

I 기출 문제로 알아보는 유형별 정리

[LRT 표]

1 슈테판-볼츠만 법칙을 이용한 광도 계산 식

① 절대 등급은 광도를 이용해서 구하자.

2023학년도 9월 모의평가 14번

표는 별 ㉠, ㉡, ㉢의 표면 온도, 광도, 반지름을 나타낸 것이다. ㉠, ㉡, ㉢은 각각 주계열성, 거성, 백색 왜성 중 하나이다.

별	표면 온도(태양=1)	광도(태양=1)	반지름(태양=1)
㉠	$\sqrt{10}$	()	0.01
㉡	()	100	2.5
㉢	0.75	81	()

L. (㉠의 절대 등급 - ㉡의 절대 등급) 값은 10이다. (O)

- 절대 등급을 구하기 위해 슈테판-볼츠만 법칙으로 유도되는 광도 계산 식을 이용해야 한다.
아래와 같이 LRT그래프를 그려 자료에 나타나지 않은 물리량을 찾을 수 있도록 하자.
㉠은 태양보다 100배 어두운 별이고, ㉡은 태양보다 100배 밝은 별이다. 따라서 태양의 절대 등급을 5라 하면 ㉠은 10등급, ㉡은 0등급인 별이므로 (㉠의 절대 등급 - ㉡의 절대 등급) 값은 10이다.
- 이처럼 표면 온도, 광도, 반지름 중 2가지를 알고 있다면 LRT그래프를 통해 나머지 물리량을 구할 수 있다. 모든 문제 옆에 아래와 같이 LRT그래프를 그릴 수 있도록 하자.
- 절대 등급은 별의 밝기를 나타내는 물리량으로 광도가 100배 밝은 별은 절대 등급이 5등급 낮다.
위 문제에서는 광도가 10000배 차이가 났으므로 등급은 10등급 차이가 난 것이다.
- 위 문제와 별개로 등급 간의 밝기 차이를 정확하게 이해하고 넘어가도록 하자.

1등급 차이 : 밝기 약 2.5배 차이, $(2.5)^1 = 2.5$

2등급 차이 : 밝기 약 6.25배 차이, $(2.5)^2 = 6.25$

3등급 차이 : 밝기 약 16배 차이, $(2.5)^3 \approx 16$

4등급 차이 : 밝기 약 40배 차이, $(2.5)^4 \approx 40$

5등급 차이 : 밝기 약 100배 차이, $(2.5)^5 \approx 100$

9등급 차이 : 밝기 약 4000배 차이, $(2.5)^9 \approx 4000$ or $(2.5)^4 \times (2.5)^5 \approx 4000$

10등급 차이 : 밝기 약 10000배 차이, $(2.5)^{10} \approx 10000$ or $(2.5)^5 \times (2.5)^5 \approx 10000$

	L	=	R ²	×	T ⁴
㉠	$\frac{1}{100}$	=	$(\frac{1}{100})^2$	×	$(\sqrt{10})^4$
㉡	100	=	$(\frac{5}{2})^2$	×	2^4
㉢	81	=	16^2	×	$(\frac{3}{4})^4$

표는 태양과 별 (가), (나), (다)의 물리량을 나타낸 것이다. (가), (나), (다) 중 주계열성은 2개이고, (나)와 (다)의 겉보기 밝기는 같다.

별	복사 에너지를 최대로 방출하는 파장(μm)	절대 등급	반지름 (태양=1)
태양	0.50	+4.8	1
(가)	(㉠)	-0.2	2.5
(나)	0.10	()	4
(다)	0.25	+9.8	()

ㄷ. 지구로부터의 거리는 (나)가 (다)의 1000배이다. (O)

- 우선 절대 등급을 구하기 위해 슈테판-볼츠만 법칙으로 유도되는 광도 계산 식을 이용해야 한다. 아래와 같이 LRT그래프를 그려 자료에 나타나지 않은 물리량을 찾을 수 있도록 하자.

(나)의 광도는 태양의 10000배 즉, 10^4 배이고, (다)의 광도는 태양의 $\frac{1}{100}$ 즉, 10^{-2} 배이다. 따라서 두 별의 광도 차이는 10^6 배이다.

이때, 발문에서 두 별의 겉보기 밝기는 같다고 했으므로 지구와의 거리에 관계가 있음을 생각하자.

두 별의 광도가 다름에도 별의 겉보기 밝기가 같다는 의미는 실제로는 매우 밝은 (나)가 10^3 배 멀리 있다는 것이다. 따라서 지구로부터의 거리는 (나)가 (다)의 1000배이다.

- 우리는 ‘겉보기’라는 용어를 주의 깊게 살펴봐야 한다. 겉보기란 말 그대로 겉으로 보기에는 누가 더 밝아 보인다~ 라는 뜻과 같다. 즉, 실제 밝기가 아닌 지구와의 거리에 따라 달라지는 밝기인 것이다.
- 별의 밝기와 거리 계산 식은 다음과 같다. 별의 겉보기 밝기(l)는 거리(r)의 제곱에 반비례함을 이해하자.

$$l \propto \frac{1}{r^2}$$

	L	=	R^2	×	T^4
태양	1	=	1^2	×	1^4
(가)	100	=	$\left(\frac{5}{2}\right)^2$	×	2^4
(나)	10000	=	4^2	×	5^4
(다)	$\frac{1}{100}$	=	$\left(\frac{1}{40}\right)^2$	×	2^4

[기출 문제로 알아보는 유형별 정리]

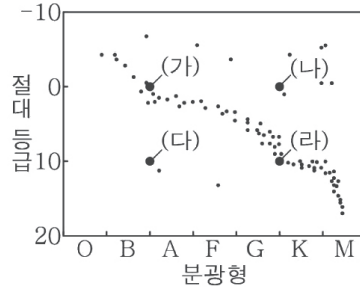
[H-R도와 별의 물리량]

1 H-R도

① H-R도를 보고 별의 종류를 찾자.

2020년 3월 학력평가 12번

그림은 H-R도에 별 (가)~(라)를 나타낸 것이다.



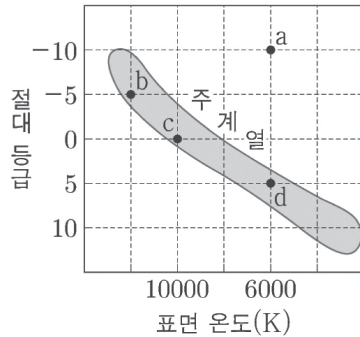
ㄱ. 별의 평균 밀도는 (가)가 (나)보다 크다. (O)

- H-R도에서 (가)와 (라)는 주계열성, (나)는 거성, (다)는 백색 왜성이다. 이때 별의 평균 밀도는 백색 왜성 > 주계열성 > 거성 > 초거성이므로 주계열성인 (가)가 거성인 (나)보다 크다.
- 이처럼 H-R도에 나타난 별의 위치를 보고 별의 종류를 찾을 수 있어야 한다. 반드시 암기하도록 하자.

② 표면 온도? 중심 온도?

지II 2019학년도 수능 13번

그림은 같은 성단의 별 a~d를 H-R도에 나타낸 것이다.



ㄴ. 중심 온도가 가장 높은 별은 b이다. (X)

- H-R도에 나타난 별의 물리량은 표면 온도, 광도와 관련된 물리량만 알 수 있다. 이때, 별의 표면 온도는 b에서 가장 높게 나타난다.
그러나 a는 초거성, b는 주계열성이므로 중심부의 온도는 a가 가장 높게 나타난다.
- 주계열성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응을 하고 초거성의 중심부에서는 수소 핵융합 반응보다 더 높은 단계의 핵융합을 진행할 것이다. 따라서 중심부의 온도는 초거성인 a가 높은 것이다.
- 표면 온도와 중심 온도는 전혀 다른 것임을 이해할 수 있어야 한다.

2 별의 종류와 물리량

① 별의 종류와 광도 계급

2020년 10월 학력평가 16번

표는 별 ㉠~㉡의 절대 등급과 분광형을 나타낸 것이다. ㉠~㉡ 중 주계열성은 2개, 백색 왜성과 초거성은 각각 1개이다.

별	절대 등급	분광형
㉠	+12.2	B1
㉡	+1.5	A1
㉢	-1.5	B4
㉣	-7.8	B8

㉣. 광도 계급의 숫자는 ㉡이 ㉣보다 크다. (O)

- 별의 종류를 구분하기 위해서는 태양과 비교하자.
 ㉠은 태양보다 광도가 작고 표면 온도가 높으므로 백색 왜성이다. ㉡은 태양보다 광도가 크고 표면 온도가 높으므로 주계열성이다. ㉢은 태양보다 광도가 크고 표면 온도가 높으므로 주계열성이다. ㉣은 태양보다 광도가 훨씬 크고 표면 온도가 높으므로 초거성이다.
 이때, 광도 계급은 초거성이 I, 거성이 III, 주계열성이 V, 백색 왜성이 VII이다.
 따라서 광도 계급의 숫자는 주계열성인 ㉡이 초거성인 ㉣보다 크다.
- 이처럼 별의 물리량을 보고 별의 종류를 판단할 수 있어야 한다. 또한, 별의 종류에 따른 광도 계급도 암기할 수 있도록 하자.

② H-R도에 직접 나타내보기

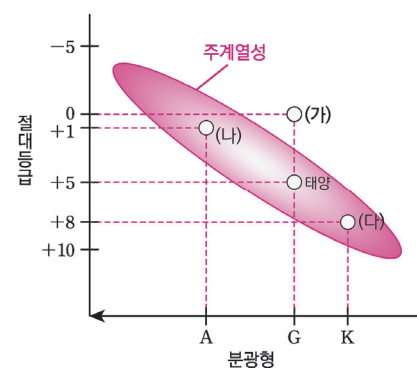
2021학년도 수능 9번

표는 별 (가), (나), (다)의 분광형과 절대 등급을 나타낸 것이다.

별	분광형	절대 등급
(가)	G	0.0
(나)	A	+1.0
(다)	K	+8.0

㉣. (가)의 중심핵에서는 주로 양성자 · 양성자 반응(p-p 반응)이 일어난다. (X)

- (가), (나), (다)의 별을 H-R도에 나타내어 별의 종류를 찾아보자. (가)는 태양과 분광형이 같지만 광도가 더 크므로 거성이다. 거성은 중심핵에서 p-p 반응이 일어나지 않는다.
- 오른쪽 그림과 같이 별의 물리량을 보고 H-R도에 표시해보는 연습을 하자. 이때 항상 태양의 위치를 고정해두고 다른 별을 찾을 수 있도록 하자.
- 태양의 표면 온도는 약 5800 K(G형), 절대 등급은 +4.8이다.



[기출 문제로 알아보는 유형별 정리]

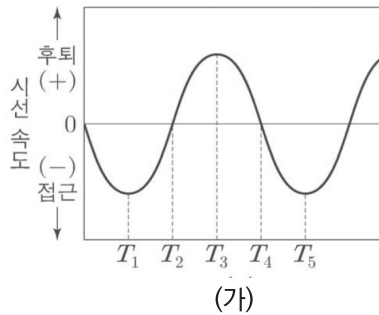
[시선 속도 변화]

1 시선 속도 변화

① 시선 속도 변화를 통해 별과 행성의 위치 파악하기

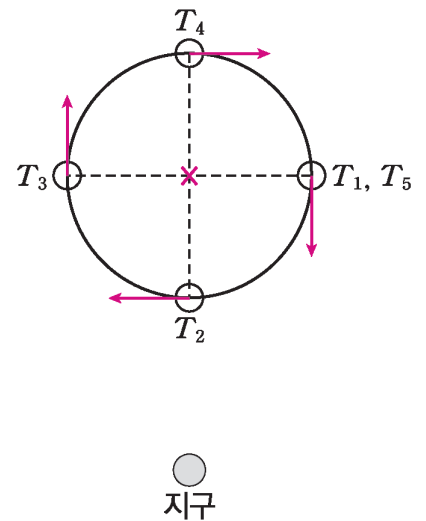
2019학년도 9월 모의평가 18번

그림 (가)와 (나)는 어느 외계 행성에 의한 중심별의 시선 속도 변화와 겉보기 밝기 변화를 관측하여 각각 나타낸 것이다.



ㄴ. (가)에서 지구로부터 중심별까지의 거리는 T_2 일 때가 T_3 일 때보다 가깝다. (O)

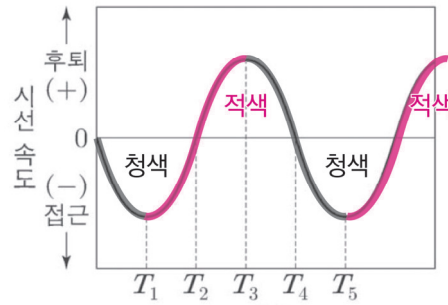
- (가) 자료를 통해 중심별의 시선 속도 변화를 확인할 수 있다. 이때, T_1 시기에는 가장 빠른 속도로 접근하므로 청색 편이가 나타나고, T_3 시기에는 가장 빠른 속도로 후퇴하므로 적색 편이가 나타난다. 따라서 나머지 시간을 오른쪽 그림과 같이 나타낼 수 있다.
그러므로 지구로부터 중심별까지의 거리는 T_2 일 때가 T_3 일 때보다 가깝다.
- 위 자료와 같이 시선 속도와 시각을 주면 각 시각에 해당하는 별의 위치를 찾아 그려둘 수 있도록 하자.
- 시선 속도 변화 그래프를 통해 별과 행성의 주기를 파악할 수 있음을 이해하자.
- 별과 행성은 공통 질량 중심을 기준으로 정반대에 있다는 것을 기억하자.



지구

▲ 시선 속도 변화에 따른 별의 위치

- 방금 확인한 문제를 조금 더 깊게 탐구해보자.



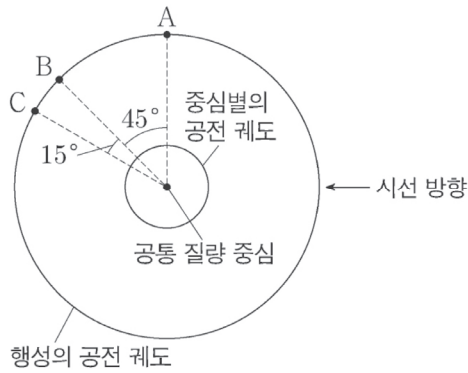
- 적색 편이는 시선 속도가 (+), 도플러 효과가 적색으로 이동했을 때를 의미한다.
- 청색 편이는 시선 속도가 (-), 도플러 효과가 청색으로 이동했을 때를 의미한다.
- 적색 편이와 청색 편이는 λ_0 (기준 파장)을 기준으로 (+)인지 (-)인지를 나타내는 것이지 단순히 파장이 길어진다고 적색 편이인 것이 아니다.
- 즉 적색 편이 구간에서도 파장이 감소하는 구간이 나타날 수 있으며, 청색 편이 구간에서도 파장이 증가하는 구간이 나타날 수 있다.
 위 그래프에서 붉은색으로 표현한 부분은 파장이 길어지는 기간이며, 검정색으로 표현한 부분은 파장이 짧아지는 기간이다.

2 시선 속도와 공전 속도는 다르다.

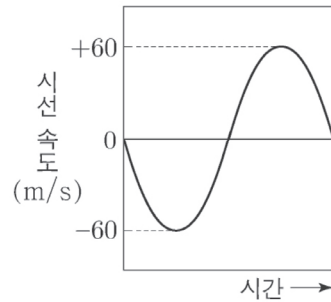
① 각도에 따라 변화하는 중심별의 시선 속도

2023학년도 6월 모의평가 20번

그림 (가)는 중심별과 행성이 공통 질량 중심에 대하여 공전하는 원 궤도를, (나)는 중심별의 시선 속도를 시간에 따라 나타낸 것이다. 행성이 A에 위치할 때 중심별의 시선 속도는 -60m/s 이고, 행성의 공전 궤도면은 관측자의 시선 방향과 나란하다.



(가)



(나)

ㄷ. 중심별의 시선 속도는 행성이 B를 지날 때가 C를 지날 때의 $\sqrt{2}$ 배이다. (O)

- 행성이 A에 위치할 때 중심별의 시선 속도는 -60m/s 이므로 별은 행성이 A에 위치할 때 청색 편이가 나타난다. 자료에 나타난 행성의 위치를 보고 중심별의 위치를 아래와 같이 나타내자. 정확히 공통 질량 중심을 기준으로 반대편에 별이 위치한다.

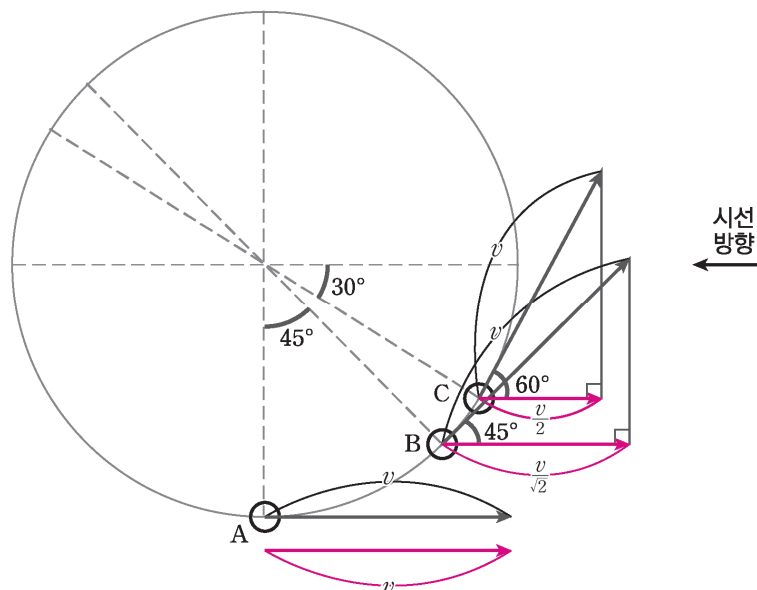
이때, 별이 A, B, C 위치에 있을 때 중심별의 공전 속도(v)는 변하지 않지만 시선 속도는 변화한다. A 위치에 있을 때 별의 시선 속도는 공전 속도와 같으므로 v 이다.

B 위치에서 별의 시선 속도는 $v \cos 45^\circ = \frac{v}{\sqrt{2}}$ 이다.

C 위치에서 별의 시선 속도는 $v \cos 60^\circ = \frac{v}{2}$ 이다.

따라서 중심별의 시선 속도는 B가 C의 $\sqrt{2}$ 배이다.

- 다음과 같이 중심별의 위치에 따라 시선 속도가 다르게 나타난다는 것을 반드시 기억하자.
- 주로 특수각으로 별의 위치를 제시하므로 특수각과 삼각비에 대한 내용을 숙지하도록 하자.



4. 우주의 가속 팽창

(1) 가속 팽창 우주론의 정립

빛의 속도는 유한하므로 멀리 있는 별과 은하를 바라본다는 것은 과거의 우주를 바라보는 것과 같다.

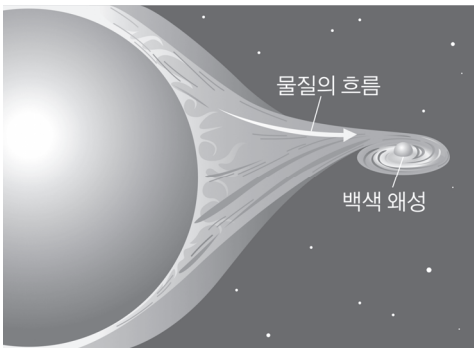
우리는 허블 법칙을 통해 대부분의 은하는 서로에 대해서 멀어지고 있다는 것을 알았다. 만약 어떤 은하가 과거보다 빠르게 멀어지고 있다면 우주는 가속 팽창하고 있다는 것을 의미할 것이다.

백색 왜성은 주변의 별들의 물질을 흡수하다가 특정 질량 이상을 넘어가게 되면 중력을 이기지 못하고 폭발해버리는데 항상 일정한 질량 값에서 폭발하므로 이때 방출되는 광도는 항상 같다. 이때 폭발한 별을 Ia형 초신성이라 한다.

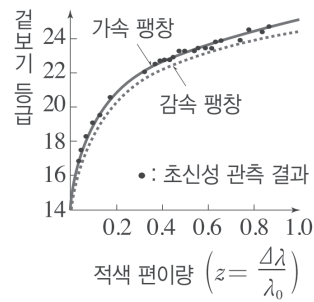
Ia형 초신성은 밝기가 최대일 때 광도(절대 등급)가 항상 일정하므로 멀리 있는 외부 은하의 거리 측정에 이용되며 거리에 따른 겉보기 등급을 분석하여 우주의 팽창 속도를 알아낼 수 있다. (Ia형 초신성의 최대 밝기는 약 -19.3 등급으로 일정하다.)

우주를 구성하는 물질의 중력에 의해서 우주의 팽창 속도는 감소할 것이라고 예상했다. 그러나 1998년 수십 개의 Ia형 초신성 관측 자료를 분석한 결과 우주의 팽창 속도는 점점 증가하고 있다는 것을 알아냈다.

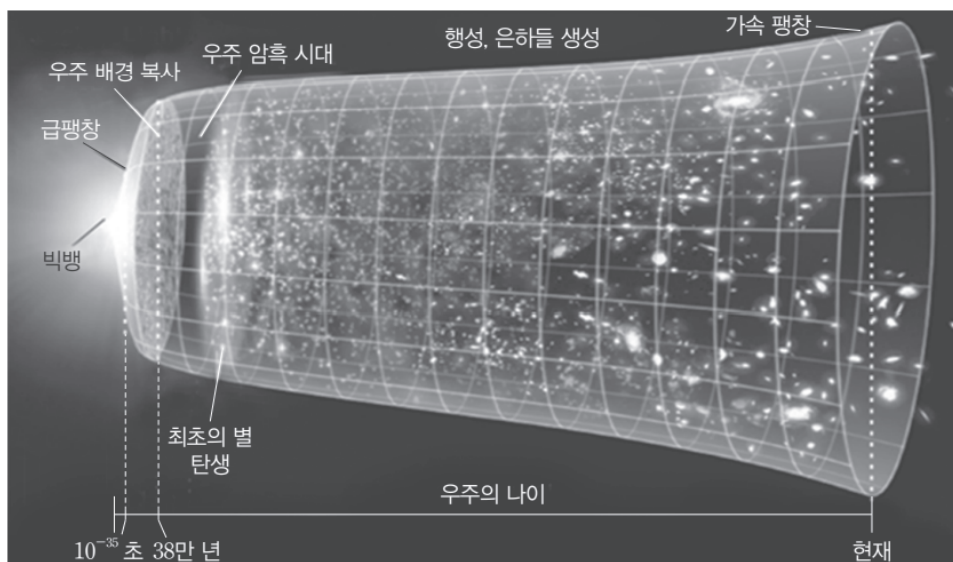
만약 과학자들의 예상처럼 우주가 감속 팽창을 한다면 등속 팽창을 할 때에 비해서 겉보기 밝기는 덜 감소해야 할 것이다. 그러나 관측 결과 Ia형 초신성의 밝기는 더 감소하고 있었다. 따라서 현재 우주는 과거보다 더 빠르게 팽창하는 가속 팽창 우주라는 것을 밝혀내었다.



▲ Ia형 초신성의 생성



▲ 가속 팽창 우주



▲ 빅뱅 이후 현재까지 우주의 큰 사건들

+ 시야 넓히기 : Ia형 초신성의 형성 과정

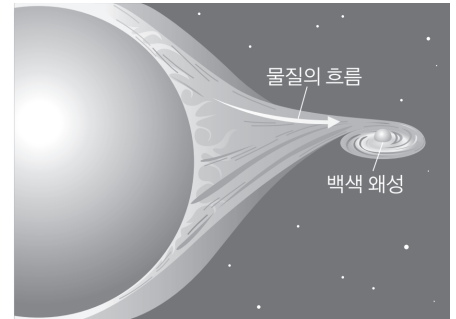
Ia형 초신성은 백색 왜성의 폭발로 인해 형성된다. 백색 왜성은 질량이 클수록 더 큰 중력으로 인해 크기가 작아져 압축된다.

이때 압축될 수 있는 질량의 최대 한계는 태양 질량의 약 1.44배이다.

만약 백색 왜성 주위에 거성과 같이 많은 물질을 방출하는 별이 있다면 백색 왜성은 이 물질들을 흡수하여 질량이 커진다. 이때 흡수를 반복하다 태양 질량의 1.44배 이상이 되면 한계를 이기지 못하고 붕괴되면서 폭발하게 된다. 이렇게 폭발하는 별이 바로 Ia형 초신성인 것이다.

따라서 **항상 거의 비슷한 질량(태양 질량의 1.44배)에서 폭발하기 때문에**

우주에 존재하는 Ia형 초신성은 항상 같은 광도를 가지게 되는 것이다. 이를 이용해 우리는 우주가 가속 팽창한다는 사실을 밝혀내게 됐다.



다음은 우리은하와 외부 은하 A, B에 대한 설명이다. 세 은하는 일직선상에 위치하며, 허블 법칙을 만족한다.
(단, 허블 상수는 70km/s/Mpc 이고, 빛의 속도는 $3 \times 10^5\text{km/s}$ 이다.)

- 우리은하에서 A까지의 거리는 20Mpc 이다.
- B에서 우리은하를 관측하면, 우리은하는 2800km/s 의 속도로 멀어진다.
- A에서 B를 관측하면, B의 스펙트럼에서 500nm 의 기준 파장을 갖는 흡수선이 507nm 로 관측된다.

㉔. A와 B는 동일한 시선 방향에 위치한다. (X)

- 동일한 시선 방향에 위치함을 알기 위해서는 은하 사이의 관계를 파악해야 한다.

은하 A와 우리은하 사이의 거리는 20Mpc 이다.

은하 B의 후퇴 속도가 2800km/s 이고 허블 상수는 70km/s/Mpc 이므로

은하 B의 거리는 $\frac{2800\text{km/s}}{70\text{km/s/Mpc}} = 40\text{Mpc}$ 이다. 은하 A에서 은하 B를 관측할 때 파장을 알려주었으므로

후퇴 속도를 계산하면 $3 \times 10^5 \times \frac{7}{500} = 4200, 4200\text{km/s}$ 다.

따라서 허블 상수를 이용해 A와 B 은하 사이의 거리를 구하면 $\frac{4200\text{km/s}}{70\text{km/s/Mpc}} = 60\text{Mpc}$ 이다.

세 은하는 일직선상에 위치하므로 구한 거리를 이용해 은하의 위치를 나타내면 아래와 같다.

A와 B는 우리은하를 기준으로 서로 반대 방향에 위치한다.

- 이처럼 발문에서 세 은하는 일직선상에 위치한다고 했으나 자료에서 은하들 사이의 그림은 주어지지 않았으므로 그림을 그려 은하 사이의 관계를 파악할 준비를 해야 한다.

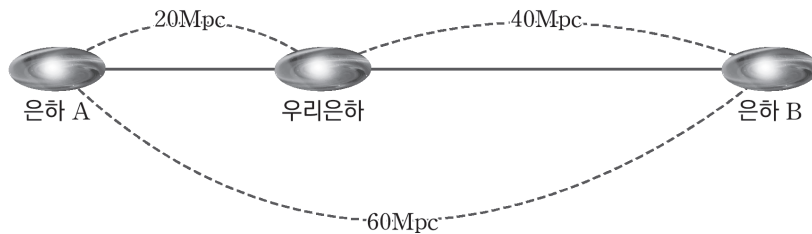
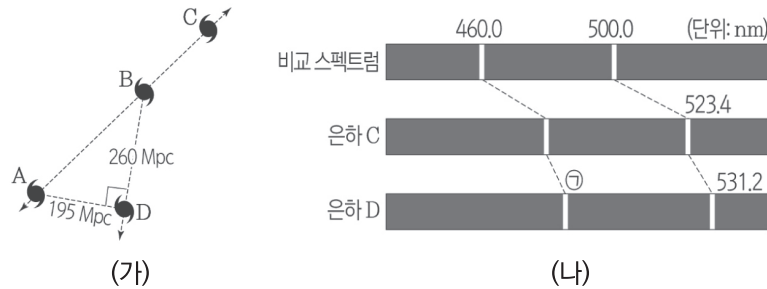


그림 (가)는 은하 A~D의 상대적인 위치를, (나)는 B에서 관측한 C와 D의 스펙트럼에서 방출선이 각각 적색 편이 된 것을 비교 스펙트럼과 함께 나타낸 것이다. A~D는 동일 평면상에 위치하고, 허블 법칙을 만족한다. (단, 광속은 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 이다.)



ㄷ. A에서 C까지의 거리는 520Mpc이다. (O)

- A와 C 사이의 거리를 알기 위해 A와 B 사이의 관계부터 파악하자.

은하 A, B, D의 관계는 3:4:5 피타고라스 정리의 특수비이다.

따라서 은하 A와 B 사이의 거리는 325Mpc이다.

은하 B와 C 사이의 거리는 (나)를 이용해야 한다.

비교 스펙트럼 500nm를 이용해 후퇴 속도를 구하면 다음과 같다.

B에서 바라본 C와 D의 파장 변화량은 23.4 : 31.2이다.

따라서 파장 변화량은 거리에 비례하므로

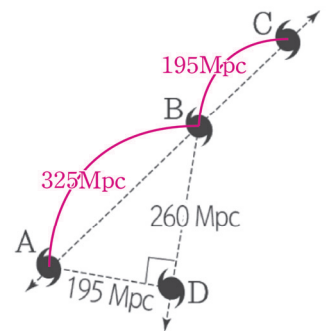
$$23.4 : 31.2 = X : 260 \text{이다.}$$

이를 이용해 B와 C 사이의 거리를 구하면 $X = 195 \text{ Mpc}$ 이다.

따라서 A와 C 사이의 거리는 $325 \text{ Mpc} + 195 \text{ Mpc} = 520 \text{ Mpc}$ 이다.

- 이처럼 허블 법칙을 만족하여 값이 비례함을 반드시 이용해야 하는 문제가 있음을 알아두자. 만약, 계산을 이용해 문제를 해결하려 했으면 오랜 시간이 걸렸을 것이다.

또한, 위 자료와 같이 은하들 사이의 거리가 나와있다면 특수비가 존재하는지 여부를 먼저 파악하도록 하자.



추가로 물어볼 수 있는 선지 해설

- 허블 법칙을 통해 멀리 있는 은하일수록 더 빨리 멀어지고 적색편이 값이 크게 나타난다는 것을 알아냈다.
- 예를 들어 은하의 후퇴 속도가 3000 km/s 이고, 600 nm 인 기준 파장과 700 nm 인 기준 파장이 있다면 600 nm 인 기준 파장은 606 nm 로 관측, 700 nm 인 기준 파장은 707 nm 로 관측된다.
따라서 한 은하를 바라볼 때 기준 파장이 다르다면 파장 변화량은 다르게 나타나야 한다.
- 허블 법칙과 후퇴 속도 공식을 이용해 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

$$\text{후퇴 속도} \propto \text{파장 변화량} (\text{기준 파장이 동일할 때}) \propto \text{은하까지의 거리} \propto \text{적색편이량} \left(\frac{\text{파장 변화량} (\Delta\lambda)}{\text{원래 파장} (\lambda)} \right)$$

Theme 08 - 3 우주의 구성 물질

2023학년도 수능 지I 18번

표 (가)는 외부 은하 A와 B의 스펙트럼 관측 결과를, (나)는 우주 구성 요소의 상대적 비율을 T_1 , T_2 시기에 따라 나타낸 것이다. T_1 , T_2 는 관측된 A, B의 빛이 각각 출발한 시기 중 하나이고, a, b, c는 각각 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지 중 하나이다.

은하	기준 파장	관측 파장
A	120	132
B	150	600

(단위 : nm)

(가)

우주 구성 요소	T_1	T_2
a	62.7	3.4
b	31.4	81.3
c	5.9	15.3

(단위 : %)

(나)

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 빛의 속도는 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 이다.)

<보 기>

- ㄱ. 우리은하에서 관측한 A의 후퇴 속도는 3000 km/s 이다.
- ㄴ. B는 T_2 시기의 천체이다.
- ㄷ. 우주를 가속 팽창시키는 요소는 b이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

추가로 물어볼 수 있는 선지

1. 나선 은하의 실제 회전 속도가 광학적으로 관측 가능한 물질을 통해 예상한 회전 속도와 다른 이유는 암흑 에너지 때문이다. (O , X)
2. 암흑 물질은 전자기파로 관측할 수 없다. (O , X)
3. 우주가 팽창할수록 보통 물질의 양은 계속해서 감소하고 있다. (O , X)

정답 : 1. (X), 2. (O), 3. (X)

01 2023학년도 수능 지 I 18번

KEY POINT #우주 구성 요소의 비율, #후퇴 속도, #가속 팽창

문항의 발문 해석하기

은하의 스펙트럼 관측을 통해 적색 편이 하는 은하를 찾을 수 있어야 한다. 상대적인 시간에 따라 우주 구성 요소가 어떤 식으로 변화하는지 떠올려야 한다.

문항의 자료 해석하기

은하	기준 파장	관측 파장
A	120	132
B	150	600

(단위 : nm)

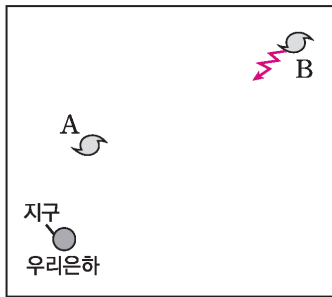
우주 구성 요소	T_1	T_2
a	62.7	3.4
b	31.4	81.3
c	5.9	15.3

(단위 : %)

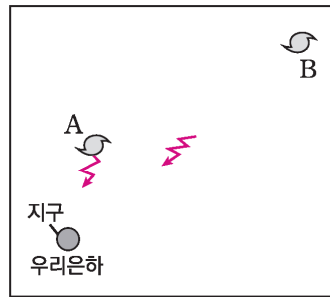
(가)

(나)

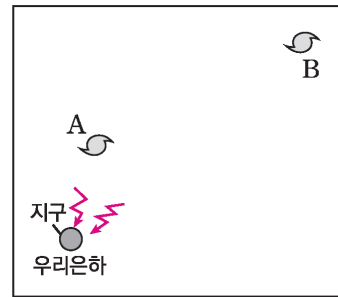
- (가)의 A, B 은하는 모두 기준 파장보다 관측 파장의 값이 크므로 적색 편이 하고 있다는 것을 알아야 한다.
- (나)의 a, b, c의 비율을 보면 T_2 시기 a의 값은 작고, b, c의 값은 컸지만 T_1 시기 a의 값은 크고, b, c 값은 작은 것을 확인할 수 있다. 따라서 T_2 는 T_1 보다 과거이고 시간이 지나며 비율이 커진 a는 암흑 에너지, 비율이 작아진 b, c는 물질이라는 것을 확인할 수 있다.
이때, 두 시기 모두 b는 c보다 비율이 크므로 b는 암흑 물질, c는 보통 물질인 것을 알 수 있다.
- A와 B 중 적색 편이량이 더 큰 은하는 B이다. 따라서 B 은하에서 빛이 출발한 시기는 더 과거인 T_2 시기이다. 그 이유는 우주의 크기는 빛의 속도로 이동해도 매우 먼 거리이므로 더 과거에 출발해야 현재의 우리 은하에 도착할 수 있기 때문이다.
아래의 그림을 통해 이해하도록 하자.



40억 년 전



15억 년 전



현재

TIP.

보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지를 시기에 따라 판단할 때 시간이 지나면서 물질의 비율은 줄고, 에너지의 비율은 늘어난다는 것을 생각해야 한다. 이때, 보통 물질과 암흑 물질끼리의 비율은 일정하다는 것까지 이해하자. 또한, 밤하늘에 보이는 별은 빛의 속도로 매우 먼 시간 동안 날아왔음을 이해하자. 우리가 밤하늘에서 볼 수 있는 별들은 과거에 출발한 빛이 이제 지구에 도달한 것이다.

선지 판단하기

ㄱ 선지 우리은하에서 관측한 A의 후퇴 속도는 3000km/s이다. (X)

A의 후퇴 속도는 파장을 이용해서 계산해보면

$$300000\text{km/s(광속)} \times \frac{12(\text{파장 변화량})}{120(\text{기준 파장})} = 30000\text{km/s이다.}$$

ㄴ 선지 B는 T_2 시기의 천체이다. (O)

A보다 B의 적색 편이량이 더 크다. 따라서 더 멀리 있는 천체임을 의미한다. 더 과거에 출발한 B 은하의 빛이 이제 도달하므로 B는 T_2 시기의 천체에 해당한다.

ㄷ 선지 우주를 가속 팽창시키는 요소는 b이다. (X)

b는 암흑 물질이다. 암흑 물질은 질량이 있으므로 중력으로 작용하여 우주를 감속 팽창시키는 요소이다. 우주를 가속 팽창시키는 요소는 암흑 에너지로, 척력으로 작용한다.

기출문항에서 가져가야 할 부분

1. 시간에 따른 우주의 구성 요소를 이해하기
2. 후퇴 속도 공식을 이용하여 은하의 후퇴 속도 계산하기
3. 멀리 있는 천체의 빛은 더 오랜 시간에 걸쳐 관측자에게 도달함을 이해하기

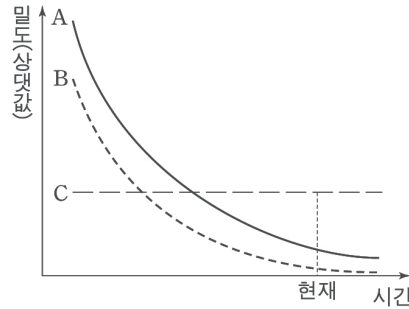
I 기출 문제로 알아보는 유형별 정리

1 우주 구성 요소의 양과 비율

① 우주 구성 요소의 양과 밀도

지II 2017학년도 9월 모의평가 17번

그림은 어느 가속 팽창 우주 모형에서 시간에 따른 우주 구성 요소 A, B, C의 밀도를 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지 중 하나이다.



ㄴ. 우주에 존재하는 암흑 에너지의 총량은 시간에 따라 증가한다. (O)

- 암흑 에너지는 우주의 빈 공간에서 나오는 에너지이다. 따라서 시간이 지날수록 암흑 에너지의 총량은 증가한다.
- 우주의 구성 요소 중 암흑 에너지는 계속해서 총량이 증가한다. 따라서 우주가 팽창하는 만큼 암흑 에너지가 늘어나므로 밀도는 일정하다.
그러나 보통 물질과 암흑 물질의 총량은 변화하지 않는다. 따라서 우주가 팽창하는 만큼 물질의 밀도는 줄어든다. 빅뱅 우주론에 따르면 우주의 물질의 총량은 시간이 지나도 일정해야 하기 때문이다.

② 우주 구성 요소의 비율

2022학년도 6월 모의평가 15번

그림 (가)와 (나)는 현재와 과거 어느 시기의 우주 구성 요소 비율을 순서 없이 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지 중 하나이다.



ㄷ. $\frac{A \text{의 비율}}{C \text{의 비율}}$ 은 (가)일 때와 (나)일 때 같다. (X)

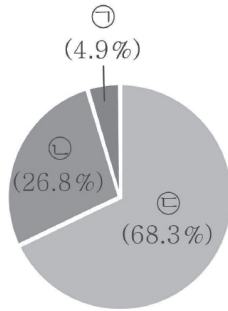
- 과거보다 현재는 보통 물질과 암흑 물질의 비율이 적게 나타나고 암흑 에너지의 비율이 높게 나타난다. 따라서 (가)는 현재, (나)는 과거라는 것과 A는 암흑 물질, B는 보통 물질, C는 암흑 에너지라는 것을 알 수 있다. 이때, $\frac{A \text{의 비율}}{C \text{의 비율}}$ 은 (가)와 (나)일 때 같지 않다.
- 보통 물질과 암흑 물질은 시간이 지나도 총량이 그대로인 반면, 암흑 에너지는 시간이 지나면서 총량이 증가하므로 보통 물질과 암흑 물질의 비율은 줄어들고, 암흑 에너지의 비율은 늘어나는 것이다.

2 암흑 물질 존재의 증거

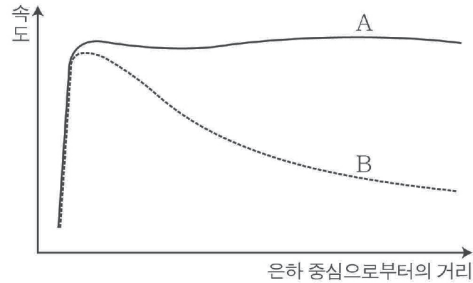
① 나선 은하의 회전 속도

2021년 3월 학력평가 20번

그림 (가)는 현재 우주에서 암흑 물질, 보통 물질, 암흑 에너지가 차지하는 비율을 각각 ㉠, ㉡, ㉢으로 순서 없이 나타낸 것이고, (나)는 우리은하의 회전 속도를 은하 중심으로부터의 거리에 따라 나타낸 것이다. A와 B는 각각 관측 가능한 물질만을 고려한 추정값과 실제 관측값 중 하나이다.



(가)



(나)

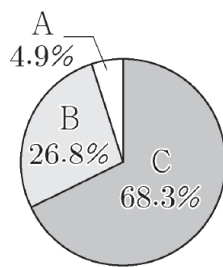
㉡. A와 B의 회전 속도 차이는 ㉢의 영향으로 나타난다. (X)

- 과학자들은 나선 은하의 회전 속도가 은하 중심에서 멀어질수록 느려질 것으로 예측했다. 왜냐하면 **전자기파로 관측해보았을 때 나선 은하 중심부에 질량이 집중되어 있어 중심부에서 멀어질수록 회전 속도는 느려져야 하기 때문이다.** 그러나 실제 관측 결과는 A와 같이 회전 속도가 안과 밖이 거의 비슷하게 나타나는 것이 확인되었다. 이는 우리가 볼 수 있는 은하의 질량보다 보이지 않는 질량이 은하 외곽부에 존재하기 때문이다. 따라서 보이지 않는 물질은 암흑 물질이므로 나선 은하의 회전 속도 차이는 ㉠의 영향으로 나타날 것이다.
- 실제 나선 은하의 회전 속도는 B가 아닌 A라는 것을 반드시 알아두자.

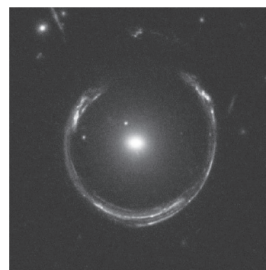
② 중력 렌즈 현상

2023학년도 9월 모의평가 10번

그림 (가)는 현재 우주 구성 요소의 비율을, (나)는 은하에 의한 중력 렌즈 현상을 나타낸 것이다. A, B, C는 각각 암흑 물질, 암흑 에너지, 보통 물질 중 하나이다.



(가)



(나)

㉡. (나)를 이용하여 B가 존재함을 추정할 수 있다. (O)

- 중력 렌즈 현상은 **중력이 시공간을 휘어지게 만들어 빛의 이동 경로를 꺾어버리는 현상이다.** 현재 우주의 구성 요소 중 두 번째로 높은 비율을 가진 B는 암흑 물질이다. 암흑 물질은 보이지는 않지만, 질량을 가진 물체이므로 **중력 렌즈 현상을 통해 암흑 물질의 존재를 추정할 수 있다.**
- 밤하늘의 은하의 밝기가 우리의 예상보다 밝게 나타난다면 암흑 물질이 빛의 경로를 휘어지게 만들어 우리에게 도달하고 있다고 생각할 수 있어야 한다.
- 일반적인 상황에서 중력 렌즈 현상이 나타나는 이유를 이해할 수 있어야 한다.

3 우주 구성 요소의 관측

① ‘암흑’의 의미는 검정색이 아니다.

2022학년도 6월 모의평가 15번

표는 우주 구성 요소 A, B, C의 상대적 비율을 T_1 , T_2 시기에 따라 나타낸 것이다. T_1 , T_2 는 각각 과거와 미래 중 하나에 해당하고, A, B, C는 각각 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지 중 하나이다.

구성 요소	T_1	T_2
A	66	11
B	22	87
C	12	2

(단위 : %)

ㄷ. C는 전자기파로 관측할 수 있다. (O)

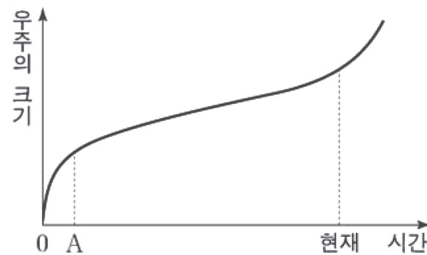
- 과거보다 현재는 보통 물질과 암흑 물질의 비율이 적게 나타나고 암흑 에너지의 비율이 높게 나타난다. 따라서 T_1 시기는 과거, T_2 시기는 미래라는 것과 A는 암흑 물질, B는 암흑 에너지, C는 보통 물질이라는 것을 알 수 있다. 이때 보통 물질은 전자기파로 관측할 수 있다.
- 전자기파라는 것은 가시광선을 포함해 자외선, 적외선, X선 감마선, 전파, 마이크로파 등을 통칭하는 말이다. 따라서 보통 물질은 전자기파로 관측할 수 있다
- 그러나 암흑 물질, 암흑 에너지는 관측할 수 없다. 왜냐하면 두 요소는 전자기파를 방출하지 않기 때문이다. 두 단어 앞에 붙은 ‘암흑’이라는 용어는 검정색이라는 뜻이 아니고 ‘보이지 않는’이라는 뜻으로 이해해야 한다.

4 과거부터 현재까지 우주의 팽창 속도

① 과거에는 감속 팽창, 현재는 가속 팽창

2021학년도 수능 15번

그림은 어느 팽창 우주 모형에서 시간에 따른 우주의 크기 변화를 나타낸 것이다.



ㄱ. A 시기에 우주는 감속 팽창했다. (O)

- 위 그래프에서 우주의 팽창 속도는 각 지점의 기울기를 의미한다. A 지점 주변은 시간이 지나면서 기울기가 감소하고 있으므로 감속 팽창, 현재 주변은 시간이 지나면서 기울기가 증가하고 있으므로 가속 팽창이라고 판단할 수 있는 것이다.
- 우주가 대폭발한 후 현재까지 팽창을 멈추었던 시기는 단 한 번도 없었다.
A 시기에는 암흑 에너지양보다 물질의 영향력이 커 감속 팽창했지만, 시간이 지나며 암흑 에너지양의 영향력이 물질보다 강해지자 가속 팽창을 하게 된 것이다.
- 위 자료에서 팽창 속도는 기울기의 변화로 판단할 수도 있고, 위로 볼록한 형태면 감속 팽창, 아래로 볼록한 형태면 가속 팽창이라는 것도 알아두자.

I 교과서로 알아보는 (O,X) 개념 정리

1.	흑체는 흡수, 방출하는 에너지의 양이 같다.	(O,X)
	YBM p.155	
2.	플랑크 곡선은 흑체의 온도와 흑체 표면에서 방출되는 복사 에너지의 파장별 에너지 분포를 나타낸 자료이다.	(O,X)
	YBM p.155	
3.	U 필터는 보라색 빛을, B 필터는 푸른색 빛을, V 필터는 노란색 빛을 관측했을 때 밝게 관측된다.	(O,X)
	YBM p.156	
4.	고온의 별에서는 흡수선의 수가 많고, 저온의 별에서는 흡수선의 수가 적다.	(O,X)
	YBM p.157	
5.	주계열성에서 거성 단계로 넘어가면서 중심부는 (수축/팽창)하고, 표면은 (수축/팽창)한다.	
	YBM p.165	
6.	수소 핵융합 반응이 일어나기 시작하는 온도는 약 1,000만K이다.	(O,X)
	YBM p.165	
7.	이론적으로 수소 핵융합 반응은 수소 원자핵 6개가 헬륨 원자핵 1개로 변하는 과정이다.	(O,X)
	YBM p.165	
8.	양성자 - 양성자 반응(p-p 반응)은 질량이 작은 주계열성에서 주로 일어나는 핵융합 반응이다.	(O,X)
	YBM p.165	
9.	CNO 순환 반응은 질량이 큰 주계열성에서 주로 일어나는 핵융합 반응이다.	(O,X)
	YBM p.165	
10.	p-p 반응과 CNO 순환 반응의 에너지 생성 비율이 같아지는 주계열성의 중심부 온도는 약 6,000만K이다.	(O,X)
	YBM p.165	
11.	헬륨 핵융합 반응이 일어나는 온도는 약 1억K이다.	(O,X)
	YBM p.165	
12.	이론적으로 헬륨 핵융합 반응은 헬륨 원자핵 3개가 탄소 원자핵 1개로 변하는 과정이다.	(O,X)
	YBM p.165	
13.	초신성 잔해는 초신성의 바깥층을 이루고 있던 대부분 물질이 초신성 폭발 때문에 우주 공간으로 흩어진 물질이다.	(O,X)
	YBM p.167	
14.	태양은 매초 약 6억 톤의 수소를 헬륨으로 전환 시키고 있다.	(O,X)
	YBM p.169	
15.	원자핵의 질량수가 커질수록 핵 사이에 작용하는 전기적 반발력이 커지므로 핵융합 반응에 필요한 온도가 감소한다.	(O,X)
	YBM p.170	

1. O
흑체는 입사한 모든 에너지를 완전히 흡수하고 흡수한 모든 에너지를 완전히 방출하는 이상적인 물체를 말한다.
2. O
플랑크 곡선은 흑체의 온도와 그에 따라 흑체 표면에서 방출되는 복사 에너지의 파장별 에너지 분포를 나타낸 것이다.
3. O
U 필터는 파장이 짧은 보라색의 빛을, B 필터는 푸른색의 빛을, V 필터는 우리 눈에 예민한 노란색의 빛을 잘 통과시킨다. B 등급은 사진 등급과 비슷하고, V 등급은 안시 등급과 비슷하므로 보통 B-V를 색지수로 활용한다.
4. X
고온의 별에서는 흡수선의 수가 비교적 적으나, 저온의 별에서는 흡수선의 수가 증가하여 스펙트럼이 복잡하게 나타난다.
5. 수축/팽창
주계열성이 적색 거성이나 초거성이 되면 바깥층은 팽창하지만, 중심부는 계속 수축한다.
6. O
수소 핵융합 반응이 일어나기 시작하는 온도는 약 1,000만K이다.
7. X
이론적으로 수소 핵융합 반응은 수소 원자핵 4개가 헬륨 원자핵 1개로 변하는 과정이다.
8. O
태양처럼 질량이 작은 주계열성의 중심핵에서는 양성자 - 양성자 반응(p-p반응)이 우세하게 일어난다.
9. O
태양보다 질량이 큰 주계열성의 중심핵에서는 CNO 순환 반응이 우세하게 일어난다.
10. X
p-p반응과 CNO 순환 반응의 에너지 생성 비율이 같아지는 주계열성의 중심부 온도는 약 1,800만K이다.
11. O
중심 온도가 1억 K 이상으로 상승하면 헬륨 원자핵 3개가 탄소 원자핵 1개로 융합하면서 에너지가 발생한다.
12. O
중심 온도가 1억 K 이상으로 상승하면 헬륨 원자핵 3개가 탄소 원자핵 1개로 융합하면서 에너지가 발생한다.
13. O
초신성이 폭발하면 중심부가 중성자로 이루어진 중성자별이 만들어지고, 초신성의 바깥층을 이루고 있던 대부분의 물질은 우주 공간으로 흩어진다. 이렇게 흩어진 물질을 초신성 잔해라고 하는데, 초신성 잔해 속에는 별 내부에서 만들어진 무거운 원소와 초신성 폭발 때 만들어진 무거운 원소들이 포함되어 있다.
14. O
수소 1g이 헬륨 핵으로 전환될 때마다 6.4×10^{11} J의 핵융합 에너지가 방출된다. 태양은 매초 약 4×10^{26} J의 에너지를 우주 공간으로 방출하므로 매초 약 6억 톤의 수소를 헬륨으로 전환시키고 있다고 할 수 있다.
15. X
별의 중심부에서 수소 핵융합 반응으로 수소가 모두 헬륨으로 바뀌면 더이상 에너지가 생성되지 않기 때문에 헬륨 핵은 중력 수축을 하고, 이에 따라 중심부 온도가 점차 상승한다. 중심부 온도가 1억K 정도에 도달하게 되면 이번에는 3개의 헬륨 핵이 융합하여 1개의 탄소 핵을 만드는 헬륨 핵융합 반응이 일어난다. 이를 통해 별의 중심부에는 탄소로 된 새로운 핵이 점점 커진다. 이후에도 여러 가지 무거운 원자핵을 만드는 핵융합 반응이 일어나는데, 원자핵이 무거울수록 핵 사이에 작용하는 전기적 반발력이 더 커서 핵융합 반응에 필요한 온도도 증가한다.