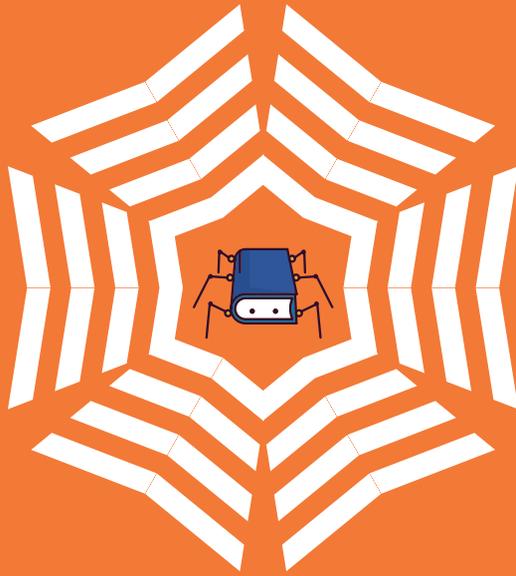


smart is sexy

Orbi.kr



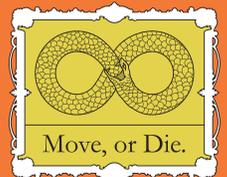
지문구조는 다 걸리는
'고난도'

거미손 LEET

거시 · 미시 분석서



저자 유현주





CONTENTS

고난도 거미손 LEET ① 법	P. 08
고난도 거미손 LEET ② 화학	P.16
고난도 거미손 LEET ③ 생물	P.26
고난도 거미손 LEET ④ 인문	P.32
고난도 거미손 LEET ⑤ 지구과학	P.39
고난도 거미손 LEET ⑥ 생물	P.45
고난도 거미손 LEET ⑦ 물리	P.51
고난도 거미손 LEET ⑧ 인문	P.57
고난도 거미손 LEET ⑨ 경제	P.64
고난도 거미손 LEET ⑩ 인문	P.72
고난도 거미손 LEET ⑪ 경제	P.78
고난도 거미손 LEET ⑫ 인문	P.86
고난도 거미손 LEET ⑬ 과학	P.93
고난도 거미손 LEET ⑭ 물리	P.101
고난도 거미손 LEET ⑮ 생물	P.109
고난도 거미손 LEET ⑯ 기술	P.117
고난도 거미손 LEET ⑰ 경제	P.124
고난도 거미손 LEET ⑱ 경제	P.130
고난도 거미손 LEET ⑲ 인문	P.138
고난도 거미손 LEET ⑳ 인문	P.144

고난도 거미손 LEET ②

[1~3] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

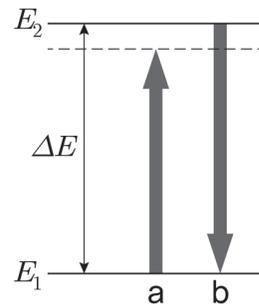
이론적으로 존재하는 가장 낮은 온도는 -273.16°C 이며 이를 절대 온도 0K 라고 한다. 실제로 0K 까지 물체의 온도를 낮출 수는 없지만 그에 근접한 온도를 얻을 수는 있다. 그러한 방법 중 하나가 ‘레이저 냉각’이다.

레이저 냉각을 이해하기 위해 우선 온도라는 것이 무엇인지 알아보자. 미시적으로 물질을 들여다보면 많은 수의 원자가 모인 집단에서 원자들은 끊임없이 서로 충돌하며 다양한 속도로 운동한다. 이때 절대 온도는 원자들의 평균 운동 속도의 제곱에 비례하는 양으로 정의된다. 따라서 어떤 원자의 집단에서 원자들의 평균 운동 속도를 감소시키면 그 원자 집단의 온도가 내려간다. 레이저 냉각을 사용하면 상온(약 300K)에서 대략 200m/s 의 평균 운동 속도를 갖는 기체 상태의 루비듐 원자의 평균 운동 속도를 원래의 약 $1/10000$ 까지 낮출 수 있다.

그렇다면 레이저를 이용하여 어떻게 원자의 운동 속도를 감소시킬 수 있을까? 날아오는 농구공에 정면으로 야구공을 던져서 부딪히게 하면 농구공의 속도가 느려진다. 마찬가지로 빠르게 움직이는 원자에 레이저 빛을 쏘아 충돌시키면 원자의 속도가 줄어들 수 있다. 이때 속도와 질량의 곱에 해당하는 운동량도 작아진다. 빛은 전자기파라는 파동이면서 동시에 광자라는 입자이기도 하기 때문에 운동량을 갖는다. 광자는 빛의 파장에 반비례하는 운동량을 가지며 빛의 진동수에 비례하는 에너지를 갖는다. 또한 빛의 파장과 진동수는 반비례의 관계에 있다. 레이저 빛은 햇빛과 같은 일반적인 빛과 달리 일정한 진동수의 광자만으로 이루어져 있다. 레이저 빛을 구성하는 광자가 원자에 흡수될 때 광자의 에너지만큼 원자의 내부 에너지가 커지면서 광자의 운동량이 원자에 전달된다. 실제로 상온에서 200m/s 의 속도로 다가오는 루비듐 원자에 레이저 빛을 쏘아 여러 개의 광자를 연이어 루비듐 원자에 충돌시키면 원자를 거의 정지시킬 수 있다. 하지만 이때 문제는 원자가 정지한 순간 레이저를 끄지 않으면 원자가 오히려 반대 방향으로 밀려날 수도 있다는 데 있다. 그런데 원자를 하나하나 따로 관측할 수 없고 각 원자의 운동 속도에 맞추어 각 원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수도 없으므로 실제 레이저를 이용해 원자의 온도를 내리는 것은 간단하지 않아 보인다. 이를 간단하게 해결하는 방법은 도플러 효과와 원자가 빛을 선택적으로 흡수하는 성질을 이용하는 것이다.

사이렌과 관측자가 가까워질 때에는 사이렌 소리가 원래의 소리보다 더 높은 음으로 들리고, 사이렌과 관측자가 멀어질 때에는 더 낮은 음으로 들린다. 이처럼 빛이나 소리와 같은 파동을 발생시키는 파동원과 관측자가 멀어질 때는 파동의 진동수가 더 작게 감지되고, 파동원과 관측자가 가까워질 때는 파동의 진동수가 더 크게 감지되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 이때 원래의 진동수와 감지되는 진동수의 차이는 파동원과 관측자가 서로 가까워지거나 멀어지는 속도에 비례한다. 이것을 레이저와 원자에 적용하면 레이저 광원은 파동원이고 원자는 관측자에 해당한다. 그러므로 레이저 광원에 다가가는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 원자*의 진동수보다 더 높게 감지되고, 레이저 광원에서 멀어지는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 더 낮게 감지된다.

한편 정지해 있는 특정한 원자는 모든 진동수의 빛을 흡수하는 것이 아니고 고유한 진동수, 즉 공명 진동수의 빛만을 흡수한다. 이것은 원자가 광자를 흡수할 때 원자 내부의 전자가 특정 에너지 준위 E_1 에서 그보다 더 높은 특정 에너지 준위 E_2 로 옮겨가는 것만 허용되기 때문이다. 이때 흡수된 광자의 에너지는 두 에너지 준위의 에너지 값의 차이 ΔE 에 해당한다.



〈그림〉

그러면 어떻게 도플러 효과를 이용하여 레이저 냉각을 수행하는지 알아보자. 우선 어떤 원자의 집단을 사이에 두고 양쪽에서 레이저 빛을 원자에 쏘되 그 진동수를 원자의 공명 진동수보다 작게 한다. 원자가 한쪽 레이저 빛의 방향과 반대 방향으로 움직이면 도플러 효과에 의해 원자에서 감지되는 레이저 빛의 진동수가 커지는데, 그 값이 자신의 공명 진동수에 해당하는 원자는 레이저 빛을 흡수하게 된다. 이때 흡수된 광자의 에너지는 ΔE 보다 작지만(〈그림〉의 a), 원자는 도플러 효과 때문에 공명 진동수를 갖는 광자를 받아들이는 것처럼 낮은 준위 E_1 에 있던 전자를 허용된 준위 E_2 에 올려놓는다. 그러면 불안

정해진 원자는 잠시 후에 ΔE 에 해당하는 에너지를 갖는 광자를 방출하면서 전자를 E_2 에서 E_1 로 내려놓는다(〈그림〉의 b). 이 과정이 반복되는 동안, 원자가 광자를 흡수할 때에는 일정한 방향에서 오는 광자와 부딪쳐 원자의 운동 속도가 계속 줄어들지만, 원자가 광자를 내놓을 때에는 임의의 방향으로 방출하기 때문에 결국 광자의 방출은 원자의 속도 변화에 영향을 미치지 못하게 된다. 그러므로 원자에서 광자를 선택적으로 흡수하고 방출하는 과정이 반복되면, 원자의 속도가 줄어들면서 원자의 평균 운동 속도가 줄고 그에 따라 원자 집단 전체의 온도가 내려가게 된다.

* 의미상 '원자'가 아니라 '원래'가 맞는 표현

01 윗글의 내용과 일치하는 것은?

- ① 움직이는 원자의 속도는 도플러 효과로 인해 더 크게 감지된다.
- ② 레이저 냉각은 광자를 선택적으로 흡수하는 원자의 성질을 이용한다.
- ③ 레이저 냉각은 원자와 레이저 빛을 충돌시켜 광자를 냉각시키는 것이다.
- ④ 레이저 빛을 이용하여 원자 집단을 절대 온도 0K에 도달하게 할 수 있다.
- ⑤ 개별 원자의 운동 상태를 파악하여 각각의 원자마다 적절한 진동수의 레이저 빛을 쏠 수 있다.

02 윗글의 〈그림〉을 이해한 것으로 적절하지 않은 것은?

- ① 다가오는 원자에 공명 진동수의 레이저 빛을 쏘면 원자 내부의 전자가 E_1 에서 E_2 로 이동한다.
- ② 원자의 공명 진동수와 일치하는 진동수를 갖는 광자는 ΔE 의 에너지를 갖는다.
- ③ 원자가 흡수했다가 방출하는 광자의 에너지는 ΔE 로 일정하다.
- ④ 정지한 원자가 흡수하는 광자의 에너지는 ΔE 와 일치한다.
- ⑤ E_2 에서 E_1 로 전자가 이동할 때 광자가 방출된다.

03 윗글에 따를 때, 〈보기〉에서 공명이 일어나는 것만을 있는 대로 고른 것은?

• 보 기 •

소리굽쇠는 고유한 공명 진동수를 가져서, 공명 진동수와 일치하는 소리를 가해 주면 공명하고, 공명 진동수에서 약간 벗어난 진동수의 소리를 가해 주면 공명하지 않는다. 그림과 같이 마주 향한 고정된 두 스피커에서 진동수 498 Hz의 음파를 발생시키고, 공명 진동수가 500 Hz인 소리굽쇠를 두 스피커 사이의 중앙에서 오른쪽으로 v 의 속도로 움직였더니 소리굽쇠가 공명했다. 그 후에 다음과 같이 조작하면서 소리굽쇠의 공명 여부를 관찰했다. 단, 소리굽쇠는 두 스피커 사이에서만 움직인다.

ㄱ. 소리굽쇠를 중앙에서 왼쪽으로 v 의 속도로 움직였다.

ㄴ. 소리굽쇠를 중앙에서 오른쪽으로 $2v$ 의 속도로 움직였다.

ㄷ. 왼쪽 스피커를 끄고 소리굽쇠를 중앙에서 왼쪽으로 v 의 속도로 움직였다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄷ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄴ, ㄷ

04 빛에 비추어 <보기>의 리튬 원자의 레이저 냉각에 대해 설명한 것으로 적절하지 않은 것은?

• 보 기 •

	루비듐	리튬
원자량(원자의 질량)	85.47	6.94
정지 상태의 원자가 흡수하는 빛의 파장	780 nm	670 nm

- ① 리튬의 공명 진동수는 루비듐의 공명 진동수보다 크다.
- ② 원자가 흡수하는 광자의 운동량은 리튬 원자가 루비듐 원자보다 작다.
- ③ 같은 속도로 움직일 때 리튬 원자의 운동량이 루비듐 원자의 운동량보다 작다.
- ④ 루비듐 원자에 레이저 냉각을 일으키는 레이저 빛은 같은 속도의 리튬 원자에서는 냉각 효과가 없다.
- ⑤ 리튬 원자에 레이저 냉각을 일으킬 때에는 레이저 빛의 파장을 670 nm보다 더 큰 값으로 조정한다.

이론
실제
 이론적으로 존재하는 가장 낮은 온도는 -273.16°C 이며 이를 절대 온도 0K 라고 한다. 실제로 0K 까지 물체의 온도를 낮출 수는 없지만 그에 근접한 온도를 얻을 수는 있다. 그러한 방법 중 하나가 레이저 냉각이다.

Base ①
 레이저 냉각을 이해하기 위해 우선 온도라는 것이 무엇인지 알아보자. 미시적으로(물질을 들여다보면 많은 수의 원자가 모인 집단에서(원자들은 끊임없이 서로 충돌하며 다양한 속도로 운동한다. 이때 절대 온도는 원자들의 평균 운동 속도의 제곱에 비례하는 양으로 정의된다. 따라서 어떤 원자의 집단에서 원자들의 평균 운동 속도 감소시키면 그 원자 집단의 온도도 내려간다. 레이저 냉각을 사용하면 상온(약 300K)에서 대략 200 m/s 의 평균 운동 속도를 갖는 기체 상태의 루비듦 원자의 평균 운동 속도를 원래의 약 $1/10000$ 까지 낮출 수 있다.

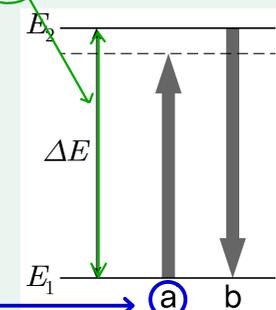
Q
Base ②
A
 그렇다면 레이저를 이용하여 어떻게 원자의 운동 속도를 감소시킬 수 있을까? (나아오는 농구공에 정면으로 야구공을 던져서 부딪히게 하면 농구공의 속도도 느려진다) 마찬가지로(빠르게 움직이는 원자에 레이저 빛을 쏘아 충돌시키면 원자의 속도도 줄어줄 수 있다. 이때 속도를 질량의 곱에 해당하는 운동량도 작아진다. 빛은(전자기파라는 파동이면서 동시에 광자라는 입자이기도 하기 때문에) 운동량을 갖는다. 광자는 빛의 파장에 반비례하는 운동량을 가지며 빛의 진동수에 비례하는 에너지를 갖는다. 또한 빛의 파장과 진동수는 반비례의 관계에 있다. 레이저 빛은 햇빛과 같은 일반적인 빛과 달리 일정한 진동수의 광자로만 이루어져 있다. 레이저 빛을 구성하는 광자가 원자에 흡수될 때 광자의 에너지만큼 원자의 내부 에너지가 커지면서 광자의 운동량이 원자에 전달된다. 실제로 상온에서 200 m/s 의 속도로 다가오는 루비듦 원자에 레이저 빛을 쏘아 여러 개의 광자를 연이어 루비듦 원자에 충돌시키면 원자를 거의 정지시킬 수 있다. 하지만 이때 문제는 원자가 정지한 순간 레이저를 끄지 않으면 원자가 오히려 반대 방향으로 밀려날 수도 있다는 데 있다. 그런데 원자를 하나하나 따로 관측할 수 없고 각 원자의 운동 속도에 맞추어 각 원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수도 없으므로 실제 레이저를 이용해 원자의 온도를 내리는 것은 간단하지 않아 보인다. 이를 간단하게 해결하는 방법은

P
P
S ①
도플러 효과 원자가 빛을 선택적으로 흡수하는 성질을

이용하는 것이다.

Base ③
Base ②
4면경!
Base ④
C
 사이렌과 관측자가 가까워질 때에는 사이렌 소리가 원래의 소리보다 더 높은 음으로 들리고, 사이렌과 관측자가 멀어질 때에는 더 낮은 음으로 들린다. 이처럼 빛이나 소리와 같은 파동을 발생시키는 파동원과 관측자가 멀어질 때는 파동의 진동수가 더 작게 감지되고, 파동원과 관측자가 가까워질 때는 파동의 진동수가 더 크게 감지되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 이때 원래의 진동수와 감지되는 진동수의 차이는 파동원과 관측자가 서로 가까워지거나 멀어지는 속도에 비례한다. 이것을 레이저와 원자에 적용하면(레이저 광원은 파동원)이고(원자는 관측자)에 해당한다. 그러므로 레이저 광원에 다가가는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 원자의 진동수보다 더 높게 감지되고, 레이저 광원에서 멀어지는 원자에게 레이저 빛의 진동수가 더 낮게 감지된다.

한편 정지해 있는 특정한 원자는 모든 진동수의 빛을 흡수하는 것이 아니고 고유한 진동수, 즉 공명 진동수의 빛만을 흡수한다. 이것은 원자가 광자를 흡수할 때 원자 내부의 전자가 특정 에너지 준위 E_1 에서 그보다 더 높은(특정 에너지 준위 E_2 로 옮겨가는 것) 허용되기 때문이다. 이때 흡수된 광자의 에너지는 두 에너지 준위의 에너지 값의 차이 ΔE 에 해당한다.



S ① (그림)
서두라 면경
Q
Hw
 그러면 어떻게 도플러 효과를 이용하여 레이저 냉각을 수행하는지 알아보자. (우선 어떤 원자의 집단을 사이에 두고 양쪽에서 레이저 빛을 원자에 쏘되 그 진동수를 원자의 공명 진동수보다 작게 한다. 원자가 한쪽 레이저 빛의 방향과 반대 방향으로 움직이면(도플러 효과에 의해) 원자에서 감지되는 레이저 빛의 진동수가 커지는데, 그 값이 자신의 공명 진동수에 해당하는 원자는 레이저 빛을 흡수하게 된다. 이때 흡수된 광자의 에너지는 ΔE 보다 작지만(그림)의 a), 원자는(도플러 효과 때문에) 공명 진동수를

갖는 광자를 받아들이는 것처럼 낮은 준위 E_1 에 있던 전자를 허용된 준위 E_2 에 올려놓는다. 그러면 불안정해진 원자는 잠시 후에 ΔE 에 해당하는 에너지를 갖는 광자를 방출하면서 전자를 E_2 에서 E_1 로 내려놓는다. (그림)의

b). 이 과정이 반복되는 동안, 원자가 광자를 흡수할 때에는 일정한 방향에서 오는 광자와 부딪쳐 원자의 운동 속도가 계속 줄어들지만, 원자가 광자를 내놓을 때에는 (임의의 방향으로 방출하기 때문에) 결국 광자의 방출은 원자의 속도 변화에 영향을 미치지 못하게 된다. 그러므로 원자에서 광자를 선택적으로 흡수하고 방출하는 과정이 반복되면, 원자의 속도 ↓ 줄어들면서 원자의 평균 운동 속도 ↓ 줄고 그에 따라 원자 집단 전체의 온도 ↓ 내려가게 된다.

(= 레이저냉각)

* 의미상 '원자'가 아니라 '원래'가 맞는 표현

[1문단]

1) 이론적으로 존재하는 가장 낮은 온도는 $-273.16\text{ }^\circ\text{C}$ 이며 이를 절대 온도 0K 라고 한다. 2) 실제로 0K 까지 물체의 온도를 낮출 수는 없지만 그에 근접한 온도를 얻을 수는 있다. 3) 그러한 방법 중 하나가 '레이저 냉각'이다.

☆ 행동 영역

- 첫 문장은 항상 심플하게!
핵심 주어와 서술어 위주로 기억하기
- 두 번째 문장에서 앞선 정보의 어디를 받아가고 있는지에 주목하기

★ 사고 영역

[1문단 핵심 point]
1~2) 절대 온도
 절대 온도 0K 에 대해서 언급하고 있다.
 $-273.16\text{ }^\circ\text{C}$ (0K)가 이론적으로 존재하는 가장 낮은 온도이나, 실제로는 0K 에 근접하는 온도만 가질 수 있다고 한다.
3) 화제 제시: 레이저 냉각
 물체가 0K 에 근접한 온도를 지닐 수 있도록 하는 방법 중 하나인 '레이저 냉각'을 제시하고 있다.

[2문단]

4) 레이저 냉각을 이해하기 위해 우선 온도라는 것이 무엇인지 알아보자. 5) 미시적으로 물질을 들여다 보면 많은 수의 원자가 모인 집단에서 원자들은 끊임 없이 서로 충돌하며 다양한 속도로 운동한다. 6) 이때 절대 온도는 원자들의 평균 운동 속도의 제곱에 비례하는 양으로 정의된다. 7) 따라서 어떤 원자의 집단에서 원자들의 평균 운동 속도를 감소시키면 그 원자 집단의 온도가 내려간다. 8) 레이저 냉각을 사용하면 상

온(약 300K)에서 대략 200 m/s 의 평균 운동 속도를 갖는 기체 상태의 루비듐 원자의 평균 운동 속도를 원래의 약 $1/10000$ 까지 낮출 수 있다.

☆ 행동 영역

- 원인(C)과 결과(E) - 결과(E) 위주로 독해할 것!
- 물리적 구조(HW)와 논리적 구조(SW) - 융합해서 독해하는 훈련하기!
- Base 구간 - 따로 내용을 끊어서 상세하게 독해한 후, 서두와 연결해서 독해하기
- 비례 & 반비례 - 화살표로 직관적으로 인식할 수 있도록 꼭 표시!

★ 사고 영역

[2문단 핵심 point]
4~6) 설명 구체화: 온도
 단순한 내용 설명이다. 미시적으로 물질을 관찰해보았을 때 원자들이 끊임없이 충돌하고, 충돌하는 속도에 따라 절대온도가 정의된다는 것을 캐치하자. 또한 절대온도가 원자들의 평균 운동 속도의 제곱에 비례한다는 것도 체크해두자.
7,8) 간단한 예시
 6번째 문장과 연결되는 문장이다. 6번째 문장을 이해하면 당연히 파악할 수 있을 것이다. 물체의 온도를 낮추는 '레이저 냉각'을 사용하여 루비듐 원자의 운동 속도를 낮출 수 있다는 것도 같이 이해하자.

[3문단]

9) 그렇다면 레이저를 이용하여 어떻게 원자의 운동 속도를 감소시킬 수 있을까? 10) 날아오는 농구공에 정면으로 야구공을 던져서 부딪히게 하면 농구공의 속도가 느려진다. 11) 마찬가지로 빠르게 움직이는 원자에 레이저 빛을 쏘아 충돌시키면 원자의 속도가 줄어들 수 있다. 12) 이때 속도와 질량의 곱에 해당하는 운동량도 작아진다. 13) 빛은 전자기파라는 파동이면서

동시에 광자라는 입자이기도 하기 때문에 운동량을 갖는다. 14) 광자는 빛의 파장에 반비례하는 운동량을 가지며 빛의 진동수에 비례하는 에너지를 갖는다. 15) 또한 빛의 파장과 진동수는 반비례의 관계에 있다. 16) 레이저 빛은 햇빛과 같은 일반적인 빛과 달리 일정한 진동수의 광자로만 이루어져 있다. 17) 레이저 빛을 구성하는 광자가 원자에 흡수될 때 광자의 에너지만큼 원자의 내부 에너지가 커지면서 광자의 운동량이 원자에 전달된다. 18) 실제로 상온에서 200 m/s의 속도로 다가오는 루비듐 원자에 레이저 빛을 쏘아 여러 개의 광자를 연이어 루비듐 원자에 충돌시키면 원자를 거의 정지시킬 수 있다. 19) 하지만 이때 문제는 원자가 정지한 순간 레이저를 끄지 않으면 원자가 오히려 반대 방향으로 밀려날 수도 있다는 데 있다. 20) 그런데 원자를 하나하나 따로 관측할 수 없고 각 원자의 운동 속도에 맞추어 각 원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수도 없으므로 실제 레이저를 이용해 원자의 온도를 내리는 것은 간단하지 않아 보인다. 21) 이를 간단하게 해결하는 방법은 도플러 효과와 원자가 빛을 선택적으로 흡수하는 성질을 이용하는 것이다.

☆ 행동 영역

- (+a, +b) 추가된 정보, 새롭게 나타난 수식어 - 반드시 꼭! 매우 중요한 정보로 재등장할테니 기억을 못해도 표시하기!
- 원인(C)과 결과(E) - 결과(E) 위주로 독해할 것!
- 비례 & 반비례 - 화살표로 직관적으로 인식할 수 있도록 꼭 표시!
- 부연(이것은, 이처럼 등) - 재진술되는 정보와 추가된 정보들에 주목하며 읽기

★ 사고 영역

[3문단 핵심 point]

9~12) '레이저 냉각' 설명 ①

10번째 문장은 농구공을 예시로 들어 레이저 냉각을 설명하고 있다. 농구공이 날아가다가 부딪혔을 때

속도가 감소한다는 것과 연결지어, 11번째 문장에서는 원자와 빛을 충돌시켜서 원자의 운동 속도를 감소시키는 것을 설명하고 있다. 12번째 문장은 간단한 정보 이해를 요하고 있다.

13~15) 설명 구체화

빛의 성질 중 운동량과 연결지어 '파동'과 '광자'를 언급하고 있다. 비례 관계가 다수 등장하므로 헷갈리지 않도록 메모해두는 것이 좋다. 운동량과 에너지 또한 구분되는 개념이므로 구분해두는 것이 좋다. (광자, 빛의 파장, 운동량, 빛의 진동수, 에너지)

16~17) '레이저 냉각' 설명 ②

레이저 빛이 일반적인 빛과 다르게 '일정한 진동수'의 광자만 가지고 있다고 한다. 레이저 냉각이 어떻게 이루어지는지에 대한 설명이 점차 진행되고 있으므로 천천히 이해하며 독해해야 한다.

18~20) 설명 구체화 + 문제 상황 등장

8번 문장의 루비듐 원자와 연결하여 원자를 정지시키는 방법에 대해 언급하고 있다. 레이저 빛을 쏘아 원자를 정지시키는 과정 도중 발생하는 문제점이 등장하는데, 원자가 운동방향의 반대로 밀려날 수도 있다는 것이다. ①원자를 하나하나 측정할 수 없다는 점, ②원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수 없다는 점이 '레이저 냉각' 과정을 복잡하게 한다.

21) 해결 방법 제시

도플러 효과 및 원자의 빛의 선택적 흡수가 해결 방법이라고 하므로, 앞으로 이 두 가지에 대해 집중하여 독해하자.

[4문단]

22) 사이렌과 관측자가 가까워질 때에는 사이렌 소리가 원래의 소리보다 더 높은 음으로 들리고, 사이렌과 관측자가 멀어질 때에는 더 낮은 음으로 들린다.

23) 이처럼 빛이나 소리와 같은 파동을 발생시키는 파동원과 관측자가 멀어질 때는 파동의 진동수가 더 작

게 감지되고, 파동원과 관측자가 가까워질 때는 파동의 진동수가 더 크게 감지되는 현상을 도플러 효과라고 한다. 24) 이때 원래의 진동수와 감지되는 진동수의 차이는 파동원과 관측자가 서로 가까워지거나 멀어지는 속도에 비례한다. 25) 이것을 레이저와 원자에 적용하면 레이저 광원은 파동원이고 원자는 관측자에 해당한다. 26) 그러므로 레이저 광원에 다가가는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 원자의 진동수보다 더 높게 감지되고, 레이저 광원에서 멀어지는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 더 낮게 감지된다.

☆ 행동 영역

- 원인(C)과 결과(E) 문장이라면 결과(E) 위주로 독해할 것!
- 부연 및 재진술되는 정보와 추가된 정보들에 주목하며 읽기(이것은, 이처럼 등)
- 문제상황(P) & 해결방안(S) - 해결방안 도출과정에 주목하며 지문의 핵심 논지 파악!

★ 사고 영역

[4문단 핵심 point]

22~24) 화제 제시: 도플러 효과

사이렌 소리와 관측자 간의 거리에 따라 음고가 달라진다는 것을 설명하고 있다. 파동을 발생시키는 파동원과 관측자가 멀어질 때에 파동의 진동수가 작게 감지된다는 것을 통해 진동수가 작을수록 더 낮은 음이 형성된다는 것을 파악할 수 있어야 한다. 이를 도플러 효과라 한다.

25) 비교

레이저 광원을 파동원에, 원자를 관측자에 비유하고 있다.

26) 설명 구체화

25번째 문장과 연결된다. 레이저 광원과 원자의 거리가 가까워질수록 레이저 빛의 진동수가 원자의 것보다 높게 감지된다는 것을 캐치하고, 이와 반대되는 상황에서의 설명도 이해하는 것이 좋다.

[5문단]

27) 한편 정지해 있는 특정한 원자는 모든 진동수의 빛을 흡수하는 것이 아니고 고유한 진동수, 즉 공명 진동수의 빛만을 흡수한다. 28) 이것은 원자가 광자를 흡수할 때 원자 내부의 전자가 특정 에너지 준위 E_1 에서 그보다 더 높은 특정 에너지 준위 E_2 로 옮겨가는 것만 허용되기 때문이다. 29) 이때 흡수된 광자의 에너지는 두 에너지 준위의 에너지 값의 차이 ΔE 에 해당한다.

☆ 행동 영역

- (+a, +b) 추가된 정보, 새롭게 나타난 수식어 - 반드시 꼭! 매우 중요한 정보로 재등장할테니 기억을 못해도 표시하기!
- 예외 - 대괄호로 표시하고 문제풀며 확인하기

★ 사고 영역

[5문단 핵심 point]

27~29) 정지 상황의 원자

지금까지는 원자가 움직이는 상황을 살펴봤는데, 5문단은 정지해 있는 특정한 원자에 관해 설명하고 있다. 고유한 진동수의 빛만을 흡수한다는 것이 특이하다. 이러한 현상 발생의 원인에 대해 설명하고 있고, 그림이 같이 제시되어 있으므로 6문단과 함께 다소 내용 이해가 중요한 포인트이다.

에너지 준위 E_1 에서 더 높은 에너지 준위 E_2 로 전자가 옮겨가는 것만 허용된다는 것을 이해하자. 흡수된 광자의 에너지는 $E_2 - E_1$ 의 값이라고 이해하면 쉽다.

[6문단]

30) 그러면 어떻게 도플러 효과를 이용하여 레이저 냉각을 수행하는지 알아보자. 31) 우선 어떤 원자의 집단을 사이에 두고 양쪽에서 레이저 빛을 원자에 쏘되 그 진동수를 원자의 공명 진동수보다 작게 한다. 32) 원자가 한쪽 레이저 빛의 방향과 반대 방향으로

움직이면 도플러 효과에 의해 원자에서 감지되는 레이저 빛의 진동수가 커지는데, 그 값이 자신의 공명 진동수에 해당하는 원자는 레이저 빛을 흡수하게 된다.

33) 이때 흡수된 광자의 에너지는 ΔE 보다 작지만 (<그림>의 a), 원자는 도플러 효과 때문에 공명 진동수를 갖는 광자를 받아들이는 것처럼 낮은 준위 E_1 에 있던 전자를 허용된 준위 E_2 에 올려놓는다. **34)** 그러면 불안정해진 원자는 잠시 후에 ΔE 에 해당하는 에너지를 갖는 광자를 방출하면서 전자를 E_2 에서 E_1 로 내려놓는다(<그림>의 b). **35)** 이 과정이 반복되는 동안, 원자가 광자를 흡수할 때에는 일정한 방향에서 오는 광자와 부딪쳐 원자의 운동 속도가 계속 줄어들지만, 원자가 광자를 내놓을 때에는 임의의 방향으로 방출하기 때문에 결국 광자의 방출은 원자의 속도 변화에 영향을 미치지 못하게 된다. **36)** 그러므로 원자에서 광자를 선택적으로 흡수하고 방출하는 과정이 반복되면, 원자의 속도가 줄어들면서 원자의 평균 운동 속도가 줄고 그에 따라 원자 집단 전체의 온도가 내려가게 된다.

31~34번째 문장은 한 문장도 빠짐없이 ‘똑바로’ 읽어야 한다. 이 지문의 중요한 부분이다.

원자의 집단을 사이에 두고 / 원자의 공명 진동수보다 작은 진동수의 레이저 빛을 / 양쪽에서 원자에 쏜다. / 원자가 한쪽 레이저 빛의 방향과 반대로 움직이면 / 원자에서 감지되는 레이저 빛의 진동수가 커지는데 / 그 값이 자신의 진동수에 해당하는 원자는 / 레이저를 흡수하게 된다.

그림과 함께 이해하며 33, 34번째 문장을 윗 부분처럼 끊어 읽어 보자. (문장 단위로 이해가 되지 않는 경우에 해당한다.)

35~36) 과정 반복 후의 결과

과정 반복 이후, 원자가 광자를 흡수할 때와 내놓을 때의 결과가 반대로 나오게 된다. 원자의 광자의 선택적 흡수 및 방출 과정이 반복되었을 때, 원자의 평균 운동 속도가 감소함으로써 원자 집단 전체의 온도가 내려가는 결과가 발생하게 되는 것이다. (레이저 냉각)

☆ 행동 영역

- (+a, +b) 추가된 정보, 새롭게 나타난 수식어 - 반드시 꼭! 매우 중요한 정보로 재등장할테니 기억을 못해도 표시하기!
- 물리적 구조(HW) - 지문이나 문제에 그림·표·그래프 등이 없다면, 꼭 그려서 내용을 대응해가며 읽어볼 것
- 원인(C)과 결과(E) - 결과(E) 위주로 독해할 것!

★ 사고 영역

[6문단 핵심 point]

30) 실험 제시

도플러 효과와 레이저 냉각이 어떻게 관련되어 있는지 자세하게 설명을 하는 문단의 앞머리를 열고 있다.

31~34) 실험 과정 제시

정답							
1	②	2	①	3	①	4	②

01

정답해설

② [5문단] 5문단에 의하면 레이저 냉각이 '도플러 효과'와 '원자가 빛을 선택적으로 흡수하는 성질'을 이용한다고 제시되어 있다. 원자가 광자를 선택적으로 흡수하고 방출하는 과정이 반복되면 원자의 평균 운동 속도가 감소함으로써 원자 집단 자체의 온도가 내려가게 된다고 하였으므로, 레이저 냉각이 광자를 선택적으로 흡수하는 원자의 성질을 이용한다는 선지의 내용은 적절하다.

오답해설

- ① [4문단] 4문단에 의하면 도플러 효과를 레이저와 원자에 적용했을 때 레이저 광원은 파동원이고 원자는 관측자에 해당한다고 제시되어 있다. 도플러 효과에 따라, 레이저 광원에 다가가는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 더 높게 감지되고 반대 상황일 경우 더 낮게 감지된다는 것을 알 수 있다. 따라서 도플러 효과에 의해 더 크게 감지되는 것은 원자의 속도가 아니라 빛의 진동수이다.
- ③ [2문단] 2문단을 통해 어떤 원자의 집단에서 원자들의 평균 운동 속도를 감소시켰을 경우 그 원자 집단의 온도가 내려간다는 것을 알 수 있다. 레이저 냉각은 빠르게 움직이는 원자에 레이저 빛을 쏘아 충돌시켜 원자의 속도를 줄이는 방식이므로, 원자와 레이저 빛을 충돌시켜 광자를 냉각시킨다는 것은 적절하지 않은 선지이다. (광자가 아니라 원자를 냉각시키는 것)
- ④ [1문단] 1문단을 통해 레이저 빛을 이용하면 물체의 온도를 절대 온도 0K까지 낮출 수는 없지만 이에 근접한 온도를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.
- ⑤ [3문단] 3문단에서 레이저 냉각은 원자에 레이저 빛을 쏘아 여러 개의 광자를 원자에 충돌시켜 원자를 정지시키는 방법을 이용한다는 것을 언급하고 있다. 또한, 원자를 하나하나 따로 관측할 수 없고 각 원자의 운동 속도에 맞추어 각 원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수 없다는 것이 제시되어 있다. 따라서 개별 원자의 운동 속도 즉 원자의 운동 상태를 파악하여 각각의 원자마다 적절한 진동수의 레이저 빛을 쏠 수 있다는 것은 적절하지 않은 내용이다.

정답/오답의 기준					
문항 번호	논리부정 (상반)	인과 역전	주체 왜곡	논리곱 / 합	오답 / 부재
	A → not A	A → B ←	A&a / B&b → A&b B&a	(and / or) (100% / 예외)	
①				V	
②					
③			V		
④	V				
⑤	V				

02

정답해설

① [6문단] <그림>은 도플러 효과를 이용한 냉각 원리이다. 6문단에서 해당 그림과 관련된 실험 과정을 순서대로 설명하고 있다. 도플러 효과를 이용한 레이저 냉각 원리에 의하면 원자의 공명 진동수보다 작은 진동수의 레이저 빛을 쏘아야 다가오는 원자 내부의 전자가 E1에서 E2로 이동한다. 따라서, 다가오는 원자에 공명 진동수의 레이저 빛을 쏘면 그 값이 원자의 공명 진동수보다 더 크게 감지되어 레이저 빛을 흡수하지 못해 전자가 이동하지 않는다.

오답해설

- ② [5문단] 5문단에 의하면 원자는 공명 진동수의 빛만을 흡수하는데, 원자 내부의 전자는 특정 에너지 준위 E1보다 더 높은 에너지 준위 E2로 옮겨가는 것이 허용된다고 제시되어 있다. 원자의 공명 진동수와 일치하는 진동수를 갖는 광자라면 원자 내부의 전자를 E1에서 E2로 옮기는 ΔE 만큼의 에너지를 갖는다.
- ③ <그림> a처럼 ΔE 보다 작지만, 원자는 도플러 효과로 인해 공명 진동수와 일치하는 진동수를 갖는 광자를 받아들이는 것처럼 전자를 E2로 옮기게 된다. 이후 불안정해진 원자는 전자를 E2에서 E1으로 내려놓으며 광자를 방출하는데, 이 때 광자의 에너지는 ΔE 가 된다. 원자가 일정하게 ΔE 의 에너지를 방출하여 원자의 속도는 감소하고 원자 집단 전체의 온도가 내려가게 되므로, 따라서 원자가 흡수했다가 방출하는 광자의 에너지는 ΔE 로 일정하는 것이 맞다.
- ④ [5문단] 5문단에 의하면 정지한 원자는 공명 진동수의 빛만을 흡수한다는 것을 알 수 있다. 따라서 정지한 원자가 흡수하는 광자의 에너지는 ΔE 이다.
- ⑤ 원자가 광자를 흡수할 때는 원자가 에너지 준위 E1에 위치해 있는 전자를 E2로 올려놓는다. 따라서 E2에서 E1으로 전자가 이동할 때 광자가 방출되는 내용은 적절하다.

정답/오답의 기준

문항 번호	논리부정 (상반)	인과 역전	주체 왜곡	논리곱 / 합	오답 / 부재
	A → not A	A → B ←	A&a / B&b → A&b B&a	(and / or) (100% / 예외)	
①	V				
②					
③					
④					
⑤					

03

정답해설

[해설]

- |소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수 - 스피커의 원래 음파 진동수| 는 속도에 비례

1) 속도가 v일 때 공명함

$$| \text{소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수} - \text{스피커의 원래 음파 진동수} |$$

$$= | \text{소리굽쇠의 공명 진동수} - \text{스피커의 원래 음파의 진동수} |$$

$$= | 500\text{Hz} - 498\text{Hz} | = 2\text{Hz}$$

2) 속도가 2v일 때 공명하지 않음

$$| \text{소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수} - \text{스피커의 원래 음파 진동수} | > 2\text{Hz}$$

$$\rightarrow | \text{소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수} - 498\text{Hz} | > 2\text{Hz}$$

∴ 소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수 < 496Hz or 소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수 > 502Hz

ㄱ. 소리굽쇠의 공명 진동수가 500Hz이므로 소리굽쇠가 음파의 진동수를 500Hz로 감지하면 소리굽쇠는 공명하는데, 소리굽쇠를 중앙에서 오른쪽으로 v의 속도도 움직였더니 소리굽쇠가 공명했다고 <보기>에서 언급하고 있다. 이를 통해 소리굽쇠가 우측 스피커에서 나오는 음파를 498Hz보다 2Hz만큼 더 크게 감지하였다는 것을 알 수 있다. 따라서 같은 방법으로 소리굽쇠를 v의 속도로 왼쪽으로 움직일 때에도 소리굽쇠가 좌측 스피커의 음파를 498Hz보다 2Hz만큼 더 크게 감지하여 500Hz로 감지할 것이다. 소리굽쇠의 공명 진동수와 소리굽쇠가 감지하는 좌측 스피커의 음파의 진동수가 같으므로 소리굽쇠에서 공명이 발생한다.

오답해설

ㄴ. 소리굽쇠를 2v의 속도로 좌우로 움직인다면, |소리굽쇠가 감지하는 음파의 진동수 - 스피커의 원래 음파 진동수| > 2Hz가 됨을 알 수 있다. 그렇다면 소리굽쇠가 왼쪽으로 2v의 속도로 움직일 경우 소리굽쇠가 감지하는 좌측 스피커 음파의 진동수는 500Hz보다 클 것이고, 우측 스피커 음파의 진동수는 500Hz보다 작을 것이다. (소리굽쇠가 오른쪽으로 2v의 속도로 움직일

경우에도 마찬가지이다.) 따라서 소리굽쇠를 중앙에서 어떤 방향으로 움직이든 소리굽쇠의 공명 진동수와 소리굽쇠가 감지하는 좌측 또는 우측 스피커 음파의 진동수가 일치하지 않으므로 소리굽쇠에서 공명이 발생하지 않는다.

ㄷ. 왼쪽 스피커를 끄고 소리굽쇠를 중앙에서 좌측으로 v의 속도로 움직였다는 것은 오른쪽 음파와 더 멀어진다는 것과 동일한 의미이다. 좌측 스피커는 꺾으므로 좌측스피커로부터의 음파의 진동수는 감지하지 못할 것이고, 우측 스피커에서 멀어지는 것이므로 소리굽쇠는 우측 스피커의 음파의 진동수를 498Hz보다 더 작게 감지할 것이다. 따라서 소리굽쇠의 공명 진동수와 소리굽쇠가 감지하는 좌측 스피커 음파의 진동수가 동일하지 않으므로 소리굽쇠에서 공명이 일어날 수 없다.

정답/오답의 기준

문항 번호	논리부정 (상반)	인과 역전	주체 왜곡	논리곱 / 합	오답 / 부재
	A → not A	A → B ←	A&a / B&b → A&b B&a	(and / or) (100% / 예외)	
ㄱ					
ㄴ					V
ㄷ					V

04

정답해설

② 광자의 운동량은 빛의 파장에 반비례하는 관계이다. <보기>에서 정지 상태의 루비돔 원자가 흡수하는 빛의 파장(780nm)과 정지 상태의 리튬 원자가 흡수하는 빛의 파장(670nm)이 나와 있다. 루비돔 원자가 흡수하는 빛의 파장은 리튬 원자가 흡수하는 빛의 파장보다 크므로, 원자가 흡수하는 광자의 운동량은 리튬 원자가 루비돔 원자보다 크다.

오답해설

- ① 정지 상태의 특정 원자가 흡수하는 빛의 진동수가 곧 그 원자의 공명 진동수이다. 그리고 빛의 파장과 진동수는 반비례 관계이므로, 리튬 원자의 공명 진동수가 루비돔 원자의 공명 진동수보다 크다.
- ③ 원자의 운동량이 원자의 속도와 원자의 질량의 곱이라는 것을 알고 있어야 한다. 원자의 운동량은 속도가 같다면 원자의 질량에 비례하는데, 리튬 원자가 루비돔 원자의 질량보다 작다는 것을 통해 리튬 원자와 루비돔 원자가 같은 속도로 움직인다면 질량이 작은 리튬 원자의 운동량이 루비돔 원자의 운동량보다 작을 것임을 추측할 수 있다.
- ④ 원자가 감지하는 빛의 진동수와 원래 빛의 진동수의 차이는 가까워지거나 멀어지는 속도에 비례한다. 만약 루비돔 원자에 레이저 냉각이 발생했다면, 루비돔 원자가 감지하는 빛의 진동수가 루비돔 원자의 공명 진동수와 동일하다는 의미이다. 그리고 루비돔 원자의 공명 진동수가 리튬 원자가 감지하는 빛의 진동

수가 되는데, 반면에 리튬 원자의 공명 진동수는 루비듐 원자의 공명 진동수보다 크다. 즉, 루비듐 원자가 감지하는 빛의 진동수 = 루비듐 원자의 공명 진동수 = 리튬 원자가 감지하는 빛의 공명 진동수 < 리튬 원자의 공명 진동수이다. 따라서 리튬 원자에서는 냉각 효과가 발생하지 않는다.

- ⑤ ①의 해설을 참고하자. 리튬 원자가 레이저 빛을 흡수하려면 레이저 빛의 진동수를 리튬 원자의 공명 진동수보다 작게 해야 하고, 이후에 레이저 냉각이 발생할 것이다. 진동수는 파장과 반비례 관계에 있으므로 리튬 원자에 레이저 냉각을 발생시키기 위해서는 레이저 빛의 파장이 리튬 원자의 공명 파장보다 크게 해야 한다. 레이저 빛의 파장을 670nm보다 더 큰 값으로 조정해야 한다는 선지의 내용이 적절하다.

정답/오답의 기준					
문항 번호	논리부정 (상반) A → not A	인과 역전 A → B —	주체 왜곡 A&a / B&b → A&b B&a	논리곱 / 합 (and / or) (100% / 예외)	오답 / 부재
①					
②	V				
③					
④					
⑤					