장 속 전하의 운동과 가역성

로런츠 힘 · 등속 원운동 · 시간 반전

(1) 로런츠 힘이 구심력으로 작용하여 반지름 $r = mv_o/(qB)$ 의 등속 원운동을 한다

Lorentz 힘 $\vec{F} = q\vec{v}_o \times \vec{B}$ 이 구심력으로 작동해, 위에서 쳐다봤을 때 시계방향의 원운동을 한다. 원운동의 반경은

$$qv_oB = \frac{mv_o^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv_o}{qB}$$

가 된다.

두 코일의 전류가 만드는 자기장은 코일의 축 방향(그림에서 위쪽)이고, 오른쪽 그림은 그 자기장을 마주보는 방향에서 본 것이므로 $\vec{B}$ 는 종이면에서 나오는 방향이다. 초기 속도가 $+x$ 방향이므로 $\vec{v}_o \times \vec{B}$ 는 $-y$ 방향, 즉 전하는 아래쪽으로 휘어 시계방향으로 돈다. 자기력은 언제나 속도에 수직이어서 일을 하지 않으므로 속력 v_o 는 변하지 않고, 크기가 일정한 구심력만 남아 등속 원운동이 된다. 주기는 $T = 2\pi m/(qB)$ 로 속력과 무관하다.

(2) 거꾸로 따라갈 수 없다

Lorentz 힘의 방향은 자기장의 방향이 바뀌지 않는 한, 속도 벡터의 우측방향으로 작용한다. 즉 반시계 방향으로 운동은 불가능하기 때문에 **운동 궤적을 거꾸로 따라갈 수 없다.**

궤적을 거꾸로 따라가려면 각 지점에서 속도가 원래와 반대($\vec{v} \rightarrow -\vec{v}$)여야 하는데, 그러면 자기력도 $q(-\vec{v}) \times \vec{B} = -q\vec{v} \times \vec{B}$ 로 뒤집혀 원의 **바깥쪽**을 향하게 된다. 구심력이 되지 못하므로 같은 원 궤도를 유지할 수 없다.

(3) 거꾸로 따라간다

(1)에서 보인 운동 궤적을 거꾸로 따라 간다. 시간을 거꾸로 돌리면 자기장을 만들어내는 전류도 반대로 흐르게 되고, 자기장의 방향도 반대로 되어 **반시계 방향 원운동이 가능하게 된다.**

(2)와의 차이는 자기장까지 함께 뒤집히는가에 있다. 시간 반전에서는 $\vec{v} \rightarrow -\vec{v}$ 와 동시에 $\vec{I} \rightarrow -\vec{I}$, 따라서 $\vec{B} \rightarrow -\vec{B}$ 가 되므로

$$\vec{F} = q(-\vec{v}) \times (-\vec{B}) = q\vec{v} \times \vec{B}$$

로 힘이 원래와 완전히 같아진다. 위치를 그대로 되짚는 운동에서 가속도는 시간 반전에 대해 불변이므로, 힘이 변하지 않는다는 것은 곧 원래 궤적을 정확히 거꾸로 밟는다는 뜻이다.

(2)는 자기장을 그대로 둔 채 속도만 뒤집는 경우라 불가능하고, (3)은 전류·자기장까지 함께 뒤집히므로 가능하다.