



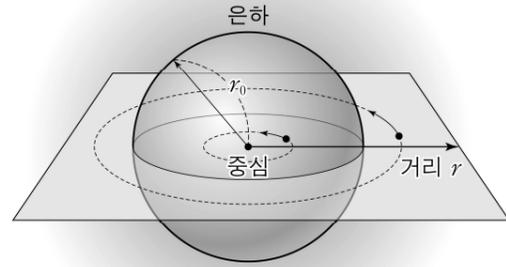
3. 어떤 양자 계의 해밀토니언이 다음과 같이 행렬  $H$ 로 표현된다.

$$H = \epsilon \begin{pmatrix} 1 & a \\ a & 3 \end{pmatrix}$$

이 때,  $a$ 와  $\epsilon$ 은 양의 실수이다.

$H$ 의 두 고윳값의 합을 구하고, 낮은 에너지 고윳값이 0이 되는  $a$ 를 구하시오. [2점]

4. 그림은 구면 대칭의 질량 분포를 가지는 은하와 은하 주위를 운동하는 물체를 나타낸 것이다. 은하의 질량 분포는 은하 중심으로부터의 거리  $r$ 에 따라 변하고, 물체는 은하 중심을 지나는 평면상에서 등속 원운동한다.



은하 중심으로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 물체의 속력  $v$ 는

$$v(r) = \begin{cases} \frac{v_0}{r_0} r, & r < r_0 \\ v_0, & r \geq r_0 \end{cases}$$

이다.  $M(r)$ 가 반지름  $r$ 인 구면 내부의 질량일 때, 은하의 질량 밀도는  $\rho(r) = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{dM(r)}{dr}$ 이다.

<자료>를 참고하여  $r < r_0$ 과  $r \geq r_0$ 에 대한 은하의 질량 밀도  $\rho(r)$ 를 각각 구하시오. (단,  $v_0$ ,  $r_0$ 은 상수이다.) [2점]

<자 료>

○ 은하 중심으로부터  $r$ 만큼 떨어진 물체의 등속 원운동 관계식은  $\frac{v^2(r)}{r} = \frac{GM(r)}{r^2}$ 이고,  $G$ 는 중력 상수이다.

5. <자료 1>은 2015 개정 과학과 교육과정 ‘과학탐구실험’ 과목의 내용 체계 일부이다. <자료 2>의 (가)와 (나)는 빛의 본질에 대한 데카르트(R. Descartes)의 생각과 뉴턴(I. Newton)의 연구에 관한 것이다. 이에 대하여 <작성 방법>에 따라 서술하시오. [4점]

<자료 1>

영역	핵심 개념	일반화된 지식	내용 요소
			과학탐구실험
역사 속의 과학 탐구	과학의 본성	과학자들의 탐구실험에서 과학의 다양한 본성이 발견되며, 과학 탐구 수행 과정에서 과학의 본성을 경험한다.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ... (중략) ...</li> <li>• ... (중략) ...</li> <li>• 패러다임의 전환을 가져온 ( ㉠ )</li> </ul>

<자료 2>

(가) 데카르트는 색이란 빛이 물체에 닿았을 때 물체와의 상호 작용 때문에 변형되어 생긴다고 하였다. 그러므로 데카르트는 햇빛이 프리즘을 통과한 후에 무지개 색이 나타나는 이유를 프리즘의 특성으로 인해 빛이 변형되기 때문이라고 설명하였다.

(나) 뉴턴은 빛의 본질을 알아보기 위해 두 개의 프리즘을 사용하는 연구를 계획하였다. 우선 그는 ( ㉡ ) (이)라는 가설을 세웠고, 프리즘은 빛을 단순히 분산시키는 역할을 한다고 생각하였다. 뉴턴은 이 가설이 옳다면, 첫 번째 프리즘을 통과한 무지개의 빛 중에서 빨간색 빛만 두 번째 프리즘을 통과시키면, 그 빛은 더 이상 분산되지 않고 빨간색 빛으로 보일 것이라고 생각하였다. 반면 데카르트의 생각이 옳다면 두 번째 프리즘을 통과한 빛도 역시 무지개 색으로 보였을 것이다. 실제 실험 결과는 뉴턴의 생각이 옳았다는 것을 보여 주었다. 뉴턴은 이 실험을 ( ㉠ ) (이)라고 그의 저서 『광학』에 소개하였다.

<작성 방법>

- 괄호 안의 ㉠에 공통으로 해당하는 용어를 쓸 것.
- (나)의 내용을 바탕으로 괄호 안의 ㉡에 해당하는 적절한 가설을 제시할 것.
- (나)에 해당하는 과학자의 탐구 방법을 쓰고, 그 근거를 설명할 것.

6. <자료>는 주사기를 이용하여 기체의 부피와 온도의 관계를 알아보는 실험을 한 후, 이에 대하여 지도 교사와 두 예비 교사가 나누는 대화이다. 두 예비 교사는 포퍼(K. Popper), 쿤(T. Kuhn), 라카토스(I. Lakatos)의 과학 철학적 관점 중 하나를 따른다. 이에 대하여 <작성 방법>에 따라 서술하시오. [4점]

<자료>

지도 교사: 실험 결과, 단열된 주사기의 피스톤을 밀었을 때 실린더 안의 기온이 올라갔고, 피스톤을 당겼을 때에는 실린더 안의 기온이 내려갔어요. 이 실험 결과에 대해 어떻게 생각하세요?

예비 교사 1: 이 실험 결과에서 피스톤을 당겼을 때 기체의 온도가 내려갔으니 열역학 제1법칙은 폐기되어야 합니다. 열역학 제1법칙이 옳다면, 피스톤을 당길 때 힘이 필요하고 힘이 작용하는 방향으로 피스톤이 이동하므로 힘과 피스톤의 이동 거리를 곱한 값인 일이 열로 바뀌어 온도가 올라가야 합니다.

예비 교사 2: 그렇게 쉽게 판단하면 안 됩니다. 열역학 제1법칙을 포함하는 열역학 법칙은 물리학의 주요 법칙으로 패러다임에 해당합니다. 피스톤을 당길 때에는 기체가 팽창하면서 일을 한 것이므로 기체가 한 일만큼 실린더 안 기체의 내부 에너지가 감소하여 온도가 내려가는 것이 열역학 제1법칙에 부합합니다. ㉠ 피스톤 외부의 기압을 변경시켜 피스톤의 압축과 팽창을 일으킬 때, 피스톤 내부 기체의 온도 변화를 측정해서 열역학 제1법칙을 충족하는지 추가로 확인해 보면 좋을 것 같네요.

<작성 방법>

- 예비 교사 1의 과학 철학적 관점을 쓰고, 그 근거를 설명할 것.
- 예비 교사 2의 과학 철학적 관점을 따를 때, 밑줄 친 ㉠은 어떤 단계에 해당하는지 쓰고, 그 근거를 설명할 것.

7. <자료 1>은 ‘마찰 전기로 전구에 불 켜기’에 관한 탐구 활동과 이에 대한 교사 설명의 일부이다. <자료 2>는 학생들에게 소개하는 초기 전기 연구에 대한 자료이다. 이에 대하여 <작성 방법>에 따라 서술하시오. [4점]

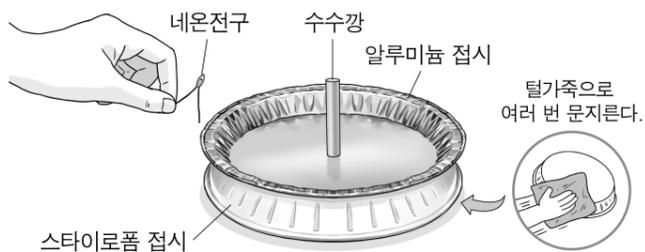
<자료 1>

[탐구 활동]

- 탐구 목표: 마찰 전기로 전구에 불을 켜 보며 전하가 이동하여 전류가 흐르는 과정을 설명할 수 있다.
- 준비물: 알루미늄 접시, 수수깡, 털가죽, 네온전구, 합성 수지로 만든 스타이로폼 접시, 접착테이프

○ 탐구 과정

- (가) 스타이로폼 접시를 털가죽으로 여러 번 문지른 후 책상 위에 스타이로폼 접시의 볼록한 면이 위로 오게 얹어 놓는다.
- (나) 알루미늄 접시의 오목한 면의 중앙에 길이가 약 5 cm인 수수깡을 세워 붙인 다음, ㉠ 이 수수깡을 잡아 알루미늄 접시를 스타이로폼 접시 위로 올려놓는다.
- (다) ㉡ 네온전구의 한쪽 다리를 손으로 잡고 다른 쪽 다리를 알루미늄 접시의 가장자리에 갖다 대면서 네온전구에 불이 켜지는지 관찰한다.



○ 탐구 시 주의 사항

- (가) 네온전구를 잡기 전에 손에 정전기가 없게 한다.
- (나) 손이 알루미늄 접시에 닿지 않도록 주의한다.

[교사 설명]

- 탐구 과정 (다)에서 ㉡ 손으로 잡은 네온전구를 알루미늄 접시에 연결하면 불이 켜집니다. 이것은 털가죽과 스타이로폼의 마찰로 스타이로폼 접시 표면에 발생한 전하가 알루미늄 접시를 거쳐 네온전구로 이동했기 때문입니다. 이렇게 전하는 금속과 같은 도체를 따라 이동할 수 있는데, 이러한 전하의 흐름을 전류라고 합니다.

... (중략) ...

전기 회로에서 전자는 전지의 (-)극에서 (+)극 쪽으로 이동합니다. ㉢ 전자의 존재를 몰랐을 때 과학자들은 전류가 전지의 (+)극에서 (-)극 쪽으로 흐른다고 정하였습니다. 그 후 전자가 이동하여 전류가 흐른다는 사실이 밝혀졌지만, 오랫동안 사용한 전류의 방향을 바꾸기 어려웠습니다. 그래서 전기 회로에서 전류의 방향과 전자의 이동 방향은 서로 반대입니다.

<자료 2>

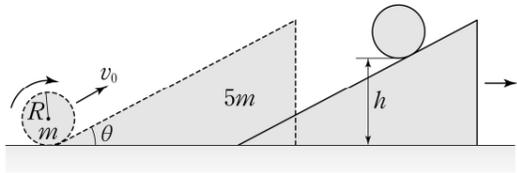
18세기에 전기와 관련된 다양한 현상들이 알려져 있었다. 화석화된 수지인 호박을 털가죽으로 문질렀을 때 호박과 털가죽은 가벼운 종이조각이나 먼지를 잡아당겼는데 이 현상을 ‘전기’라고 불렀다. 유리를 명주형깃으로 문질렀을 때에도 전기가 발생했다. 이렇게 전기를 띤 호박과 유리를 가까이 하면 서로 잡아당기지만 전기를 띤 호박끼리 또는 전기를 띤 유리끼리는 서로 밀친다는 것이 관찰되자 전기는 ‘수지 전기’와 ‘유리 전기’라는 두 종류의 유체로 이루어져 있다는 생각이 제기되었다.

동일한 전기 현상에 대하여 프랭클린(B. Franklin)은 전기가 한 종류의 ‘전기 유체’로 이루어져 있다는 가설을 제시했다. 그는 이 유체가 어떤 물체에 보통보다 많이 존재하면 그 물체는 양전기를 띠고, 보통보다 적게 존재하면 그 물체는 음전기를 띤다고 설명했다. 여기에서 ‘양’과 ‘음’은 각각 ‘전기 유체’의 ‘잉여’와 ‘부족’을 의미하였다. 이 이론으로는 ‘유리 전기’를 띤 물체는 ‘전기 유체’가 남아 ‘양전기’를 띤 것이 되고, ‘수지 전기’를 띤 물체는 ‘전기 유체’가 모자라 ‘음전기’를 띤 것으로 이해되었다. 또한 두 물체가 접촉했을 때, ‘전기 유체’는 ‘전기 유체’가 잉여 상태인 물체에서 보통 상태인 물체로, 보통 상태인 물체에서 부족 상태인 물체로 이동하는 성질을 갖는다. 이와 같이 ㉣ ‘양전기’와 ‘음전기’의 개념으로 전기 현상을 설명하는 것이 개념상 편리했기에 이후에 연구자들 사이에서 ‘양전기’, ‘음전기’라는 용어가 보편적인 용어로 채택되었다.

<작성 방법>

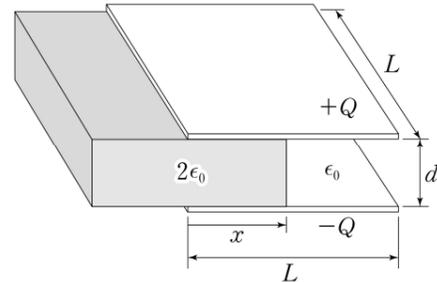
- 밑줄 친 ㉠의 이유를 ‘탐구 시 주의 사항’과 관련하여 제시하고, 밑줄 친 ㉡에서 네온전구의 다리를 스타이로폼 접시가 아니라 알루미늄 접시에 갖다 대는 이유를 제시할 것.
- <자료 2>의 프랭클린의 이론에 근거하여, 밑줄 친 ㉢에서 ‘전기 유체’의 이동 방향을 제시할 것.
- 밑줄 친 ㉣과 ㉤에서 공통적으로 찾을 수 있는, 과학적 지식을 형성하는 방법을 제시할 것.

8. 그림과 같이 반지름  $R$ 인 원기둥이 경사각  $\theta$ 인 도막의 비탈면을 미끄러짐 없이 올라가 최고점  $h$ 에 도달하였다. 도막은 처음에 정지 상태였으며, 원기둥이 비탈면을 올라가는 순간 비탈면 방향으로의 선속력은  $v_0$ 이고 각속력은  $\frac{v_0}{R}$ 이다. 원기둥과 도막의 질량은 각각  $m$ ,  $5m$ 이다. 도막과 수평면 사이의 마찰은 없다.



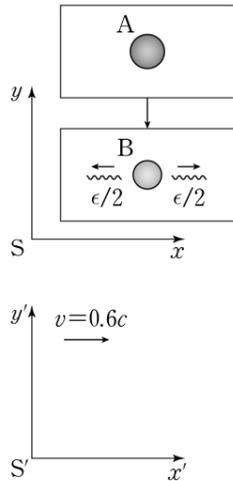
원기둥이  $h$ 에 도달했을 때, 원기둥과 도막으로 이루어진 계의 역학적 에너지와 수평 방향의 선운동량을 각각 구하시오. 또한  $h$ 를 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, 중력 가속도의 크기는  $g$ 이고, 원기둥의 중심축을 회전축으로 하는 관성 모멘트는  $\frac{1}{2}mR^2$ 이다. 도막과 원기둥의 질량 중심은 동일 연직면에서 운동한다.) [4점]

9. 그림은 한 변의 길이가  $L$ 인 정사각형 두 도체 판이 거리  $d$  만큼 떨어져 있고, 그 사이에 유전율  $2\epsilon_0$ , 길이  $L$ , 두께  $d$ 인 유전체가 너비  $x$ 만큼 채워진 평행판 축전기를 나타낸 것이다. 축전기에 충전된 전하는  $Q$ 로 일정하다. 유전체에는 알짜 전하가 없고,  $x=0$ 일 때 축전기의 전기 용량은  $\epsilon_0 \frac{L^2}{d}$ 이다.



평행판 축전기에 저장된 전기 에너지  $U(x)$ 를 풀이 과정과 함께  $Q$ 를 포함하여 구하시오. 또한  $U(x)$ 로부터 유전체에 작용하는 힘의 크기와 방향을 구하시오. (단,  $\epsilon_0$ 은 진공의 유전율이다. 유전체는 균일하고 등방적이며 선형적이다.) [4점]

10. 그림과 같이 관성계 S에서, 정지해 있던 물체 A가 에너지  $\frac{\epsilon}{2}$ 인 광자 2개를 각각  $+x$  방향과  $-x$  방향으로 방출하면서 물체 B가 되는 사건이 관측되었다. 이 사건을 S에 대해  $+x$  방향으로 속력  $v=0.6c$ 로 등속 운동하는 관성계 S'에서 관측한다. S, S'에서 측정된 두 광자의 에너지의 합은 각각  $E_S, E_{S'}$ 이며, S'에서 측정된 A, B의 상대론적 운동 에너지는 각각  $K_A', K_B'$ 이다.



<자료>를 참고하여  $E_S$ 와  $E_{S'}$ 을 각각  $\epsilon$ 으로 나타내시오. 또한  $K_A' - K_B'$ 을 풀이 과정과 함께  $\epsilon$ 으로 구하시오. (단,  $c$ 는 빛의 속력이다.) [4점]

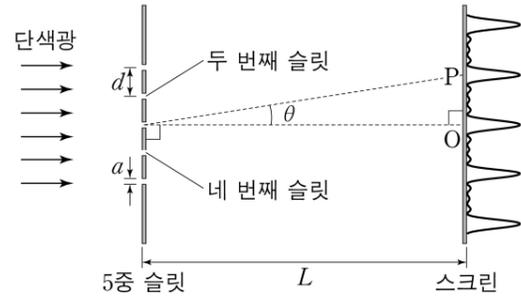
<자 료>

- 상대론적 도플러 효과: 광원에서 관찰자를 향해 방출되는 광자의 진동수가  $f$ 일 때, 광원에 대해 속력  $v$ 로 가까워지는 관찰자와 멀어지는 관찰자가 측정하는 진동수는 각각 다음과 같다.

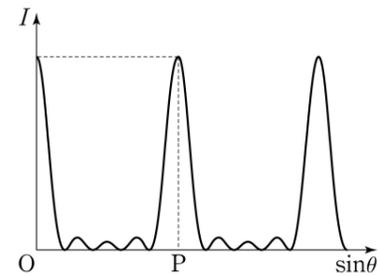
$$f_+' = f \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}, f_-' = f \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$$

- 광자의 에너지: 진동수  $f$ 인 광자의 에너지는  $hf$ 이다. ( $h$ 는 플랑크 상수이다.)
- A에서 방출된 광자를 S'에서 관측할 때,  $-x$  방향으로 방출된 광자는 관찰자와 광원이 가까워지는 경우,  $+x$  방향으로 방출된 광자는 관찰자와 광원이 멀어지는 경우에 해당한다.

11. 그림 (가)는 파장이  $\lambda$ 인 평면 단색광이 5중 슬릿을 통과하여 거리  $L$ 만큼 떨어진 스크린 위에 간섭무늬를 만드는 것을 나타낸 것이다. 슬릿의 폭은 모두  $a$ 이고 슬릿 사이의 간격은 모두  $d$ 이며 점 O는 간섭무늬의 중앙 극대점이다. 그림 (나)는 스크린에 나타난 빛의 세기  $I$ 를  $\sin\theta$ 의 함수로 나타낸 것이다. P는 첫 번째 주요 극대(first principal maximum)를 나타내는 스크린상의 지점이다.



(가)



(나)

P에서  $\sin\theta$ 의 값을  $\lambda$ 와  $d$ 로 나타내고, <자료>를 참고하여  $I$ 를  $I_0$ 으로 나타내시오. 두 번째 슬릿과 네 번째 슬릿을 막아 5중 슬릿이 3중 슬릿이 되었을 때, 5중 슬릿의 첫 번째 주요 극대가 나타났던 지점 P에서의  $I$ 를 풀이 과정과 함께  $I_0$ 으로 나타내시오. (단,  $a \ll d \ll L$ 이다.) [4점]

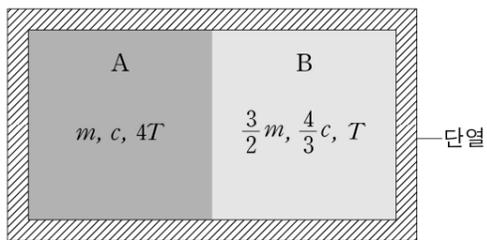
<자 료>

- 프라운호퍼 영역에서 슬릿 사이의 거리가  $D$ 인  $N$ 개의 다중 슬릿에 의한 빛의 세기는 다음과 같은 근사식으로 표현된다.

$$I = I_0 \left( \frac{\sin N\delta}{\sin \delta} \right)^2, \quad \delta = \frac{\pi D \sin \theta}{\lambda}$$

- $I_0$ 은 단일 슬릿의 경우 극대점에서의 빛의 세기이다.

12. 그림은 외부와 단열된 상태에서 서로 접촉해 있는 두 금속 A, B로 이루어진 계를 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각  $m$ ,  $\frac{3}{2}m$ 이고, 비열은 각각  $c$ 와  $\frac{4}{3}c$ 이다. 처음 A와 B의 절대 온도는 각각  $4T$ ,  $T$ 이었고, 이후 열평형 상태에 도달하여 온도가  $T_0$ 이 되었다.



A에서 B로 전달된 열량과  $T_0$ 을 각각 구하시오. 열평형 상태에 도달하는 과정 동안 계의 총 엔트로피 변화를 풀이 과정과 함께 구하시오. (단, A와 B 각각의 비열과 부피는 일정하다.) [4점]

<수고하셨습니다.>