

[최고의 수험물리 전문가]

윤형철

변리사 탄탄물리

[개념+기출]

— 04장 일과 에너지보존 —

“물리는 외우는 과목이 아니라 생각하는 과목입니다.”

세 가지 강의 철학

목차

— 성장기반 물리

(Grow-based Physics)

— 취사선택 물리

(Cut-off Strategy Physics)

— 생각하는 물리

(Thinking Physics)



물리

윤형철 교수

물리 윤형철 교수입니다.

약력

전남과학고등학교 졸업
서울대학교 사범대학 물리교육과 졸업

전 대치 미래탐구
전 대치 새움학원
현 대치 링크물리
현 변리사스쿨 물리 전문교수

[역학 개관]

물리현상 (문제상황)	→ 물리량	물리법칙
물체의 운동 <표현>	① 시간 ② 위치 ③ 변위 ④ 거리 ⑤ 속도 ⑥ 속력 ⑦ 가속도	없음 (미적분+기하) 그래프 해석
물체의 운동 <원인>	① 힘/알짜 힘 ② 돌림힘/알짜 돌림힘	[뉴턴 운동법칙] - 제1법칙 (관성) - 제2법칙 (질량/가속도) - 제3법칙 (작용/반작용)
충돌/융합/분열(폭발) <순식간>	① 운동량/운동량 변화량 ② 충격량/충격력	① 운동량 보존법칙 ② 충격량-운동량 변화량 정리
물체의 운동 <스칼라적 접근>	① 일 ② 운동에너지 ③ 위치에너지-보존력 ④ 역학적 에너지	① 알짜일-운동에너지 변화량 정리 ② 보존력-위치에너지 관계 ③ 역학적 에너지 보존법칙

I. 계 모형(우주=계+외부)

1. 계의 정의

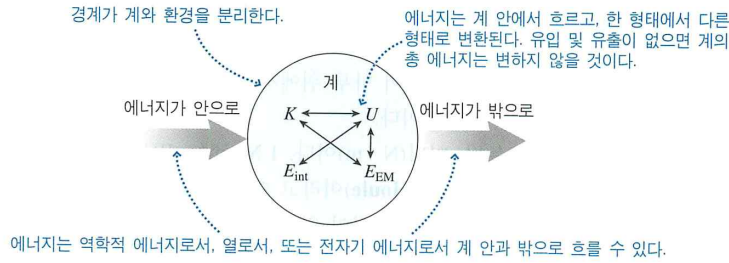
계(system)란 관찰하고자 하는 우주의 한 부분을 말한다.

2. 계의 분류

- (1) 열린계 : 외부와 에너지 및 물질을 모두 교환할 수 있는 계
- (2) 닫힌계 : 외부와 에너지는 교환할 수 있으나 물질은 교환하지 않는 계
- (3) 고립계 : 외부와 에너지 및 물질을 모두 교환할 수 없는 계

3. 계의 특징

계는 1개 이상의 구성요소를 가지며, 구성요소 사이에 상호 작용을 한다. 우주에서 계를 제외한 나머지 부분을 외부, 주위 또는 환경이라고 한다. 계와 외부를 분리하는 것을 경계라고 한다.



II. 에너지 E

1. 정의

계의 상태와 관련된 추상적 숫자 / 일을 할 수 있는 능력

2. 형태

운동에너지, 위치에너지, 역학적 에너지, 열에너지 등.

3. 전환

4. 전달

일, 열 등.

5. 보존 : 에너지 보존 법칙

III. 운동에너지

1. 정의

운동에너지란 운동하는 물체가 가지고 있는 에너지를 말한다.

2. 표시

$$E_k = K = \frac{1}{2}mv^2$$

3. 성격

스칼라 (부호 : $K \geq 0$)

4. 단위

J

IV. 일(Work)

개념 POINT

1. 정의

$$W = \int_i^f \vec{F} \cdot d\vec{s} = F s \cos\theta \quad (\text{일정한 힘}) \quad (s : \text{힘의 작용점의 변위} \neq \text{물체의 변위})$$

2. 성격

스칼라 (부호 : +, 0, -)

3. 단위

J

4. 본질

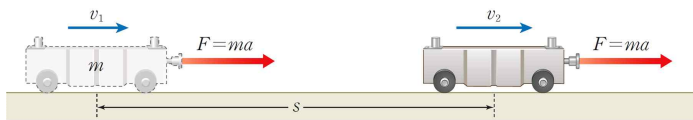
일의 본질은 힘을 통해서 계와 외부 사이에 전달되는 에너지이다. 즉 일을 한다 또는 받는다는 것은 에너지를 전달한다는 의미이다. 또한 물체에 작용하는 힘과 일은 일대일 대응이다.

5. 적용

(1) 알짜일 - 운동에너지 변화량 정리 : $\Sigma W = \Delta K$, $\Sigma W = \Sigma F \times s$

- 1) 알짜일 - 물체에 작용하는 모든 힘이 한 일의 총합
- 2) 알짜일 - 운동에너지 정리 증명

$$W = mas = m \times \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right) = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

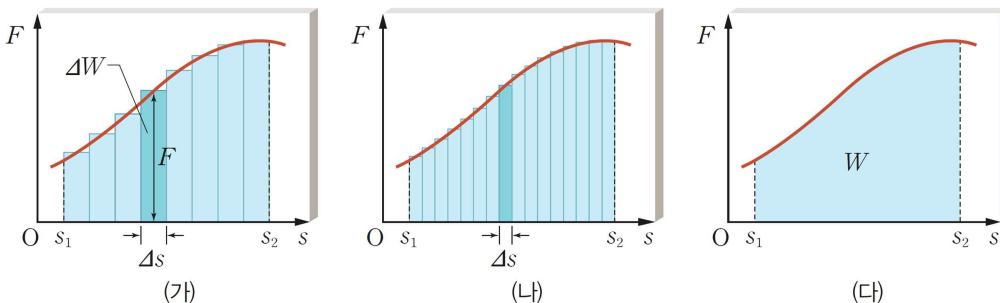


- 3) 주의 : 알짜일-운동에너지 변화량 정리에서 알짜힘이 하는 일에 따라 변하는 것은 물체의 속도가 아니라 속력이다. 예를 들어 등속 원운동하는 물체는 구심력과 운동방향이 수직이어서 알짜힘인 구심력이 하는 일은 0이다. 따라서 물체의 속도는 변하지만 물체의 속력은 일정하다.

(2) 일의 부호

- 1) $\Sigma W > 0 \Rightarrow \Delta K > 0$
- 2) $\Sigma W = 0 \Rightarrow \Delta K = 0$
- 3) $\Sigma W < 0 \Rightarrow \Delta K < 0$

(3) (힘-변위) 그래프



▲ 힘-이동 거리 그래프와 일

V. 위치에너지(퍼텐셜 에너지)

개념 POINT

높은 곳에서 떨어지는 물은 낮은 곳에서 떨어지는 물보다 아래에 있는 물레방아를 더 잘 돌린다. 또 늘어난 용수철에 매달린 물체는 용수철이 원래 길이로 돌아가면서 일을 할 수 있다. 이처럼 서로 힘을 작용하는 물체들로 이루어진 계에서 물체들은 위치에 따라 잠재적인 에너지를 가지기도 한다.

1. 퍼텐셜 에너지

물체가 힘이 작용하는 공간에서 기준 위치(지면, 평형 위치 등)와 다른 위치에 있을 때 물체는 물체에 작용하는 힘에 의하여 위치가 변하면서 일을 할 수 있으며, 물체의 위치에 따라 할 수 있는 일의 양이 다르다. 이렇게 위치에 따라 잠재적으로 가지고 있다가 위치가 변하면서 일을 할 수 있는 능력을 퍼텐셜 에너지(potential energy) 또는 위치 에너지라고 하며, E_p 로 표시한다. 운동 에너지는 물체 각각에 대해 나타낼 수 있지만, 퍼텐셜 에너지는 서로 힘을 작용하는 물체들로 이루어진 계에서 나타난다.

(1) **퍼텐셜 에너지의 종류:** 물체 사이에 작용하는 힘의 종류에 따라 중력에 의한 퍼텐셜 에너지, 탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지, 만유인력에 의한 퍼텐셜 에너지, 전기력에 의한 퍼텐셜 에너지, 분자력에 의한 퍼텐셜 에너지 등이 있다.

(2) **퍼텐셜 에너지의 양:** 물체가 기준 위치까지 이동하는 동안에 다른 물체에 할 수 있는 일의 양으로 나타낸다.

① 퍼텐셜 에너지는 방향이 없이 크기만을 가지는 물리량이다.

② 퍼텐셜 에너지의 단위: 일의 단위와 같은 J을 사용한다.

(3) **퍼텐셜 에너지의 기준 위치**

① 물리학에서는 퍼텐셜 에너지의 차이값만이 의미를 가지므로, 퍼텐셜 에너지의 기준 위치는 편리한 대로 정할 수 있다.

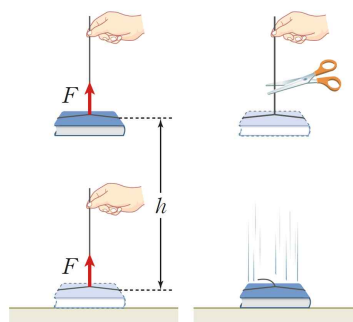
② 기준 위치에서 퍼텐셜 에너지는 0이다.

③ 퍼텐셜 에너지는 기준 위치를 어디로 정하는지에 따라 달라지지만, 퍼텐셜 에너지의 차는 두 위치의 차에 의해 결정되므로 기준 위치에 따라 변하지 않는다.

2. 중력이 작용하는 계의 퍼텐셜 에너지

지표면 근처에서 힘을 가해 책을 서서히 들어 올리면, 힘이 한 일만큼 계의 에너지가 증가해야 한다. 하지만 책의 속력이 일정하므로 운동 에너지는 변하지 않는다. 그러면 책에 한 일은 어떻게 된 것일까?

만약 들어 올린 위치에서 책을 놓는다면, 중력이 책에 일을 하여 운동 에너지가 증가할 것이다. 떨어지는 동안 중력이 책에 하는 일은 들어 올리는 힘이



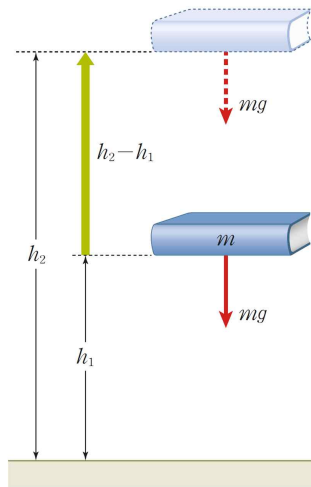
▲ 책을 들어 올리는 일과 중력이 책에 한 일

책에 한 일과 같다. 즉, 책을 들어 올리는 동안 한 일은 책과 지구로 이루어진 계에 잠재적인 에너지, 즉 퍼텐셜 에너지로 저장된다. 이 퍼텐셜 에너지는 책과 지구 사이에 작용하는 중력과 관계된 에너지이므로, 중력 퍼텐셜 에너지라고 한다.

(1) **중력에 의한 퍼텐셜 에너지의 양:** 그림과 같이 지표면 근처에서 질량 m 인 책을 서서히 들어 올릴 때 책에 가하는 힘은 책의 무게와 같은 mg 가 된다. 임의의 높이 h_1 에서 h_2 까지 책을 서서히 들어 올리는 동안 책에 한 일 W 는 다음과 같다.

$$W = mg(h_2 - h_1) = mgh_2 - mgh_1$$

위의 식에서 우변은 높이 h 로 나타나는 물리량 mgh 의 나중 값과 처음 값의 차임을 알 수 있다. 즉, 물체에 무게와 같은 힘을 연직 위로 작용하여 서서히 들어 올리는 일을 하면 mgh 에 해당하는 에너지가 변하는데, 이것을 중력이 작용하는 공간에서 물체의 높이와 관련된 에너지인 중력 퍼텐셜 에너지로 정의한다.



▲ 중력 퍼텐셜 에너지

(2) **중력 퍼텐셜 에너지:** 물체의 높이에 따라 가지는 에너지로, 질량이 $m(\text{kg})$ 인 물체가 기준면에서 높이 $h(\text{m})$ 인 곳에 있을 때 중력 퍼텐셜 에너지 E_p 는 다음과 같다.

$$E_p = mgh \quad (g: \text{중력 가속도}) \quad (\text{단위: J})$$

- ① 기준면은 편리한 대로 정할 수 있으며, 보통 지면을 기준면으로 한다.
- ② 물체가 운동하는 동안 중력이 하는 일은 중력 퍼텐셜 에너지의 차와 같으며, 물체의 운동 경로에 관계없이 두 지점 사이의 연직 높이의 차로만 결정된다.

시야확장 + 중력이 하는 일과 물체의 이동 경로

질량 m 인 물체가 중력($F = mg$)을 받으면서 운동하여 그 높이가 변할 때 중력은 물체에 일을 한다.

(가) 물체가 자유 낙하 할 때, mg 의 힘을 받으며 높이 h 만큼 이동하므로 중력이 물체에 한 일은 $W = Fs = mgh$ 가 된다.

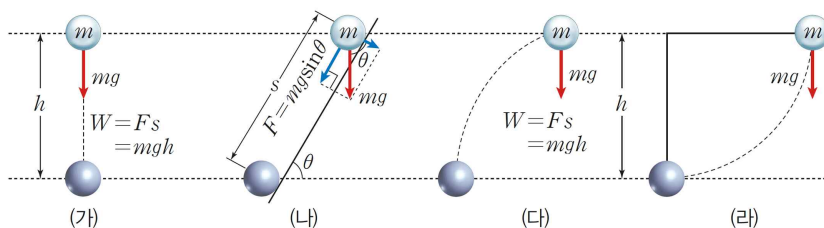
(나) 물체가 경사각이 θ 인 마찰이 없는 빗면을 따라 거리 s 만큼 운동할 때, 물체는 빗면 방향의 분력 $mg \sin \theta$ 를 받으며 높이 $h = s \sin \theta$ 만큼 이동하므로, 중력이 물체에 한 일은 $W = Fs = mg \sin \theta \cdot s = mgs \sin \theta = mgh$ 가 된다. 즉, 중력이 한 일은 빗면의 경사각 θ 에는 관계없고, 중력 방향으로 이동한 거리인 높이차 h 에 의해 정해진다.

(다) 수평으로 던져 낙하시키거나 곡면 위에서 미끄러져 내려올 때, 중력은 연직 아래 방향으로 $F = mg$ 이므로 높이차 h 만큼 낙하하는 동안 중력이 한 일은 $W = Fs = mgh$ 이다.

(라) 단진자가 중력을 받으면서 진동할 때, 물체에 작용하는 중력이 한 일은 연직 높이 h 에 의해 정해진다. 즉, 중력이 한 일은 $W = Fs = mgh$ 이다.

이처럼 중력이 하는 일은 물체의 운동 경로에 관계없이 높이차 h 에 의해 정해진다.

$$W = mgh$$



3. 탄성력이 작용하는 계의 퍼텐셜 에너지

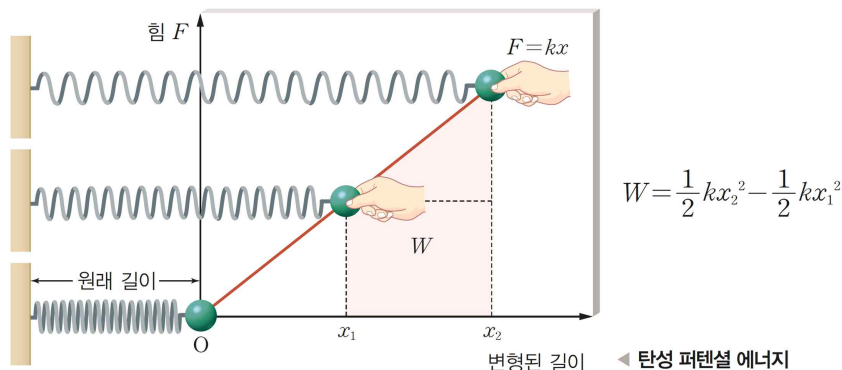
잡아당긴 활시위는 화살을 날려 보내는 일을 할 수 있고, 늘어나거나 압축된 용수철은 원래 길이로 되돌아가며 다른 물체에 일을 할 수 있다. 활시위를 잡아당기거나 용수철을 늘어나게 하려면 외부에서 일을 해 주어야 하며, 이 일은 탄성체로 연결된 계에 잠재적인 에너지, 즉 퍼텐셜 에너지로 저장된다. 이와 같이 탄성력과 관계된 퍼텐셜 에너지를 탄성 퍼텐셜 에너지라고 한다.

(1) **용수철에 매달린 물체에 작용하는 탄성력(훅 법칙):** 용수철이 늘어나거나 압축되면 원래 길이로 되돌아가려는 방향으로 탄성력이 작용한다. 용수철 상수가 $k(\text{N/m})$ 인 용수철의 길이가 $x(\text{m})$ 만큼 늘어났을 때 용수철에 매달린 물체가 받는 탄성력 F 는 다음과 같이 용수철이 변형된 길이에 비례한다.

$$F = -kx \quad (k: \text{용수철 상수})$$

이때 $(-)$ 는 탄성력의 방향이 변형된 방향의 반대임을 나타낸다.

(2) **탄성력에 의한 퍼텐셜 에너지의 양:** 그림과 같이 한쪽이 고정된 용수철에 물체를 매달고 물체를 서서히 움직일 때 물체를 당기는 힘은 탄성력과 크기가 같고 방향은 반대가 된다. 물체를 임의의 위치 x_1 에서 x_2 까지 움직이는 동안 물체를 당기는 힘이 한 일 W 는 힘-변형된 길이 그래프에서 색칠한 부분의 넓이로, 다음과 같다.



위의 식에서 우변은 용수철의 평형점에서 늘어난 위치 x 로 나타나는 물리량 $\frac{1}{2}kx^2$ 의 나중 값과 처음 값의 차임을 알 수 있다. 즉, 용수철에 매달린 물체를 서서히 당기는 일을 하면 $\frac{1}{2}kx^2$ 에 해당하는 에너지가 변하는데, 이것이 탄성력이 작용할 때의 퍼텐셜 에너지인 탄성 퍼텐셜 에너지이다.

(3) **탄성 퍼텐셜 에너지:** 물체 사이에 탄성력이 작용하는 계에서 물체의 위치에 따라 가지는 에너지로, 용수철 상수가 $k(\text{N/m})$ 인 용수철이 길이가 $x(\text{m})$ 만큼 변형되었을 때 용수철에 저장된 탄성 퍼텐셜 에너지 E_p 는 다음과 같다.

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \quad (\text{단위: J})$$

- ① 용수철이 변형되지 않았을 때($x=0$)를 보통 탄성 퍼텐셜 에너지가 0인 기준점으로 한다.
- ② 탄성 퍼텐셜 에너지는 x^2 에 비례하므로, $(-)$ 값을 가지지 않는다.

VI. 역학적 에너지

개념 POINT

롤러코스터는 높은 곳에서 서서히 움직이다 낮은 곳에서 빠르게 움직이고, 그네는 낮은 곳을 지날 때 빠르고 높은 곳을 지날 때 느리다. 이렇게 물체가 운동하면서 높이나 빠르기가 변할 때 물체의 운동 에너지, 퍼텐셜 에너지가 어떻게 변하는지 살펴보자.

1. 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지의 전환

(1) 중력이 작용할 때의 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 변화

그림과 같이 높이 H 에서 질량 m 인 물체가 자유 낙하하는 경우, 기준면으로부터의 높이가 h_1, h_2 인 두 점 A, B를 지나는 순간 물체의 속력이 v_1, v_2 가 되었다고 하자. 물체가 A에서 B까지 낙하하는 동안 중력이 한 일은 감소한 중력 퍼텐셜 에너지와 같다.

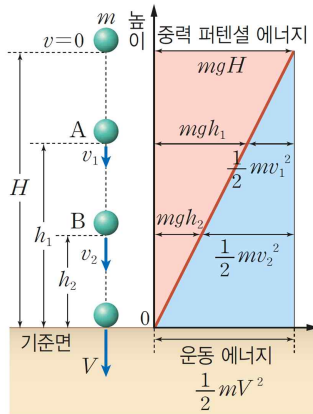
$$W = Fs = mg(h_1 - h_2) \dots\dots ①$$

또, 일·운동 에너지 정리에 의해 중력이 물체에 한 일은 물체의 운동 에너지 변화량과 같다.

$$W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 \dots\dots ②$$

①, ② 식에서 $\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_1 - mgh_2$ 가 되고, 이를 정리하면 다음과 같이 운동 에너지와 중력 퍼텐셜 에너지의 합이 보존되는 것을 알 수 있다.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \text{일정} \left(= \frac{1}{2}mV^2 = mgH \right)$$



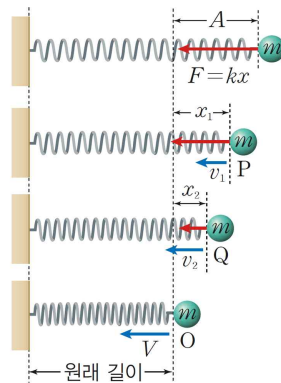
(2) 탄성력이 작용할 때의 운동 에너지와 탄성 퍼텐셜 에너지의 변화

그림과 같이 마찰이 없는 수평면 위에서 한쪽을 고정시킨 용수철 상수가 k 인 용수철에 질량이 m 인 물체를 매달고 평형점으로부터 용수철이 A 만큼 늘어나는 지점에서 물체를 가만히 놓으면, 물체는 탄성력을 받아 운동한다. 물체가 위치 x_1, x_2 인 지점을 지날 때의 속도를 각각 v_1, v_2 라고 하면, 물체가 P점에서 Q점으로 이동하는 동안 탄성력이 물체에 한 일만큼 탄성 퍼텐셜 에너지가 감소하고, 물체의 운동 에너지가 증가하므로 다음 식이 성립한다.

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}kx_1^2 - \frac{1}{2}kx_2^2$$

위의 식을 정리하면 다음과 같이 탄성력에 의한 역학적 에너지가 일정하게 보존되는 것을 알 수 있다. 즉, 용수철이 A 만큼 늘어난 위치에서 놓은 물체는 평형 위치에서 속력이 V 로 최대가 되었다가 다시 A 만큼 압축되며, 일정한 진폭으로 계속 왕복 운동을 한다.

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}kx_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}kx_2^2 = \text{일정} \left(= \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}kA^2 \right)$$



2. 역학적 에너지 보존 법칙

집중 분석 1권 100쪽~101쪽

중력이나 탄성력은 힘이 물체에 한 일이 물체의 운동 경로와 관계없이 처음 위치와 나중 위치에만 관계되는 힘이다. 어떤 계의 물체가 이러한 힘만을 받아 운동할 때, 힘이 물체에 한 일 W 만큼 계의 퍼텐셜 에너지 E_p 는 감소한다.

$$W = -\Delta E_p \dots\dots ①$$

한편, 일·에너지 정리에 의해 이 힘이 한 일 W 만큼 물체의 운동 에너지 E_k 는 증가한다.

$$W = \Delta E_k \dots\dots ②$$

①, ② 식을 결합하면 다음과 같이 운동 에너지와 퍼텐셜 에너지는 그 중 어느 한 에너지가 증가하면 같은 양만큼 다른 에너지가 감소한다는 것을 알 수 있다.

$$-\Delta E_p = \Delta E_k \text{ 또는 } \Delta E_p + \Delta E_k = 0$$

따라서 두 에너지 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$E_p + E_k = E = \text{일정}$$

(1) **역학적 에너지(E):** 퍼텐셜 에너지와 운동 에너지의 합을 역학적 에너지라고 한다.

(2) **역학적 에너지 보존 법칙:** 주위와 물질과 에너지의 출입이 없는 고립계에서 중력이나 탄성력과 같은 힘만을 받으며 물체가 운동할 때, 계의 역학적 에너지는 보존된다.

$$E = E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2} = \text{일정}$$

처음의 역학적 에너지 = 나중의 역학적 에너지

개념 POINT

3. 역학적 에너지가 보존되지 않는 경우

집중 분석 1권 100쪽 탐구 1권 102쪽

개념 POINT

(1) 마찰이나 공기 저항이 작용할 때 계의 역학적 에너지 변화

일상생활에서 물체들은 대부분 마찰력이나 공기 저항력 등을 받으며 운동한다. 높은 곳에서 놓아 떨어뜨린 공도 운동하는 동안 이러한 힘들에 의해 중력이 공에 한 일 중 일부가 열에너지 등으로 빠져나간다.

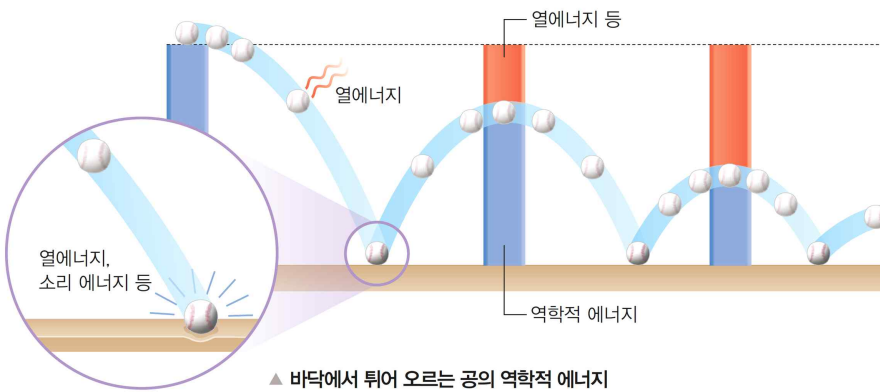
$$W = \Delta E_k + \text{열에너지 등}$$

한편, 중력이 공에 한 일만큼 공의 중력 퍼텐셜 에너지는 감소한다.

$$W = -\Delta E_p$$

위 두 식을 결합하면 다음과 같이 열에너지 등으로 빠져나간 만큼 계의 역학적 에너지는 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나 역학적 에너지와 열에너지, 그리고 다른 형태의 여러 에너지를 포함한 총 에너지는 보존된다.

$$\Delta E_p + (\Delta E_k + \text{열에너지 등}) = \Delta E + \text{열에너지 등} = 0$$

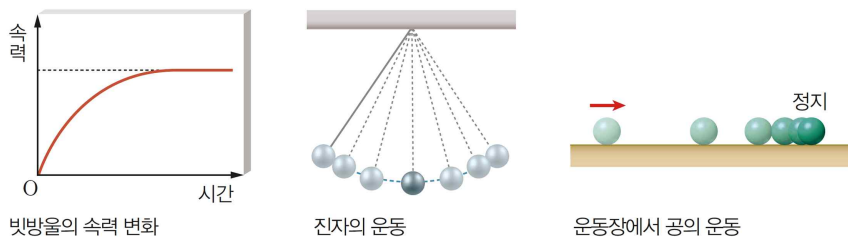


(2) 역학적 에너지가 보존되지 않는 예

① 구름에서 떨어지는 빗방울은 지면 근처에서 일정한 속도로 낙하한다: 역학적 에너지가 보존된다면 낙하하는 동안 중력 퍼텐셜 에너지가 감소하고 운동 에너지가 증가하므로 속력은 증가해야 한다. 하지만 공기 저항에 의하여 감소한 중력 퍼텐셜 에너지가 열에너지로 전환되며, 역학적 에너지는 감소한다.

② 진자와 같이 물체를 줄에 매달아 흔들어 놓으면 물체의 운동은 계속되지 않고 언젠가 멈추게 된다: 이는 공기 저항에 의하여 물체의 역학적 에너지가 열에너지로 전환되기 때문이다. 공기 저항이 있을 때 물체의 역학적 에너지는 보존되지 않고 감소한다.

③ 운동장에서 공을 차면 공은 운동장을 굴러가다가 결국 멈추게 된다: 공의 운동 에너지는 공기 저항이나 마찰에 의해서 열에너지로 전환되며, 이 과정에서 역학적 에너지는 감소한다.



▲ 역학적 에너지가 보존되지 않는 예

■ 변리사 기출문제

개념 POINT

1. [2002년 변리사] (하) 알짜일-운동에너지 변화량 정리

36km/h 로 달리던 $2,000\text{kg}$ 의 승용차가 브레이크를 걸어 정지하였다. 일정한 감속도를 갖고 정지하였고, 정지거리는 50m 였다. 타이어에 작용한 제동력(노면과 타이어의 마찰력)은 얼마인가?¹⁾

① $1,000\text{N}$

② $2,000\text{N}$

③ $4,000\text{N}$

④ $72,000\text{N}$

⑤ $1,440\text{N}$

2. [2004년 변리사] (중) 역학적 에너지 보존

용수철 상수가 k 인 용수철의 한 쪽 끝이 벽에 고정되어 있고 질량 M 인 빨간색 물체가 나머지 한 쪽 끝에 묶여서 마찰이 없는 평면 위에서 운동하고 있다. 이 때 용수철을 평형점에서 x 만큼 수축시켜 손으로 잡고 있다가 빨간색 물체 바로 앞에 질량이 $3M$ 인 파란색 물체를 놓은 후 잡은 손을 놓으면 결국 파란색 물체는 튕겨져 나갈 것이다. 이 때 파란색 물체가 가지게 되는 운동에너지는?²⁾

① $\frac{1}{8}kx^2$

② $\frac{1}{4}kx^2$

③ $\frac{3}{8}kx^2$

④ $\frac{1}{2}kx^2$

⑤ $\frac{3}{2}kx^2$

개념 POINT

3. [2010년 변리사] (하) 알짜일-운동에너지 변화량 정리

마찰이 없는 수평면에 정지해 있던 질량 m 인 물체에 일정한 힘 F 를 수평 방향으로 0초부터 t_1 초까지 작용하여 물체를 직선 운동시켰다. 이 힘이 0초에서 t_1 초까지 물체에 한 일은?³⁾

① $\frac{F^2 t_1^2}{2m}$

② $\frac{F^2 t_1^2}{4m}$

③ $\frac{2F^2 t_1^2}{m^2}$

④ $\frac{2F t_1}{m^2}$

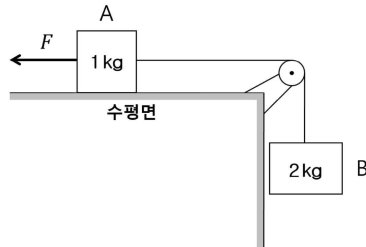
⑤ $\frac{F t_1}{m^2}$

개념 POINT

4. [2020년 변리사] (중) 뉴턴운동법칙 + 일의 정의

그림은 도르래에 한 줄로 연결된 질량이 각각 1kg , 2kg 인 물체 A, B가 힘 F 에 의해 정지해 있는 모습을 나타낸 것이다. F 를 없앴더니 두 물체가 4m/s^2 의 가속력을 가지고 A는 오른쪽으로, B는 연직 아래로 각각 0.1m 이동하였다. 0.1m 이동하는 동안 A에 작용하는 마찰력이 한 일(J)의 절댓값은?⁴⁾ (단, 중력가속도는 g 이고, 공기저항, 도르래의 회전마찰력과 질량, 줄의 질량은 무시한다.)

개념 POINT

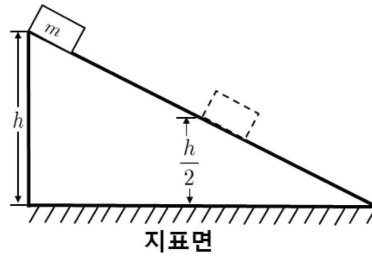


- ① 0.6 ② 0.8 ③ 1.0 ④ 1.2 ⑤ 1.4

5. [2021년 변리사] (하) 빗면 + 역학적 에너지 보존

경사진 면을 질량 m 인 물체가 마찰 없이 미끄러져 내려오고 있다. 물체는 높이 h 에서 정지 상태로부터 출발하였다. 물체가 $\frac{h}{2}$ 인 지점을 통과하는 순간의 속력은?5)

개념 POINT



① $\frac{1}{4} \sqrt{gh}$

② $\frac{1}{2} \sqrt{gh}$

③ $\sqrt{\frac{gh}{2}}$

④ \sqrt{gh}

⑤ $\sqrt{2gh}$

6. [2022년 변리사] (중) 자유낙하운동 + 역학적 에너지 보존

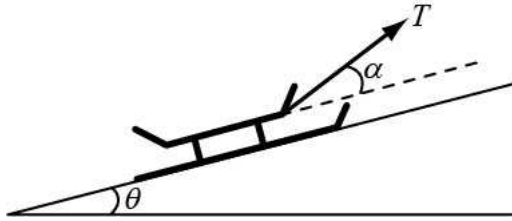
지면으로부터 높이 H 인 곳에서 가만히 놓인 물체가 자유 낙하하여 지면에 도달했다. 물체가 지면에 도달할 때까지 걸린 시간이 t_0 일 때, 이 물체의 운동에너지가 중력 퍼텐셜에너지의 2배인 지점까지 낙하하는 데 걸린 시간은? (단, 중력가속도는 일정하고, 물체의 크기는 무시하며, 지면에서 중력 퍼텐셜에너지는 0이다.)

- ① $\frac{1}{3}t_0$ ② $\frac{1}{\sqrt{3}}t_0$ ③ $\frac{2}{3}t_0$ ④ $\sqrt{\frac{2}{3}}t_0$ ⑤ $\frac{\sqrt{3}}{2}t_0$

개념 POINT

■ 개념확인문제

1. 질량이 m 인 썰매가 수평면과 θ 의 각도로 기울어진 마찰이 없는 빙면에 놓여 있다. 이 썰매를 그림과 같이 빙면과 α 의 각도를 이루는 밧줄로 당겼더니 등속 운동을 하였다. 이 밧줄의 장력은 T 이다. (단, 중력가속도는 g 이다.)

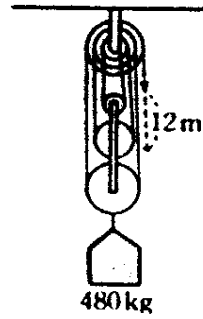


이 썰매가 빙면 위에서 등속도로 끌어올려져서 지면으로부터 h 의 높이에 도달하였을 때, 다음 물음을 m , T , θ , α 그리고 h 를 이용해서 나타내시오.⁷⁾

- (1) 힘 T 가 상자에 한 일은 얼마인가?
(2) 이 때 마찰력이 한 일은 얼마인가?

개념 POINT

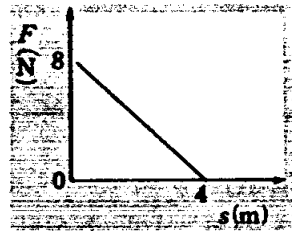
2. 오른쪽 그림과 같이 질량을 무시할 수 있는 도르래에 질량이 480kg 인 물체를 매단 다음 줄을 12m 잡아 당겼을 때 힘이 물체에 한 일은 얼마인가?(단, 중력가속도는 $g = 10\text{m/s}^2$ 으로 계산한다.)⁸⁾



개념 POINT

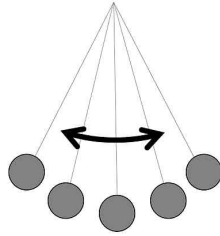
3. 매끄러운 수평면에 놓여 있는 질량 2kg 인 물체에 가한 힘 F 와 물체의 이동 거리 s 와의 관계가 오른쪽 그래프와 같다.⁹⁾

개념 POINT



- (1) 물체를 4m 이동시키는 동안 힘이 한 일은 얼마인가?
- (2) 물체의 최종 속력은 얼마인가?

4. 단진자 추가 줄 끝에서 좌우로 움직이면서 원호를 그린다. 줄의 장력은 일을 하는가?¹⁰⁾



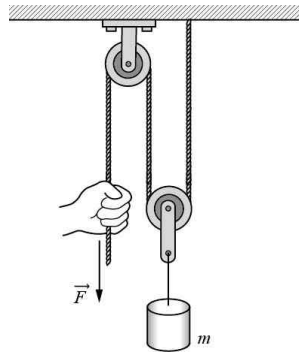
개념 POINT

5. 처음에 정지해 있던 질량 M 의 물체를 줄을 이용하여 가속도 $g/4$ 로 아래로 내린다. 물체가 거리 d 만큼 내려왔을 때¹¹⁾

개념 POINT

- (1) 줄이 물체에 한 일
- (2) 중력이 물체에 한 일
- (3) 물체의 운동에너지와
- (d) 속력을 각각 구하여라.

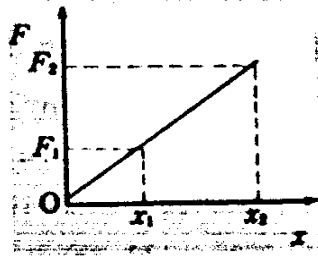
6. 그림의 두 깁통이 마찰을 무시할 수 있는 도르래에 줄로 연결되어 있고 줄의 다른 쪽 끝에는 힘 \vec{F} 가 작용한다.¹²⁾



- (1) 깁통을 등속도로 올리기 위해서는 \vec{F} 의 크기가 얼마이어야 하는가?
- (2) 깁통을 h 만큼 위로 들어 올리기 위하여 줄의 다른 쪽 끝을 얼마나 아래로 당겨야 하는가? 올리는 동안
- (3) 작용한 힘
- (d) 중력이 통에 한 일은 각각 얼마인가? (힌트: 줄이 도르래에 그림처럼 감겨 있으면 도르래에 작용하는 힘은 장력의 2배이다)

개념 POINT

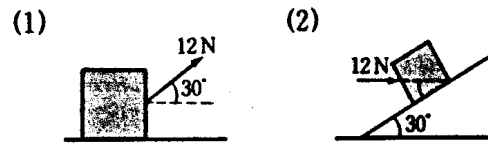
7. 그림은 어떤 용수철을 잡아당길 때 드는 힘 F 와 늘어난 길이 x 와의 관계를 나타낸 그래프이다. 이 용수철이 x_1 에서 x_2 까지 늘어나는 동안 힘이 한 일은 얼마인가?¹³⁾



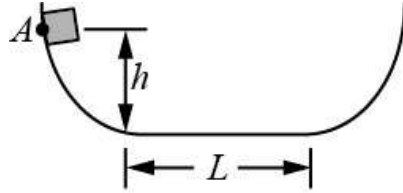
개념 POINT

8. 다음 그림과 같은 방향으로 12N의 힘을 가하여 물체 3m이동시켰을 때 힘이 물체에 한 일은 얼마인가?¹⁴⁾

개념 POINT

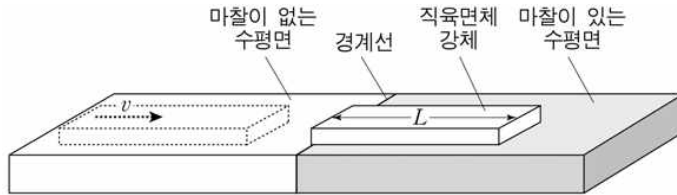


9. 그림처럼 양 끝이 올라가고 가운데 부분은 편평한 트랙을 따라 입자가 미끄러지고 있다. 편평한 부분의 길이는 L 이다. 트랙의 굽어진 구간은 마찰이 없지만 편평한 부분의 운동마찰계수는 $\mu_k = \frac{1}{5}$ 이다. 정지해 있는 입자를 높이 $h = L/2$ 의 점 A 에서 놓았을 때 입자가 멈출 때까지 편평한 부분의 왼쪽 끝으로부터 얼마만큼 움직이는가?¹⁵⁾



개념 POINT

10. 그림은 길이가 L 이고 밀도가 균일한 직육면체 강체가 마찰이 없는 수평면에서 일정한 속력 v 로 오른쪽으로 미끄러지다가, 마찰이 있는 수평면에서 정지한 것을 나타낸 것이다. 마찰이 있는 수평면과 강체 사이의 운동마찰계수는 μ_k 이다. 강체의 왼쪽 모서리는 두 수평면의 경계선과 일치하였다.



μ_k 는? (단, 중력가속도는 g 이고, 공기 저항은 무시하며, 두 수평면의 높이는 같고, 강체는 직선운동을 한다.)¹⁶⁾

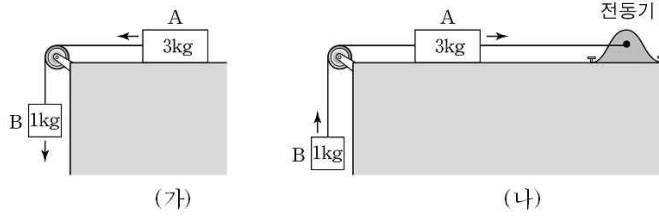
- ① $\frac{v^2}{gL}$ ② $\frac{v^2}{2gL}$ ③ $\frac{v^2}{3gL}$ ④ $\frac{v^2}{4gL}$ ⑤ $\frac{v^2}{5gL}$

개념 POINT

11. 일정한 힘 F 가 질량 m 인 물체에 작용한다. 물체는 $t=0$ 일 때 정지해 있었다. 시간 t 일 때 이 힘의 일률은 얼마인가?¹⁷⁾

개념 POINT

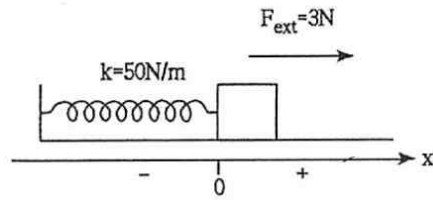
12. 그림 (가)는 마찰이 있는 수평면 위의 물체 A가 물체 B와 연결되어 왼쪽으로 일정한 속력으로 운동하는 것을 나타낸 것이고, (나)는 전동기가 A를 당길 때 A가 오른쪽으로 2m/s 의 일정한 속력으로 운동하는 것을 나타낸 것이다. (가)와 (나)에서 수평면과 A 사이의 마찰계수는 같다, ¹⁸⁾



(나)에서 전동기의 일률은? (단, $g = 10\text{m/s}^2$ 이고, 공기 저항과 도르래의 마찰은 무시한다.)

개념 POINT

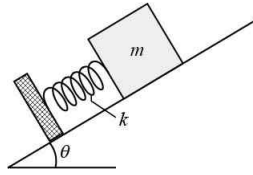
13. 그림과 같이 마찰이 없는 수평면 위에 용수철 상수가 50 N/m 인 용수철이 있다. 용수철의 한 끝은 고정된 벽에, 다른 한 끝은 물체에 연결되어 있고 아무런 외력도 작용하지 않는다. 이 때, 물체는 $x=0$ 인 위치에 있다. 이 물체에 3 N 의 외력(F_{ext})이 오른쪽으로 작용하여 멈출 때까지 잡아당겨진다.¹⁹⁾



- (1) 외력이 물체에 한 일을 구하시오.
- (2) 외력이 작용하는 동안 물체의 최대 운동에너지를 구하시오.

개념 POINT

14. 질량 m 의 토막이 그림처럼 수평경사각 θ 의 마찰 없는 경사면에 놓인 용수철을 누르고 있다(토막은 용수철에 붙어 있지 않다). 용수철상수 k 의 용수철을 x_0 만큼 압축했다가 놓았다.²⁰⁾

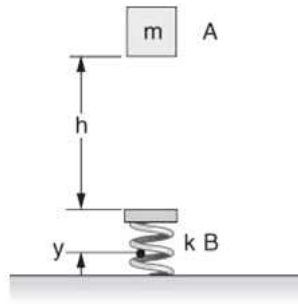


- (1) 압축된 용수철의 탄성 퍼텐셜에너지는 얼마인가?
- (2) 토막이 처음 위치로부터 경사면의 최고점에 도달하는 동안 토막-지구계의 중력 퍼텐셜에너지 변화는 얼마인가?
- (3) 토막이 경사면을 따라 올라갈 수 있는 최대 거리는 얼마인가?

개념 POINT

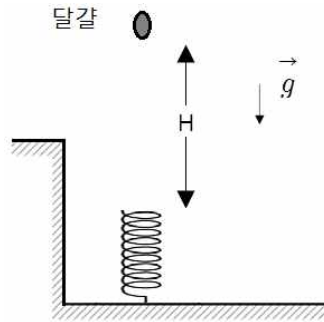
15. 마룟바닥에 수직으로 세운 용수철상수 k 의 용수철 위로 높이 h 에서 질량 m 이 떨어진다. 용수철의 최대 압축길이를 구하라.²¹⁾

개념 POINT



16. 그림과 같이 건물 옥상에서 바닥으로 질량 $m = 50g$ 인 달걀을 수평 속도 없이 낙하시킨다. 달걀은 수직 거리 $H = 7m$ 를 낙하한 후 바닥에 놓인 용수철 상수가 k 인 쿠션을 압축하면서 서서히 정지한다. 용수철이 꺾짐에 작용하는 힘이 $5N$ 보다 크면 달걀은 깨진다. 달걀이 깨지지 않고 정지할 수 있는 용수철 상수의 최댓값은?²²⁾

개념 POINT



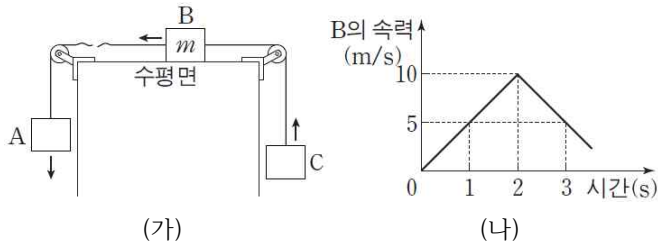
- ① $\frac{5}{7} N/m$ ② $\frac{10}{7} N/m$ ③ $\frac{15}{7} N/m$
 ④ $\frac{20}{7} N/m$ ⑤ $\frac{25}{7} N/m$

17. 물체가 일정한 크기의 알짜힘을 받아 $t = 0$ 일 때 정지 상태에서 출발하여 운동을 하고 있다. 물체의 운동에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?²³⁾

- ① 단위 시간당 물체에 제공된 에너지는 t 에 비례한다.
- ② 물체의 운동에너지는 t^2 에 비례한다.
- ③ 단위 시간당 물체에 제공된 에너지는 물체의 총 이동거리 x 의 제곱근 \sqrt{x} 에 비례한다.
- ④ 주어진 시간 동안 물체의 운동에너지 변화는 해당 시간 동안 발생한 변위의 크기에 비례한다.
- ⑤ 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 t 에 비례한다.

개념 POINT

18. 그림 (가)는 0초일 때 정지해 있던 물체 A, B, C가 실로 연결된 채 등가속도 운동을 하다가 2초일 때 A, B를 연결하고 있던 실이 끊어진 후 A, B, C가 등가속도 운동을 하고 있는 것을, (나)는 시간에 따른 B의 속력을 나타낸 것이다. 질량은 A가 C보다 크고, B의 질량은 m 이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?24) (단, 중력 가속도는 10m/s^2 이고, 모든 마찰과 공기 저항은 무시한다.)

<보 기>

- ㄱ. C의 운동 방향은 1초일 때와 3초일 때가 서로 반대이다.
 ㄴ. 질량은 A가 C의 4배이다.
 ㄷ. C의 역학적 에너지는 3초일 때가 2초일 때보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

개념 POINT

■ 정답과 해설

개념 POINT

1) [정답] ②

[해설]

- 단위 변환에서 $36km/h = 36 \times \frac{5}{18}m/s = 10m/s$ 이다.
- 알짜일-운동에너지 변화량 정리 $\sum W = \Delta K$ 에서 제동력이 한 일 $W_f = 0 - \frac{1}{2}mv^2$ 이다.
- $W_f = -fs = -f \times 50$ 이므로 $-f \times 50 = -\frac{1}{2} \times 2,000 \times 10^2$ 에서 $f = 2,000N$ 이다.

2) [정답] ③

[해설]

- 문제상황 : 이 문제는 용수철이 평형점까지 돌아오면서 두 물체를 함께 가속 시켜 같은 속도로 만든 후 평형점을 지나는 순간 두 물체가 분리된다. 분리 후 빨간색 물체는 용수철에 의해 속도가 감소하며 파란색 물체는 분리할 때의 속도로 등속도 운동한다.
- 분리 순간의 속도를 v 라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해 $\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}(M+3M)v^2$ 이므로 $v^2 = \frac{kx^2}{4M}$ 이다.
- 따라서 분리 순간의 파란색 물체가 가지게 되는 운동에너지는 $\frac{1}{2} \times 3M \times v^2 = \frac{1}{2} \times 3M \times \frac{kx^2}{4M} = \frac{3}{8}kx^2$ 이다. 즉 평형점에서의 속도가 같으므로 탄성퍼텐셜 에너지가 빨간색 물체와 파란색 물체에 질량비 1:3으로 비례배분 된다.

3) [정답] ①

[해설]

- 알짜일-운동에너지 변화량 정리 $\sum W = \Delta K$ 에서 $W = \frac{1}{2}mv^2$ 이다.
- $\sum F = ma$ 에서 $a = \frac{F}{m}$ 이고 정지상태에서 t_1 만큼 가속되었으므로 $v = at_1 = \frac{F}{m}t_1$ 이다.
- 따라서 $W = \frac{1}{2}m(\frac{F}{m}t_1)^2 = \frac{F^2t_1^2}{2m}$ 이다.

4) [정답] ②

[해설]

- 뉴턴 운동 제2법칙 $\sum F = ma$ 에서 A, B를 한 물체로 보고, 마찰력을 f 라고 하면 $m_Bg - f = (m_A + m_B)a$ 에서 $2 \times 10 - f = (2+1) \times 4$ 이므로 $f = 8N$ 이다.
- $W_f = -f \times s = -8 \times 0.1 = -0.8J$ 이므로 마찰력이 한 일의 절댓값은 0.8이다.

5) [정답] ④

[해설]

마찰이 없으므로 물체의 역학적 에너지(운동에너지 + 중력퍼텐셜에너지)는 일정하게 보존된다.

- 높이 h 에서의 역학적 에너지 $E_1 = mgh$
- 높이 $\frac{h}{2}$ 에서의 역학적 에너지 $E_2 = mg\frac{h}{2} + \frac{1}{2}mv^2$
- 역학적 에너지 보존에서 $E_1 = E_2$ 이므로 $mgh = mg\frac{h}{2} + \frac{1}{2}mv^2$ 에서 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgh$ 이다.

따라서 $v = \sqrt{gh}$ 이다.

6) [정답] ④

[해설]

1. 자유낙하 공식에서 $H = \frac{1}{2}gt_0^2$ 이다.
2. 운동에너지가 중력 퍼텐셜에너지의 2배가 되는 높이를 h 라고 하면 역학적 에너지 보존에 의해 $mgH = K + mgh = 2mgh + mgh = 3mgh$ 에서 $h = \frac{1}{3}H$ 이다. 즉 운동에너지가 중력 퍼텐셜 에너지의 n 배가 되는 지점은 전체 높이를 $(n+1)$ 등분했을 때 지면으로부터 1만큼 떨어진 지점이다.
3. 따라서 이 높이까지 낙하한 거리 $s = H - \frac{1}{3}H = \frac{2}{3}H$ 이다.
4. 따라서 이 높이까지 낙하한 시간 t 는 $\frac{2}{3}H = \frac{1}{2}gt^2$ 에서 $t^2 = \frac{4}{3} \times \frac{H}{g} = \frac{4}{3} \times \frac{1}{2} \times t_0^2$ 이므로 $t = \sqrt{\frac{2}{3}}t_0$ 이다.

7)

[정답] (1) $T\left(\frac{h}{\sin\theta}\right)\cos\alpha$ (2) $mgh - \frac{Th\cos\alpha}{\sin\theta}$

[해설]

- (1) $W_T = Fs\cos\alpha = T\left(\frac{h}{\sin\theta}\right)\cos\alpha$
- (2) 중력 퍼텐셜 에너지가 $\Delta U = mgh$ 만큼 증가했으므로,
 $W_T + W_f = \Delta U$
 $\Rightarrow W_f = \Delta U - W_T = mgh - \frac{Th\cos\alpha}{\sin\theta}$

8)

[정답] 9600J

[해설]

줄을 12m당기면 480kg는 $\frac{12m}{6} = 2.0m$ 올라간다.

$$W = \Delta U = mg\Delta y$$

$$= (480\text{kg})(10\text{m/s}^2)(2\text{m}) = 9600\text{J}$$

9)

[정답] (1) 16J (2) 4m/s

[해설] (1) 한 일 = 그래프 아랫부분의 넓이에서

$$W = \frac{1}{2} \times 8 \times 4 = 16(\text{J})$$

(2) 물체에 해 준 일 = 운동 에너지의 증가에서

$$W = \frac{1}{2}mv^2 \quad \therefore v = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 16}{2}} = 4(\text{m/s})$$

10)

[정답] 장력은 일을 하지 않는다.

[해설]

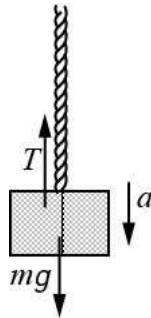
단진자에서 장력은 운동방향에 항상 수직이다. 따라서 장력은 일을 하지 않는다.

11)

[정답] (1) $-\frac{3}{4}mgd$ (2) mgd (3) $\frac{1}{4}mgd$ (d) $\sqrt{\frac{1}{2}gd}$

[해설] (1) 줄의 장력을 T 라 하면

$$ma = mg - T \Rightarrow T = mg - ma = \frac{3}{4}mg$$



줄이 한 일은 $W_T = -Td = -\frac{3}{4}mgd$

(2) $W_G = mgd$

(3) 받은 일이 나중 운동 에너지이다.

$$W_G + W_T = \frac{1}{4}mgd = K_f$$

$$(d) v = \sqrt{\frac{2K_f}{m}} = \sqrt{\frac{1}{2}gd}$$

12)

[정답] (1) $\frac{1}{2}mg$ (2) $2h$ (3) mgh (d) $-mgh$

[해설] (1) $2F = mg \Rightarrow F = \frac{1}{2}mg$

(2) 깡통의 중력 퍼텐셜 에너지가 mgh 만큼 증가해야 하고, F 의 일도 mgh 가 되어야 하므로 $2h$ 를 당겨야 한다.

(3) 힘이 한 일은 mgh

(d) 중력이 한 일은 $-mgh$ 이다.

13)

[정답] $\frac{1}{2}(F_2x_2 - F_1x_1)$

[해설] 일 = 그래프 아랫부분의 넓이이므로 $W = \frac{1}{2}(F_2x_2 - F_1x_1)$

14)

[정답] (1) $18\sqrt{3}\text{J}$ (2) $18\sqrt{3}\text{J}$

[해설] (1) 물체의 이동 방향으로 작용한 힘 f 는 $f = F\cos 30^\circ = 12 \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 6\sqrt{3}(\text{N})$

이므로 한 일 W 는 $W = fs = 6\sqrt{3} \times 3 = 18\sqrt{3}(\text{J})$

(2) 힘이 작용한 방향으로의 이동 거리는

$$s' = 3\cos 30^\circ = \frac{3}{2}\sqrt{3}$$

$$\therefore W = f's' = 12 \times \frac{3}{2}\sqrt{3} = 18\sqrt{3}(\text{J})$$

15)

[정답] $L/2$

[해설] 정지할 때까지 미끄러진 거리(=운동 마찰력을 받은 거리)를 s 라 하면, 처음 퍼텐셜 에너지 $\frac{1}{2}mgL$ 이 마찰에 의해 손실되어야 하므로

$$\frac{1}{2}mgL = \mu_k mgs \Rightarrow s = \frac{L}{2\mu_k} = \frac{5L}{2}$$

즉, 입자는 편평한 구간을 2번 지난 후 왼쪽 끝에서 거리 $\frac{L}{2}$ 에 정지한다.

16)

[정답] ① $\frac{v^2}{gL}$

[해설] 마찰력은 0에서 $\mu_k Mg$ 까지 선형 증가하므로
마찰력이 한 일은

$$\int f_k dx = -f_{k,avg} \Delta x = -\frac{1}{2} \mu_k Mg L$$

$$= 0 - \frac{1}{2} Mv^2$$

따라서 $\mu_k = \frac{v^2}{gL}$ 이다.

17)

[정답] $\frac{F^2 t}{m}$

[해설] 시간 t 일 때 물체의 속도는 $v = at = \frac{Ft}{m}$

일률은 $P = Fv = \frac{F^2 t}{m}$

18)

[정답] $40 \text{ J/s} = 40 \text{ W}$

[해설] (가)에서 등속으로 움직이므로 마찰력은 10 N 이다.

(나)에서 전동기의 줄의 장력을 T 라 하자.

$T = 10 \text{ N} + 10 \text{ N} = 20 \text{ N}$ 이다.

전동기의 일률은 $P = Tv = (20 \text{ N})(2 \text{ m/s}) = 40 \text{ J/s}$

19)

[정답] (1) 0.36 J (2) 0.09 J

[해설]

(1) 정지할 때까지 외력이 한 일은 용수철의 탄성에너지로 저장된다. (처음과 나중에 정지)

$$Fx = \frac{1}{2} kx^2 \Rightarrow x = \frac{2F}{k}$$

따라서 외력이 한 일은

$$W_F = Fx = \frac{2F^2}{k} = \frac{2(3 \text{ N})^2}{50 \text{ N/m}} = 0.36 \text{ J}$$

(2) x' 을 지날 때 운동 에너지는

$$K = W_F + W_s = Fx' - \frac{1}{2} kx'^2$$

따라서, 운동 에너지는 $x' = \frac{F}{k}$ 일 때 최대이다

$$K_{\max} = Fx' - \frac{1}{2}kx'^2 = \frac{F^2}{k} - \frac{F^2}{2k} = \frac{F^2}{2k}$$

$$= \frac{(3\text{N})^2}{2(50\text{N/m})} = 0.09\text{J}$$

20)

[정답] (1) $\frac{1}{2}kx_0^2$ (2) $\frac{1}{2}kx_0^2$ (3) $\frac{kx_0^2}{2mg\sin\theta}$

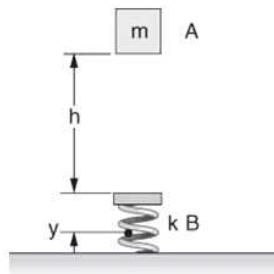
[해설] (2) 용수철의 자연 상태에서 토막이 용수철에서 떨어진다. 따라서, 토막이 최고점에 도달한 순간에 용수철은 자연 상태에 있으므로, 탄성 에너지가 0이고, 처음 용수철의 탄성 에너지가 모두 중력 퍼텐셜 에너지로 변환된다.

(3) $mgx\sin\theta = \frac{1}{2}kx_0^2 \Rightarrow x = \frac{kx_0^2}{2mg\sin\theta}$

21)

[정답] $y = \frac{mg}{k}(1 + \sqrt{1 + 2kh/mg})$

[해설]



처음에도 정지 최대 압축되었을 때에도 정지하므로

$$mg(h+y) = \frac{1}{2}ky^2$$

$$y = \frac{mg}{k}(1 \pm \sqrt{1 + 2kh/mg})$$

여기에서 $y > 0$ 인 해만 의미가 있으므로

$$y = \frac{mg}{k}(1 + \sqrt{1 + 2kh/mg})$$

이다.

22)

[정답] ④ $\frac{20}{7}\text{N/m}$

[해설] 최대 압축되었을 때 최대 힘이 작용한다.

압축된 최대 길이를 x_0 라 하자.

역학에너지 보존에 의해 $\frac{1}{2}kx_0^2 = mg(H+x_0)$

정리하면 $kx_0^2 - 2mgx_0 - 2mgH = 0$

$x_0 > 0$ 이므로 근의 공식을 사용해서 x_0 를 구하면

$$x_0 = \frac{mg + \sqrt{(mg)^2 + 2mgHk}}{k}$$

$F_0 = 5\text{N}$ 이라 하면

$$F_0 \geq kx_0 = mg + \sqrt{mg^2 + 2mgHk} \quad \text{이다.}$$

$$\text{따라서 } k \leq \frac{(F_0 - mg)^2 - mg^2}{2mgH} = \frac{F_0^2}{2mgH} - \frac{F_0}{H}$$

계산하면

$$k \leq \frac{(5\text{N})^2}{(2)(0.5\text{N})(7\text{m})} - \frac{5\text{N}}{7\text{m}} = \frac{5\text{N}}{7\text{m}} \left(\frac{5}{1} - 1 \right) = \frac{20}{7} \text{ N/m}$$

23)

[정답] ⑤ 물체에 작용한 알짜힘이 한 일은 t 에 비례한다.

[해설]

물체에 작용한 알짜힘이 한 일은

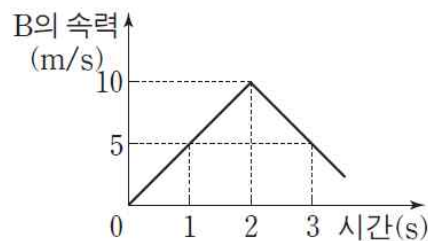
$$W = Fx = F \left(\frac{1}{2} \frac{F}{m} t^2 \right) = \frac{1}{2} \frac{F^2}{m} t^2$$

으로 t^2 에 비례한다.

24)

[정답] ⑤ ㄴ, ㄷ

[해설]



질량이 A 가 C 보다 크므로 2s까지는 왼쪽으로 5m/s^2 으로 가속하다가, 실이 끊어진 이후에는 오른쪽으로 5m/s^2 가속하게 된다.(그래프의 기울기의 크기가 가속도)

ㄱ. 1s일 때와 3s일 때는 모두 왼쪽으로 5m/s 로 움직인다. (X)

ㄴ. 실이 끊어진 이후의 가속의 크기를 이용하면

$$5\text{m/s}^2 = \frac{m_C(10\text{m/s}^2)}{m_B + m_C} \quad \therefore m_C = m_B$$

실이 끊어지기 전의 가속도의 크기는

$$5\text{m/s}^2 = \frac{(m_A - m_C)(10\text{m/s}^2)}{m_A + m_B + m_C} \quad \therefore m_A = m_B + 3m_C$$

따라서 질량비가 $m_A : m_B : m_C = 4 : 1 : 1$ 이다.

따라서 $m_A = 4m_A$ 이다.(O)

ㄷ. 끊어진 이후에 B 와 C 의 역학적 에너지의 합이 보존된다. B 의 위치에너지는 일정하다. 3s일 때는 2s일 때보다 B 의 속력이 감소하므로 C 의 역학적 에너지가 증가하게 된다. (O)

개념 POINT