

**[1~4] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.**

이론적으로 존재하는 가장 낮은 온도는  $-273.16^{\circ}\text{C}$ 이며 이를 절대 온도 0K라고 한다. 실제로 0K까지 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/s의 평균 운동 속도를 갖는 기체 상태의 루비듐 원자의 평균 운동 속도를 원래의 약 1/0000까지 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.

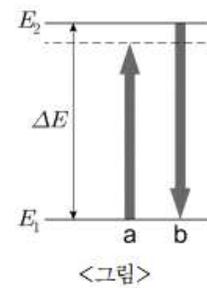
실제로 상온에서 200m/s의 속도로 다가오는 루비듐 원자에 레이저 빛을 쏘아 여러 개의 광자를 연이어 루비듐 원자에 충돌시키면 원자를 거의 정지시킬 수 있다. 하지만 이때 문제는 원자가 정지한 순간 레이저를 끄지 않으면 원자가 오히려 반대 방향으로 밀려날 수도 있다는 데 있다. 그런데 원자를 하나하나 따로 관측할 수 없고 각 원자의 운동 속도에 맞추어 각 원자와 충돌하는 광자의 운동량을 따로 제어할 수도 없으므로 실제 레이저를 이용해 원자의 온도를 내리는 것은 간단하지 않아 보인다. 이를 간단하게 해결하는 방법은 도플러 효과와 원자가 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

[A] 속도에 비례한다. 이것을 레이저와 원자에 적용하면 레이저

광원은 파동원이고 원자는 관측자에 해당한다. 그러므로 레이저 광원에 다가가는 원자에게 레이저 빛의 진동수는 원래의 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  $\Delta E$ 에 해당한다.



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  $\Delta E$ 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  $\Delta E$ 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.

\*에너지 준위: 양자역학계(원자, 분자, 원자핵 등)의 정상상태가 취할 수 있는 에너지값, 또는 그러한 에너지를 지닌 상태 그 자체이다.

1. 다음은 읽글을 읽은 학생의 독서 기록 중 일부이다. 읽글을 참고할 때, '점검 결과'로 적절하지 않은 것은?

◦ 읽기 계획: 1문단을 훑어보면서 뒷부분을 예측하고 질문 만들기를 한 후, 글을 읽고 점검하기

예측 및 질문 내용	점검 결과
◦ 절대 온도의 특성을 알 수 있는 내용이 나올 것이다.	예측과 같음.....①
◦ 실제로 OK까지 물체의 온도를 낮출 수는 없는 이유가 나올 것이다.	예측과 다름.....②
◦ 레이저 냉각의 발전 과정이 나올 것이다.	예측과 같음.....③
◦ 레이저 냉각을 설명하기 위해 특정 이론이 나올 것이다.	질문의 답이 제시됨.....④
◦ 레이저 냉각을 대체할 다른 방법도 나올 것이다.	질문의 답이 언급되지 않음....⑤

2. 읽글에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① 빛의 진동수가 커지면 광자의 운동량도 커진다.
- ② 원자들의 평균 운동 속도가 높아지면 절대 온도도 높아진다.
- ③ 공명 진동수의 빛만을 흡수하는 원자의 속도는 0보다 클 수 없다.
- ④ 빛이 운동량을 갖는 이유는 파동과 원자의 성질을 동시에 갖기 때문이다.
- ⑤ 원자 집단의 온도를 올리려면 원자들의 평균 운동 속도를 증가시켜야 된다.

3. 읽글에 나타난 <레이저 냉각>에 대한 설명으로 가장 적절한 것은?

- ① 레이저 냉각으로 절대 온도 OK을 얻을 수 있다.
- ② 레이저 냉각은 원자와 레이저 빛을 충돌시켜 원자를 냉각시키는 것이다.
- ③ 이동하는 루비듐 원자에 도플러 효과만으로도 충분히 원자의 온도를 내릴 수 있다.
- ④ 루비듐 원자가 정지해 있더라도 도플러 효과를 이용하여 레이저 냉각을 제대로 수행할 수 없다.
- ⑤ 개별 원자의 운동 상태를 파악하여 각각의 원자마다 적절한 진동수의 레이저 빛을 쏠 수 있다.

4. ㉠에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ①  $E_2$ 에서  $E_1$ 로 전자가 이동할 때 광자가 방출된다.
- ② 원자가 흡수했다가 방출하는 광자의 에너지는  $\Delta E$ 로 일정하다.
- ③ 원자가 특정한 방향으로 광자를 방출한다면 원자의 속도 변화에 영향을 줄 것이다.
- ④ 다가오는 원자에 공명 진동수의 레이저 빛을 쏘면 원자 내부의 전자가  $E_1$ 에서  $E_2$ 로 이동한다.
- ⑤ 원자 집단 전체의 온도가 내려가기 위해서는 원자에서 광자를 선택적으로 흡수하고 방출하는 과정이 있어야 한다.

4.[A]를 바탕으로 할 때, <보기>에 대한 이해로 적절하지 않은 것은? [3점]

〈 보 기 〉

갑





을





갑과 을의 직선 거리 사이 정중앙에 사이렌 소리를 내는 경찰차가 있다고 가정해 보자. 이 경찰차는 항상 동일한 파동의 사이렌 소리를 내는 피동원에 해당하며 갑과 을은 사이렌 소리를 듣는 관측자에 해당한다. 이때 갑 혹은 을이 피동원과의 거리에 따라 도플러 효과가 일어나게 된다.

- ① 멈춰있는 경찰차를 향해 갑과 을이 이동하는 속도에 상관없이 갑과 을은 모두 도플러 효과를 체험할 수 있다.
- ② 멈춰있는 을을 향해 갑과 경찰차가 동일한 속도로 계속 이동한다면 갑과 을이 각각 감지하는 진동수의 최대치는 결국 같아지게 된다.
- ③ 멈춰있는 경찰차를 향해 갑과 을이 각각 10km, 30km로 이동한다면 을이 경찰차를 만나기 직전 상황에서 을이 감지하는 진동수는 갑이 감지하는 진동수보다 크다.
- ④ 멈춰있는 갑을 향해 경찰차가 이동하는 상황에서는 도플러 효과가 일어나지만 갑과 경찰차가 동일한 속도로 을을 향한 방향으로 계속 이동한다면 도플러 효과는 일어나지 않는다.
- ⑤ 경찰차와 을이 서로 10km로 마주 향해 이동하는 상황에서 원래의 진동수와 감지되는 진동수의 차이는 갑이 경찰차의 이동 방향과 반대로 20km로 이동하는 상황에서 원래의 진동수와 감지되는 진동수의 차이랑 다르다.

4. 문맥상 의미가 ㉠와 가장 가까운 것은?

- ① 다른 단체와 교류를 가지다.
- ② 자신의 일에 자부심을 가지다
- ③ 서점에서 책을 잔뜩 사 가지고 왔다.
- ④ 한 가지 일을 가지고 너무 오래 끌지 마라.
- ⑤ 짧은 시간에 권력을 가진 그는 거만한 태도를 보였다.