

[1~4] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

물리학적 대상, 즉 물리계는 주변 환경과 상호작용을 한다. 그 중 하나가 에너지를 주고받는 것인데, 물리계가 주변 환경과 주고받는 에너지의 양은 온도가 높을수록 많아질 수 있다. 온도가 아주 낮을 때는 주변 환경으로부터 받아들이는 에너지의 양이 적으므로 입자는 물리계가 허용하는 양자역학적 에너지 준위 중 가장 낮은 몇 개 정도만 ㉠ 점유하게 된다. 반면 온도가 높아지면 물리계의 에너지도 덩달아 높아지면서 수많은 양자역학적 에너지 준위에 입자들이 분포된다. 주변 환경과의 상호작용이 커지면 에너지 준위 하나하나의 정확한 값은 더 이상 중요하지 않고, 에너지 준위가 불연속적이라는 사실도 큰 의미가 없게 된다. 따라서 거시적 물리계에서는 온도가 낮아야 양자역학적 현상을 발견할 수 있다. 절대온도 4.2K에서 헬륨 기체를 액화하는 데 성공한 카메를링 오너스는 거시적 물리계에서 나타나는 양자역학적 현상을 두 가지 발견하게 되는데, 하나가 초전도 현상이고 다른 하나가 얼지 않는 액체이다.

초전도체는 전기저항이 전혀 없는 전도체를 말한다. 절대영도라는 개념이 정립된 후 물리계에서는 도체의 온도가 절대영도에 가깝게 되었을 때 전기저항이 어떻게 될지에 관심이 집중되었다. 마티센은 도체의 저항값 중 일부는 도체 자체의 내재적 특성으로 결정되지만, 실제 금속처럼 불순물이나 결함이 존재하는 물질은 절대영도에 가깝게 되더라도 전기저항이 남아 있을 것이라고 보았다. 수소 액화에 최초로 성공했던 듀어는 불순물이나 결함의 영향이 없는 도체를 만들 수 있다고 보고, 그런 도체의 온도를 절대영도에 가깝게 낮추면 전기저항이 결국 완벽하게 사라질 것이라고 생각하였다. 그리고 켈빈은 온도를 낮추면 도체 내의 전자들도 얼어붙어 고체가 될 것이고, 그러면 전자가 움직일 수 없으므로 전기저항이 오히려 커질 것이라고 생각하였다.

이런 상황에서 카메를링 오너스는 1908년 헬륨을 냉각하여 액체 헬륨을 만드는 데 성공하였고, 1911년에는 액체 헬륨을 사용하여 수은을 절대온도 4.2K에 가깝게 냉각시킬 수 있었다. 이때 수은의 전기저항이 정확히 0으로 떨어지는 현상을 관측하였는데, 이것이 바로 최초로 발견된 초전도 현상이다. 수은은 전기전도도가 특별히 좋은 금속이 아니었으며, 상온에서 액체 상태로 존재하기 때문에 고체로 존재하는 다른 금속에 비해 다루기 어려웠다. 그러나 마티센이 가정한 불순물 효과를 줄이려면 금속에 섞여 있는 불순물을 ㉢ 제거해야 했다. 금속에서 불순물을 제거하려면 우선 금속을 녹여야 하는데, 녹는점이 높은 금속은 용해 과정에서 필연적으로 산소 등의 기체가 녹아들어가게 된다. 그래서 오너스는 다른 물질이 녹지 않는 낮은 온도에서 이미 액체 상태로 존재하는 수은을 선택한 것이다. 이렇게 선택된 수은의 초전도 발현 온도가 절대온도 4.2K인 것도 행운이었다. 단일 원소로 된 금속 중 대기압 하에서 초전도 현상이 나타나는 물질은 29가지가 있는데, 이 중에서 15개의 물질은 초전도 발현 온도가 절대온도 2K보다 낮아서 오너스조차 도달하기 어려운 온도였다. 수은의 초전도 발현 온도가 조금만 더 낮았다면 초전도 현상의 발견은 훨씬 더 뒤로 미뤄졌을 것이다.

오너스는 기체 헬륨을 액화하는 데에서 멈추지 않고 액체 헬륨을 고체화하려고 하였지만, 결국 실패하고 말았다. 그는 대기압 하에서 헬륨의 온도를 계속 낮추다 보면 액체-기체 공존선을 따라가다 고체, 액체, 기체 상태가 ㉡ 공존하게 되는 삼중점이 있을 것이며, 그래서 헬륨이 얼게 될 것이라고 예상하였다. 그러나 다른 모든 물질이 대기압 하에서 삼중점을 갖는 것과 달리, 헬륨은 온도가 절대온도 2.2K 아래로 내려가도 얼지 않았다. 헬륨이 매우 가벼운 비활성 기체이기 때문이었다. 양자역학의 불확정성 원리로 인해 입자는 절대영도에서도 가만히 있지 못하고 운동을 하는데, 이를 영점 운동이라고 한다. 헬륨 원자는 매우 가벼워서 양자역학적 효과가 크게 나타나고, 그 결과 상대적으로 큰 영점 운동을 한다. 그리고 ㉢ 비활성 기체인 헬륨은 영점 운동을 구속할 힘이 부족하다. 그래서 대기압 하의 헬륨은 절대영도에서도 고체가 아니라 액체 상태로 존재하는 것이다. 이렇게 양자역학적 특성이 지배하는 액체라는 의미로 액체 헬륨을 양자 액체 또는 양자 유체라고 한다. 양자 액체의 특성은 단순히 절대영도에서 고체가 되지 않는다는 사실에 그치지 않았다. 헬륨을 절대온도 4.2K까지 냉각하여 액화하는 데 성공한 오너스는 헬륨의 온도를 더욱 낮추면서 액체 헬륨의 밀도와 비열* 등 다양한 특성을 ㉣ 측정하였다. 그 과정에서 특이한 현상을 관측하였는데 이러한 물리량이 모두 절대온도 2.2K 근처에서 최댓값을 갖는다는 것이었다.

오너스가 세상을 떠난 후 물리학자들은 액체 헬륨이 이 온도에서 상전이*를 한다는 결론을 내렸다. 그렇지만 이미 액체가 되어버린 헬륨이 또 다른 액체로 상전이한다는 게 어떤 의미인지 정확하게 알지 못했고, 그저 막연하게 상전이 온도 위의 액체를 헬륨 I, 그 아래 온도에 존재하는 액체를 헬륨 II라고 불렀다. 비열의 경우 상전이 온도 근방에서 거의 ㉤ 발산하다시피 급격히 증가하는 양상을 보이는데, ㉥ x축을 온도, y축을 비열로 놓고 그린 그래프 모양이 그리스 문자 람다(λ)를 닮았다고 하여 액체 헬륨의 상전이 온도를 람다점이라고도 한다. 1937년 이러한 헬륨 II의 정체가 밝혀졌고, 절대온도 2.2K 이하의 온도에서 액체 헬륨의 점성이 사라진다는 것을 알게 되었다. 저항이 없이 흐를 수 있는 액체를 발견한 것이다. 저항이 없다는 점이 초전도체와 닮았다고 하여 이것을 초유체라고 부르게 되었다.

* 비열: 물질 1g의 온도를 1℃ 올리는 데 드는 열량.
* 상전이: 물질이 일정한 외적 조건에 따라 한 상(狀)에서 다른 상으로 바뀌는 현상.

1. 윗글을 바탕으로 한 추론으로 가장 적절한 것은?
- ① 물리계가 주변 환경과 주고받는 에너지의 양은 온도가 낮을수록 많아질 수 있다.
- ② 온도가 아주 낮을 때 입자는 물리계가 허용하는 에너지 준위 중 높은 준위까지 넓게 분포한다.
- ③ 온도가 높아져 주변 환경과의 상호작용이 커지면, 에너지 준위의 불연속성은 거시적 물리계에서 더 중요한 의미를 갖는다.
- ④ 거시적 물리계에서 양자역학적 현상을 발견하기 쉬운 조건은, 주변 환경과의 상호작용이 상대적으로 작아지는 조건과 연관된다.
- ⑤ 온도가 높아지면 더 많은 에너지 준위에 입자가 분포하므로, 거시적 물리계에서 개별 에너지 준위의 차이를 관측하기가 더 쉬워진다.

2. 윗글을 바탕으로 <보기>의 실험 결과를 설명하기 위해 세 학자의 관점을 대응한 것으로 가장 적절한 것은?

— < 보 기 > —

연구자 갑은 금속 도체 M의 온도를 매우 낮추면서 전기저항을 측정하였다.

(가) 불순물이나 결함이 존재하는 M(일반 시료)에서는, 온도를 충분히 낮추어도 전기저항이 0이 되지 않았다.

(나) 불순물이나 결함의 영향을 사실상 제거한 M(이상적 시료)의 온도를 절대영도에 가깝게 낮추면, 전기저항이 완전히 사라질 것이라고 예상하였다.

(다) 어떤 연구자는 온도를 낮추면 전기저항이 오히려 커질 수 있다고 주장한다.

- ① (가) 마티센 / (나) 듀어 / (다) 켈빈
- ② (가) 듀어 / (나) 마티센 / (다) 켈빈
- ③ (가) 켈빈 / (나) 듀어 / (다) 마티센
- ④ (가) 마티센 / (나) 켈빈 / (다) 듀어
- ⑤ (가) 듀어 / (나) 켈빈 / (다) 마티센

3. 윗글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 적절한 것만을 있는 대로 고른 것은? [3점]

— < 보 기 > —

다음은 오너스의 실험/관측을 두 축(수은, 헬륨)으로 나누어 정리한 것이다. (모든 조건은 대기압 하를 기본으로 한다.)

실험 A(수은): 액체 헬륨을 이용해 수은을 절대온도 4.2K에 가깝게 냉각했더니 전기저항이 정확히 0으로 떨어졌다.

실험 B(헬륨): 헬륨은 절대온도 2.2K 아래로 내려가도 얼지 않았고, 절대온도 2.2K 이하에서 점성이 사라지는 성질이 밝혀졌다.

ㄱ. 실험 A의 관측은, ‘불순물 효과를 줄이기 위해 불순물을 ㉠ 제거해야 했다’는 지문의 설명과 연결된다.

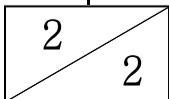
ㄴ. 실험 B의 결과는, 오너스가 예상했던 ‘㉡삼중점에서 고체·액체·기체가 공존할 것’이라는 예상을 반박하는 근거가 된다.

ㄷ. 실험 A와 실험 B는 모두 “저항이 없다”는 점에서 닮았으므로, 두 현상은 모두 도체 내부 전자의 운동이 방해받지 않아 나타나는 현상이라고 볼 수 있다.

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

4. 윗글을 바탕으로 다음의 판단 중 가장 적절한 것은?

- ① 오너스가 수은을 선택한 결정적 이유는 수은의 전기전도도가 특별히 좋기 때문이라고 볼 수 있다.
- ② 오너스가 수은을 선택한 이유는, 녹는점이 높은 금속을 용해하는 과정에서 산소 등의 기체가 녹아들어 불순물 효과를 줄이기 어렵기 때문이다.
- ③ ‘수은의 초전도 발현 온도가 4.2K인 것도 행운이었다’는 말은, 오너스가 절대온도 2K보다 낮은 온도에도 쉽게 도달할 수 있었음을 뜻한다.
- ④ 단일 원소 금속 29가지 중 15개가 2K보다 낮은 초전도 발현 온도를 가졌다는 서술은, 초전도 현상이 대부분 상온에서도 나타남을 시사한다.
- ⑤ 수은이 상온에서 액체라는 점은 다루기 어렵다는 단점만 있으므로, 불순물 제거라는 목적과는 무관하다고 볼 수 있다.



국어 영역

정답 및 해설

정답표

1번: ④ / 핵심 원리 추론 / 중

2번: ① / 관점 대응 / 중

3번: ③ / 보기 적용 및 판단 / 상

4번: ② / 세부 내용 추론 / 중

문항별 상세 해설

- 1. [핵심 원리 추론] 정답 ④
 - 해설: 지문은 온도가 낮을수록 물리계가 주변 환경에서 받아들이는 에너지가 적고, 낮은 에너지 준위 몇 개만 입자가 점유하게 되어 거시적 물리계에서도 양자역학적 현상을 발견할 수 있다고 설명한다. 따라서 양자역학적 현상을 발견하기 쉬운 조건은 주변 환경과의 상호작용이 상대적으로 작아지는 조건과 관련된다는 ④가 적절하다.
- 2. [관점 대응] 정답 ①
 - 해설: 마티센은 불순물이나 결함이 존재하는 실제 금속에서는 절대영도에 가까워져도 전기저항이 남을 것이라고 보았다. 듀어는 불순물이나 결함의 영향이 없는 도체라면 온도를 낮출 때 전기저항이 완전히 사라질 것이라고 생각하였다. 켈빈은 온도를 낮추면 전자가 얼어붙어 움직일 수 없게 되므로 전기저항이 오히려 커질 것이라고 보았다. 따라서 (가), (나), (다)는 각각 마티센, 듀어, 켈빈에 대응한다.
- 3. [보기 적용] 정답 ③
 - 해설: ㄱ은 적절하다. 오너스가 수은을 선택한 것은 불순물 효과를 줄이기 위한 맥락과 연결된다. ㄴ도 적절하다. 헬륨이 2.2K 아래에서도 얼지 않았다는 결과는 대기압 하에서 삼중점에 도달해 고체가 될 것이라는 오너스의 예상을 반박한다. ㄷ은 부적절하다. 초전도체와 초유체는 모두 저항이 없다는 점에서 닮았지만, 초유체는 액체 헬륨의 점성이 사라지는 현상이지 도체 내부 전자의 운동으로 설명되는 현상이 아니다.
- 4. [세부 내용 추론] 정답 ②
 - 해설: 지문은 녹는점이 높은 금속을 녹이는 과정에서 산소 등의 기체가 녹아들어가므로 불순물 효과를 줄이기 어렵다고 설명한다. 오너스가 다른 물질이 녹지 않는 낮은 온도에서 이미 액체 상태인 수은을 선택한 이유가 여기에 있으므로 ②가 적절하다.

