

◆ 13-9평 44~46번

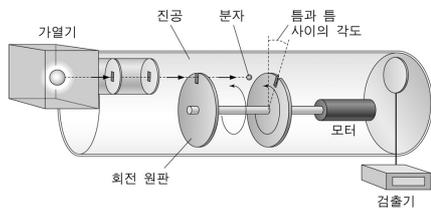
[44~46] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

상온에서 대기압 상태에 있는 1리터의 공기 안에는 수없이 많은 질소, 산소 분자들을 비롯하여 다양한 기체 분자들이 있다. 이들 중 어떤 산소 분자 하나는 짧은 시간에도 다른 분자들과 매우 많은 충돌을 하며, 충돌을 할 때마다 이 분자의 운동 방향과 속력이 변할 수 있기 때문에, 어떤 분자 하나의 정확한 운동 궤적을 아는 것은 불가능하다. 우리는 다만 어떤 구간의 속력을 가진 분자 수 비율이 얼마나 되는지를 의미하는 분자들의 속력 분포를 알 수 있을 뿐이다.

위에서 언급한 상태에 있는 산소처럼 분자들 사이의 평균 거리가 충분히 먼 경우에, 우리는 분자들 사이의 인력을 무시할 수 있고 분자의 운동 에너지만 고려하면 된다. 이 경우에 분자들이 충돌을 하게 되면 각 분자의 운동 에너지는 변할 수 있지만, 분자들이 에너지를 서로 주고받기 때문에 기체 전체의 운동 에너지는 변하지 않게 된다.

기체 분자들의 속력 분포는 맥스웰의 이론으로 계산할 수 있는데, 가로축을 속력, 세로축을 분자 수 비율로 할 때 종(鐘) 모양의 그래프로 그려진다. 이 속력 분포가 의미하는 것은 기체 분자들이 0에서 무한대까지 모든 속력을 가질 수 있지만 꼭짓점 부근에 해당하는 속력을 가진 분자들의 수가 가장 많다는 것이다. 기체 분자들의 속력은 온도와 기체 분자의 질량에 의해서 결정된다. 다른 조건은 그대로 두고 온도만 올리면 기체의 평균 운동 에너지가 증가하므로, 그래프의 꼭짓점이 속력이 빠른 쪽으로 이동한다. 이와 동시에 그래프의 모양이 납작해지고 넓어지는데, 이는 전체 분자 수가 변하지 않았기 때문에 그래프 아래의 면적이 같아야만 하기 때문이다. 전체 분자 수와 온도는 같은데 분자의 질량이 큰 경우에는, 평균 속력이 느려져서 분포 그래프의 꼭짓점이 속력이 느린 쪽으로 이동하며, 분자 수는 같기 때문에 그래프의 모양이 뾰족해지고 좁아진다.

그림은 맥스웰 속력 분포를 알아보기 위해서 ⑦ 밀러와 쿠슈가 사용했던 실험 장치를 나타낸 것이다. 가열기와 검출기 사이에 두 개의 회전 원판이 놓여 있다. 각각의 원판에는 가는 틈이 있고 두 원판은 서로 연결되어 있다. 두 원판은 일정한 속력으로 회전하면서 특정한 속력 구간을 가진 분자들을 선택적으로 통과시킬 수 있다.



가열기에서 나와 첫 번째 회전 원판의 가는 틈으로 입사한 기체 분자들 중 조건을 만족하는 분자들만 두 번째 회전 원판의 가는 틈을 지나 검출기에 도달할 수 있다. 첫 번째 원판의 틈을 통과하는 분자들의 속력은 다양하지만, 회전 원판의 회전 속력에 의해 결정되는 특정한 속력 구간을 가진 분자들만 두 번째 원판의 틈을 통과한다. 특정한 속력 구간보다 더 빠른 분자들은 두 번째 틈이 꼭대기에 오기 전에 원판과 부딪치며, 느린 분자들은 지나간 후에 부딪친다. 만일 첫 번째와 두 번째 틈 사이의 각도를 더 크게 만들면, 같은 회전 속력에서도 더 속력이 느린 분자들이 검출될 것이다. 이 각도를 고정하고 회전 원판의 회전 속력을 바꾸면, 새로운 조건에 대응되는 다른 속력을 가진 분자들을 검출할 수 있다. 이 실험 장치를 이용하여 어떤 온도에서 특정한 기체의 속력 분포를 알아보았더니, 그 결과는 맥스웰의 이론에 부합하였다.

자들은 두 번째 틈이 꼭대기에 오기 전에 원판과 부딪치며, 느린 분자들은 지나간 후에 부딪친다. 만일 첫 번째와 두 번째 틈 사이의 각도를 더 크게 만들면, 같은 회전 속력에서도 더 속력이 느린 분자들이 검출될 것이다. 이 각도를 고정하고 회전 원판의 회전 속력을 바꾸면, 새로운 조건에 대응되는 다른 속력을 가진 분자들을 검출할 수 있다. 이 실험 장치를 이용하여 어떤 온도에서 특정한 기체의 속력 분포를 알아보았더니, 그 결과는 맥스웰의 이론에 부합하였다.

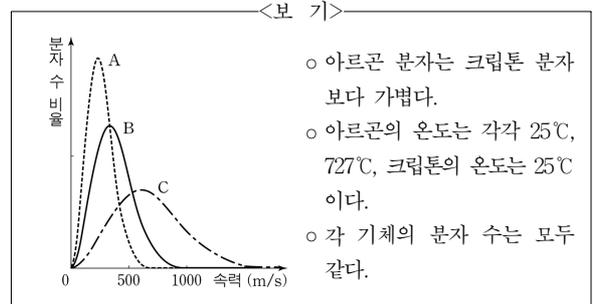
44. 위 글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 분자들의 충돌은 개별 분자의 속력을 변화시킬 수 있다.
- ② 대기 중 산소 분자 하나의 운동 궤적을 정확히 구할 수 없다.
- ③ 분자들 사이의 평균 거리가 충분히 멀다면 인력을 무시할 수 있다.
- ④ 분자의 충돌에 의해 기체 전체의 운동 에너지가 증가한다.
- ⑤ 대기 중에서 개별 기체 분자의 속력은 다양한 값을 가진다.

45. <보기>의 A, B, C는 맥스웰 속력 분포를 나타내는 그래프이다.

위 글에 비추어 볼 때, 기체와 그래프를 바르게 연결한 것은?

[3점]



아르곤(25°C)    아르곤(727°C)    크립톤(25°C)

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| ① | A | B | C |
| ② | A | C | B |
| ③ | B | C | A |
| ④ | B | A | C |
| ⑤ | C | B | A |

46. ⑦과 연관된 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① 맥스웰 속력 분포 이론을 실험으로 증명하기 위해 고안되었다.
- ② 첫 번째 회전 원판에 입사된 기체 분자들 중 일부가 검출기에 도달한다.
- ③ 첫 번째 회전 원판의 틈을 통과하는 분자들은 다양한 값의 속력을 가진다.
- ④ 원판의 회전 속력은 같고 틈과 틈 사이의 각도가 커지면 더 빠른 분자들이 검출된다.
- ⑤ 틈과 틈 사이의 각도를 고정하고 원판의 회전 속력을 느리게 하면 더 느린 분자들이 두 번째 회전 원판의 틈을 통과한다.

[16~18] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

20세기 중반까지만 해도 물리학에서는 양성자와 중성자를 물질의 기본 단위로 여겼다. 하지만 1960년대 이후 양성자나 중성자보다 더 작은 입자에 대한 가설과 실험을 바탕으로 ㉠‘표준모형(standard model)’의 개념이 성립되게 되었다. ‘표준모형’에 따르면 모든 물질은 기본 입자와 매개 입자로 구성된다. 기본 입자는 양성자와 중성자를 구성하는 입자와 전자 등을 말하며, 매개 입자는 입자 사이의 상호작용을 매개하는 입자를 말한다. 이때 매개 입자는 독특한 대칭성을 지니고 있어 모든 입자들이 질량을 가지지 못하게 한다. 이로 인해 ‘표준모형’의 개념은 현실 세계에서 입자들이 실제로는 질량을 가지고 있다는 점을 설명할 수 없어 모순에 빠졌다.

이러한 ‘표준모형’의 이론적 모순 상황에서 1964년 피터 힉스 교수는 입자들이 질량을 가지게 만드는 힉스 입자의 존재를 예측했다. 거의 같은 시기에 프랑수아 앙글레르 교수는 질량이 없던 입자들이 질량을 가지게 되는 힉스 메커니즘의 과정을 제시하였다. 이들의 이론에 따르면 대칭성이 깨진 매개 입자는 힉스 입자의 원형인 힉스 장(field)의 일부 요소를 흡수하여 질량을 가지게 된다. 또한 기본 입자도 힉스 장과의 상호 작용을 통해 질량을 가지게 된다. 이때 힉스 장과 입자의 상호 작용이 강할수록 입자들의 질량은 커지고, 상호 작용이 약한 입자들은 질량이 작아지게 된다. 한편 다른 입자로 흡수되지 않고 남은 힉스 장의 요소는 힉스 입자라는 새로운 입자의 상태로 존재하게 된다. 힉스 입자는 질량이 부여되는 과정에서 매우 짧은 순간 생성되었다가 사라지게 되며, 이러한 모든 과정을 힉스 메커니즘이라고 부른다. 그러나 순식간에 사라지는 힉스 입자는 자연 상태에서 관측할 수 없었기 때문에 20세기 후반부터 입자가속기를 통해 힉스 입자를 인위적으로 검출하기 위한 노력이 이어졌다.

입자 가속기는 양성자나 이온 등 전기적 성질을 갖고 있는 입자들을 전자기력을 이용해 빛의 속도에 가깝게 속도를 높여 주는 장치이다. 가속기 내 자기장을 지면과 수직 방향으로 작용하도록 설치하고 전류를 흐르게 하면

[A] 전하를 띤 입자가 지면과 수평 방향으로 힘을 받는 원리를 이용하여 입자를 가속시키게 된다. 이러한 원리를 통해 빛에 가까운 속도를 지니게 된 입자들을 인위적으로 충돌시키면, 붕괴된 입자에서 분리되어 나오는 새로운 입자를 검출기를 통해 관측할 수 있게 된다.

실제로 유럽의 한 연구소에서는 둘레 27km에 이르는 거대한 원형 입자 가속기로 두 개의 양성자를 강력한 전기장과 자석으로 가속한 후 정면 충돌시켜 힉스 입자의 존재를 확인하고자 했다. 최근 이러한 실험으로 관측된 새로운 입자가 ‘표준모형’의 힉스 입자와 성질이 매우 비슷하다는 결론이 내려져서 관심을 끌고 있다. 힉스 입자로 여겨지는 새로운 입자의 발견은 입자들의 질량 차이를 설명해 준다는 점에서 과학적 의의를 지닌다. 또한 새로운 입자의 발견으로 인해 오랜 난제였던 ‘표준모형’의 이론적 완성을 기대하게 되었으며, 물질의 가장 기본이 되는 단위에 대한 궁금증을 해결할 수 있는 실마리를 얻게 되었다.

16. 윗글을 통해 알 수 있는 내용으로 가장 적절한 것은?

- ① 전자는 기본 입자에 포함되지 않는다.
- ② 기본 입자는 입자 사이의 상호 작용을 매개한다.
- ③ 힉스 입자는 기존의 입자에 흡수된 후 사라진다.
- ④ 현실 세계에서 모든 입자는 질량을 지니고 있지 않다.
- ⑤ 힉스 장과의 상호 작용을 통해 입자들의 질량이 달라진다.

17. ㉠에 대한 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① 물질의 기본 단위에 대한 가설에서 출발한 모형이다.
- ② 물질을 구성하는 입자의 종류를 구분하여 제시하고 있다.
- ③ 양성자와 중성자의 상호 작용을 설명하기 위해 고안되었다.
- ④ 현실 세계의 상황과 맞지 않아 새로운 입자의 개념이 추가되었다.
- ⑤ 입자 가속기를 이용한 실험을 통해 이론적 완성을 기대할 수 있게 되었다.

18. [A]를 바탕으로 <보기>를 이해한 반응으로 적절하지 않은 것은? [3점]

— <보 기> —

의료용 중입자 가속기는 입자 가속기의 원리를 적용하여 만든 암 치료기이다. 의료용 중입자 가속기는 탄소 입자를 빛의 속도에 가깝게 가속시킨 후, 정교한 조사를 거쳐 암세포와 부딪치게 만든다. 기존의 암 치료법은 정상 세포에도 영향을 주어 부작용이 많았다면, 중입자 가속기를 이용한 암 치료는 정상 세포에 거의 영향을 주지 않으면서 인체 깊은 곳에 있는 암세포를 제거할 수 있다.

- ① 탄소 입자는 전기적 성질을 가지고 있겠군.
- ② 탄소 입자를 암세포에 인위적으로 부딪치게 만들겠군.
- ③ 탄소 입자를 가속시키기 위해서는 전자기력이 필요하겠군.
- ④ 탄소 입자가 받는 힘의 방향은 자기장의 방향과 관련이 있겠군.
- ⑤ 탄소 입자를 관측하기 위한 검출기가 가속기에 설치되어야 하겠군.

장을 가진 빛으로, 실험 목적에 따라 파장을 선택하여 사용할 수 있는 파장 가변성을 ㉔ 지닌다. 그리고 방사광은 휘도가 높은 빛이다. 휘도란 빛의 집중 정도를 나타내는 것으로, 빛의 세기가 크면 클수록, 그리고 빛의 퍼짐이 작으면 작을수록 높은 휘도 값을 갖는다. 예를 들어 방사광에서 실험을 위해 선택된 X선은, 기존에 쓰던 X선보다 휘도가 수만 배 이상이라서 이를 활용하면 물질의 정보를 보다 자세하게 얻을 수 있다.

방사광은 자연에서는 별이 수명을 다해 폭발할 때 발생하기도 하지만, 이를 연구에 활용하는 것은 어려우므로 고성능 슈퍼현미경이라고도 불리는 방사광가속기를 사용해 인위적으로 만들어 사용한다. 방사광가속기는 일반적으로 크게 전자입사장치, 저장링, 빔라인 등으로 구성되어 있다. 전자입사장치는 전자를 방출시킨 뒤 빛의 속도에 가깝게 가속시켜 저장링으로 주입하는 장치로, 전자총과 선형가속기로 구성된다. 전자총은 고유한 파장을 가진 금속에 그 파장보다 짧은 파장의 빛을 가하면 전자가 방출되는 광전효과를 활용하여 지속적으로 전자를 방출시킨다. 이때 방출되는 전자는 상대적으로 속도가 느려 높은 에너지를 가지지 못하므로, 선형가속기에서는 음(-)전하를 띤 전자가 양(+)전하를 띤 양극 쪽으로 움직이려는 전기적인 힘의 원리를 활용하여 전자를 가속시킨다. 선형가속기에서 빛의 속도에 근접하게 된 전자는 이후 저장링으로 보내진다.

저장링은 횡전자석, 삼입장치, 고주파 공동장치 등으로 구성되어 있고, 일반적으로 n각형 모양으로 설계하여 n개의 직선 부분과 n개의 모서리 부분으로 이루어져 있다. 저장링의 모서리 부분에는 전자의 방향을 조절해 주는 횡전자석을 설치하여 전자가 지속적으로 궤도를 따라 회전할 수 있도록 한다. 전자는 횡전자석을 지나면서 자석 주위의 자기장의 힘을 받아 휘게 되는데, 이때 전자의 운동 궤도 곡선의 접선 방향으로 방사광이 방출된다. 저장링의 직선 부분에는 N극과 S극을 번갈아 배열한 삼입장치가 설치되어 있다. 전자는 삼입장치에서 자기장의 영향을 받아 N극과 S극의 사이에서 주기적으로 방향이 바뀌며 구불구불하게 움직이게 되는데, 방향이 주기적으로 바뀔 때마다 방사광이 방출된다. 이렇게 방출된 방사광은, 위상이 동일한 방사광과 서로 중첩되면서 진폭이 커지는 간섭 현상이 나타난다. 그래서 삼입장치에서 중첩되어 진폭이 커진 방사광은, 횡전자석에서 방출된 방사광보다 큰 에너지를 지닌 더 밝은 방사광이 된다. 이때 횡전자석과 삼입장치를 통과하며 방사광을 방출한 전자는 에너지를 잃게 되고, 고주파 공동장치는 이러한 전자에 에너지를 보충하여 전자가 계속 궤도를 돌게 한다.

마지막으로 빔라인은 실험 목적에 맞도록 방사광에서 원하는 파장을 분리시켜 실험에 이용하는 장치로, 크게 진공 자외선 빔라인과 X선 빔라인으로 나눌 수 있다. 진공 자외선 빔라인에서는 주로 기체 상태의 물질의 구조나 고체 표면에서의 물질의 구조 등에 관한 실험들이 이루어지고, X선 빔라인에서는 다른 빛보다 상대적으로 짧은 파장을 가진 X선의 특성을 이용하여 주로 물질의 내부 구조, 원자 배열 등에 대한 실험이 이루어진다. 특히 X선 빔라인들 중 하나인 ㉕ X선 현미경은 최대 15 나노미터 정도 되는 생체 조직 등과 같은 물질의 내부 구조까지도 확대하여 관찰할 수 있다. X선은 가시광선과 달리 유리 렌즈나 거울을 써서 굴절시키거나 반사시키기 어렵다. 그래서 X선 현미경은, 강력한 전자기장으로 X선을 굴절시켜 빛을 모을 수 있는 특수 금속 렌즈를 이용해 X선을 실험에 활용한다.

◆ 20년 11월 고2 26~30번

[26 ~ 30] 다음 글을 읽고 물음에 답하십시오.

세상에는 너무 작아서 눈으로 볼 수 없는 세계가 많다. 사람의 눈으로 볼 수 있는 가시광선 영역은 파장이 길기 때문에 단백질 분자 구조와 같은 물질의 내부 구조는 관찰할 수 없다. 그래서 미세한 물질의 내부 구조를 파악하기 위해서는 보다 짧은 파장의 빛의 영역까지 활용할 수 있어야 하는데, 이때 활용 가능한 빛이 바로 방사광이다. 방사광이란 빛의 속도에 가깝게 빠른 속도로 운동하는 전자가 방향을 바꿀 때, 바뀐 운동 궤도 곡선의 접선 방향으로 방출되는 좁은 퍼짐의 전자기파를 가리킨다. 방사광은 적외선, 가시광선, 자외선, X선에 이르는 다양한 파

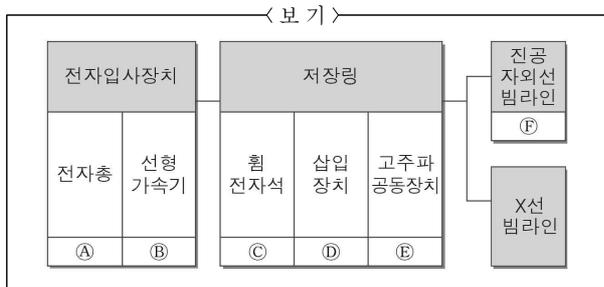
26. 윗글을 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은?

- ① 실험 목적에 따라 빔라인의 종류는 달라질 수 있다.
- ② 휨전자석의 개수는 저장링의 모양에 따라 달라질 수 있다.
- ③ 빛의 집중 정도는 빛의 세기와 퍼짐에 따라 달라질 수 있다.
- ④ 전자는 양전하를 띤 양극 쪽으로 움직이려는 전기적인 힘이 있다.
- ⑤ 금속의 고유한 파장보다 긴 파장의 빛을 금속에 쏘면 전자를 방출시킬 수 있다.

27. 방사광에 대한 설명으로 적절하지 않은 것은?

- ① 실험 목적에 따라 파장을 선택해 사용할 수 있는 빛이다.
- ② 방사광가속기에서 연구 목적으로 가속시키는 전자기파이다.
- ③ 자연적으로 발생하기도 하고 인위적으로 만들 수도 있는 빛이다.
- ④ 휘도가 높아 물질에 대한 자세한 정보를 얻을 수 있게 하는 빛이다.
- ⑤ 빛의 속도에 가깝게 운동하는 전자가 방향을 바꿀 때 방출되는 전자기파이다.

28. <보기>는 방사광가속기의 주요 장치를 도식화한 것이다. 윗글을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]



- ① ①에서 광전효과를 활용하여 방출시킨 전자는 ②에서 빛의 속도에 가깝게 가속되어 높은 에너지를 갖게 되겠군.
- ② 전자는 ③를 지나면서 자석 주위의 자기장의 힘을 받아 방향이 바뀌면서 궤도를 따라 회전할 수 있게 되겠군.
- ③ ③에서 방출된 방사광이 ④에서 방출된 방사광보다 밝은 이유는 ④에서 방사광이 서로 중첩되어 진폭이 더 커졌기 때문이겠군.
- ④ ④와 ⑤를 통과하며 에너지가 손실된 전자는 ⑥로부터 에너지를 공급받아 궤도를 계속 돌게 되겠군.
- ⑤ ⑥는 실험 목적에 맞게 방사광에서 원하는 파장을 분리시켜 실험에 이용하는 장치이겠군.

29. 윗글의 ㉠과 <보기>의 ㉡을 비교한 내용으로 가장 적절한 것은?

< 보 기 >

㉡ 광학 현미경은 가시광선을 굴절시켜 빛을 모을 수 있는 유리 렌즈를 이용해 물질의 표면을 확대하는 실험 장치이다. 일반적으로 광학 현미경의 렌즈 배율을 최대한 높이면 크기가 200 나노미터 정도 되는 물질까지 관찰할 수 있다.

- ① ㉠과 달리 ㉡은 물질의 내부 구조를 관찰할 수 있는 장치이다.
- ② ㉡과 달리 ㉠은 빛이 굴절하는 성질을 이용하여 실험하는 장치이다.
- ③ ㉡과 달리 ㉠은 유리 렌즈를 활용하여 빛을 모아 물질을 확대하는 장치이다.
- ④ ㉡은, ㉠에서 사용하는 빛의 영역이 아닌 인간의 눈으로 볼 수 없는 빛의 영역을 이용하는 장치이다.
- ⑤ ㉠은, ㉡에서 사용하는 빛보다 상대적으로 짧은 파장의 빛을 이용하여 물질을 관찰할 수 있는 장치이다.

30. 문맥상 ㉠와 가장 가까운 의미로 쓰인 것은?

- ① 그는 딸의 사진을 품속에 지니고 다닌다.
- ② 그는 일을 성사시킬 책임을 지니고 있다.
- ③ 그는 어릴 때의 모습을 그대로 지니고 있었다.
- ④ 그는 유년 시절의 추억을 가슴 속에 지니고 살았다.
- ⑤ 그는 자신의 이론이 보편성을 지니고 있다고 주장했다.

◆ 11 PEET(예비) 언어추론 7~9번

[7~9] 다음 글을 읽고 물음에 답하십시오.

1930년대에 암흑 물질의 존재가 예견되었는데, 이것은 나선 은하에서 나선 팔의 균일한 회전 속도를 설명하기 위해서였다. 뉴턴 역학에 따르면 은하 중심을 축으로 회전하는 별의 속도는 회전 운동 궤도 안에 존재하는 전체 질량과 별의 궤도 반경에 의해 결정된다. 은하 질량의 대부분을 차지한다고 알려진 별은 대부분 은하 중심에 모여 있다. 따라서 중심을 벗어난 영역에서는 반경에 상관없이 궤도 내의 전체 질량은 일정하다고 볼 수 있으므로 태양 주위를 도는 행성들처럼 궤도 반경이 클수록 별의 회전 속도는 줄어들어야 한다. 그러나 관측 결과 궤도 반경이 커져도 별의 속도는 거의 변하지 않았다. 이 현상을 설명하려면 은하 내부에 질량은 가지면서 보이지는 않는 미지의 암흑 물질이 있어야 한다.

암흑 물질은 최근 두 은하단의 충돌을 관측하는 과정에서 그 존재가 확인되었고, 그 실체에 대해서는 최근 입자 물리학에 의해 설명이 가능해졌다. 암흑 물질은 질량을 가져야 하고 중력에 의한 상호 작용을 제외하고는 빛과 상호 작용을 하지 않거나 하더라도 미약하게 하는 성질이 있어야 하므로, 입자 물리학에서 제안된 중성미자, 워프, 액시온 등이 그 후보가 될 수 있다. 이 입자들의 질량은 다르지만 우주 공간에 존재하는 밀도가 암흑 물질의 질량 밀도를 설명할 수만 있으면 된다.

중성미자는 중성자가 양성자와 전자로 붕괴하는 과정에서 생기는 입자로 양성자, 전자보다 매우 가벼우며 그 질량은 아직 알려져 있지 않다. 중성미자는 현재의 우주 공간에서 빛의 속도에 가깝게 운동하는데 우주 생성 초기에는 더 빠르게 움직였다. 중성미자가 암흑 물질을 설명할 수 있을 정도의 질량을 가지는 경우, 우주의 구조 형성에 대한 가상 실험에 의하면 은하를 만들 수 있는 씨앗이 되는 구조가 잘 만들어지지 않는다. 암흑 물질을 설명하는 입자는 우주 구조 형성 단계에서 느리게 움직여, 은하의 형성을 방해하지 않고 오히려 중력 구심점에 모여 은하 형성을 도울 수 있어야 한다. 그러나 빠르게 움직이는 중성미자는 양자 요동에 의해 형성되는 초기 우주의 중력 구심점을 흐트려 은하의 형성을 방해한다.

입자 물리학의 최신 이론에서 예측되는 워프는 약한 상호 작용을 하는 무거운 입자로서, 더 이상 가벼운 입자로 붕괴하지 않으며 쌍으로만 생성·소멸된다. 워프는 우주 초기의 높은 온도에서 다른 입자들과 열평형 상태를 이루어 쉽게 생성·소멸되지만, 우주가 팽창하면서 온도가 내려가면 다른 입자로부터 워프를 만들어 낼 에너지가 부족해져 소멸만 일어나다가 밀도가 더 낮아지면 소멸도 할 수 없어 그 개수가 보존된다. 양성자의 수십 배 정도의 질량을 가지는 것으로 예측되는 워프는 암흑 물질을 설명할 수 있어 이를 ‘워프의 기적’이라 부른다. 워프는 우주가 식으면서 느리게 움직이며 양자 요동으로 만들어진 씨앗에 모여들어 은하의 형성을 돕는다. 워프는 은하 주변보다 은하 중심에 상대적으로 많이 모여 있고, 지구 근처에서는 평균적으로 물 컵 정도의 공간에 한 개 정도 존재할 것으로 추정된다. 많은 워프가 우리 몸과 지구를 관통하면서 양성자, 전자 등 일반 물질과 약한 상호 작용을 하지만 우리는 그 존재를 못 느낀다.

액시온은 또 다른 암흑 물질 후보다. 액시온이 존재한다면 매우 가벼운 입자로 빛과 미약하게 상호 작용을 하며 그 질량은 전

자 질량의 수십억 분의 일보다 작다. 따라서 암흑 물질의 질량 밀도를 설명하려면 물 컵 정도의 공간에  $10^{16}$ 개 이상의 액시온이 있어야 한다. 우주 초기의 높은 온도에서 자유롭던 쿼크가 온도가 낮아지면서 양성자, 중성자가 되는데 이 상전이 과정에서 거의 정지 상태의 액시온이 많이 생성된다. 이러한 액시온의 생성 과정은 열평형 상태가 아니므로 액시온은 가벼운 입자임에도 불구하고 우주 구조 형성 시기에 매우 느리게 움직여 양자 요동으로 만들어진 씨앗에 모이게 되어 은하 생성을 도울 수 있다.

암흑 물질의 실체를 파악하기 위한 실험이 활발하게 진행되고 있다. 워프는 직접 또는 간접적인 방법을 이용하여 검출할 수 있다. 직접 검출 방법은 워프와 원자핵의 상호 작용을 이용해 결정 검출기로 워프를 찾는 것이다. 간접 검출 방법은 질량 밀도가 높은 은하 중심이나 태양에서 워프가 소멸되면서 워프의 질량이 빛이나 일반 물질의 에너지로 변환되는 특성을 이용하는 것이다. 반(反)입자 우주선이 특정한 에너지 스펙트럼에서 초과 검출되면 워프의 존재를 간접적으로 확인할 수 있다. 가속기에서도 양성자를 충돌시켜 워프의 생성이 가능하다. 한편 액시온은 강한 자기장에서 빛으로 바뀌는 특성이 있다. 이런 특성을 이용해 바뀐 빛을 증폭하여 액시온을 검출하기 위한 실험이 진행되고 있다.

7. 위 글에 비추어 볼 때 암흑 물질을 설명하기 위한 입자의 필요 조건은?

- ① 빛과의 미약한 상호 작용
- ② 은하 전체에서의 균일한 분포
- ③ 더 가벼운 입자로 붕괴할 가능성
- ④ 은하 형성을 도울 수 있는 느린 속도
- ⑤ 결정 검출기나 증폭기에 의해 검출될 가능성

8. 위 글로부터 추론한 것으로 옳지 않은 것은?

- ① 우주 초기에는 워프의 생성과 소멸이 활발하였으므로 그 개수가 지금보다 많았다.
- ② 액시온이 암흑 물질의 후보가 되기 위해서는 쿼크가 양성자, 중성자가 되는 상전이 과정이 중요하다.
- ③ 중성미자는 별의 주요 구성 성분인 양성자와 전자에 비해 상당히 가볍기 때문에 암흑 물질의 질량 밀도를 설명할 수 없다.
- ④ 은하 중심을 벗어난 영역에서 별과 별 사이에 암흑 물질이 지금보다 더 많다면 바깥 궤도를 돌고 있는 별의 속도는 더 빨라질 것이다.
- ⑤ 양성자 질량의 수십 배 정도의 에너지를 가지고 은하 중심으로부터 온 반양성자 우주선이 많이 검출될 경우, 워프가 소멸한 결과로 해석할 수 있을 것이다.

9. 다음을 암흑 물질에 관한 위 글의 설명과 대비할 때, ㉠~㉤에 대응하는 것으로 적절하지 않은 것은?

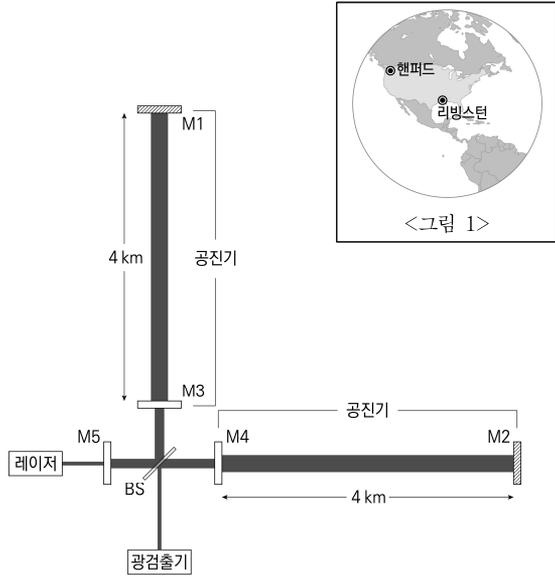
뉴턴의 역학이 확립되었을 때 알려진 ㉠ 태양계의 행성들은 수성, 금성, 지구, 화성, 목성, 토성, 천왕성이었다. 관측된 ㉡ 천왕성의 궤도가 이론상 예측된 것과 일치하지 않는다는 사실이 알려졌고, 이를 설명하기 위해 ㉢ 천왕성 바깥쪽을 도는 새로운 행성의 존재를 도입하였다. 이 ㉣ 외행성의 위치를 뉴턴 역학을 이용해 예측할 수 있었는데, 성능이 개선된 망원경으로 관찰하여 예측한 장소에서 ㉤ 해왕성의 존재를 확인하였다.

- ① ㉠ - 은하
- ② ㉡ - 회전 운동하는 별의 속도
- ③ ㉢ - 암흑 물질
- ④ ㉣ - 윌프의 질량
- ⑤ ㉤ - 엑시온의 존재

◆ 23 LEET 언어이해 25~27번

[25~27] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

블랙홀 쌍성계와 같은 천체에서 발생한 중력파가 지구를 지나가는 동안, 지구 위에서는 중력파의 진행 방향과 수직인 방향으로 공간이 수축 팽창하는 변형이 시간에 따라 반복적으로 일어난다.



<그림 2>

최초로 중력파를 검출한 '라이고(LIGO)'는 <그림 1>과 같이 미국 헨퍼드와 리빙스턴에 위치하며, <그림 2>와 같은 레이저 간섭계를 사용한다. 레이저에서 나온 빛은 빔가르개(BS)에 의해 두 개의 경로로 나뉘고 각 경로의 끝에 있는 거울(M1, M2)에 의해 반사되어 되돌아와 다시 BS에 의해 각각 두 갈래로 나뉘며 광검출기에서 서로 중첩된다. 두 경로 사이에 미세한 길이 차이가 발생하면 중첩된 빛의 세기에 차이가 발생하는데, 간섭계가 놓인 면을 중력파가 통과하며 공간의 수축과 팽창이 반복되면 빛이 지나가는 두 경로의 길이 차가 시간에 따라 변화하고 광검출기에서 측정되는 빛의 세기가 그에 따라 변화한다. 이를 측정하면 중력파의 세기와 진동수를 알아낼 수 있다.

중력파는 공간을 일정한 비율로 변형시키므로 간섭계의 경로 길이를 되도록 크게 하는 것이 길이의 변화량을 크게 할 수 있어 유리하지만 약 4km가 건설할 수 있는 한계이다. 이를 극복하기 위해 라이고에서는 기본적인 간섭계에 두 개의 거울(M3, M4)을 추가하여 '공진기'를 구성하고 각 공진기의 두 거울 사이를 빛이 여러 번 왕복하도록 함으로써 유효 경로 길이를 늘리는 방법을 사용하였다. <그림 2>에서 M1과 M3, M2와 M4 사이에 공진기가 형성되고 M1과 M2의 반사율은 100%인 반면 M3, M4는 약 1%의 투과율을 갖도록 하여 빛이 출입할 수 있도록 하였다. 이 경우 공진기 밖으로 나온 빛은 두 거울 사이를 수백 번 왕복한 셈이고 따라서 유효 길이가 1,000 km 이상에 이른다. 하지만 유효 길이의 변화량은 여전히 원자 크기의 십만분의 일 정도에 불과한데, 어떻게 중력파의 검출이 가능하였던 것일까?

원자의 크기보다도 한참 작은 미세한 길이 변화의 측정이 가능한 이유는 여러 번 측정하여 평균을 취하면 측정값의 정확도를 향상

할 수 있다는 사실에 있다. 간섭계는 결국 광검출기에서 빛의 세기를 측정하는 것인데 양자 물리에서 빛은 '광자'라고 부르는 입자로 여겨지며 이때 빛의 세기는 광자의 개수에 비례한다. 즉, 광검출기는 광자의 개수를 측정하는 것이며 측정할 때마다 무작위로 달라지는 광자 개수의 요동이 간섭신호의 잡음으로 나타나게 되는데 이를 '산탄 잡음'이라고 한다. 빛의 세기 측정에서 신호의 크기는 광자의 개수  $N$ 에 비례하고, 광자 개수의 요동에 의한 잡음은  $N$ 의 제곱근( $\sqrt{N}$ )에 비례한다. 따라서 '신호대잡음비(신호크기/잡음크기)'는  $\sqrt{N}$ 에 비례하여 증가한다. 예를 들어 광자의 개수가 1개일 때에 비해 100개일 때, 신호는 100배 증가하지만 잡음은 10배만 증가하므로 신호대잡음비는 10배 증가하게 된다. 따라서 광자의 개수를 늘리면 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비를 증가시킬 수 있는데 공진기는 그 안에 레이저 빛을 가둠으로써 간섭계 내부의 광자 개수를 증가시키는 역할도 한다. 하지만 이 정도로는 원하는 신호대잡음비를 얻기에 부족하고 레이저의 출력을 높이는 데에 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 <그림 2>에서와 같이 BS에서 레이저 쪽으로 되돌아가는 빛을 반사하여 다시 간섭계로 보내는 출력 재활용 거울(M5)을 설치하여 간섭계에 사용되는 유효 레이저 출력을 원하는 수준으로 높인다.

빛의 입자적 성질은 간섭신호에 '복사압 잡음'이라고 불리는 또 다른 잡음을 일으키는데, 광자가 거울에 충돌하며 '복사압'이라는 힘을 작용하여 거울이 미세하게 움직이기 때문이다. 광자 개수의 요동이 거울의 요동과 그에 따른 간섭계 경로 길이의 요동을 유발하여 간섭신호의 잡음으로 나타나는데, 거울의 질량이 클수록 거울의 요동이 작아진다. 그러므로 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 광자 개수의 요동이 작을수록, 거울의 질량이 클수록 커진다. 또한 거울의 요동은 힘이 작용하는 시간이 길수록 더 커지므로 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 진동수가 작을수록 급격히 감소하며, 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 진동수가 클수록 완만히 감소한다. 따라서 두 잡음의 합으로 결정되는 신호대잡음비가 가장 크게 되는 진동수 대역이 존재하며, 중력파의 진동수가 이 영역에 들어올 때 중력파가 검출될 확률이 가장 높다.

25. 윗글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 중력파는 레이저 간섭계의 경로 길이 변화로 감지한다.
- ② 공진기는 간섭계 내부에서 빛의 세기를 증가시키는 역할을 한다.
- ③ 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 레이저 출력이 클수록 작아진다.
- ④ 복사압 잡음은 광자 개수의 요동 때문에 발생한다.
- ⑤ 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 진동수가 클수록 커진다.

26. 윗글을 바탕으로 추론한 것으로 적절한 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

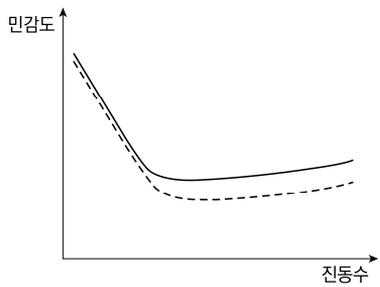
ㄱ. 중력파가 검출될 때, 광검출기에서 측정되는 빛의 세기는 일정하다.  
 ㄴ. 출력 재활용 거울의 반사율을 감소시키면 간섭신호에서 복사압 잡음이 감소한다.  
 ㄷ. 각 공진기를 구성하는 두 거울 사이의 거리를 늘리면 중력파에 의한 경로 길이 변화량이 늘어난다.

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

27. <보기>에서 **특정한 물리량**에 해당하는 것만을 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

다음 그래프는 어떤 중력파검출기의 민감도(1/신호대잡음비)를 진동수에 따라 나타낸 것이다. 여기서 신호대잡음비는 산탄 잡음과 복사압 잡음 모두에 의한 것이다. **특정한 물리량**을 증가시키므로써 현재 실선으로 나타난 민감도를 점선과 같은 민감도로 개선하고자 한다.



- ㄱ. 거울의 질량  
 ㄴ. 레이저의 출력  
 ㄷ. 출력 재활용 거울의 투과율
- ① ㄱ                      ② ㄷ                      ③ ㄱ, ㄴ  
 ④ ㄴ, ㄷ                ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ