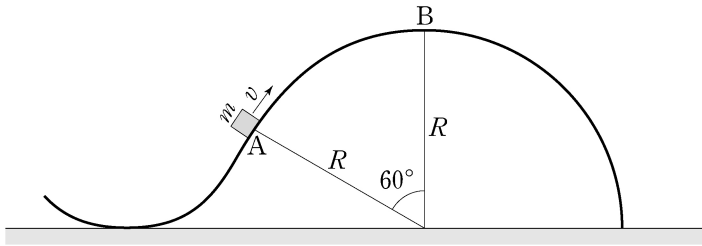


3. 그림은 질량 m 인 물체가 마찰이 없는 궤도면을 따라 운동하다가 점 A를 지나는 순간을 나타낸 것이다.



물체가 최고점 B에 도달하기 위한 A에서의 최소 속력 v 를 구하고, A에서 B까지 운동하는 동안 수직 항력이 한 일 W 를 구하시오. (단, 중력 가속도의 크기는 g 이고, 물체의 크기는 무시한다.) [2점]

4. 상태 $|\psi\rangle$ 는 해밀토니언 $\hat{H} = \epsilon_0 \hat{a} \hat{b}$ 의 고유 상태로 $\hat{H}|\psi\rangle = E|\psi\rangle$ 를 만족한다. ϵ_0 은 양의 상수이다. 연산자 \hat{a} 와 \hat{b} 의 교환자 관계식은 $[\hat{a}, \hat{b}] = 1$ 이다. 해밀토니언의 고유 상태인 $\hat{a}|\psi\rangle$ 와 $\hat{b}|\psi\rangle$ 는

$$\hat{H}\hat{a}|\psi\rangle = E_1\hat{a}|\psi\rangle,$$

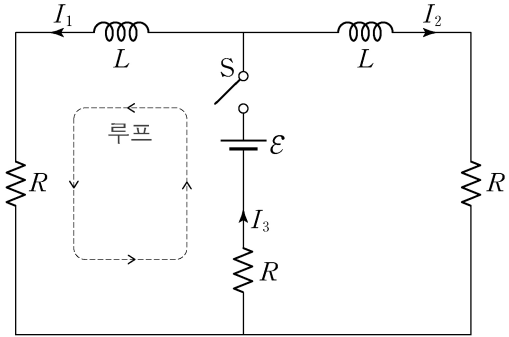
$$\hat{H}\hat{b}|\psi\rangle = E_2\hat{b}|\psi\rangle$$

를 만족한다.

고윳값 E_1 과 E_2 를 각각 구하시오. (단, $|\psi\rangle$ 는 들뜬 상태이다.)

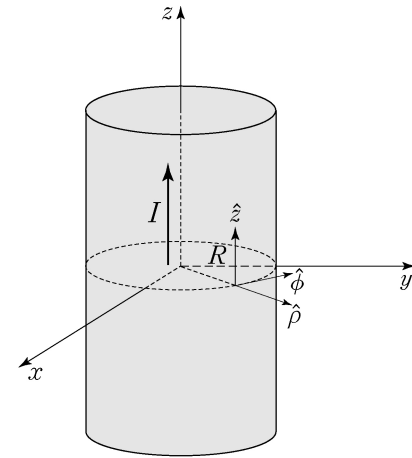
[2점]

5. 그림은 저항 R 인 저항기, 인덕턴스 L 인 인덕터, 기전력이 \mathcal{E} 인 직류 전원이 연결된 회로를 나타낸 것이다. 스위치 S 를 닫으면 각 부분에 전류 I_1, I_2, I_3 이 흐른다.



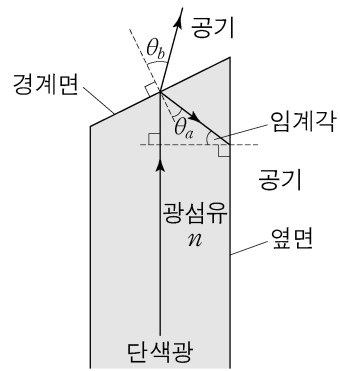
스위치 S 를 닫았을 때 그림의 루프(loop)에 대한 키르히호프의 전압 법칙을 쓰고, 이후 충분한 시간이 지났을 때 왼쪽 인덕터에 흐르는 정상 전류(steady-state current)를 구하시오. [2점]

6. 그림과 같이 세기가 I 로 일정한 전류가 반지름이 R 인 무한히 긴 원통 도선에 균일하게 흐르고 있다. 도선의 투자율은 μ_0 이다. $\hat{\rho}, \hat{\phi}, \hat{z}$ 는 각각 원통 좌표계의 단위 벡터이다.



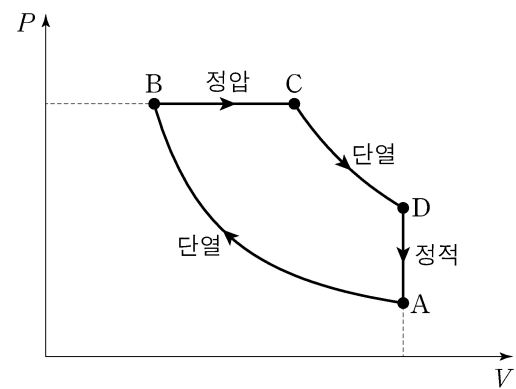
도선 내부($\rho \leq R$)에서의 자기장의 크기 $B(\rho)$ 와 방향을 구하시오. [2점]

7. 그림과 같이 단색광이 광섬유 내부에서 진행하여 경계면에서 일부는 반사각 θ_a 로 반사하고 일부는 굴절각 θ_b 로 굴절하여 공기로 진행한다. 반사된 빛은 광섬유 옆면에 전반사의 임계각으로 입사한다. 공기의 굴절률은 1이고, 광섬유의 굴절률은 n 이다.



θ_a 와 θ_b 를 n 으로 각각 나타내시오. [2점]

8. 그림은 어떤 열기관에 사용된 1몰(mol)의 단원자 분자 이상 기체의 상태가 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ 의 경로를 따라 변할 때, 기체의 압력 P 와 부피 V 의 관계를 나타낸 것이다. $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ 는 각각 단열, 정압, 단열, 정적 과정이고, A , B , C , D 에서의 온도는 각각 T_A , T_B , T_C , T_D 이다. 이 기체의 정압 비열은 $\frac{5}{2}R$ 이고, 정적 비열은 $\frac{3}{2}R$ 이다.

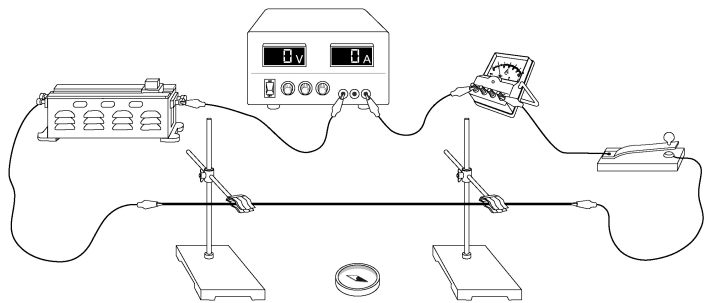


한 번의 순환 과정에서 기체가 한 일 W 와 열기관의 열효율 η 를 구하시오. (단, R 는 기체 상수이다.) [2점]

9. <자료 1>은 '직선 도선에 흐르는 전류에 의한 자기장'에 대한 실험 지도를 위해 예비 교사가 작성한 실험 계획이고, <자료 2>는 이에 대한 지도 교사와 예비 교사의 대화이다.

<자료 1>

- 실험 목표: 직선 도선에 흐르는 전류가 만드는 자기장의 세기와 방향이 전류의 세기와 방향 및 도선으로 부터 떨어진 거리와 어떤 관계가 있는지 알 수 있다.
- 실험 과정
 - 1) 에나멜선, 직류 전원 장치, 가변 저항기, 전류계, 스위치를 전선으로 연결한다.
 - 2) 그림과 같이 에나멜선(도선)을 클램프로 고정하여 지면과 수평하게 하고 나침반의 중심이 도선 아래에 오도록 나침반을 놓아 도선과 나침반 사이의 거리가 10cm가 되도록 한다.



- 3) 도선에 1.0 A의 전류를 흐르게 하고 나침반 바늘이 돌아간 방향과 각도를 측정한다.
- 4) 전류의 세기를 0.5 A씩 높여 가면서 나침반 바늘이 돌아간 방향과 각도를 측정한다.
- 5) 전류의 세기를 1.0 A로 고정시키고, 도선과 나침반 사이의 거리를 10 cm씩 위쪽으로 늘려 가며 나침반 바늘이 돌아간 방향과 각도를 측정한다.

<자료 2>

예비 교사: 저는 학생들이 직선 전류에 의한 자기장을 공식 ($B = k \frac{I}{r}$, $k = 2 \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A}$)뿐만 아니라 직접 실험을 통해서 확인해 보도록 실험을 계획 하였습니다. 실제 실험 수업을 지도할 때 저의 실험 계획에서 어떤 부분을 보완해야 할까요?

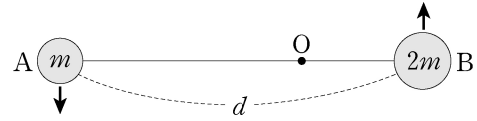
지도 교사: 실험 목표와 관련된 종속 변인, 조작 변인, 통제 변인은 잘 설정했습니다. 그러나 현재의 계획에는 ㉠ 조작 변인과 통제 변인을 실험 과정에 제대로 반영하지 못한 부분이 있습니다.

예비 교사: 말씀대로 제 실험 계획을 점검해 보니까, ... (생략) ...

지도 교사: 구체적인 변숫값을 포함하여 실험 방법을 제시하는 것은 잘했습니다. 다만, ㉡ 계획한 방법대로 실험 했을 때 측정값이 잘 나오는지 사전 실험을 통해 확인해 보아야 합니다.

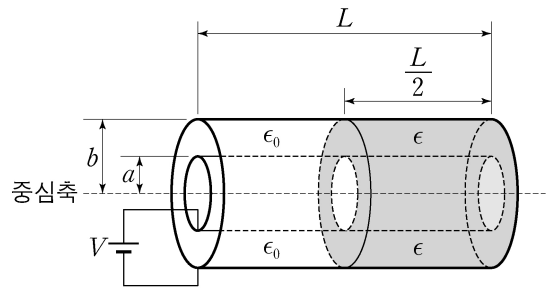
<자료 2>의 ㉠과 ㉡을 참고하여 <자료 1>에 나타난 예비 교사의 실험 계획의 문제점을 3가지 찾아 수정·보완하시오. 또한 이 실험을 지도할 때 학생들에게 주의를 주어야 할 전기 관련 안전 사항을 1가지 쓰시오. (단, 지구 자기장의 세기는 약 $5 \times 10^{-5} \text{ T}$ 이다.) [4점]

10. 그림과 같이 질량이 각각 m , $2m$ 인 두 별 A, B가 질량 중심 O를 중심으로 원운동한다. A와 B 사이의 거리는 d 로 일정하다. A와 B의 원운동 주기는 T 로 같고, B에 대한 A의 속력은 v_{AB} 이다.



O와 A 사이의 거리를 d 로 나타내고, v_{AB} 와 T 를 풀이 과정과 함께 각각 구하시오. (단, A, B의 크기는 무시하고, G 는 만유인력 상수이다.) [4점]

11. 그림은 반지름이 각각 a, b 인 도체 원통 껍질 사이에 유전율이 ϵ 인 유전체가 일부 채워진 동축 축전기를 나타낸 것이다. 도체 원통 껍질의 길이는 L 이고, 유전체는 $\frac{L}{2}$ 만큼 채워져 있다. 두 도체 사이의 전위차는 V 로 일정하다. 반지름이 a 인 도체 원통 껍질의 단위 길이당 전하량은 진공 부분에서 λ_0 이다. 유전체에는 알짜 전하가 없고, 진공의 유전율은 ϵ_0 이다.



전위차 V 를 풀이 과정과 함께 구하시오. 그리고 반지름 a 인 도체 원통 껍질의 총 전하량 Q 와 축전기의 전기 용량 C 를 구하시오. (단, 유전체는 균일하고 등방적이며 선형적이다. 가장자리 효과는 무시한다.) [4점]

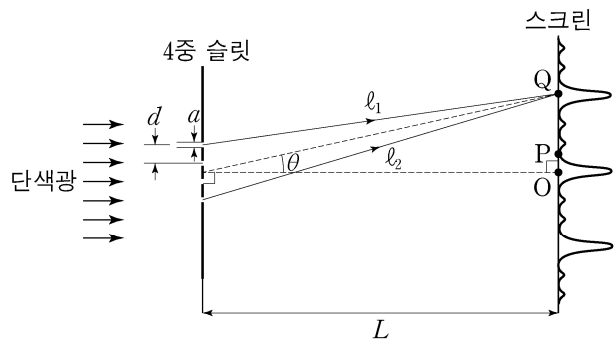
12. 스핀 양자수가 각각 $\frac{1}{2}$ 인 구별 가능한 입자 2개로 이루어진 계의 해밀토니언은 다음과 같다.

$$\hat{H} = \alpha \vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2$$

\vec{S}_1, \vec{S}_2 는 각 입자의 스핀 각운동량 연산자이고, α 는 양의 상수이다. 계의 에너지를 측정했을 때 측정 가능한 에너지 값은 E_a 와 E_b 이고, $E_a < E_b$ 이다.

E_a 와 E_b 를 구하시오. 또한 E_b 를 갖는 상태의 총 스핀 양자수 s 를 구하고, E_b 의 축퇴도(degeneracy) g_b 를 구하시오. [4점]

13. 그림은 파장이 λ 인 평면 단색광이 4중 슬릿을 통과하여 스크린에 간섭 무늬를 만든 것을 개략적으로 나타낸 것이다. 점 O는 중앙 극대점이고, 점 P, Q는 각각 O에 이웃한 첫 번째 극소점과 첫 번째 주요 극대점(first principal maximum)이다. l_1 과 l_2 는 각각 첫 번째 슬릿과 네 번째 슬릿으로부터 Q에 도달하는 단색광의 경로이다. 슬릿의 폭은 a 이고 슬릿 사이의 간격은 d 로 일정하며, 슬릿과 스크린 사이의 거리는 L 이다.



<자료>를 참고하여 O에서의 빛의 세기를 I_0 으로 나타내고, O와 P 사이의 거리와 O와 Q 사이의 거리를 각각 구하시오. 그리고 $|\ell_2 - \ell_1|$ 을 λ 로 나타내시오. (단, $L \gg d \gg a$ 이다.) [4점]

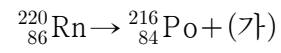
<자 료>

프라운호퍼 영역에서 다중 슬릿에 의해서 스크린에 만들어진 무늬의 빛의 세기 I 는 다음과 같은 근사식으로 표현된다. (단, $d \gg a$ 이다.)

$$I = I_0 \left(\frac{\sin N\alpha}{\sin \alpha} \right)^2$$

N 은 슬릿의 개수이고 α 는 $\frac{\pi d \sin \theta}{\lambda}$ 이다. I_0 은 $N=1$ 일 때 O에서의 빛의 세기이다.

14. 밀폐된 용기에 채워져 있는 $^{220}_{86}\text{Rn}$ 이 입자 (가)를 방출하며 다음과 같은 과정을 통해 붕괴한다.



$^{220}_{86}\text{Rn}$ 의 반감기는 56초이고, $t=0$ 에서 $^{220}_{86}\text{Rn}$ 의 붕괴율(활성도) $R_0 = 3.0 \times 10^{16}$ Bq이다. $t=0$ 과 $t=168$ 초일 때 용기 속의 $^{220}_{86}\text{Rn}$ 핵의 수는 각각 N_0 과 N 이다.

이 붕괴 과정이 α 붕괴인지 β 붕괴인지 쓰고, N_0 과 N 을 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, $^{220}_{86}\text{Rn}$ 은 주어진 과정을 통해서만 붕괴한다. 1Bq=1붕괴/초이고, $\ln 2 \approx 0.7$ 이다.) [4점]

<수고하셨습니다.>