

완자 · 역학과 에너지

중단원 마무리 · 고난도 집중

1 시공간과 운동

2 중력의 작용과 등가 원리

2

중력의 작용과 등가 원리

중단원 마무리 · 고난도

1-2 중력의 작용과 등가 원리



중단원

마무리 문제

난이도

01 다음은 케플러 법칙에 대한 설명이다.

- 태양계의 모든 행성은 을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.
- 지구의 속력은 원일점에서가 근일점에서보다 .
- 행성의 공전 주기의 은 타원 궤도의 긴반지름의 에 비례한다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. '태양'은 에 해당한다.
- ㄴ. '크다'는 에 해당한다.
- ㄷ. 과 은 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

02 그림과 같이 위성이

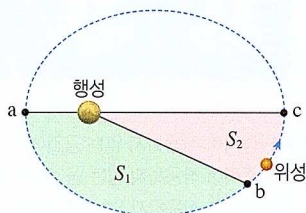
행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다. 점 a, b, c는 타원 궤도상의 점이고, a, c는 각각 위성이 행성의 중심으로 부터 가장 가까운 지점과 먼 지점이다. 위성의 공전 주기는 T 이다. a에서 b까지, b에서 c까지 위성과 행성의 중심을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 각각 S_1 , S_2 이고, b에서 c까지 위성이 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{6}T$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

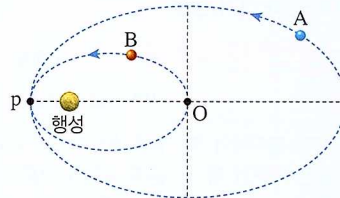
[보기]

- ㄱ. 위성이 a에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T$ 이다.
- ㄴ. $S_1 = 2S_2$ 이다.
- ㄷ. 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서가 c에서보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



03 그림과 같이 위성 A, B가 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. A의 타원 궤도의 중심인 점 O는 B가 행성으로부터 가장 먼 지점이고, 점 p는 A, B가 행성으로부터 가장 가까운 지점이다. B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 9배이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

[보기]

- ㄱ. A에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최솟값의 16배이다.
- ㄴ. p에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
- ㄷ. 공전 주기는 A가 B의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

04 그림은 인공위성 A, B가

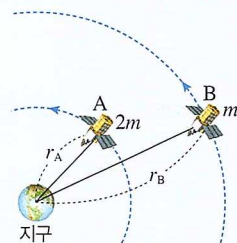
지구를 중심으로 반지름이 r_A , r_B 인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. A, B의 질량은 각각 $2m$, m 이고, 운동 에너지는 A가 B의 4배이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 지구에 의한 중력만 작용한다.)

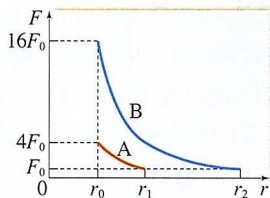
[보기]

- ㄱ. 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.
- ㄴ. 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 8배이다.
- ㄷ. 공전 주기는 B가 A의 4배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ



05 그림은 위성 A, B가 동일한 행성을 한 초점으로 하는 각각의 타원 궤도를 따라 한 주기 동안 운동할 때, 행성이 A와 B에 작용하는 중력의 크기 F 를 행성의 중심으로부터 A, B의 중심까지의 거리 r 에 따라 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

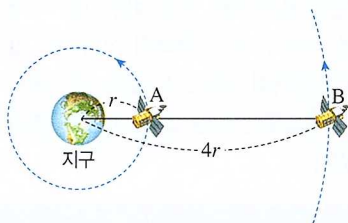


[보기]

- ㄱ. $r=r_0$ 에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
 ㄴ. $r_2=2r_1$ 이다.
 ㄷ. 질량은 B가 A의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

06 그림은 인공위성 A, B가 지구를 중심으로 원 궤도 반지름이 각각 r , $4r$ 인 등속 원운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 질량은 A가 B의 2배이다.



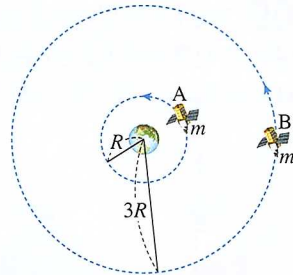
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 상수는 G , A의 질량은 m 이고, A, B에는 지구에 의한 중력만 작용하며, 중력이 0인 지점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 0이다.)

[보기]

- ㄱ. 속력은 A가 B의 2배이다.
 ㄴ. 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A보다 $\frac{GMm}{2r}$ 만큼 크다.
 ㄷ. 역학적 에너지는 B가 A보다 $\frac{3GMm}{5r}$ 만큼 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
 ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ

07 그림은 질량이 m 으로 같은 인공위성 A, B가 지구를 중심으로 하는 각각 반지름이 R , $3R$ 인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 상수는 G 이고, A, B에는 지구에 의한 중력만 작용하며, 중력이 0인 지점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 0이다.)

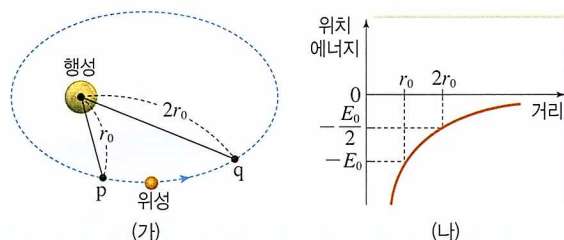


[보기]

- ㄱ. 속력은 A가 B보다 크다.
 ㄴ. 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다 작다.
 ㄷ. 역학적 에너지는 A가 B보다 $G\frac{Mm}{4R}$ 만큼 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
 ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

08 그림 (가)는 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도상의 점 p, q를 지나며 운동하는 위성의 모습을 나타낸 것이다. 행성의 중심으로부터 p, q까지의 거리는 각각 r_0 , $2r_0$ 이다. 그림 (나)는 중력에 의한 위치 에너지를 행성의 중심으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다.



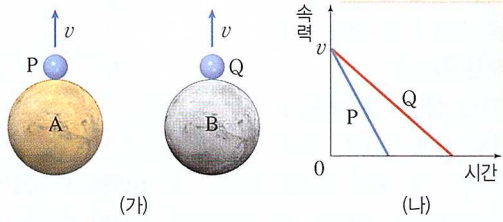
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 가속도의 방향은 p에서와 q에서가 같다.
 ㄴ. 운동 에너지는 p에서가 q에서보다 크다.
 ㄷ. q에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{E_0}{2r_0}$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
 ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

09 그림 (가)는 반지름이 같은 행성 A, B의 표면에서 각각 물체 P, Q를 속력 v 로 던지는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 P, Q의 속력을 시간에 따라 나타낸 것이다. P, Q의 질량은 같다.



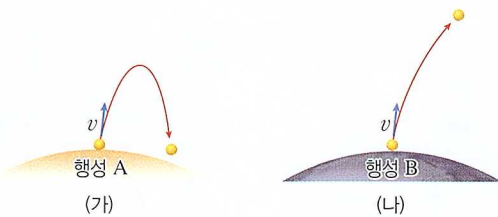
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, P, Q에는 각각 A, B에 의한 중력만 작용한다.)

[보기]

- ㄱ. 행성의 표면에서부터 물체가 올라가는 최고점까지의 높이는 A에서가 B에서보다 작다.
- ㄴ. 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 P가 Q보다 크다.
- ㄷ. 탈출 속도는 A가 B보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10 그림 (가), (나)는 동일한 물체를 각각 행성 A, B의 표면에서 속력 v 로 발사하는 모습을 나타낸 것이다. (가)에서 물체는 A로 되돌아왔고, (나)에서 물체는 무한히 먼 우주로 날아갔다. A, B의 질량은 같다.



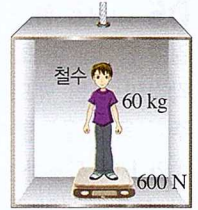
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체에는 각각 A, B에 의한 중력만 작용한다.)

[보기]

- ㄱ. v 는 A의 탈출 속도보다 크다.
- ㄴ. 행성의 반지름은 A가 B보다 크다.
- ㄷ. 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 A에서가 B에서보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

11 그림은 질량이 60 kg인 철수가 엘리베이터 안에 놓인 저울 위에 올라가 있는 모습을 나타낸 것이다. 엘리베이터가 정지해 있을 때, 저울의 눈금은 600 N을 가리킨다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도 g 는 10 m/s^2 이다.)

[보기]

- ㄱ. 엘리베이터가 연직 위 방향으로 $0.1g$ 의 가속도로 움직이는 경우, 저울의 눈금은 660 N을 가리킨다.
- ㄴ. 엘리베이터가 연직 아래 방향으로 10 m/s의 일정한 속도로 내려가는 경우, 저울의 눈금은 600 N을 가리킨다.
- ㄷ. 엘리베이터가 자유 낙하를 하는 경우, 저울의 눈금은 0을 가리킨다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

12 그림은 동일한 세 우주선 A, B, C의 옆면에서 우주선의 바닥에 나란한 방향으로 빛을 비추었을 때 빛이 진행하는 모습을 나타낸 것이다. A는 중력이 작용하지 않는 공간에 정지해 있고, B는 중력이 작용하지 않는 공간에서 운동 방향과 같은 방향으로 가속도 운동을 하며, C는 중력이 작용하는 공간에 정지해 있다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. 중력이 작용하지 않는 공간에서 등속도 운동을 할 경우 빛은 직진한다.
- ㄴ. 관성력에 의해 빛의 진행 경로가 휘어진다.
- ㄷ. 우주선 내부의 우주인은 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

13 그림 (가)는 관찰자 A가 탄 우주선이 지표면에 정지해 있는 모습을, (나)와 (다)는 관찰자 B, C가 탄 우주선이 텅 빈 우주 공간에서 같은 방향의 가속도 a , $2a$ 로 각각 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 각 우주선의 광원에서 빛을 방출하고, A가 관찰한 (가)의 빛과 C가 관찰한 (다)의 빛의 경로는 같다. A, B, C의 질량은 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 가속도는 g 이다.)

보기

- ㄱ. a 의 크기는 g 의 크기보다 작다.
- ㄴ. 저울에 측정된 힘의 크기는 (가)에서와 (나)에서가 같다.
- ㄷ. B가 관찰한 (나)의 빛과 C가 관찰한 (다)의 빛의 경로는 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

14 다음은 어떤 천체와 관련된 설명이다.

질량이 매우 크고 지름이 매우 작아서 탈출 속도가 빛의 속도보다 커서 내부의 빛조차 빠져나가지 못하는 천체를 [가] 이라고 한다. 또한 별에서 나온 빛이 천체 주변을 지나면 빛이 휘어져 별의 상이 여러 개로 보일 수 있는데, 이러한 현상은 [나] 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

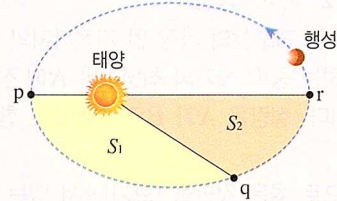
보기

- ㄱ. (가)는 '블랙홀'이다.
- ㄴ. (나)는 '중력 렌즈 효과'이다.
- ㄷ. (나) 현상은 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

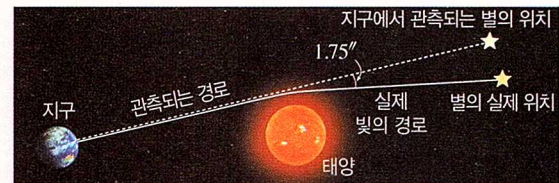
서술형 문제

15 그림은 행성이 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 점 p, q, r을 지나며 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 행성이 p에서 q까지와 q에서 r까지 운동하는 동안 태양과 행성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 각각 S_1 과 S_2 이고, 걸린 시간은 t 로 같다. p, r은 각각 근일점, 원일점이다.



- (1) S_1 과 S_2 의 크기를 비교하시오.
- (2) 행성의 공전 주기를 풀이 과정과 함께 구하시오.

16 그림은 별빛이 태양 옆을 지나면서 휘어지는 모습을 나타낸 것이다. 뉴턴의 중력 이론에 따르면 빛은 질량이 없어서 중력의 영향을 받지 않아야 한다.

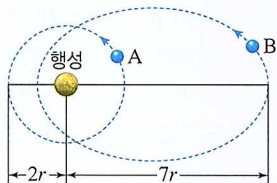


별빛이 태양 주변을 지날 때 휘어지는 까닭을 일반 상대성 이론으로 서술하시오.

17 블랙홀은 빛조차 빠져나갈 수 없기 때문에 직접 관찰하는 것이 불가능하다. 블랙홀을 확인할 수 있는 방법 두 가지를 간단하게 서술하시오.



01 그림과 같이 위성 A는 행성을 중심으로 등속 원운동을 하고, 위성 B는 동일한 행성을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동한다. A의 원 궤도 반지름은 $2r$ 이고, 행성으로부터 B의 타원 궤도상의 가장 먼 지점까지의 거리는 $7r$ 이다. B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 A에 작용하는 중력 크기의 2배이다. 질량은 A가 B의 2배이고, 행성의 질량은 M 이다.



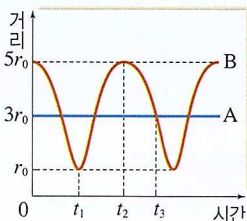
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 중력 상수는 G 이고, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용한다.)

[보기]

- ㄱ. A의 가속도의 방향은 일정하다.
- ㄴ. B의 가속도 크기의 최댓값은 A의 가속도 크기의 4배이다.
- ㄷ. B의 공전 주기는 $8\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

02 그림은 위성 A가 행성 P를 중심으로 하는 원 궤도를 따라 공전하고, 위성 B가 P를 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전할 때, P로부터 A, B 사이의 거리를 시간에 따라 나타낸 것이다.



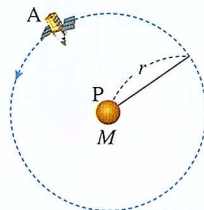
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 P에 의한 중력만 작용한다.)

[보기]

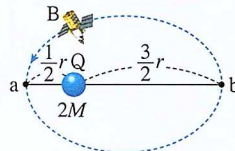
- ㄱ. B의 속력은 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.
- ㄴ. 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다.
- ㄷ. t_3 일 때, 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ
④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

03 그림 (가)는 행성 P를 중심으로 등속 원운동을 하는 위성 A를 나타낸 것이고, (나)는 행성 Q를 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 운동하는 위성 B를 나타낸 것이다. 점 a, b는 B의 공전 궤도상의 가장 가까운 지점과 가장 먼 지점이고, Q로부터 a, b의 거리는 각각 $\frac{1}{2}r$, $\frac{3}{2}r$ 이다. A, B의 질량은 같고, P, Q의 질량은 각각 M , $2M$ 이다.



(가)



(나)

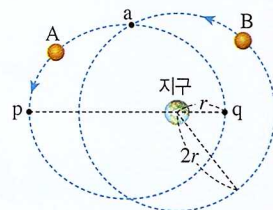
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

- ㄱ. B의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.
- ㄴ. B의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 9배이다.
- ㄷ. 공전 주기는 A가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

04 그림은 질량이 같은 위성 A, B가 각각 지구를 한 초점으로 하는 타원 궤도와 지구를 중심으로 하는 반지름이 $2r$ 인 원 궤도를 따라 운동하는 모습을 나타낸 것이다. 점 a는 A, B의 궤도가 만나는 점이고, 타원 궤도상의 점 p, q는 지구 중심에서 가장 먼 지점과 가장 가까운 지점이다. 지구에서 q까지의 거리는 r 이고, q에서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-E_0$ 이다. 주기는 A와 B가 같다.



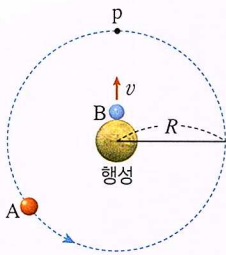
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 지구에 의한 중력만 작용하고, 중력이 0인 지점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 0이다.)

[보기]

- ㄱ. a에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
- ㄴ. p, q에서 A의 운동 에너지의 차이는 $\frac{2}{3}E_0$ 이다.
- ㄷ. B의 역학적 에너지는 $-\frac{3}{8}E_0$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

05 그림은 행성을 중심으로 반지름이 R 인 원 궤도를 따라 등속 원운동을 하는 위성 A와 행성의 표면에서 물체 B가 속력 v 로 발사되는 순간의 모습을 나타낸 것이다. B가 A의 원 궤도상의 점 p를 지나는 순간의 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이다. A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-E_0$ 이고, 질량은 A가 B의 2배이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, A, B에는 행성에 의한 중력만 작용하고, 중력이 0인 지점에서 물체의 중력에 의한 위치 에너지는 0이다.)

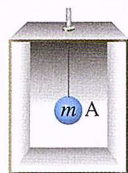


[보기]

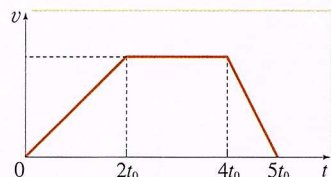
ㄱ. A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{E_0}{R}$ 이다.ㄴ. B의 역학적 에너지는 $-\frac{2}{5}E_0$ 이다.ㄷ. v 는 행성의 탈출 속도보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

06 그림 (가)는 엘리베이터의 천장에 실로 매단 질량이 m 인 물체 A가 지표면에 고정된 관성 좌표계에 대해 엘리베이터와 함께 정지해 있는 모습을 나타낸 것이고, (나)는 (가)의 순간부터 엘리베이터가 A와 함께 연직 위 방향으로 운동할 때, 지표면에 고정된 관성 좌표계에서 측정한 엘리베이터의 속력 v 를 시간 t 에 따라 나타낸 것이다.



(가)



(나)

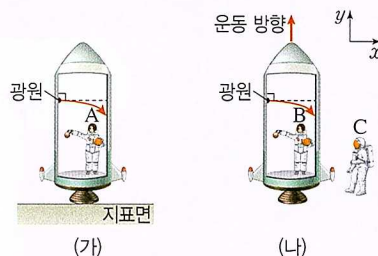
A에 작용하는 관성력에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

ㄱ. 관성력의 크기는 $t=3t_0$ 일 때 최대이다.ㄴ. 관성력의 크기는 $t=t_0$ 일 때가 $t=4.5t_0$ 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다.ㄷ. 관성력의 방향은 $t=t_0$ 일 때와 $t=4.5t_0$ 일 때가 서로 반대 방향이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

07 그림 (가)는 관찰자 A가 탄 우주선이 지표면에 정지해 있는 모습을, (나)는 관찰자 B가 탄 우주선이 텅 빈 우주 공간에서 정지한 관찰자 C에 대해 $+y$ 방향으로 등가속도 직선운동을 하는 모습을 나타낸 것이다. 각 우주선 안의 광원에서 $+x$ 방향으로 방출된 빛이 휘어진 정도는 A가 관찰할 때가 B가 관찰할 때보다 크고, A, B는 우주선 안에서 같은 물체를 가만히 놓아 낙하시킨다.



(가)

(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은? (단, 물체의 크기와 공기 저항은 무시한다.)

[보기]

ㄱ. 우주선 안의 관찰자는 관성력과 중력을 구별할 수 없다.

ㄴ. B가 관찰할 때, 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$ 방향이다.

ㄷ. (나)의 우주선의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

08 다음은 중력파에 대한 설명이다.

중력이 [가] 작용하는 블랙홀끼리의 충돌과 같이 질량의 공간적 분포에 큰 변화가 생기면 주위 시공간의 변화가 퍼져 나가는데, 이것을 중력파라고 한다. 이 파동은 아인슈타인의 [나] 이론으로 설명할 수 있다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 [보기]에서 있는 대로 고른 것은?

[보기]

ㄱ. (가)는 '크게'이다.

ㄴ. (나)는 '일반 상대성'이다.

ㄷ. 블랙홀 주위에서 방출되는 빛으로 블랙홀을 직접적으로 관찰할 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

정답 및 해설

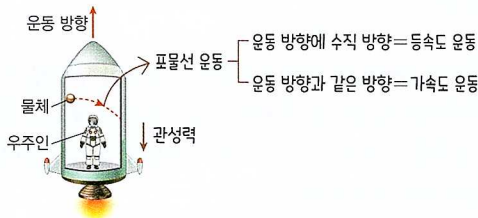
중단원 마무리 문제 · 고난도 문제
중력의 작용과 등가 원리

ㄴ. C가 탄 버스에서 물체가 $+x$ 방향으로 기울어져 있으므로 C가 관찰할 때, q에 매달린 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+x$ 방향이다.

ㄷ. A가 관찰할 때 버스는 x 방향으로만 운동하므로 물체에 y 방향으로 작용하는 합력은 0이다. 따라서 물체의 무게를 w 라 하면, p에서 $w = F_p \cos 60^\circ$, q에서 $w = F_q \cos 30^\circ$ 가 성립한다. 이를 정리하면 $F_p \cos 60^\circ = F_q \cos 30^\circ$ 에서 $F_p = \sqrt{3}F_q$ 이다.

02 ———— 푼김 문제 분석

우주선 밖을 볼 수 없다면 중력과 관성력을 구분할 수 없다. $\Rightarrow$ 등가 원리



ㄱ. 물체가 포물선 운동을 하므로 물체는 우주선의 운동 방향에 수직 방향으로는 등속도 운동을, 우주선의 운동 방향으로서는 가속도 운동을 한다. 따라서 (가)는 가속도이다.

ㄴ. 등가 원리에 따라 관성력과 중력을 구분할 수 없으므로 (나)는 등가 원리이다.

ㄷ. 가속 좌표계에서 작용하는 관성력의 크기는 가속도의 크기와 물체의 질량에 각각 비례한다.

03 ㄱ. 중력 렌즈 효과에 의해 별들의 상대적인 위치가 밤일 때와 일식이 일어날 때가 다르게 보인다.

ㄴ. 일반 상대성 이론으로 시공간이 극단적으로 휘어져 있는 블랙홀을 설명할 수 있다.

바로알기 ㄷ. 태양의 질량만이 증가하면 태양 주변에 작용하는 중력이 커지므로 시공간이 더 많이 휘어진다. 따라서 밤일 때와 일식이 일어날 때의 별들의 거리 차이가 증가한다.

04 ㄴ. 행성이 작용하는 중력의 크기는 A가 B보다 크므로 행성에 의한 시공간의 휘어짐은 A에서 B에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. 케플러 제3법칙에 따라 같은 행성을 공전하는 위성의 거리가 클수록 공전 주기가 증가한다. 따라서 위성의 공전 주기는 A가 B보다 작다.

ㄷ. 위성에 작용하는 중력이 클수록 시간이 느리게 흐른다. 따라서 행성에서 관찰할 때, 행성에 더 가까이 있는 A의 시간이 B의 시간보다 느리게 흐른다.

중단원 핵심 정리

80쪽~81쪽

- | | | | | | |
|--------|--------|---------|---------|--------|----------------------|
| 1 태양 | 2 빨라 | 3 느려 | 4 긴반지름 | 5 반비례 | 6 $\frac{2\pi r}{T}$ |
| 7 구심력 | 8 세제곱 | 9 탈출 속도 | 10 작으면 | 11 지구형 | |
| 12 목성형 | 13 클수록 | 14 빠를수록 | 15 여러 단 | 16 가속도 | |
| 17 반대 | 18 관성력 | 19 중력 | 20 느리게 | | |

중단원 마무리 문제

82쪽~85쪽

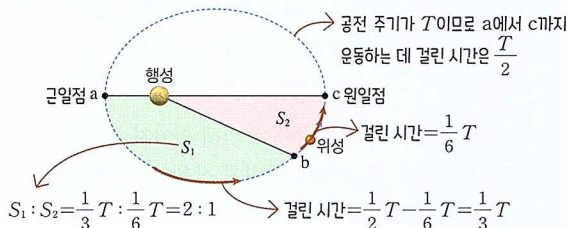
- | | | | | | |
|----------|------|----------|------|----------|------|
| 01 ① | 02 ③ | 03 ② | 04 ③ | 05 ③ | 06 ① |
| 07 ③ | 08 ② | 09 ③ | 10 ③ | 11 ⑤ | 12 ⑤ |
| 13 ① | 14 ⑤ | 15 해설 참조 | | 16 해설 참조 | |
| 17 해설 참조 | | | | | |

01 ㄱ. 케플러 제1법칙에 따라 행성은 태양을 한 초점으로 하는 타원 궤도를 따라 공전한다.

바로알기 ㄴ. 태양으로부터 거리가 멀수록 행성의 속력은 작다. 따라서 지구의 속력은 원일점에서가 근일점에서보다 작다.

ㄷ. 행성의 공전 주기의 제곱은 타원 궤도의 긴반지름의 세제곱에 비례한다. 따라서 ㉠은 제곱이고, ㉡은 세제곱이다.

02 ———— 푼김 문제 분석



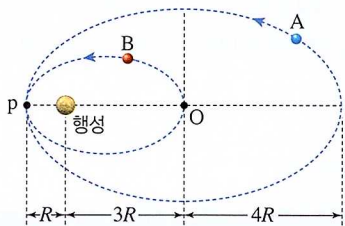
ㄱ. 위성이 타원 궤도를 한 바퀴 공전하는 동안 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적을 S 라고 하면, 위성이 a에서 c까지 운동하는 동안 행성과 위성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 $\frac{1}{2}S$ 이다. 위성의 공전 주기는 T 이므로 위성이 a에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T$ 이다.

ㄴ. 위성이 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{2}T - \frac{1}{6}T = \frac{1}{3}T$ 이다. b에서 c까지 위성이 운동하는 데 걸린 시간은 $\frac{1}{6}T$ 이므로 위성이 a에서 b까지 운동하는 데 걸린 시간은 b에서 c까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다. 따라서 $S_1 = 2S_2$ 이다.

바로알기 ㄷ. 행성으로부터의 거리는 a에서 c에서보다 작으므로 위성에 작용하는 중력의 크기는 a에서 c에서보다 크다.

03 ㄴ. p에서 행성으로부터의 거리는 A와 B가 같다. 따라서 p에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

바로알기 ㄱ. p에서 행성까지의 거리를 R 이라고 하면, p에서 B에 작용하는 중력의 크기는 최대이고, O에서 B에 작용하는 중력의 크기는 최소이다. B에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최소값의 9배이므로 행성에서 O까지의 거리는 $3R$ 이다. A가 행성으로부터 가장 먼 지점까지의 거리는 $7R$ 이므로 A에 작용하는 중력의 크기의 최댓값은 최소값의 49배이다.



ㄷ. A의 공전 궤도의 긴반지름은 $4R$ 이고, B의 공전 궤도의 긴반지름은 $2R$ 이다. 공전 궤도의 긴반지름은 A가 B의 2배이므로 공전 주기는 A가 B의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

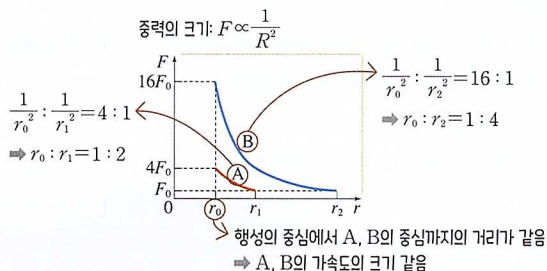
04 ㄱ. 운동 에너지는 A가 B의 4배이다. 질량은 A가 B의 2배이므로 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이다.

ㄴ. A, B의 속력을 각각 v_A, v_B 라 하면, A에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{(2m)v_A^2}{r_A} = G\frac{M(2m)}{r_A^2}$ 에서 $v_A = \sqrt{\frac{GM}{r_A}}$ 이고, B에 작용하는 구심력의 크기는 $\frac{mv_B^2}{r_B} = G\frac{Mm}{r_B^2}$ 에서 $v_B = \sqrt{\frac{GM}{r_B}}$ 이다.

인공위성의 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이므로 $\sqrt{\frac{GM}{r_A}} = \sqrt{\frac{2GM}{r_B}}$ 에서 $r_B = 2r_A$ 이다. 따라서 인공위성에 작용하는 중력의 크기는 A가 B의 8배이다.

바로알기 ㄷ. 공전 주기의 제곱은 원 궤도 반지름의 세제곱에 비례한다. 원 궤도의 반지름은 B가 A의 2배이므로 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다.

05 ———— **꼭꼭 문제 분석**



ㄱ. $r=r_0$ 에서 행성으로부터 거리는 A와 B가 같으므로 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

ㄴ. A에 작용하는 중력의 최댓값은 최소값의 4배이므로 $r_1=2r_0$ 이다. B에 작용하는 중력의 최댓값은 최소값의 16배이므로 $r_2=4r_0$ 이다. 따라서 $r_2=2r_1$ 이다.

바로알기 ㄷ. $r=r_0$ 에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 B가 A의 4배이므로 질량은 B가 A의 4배이다.

06 ㄱ. 인공위성에 작용하는 중력은 구심력과 같다. 지구의 질량을 M , A의 속력을 v 라고 하면 $G\frac{Mm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$ 에서 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ 이다. B의 원 궤도 반지름은 $4r$ 이므로 B의 속력은 $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{GM}{r}} = \frac{1}{2}v$ 이다. 따라서 속력은 A가 B의 2배이다.

바로알기 ㄴ. A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{r}$ 이고,

B의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{M(\frac{m}{2})}{4r}$ 이다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지는 B가 A보다 $\frac{7GMm}{8r}$ 만큼 크다.

ㄷ. A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{r}\right) - G\frac{Mm}{r} = -G\frac{Mm}{2r}$ 이고, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}\left(\frac{m}{2}\right)\left(\frac{GM}{4r}\right) - G\frac{M(\frac{m}{2})}{4r} = -G\frac{Mm}{16r}$ 이다. 따라서 역학적 에너지는 B가 A보다 $\frac{7GMm}{16r}$ 만큼 크다.

07 ㄱ. 인공위성에 작용하는 지구에 의한 중력은 인공위성에 작용하는 구심력과 같다. 지구의 질량을 M , A의 속력을 v 라고 하면, $G\frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$ 에서 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이다. 즉, 원 궤도의 반지름이 클수록 속력은 작다. 원 궤도의 반지름은 A가 B보다 작으므로 속력은 A가 B보다 크다.

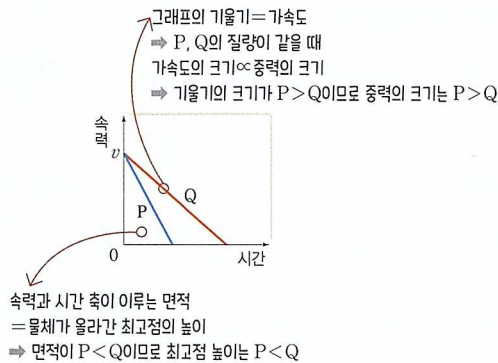
ㄴ. 지구 중심으로부터 거리가 멀어질수록 중력에 의한 위치 에너지가 크다. 따라서 중력에 의한 위치 에너지는 A가 B보다 작다.

바로알기 ㄷ. A의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{R}\right) - G\frac{Mm}{R} = -G\frac{Mm}{2R}$ 이고, B의 역학적 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{3R}\right) - G\frac{Mm}{3R} = -G\frac{Mm}{6R}$ 이다. 따라서 역학적 에너지는 A가 B보다 $G\frac{Mm}{3R}$ 만큼 작다.

08 ㄴ. 위성의 역학적 에너지는 보존된다. 위성의 중력에 의한 위치 에너지는 p에서 q에서보다 작으므로, 위성의 운동 에너지는 p에서 q에서보다 크다.

바로알기 ㄱ. 위성의 가속도 방향은 위성에 작용하는 중력의 방향과 같다. 위성에 작용하는 중력의 방향은 행성의 중심을 향하는 방향이므로 위성의 가속도 방향은 p에서와 q에서가 같지 않다.
 ㄷ. 중력 상수를 G , 행성의 질량을 M , 위성의 질량을 m 이라고 하면 $E_0 = G \frac{Mm}{r_0}$ 이다. 따라서 q에서 위성에 작용하는 중력의 크기는 $G \frac{Mm}{4r_0^2} = \frac{E_0}{4r_0}$ 이다.

09 — 꼼꼼 문제 분석



ㄱ. 최고점에서 물체의 속력은 0이다. P, Q의 속력이 0이 될 때까지 속력과 시간 축이 이루는 면적은 행성의 표면에서부터 물체가 올라간 최고점의 높이이다. 따라서 행성의 표면에서부터 물체가 올라가는 최고점까지의 높이는 A에서 B에서보다 작다.
 ㄴ. 물체가 올라가는 동안 물체의 가속도의 크기는 P가 Q보다 크다. 물체에는 행성에 의한 중력만 작용하므로 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 P가 Q보다 크다.

바로알기 ㄷ. 질량은 P와 Q가 같고, 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 P가 Q보다 크므로 행성의 질량은 A가 B보다 크다. 반지름은 A와 B가 같으므로 탈출 속도는 A가 B보다 크다.

10 ㄷ. 질량은 A와 B가 같고, 반지름은 A가 B보다 작으므로 행성의 표면에서 물체에 작용하는 중력의 크기는 A에서 B에서보다 크다.

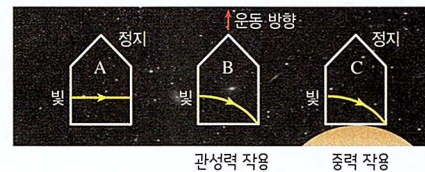
바로알기 ㄱ. (가)에서 물체는 A로 되돌아왔으므로 v 는 A의 탈출 속도보다 작다.
 ㄴ. B에서 물체는 먼 우주로 날아갔으므로 v 는 B의 탈출 속도보다 크다. 따라서 탈출 속도는 A가 B보다 크다. 질량은 A와 B가 같으므로 행성의 반지름은 A가 B보다 작다.

11 ㄱ. 엘리베이터가 연직 위 방향으로 움직일 때, 관성력은 연직 아래 방향으로 작용한다. 따라서 철수에게 작용하는 관성력은 연직 아래 방향으로 60 N이므로 저울의 눈금은 $600 + 60 = 660(N)$ 을 가리킨다.

ㄴ. 관성력은 가속 좌표계에서만 작용하므로 일정한 속도로 움직일 때는 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 저울의 눈금은 600 N을 가리킨다.

ㄷ. 엘리베이터가 자유 낙하를 하는 경우, 관성력은 연직 위 방향으로 600 N이 작용한다. 따라서 철수에 작용하는 관성력과 중력의 크기가 같고 방향이 반대이므로 저울의 눈금은 0을 가리킨다.

12 — 꼼꼼 문제 분석



- B에서는 운동 방향과 같은 방향으로 가속도 운동을 하므로 관성력은 운동 방향과 반대 방향으로 작용한다. 따라서 빛이 우주선의 운동 방향과 반대 방향으로 휘어진다.
- C에서는 중력이 작용하므로 중력에 의해 시공간이 휘어진다. 따라서 빛이 휘어진 공간을 따라 움직이므로 빛이 휘어진다.

ㄱ. 중력이 작용하지 않는 공간에서는 시공간이 휘어지지 않고, 등속도 운동을 하는 경우 관성력이 작용하지 않는다. 따라서 중력이 작용하지 않는 공간에서 등속도 운동을 할 경우 빛은 직진한다.
 ㄴ. B에서는 운동 방향과 반대 방향으로 관성력이 작용하므로 빛이 우주선의 운동 방향과 반대 방향으로 휘어진다.
 ㄷ. 등가 원리에 따라 우주선 내부의 우주인은 중력과 관성력을 구별할 수 없다.

13 ㄱ. A가 관찰한 (가)의 빛과 C가 관찰한 (다)의 빛의 경로가 같으므로 A의 중력의 크기와 C의 관성력의 크기가 같다. 따라서 $2a = g$ 이므로 a 의 크기는 g 의 크기보다 작다.

바로알기 ㄴ. $2a = g$ 이고 (나)에서 우주선의 가속도는 a 이므로 (나)에서 B에 작용하는 관성력의 크기는 (가)에서 A에 작용하는 중력의 크기보다 작다. 따라서 저울에 측정된 힘의 크기는 (가)에서 (나)에서보다 크다.

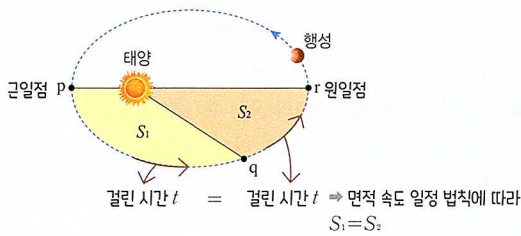
ㄷ. (나)와 (다)에서 우주선에 작용하는 가속도의 방향은 같고, 가속도의 크기는 (다)에서 (나)에서보다 크다. 등가 원리에 따라 관성력의 크기가 클수록 빛이 많이 휘어지므로 C가 관찰한 (다)의 빛이 더 많이 휘어진다.

14 ㄱ. 질량이 매우 크고 지름이 매우 작아 중력이 매우 커서 탈출 속도가 빛의 속도보다 큰 천체를 블랙홀이라고 한다.

ㄴ. 천체 주변은 중력에 의해 시공간이 휘어 있으므로 별에서 나온 빛이 천체 주변을 지나면 빛이 휘어져 별이 여러 개의 상으로 보일 수 있다. 이러한 현상을 중력 렌즈 효과라고 한다.

ㄷ. 블랙홀과 중력 렌즈 효과는 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

15 ◆ 꼼꼼 문제 분석



(1) p에서 q까지, q에서 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 같으므로 면적 속도 일정 법칙에 따라 태양과 행성을 연결한 선분이 휩쓸고 지나간 면적은 같다.

(2) 공전 주기는 행성이 근일점 p에서 원일점 r까지 운동하는 데 걸린 시간의 2배이다.

모범 답안 (1) $S_1=S_2$

(2) 근일점 p에서 원일점 r까지 운동하는 데 걸린 시간이 $2t$ 이므로 공전 주기는 $4t$ 이다.

채점 기준	배점
(1) 크기를 옳게 비교한 경우	30 %
(2) 풀이 과정과 함께 답을 옳게 구한 경우	70 %
답만 옳게 쓴 경우	30 %

16 질량이 있는 천체 주변에는 중력이 작용하고, 중력에 의해 시공간이 휘어진다.

모범 답안 태양의 질량에 의해 태양 주변에 중력이 작용하고, 중력에 의해 태양 주변의 시공간이 휘어진다. 따라서 태양 주변을 지나는 빛은 휘어진 시공간을 따라 진행하므로 빛이 휘어진다.

채점 기준	배점
별빛이 휘어지는 까닭을 중력에 의한 빛의 휘어짐으로 옳게 서술한 경우	100 %
태양의 중력 때문이라고만 서술한 경우	50 %

17 블랙홀은 중력이 매우 커서 시공간이 극단적으로 휘어져 있어 빛조차도 탈출할 수 없다.

모범 답안 블랙홀이 주변의 물질을 흡수하는 과정에서 방출하는 빛을 관찰하거나, 블랙홀 주변에서 휘어지는 빛을 관찰하여 존재를 확인할 수 있다.

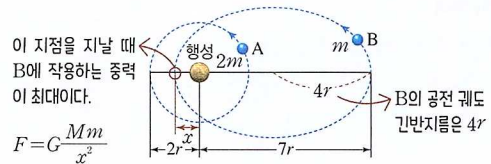
채점 기준	배점
블랙홀을 확인할 수 있는 방법 두 가지를 모두 옳게 서술한 경우	100 %
블랙홀을 확인할 수 있는 방법 한 가지를 옳게 서술한 경우	50 %

중단원 고난도 문제

86쪽~87쪽

01 ①	02 ④	03 ⑤	04 ③	05 ⑤	06 ④
07 ④	08 ③				

01 ◆ 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

☒ A. A의 가속도의 방향은 일정하다. **변한다**

☒ B. B의 가속도 크기의 최댓값은 A의 가속도 크기의 4배이다.

☒ B. B의 공전 주기는 $8\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다. $16\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$

전략적 풀이 ① 원 궤도를 따라 운동하는 위성의 가속도를 비교할 수 있다.

ㄱ. A는 등속 원운동을 하므로 A의 가속도의 방향은 행성의 중심을 향하는 방향이다. 따라서 A의 가속도의 방향은 계속 변한다.

② 행성에 작용하는 중력의 크기를 구하여 가속도의 크기를 비교할 수 있다.

ㄴ. 행성으로부터 B의 최소 거리를 x 라 하고, A의 질량을 $2m$ 이라고 하면, B의 질량은 m 이다. A에 작용하는 중력의 크기는 $G \frac{M(2m)}{4r^2}$ 이고, B에 작용하는 중력의 최댓값은 $G \frac{Mm}{x^2}$ 이다.

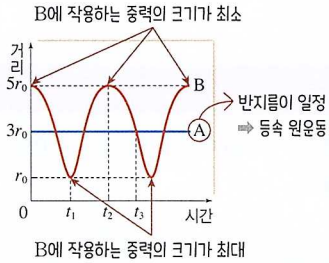
B에 작용하는 중력 크기의 최댓값은 A에 작용하는 중력 크기의 2배이므로 $G \frac{Mm}{x^2} = 2 \times G \frac{Mm}{2r^2}$ 에서 $x=r$ 이다. A의 가속도의 크기는 $\frac{GM}{4r^2}$ 이고, B의 가속도 크기의 최댓값은 $\frac{GM}{r^2}$ 이다.

따라서 B의 가속도 크기의 최댓값은 A의 가속도 크기의 4배이다.

㉓ 케플러 법칙을 적용하여 A와 B의 주기의 관계를 구할 수 있다.

ㄷ. A의 공전 주기를 T_A 라고 하자. 따라서 A에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{Mm}{(2r)^2} = m(2r)\left(\frac{2\pi}{T_A}\right)^2$ 이므로 $T_A = 4\pi\sqrt{\frac{2r^3}{GM}}$ 이다. B의 공전 궤도의 긴반지름은 $4r$ 이고 A의 원 궤도 반지름은 $2r$ 이므로 공전 궤도는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다. 따라서 B의 공전 주기는 $2\sqrt{2}T_A = 2\sqrt{2} \times 4\pi\sqrt{\frac{2r^3}{GM}} = 16\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ 이다.

02 — 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㄱ B의 속력은 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.
~~ㄴ~~ 공전 주기는 B가 A의 $2\sqrt{2}$ 배이다. **같다**
 ㄷ t_3 일 때, 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

전략적 풀이 ① 행성으로부터 떨어진 거리에 따라 위성의 속력 변화를 설명할 수 있다.

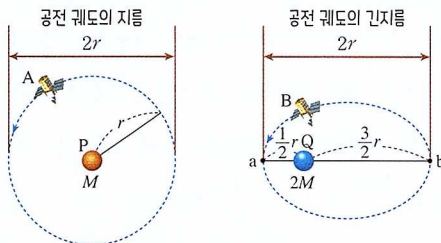
ㄱ. P로부터의 거리가 작을수록 B의 속력이 크다. 따라서 B의 속력은 t_1 일 때가 t_2 일 때보다 크다.

② 그래프를 분석하여 A와 B의 궤도의 특징을 알아낼 수 있다.

ㄴ. A의 원 궤도의 반지름은 $3r_0$ 이다. B의 타원 궤도의 긴반지름은 $\frac{r_0+5r_0}{2} = 3r_0$ 이다. 따라서 B의 타원 궤도의 긴반지름은 A의 원 궤도의 반지름과 같으므로 공전 주기는 A와 B가 같다.

ㄷ. t_3 일 때, P로부터의 거리는 A와 B가 같다. 따라서 t_3 일 때, 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

03 — 꼼꼼 문제 분석



- A의 원 궤도의 반지름과 B의 타원 궤도의 긴반지름은 r 으로 같다.
 ⇒ 공전 주기는 행성의 질량이 작을수록 크다.

선택지 분석

- ㄱ B의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.
 ㄴ B의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 9배이다.
 ㄷ 공전 주기는 A가 B보다 크다.

전략적 풀이 ① 행성으로부터의 거리에 따라 행성의 속력 변화와 가속도의 크기를 구할 수 있다.

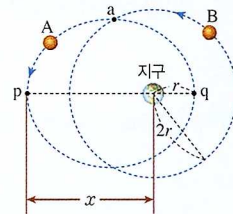
ㄱ. Q로부터의 거리는 a에서가 b에서보다 작으므로 B의 속력은 a에서가 b에서보다 크다.

ㄴ. 위성의 가속도의 크기는 행성으로부터 거리의 제곱에 반비례한다. Q로부터의 거리는 b에서가 a에서의 3배이므로 B의 가속도의 크기는 a에서가 b에서의 9배이다.

② 케플러 법칙을 적용하여 행성의 공전 주기를 비교할 수 있다.

ㄷ. A의 원 궤도의 반지름과 B의 타원 궤도의 긴반지름은 r 으로 같다. 행성의 질량은 P가 Q보다 작으므로 공전 주기는 A가 B보다 크다.

04 — 꼼꼼 문제 분석



- 공전 주기는 A와 B가 같다.
 ⇒ A의 타원 궤도의 긴반지름과 B의 원 궤도 반지름은 같다.
 ⇒ p에서 지구까지의 거리를 x 라고 하면 $\frac{x+r}{2} = 2r$ 에서 $x = 3r$ 이다.

선택지 분석

- ㄱ a에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.
 ㄴ p, q에서 A의 운동 에너지의 차이는 $\frac{2}{3}E_0$ 이다.
~~ㄷ~~ B의 역학적 에너지는 $-\frac{3}{8}E_0$ 이다. $-\frac{1}{4}E_0$

전략적 풀이 ① 행성으로부터 떨어진 거리에 따라 위성에 작용하는 중력의 크기와 가속도의 크기를 구할 수 있다.

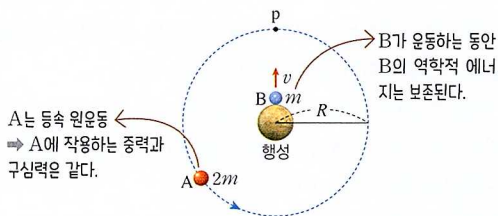
ㄱ. a에서 지구로부터의 거리는 A와 B가 같으므로 a에서 가속도의 크기는 A와 B가 같다.

② 위성의 중력에 의한 위치 에너지, 운동 에너지, 역학적 에너지를 구할 수 있다.

ㄴ. 주기는 A와 B가 같으므로 A의 타원 궤도의 긴반지름은 $2r$ 이다. 따라서 지구에서 p까지의 거리는 $3r$ 이다. 중력 상수를 G , 지구의 질량을 M , A의 질량을 m 이라고 하면, q에서 A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{r} = -E_0$ 이다. p, q에서 A의 운동 에너지를 각각 K_p , K_q 라고 하면 A의 역학적 에너지는 보존되므로 $K_p - G\frac{Mm}{3r} = K_q - G\frac{Mm}{r}$ 이다. 따라서 $K_q - K_p = \frac{2GMm}{3r} = \frac{2}{3}E_0$ 이다.

ㄷ. 질량은 A와 B가 같으므로 B의 질량을 m , B의 속력을 v 라고 하면, B는 원 궤도의 반지름이 $2r$ 인 등속 원운동을 하므로 $G\frac{Mm}{4r^2} = \frac{mv^2}{2r}$ 에서 $v = \sqrt{\frac{GM}{2r}}$ 이다. 따라서 B의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{2r} + \frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2r}\right) = -G\frac{Mm}{4r} = -\frac{1}{4}E_0$ 이다.

05 - **꼼꼼 문제 분석**



선택지 분석

- ㉠ A에 작용하는 중력의 크기는 $\frac{E_0}{R}$ 이다.
- ㉡ B의 역학적 에너지는 $-\frac{2}{5}E_0$ 이다. $-\frac{3}{8}E_0$
- ㉢ v 는 행성의 탈출 속도보다 작다.

전략적 풀이 ① 행성의 중심으로부터 떨어진 거리에 따라 물체에 작용하는 중력의 크기를 구할 수 있다.

ㄱ. 중력 상수를 G , 행성의 질량을 M 이라고 하자. A의 질량을 $2m$ 이라고 하면 B의 질량은 m 이다. A의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{M(2m)}{R} = -E_0$ 이므로 $E_0 = \frac{2GMm}{R}$ 이다. A에 작용하는 중력의 크기는 $G\frac{M(2m)}{R^2} = \frac{E_0}{R}$ 이다.

② 중력에 의한 위치 에너지를 통해 역학적 에너지를 구할 수 있다.

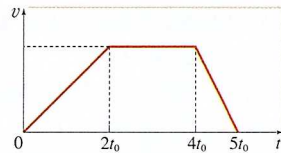
ㄴ. A의 속력을 v_A 라고 하면, $G\frac{M(2m)}{R^2} = \frac{(2m)v_A^2}{R}$ 에서 $v_A = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ 이다. p에서 B의 속력을 v_B 라고 하면, B가 p를

지나는 순간의 속력은 A가 B의 $\sqrt{2}$ 배이므로 $v_B = \frac{1}{\sqrt{2}}v_A = \sqrt{\frac{GM}{2R}}$ 이다. p에서 B의 중력에 의한 위치 에너지는 $-G\frac{Mm}{R}$ 이고, B의 운동 에너지는 $\frac{1}{2}m\left(\frac{GM}{2R}\right) = G\frac{Mm}{4R}$ 이다. 따라서 p에서 B의 역학적 에너지는 $-G\frac{Mm}{R} + G\frac{Mm}{4R} = -\frac{3GMm}{4R} = -\frac{3}{8}E_0$ 이다. B가 행성의 표면에서 발사된 이후 B의 역학적 에너지는 보존되므로 B의 역학적 에너지는 $-\frac{3}{8}E_0$ 이다.

③ 행성의 탈출 속도의 의미를 이해할 수 있다.

ㄷ. B의 역학적 에너지는 0보다 작으므로 행성에 의한 중력에 구속되어 있다. 즉, 행성의 표면에서 속력 v 로 발사된 B는 행성의 중력을 벗어날 수가 없다. 따라서 v 는 행성의 탈출 속도보다 작다.

06 - **꼼꼼 문제 분석**



- 단위 시간당 속도의 변화량의 크기가 $0 \sim 2t_0$ 일 때가 $4t_0 \sim 5t_0$ 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 가속도의 크기도 $0 \sim 2t_0$ 일 때가 $4t_0 \sim 5t_0$ 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다. 따라서 관성력의 크기는 $0 \sim 2t_0$ 일 때가 $4t_0 \sim 5t_0$ 의 $\frac{1}{2}$ 배이다.
- $0 \sim 2t_0$ 일 때는 연직 위 방향으로 속도가 증가하므로 관성력의 방향은 연직 아래 방향이고, $4t_0 \sim 5t_0$ 일 때는 연직 위 방향으로 속도가 감소하므로 관성력의 방향은 연직 위 방향이다.

선택지 분석

- ㉠ 관성력의 크기는 $t=3t_0$ 일 때 최대이다. 0이다.
- ㉡ 관성력의 크기는 $t=t_0$ 일 때가 $t=4.5t_0$ 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다.
- ㉢ 관성력의 방향은 $t=t_0$ 일 때와 $t=4.5t_0$ 일 때가 서로 반대 방향이다.

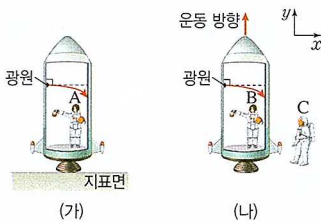
전략적 풀이 ① (나)에서 단위 시간당 속도의 변화량 또는 그래프의 기울기를 이용하여 가속도의 크기 및 방향을 이해하여 관성력을 구할 수 있다.

ㄱ. $t=3t_0$ 일 때, 엘리베이터는 등속도 운동을 하므로 관성력이 작용하지 않는다.

ㄴ. 관성력의 크기는 가속도의 크기에 비례하고, 가속도의 크기가 $t=t_0$ 일 때가 $t=4.5t_0$ 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이므로 관성력의 크기는 $t=t_0$ 일 때가 $t=4.5t_0$ 일 때의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

ㄷ. $0 \sim 2t_0$ 일 때는 속도가 증가하고, $4t_0 \sim 5t_0$ 일 때는 속도가 감소하므로 가속도의 방향은 서로 반대 방향이다. 따라서 관성력의 방향은 가속도의 방향과 반대 방향이므로 $t=t_0$ 일 때와 $t=4.5t_0$ 일 때가 서로 반대 방향이다.

07 - 꼼꼼 문제 분석



- (가)에서는 우주선이 지표면에 정지해 있으므로 빛은 중력에 의해 휘어진 시공간을 따라 아래로 휘어진다.
- (나)에서는 우주선이 $+y$ 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 빛은 관성력에 의해 $-y$ 방향으로 휘어진다.
- 빛의 휘어진 정도는 A가 관찰할 때가 B가 관찰할 때보다 크므로 (나)에서 작용하는 관성력의 크기는 (가)의 중력의 크기보다 작다.

선택지 분석

- ㉠ 우주선 안의 관찰자는 관성력과 중력을 구별할 수 없다.
- ㉡ B가 관찰할 때, 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $+y$ 방향이다. $-y$ 방향
- ㉢ (나)의 우주선의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

전략적 풀이 ① 등가 원리에 따라 관성력과 중력을 구별할 수 없음을 이용한다.

ㄱ. 등가 원리에 따라 우주선 안의 관찰자는 관성력과 중력을 구별할 수 없다.

② 물체의 가속도의 방향을 이용하여 관성력의 방향을 알아낼 수 있다.

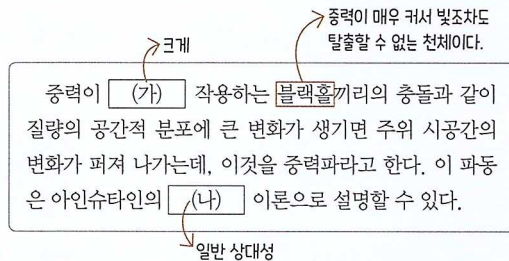
ㄴ. (나)에서 우주선은 $+y$ 방향으로 등가속도 직선 운동을 하므로 B가 관찰할 때 물체에 작용하는 관성력의 방향은 $-y$ 방향이다.

③ 빛의 휘어진 정도를 이용하여 관성력과 중력의 크기를 비교할 수 있다.

ㄷ. 빛의 휘어진 정도가 A가 관찰할 때가 B가 관찰할 때보다 크므로 (가)에서 중력의 크기는 (나)에서 관성력의 크기보다 크다.

따라서 (나)에서 우주선의 가속도의 크기는 중력 가속도의 크기보다 작다.

08 - 꼼꼼 문제 분석



선택지 분석

- ㉠ (가)는 '크게'이다.
- ㉡ (나)는 '일반 상대성'이다.
- ㉢ 블랙홀 주위에서 방출되는 빛으로 블랙홀을 직접적으로 관찰할 수 있다. 간접적으로

전략적 풀이 ① 블랙홀은 중력이 크게 작용하는 천체이며, 2개의 블랙홀이 합쳐질 때 중력파가 발생함을 이해할 수 있다.

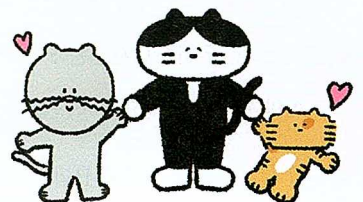
ㄱ. 블랙홀과 같이 중력이 큰 물체들 사이의 상호작용으로 질량의 공간적 분포에 큰 변화가 생겨 주위의 시공간에 변화가 퍼져 나가는 현상을 중력파라고 한다.

② 아인슈타인이 일반 상대성 이론을 발표하여 시공간에 대한 새로운 개념을 확립하였음을 안다.

ㄴ. 중력파는 아인슈타인의 일반 상대성 이론으로 설명할 수 있다.

③ 블랙홀에서는 빛도 빠져나오지 못하므로 직접 관찰할 수 없음을 이해할 수 있다.

ㄷ. 블랙홀의 탈출 속도는 빛의 속도보다 크므로 빛도 빠져나올 수 없다. 따라서 블랙홀은 주변의 물질을 흡수하는 과정에서 방출하는 빛을 관찰하거나, 블랙홀 주변에서 휘어지는 빛을 관찰하는 간접적인 방법으로 확인할 수 있다.



열과 에너지

1 열과 일

01 / 단열과 열팽창

개념 확인 문제

92쪽

- ① 전도 ② 대류 ③ 복사 ④ 두껍게 ⑤ 열팽창
⑥ 바이메탈

- 1 (가) 대류 (나) 복사 (다) 전도 2 열전도율 3 (1) ○ (2) ×
(3) × 4 공기 5 ㄱ, ㄴ 6 ㉠ 다른, ㉡ 작은

1 (가) 유체에서 물질의 입자가 직접 열을 이동하는 열전달 방식은 대류이다.

(나) 전자기파 형태로 에너지를 방출하는 열전달 방식은 복사이다.

(다) 이웃한 입자들 사이에 에너지가 전달되면서 열이 온도가 높은 쪽에서 온도가 낮은 쪽으로 이동하는 열전달 방식은 전도이다.

2 열전도율은 물질이 열을 얼마나 잘 전도하는지를 나타내는 물리량으로, 물질에 따라 다르다. 단위는 $W/m \cdot K$, $W/m \cdot ^\circ C$ 를 사용한다.

3 (1) 공기는 열전도율이 낮아 단열재로 좋은 물질로 뽁뽁이, 이중창 등에 활용한다.

(2) 열전도율이 낮아야 열이 전달되기 어려우므로 단열재는 열전도율이 낮아야 한다.

(3) 물체에 열에너지가 공급되면 입자들의 운동이 활발해져 입자들 사이의 거리가 늘어나면서 물체의 길이가 팽창한다.

4 숨이나 뽁뽁이에는 열전도율이 낮은 공기가 많이 들어 있어 단열 효과가 좋아 보온이나 보냉이 잘된다.

5 ㄱ. 전도에 의한 열 전달은 금속 막대 양 끝의 온도 차이가 클수록 잘 일어난다.

ㄴ. 열의 이동을 차단하는 것을 단열이라고 한다.

ㄷ. 금속 막대를 가열할 때 금속 막대의 온도 변화가 클수록 늘어난 길이도 크므로 비례 관계이다.

6 바이메탈이 열을 받으면 열팽창 정도가 작은 금속 쪽으로 휘어져 회로의 연결을 끊거나 이어지게 한다.

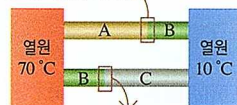
대표 자료 분석

93쪽

- 1 $\frac{15k_A A}{L}$ 2 $\frac{30k_A}{L}$ 3 2 : 1 4 2 : 1 5 $58^\circ C$
6 (1) × (2) ○ (3) ○ (4) ×

꼼꼼 문제 분석

A와 B의 경계면에서 온도가 일정하므로 A, B를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다.



B와 C의 경계면에서 온도가 일정하므로 B, C를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다.

1 A의 길이는 $2L$, A 양 끝의 온도차는 $30^\circ C$ 이므로 A를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은

$$Q = k \frac{A(T_1 - T_2)}{l} t \text{에 따라 } \frac{Q_A}{t} = k_A \frac{30A}{2L} = \frac{15k_A A}{L} \text{이다.}$$

2 B의 길이는 L 이고, B 양 끝의 온도차는 $30^\circ C$ 이므로 B를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 $\frac{Q_B}{t} = k \frac{30A}{L} = \frac{30kA}{L}$ 이다.

3 A와 B의 경계면에서 온도가 일정하므로 A와 B를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다. 따라서 $\frac{15k_A A}{L} = \frac{30k_A A}{L}$ 에서 $k_A : k = 2 : 1$ 이다.

4 B와 C의 경계면에서 온도가 일정하므로 B와 C를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같다. 따라서 $\frac{(70-58)k_A A}{2L} = \frac{(58-10)k_C A}{2L}$ 에서 $k = 2k_C$ 이므로 $k : k_C = 2 : 1$ 이다.

5 A와 C를 통해 단위 시간당 이동하는 열량은 같으므로 접촉 부분의 온도를 T 라고 하면 $k_A \frac{(70-T)A}{2L} = k_C \frac{(T-10)A}{2L}$ 이다. $k_A : k_C = 4 : 1$ 이므로 $T = 58^\circ C$ 이다.

6 (1) 막대를 구성하는 이웃한 분자들의 상호작용으로 열이 전달되므로 전도에 의해 열이 이동한다.