

별의 에너지

학습 목표 별에서 핵융합으로 에너지를 생성하고 빛을 방출하는 원리를 알고, 별빛의 스펙트럼에 기반해 별의 구성 원소를 추리할 수 있다.

유리 공예를 할 때 유리를 녹이면 주황색에 가까운 빛을 내고, 식히면 투명해진다. 녹은 유리가 빛을 내는 까닭은 무엇일까?



원자핵

그림 III-22와 같이 수소 원자핵은 1 개의 양성자로 이루어져 있다. 또 헬륨 원자핵은 2 개의 양성자와 2 개의 중성자로 이루어져 있다. 이처럼 원자핵은 양성자와 중성자로 이루어져 있다.

양성자는 (+)전하를 띠고 중성자는 전기적으로 중성이다. 따라서 원자핵을 이루는 양성자 개수는 원자 번호와 같다. 한편 양성자와 중성자의 질량은 거의 비슷하며, 양성자와 중성자 개수의 합을 원자핵의 질량수라고 한다.

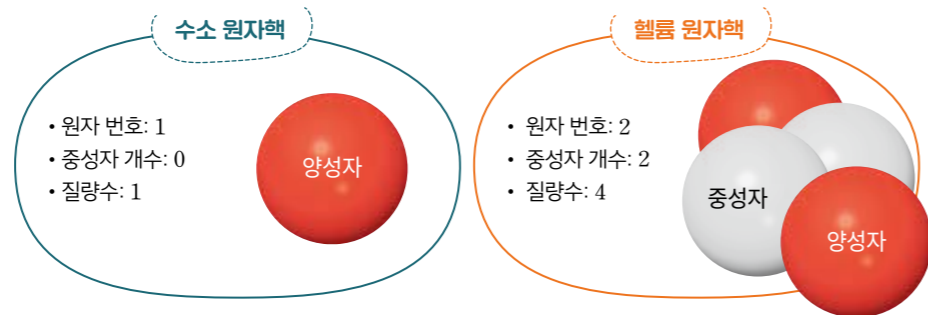
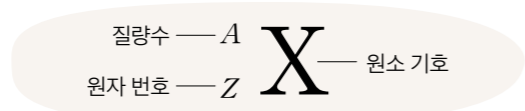


그림 III-22 수소 원자핵과 헬륨 원자핵

원자핵을 표기할 때에는 원소 기호와 함께 원자 번호, 질량수를 나타낸다. 예를 들어 그림 III-22의 수소 원자핵은 ${}^1_1\text{H}$, 헬륨 원자핵은 ${}^4_2\text{He}$ 로 표기한다.



원소를 구분해 주는 원자 번호는 같더라도 중성자 개수가 달라 질량수가 다른 원소를 동위원소라고 한다. 수소(${}^1_1\text{H}$)의 동위원소로 중수소(${}^2_1\text{H}$), 삼중수소(${}^3_1\text{H}$)가 있다.

핵융합

두세 개의 가벼운 원자핵이 융합해 무거운 원자핵이 되는 과정을 핵융합이라고 한다. 핵융합 과정에서 반응 전과 후 총질량수는 보존되지만 실제 질량은 보존되지 않으며, 막대한 에너지가 방출된다. 예를 들어 그림 III-23과 같은 핵융합에서 반응 전후 총질량수는 5로 같지만 총질량은 감소한다.

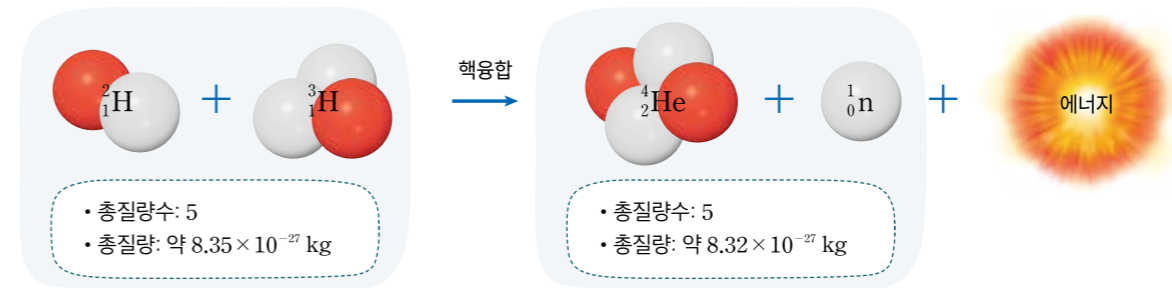
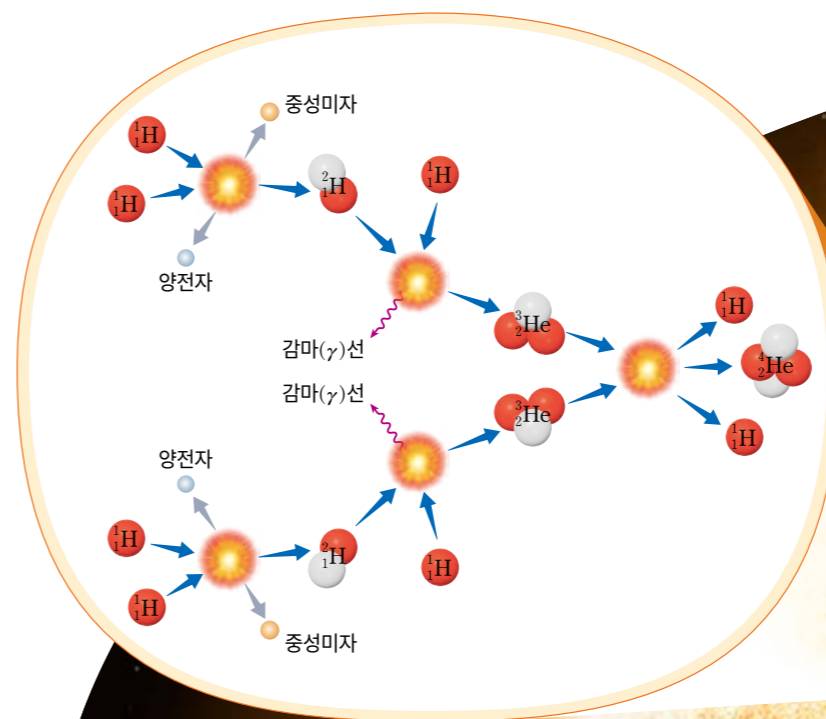


그림 III-23 중수소와 삼중수소의 핵융합 결과 헬륨과 중성자가 만들어지는 반응

핵융합 과정에서 에너지가 방출되는 까닭은 무엇일까? 아인슈타인은 특수 상대성 이론에서 질량과 에너지는 서로 변환될 수 있는 물리량이라는 **질량·에너지 동등성**을 제시했다. 질량·에너지 동등성에 따르면 핵융합 과정에서 줄어든 질량 Δm 에 해당하는 만큼 에너지가 방출되며, 방출되는 에너지는 $E = \Delta mc^2$ 이다.

태양과 같은 별이 에너지를 방출하는 데 있어서 핵융합은 중요한 역할을 한다. 태양은 그림 III-24와 같이 4 개의 수소 원자핵이 몇 단계를 거쳐 헬륨 원자핵이 되는 핵융합을 통해 에너지를 만든다. 태양 중심부에서 1 초당 약 6억 톤의 수소가 핵융합하면서 약 400만 톤의 질량이 감소해 약 4×10^{26} J의 큰 에너지를 방출한다.

그림 III-24 태양 중심부에서 일어나는 핵융합 반응



별이 빛을 방출하는 원리

사람은 체온에 따라 파장이 다른 적외선을 방출한다. 또 가열하여 녹인 뜨거운 유리는 주황색에 가까운 가시광선을 방출한다. 이렇게 물체가 온도에 따라 방출하는 전자기파의 에너지를 **복사 에너지**라고 한다.

별도 마찬가지이다. 별의 중심부에서 일어나는 핵융합 반응으로 막대한 에너지가 방출되며, 이 에너지로 별의 표면 온도가 높아지면 그 온도에 해당하는 복사 에너지를 방출한다.

태양과 같은 별이 반사하는 빛은 자신이 내는 빛에 비하면 무시할 수 있을 정도로 미미하다. 따라서 별은 외부의 빛을 모두 흡수하고 전혀 반사하지 않는 물체인 **흑체**로 볼 수 있다. 흑체는 자신의 온도에 해당하는 전자기파를 방출하는데 이를 **흑체 복사**라고 한다.

그림 III-25는 온도가 다른 흑체로부터 나오는 복사 에너지의 스펙트럼을 조사해 상대적 세기를 파장에 따라 나타낸 것이다. 흑체의 온도 T 가 높을수록 복사 에너지의 상대적 세기가 가장 큰 파장 λ_{max} 가 짧아진다.

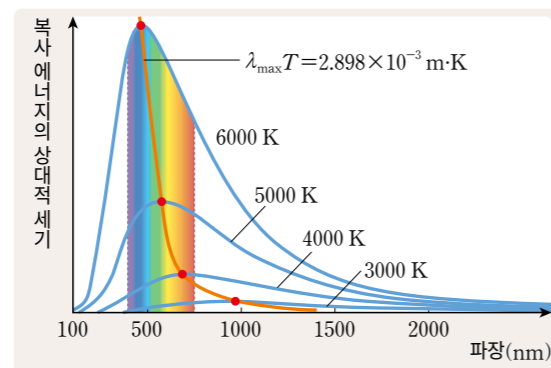


그림 III-25 온도에 따른 흑체 복사 에너지 스펙트럼

태양은 표면 온도가 약 5800 K이다. 따라서 태양은 가시광선 영역에 집중된 복사를 방출한다. 태양보다 온도가 훨씬 높은 별은 복사 에너지의 상대적 세기가 최대인 부분이 가시광선보다 짧은 파장에 분포해 푸른색 빛을 띤다. 반대로 태양보다 온도가 낮은 별은 빨간색이나 주황색 빛을 띤다.

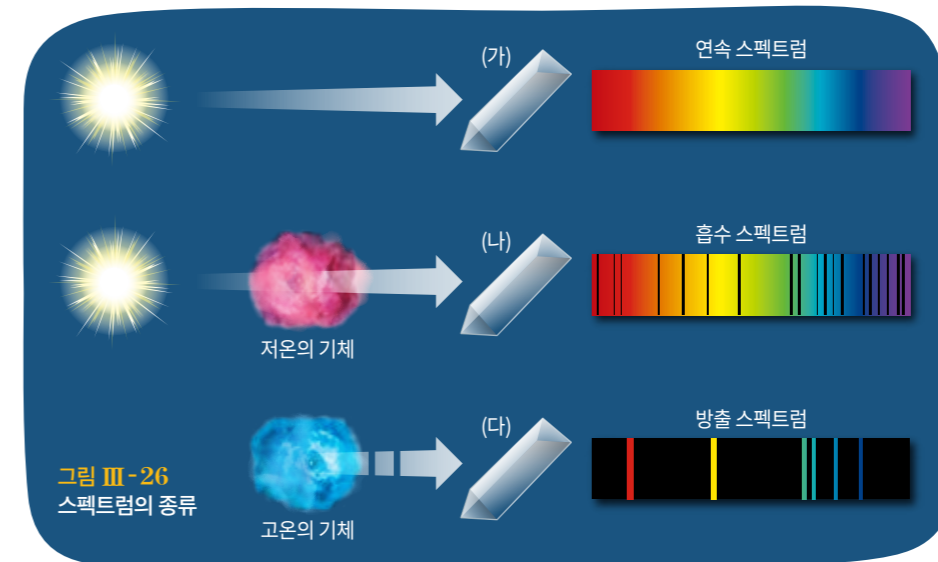
스스로 확인

- 1 가벼운 원자핵들이 융합해 무거운 원자핵이 되는 과정을 ()이라고 하며, 이때 감소한 ()에 해당하는 만큼 에너지를 방출한다.
- 2 표면 온도가 높은 별일수록 별이 방출하는 복사 에너지에서 세기가 가장 큰 빛의 파장은 길어진다. (○, ×)

별빛의 스펙트럼

우리가 별을 보는 것은 그 별이 방출하는 빛을 보는 것이며, 이 빛의 스펙트럼을 분석하면 별과 관련한 정보를 얻을 수 있다.

그림 III-26의 (가)와 같이 고온의 물체가 방출하는 빛이 프리즘을 통과하면 연속 스펙트럼이 나타난다. (나)와 같이 이 빛이 저온의 기체를 통과하면 기체의 구성 원소가 특정 파장의 빛을 흡수하기 때문에 여러 개의 흡수선이 나타나는데 이를 **흡수 스펙트럼**이라고 한다. 만약 (다)와 같이 기체가 고온이면 특정 파장의 빛을 방출하므로 방출선이 나타나는데 이를 **방출 스펙트럼**이라고 한다.



별이 방출하는 빛은 별의 대기층을 통과한다. 이 과정에서 대기층을 구성하는 원소의 전자가 에너지 준위의 차에 해당하는 빛을 흡수하기 때문에 별마다 고유한 흡수선이 나타난다.

한편 흡수선은 원소의 종류에 따라 다른 위치에 나타나는데, 동일한 원소인 경우 그림 III-27과 같이 흡수선이나 방출선이 나타나는 파장은 동일하다.



그림 III-27 수소와 탄소의 스펙트럼

따라서 별빛의 스펙트럼에 나타난 흡수선을 분석하면 별의 구성 성분을 알 수 있다. 과학자들은 태양의 흡수선을 분석해 태양의 대기가 수소, 헬륨, 나트륨 등의 다양한 원소로 구성되어 있음을 알아냈다.

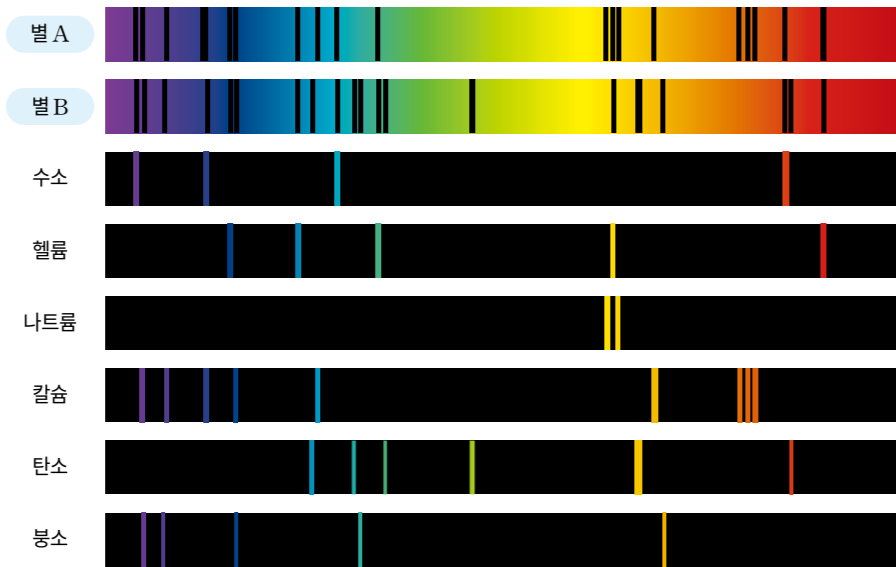
다음 활동을 하면서 별빛의 스펙트럼으로 별의 구성 원소를 추리해 보자.

해보기

문제 해결 능력

별빛의 스펙트럼으로 별의 구성 원소 추리하기

다음은 두 별 A, B에서 오는 빛의 흡수 스펙트럼과 여러 가지 원소의 방출 스펙트럼을 나타낸 것이다.



스펙트럼을 바탕으로 하여 별 A와 별 B의 구성 원소를 추리해 보자.

미시세계에서 일어나는 핵융합은 거대한 별의 온도와 색에 영향을 준다. 이러한 별들은 지구로부터 아주 먼 거리에 있지만, 별의 빛을 통해 별의 온도를, 스펙트럼을 통해 별의 구성 성분을 알아낼 수 있다. 이러한 분석을 통해 인류는 미지의 별과 우주를 더 깊이 이해할 수 있었으며 이는 세계관의 변화로 이어지기도 했다.

스스로 확인

- 1 별빛이 대기를 통과할 때 대기 구성 원소가 에너지 준위 차에 해당하는 빛을 흡수하기 때문에 (방출, 흡수) 스펙트럼이 나타난다.
- 2 어떤 별의 구성 원소에 수소가 포함되어 있다면, 그 별빛의 흡수선은 수소의 방출선과 일치하는 부분을 포함하지 않는다. (O, X)

스스로 정리

공유 '별의 에너지' 단원에서 배운 내용을 주제로 한 노래나 랩 가사를 만들어 공유 플랫폼에 공유해 보자.



한국의 인공 태양 초전도 핵융합 장치

오늘날 세계 여러 곳에서 핵융합 발전을 연구하고 있다. 핵융합 발전은 핵융합 과정에서 발생하는 막대한 에너지를 이용해 전기 에너지를 얻는 발전 방식이다.

1 kg의 핵융합 연료로 생산할 수 있는 전기 에너지의 양은 1000만 kg의 화석 연료가 생산하는 것과 맞먹는다. 심지어 그 과정에서 온실 기체나 위험한 폐기물이 나오지 않기 때문에 핵융합은 미래의 청정에너지로 주목을 받는다.

핵융합이 일어나려면 1억 K 이상인 초고온이 필요하고, 이를 견딜 수 있는 그릇 역할을 하는 핵융합 장치가 필요하다. 한국핵융합에너지연구원에서는 '초전도 핵융합 연구 장치(KSTAR)'로 핵융합 발전에 관한 연구를 하고 있다.

KSTAR에는 '토카막'이라고 하는 도넛 형태의 장치 안에 강한 자기장을 만드는 초전도 전자석을 설치해 초고온 상태를 유지하는 핵융합 장치를 적용했다. 이는 세계 최초로 제작한 토카막형 핵융합 장치로, 장시간 초고온 상태를 유지할 수 있는 기술력을 세계적으로 인정받았다.

KSTAR 내부 진공 용기



KSTAR 주 장치

글쓰기

핵융합 발전이 실용화된다면 우리 생활에 어떤 변화가 일어날지 상상하여 글로 써 보자.

