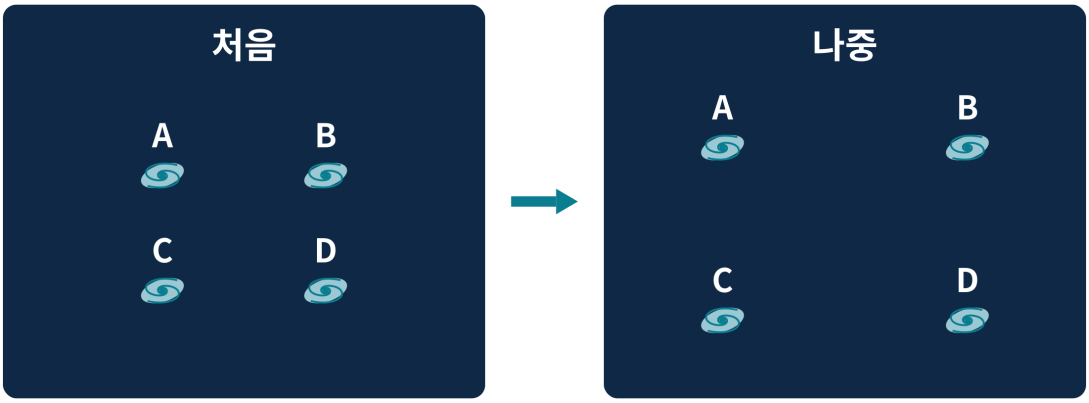
중2 과학 · 별과 우주 06편

은하들이 멀어지는 것을 왜 우주 팽창의 증거로 볼까?

대치동 재우쌤

은하 사이의 거리가 점점 커진다면 무슨 일이 일어나고 있는 것일까? 은하들이 우리를 피해 달아나는 것일까, 아니면 은하 사이의 공간이 늘어나는 것일까? 이번에는 **처음 거리와 늘어난 거리, 어느 은하를 기준으로 보았는지, 모형이 나타내는 것과 나타내지 못하는 것**을 연결하여 우주 팽창을 이해한다.

커지는 것은 은하 사이의 간격



은하 표지의 크기는 같고, 표지 사이 간격은 더 넓게
패널 테두리는 실제 우주의 경계를 나타내지 않음

유형	답할 질문	읽을 자료
1	멀리 있던 은하까지의 거리는 왜 더 많이 늘어날까?	팽창 전후 거리·같은 시간·증가량
2	다른 은하를 기준으로 보아도 같은 결과일까?	위치와 거리·기준 은하 변경
3	풍선과 고무띠는 우주의 무엇을 나타낼까?	표면을 따라 잰 거리·모형 대응·모형의 한계
4	관측 결과로 우주 팽창을 어떻게 판단할까?	거리와 후퇴 속도·빛의 파장·결론의 범위

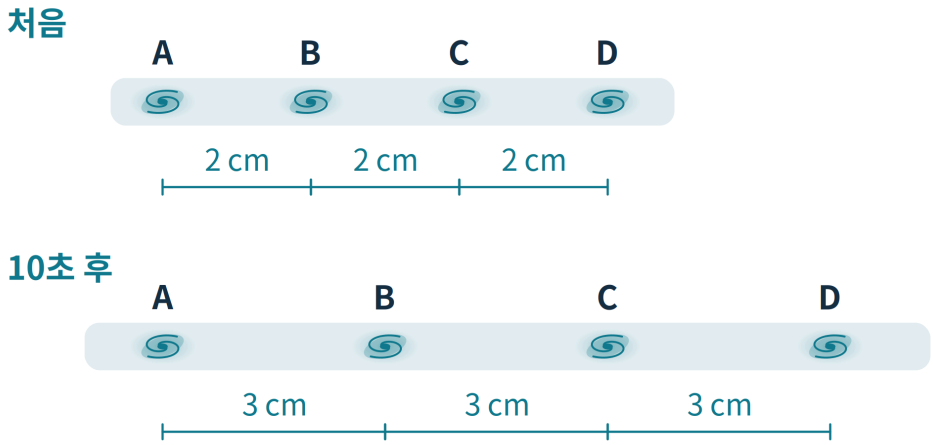
© 대치동 재우쌤 | 010-9524-4849 | https://leessaem.com/ | https://blog.naver.com/leessaem84
본 자료는 직접 제작한 학습 자료입니다. 개인 학습을 위한 열람·인쇄는 자유롭게 할 수 있으며, 무단 복제·재배포·수정 후 재배포 및 상업적 이용을 금합니다.

유형 1 멀리 있던 은하까지의 거리는 왜 더 많이 늘어날까?

대표문제 **문항 01**

작은 은하 표지 A·B·C·D가 붙은 고무띠를 모든 구간이 같은 비율로 늘어나도록 늘였다. 표지는 고무띠 위를 따로 미끄러지지 않는다. 처음부터 나중까지 걸린 시간은 10초이다. 아래 수치는 **실제 은하의 거리가 아니라 고무띠 모형에서 잰 거리**이다.

고무띠 모형의 처음과 10초 후



고무띠 위를 따로 미끄러지지 않는 표지 · 모든 구간이 같은 비율로 늘어남

A에서 잰 거리	처음	10초 후
B까지	2 cm	3 cm
C까지	4 cm	6 cm
D까지	6 cm	9 cm

(1) A에서 B·C·D까지의 거리가 각각 몇 cm 늘어났는지 쓰시오.

답 B _____ , C _____ , D _____

(2) 세 거리의 '나중 거리 ÷ 처음 거리'를 각각 구하시오.

답 B _____ 배, C _____ 배, D _____ 배

(3) A에서 볼 때 B·C·D 중 가장 빠르게 멀어진 표지와 그 판단 근거를 쓰시오.

답

질문으로 이해하기

Q01 우주가 팽창한다는 말은 무엇일까?

한 줄 답 **큰 규모에서 은하들 사이의 공간이 늘어나, 은하 사이의 거리가 전반적으로 커진다는 뜻이다.**

우리은하 밖에 있는 은하를 외부 은하라고 한다.

은하 하나의 크기가 커지는 것과 은하 사이의 거리가 커지는 것은 다르다. 우주 팽창에서는 은하들이 놓인 **공간의 규모가 커지는 것**에 주목한다. 이를 고무띠로 나타내면, 은하 표지가 붙어 있는 고무띠의 구간들이 늘어나면서 표지 사이가 벌어진다.

다만 실제 은하에는 주변 은하의 중력 등에 의한 운동도 있다. 따라서 가까운 은하 한 쌍만 보고 “모든 은하는 예외 없이 멀어진다”라고 말하지 않는다. 여기서는 먼저 그런 개별 운동을 생략한 **균일한 팽창 모형**으로 전체 경향을 이해한다.

Q02 같은 비율로 늘어나는데 왜 먼 은하가 더 많이 멀어질까?

한 줄 답 **처음부터 더 많은 구간을 사이에 두고 있었으므로, 각 구간에서 늘어난 길이가 더 많이 합쳐지기 때문이다.**

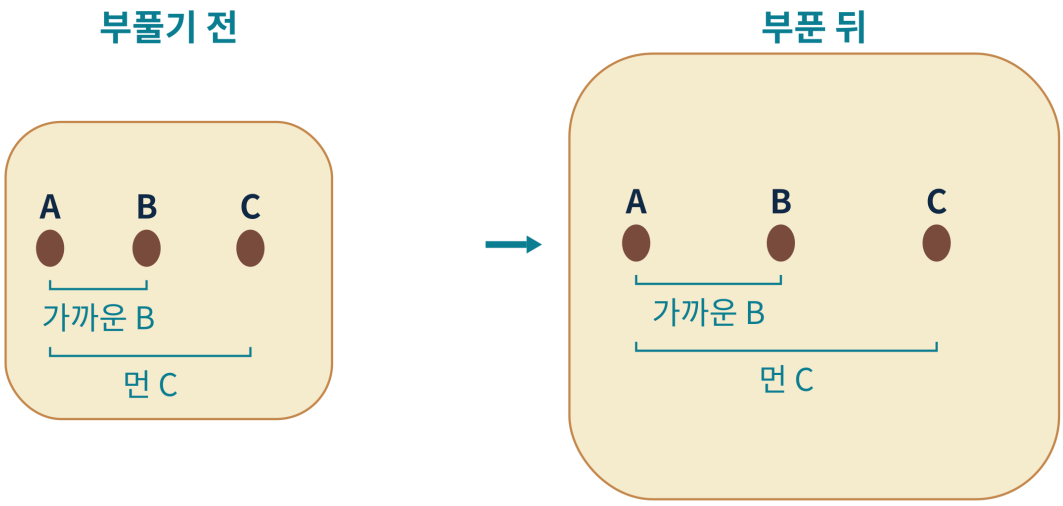
대표문제에서 이웃한 표지 사이의 거리는 모두 2 cm에서 3 cm가 된다. 구간 하나가 1 cm씩 늘어난 셈이다. A에서 B까지는 한 구간이므로 1 cm, A에서 C까지는 두 구간이므로 2 cm, A에서 D까지는 세 구간이므로 3 cm 늘어난다.

비유 **부풀어 오르는 건포도 빵**

건포도를 넣은 반죽이 모든 방향으로 고르게 부푼다고 생각해 보자. 반죽 속 건포도가 따로 움직이지 않아도 건포도 사이의 간격이 커진다. 처음에 멀리 있던 건포도까지는 사이에 반죽이 더 많으므로, 반죽의 각 부분이 늘어난 길이도 더 많이 합쳐진다. 어느 건포도를 기준으로 보아도 같은 관계가 나타난다. 이 비유는 입체 공간에서 간격이 커지는 모습을 떠올리게 한다.

이 비유는 여기까지만 맞다. 빵에는 겉면과 가운데가 있지만, 그 모양으로 실제 우주의 가장자리나 특별한 중심을 정할 수는 없다. 반죽을 부풀게 하는 효모와 오븐의 열도 실제 우주 팽창의 원인에 대응하지 않는다.

건포도 빵: 먼 건포도까지 더 많이 벌어진다



거리 변화 비교: A–B와 A–C 모두 1.5배
처음 거리가 큰 A–C의 증가량이 더 크다

빵의 겉면을 우주의 가장자리로 대응시키지 않는다.
효모·오븐은 우주 팽창의 원인을 나타내지 않는다.

| 늘어난 구간을 합치면 증가량이 된다

A에서 B까지



= 1 cm

A에서 C까지



= 2 cm

A에서 D까지



= 3 cm

10초 후의 고무띠: 이웃 간격 3 cm = 처음 2 cm + 늘어난 1 cm
노란 부분만 새로 늘어난 길이. 그림의 +1 단위는 cm.

Q03 '같은 비율'과 '같은 증가량'은 어떻게 다를까?

한 줄 답 **같은 비율은 몇 배가 되었는지가 같다는 뜻이고, 같은 증가량은 몇 cm 늘었는지가 같다는 뜻이다.**

2 cm가 3 cm가 되면 1 cm 늘고, 6 cm가 9 cm가 되면 3 cm 는다. 증가량은 다르지만 두 경우 모두 처음의 1.5배가 된다.

비교할 것	계산	대표문제의 결과
증가량	나중 거리 − 처음 거리	1 cm, 2 cm, 3 cm로 서로 다름
몇 배가 되었는가	나중 거리 ÷ 처음 거리	모두 1.5배로 같음

주의: “1.5배가 되었다”는 처음 거리의 50%만큼 늘었다는 뜻이다. 처음 거리의 150%만큼 더 늘었다는 뜻이 아니다.

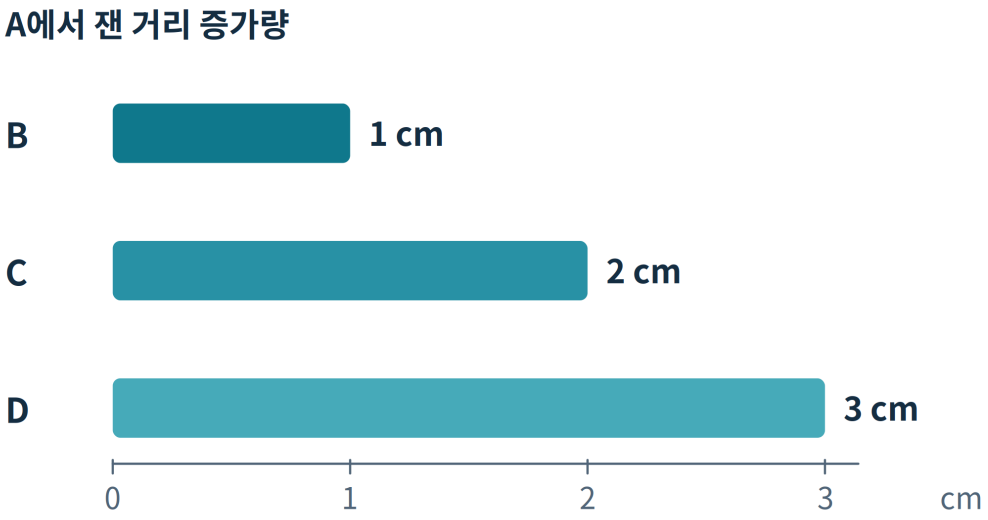
Q04 거리만 많이 늘어나면 더 빠르게 멀어졌다고 할 수 있을까?

한 줄 답 **비교한 시간이 같아야 증가량만으로 빠르기를 비교할 수 있다.**

10초 동안 3 cm 멀어진 경우와 10초 동안 1 cm 멀어진 경우를 비교하면 전자가 더 빠르게 멀어졌다. 하지만 30초 동안 3 cm 멀어진 경우와 10초 동안 1 cm 멀어진 경우의 평균 빠르기는 둘 다 0.1 cm/s이다.

모형에서 평균적으로 멀어지는 빠르기는 **거리 증가량 ÷ 걸린 시간**으로 구한다. 대표문제에서는 비교 시간이 모두 10초이므로, 처음에 멀리 있던 표지일수록 증가량도 크고 평균적으로 더 빠르게 멀어진다.

같은 10초 동안 얼마나 멀어졌을까?



비교 시간이 같으므로 증가량이 큰 표지가 평균적으로 더 빠르게 멀어진다

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 균일한 팽창 모형에서는 같은 두 시점 사이에 모든 표지 사이의 거리가 같은 비율로 늘어난다.
- 처음 거리가 클수록 같은 시간 동안 늘어난 거리도 크다.
- 증가량은 뺄셈, 몇 배인지는 나눗셈으로 구한다.
- 모형의 cm와 초를 실제 우주의 거리와 시간으로 그대로 바꾸어 읽지 않는다.

대표문제 풀이

물음	답	판단 근거
(1)	B 1 cm, C 2 cm, D 3 cm	각각 3−2, 6−4, 9−6을 계산한다.
(2)	모두 1.5배	3÷2 = 6÷4 = 9÷6이다.
(3)	D	같은 10초 동안 A와의 거리가 가장 많이 늘어났다.

적용 문제

문항 02

모형에서 두 표지 사이의 거리가 4 cm에서 6 cm로 늘었다. 증가량과 나중 거리가 처음 거리의 몇 배인지를 바르게 짝 지은 것은?

① 2 cm, 1.5배

② 2 cm, 2배

③ 6 cm, 1.5배

④ 6 cm, 2배

⑤ 10 cm, 2.5배

문항 03

균일하게 팽창하는 모형에서 기준 표지로부터 P까지의 거리는 3 cm에서 4.5 cm가 되었다. 같은 시간 동안 Q까지의 처음 거리 8 cm는 몇 cm가 되는가? 계산 근거도 쓰시오.

답

문항 04

서로 다른 두 실험에서 기준 표지와 X 사이의 거리는 10초 동안 2 cm, 기준 표지와 Y 사이의 거리는 20초 동안 3 cm 늘었다. 평균적으로 더 빠르게 멀어진 표지는 어느 것인가? 두 빠르기를 계산하여 답하시오.

답

문항 05

각 문장이 옳으면 O, 틀리면 X를 쓰고, X인 문장만 바르게 고치시오.

(가) 같은 비율로 늘어나면 모든 거리의 증가량도 같다. ☐

고치기

(나) 2 cm가 3 cm가 되면 처음 거리의 1.5배가 된 것이다. ☐

고치기

(다) 걸린 시간이 다르면 증가량만으로 빠르기를 비교할 수 없다. ☐

고치기

문항 06

고무띠의 이웃한 표지 사이에는 처음에 2 cm인 구간이 있다. 모든 구간이 0.5 cm씩 늘어났다. 기준 표지로부터 세 구간 떨어진 표지까지의 거리는 총 몇 cm 늘어났는가? 이 결과를 이용하여, 먼 표지까지의 거리가 더 많이 늘어나는 까닭을 설명하시오.

답

유형 2 다른 은하를 기준으로 보아도 같은 결과일까?

대표문제 문항 07

일직선에 놓인 은하 표지 A·B·C·D의 위치를 **같은 고정 눈금**으로 읽었다. 팽창 전후의 위치는 다음과 같다. 표지의 개별 운동은 없으며, 처음에서 나중까지의 시간은 모두 같다.

고정 눈금은 책상에 붙여 둔 **늘어나지 않는 자**로 각 표지의 위치를 읽었다는 뜻이다. 고무띠는 늘어나도 이 자는 늘어나지 않는다.

표지	처음 위치	나중 위치
A	0 cm	0 cm
B	2 cm	3 cm
C	4 cm	6 cm
D	6 cm	9 cm

(1) B를 기준으로 보았을 때, B에서 A·C·D까지의 처음 거리와 나중 거리를 쓰시오.

B에서 잰 거리	처음	나중
A까지	____	____
C까지	____	____
D까지	____	____

(2) B에서 볼 때 A·C·D는 각각 가까워지는가, 멀어지는가?

답

(3) A에서 다른 표지들이 멀어진다는 사실만으로 A가 팽창의 특별한 중심이라고 할 수 있는가? B에서 본 결과와 연결하여 설명하시오.

답

질문으로 이해하기

Q05 표지의 위치와 표지 사이의 거리는 같은 것일까?

> **한 줄 답** **위치는 정해 놓은 기준 눈금의 값이고, 거리는 두 위치가 얼마나 떨어졌는지이다.**

처음 B의 위치가 2 cm, D의 위치가 6 cm라면 B와 D 사이의 거리는 6−2 = 4 cm이다. 나중에는 B도 움직여 3 cm, D는 9 cm에 있으므로 둘 사이의 거리는 9−3 = 6 cm이다. D의 위치 9 cm를 그대로 B와 D 사이의 거리라고 읽으면 안 된다.

왼쪽에 있는 A와의 거리도 양수로 나타낸다. 처음 A는 0 cm, B는 2 cm이므로 A와 B 사이의 거리는 2 cm이다. **왼쪽·오른쪽은 방향**, **거리는 떨어진 길이**를 나타낸다.

Q06 B로 관측 기준을 옮기면 무엇이 달라질까?

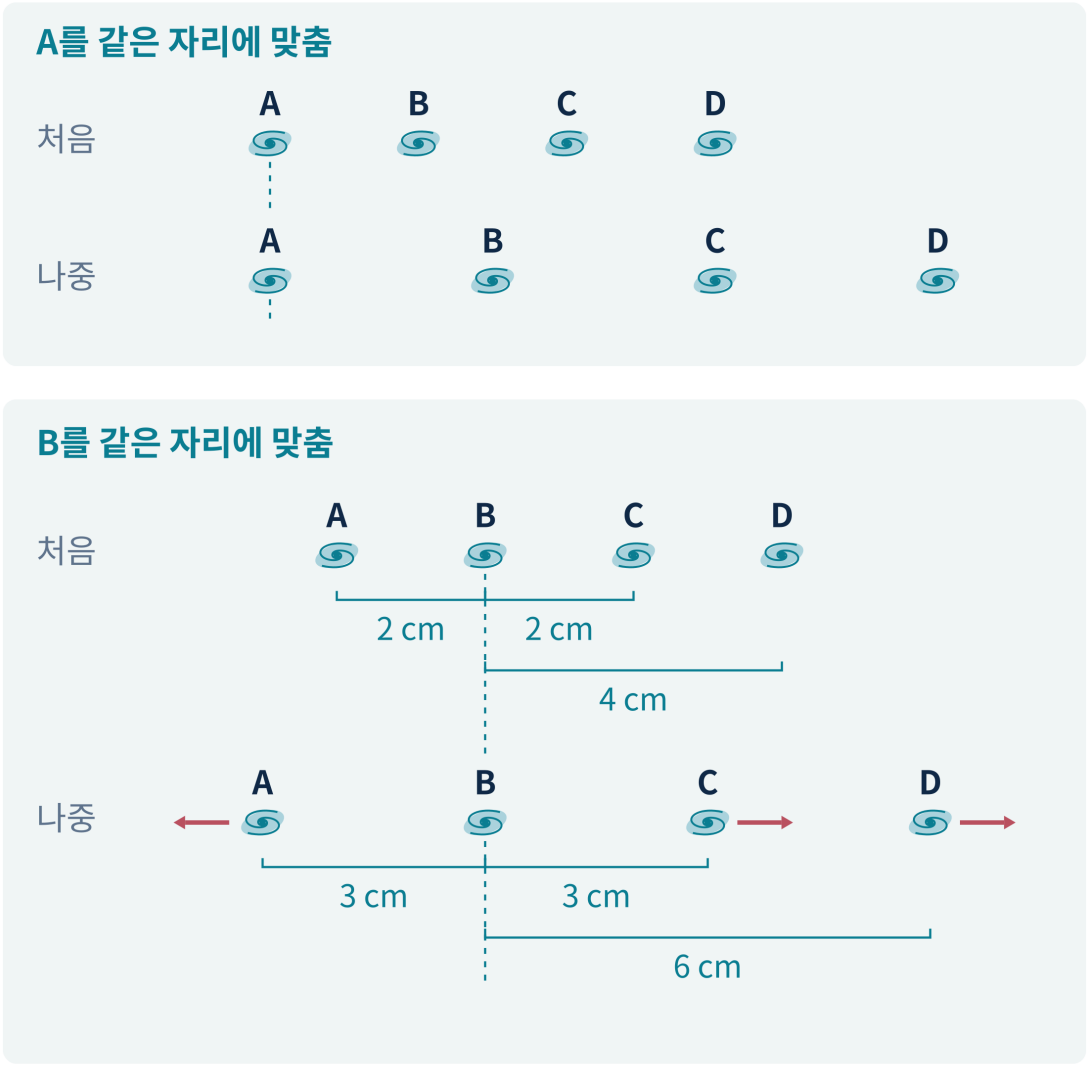
> **한 줄 답** **기준에서 본 방향과 각 은하까지의 거리는 달라지지만, 다른 표지들이 멀어지는 팽창의 경향은 유지된다.**

B를 화면의 같은 자리에 맞추어 처음과 나중을 비교해 보자. A는 B의 왼쪽에서 더 멀어지고, C와 D는 오른쪽에서 더 멀어진다. B에서 처음에 가까웠던 A와 C는 각각 1 cm씩 멀어지고, 더 멀었던 D는 2 cm 멀어진다.

예시 **같은 두 사진에서 다른 표지를 맞추기**

늘리기 전후의 고무띠 사진을 투명 필름 두 장에 옮겨 겹친다고 생각해 보자. A끼리 맞추면 A가 가만히 있고 다른 표지가 움직인 것처럼 비교할 수 있다. B끼리 맞추면 B가 가만히 있는 기준이 된다. 사진을 옮겨 맞추는 것은 비교 기준을 바꾸는 것이며, 사진 속 표지 사이의 실제 간격을 새로 늘리는 일은 아니다.

기준을 바꾸어 처음과 나중을 비교하기



B에서 보면 A는 왼쪽으로, C·D는 오른쪽으로 멀어진다.
A·C까지 2 → 3 cm, D까지 4 → 6 cm. 표지 크기는 같다.

Q07 모든 은하가 우리에게서 멀어진다면 우리가 우주의 중심 아닐까?

한 줄 답 **다른 은하를 기준으로 보아도 같은 팽창 경향이 나타난다. 우주 팽창에는 특별한 중심이 없다.**

균일하게 팽창하는 모형에서는 A뿐 아니라 B나 C를 기준으로 삼아도 다른 표지들까지의 거리가 늘어난다. 그러므로 “내가 있는 곳에서 다른 은하가 멀어져 보인다”는 관측은 우리은하만 특별하다는 증거가 아니다.

고무띠에는 끝과 가운데가 있지만, 실제 우주를 판단할 때 그것까지 그대로 옮기면 안 된다. **그림의 가운데**, **선택한 관측 기준**, **우주의 특별한 팽창 중심**은 서로 다른 말이다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 두 표지 사이의 거리는 같은 시점의 두 위치 차이로 구한다.
- 기준 표지도 이동했다면 나중의 기준 위치를 빼야 한다.
- 기준을 바꾸면 왼쪽에서 멀어지는 표지도 생길 수 있다.
- 어느 은하에서 보아도 같은 팽창 경향이 나타나며, 우주 팽창에는 특별한 중심이 없다.

대표문제 풀이

B에서 잰 거리	처음	나중	증가량
A까지	2 cm	3 cm	1 cm
C까지	2 cm	3 cm	1 cm
D까지	4 cm	6 cm	2 cm

(2) 세 표지 모두 B에서 멀어진다. A는 왼쪽, C와 D는 오른쪽으로 멀어진다.

(3) A가 특별한 중심이라고 할 수 없다. B를 기준으로 보아도 다른 표지들이 멀어지는 같은 경향이 나타나기 때문이다.

적용 문제

문항 08

문항 07의 자료에서 C를 기준으로 보았을 때, D까지의 거리는 처음과 나중에 각각 몇 cm인가?

답 처음 _____ / 나중 _____

문항 09

문항 07에서 B를 기준으로 비교한 설명으로 옳은 것은?

① A는 왼쪽에 있으므로 B에 가까워진다.

② D까지의 나중 거리는 9 cm이다.

③ A와 C까지의 거리는 같은 양만큼 늘어난다.

④ B에서는 다른 표지의 거리가 변하지 않는다.

⑤ 기준을 B로 바꾸면 팽창이 수축으로 바뀐다.

문항 10

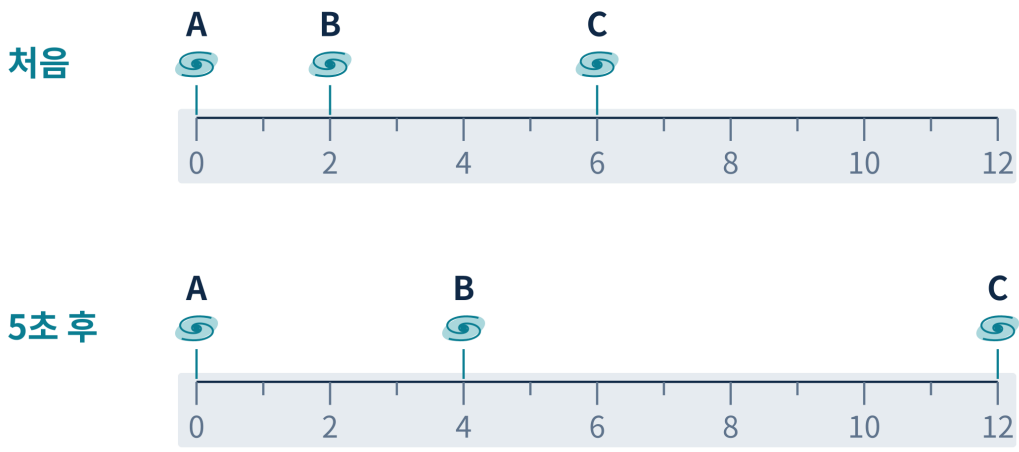
학생이 “A의 위치만 0 cm로 변하지 않았으므로 A는 우주의 절대적인 중심이다.”라고 말했다. **0 cm라는 눈금의 의미**와 **기준을 바꾼 비교 결과**를 모두 사용하여 반박하시오.

답

문항 11

다음 그림은 같은 고정 눈금으로 읽은 세 표지의 위치이다. 처음에서 나중까지 걸린 시간은 5초이다.

늘어나지 않는 자로 읽은 표지의 위치



두 줄의 자는 같은 길이, 같은 눈금이다. 단위: cm
숫자는 각 표지의 위치이다. 두 표지 사이 거리는 따로 구한다.

표지	처음 위치	나중 위치
A	0 cm	0 cm
B	2 cm	4 cm
C	6 cm	12 cm

B에서 C까지의 거리 증가량과 평균적으로 멀어지는 빠르기를 구하시오.

답 증가량 _____ / 평균 빠르기 _____

문항 12

균일하게 팽창하는 모형에서 어느 은하를 기준으로 보아도 다른 은하들이 멀어지는 경향이 나타났다. 이 결과로부터 말할 수 있는 결론을 고르시오.

① 모든 은하가 실제로 한곳에 모여 있다.

② 관측자가 서 있는 은하는 언제나 우주의 특별한 중심이다.

③ 우주는 고무로 이루어져 있다.

④ 우주 팽창에는 특별한 중심이 없다.

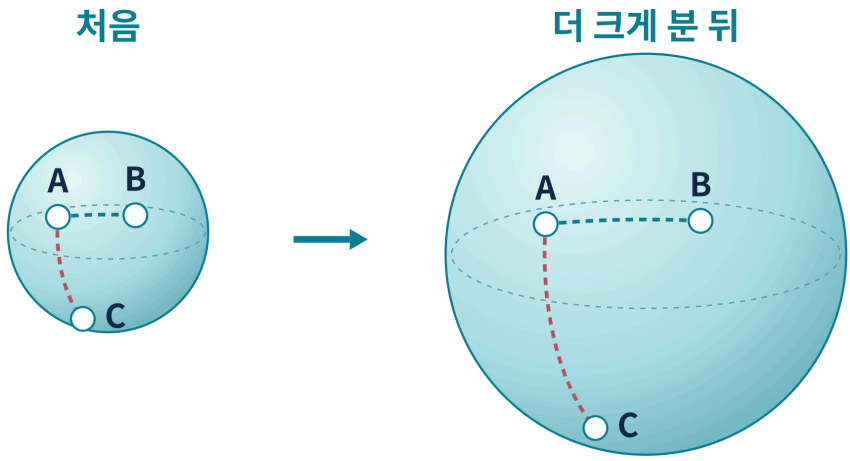
⑤ 왼쪽에 있는 은하는 모두 가까워진다.

유형 3 풍선과 고무띠는 우주의 무엇을 나타낼까?

대표문제 **문항 13**

고무풍선을 조금 불고 표면에 같은 크기의 스티커 A·B·C를 붙였다. 스티커가 표면에서 따로 미끄러지지 않도록 하고 풍선을 더 크게 불었다. 각 시점에 A에서 B·C까지 **표면을 따라 실을 대고, 그 실의 길이를 자로 재었다.** 다음은 설명을 위해 만든 가상 측정 자료이다. 두 거리는 같은 비율로 늘어났다.

풍선 표면에 실을 대어 거리 재기



청록 점선: A에서 B까지
분홍 점선: A에서 C까지

실을 풍선 표면에 붙인 뒤, 실의 길이를 자로 잰다.
스티커 크기는 같게 나타냈다. 거리 수치는 문항 표에서 읽는다.

A에서 표면을 따라 잰 거리	처음	더 크게 분 뒤
B까지	2 cm	4 cm
C까지	3 cm	6 cm

(1) 풍선 모형과 실제 우주의 대응을 빈칸에 쓰시오.

풍선 모형	실제 우주
풍선 표면	__ _____
표면에 붙인 스티커	__ _____
풍선이 부풀어 커짐	__ _____

(2) A에서 B·C까지의 거리가 각각 몇 cm 늘었는지 구하시오. 처음에 A에서 더 멀었던 스티커가 더 많이 멀어졌는지, 두 증가량을 비교하여 쓰시오.

답 B까지 _____ / C까지 _____

판단과 근거

(3) "풍선 내부의 중심이 우주의 중심이고, 풍선 밖의 공기가 우주 바깥이다."라는 해석이 부적절한 까닭을 쓰시오.

답

질문으로 이해하기

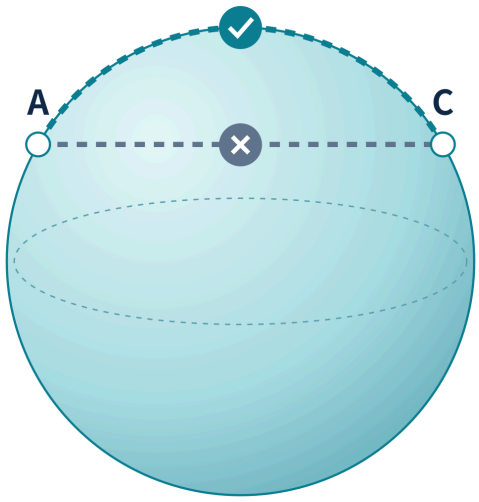
Q08 풍선 모형에서는 어디를 우주 공간에 대응시킬까?

한 줄 답 **이 모형에서는 풍선 내부가 아니라, 은하 표지들이 놓인 표면을 우주 공간에 대응시킨다.**

풍선이 커지면 표면 위의 표지들 사이가 벌어진다. 표지들이 표면을 따로 기어 다니지 않아도 표면 자체가 늘어나면서 간격이 커진다는 점이 핵심이다.

다만 풍선 표면은 2차원(면)이고 실제 우주 공간은 3차원(입체 공간)이다. 따라서 풍선 내부의 중심이나 풍선 밖의 공기에 실제 우주의 무엇을 억지로 대응시키지 않는다. 이 모형만으로 우주의 전체 모양이나 바깥의 존재를 알아낼 수도 없다.

두 스티커 사이, 표면을 따라 잰다



- ✓ **표면을 따라가는 실**
- ✗ **풍선 속을 뚫고 지나가는 직선**

같은 두 스티커 사이에서도 재는 경로에 따라 길이가 다르다.

Q09 풍선에 펜으로 그린 점도 커지는데, 은하도 커진다는 뜻일까?

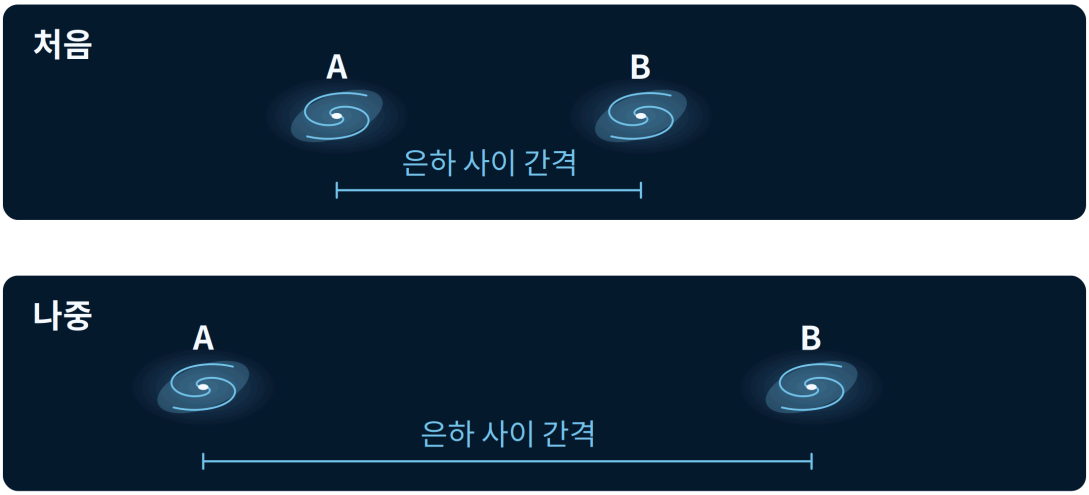
> **한 줄 답** **아니다. 펜 점이 커지는 것은 모형의 한계이며, 은하 자체가 우주 팽창과 같은 비율로 커진다는 뜻은 아니다.**

풍선 고무에 그린 점은 고무와 함께 늘어난다. 하지만 서로 끌어당기는 힘(중력)으로 묶여 있는 은하나 태양계의 크기가 우주의 팽창에 맞추어 함께 늘어나는 것은 아니다. 모형에서는 **표지 사이의 간격 변화**를 읽고, 펜 점의 크기 변화는 실제 은하에 그대로 적용하지 않아야 한다.

그래서 이 학습지의 그림에서는 은하 표지를 같은 크기로 그렸다. 이것도 설명을 위한 약속이다. 실제 은하가 시간이 지나도 어떤 변화도 겪지 않는다는 뜻은 아니다.

건포도 빵 비유와 연결하면, 실로 단단히 묶어 둔 건포도 두 알은 반죽이 부풀어도 그 간격이 함께 늘어나지 않는다고 생각할 수 있다. 중력으로 묶인 은하나 태양계도 팽창 모형처럼 커지지 않는다. **이 비유는 여기까지만 맞다.** 실제 중력은 실이 아니며, 이런 천체계의 크기가 다른 원인으로도 전혀 바뀌지 않는다는 뜻은 아니다.

간격의 증가와 은하의 크기를 구별하자



표지 크기는 일정하게 그린 모식도 · 중력으로 묶인 은하 자체가
우주 팽창과 같은 비율로 커진다는 뜻은 아님

Q10 가까워지는 은하가 하나라도 있으면 우주 팽창은 틀린 걸까?

한 줄 답 **아니다. 가까운 은하 사이에서는 중력에 따른 개별 운동이 전체 팽창 경향보다 두드러질 수 있다.**

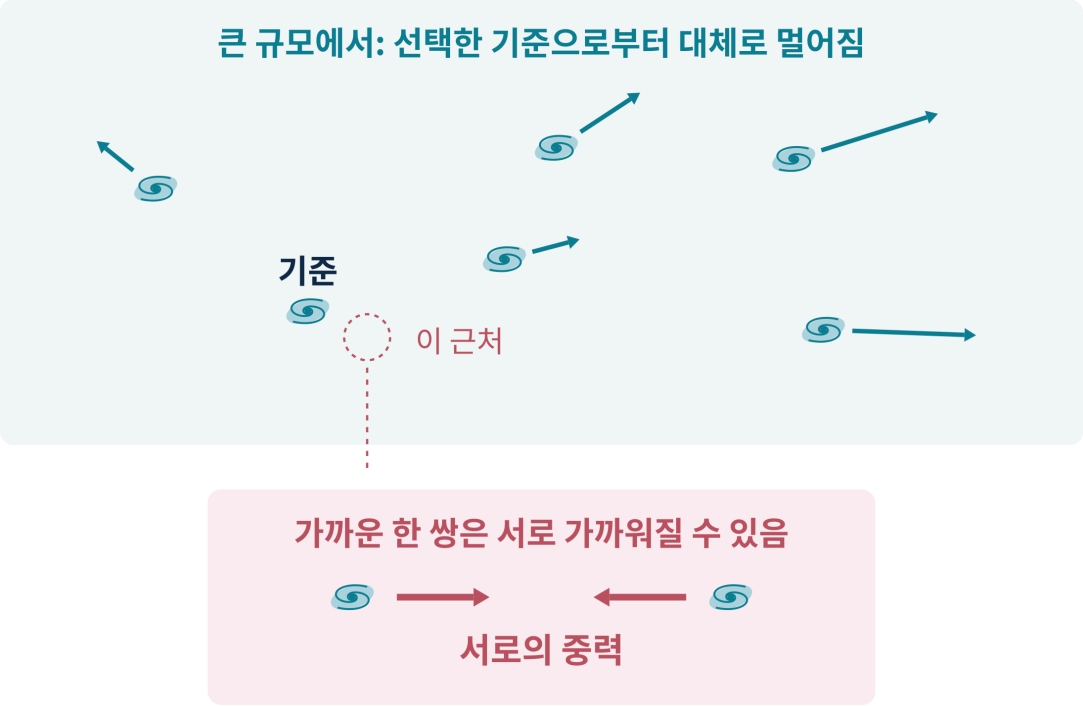
비유 **썰물의 전체 흐름과 바위 근처의 움직임**

썰물 때 바닷물은 전체적으로 바다 쪽으로 빠져나가지만, 바위 근처에서는 물이 잠깐 거꾸로 밀려 들어오기도 한다. 한곳에서 반대 방향의 움직임이 보인다고 해서 썰물이 아닌 것은 아니다. 이처럼 큰 범위의 경향과 가까운 한 쌍의 움직임은 다를 수 있다.

이 비유는 여기까지만 맞다. 조석은 달·태양의 중력 등과 관련된 현상으로, 바닷물이 빠지는 원인을 우주 팽창의 원인에 그대로 대응시키지 않는다. 가까운 은하가 서로 가까워질 수 있는 것은 그 사이의 중력에 따른 운동 때문이다.

실제로 **안드로메다은하는 우리은하에 가까워지고 있다.** 가까운 은하의 운동과 큰 규모의 팽창 경향은 함께 나타날 수 있다.

큰 규모의 경향과 가까운 한 쌍의 운동



위의 기준은 비교를 위해 고른 은하이며, 우주의 중심이 아니다.

모형 문제에서는 “표지의 개별 운동을 무시한다”라는 조건을 확인한다. 실제 관측에서는 많은 은하의 거리와 운동을 함께 살펴 전체 경향을 판단한다.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

모형에서 읽을 것	실제 우주와 연결할 내용	그대로 옮기면 안 되는 것
고무띠·풍선 표면의 늘어남	은하 사이 공간의 팽창	고무라는 재료, 잡아당기는 손, 불어 넣는 공기
은하 표지 사이의 간격 증가	은하 사이의 거리 증가	펜 점이 커지는 현상을 은하 크기에 적용하기
어느 표지를 기준으로도 간격 증가	우리은하만 특별한 중심은 아님	고무띠의 가운데나 풍선 내부의 중심을 우주의 중심으로 정하기

대표문제 풀이

(1) 풍선 표면은 우주 공간, 스티커는 은하, 풍선이 부풀어 커지는 현상은 우주의 팽창에 대응한다.

(2) B까지는 4−2 = 2 cm, C까지는 6−3 = 3 cm 늘었다. 처음에 더 멀었던 C까지의 거리가 더 많이 늘었다. 두 거리 모두 처음의 2배가 되었지만 증가량은 다르다.

(3) 이 모형은 표면을 우주 공간에 대응시킨다. 내부의 중심과 바깥 공기는 그 대응에 포함되지 않으므로, 그것들을 실제 우주의 중심과 바깥이라고 결론 내릴 수 없다.

적용 문제

문항 14

이 학습지의 풍선 표면 모형을 해석한 것으로 옳은 것은?

① 풍선 내부의 빈 공간만 실제 우주 공간에 대응한다.

② 풍선 표면의 은하 표지 사이 간격 변화가 핵심이다.

③ 펜 점이 두 배로 커지면 실제 은하도 두 배로 커진다.

④ 풍선 밖의 공기가 실제 우주 바깥의 물질임을 증명한다.

⑤ 풍선에 공기를 넣는 사람이 실제 우주의 팽창 원인이다.

문항 15

풍선에 펜으로 그린 점이 커진 것을 보고 “우주 팽창 때문에 태양계도 같은 비율로 커진다.”라고 주장했다. 이 주장에 포함된 모형 해석의 오류를 쓰시오.

답

문항 16

각 문장이 옳으면 O, 틀리면 X를 쓰고, X인 문장만 바르게 고치시오.

(가) 풍선 표면 모형에서는 표지 사이 거리를 표면을 따라 비교한다. [ ]

고치기

(나) 풍선 내부의 중심은 실제 우주의 중심에 반드시 대응한다. [ ]

고치기

(다) 실제 우주 공간은 풍선 표면과 똑같이 2차원(면)이다. [ ]

고치기

(라) 이 모형만으로 우주 바깥의 존재를 판단할 수 없다. [ ]

고치기

문항 17

관측 결과 가까운 두 은하 사이의 거리가 줄어들었다. 한 학생이 “따라서 큰 규모에서 우주가 팽창한다는 설명은 틀렸다.”라고 말했다. 중력에 따른 개별 운동과 전체 경향을 구분하여 반박하시오.

답

문항 18

표지가 고무띠 위를 따로 미끄러지면, 표지 사이 간격이 커진 까닭을 고무띠가 늘어난 것 하나로 말할 수 있는가? 판단하고, 그 까닭을 쓰시오.

답

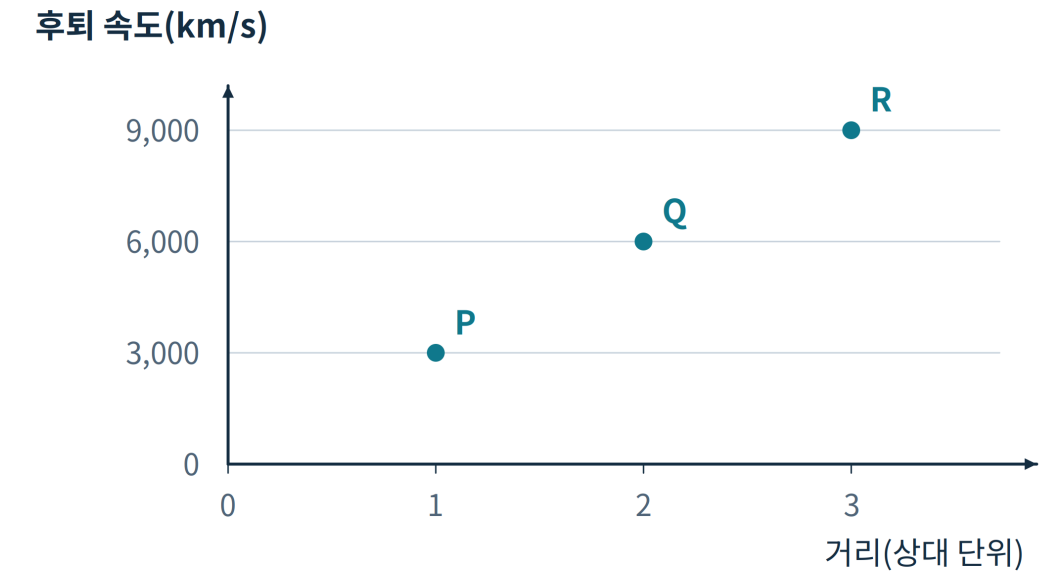
유형 4 관측 결과로 우주 팽창을 어떻게 판단할까?

대표문제 **문항 19**

여러 은하의 개별 운동을 무시하고, 같은 시점에서 거리와 후퇴 속도의 관계를 단순화한 **가상 관측 자료**이다. **후퇴 속도는 관측자로부터 멀어지는 속도**, 즉 멀어지는 빠르기를 뜻한다. 거리의 단위는 비교를 위한 상대 단위이다.

은하	거리(상대 단위)	후퇴 속도(km/s)
P	1	3,000
Q	2	6,000
R	3	9,000

거리와 후퇴 속도: 가상 관측 자료



같은 시점의 여러 은하를 비교 · 실제 관측값을 옮긴 그래프가 아님

(1) 거리와 후퇴 속도 사이의 관계를 쓰시오.

답

(2) 이 자료와 같은 관계를 따르는 은하 S의 거리가 4라면 후퇴 속도는 얼마인가?

답

(3) 이런 관계가 여러 방향의 많은 은하에서 나타날 때, 큰 규모의 우주에 관해 어떤 설명을 뒷받침하는가?

답

질문으로 이해하기

Q11 실제 관측에서는 어떤 관계가 우주 팽창을 뒷받침할까?

한 줄 답 **큰 규모에서 대체로 먼 외부 은하일수록 더 빠르게 멀어지는 관계가 나타난다.**

고무띠 모형에서 멀리 있던 표지일수록 같은 시간 동안 더 많이 멀어졌다. 실제 은하 관측에서도 거리와 후퇴 속도를 함께 조사하면 이런 경향이 나타난다. 이는 큰 규모에서 은하 사이의 공간이 팽창한다는 설명과 맞는다.

자료를 읽을 때는 가로축이 거리인지, 세로축이 후퇴 속도인지 구별한다. 문항 19는 같은 시점에 서로 다른 은하의 거리와 후퇴 속도를 비교한 자료이다.

실제 관측값에는 은하의 개별 운동과 측정 오차 등이 있으므로, 모든 은하가 한 직선에 정확히 놓이는 것은 아니다. 문항 19는 관계를 쉽게 읽도록 수치를 단순화했다.

Q12 은하가 멀어지는지는 무엇을 관측해서 알아볼까?

한 줄 답 **은하에서 온 빛을 파장별로 나누어, 알려진 스펙트럼 선들이 어느 쪽으로 옮겨졌는지 조사한다.**

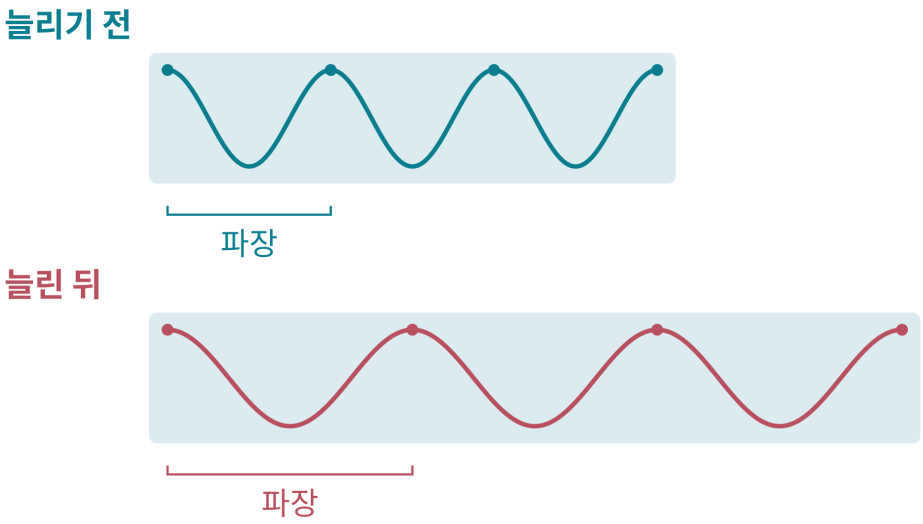
빛을 파장별로 나눈 띠를 **스펙트럼**이라고 한다. 여기서 비교하는 **스펙트럼 선은 그 띠에 나타나는 검은 선(흡수선)**이다. 같은 종류의 선을 기준과 짝지어 비교한다.

빛의 파장은 물결의 마루와 다음 마루 사이 간격처럼 생각할 수 있다. 우주 공간이 팽창하는 동안 그 공간을 지나는 빛의 파장이 길어지는 현상을 **적색 편이(적색 이동)**라고 한다. 같은 종류의 스펙트럼 선을 비교했을 때 긴 파장 쪽으로 옮겨진 것이 단서가 된다.

비유 **고무띠 위 물결무늬의 간격**

고무띠에 일정한 간격으로 물결의 마루를 표시하고 늘리면 마루 사이 간격도 벌어진다. 파장이 길어진다는 뜻을 이해하는 데 도움이 된다. **이 비유는 여기까지만 맞다.** 파장 사이 간격의 변화를 보여 줄 뿐, 빛이 실제로 고무에 그려져 있다는 뜻은 아니다.

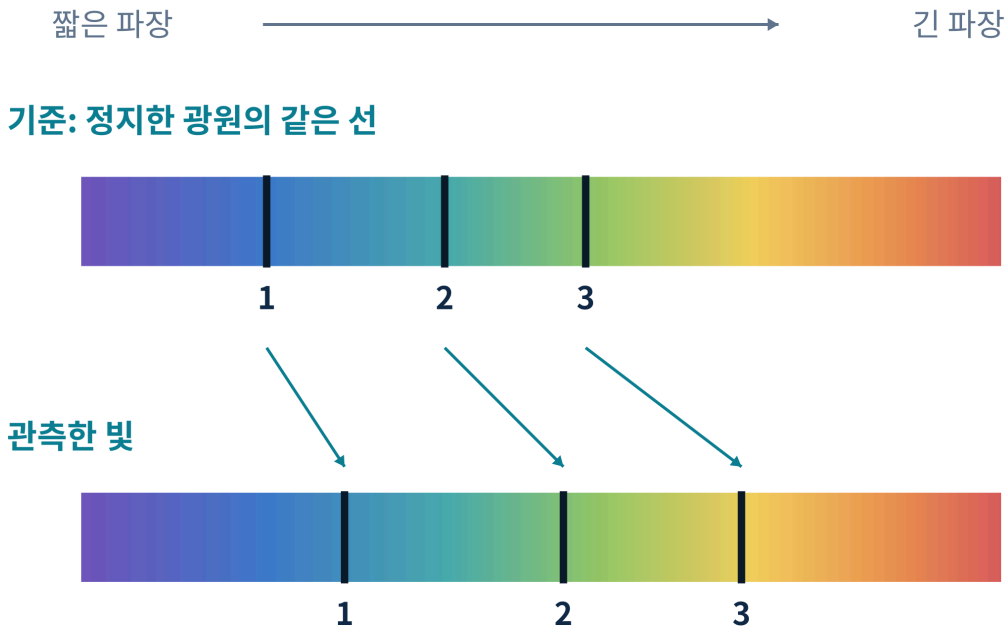
물결의 마루 사이 간격으로 파장을 이해하기



마루 개수는 같고 마루 사이 간격만 커진다.
긴 파장 쪽은 빨간빛 쪽. 고무띠는 빛이 지나가는 실제 물질이 아님.

은하 사진 전체가 붉어 보인다는 것만으로 후퇴를 판단하지 않는다. 별의 색, 먼지, 촬영 파장 등도 사진의 색에 영향을 줄 수 있다. **03편에서 배웠듯이 별의 색은 표면 온도에 따라 다르다. 비교 대상은 같은 종류의 스펙트럼 선 위치**이다. 적색 편이는 원리를 이해하는 보충 개념이며, 이 학습지에서는 적색 편이의 수치나 후퇴 속도를 구하는 공식을 요구하지 않는다.

같은 스펙트럼 선이 긴 파장 쪽으로 이동



같은 종류의 선을 짝지어 비교한다. 번호 1·2·3은 선을 구별하는 표시.
사진 전체의 붉은 색조와 구별한다. 실제 원소의 관측값은 아닌 개념도.

Q13 팽창을 거꾸로 생각하면 과거 우주는 어땠을까?

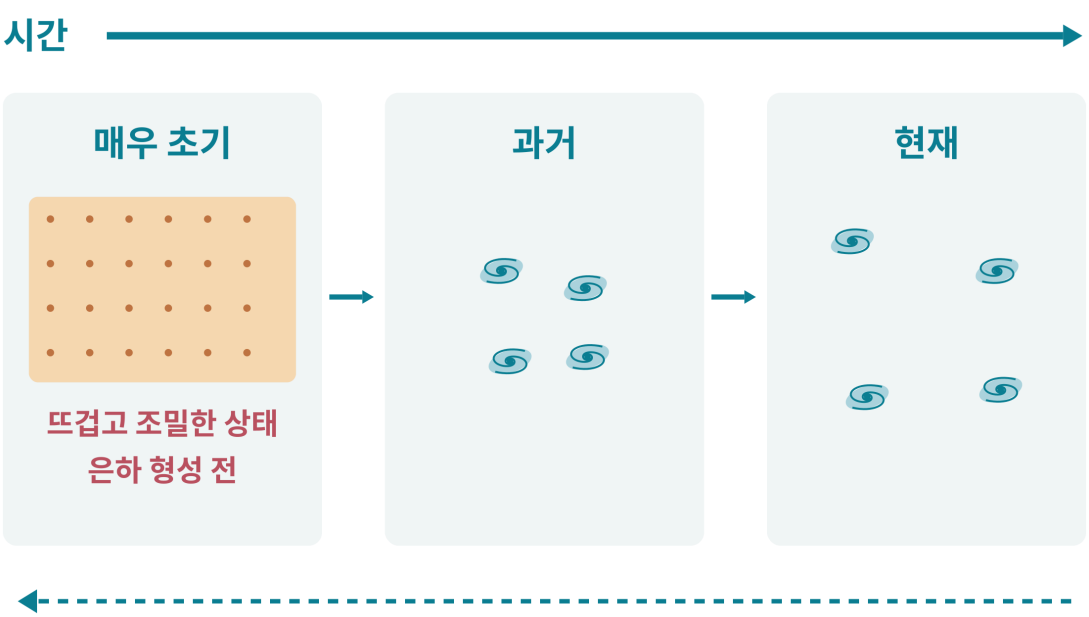
한 줄 답 **매우 초기 우주는 뜨겁고 조밀한 상태였고, 이후 팽창해 왔다. 이를 설명하는 이론이 대폭발 우주론(빅뱅 우주론)이다.**

표지 사이 간격이 커지는 모형을 거꾸로 돌리면 간격이 좁아진다. 따라서 과거에는 큰 규모에서 물질이 지금보다 더 조밀했다고 생각할 수 있다. 우주 팽창과 여러 관측 자료를 종합하면, 우주는 **약 138억 년 전 매우 뜨겁고 밀도가 높은 상태에서 시작되어 팽창해 온 것**으로 설명한다.

‘대폭발’은 이미 있던 공간의 한 점에서 폭탄이 터졌다는 뜻이 아니다. 우주 공간 전체가 함께 팽창해 왔다는 뜻이다.

하지만 현재의 은하가 우주 시작 때부터 같은 모습으로 있었다는 뜻은 아니다. 별과 은하는 우주의 역사 속에서 나중에 형성되었다. 또한 풍선이나 고무띠 그림만으로 우주의 정확한 나이나 초기 온도까지 계산할 수는 없다. **거리 변화로 알 수 있는 것과 추가 자료가 필요한 것을 구분해야 한다.**

팽창을 과거로 되짚으면 무엇을 알 수 있을까?



과거와 현재: 은하 사이 간격을 비교한 모형

칸 테두리·점들은 실제 우주의 경계나 개별 입자 수를 나타내지 않음.

꼭 기억할 지식과 주의할 점

- 대체로 먼 은하일수록 더 빠르게 멀어지는 관계는 우주 팽창을 뒷받침한다.
- 실제 은하가 예외 없이 모두 같은 비례식에 정확히 맞는다고 생각하지 않는다.
- 적색 편이는 같은 종류의 스펙트럼 선 위치로 판단하며, 사진의 붉은 색조와 구분한다.
- 대폭발 우주론은 매우 초기의 뜨겁고 조밀한 상태에서 우주가 팽창해 왔다고 설명한다. 현재의 은하가 처음부터 있었다는 뜻은 아니다.

대표문제 풀이

(1) 거리가 2배, 3배가 되면 후퇴 속도도 각각 2배, 3배가 된다. 주어진 자료에서는 후퇴 속도가 거리에 비례한다.

(2) 12,000 km/s이다. 거리 1에 대응하는 3,000 km/s의 4배이다.

(3) 큰 규모에서 은하 사이의 공간이 팽창한다는 설명을 뒷받침한다. 우리은하만 특별한 중심이라는 뜻은 아니다.

적용 문제

문항 20

문항 19의 관계를 따를 때 P와 비교한 R의 거리와 후퇴 속도는 각각 몇 배인가?

답 거리 _____ 배 / 후퇴 속도 _____ 배

문항 21

두 은하의 사진 중 하나가 더 붉어 보였다. 이 사실만으로 더 붉은 은하가 더 빠르게 멀어진다고 결론 내리기 어려운 까닭과, 후퇴를 조사할 때 비교해야 할 자료를 쓰시오.

답

문항 22

대폭발 우주론에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 이미 있던 빈 공간의 한 점에서 폭탄처럼 터진 물질이 퍼져 나간 것이다.

② 우리은하는 우주 팽창의 특별한 중심이다.

③ 우주는 매우 뜨겁고 조밀했던 초기 상태에서 팽창해 왔다.

④ 현재의 은하는 우주가 시작될 때부터 같은 모습으로 존재했다.

⑤ 우주가 팽창하면 중력으로 묶인 태양계의 크기도 같은 비율로 커진다.

문항 23

균일한 팽창 모형을 과거로 되돌려 생각한 설명으로 가장 적절한 것은?

① 과거에는 은하 사이의 간격이 지금보다 반드시 더 컸다.

② 과거로 갈수록 우주의 온도는 지금보다 낮았다.

③ 팽창을 되돌려도 물질이 차지하는 공간과 밀도는 변하지 않는다.

④ 이 모형 하나로 우주의 정확한 나이를 계산할 수 있다.

⑤ 과거에는 큰 규모에서 물질이 지금보다 더 조밀했을 것으로 생각할 수 있다.

문항 24

어떤 자료가 우주 팽창의 전체 경향을 판단하는 데 더 적절한가? 하나를 고르고 까닭을 쓰시오.

(가) 서로 가까운 은하 두 개의 움직임만 조사한 자료

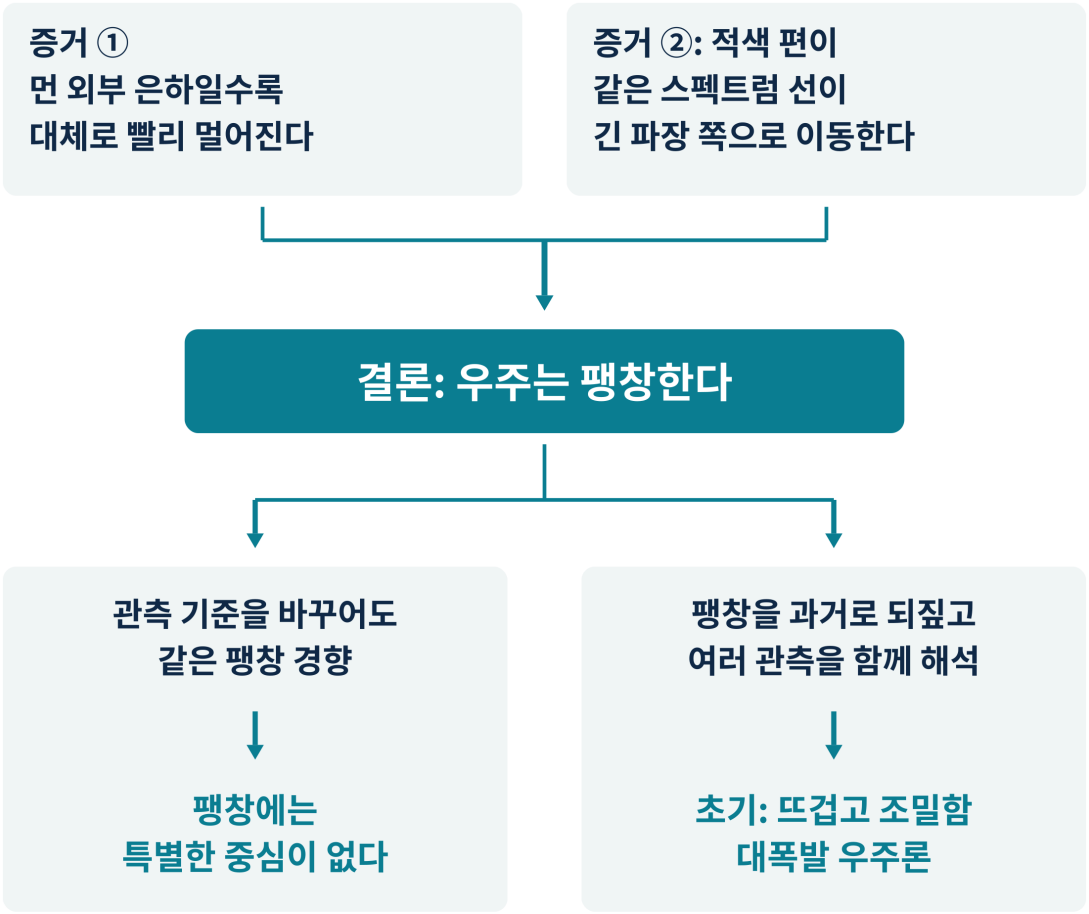
(나) 여러 방향의 많은 은하에 대해 거리와 후퇴 속도를 조사한 자료

답

한눈에 정리

핵심 질문	판단 기준	놓치기 쉬운 점
얼마나 늘었나?	나중 거리 − 처음 거리	증가량과 배율을 구분한다.
얼마나 빠르게 멀어졌나?	거리 증가량 ÷ 같은 비교 시간	걸린 시간이 다르면 따로 나눈다.
B에서 보아도 멀어지나?	각 시점의 두 위치 차이	기준 표지의 나중 위치도 바뀐다.
우리가 중심인가?	기준을 바꾸어도 같은 경향인지	관측 기준을 특별한 중심으로 오해하지 않는다.
모형에서 무엇이 팽창하나?	은하 표지 사이의 공간	펜 점의 크기까지 은하에 적용하지 않는다.
관측은 무엇을 보여 주나?	대체로 먼 외부 은하의 후퇴 속도가 큼	개별 운동·그래프의 축·결론 범위를 확인한다.

관측 증거에서 우주 팽창을 판단하기



주의: 풍선 내부의 중심이나 펜 점의 크기 변화는
실제 우주에 그대로 적용하지 않는다.

화살표는 관측에서 내리는 판단과 추론의 연결을 나타낸다.

통합 확인 문제

문항 25

같은 8초 동안 기준 표지에서 X까지의 거리는 2 cm에서 5 cm, Y까지의 거리는 6 cm에서 15 cm가 되었다.

(1) 두 거리의 팽창 배율이 같은지 계산하여 판단하시오.

답

(2) 거리 증가량의 비 X:Y를 가장 간단한 정수비로 쓰시오.

답

(3) Y가 X보다 평균적으로 몇 배 빠르게 멀어졌는지 쓰시오.

답

문항 26

일직선 위 A·B·C의 처음 위치는 각각 0 cm, 3 cm, 9 cm이다. 균일하게 팽창한 뒤 같은 고정 눈금으로 잰 위치가 0 cm, 6 cm, 18 cm가 되었다. B에서 C까지의 처음 거리, 나중 거리, 증가량을 순서대로 쓰시오.

답 _____ / _____ / _____

문항 27

“먼 은하가 더 빨리 멀어지는 것은 먼 은하가 더 강한 엔진으로 우리에게서 도망가기 때문이다.”라는 설명을, **은하 사이 공간의 팽창**과 **여러 구간의 증가량**을 이용해 고치시오.

답

문항 28

한 학생이 풍선 모형에서 다음 네 가지를 주장했다. 옳은 것만 있는 대로 고르시오.

ㄱ. 표면 위 은하 표지 사이의 간격 증가를 살핀다.

ㄴ. 풍선 안쪽 중심을 실제 우주의 특별한 중심으로 정한다.

ㄷ. 펜 점이 커지는 현상을 실제 은하의 팽창으로 그대로 해석하지 않는다.

ㄹ. 풍선 밖의 공기를 관찰하면 실제 우주 바깥의 물질을 알 수 있다.

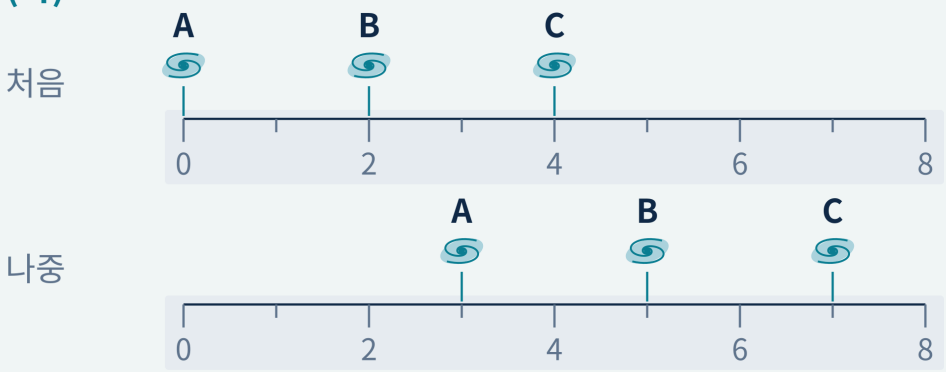
답

문항 29

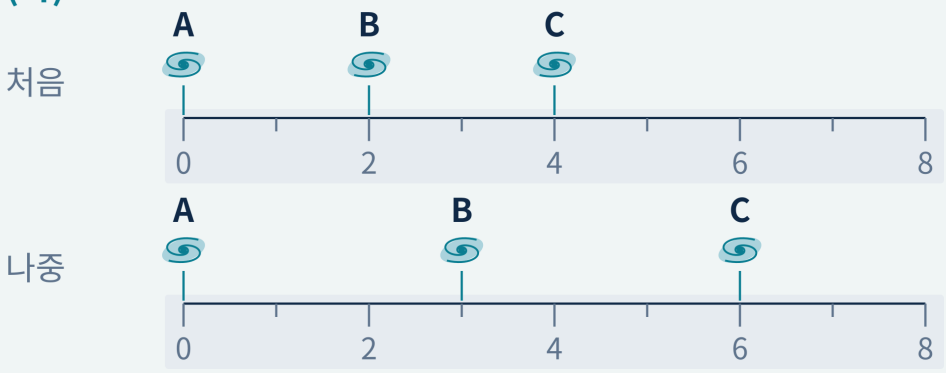
두 모형에서 A·B·C의 위치가 다음 그림과 같이 변했다. 모든 위치는 같은 고정 눈금으로 읽었다. 점의 크기에는 의미를 두지 않는다.

두 모형에서 표지 사이의 거리는 어떻게 될까?

(가)



(나)



모든 눈금자는 늘어나지 않는다. 숫자는 위치이며 단위는 cm이다.

모형	처음 A·B·C의 위치(cm)	나중 A·B·C의 위치(cm)
(가)	0, 2, 4	3, 5, 7
(나)	0, 2, 4	0, 3, 6

(1) 표지 사이 거리가 커져 우주 팽창의 관계를 나타내는 모형을 고르시오.

답

(2) 다른 모형에서 표지들이 이동했는데도 팽창을 나타내지 못하는 까닭을 A와 B 사이의 거리로 설명하시오.

답

문항 30

거리와 후퇴 속도가 비례하는 가상 자료에서 거리가 2인 은하의 후퇴 속도가 4,000 km/s이다. 후퇴 속도가 10,000 km/s인 은하의 거리는 몇인가? 같은 상대 거리 단위를 사용한다.

답

문항 31

다음 설명을 읽고 물음에 답하시오.

“여러 방향의 먼 은하들을 관측했더니 대체로 먼 은하일수록 더 빠르게 멀어졌다. 그런데 가까운 은하 한 쌍은 서로 가까워졌다.”

(1) 두 결과가 함께 나타날 수 있는 까닭을 쓰시오.

답

(2) 첫 번째 결과가 우리은하를 우주의 특별한 중심으로 정하는 증거인지 판단하고 까닭을 쓰시오.

답

문항 32

우주 팽창을 설명하는 짧은 글을 쓰시오. 다음 세 내용을 모두 포함하시오.

- 무엇 사이의 거리가 큰 규모에서 증가하는가?
- 같은 시간 동안 처음에 멀리 있던 은하가 더 많이 멀어지는 까닭은 무엇인가?
- 풍선 모형에서 실제 우주에 그대로 적용하면 안 되는 것은 무엇인가? 한 가지를 쓰시오.

답

빠른 정답

문항	정답
01	(1) 1 cm, 2 cm, 3 cm (2) 모두 1.5배 (3) D, 같은 시간 동안 거리 증가량이 가장 큼
02	①
03	12 cm, 4.5÷3 = 1.5배이므로 8×1.5
04	X, X 0.2 cm/s, Y 0.15 cm/s
05	(가) X (나) O (다) O
06	1.5 cm, 구간별 증가량이 합쳐짐
07	(1) A 2→3 cm, C 2→3 cm, D 4→6 cm (2) 모두 멀어짐 (3) 중심이라고 할 수 없음
08	2 cm, 3 cm
09	③
10	0 cm는 선택한 눈금 기준이며, B에서도 같은 팽창 경향이 나타남
11	4 cm, 0.8 cm/s
12	④
13	(1) 우주 공간 / 은하 / 우주의 팽창 (2) B 2 cm, C 3 cm, 처음에 더 멀었던 C가 더 많이 멀어짐 (3) 내부 중심·외부 공기는 모형의 대응 밖임
14	②
15	펜 점의 크기 변화라는 모형의 한계를 실제 태양계에 그대로 적용함
16	(가) O (나) X (다) X (라) O
17	가까운 은하의 개별 운동과 큰 규모의 팽창 경향은 함께 나타날 수 있음
18	말할 수 없다. 표지의 미끄러짐도 간격 변화에 영향을 줄 수 있기 때문
19	(1) 비례 (2) 12,000 km/s (3) 큰 규모의 우주 팽창
20	3배, 3배
21	사진 색에는 다른 원인도 있음 / 같은 종류의 스펙트럼 선 위치
22	③

문항	정답
23	⑤
24	(나), 많은 은하로 큰 규모의 전체 경향을 판단할 수 있음
25	(1) 모두 2.5배로 같음 (2) 1:3 (3) 3배
26	6 cm, 12 cm, 6 cm
27	더 많은 공간 구간의 증가량이 합쳐지므로 먼 은하까지의 거리 증가량이 큼
28	ㄱ, ㄷ
29	(1) (나) (2) (가)의 A–B 거리는 처음과 나중 모두 2 cm
30	5
31	(1) 개별 운동과 전체 경향의 구별 (2) 아님, 다른 은하에서도 같은 팽창 경향
32	은하 사이 거리 증가·구간별 증가량의 합·모형의 한계 포함

정답과 해설

01 (1) B는 3−2 = 1 cm, C는 6−4 = 2 cm, D는 9−6 = 3 cm 늘어났다. (2) 각각 3÷2, 6÷4, 9÷6이므로 모두 1.5배이다. (3) D가 가장 빠르게 멀어진다. 걸린 시간이 모두 10초로 같고 D까지의 증가량이 가장 크기 때문이다. 평균 빠르기는 차례로 0.1, 0.2, 0.3 cm/s이다. **연결: Q02~Q04.**

02 정답은 ①이다. 증가량은 6−4 = 2 cm이고, 나중 거리는 처음의 6÷4 = 1.5배이다. 나중 거리 6 cm 자체를 증가량으로 쓰지 않는다. **연결: Q03.**

03 12 cm이다. P까지의 거리가 4.5÷3 = 1.5배가 되었으므로 Q까지도 처음의 1.5배가 된다. 8×1.5 = 12 cm이다. 증가량을 묻는다면 4 cm이지만, 이 문제는 나중 거리를 물었다. **연결: Q03.**

04 X가 더 빠르게 멀어졌다. X는 2÷10 = 0.2 cm/s, Y는 3÷20 = 0.15 cm/s이다. Y의 증가량이 더 커도 걸린 시간이 두 배이므로 증가량만으로 판단하면 틀린다. **연결: Q04.**

05 (가) X: 같은 비율로 늘어나면 처음 거리가 클수록 증가량도 크다. (나) O: 3÷2 = 1.5이다. (다) O: 걸린 시간이 다르면 각각 증가량을 시간으로 나누어 비교해야 한다. **연결: Q03~Q04.**

06 0.5×3 = 1.5 cm 늘어난다. 처음에 더 멀리 있는 표지까지는 더 많은 구간이 이어져 있으므로, 각 구간에서 늘어난 길이가 더 많이 합쳐진다. 처음 세 구간의 총길이 6 cm와 증가량 1.5 cm를 구별한다. **연결: Q02.**

07 (1) A까지는 처음 2−0 = 2 cm, 나중 3−0 = 3 cm이다. C까지는 4−2 = 2 cm, 6−3 = 3 cm이다. D까지는 6−2 = 4 cm, 9−3 = 6 cm이다. (2) 세 거리 모두 증가하므로 모두 멀어진다. (3) A가 특별한 중심이라고 할 수 없다. B에서도 같은 팽창 경향을 볼 수 있기 때문이다. **연결: Q05~Q07.**

08 처음에는 6−4 = 2 cm, 나중에는 9−6 = 3 cm이다. D의 나중 위치 9 cm에서 C의 나중 위치 6 cm를 빼야 한다. **연결: Q05.**

09 정답은 ③이다. B에서 A와 C까지의 거리는 모두 2 cm에서 3 cm로 늘어난다. ① A는 왼쪽에서 더 멀어진다. ② B와 D의 나중 거리는 9−3 = 6 cm이다. ④·⑤ 기준을 바꾸어도 팽창 경향은 유지된다. **연결: Q05~Q06.**

10 예시 답: 0 cm는 이 자료에서 선택한 위치 기준이다. A가 0 cm에 있다는 것만으로 물리적으로 특별한 중심이 되는 것은 아니다. B에 맞추어 비교해도 다른 표지들이 멀어지므로, A만 특별하다는 결론을 내릴 수 없다. **채점 핵심:** 눈금 기준과 특별한 중심의 구별, B에서도 나타나는 팽창 경향. **연결: Q06~Q07.**

11 B와 C의 거리는 처음 6−2 = 4 cm, 나중 12−4 = 8 cm이다. 따라서 증가량은 8−4 = 4 cm, 평균 빠르기는 4÷5 = 0.8 cm/s이다. C의 위치 증가량 6 cm를 B와 C 사이의 증가량으로 쓰지 않는다. **연결: Q04~Q05.**

12 정답은 ④이다. 어느 은하에서 보아도 같은 팽창 경향이 나타나며, 우주 팽창에는 특별한 중심이 없다. 모형의 재료나 종이 위 위치를 우주의 성질로 바꾸어 읽지 않는다. **연결: Q07.**

13 (1) 풍선 표면은 우주 공간, 스티커는 은하, 풍선이 부풀어 커지는 현상은 우주의 팽창에 대응한다. (2) B까지는 4−2 = 2 cm, C까지는 6−3 = 3 cm 늘었다. 처음에는 C가 3 cm로 B의 2 cm보다 멀었고, 증가량도 C의 3 cm가 B의 2 cm보다 크므로 처음에 더 멀었던 C가 더 많이 멀어졌다. (3) 이 모형은 표면에 주목하므로 내부 중심과 외부 공기는 실제 우주의 중심·바깥에 대응하지 않는다. **채점 핵심:** 대상·현상 세 가지의 대응, 증가량 계산과 비교, 대응 범위의 한계. '우주(공간)'·'공간'은 인정하고, 첫 칸에 현상인 '팽창'만 쓴 답은 인정하지 않는다. **연결: Q02~Q03, Q08.**

14 정답은 ②이다. 이 모형은 표면에 놓인 은하 표지들의 간격 변화에 주목한다. 풍선 내부·외부 공기·공기를 넣는 사람까지 실제 우주의 구조나 원인으로 옮기는 것은 잘못이다. **연결: Q08~Q09.**

15 예시 답: 펜 점이 커지는 것은 풍선 고무의 성질에서 생긴 모형의 한계이다. 중력으로 묶인 태양계나 은하가 우주 팽창과 같은 비율로 커진다고 해석할 수 없다. **채점 핵심:** 펜 점의 크기 변화와 천체계의 크기를 구별. **연결: Q09.**

16 (가) O. (나) X: 이 모형의 내부 중심은 실제 우주의 특별한 중심에 대응하지 않는다. (다) X: 풍선 표면은 2차원(면)이지만 실제 우주 공간은 3차원(입체 공간)이다. (라) O: 모형 밖의 공기만으로 실제 우주 바깥의 존재를 판단할 수 없다. **연결: Q08.**

17 예시 답: 가까운 은하들은 서로의 중력에 따라 가까워질 수도 있다. 이런 개별 운동은 큰 규모에서 은하 사이 공간이 팽창하는 전체 경향과 함께 나타날 수 있으므로, 은하 한 쌍만으로 우주 팽창을 부정할 수 없다. **채점 핵심:** 가까운 은하의 중력·개별 운동, 큰 규모의 전체 경향 구별. **연결: Q10.**

18 예시 답: 고무띠가 늘어난 것 하나로 말할 수 없다. 표지가 따로 미끄러지는 운동도 표지 사이 간격에 영향을 줄 수 있기 때문이다. 그래서 팽창 모형에서는 표지가 고무띠 위를 따로 움직이지 않게 한다. **채점 핵심:** '없다'는 판단과, 미끄러짐도 간격 변화의 원인이 될 수 있다는 설명. '두 효과가 섞인다'는 설명도 인정한다. **연결: Q01~Q02, Q10.**

19 (1) 주어진 자료에서 후퇴 속도는 거리에 비례한다. (2) 3,000×4 = 12,000 km/s이다. (3) 이런 관계는 큰 규모의 우주 팽창을 뒷받침한다. 자료는 개별 운동을 생략한 가상 자료이므로 실제 모든 관측값이 정확히 이 비례식에 맞는다는 뜻은 아니다. **연결: Q11.**

20 거리는 3÷1 = 3배, 후퇴 속도는 9,000÷3,000 = 3배이다. 비교 기준 P의 값을 각각 나누어야 한다. **연결: Q11.**

21 예시 답: 사진의 색에는 별의 성질, 먼지, 촬영 파장 등의 영향도 있으므로 색조만으로 후퇴 속도를 판단할 수 없다. 알려진 기준과 같은 종류의 스펙트럼 선들이 긴 파장 쪽으로 얼마나 옮겨졌는지 조사해야 한다. **채점 핵심:** 색의 다른 원인, 같은 스펙트럼 선의 위치 비교. **연결: Q12.**

22 정답은 ③이다. 대폭발 우주론은 매우 초기 우주의 뜨겁고 조밀한 상태와 이후 팽창을 설명한다. ① 이미 있던 공간 속의 한 지점에서 폭탄이 터진 것처럼 해석해서는 안 된다. ② 우리은하가 특별한 팽창 중심은 아니다. ④ 별과 은하는 우주의 역사에서 나중에 형성되었다. ⑤ 중력으로 묶인 태양계는 우주 팽창과 같은 비율로 커지지 않는다. **연결: Q07, Q09, Q13.**

23 정답은 ⑤이다. 팽창을 과거로 되돌리면 큰 규모에서 간격이 더 좁고 물질이 더 조밀했던 상태를 생각할 수 있다. ① 과거에는 큰 규모에서 간격이 더 좁았다. ② 초기 우주는 지금보다 뜨거웠다. ③ 팽창을 되돌리면 같은 물질이 차지하는 공간은 더 작고 밀도는 더 높았던 상태를 생각할 수 있다. ④ 이 모형 하나로 우주의 정확한 나이를 계산할 수는 없다. **연결: Q13.**

24 (나)이다. 여러 방향의 많은 은하를 조사하면 개별 은하의 움직임에만 치우치지 않고 큰 규모의 경향을 판단할 수 있다. 가까운 한 쌍의 운동에는 중력이 크게 작용할 수 있다. **연결: Q10~Q11.**

25 (1) 5÷2 = 15÷6 = 2.5이므로 배율은 같다. (2) 증가량은 X가 3 cm, Y가 9 cm이므로 1:3이다. (3) 시간이 모두 8초로 같으므로 Y는 X보다 3배 빠르게 멀어진다. 배율 2.5와 증가량의 비 1:3은 서로 다른 비교이다. **연결: Q03~Q04.**

26 처음 거리는 9−3 = 6 cm, 나중 거리는 18−6 = 12 cm, 증가량은 12−6 = 6 cm이다. 기준 B도 3 cm에서 6 cm로 이동했다는 점을 반영해야 한다. **연결: Q05.**

27 예시 답: 은하 사이 공간이 고르게 늘어날 때 먼 은하까지는 늘어나는 구간이 더 많이 이어져 있다. 각 구간의 증가량이 합쳐지므로 같은 시간 동안 먼 은하까지의 거리가 더 많이 증가한다. 먼 은하가 특별한 엔진으로 달아난다는 뜻은 아니다. **연결: Q02.**

28 ㄱ, ㄷ이다. 간격 증가는 모형의 핵심이며, 펜 점의 크기 변화는 한계이다. ㄴ의 내부 중심과 ㄹ의 외부 공기는 실제 우주에 그대로 대응시키지 않는다. **연결: Q08~Q09.**

29 (1) (나)이다. A–B와 B–C 간격이 모두 2 cm에서 3 cm가 된다. (2) (가)에서는 A–B 거리가 처음 2−0 = 2 cm, 나중 5−3 = 2 cm로 같다. 세 표지가 함께 이동했지만 서로의 간격이 늘어나지 않았으므로 팽창을 나타내지 못한다. **연결: Q01, Q05.**

30 5이다. 후퇴 속도가 10,000÷4,000 = 2.5배이므로 거리도 2의 2.5배인 5이다. 실제 거리 단위로 변환하라는 문제가 아니다. **연결: Q11.**

31 (1) 가까운 한 쌍은 중력에 따른 개별 운동으로 가까워질 수 있고, 큰 규모에서는 팽창 경향이 나타날 수 있다. (2) 특별한 중심의 증거가 아니다. 균일한 팽창에서는 다른 은하를 기준으로도 비슷한 후퇴 경향이 나타난다. **채점 핵심:** 개별 운동과 전체 경향의 구별, 기준 변경. **연결: Q07, Q10~Q11.**

32 예시 답: 우주 팽창은 큰 규모에서 은하 사이 공간이 늘어나 은하 사이의 거리가 전반적으로 증가하는 현상이다. 먼 은하까지는 늘어나는 공간 구간이 더 많으므로 같은 시간 동안 각 구간의 증가량이 합쳐져 더 많이 멀어진다. 풍선의 내부 중심을 우주의 중심으로 정하거나, 펜 점이 커지는 것을 실제 은하의 크기 증가로 해석해서는 안 된다. **채점 핵심:** 은하 사이 거리, 구간별 증가량의 합, 모형 한계 한 가지 이상. **연결: Q01~Q02, Q08~Q09.**