

[1~4] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

온도란 무엇일까? 온도의 단위는 섭씨, 화씨, 절대온도 등으로 다양하다. 그 단위는 기준을 무엇으로 잡을 것인지, 간격은 어떻게 할 것인지에 따라 무한하게 달라진다. 이렇게 온도를 '뜨거운 정도'로 정의하는 것에서 더 나아가서, 그러한 뜨거운 정도, 즉 에너지의 척도를 선형적으로 표현한다는 것을 바탕으로 현대 물리학은 온도를 무질서도인 엔트로피와도 연관시킨다. 그러한 물리학적 온도의 설명으로부터 나오는 통계역학의 가장 강력한 도구 중 하나가 바로 분배함수다. 분배함수를 통해서 물리학자들은 물질의 다양한 특성을 예측할 수 있는 모델을 구성한다.

분배함수에 대한 설명은 계와 열원의 에너지 교환을 통해 이루어진다. 계가 에너지 ϵ 을 가질 확률 $P(\epsilon)$ 은 열원이 접근할 수 있는 미시적 상태들의 수와 계가 접근할 수 있는 미시적 상태들의 수를 곱한 값에 비례한다. 이를 수학적 접근, 구체적으로 미분을 통해 해석하면 에너지가 높은 상태일수록 확률은 낮아짐을 알 수 있다. 정확하게는 계의 에너지를 기준이 되는 열에너지인 $k_B T$ 로 나눈 값이 클수록 확률은 낮아진다. 정확한 계산을 통해서 $P(\epsilon)$ 을 아래처럼 나타낼 수 있다.

$$P(\epsilon) \propto e^{-\frac{\epsilon}{k_B T}}$$

이때 e 와 k_B 는 각각 자연상수와 볼츠만 상수이고, T 는 절대온도이다. 하지만 이렇게만 놓고 보면 확률이 어떤 값에만 비례하는지 알 수 있을 뿐이고, 정확한 확률을 알 수 없다. 따라서 가능한 상태의 확률들의 총합은 1이라는 사실에 따라 가능한 에너지 값, 즉 가능한 상태에 대해 확률들을 모두 더하고, 그에 대한 개별 상태의 비율로서 정확한 확률을 나타낸다. 이때 가능한 상태에 있을 확률의 총합을 분배함수라고 한다.

이러한 분배함수를 적용하는데 생기는 문제는 에너지 구조가 항상 단순하지는 않다는 것이다. 에너지 구조를 알아내기 위해서는 다양한 물리적인 모델을 통해 그것이 사실이라는 것을 밝혀내어야 하고, 그러한 도구들 역시 다양한 한계를 가지고 있기에 섭동 근사를 비롯한 다양한 근사를 사용한다. 하지만 많은 근사 중에 열역학에서 가장 많이 사용되는 것은 제곱 에너지 근사이다. 이 경우 원래 위치로부터의 변위 변화를 x 라고 한다면 에너지는 $E = \frac{1}{2}kx^2$ 과 같이 나타낸다. 이때 k 는 용수철 상수이다. 이는 용수철의 에너지 분포와 같은데, 이것이 일반적으로 유효한 것은 원자 간의 결합이 마치 원자 사이에 용수철이 있어서 원자들을 연결시키는 것처럼 생각할 수 있기 때문이다.

하지만 제곱 에너지 근사로 접근하기 어려운 물질의 성질 역시 존재하며, 대표적인 것이 자성이다. 물질은 자기장에 반응하는 방식에 따라서 분류 가능한데, 그중 강자성체의 경우 자기장이 가해졌을 경우 강한 인력을 받는 물질을 뜻한다. 대표적인 강자성 물질에는 산화철, 코발트 등이 있다. 반자성체의 경우에는 강자성체와는 반대로 자기장이 가해졌을 때만 자성을 가지며, 이때 가해진 자기장에 대해 약한 반발력을 가지는 것을 뜻한다. 다른 자기적 성질로는 상자성이 있다.

상자성의 경우 자기장 안에서는 자기장에 대해 약한 인력을 나타내지만 자기장이 더 이상 가해지지 않으면 원래대로 돌아오는 성질을 뜻한다. 강자성체와 반자성체의 경우 물질마다 정해진 특정 온도보다 높은 온도에 도달할 경우 강자성이나 반자성을 잃고 상자성을 띤다. 이 특정 온도를 퀴리 온도라고 한다. 이 온도에 퀴리 온도라는 이름이 붙은 이유는 자화율과 온도의 관계를 나타내는 퀴리 법칙과 연관된다. 상자성체의 경우 자기화가 되는 정도인 자화율이 절대온도에 반비례하는 퀴리 법칙을 따른다. 강자성체의 경우에는 퀴리 온도보다 높은 온도에서는 상자성체처럼 행동하여 상자성체와 유사하게, 절대온도가 아닌 온도의 역수에 자화율이 비례하는 현상이 나타난다. 이를 퀴리-바이스의 법칙이라고 한다. 이러한 자성과 관련된 특성을 다룰 때는 가능한 에너지 상태가 2개인 것을 이용하여 분배함수를 활용한다. 이는 양자 역학에서 말하는 스핀에서 유래한 것으로, 위 또는 아래 스핀의 두 가지 상태만이 가능하다는 것에서 유도된다. 이러한 2개-에너지 시스템은 자성뿐 아니라 다양한 성질을 설명하는 모델에서 사용되고 있다.

1. 윗글에 대한 설명으로 가장 적절하지 않은 것은?

- ① 특정 대상의 다양한 상태에 대해 설명하고 있다.
- ② 특정 이론을 소개하며 그것의 다양한 응용을 설명하고 있다.
- ③ 기존의 통념을 반박하며 그것의 올바른 해석을 제시하고 있다.
- ④ 기존 이론을 바탕으로 자연에서 나타나는 현상을 예측할 수 있음을 보이고 있다.
- ⑤ 특정 방법의 한계를 지적하며 그에 대한 돌파구를 제시하고 있다.

2. 윗글

? [3점]

- ① 강자성체에게 자기장을 걸었다가 제거하면 자화가 풀린다.
- ② 반자성체에게 자기장을 걸었다가 제거하면 자화가 유지된다.
- ③ 절대온도와 섭씨온도는 기준과 간격이 동일한 온도 척도이다.
- ④ 강자성체에게 자기장을 걸었다가 제거한 후, 큐리 온도보다 높게 열을 가하면 자화된 것이 풀린다.
- ⑤ 큐리 온도 이상의 온도에서 온도에 자화율이 반비례하는 경향을 띤다면 그 물질은 강자성체 또는 상자성체이다.

3. 윗글을 바탕으로 <보기> 를 읽고 물음에 답하십시오.

<보 기>

벽에 왼쪽 끝이 고정된 길이가 3m이고 용수철 상수가 k_B 인 용수철의 다른 쪽 끝에 입자가 고정되어 있다. 입자의 에너지 E 에 대해 확률 $P(E)$ 가 $P(E) \propto 4^{-\frac{E}{k_B}}$ 를 만족한다. 이때 입자가 존재할 수 있는 지점은 벽으로부터 오른쪽으로 1,2,3,4,5(m) 이다. 입자의 에너지의 평균값을 구하십시오.

- ① $\frac{1}{3}k_B$ ② $\frac{11}{32}k_B$ ③ $\frac{6}{17}k_B$
- ④ $\frac{13}{36}k_B$ ⑤ $\frac{7}{19}k_B$

4. 윗글을 바탕으로 <보기> 를 읽고 물음에 답하십시오. [3점]

<보 기>

과학자 갑은 물질 A와 B에 대해서 자화율을 측정하는 실험을 수행하였다. 이때 물질 A와 B의 자화율을 순서 없이 나타낸 값은 절대온도 3200K에서 5c,7c, 절대온도 4000K에서 3c,4c 이다. A가 강자성체이고, B가 상자성체 일 때, A와 B의 5000K에서의 자화율을 적절하게 예측한 것은?(단, A의 큐리 온도 $T_c \ll 3200K$, 큐리 법칙을 따를 정도로 자기장은 충분히 약함. c는 어떤 상수.)

- ① $\begin{cases} A: 1.6c \\ B: 3c \end{cases}$ ② $\begin{cases} A: 1.65c \\ B: 3.2c \end{cases}$ ③ $\begin{cases} A: 1.7c \\ B: 3.4c \end{cases}$
- ④ $\begin{cases} A: 1.75c \\ B: 3.2c \end{cases}$ ⑤ $\begin{cases} A: 1.8c \\ B: 3.2c \end{cases}$

