

03

여러 가지 운동

학습 목표 물체에 작용하는 힘의 방향에 따라 운동 방향이 변할 수 있음을 원운동 등 다양한 예를 들어 설명할 수 있다.

쇠라(Seurat, G. P., 1859~1891)의 그림 「서커스」에 서는 원 궤도를 따라 달리는 말 위에 소녀가 서 있다. 소녀의 몸이 원 궤도의 중심을 향해 기울어 있는 까닭은 무엇일까?



선풍기 날개는 원운동을 하고, 그네나 시계추는 왕복 운동을 한다. 이처럼 주변에서 속도가 변하는 다양한 운동을 볼 수 있다. 다음 활동을 하면서 스마트폰을 이용해 다양한 놀이기구의 운동을 분석해 보자.

다지할 탐구

탐구 설계 / 다양한 도구 활용 / 정보 수집과 기술



실험 영상

문제 해결 능력 | 의사 결정 능력

스마트폰을 이용하여 다양한 놀이기구의 운동 분석하기

목표

스마트폰을 이용해 여러 가지 놀이기구의 운동을 분석할 수 있다.

토의

모듬별로 놀이기구 중 하나를 고르고, 그 놀이기구의 운동을 스마트폰을 이용해 어떤 방법으로 분석할지 토의한다.

그네의 운동을 스마트폰 가속도 측정 애플리케이션으로 분석해 보는 게 어때?

그럼 한 대로 애플리케이션을 작동하고, 다른 한 대로 그 화면을 동영상 촬영하자. 그렇게 하면 스마트폰 뒤의 풍경이 운동하는 것처럼 보이니까, 운동에 따른 가속도 변화를 알 수 있을 거야.

이 상자에 두 스마트폰을 고정해 그네에 부착하면 스마트폰이 기록한 그네의 운동을 촬영할 수 있어.

준비물

- 스마트폰
- 모듬별 준비물



실행 및 분석

1. 토의 내용을 바탕으로 하여 스마트폰을 이용해 놀이기구의 운동 데이터를 수집한다.
2. 수집한 데이터를 이용해 놀이기구의 운동을 분석한다.

역할 나누기

3~5 명을 한 모듬으로 하고, 역할을 나눠 보자.

- 실험 수행: _____
- 운동 분석: _____

예시



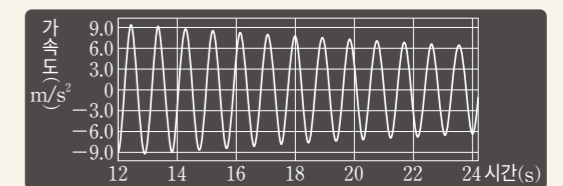
- ① 상자에 스마트폰 1, 2를 사진과 같이 고정한다.
 - 스마트폰 1: 가속도 측정 애플리케이션을 실행한다.
 - 스마트폰 2: 스마트폰 1의 화면과 그 주변 풍경을 동영상 촬영한다.



- ② 상자를 그네에 고정하고 그네를 운동시켜 스마트폰 1로 그네의 가속도 변화를 측정한다. 스마트폰 2로 스마트폰 1의 화면과 주변 풍경 움직임을 동영상 촬영한다.

분석 결과

- 그네는 가속도 방향이 주기적으로 변하는 왕복 운동을 했다.
- 그네의 가속도 크기는 주기적으로 변하지만 그 최댓값은 점점 감소했다.
- 그네는 왕복 운동을 하는 동안 양 끝에서 정지하는데, 이 순간 접선 방향의 가속도 크기는 최대이다.



공유

1. 공유 놀이기구의 운동 데이터와 분석 결과를 공유 플랫폼에 공유해 보자.
2. 다른 모듬이 공유한 자료를 보면서 다양한 놀이기구가 운동하는 동안 물리량이 어떻게 변하는지 알아보자.

스스로 평가

- | 지식·이해 | 수집한 데이터를 통해 놀이기구의 운동을 적절하게 분석했는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 스마트폰을 이용해 놀이기구의 물리량을 나타내는 데이터를 수집했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 토의 과정에서 모듬원의 의견을 경청하고, 자신의 의견을 적극적으로 표현했는가? ☆☆☆

탐구 후기





그림 I-10 대관람차

등속 원운동

그림 I-10과 같은 대관람차는 원 궤도를 따라 일정한 속력으로 회전하는 운동을 한다. 이러한 운동을 **등속 원운동**이라고 한다.

각속도 | 그림 I-11과 같이 물체가 반지름 r 인 원 궤도를 속력 v 로 등속 원운동을 한다. 이때 물체의 속력은 일정하지만 운동 방향은 원의 접선 방향으로, 매 순간 변한다. 등속 원운동을 하는 물체가 회전하는 정도는 시간에 따라 일정하며, 이를 시간에 따라 회전한 각도의 크기와 방향으로 표현할 수 있다.

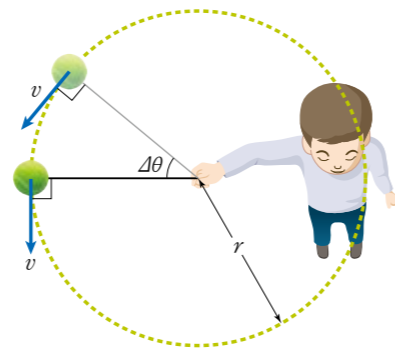


그림 I-11 등속 원운동

물체가 단위 시간 동안 회전한 각도의 크기와 방향을 나타낸 것을 **각속도**라고 한다. 시간 Δt 동안 회전각이 $\Delta\theta$ 일 때, 각속도의 크기 ω 는 다음과 같고, 보통 반시계방향을 (+) 방향으로 한다.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (\text{단위: rad/s})$$

*** 라디안(rad)**

라디안은 반지름 r 와 호의 길이 s 의 비로 각 θ 를 정의한 것이다.

$$\theta = \frac{s}{r} \quad (\text{단위: rad})$$

물체가 원을 한 바퀴 회전하는 데 걸리는 시간, 즉 주기 T 는 원둘레 $2\pi r$ 를 v 로 나눈 값과 같으므로 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 이다. 한편 한 주기 동안 회전한 각도는 2π 이므로 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 이다. 두 식을 연립하면 등속 원운동을 하는 물체의 속력과 각속도의 크기 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = r\omega$$

구심 가속도 | 그림 I-12와 같이 반지름 r , 속력 v 로 등속 원운동을 하는 물체가 매우 짧은 시간 Δt 동안 매우 작은 각도 $\Delta\theta$ 만큼 회전해 P에서 Q로 이동했다. \vec{v}_1 , \vec{v}_2 는 각각 P와 Q에서의 속도이다.

$\Delta\theta$ 가 매우 작으므로 P와 Q를 잇는 호는 거의 선분에 가깝게 볼 수 있다. Δl 은 이 선분의 길이이다.

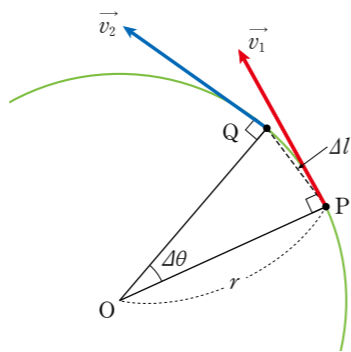


그림 I-12 등속 원운동과 속도 변화

그림 I-12의 \vec{v}_2 를 평행이동 하여 그림 I-13의 (가)와 같이 표시하면, P와 Q 사이의 속도 변화량 $\Delta\vec{v}$, 즉 $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$ 은 두 벡터를 잇는 화살표로 표현할 수 있다. 이때 $\triangle ACB$ 는 그림 (나)의 $\triangle POQ$ 와 닮음이므로 다음 식이 성립한다.

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta l}{r} \dots \textcircled{1}$$

$\Delta\theta$ 가 매우 작으므로 그림 I-13의 (나)와 같이 Δl 은 시간 Δt 동안 일정한 속력 v 로 이동한 거리로 볼 수 있다. 즉, $\Delta l = v\Delta t$ 이다. 이를 ①에 적용해 정리하면 가속도의 크기 a 는 다음과 같다.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{r} \dots \textcircled{2}$$

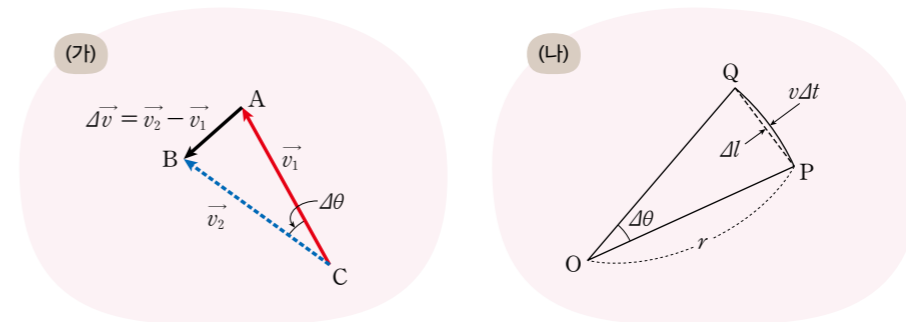


그림 I-13 등속 원운동의 속도 변화

가속도의 방향은 $\Delta\vec{v}$ 의 방향과 같다. $\Delta\theta$ 가 매우 작으므로 $\Delta\vec{v}$ 는 \vec{v}_1 및 \vec{v}_2 와 거의 수직이어서 원의 중심을 향한다. 이 가속도를 원의 중심 방향의 가속도라는 뜻으로 **구심 가속도**라고 한다. ②에 $v = r\omega$ 를 적용하면 구심 가속도의 크기를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$a = \frac{v^2}{r} = r\omega^2$$

구심력 | 구심 가속도를 생기게 하는 알짜힘은 구심 가속도의 방향, 즉 원의 중심 방향으로 작용한다. 이 알짜힘을 원의 중심 방향으로 작용하는 힘이라는 뜻으로 **구심력**이라고 한다. 뉴턴 제2법칙에 구심 가속도를 적용하면 구심력의 크기 F 는 다음과 같다.

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} = mr\omega^2$$

물체가 등속 원운동을 하는 동안 계속해서 원의 중심 방향으로 일정한 크기의 구심력이 작용하며, 매 순간 물체의 운동 방향과 구심력의 방향은 수직이다.



진자의 운동

그림 I-14와 같은 그네는 줄에 매달려 왕복 운동을 한다. 이렇게 매달린 곳을 중심으로 왕복 운동을 하는 물체를 **진자**라고 한다.

그림 I-15와 같이 질량을 무시할 수 있는 실에 매달려 있는 물체가 A에서 E 사이를 왕복 운동 하고 있다. A, E는 최고점이고, C는 최저점이다. 물체에 작용하는 알짜힘 F 는 실의 장력 T 와 중력 mg 의 합력이다.

중력은 물체가 어느 위치에 있더라도 크기와 방향이 항상 일정하다. 하지만 장력은 물체가 실에 매달려 운동하는 매 순간 크기와 방향이 변한다. 따라서 알짜힘 또한 위치에 따라 크기와 방향이 변한다. 장력의 크기는 최고점 A, E에서 가장 작고, 최저점 C에서 가장 크다. 만약 θ 의 크기가 작을 경우 알짜힘의 크기는 최고점 A, E에서 가장 크고, 최저점 C에서 가장 작다.

가속도의 방향은 알짜힘의 방향과 같고, 가속도의 크기는 알짜힘의 크기에 비례한다. 따라서 물체의 가속도의 크기는 최고점 A, E에서 가장 크고, 최저점 C에서 가장 작다.

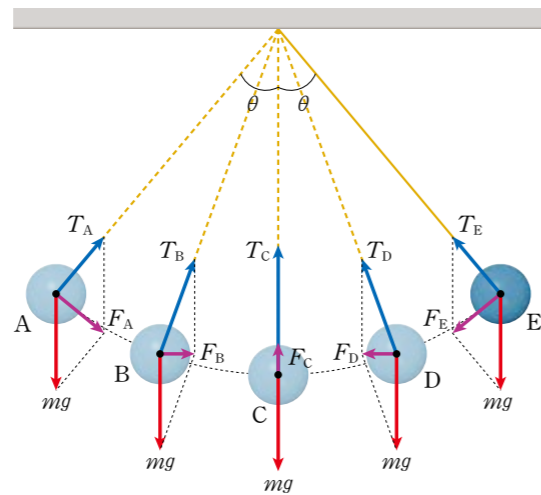


그림 I-15 진자의 운동

이처럼 진자는 주기적으로 변하는 알짜힘을 받으며 가속도와 속도 또한 주기적으로 변하는 운동을 한다.

스스로 확인

- 4 m/s의 일정한 속력으로 반지름이 2 m인 원 궤도를 운동하는 물체의 구심 가속도의 크기는 몇 m/s²인가?
- 진자 운동을 하는 물체에 작용하는 알짜힘의 방향은 항상 운동 방향과 수직이다. (○, ×)

스스로 정리

공유 '여러 가지 운동' 단원에서 배운 내용을 포함한 노래나 랩 가사를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.

04 케플러 법칙과 중력

학습 목표 케플러 법칙으로부터 중력의 존재가 밝혀지는 과학사적 배경을 이해하고, 중력을 이용해 인공위성과 행성의 운동을 분석하고 설명할 수 있다.

옛날 철학자들은 공 모양인 우주의 중심에 지구가 있다고 믿었다. 프톨레마이오스(Ptolemaeos, C., 85? ~ 165?)는 그러한 철학의 영향을 많이 받은 사람이었다.

그는 밤하늘의 행성이 동쪽에서 떠서 서쪽으로 지며, 순행과 역행을 하는 까닭 역시 지구가 중심인 것을 바탕으로 하여 생각했다.

모든 천체는 지구를 중심으로 운동할 거야.

그런데 행성의 운동은 왜 저렇게 관측되는 것일까?

주전원은 이심원 궤도를 따라 돌고!

마침내 프톨레마이오스는 천동설의 체계를 확립했다.

천동설 모형은 관측 결과와 잘 맞았다. 그러나 약 1400년 뒤, 코페르니쿠스(Copernicus, N., 1473 ~ 1543)는 천동설을 부정하는 주장을 하려 하는데…….

행성은 주전원 궤도를 도는데!

지구는 이심원 궤도의 중심 옆에 있고!

지구 이심점

이심원

주전원

행성

내 주장을 담은 책을 써야지. 제목은 『천체의 회전에 관하여』라고 해야겠어.

코페르니쿠스는 지구와 행성들이 태양을 중심으로 돌고 있다는 지동설을 주장했다. 하지만 사람들은 이에 반발했다.

어디 말도 안 되는 소리!

몇 년 뒤, 브라헤(Brahe, T., 1546 ~ 1601)는 관측 자료를 토대로 지동설과 천동설의 절충 모형을 제시했다.

이런 모형으로 생각하면 화성이나 토성 운동도 잘 설명되고, 간단하지 않나요?

그래도 지구가 중심이어야 하니까, 행성은 태양 주위를 돌고, 태양은 지구 주위를 돈다고 생각하면 어떨까?

브라헤의 모형은 큰 인정을 받지 못했다. 하지만 그의 반대한 관측 자료는 케플러(Kepler, J., 1571 ~ 1630)의 연구에 쓰였고, 케플러의 연구 결과는 중력의 존재가 밝혀지는 데 중요한 역할을 했다.

스승님의 자료 정말 방대하군!

브라헤의 관측자료

케플러의 연구 결과는 브라헤의 관측 자료를 근거로 했다. 하지만 케플러는 브라헤와는 다른 모형을 주장했다. 그 까닭은 무엇일까?