

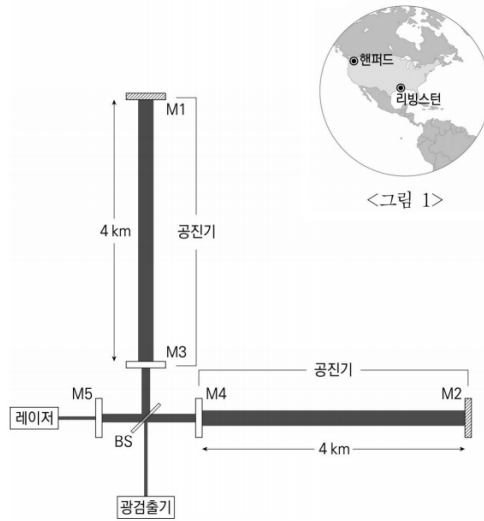
학습목표

1. 어떤 원인에 따른 변화를 강조하는 과학적 태도를 확인할 수 있다.
2. 이유와 결론, 원인과 결론과 같은 인과적 추론이 반복되는 것을 확인할 수 있다.
3. 이론 및 장치의 한계와 대응책을 통해 과학지식이 확장하는 것을 확인할 수 있다.
4. '투과'와 '반사'와 같이 과학현상에서의 '결레'의 개념을 파악할 수 있다.
5. 원인이 달라지면 결과 뿐 아니라 개념 자체가 달라진다는 것을 확인할 수 있다.

Theme 3. 과학이론과 인과관계 분석

출처: 2023학년도 법학적성시험 25~27번 문제

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 1>

최초로 중력파를 검출한 ‘라이고(LIGO)’는 <그림 1>과 같이 미국 한퍼드와 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 지나는 두 경로의 길이 차가 시간에 따라 변화하고 광검출기에서 측정되는 빛의 세기가 그에 따라 변화한다. 이를 측정하면 중력파의 세기와 진동수를 알아낼 수 있다.

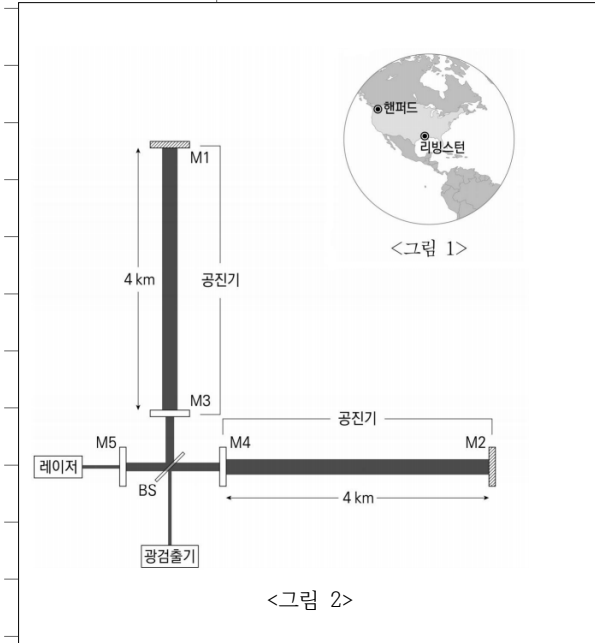
중력파는 공간을 일정한 비율로 변형시키므로 간섭계의 경로 길이를 되도록 크게 하는 것이 길이의 변화량을 크게 할 수 있어 유리하지만 약 4km가 건설할 수 있는 한계이다. 이를 극복하기 위해 라이고에서는 기본적인 간섭계에 두 개의 거울(M3, M4)을 추가하여 ‘공진기’를 구성하고 각 공진기의 두 거울 사이를 빛이 여러 번 왕복하도록 함으로써 유효 경로 길이를 늘리는 방법을 사용하였다. <그림 2>에서 M1과 M3, M2와 M4 사이에 공진기가 형성되고, M1과 M2의 반사율은 100%인 반면 M3, M4는 약 1%의 투과율을 갖도록 하여 빛이 출입할 수 있도록 하였다. 이 경우 공진기 밖으로 나온 빛은 두 거울 사이를 수백 번 왕복한 셈이고 따라서 유효길이가 1,000km 이상에 이른다. 하지만 유효길이의 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 향상할 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 되는 데 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, 증력파의 진동수가 이 영역에 들어올 때 증력파가 검출될 확률이 가장 높다.

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

최초로 중력파를 검출한 라이고(LIGO)



- <그림 1>과 같이 미국 한퍼드와 리빙스턴에 위치함
- <그림 2>와 같은 레이저 간섭계를 사용함
- 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 지나는 두 경로의 길이 차가 시간에 따라 변화하고
- 광검출기에서 측정되는 빛의 세기가 그에 따라 변화한다.
- 이를 측정하면 중력파의 세기와 진동수를 알아낼 수 있다.

[이상] 중력파는 공간을 일정한 비율로 변형시키므로 간섭계의 경로 길이를 되도록 크게 하는 것이 길이의 변화량을 크게 할 수 있어 유리함

[한계] 약 4km가 건설할 수 있는 한계

[대응] 기본적인 간섭계에 두 개의 거울(M3, M4)을 추가하여 공진기를 구성함

각 공진기의 두 거울 사이를 빛이 여러 번 왕복하도록 함으로써 유효 경로 길이를 늘리는 방법을 사용함

- M1과 M2의 반사율은 100% / M3, M4는 약 1%의 투과율을 갖도록 하여 빛이 출입할 수 있도록 함
- 공진기 밖으로 나온 빛은 두 거울 사이를 수백 번 왕복한 셈이며, 유효길이가 1,000km 이상에 이룸

But, 유효길이의 변화량은 여전히 원자 크기의 십만분의 일 정도에 불과함
 어떻게 중력파의 검출이 가능하였던 것일까?

	원자의 크기보다도 한참 작은 미세한 길이 변화의 측정이 가능한 [이유] 여러 번 측정하여 평균을 취하면 측정값의 정확도를 향상할 수 있음
양자 물리에서 빛은 '광자'라고 부르는 입자	간섭계는 결국 광검출기에서 빛의 세기를 측정하는 것: 빛의 세기는 광자의 개수에 비례함 - 측정할 때마다 무작위로 달라지는 광자 개수의 요동이 간섭신호의 잡음 으로 나타남
	- 간섭신호의 크기는 광자의 개수 N에 비례함
	[산탄잡음] 광자 개수의 요동에 의한 잡음은 N의 제곱근(\sqrt{N})에 비례함
	[신호대잡음비(신호크기/잡음크기)] \sqrt{N} 에 비례하여 증가한다.
	[예시] 광자의 개수가 1개일 때에 비해 100개일 때, 신호는 100배 증가하지만 잡음은 10배만 증가하므로 신호대잡음비는 10배 증가하게 된다.
	- 공진기는 그 안에 레이저 빛을 가둠으로써 간섭계 내부의 광자 개수를 증가시키는 역할도 함
	[한계] 이 정도로는 원하는 신호대잡음비를 얻기에 부족하고 레이저의 출력을 높이는 데에 한계가 있음
	[대응] <그림 2>에서와 같이 는 출력 재활용 거울(M5)을 설치함
	- BS에서 레이저 쪽으로 되돌아가는 빛을 반사하여 다시 간섭계로 보냄
	- 간섭계에 사용되는 유효 레이저 출력을 원하는 수준으로 높임
	빛의 입자적 성질은 간섭신호에 복사압 잡음 이라고 불리는 또 다른 잡음 을 일으킴
	Why? 광자가 거울에 충돌하며 복사압이라는 힘을 작용하여 거울이 미세하게 움직이기 때문
	- 광자 개수의 요동이 거울의 요동과 그에 따른 간섭계 경로 길이의 요동을 유발하여 간섭신호의 잡음으로 나타남 / 거울의 질량이 클수록 거울의 요동이 작아짐
복사압 잡음에 의한	[신호대 잡음비] - 광자 개수의 요동이 작을수록, 거울의 질량이 클수록 커짐
	- 거울의 요동은 힘이 작용하는 시간이 길수록 더 커짐
	- 진동수가 작을수록 급격히 감소함
	* 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 진동수가 클수록 완만히 감소함
	두 잡음의 합으로 결정되는 신호대잡음비가 가장 크게 되는 진동수 대역이 존재하며, 중력파의 진동수가 이 영역에 들어올 때 중력파가 검출될 확률이 가장 높음

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 물리량에 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 물리량을 증가시킴으로써 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

정답과 해설

해설자료 구성과 활용 하는 방법

[해설 자료]

1. 지문

[1 문단]

제도의 선택에 대한 설명에는 합리적인 주체인 사회
 성원들이 사회 전체적으로 가장 이익이 되는 제도를
 취한다고 보는 효율성 시각과 이데올로기·경로의존성·
 역 과정 등으로 인해 효율적 제도의 선택이 일반적
 않다고 보는 시각이 있다.

제도를 선택하는 것에 대한 설명하는 관점은 두 가
 있다.

- 효율성 시각
- 효율적 제도의 선택이 일반적이지 않다고 보는 시각

설명:

- 두꺼운 두 줄로 사이에 있는 내용은 지문입니다.
- 지문 아래에 해당 문장에 대한 해설을 작성했습니다.

To-Do List:

- 지문 읽으시고, 아래 해설을 확인하시면 됩니다.
- 해당 지문이 이해가 안가거나 인상적인 내용이 있다면, 별표나 나름대로의 표시하고, 나중에 복습하시면 됩니다.

2. 단어 확인

WORD 1 직관-적 直觀的 이라는 것

直 곧을 직 觀 불 관 的 과녁 적

1. 판단이나 추리 따위의 사유 작용을 거쳐 지
 상을 직접적으로 파악하는 것.

WORD 2 호소-력 呼訴力 이라는 것

呼 부를 호 訴 호소할 소 力 힘 력(역)

1. 강한 인상을 주어 마음을 사로잡을 수 있는
 2. 호소(呼訴)하여 동정(同情)을 불러일으키는

설명:

- 평소에 쉽게 지나가는 단어들, 그런 단어들의 뜻을 직접 확인할 수 있도록 구성되었습니다.

To-Do List:

- 해당 단어의 뜻을 명확히 몰랐다면, 꼭 뜻을 확인합시다.
- 나중에 공부하면서 지나가는 단어 중에 모르는 단어가 있다면, 나름대로 검색해서 확인해주시길 바랍니다.

3. 추가적인 학습 포인트

CHECK 2 OR이 있는 문장구조(복문의 함정)

OR구조로 이어질 때 문장 성분이 생략되는 경우

- 사과가 바닥으로 떨어지는 이유는 중력으로 설명할
- 포탄이 포물선 운동을 하는 이유는 중력으로 설명할 (OR을 통한 문장구조)

사과가 바닥으로 떨어지거나 포탄이 포물선 운동을 하
 중력으로 설명 할 수 있다.

해당 네모를 친 표현에서 실제로 생략되는 문
 '지는 이유는 중력으로 설명할 수 있다.'이며, 이

설명:

- 주어진 문장에서 추가로 학습할 수 있는 포인트들을 정리했습니다.

To-Do List:

- 학습 포인트를 읽고, 지문에서 해당 포인트를 직접 확인합시다.
- 복습하신다면, 꼭 별표나 자신만의 표시를 합시다.

4. 학습목표

학습목표

- 익숙해서 쉽게 지나가는 단어를 제대로 모르는 경우
- 익숙한 문장구조에서 생략되는 표현이 있다는 것을
- 지문에서 그래프의 내용을 확인하고 그래프의 특징
- 개념 간의 차이를 인식하고 구분 기준을 확인할 수
- 정성적 개념과 정량적 개념이 무엇인지 알 수 있다.

설명:

- 처음에 정리된 학습목표들은 다시 확인하도록 구성되었습니다.

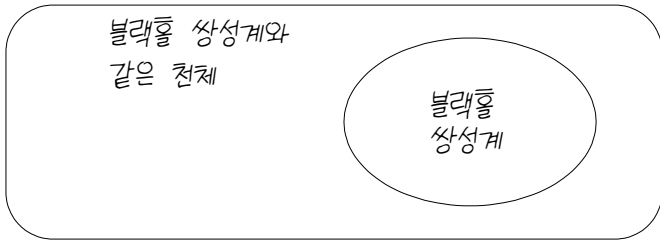
To-Do List:

- 학습목표를 확인하시면서 앞에 네모 칸에 체크합시다
- 학습목표 아래에 네모 칸에, 해당 학습을 하면서 기억에 남거나, 깨달은 점들을 정리합시다.

[1문단]

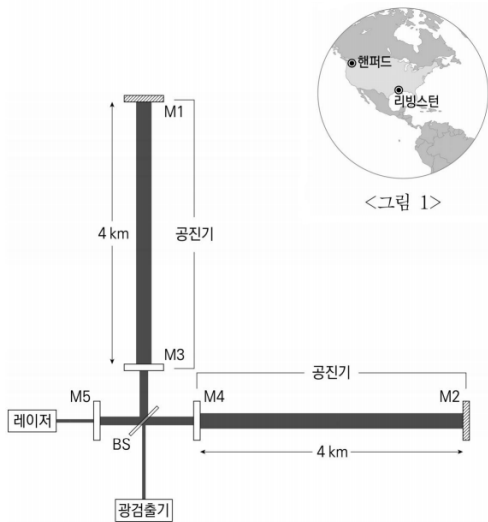
블랙홀 쌍성계와 같은 천체에서 발생한 중력파가 지구를 지나가는 동안, 지구 위에서는 중력파의 진행 방향과 수직인 방향으로 공간이 수축 팽창하는 변형이 시간에 따라 반복적으로 일어난다.

- 블랙홀 쌍성계에서는 중력파가 발생한다.
- 블랙홀 쌍성계와 같은 천체가 존재한다.



- 블랙홀 쌍성계와 같은 천체에서 발생한 중력파는 지구를 지날 수 있다.
- 중력파에 의해 중력파의 진행방향과 중력파 진행방향의 수직방향으로 공간이 수축 팽창하는 변형이 시간에 따라 반복적으로 일어난다.

[2문단]



<그림 2>

최초로 중력파를 검출한 ‘라이고(LIGO)’는 <그림 1>과 같이 미국 헨퍼드와 리빙스턴에 위치하며, <그림 2>와 같은 레이저 간섭계를 사용한다.

‘라이고(LIGO)’는 최초로 중력파를 검출했다.

- ‘라이고(LIGO)’는 미국 헨퍼드와 리빙스턴에 위치함
- ‘라이고(LIGO)’는 레이저 간섭계를 산다
- <그림 2>는 레이저 간섭계다.

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.

레이저에서 나온 빛의 두 경로

[경로 1] BS → M1 → BS → 광검출기

[경로 2] BS → M2 → BS → 광검출기

- 빔가르개(BS): 빛의 경로를 두 개로 나눔
- 각 경로 끝의 거울(M1, M2): 빛을 반사함

두 경로 사이에 미세한 길이 차이가 발생하면 중첩된 빛의 세기에 차이가 발생하는데, 간섭계가 놓인 면을 중력파가 통과하며 공간의 수축과 팽창이 반복되면 빛이 지나는 두 경로의 길이 차가 시간에 따라 변화하고 광검출기에서 측정되는 빛의 세기가 그에 따라 변화한다. 이를 측정하면 중력파의 세기와 진동수를 알아낼 수 있다.

목적: 중력파의 세기와 진동수를 알아내는 것

수단: 빛의 세기의 변화를 측정하는 것

- ① 간섭계가 놓인 면을 중력파가 통과하며 공간의 수축과 팽창이 반복
- ② 빛이 지나는 두 경로의 길이 차가 시간에 따라 변화함
- ③ 광검출기에서 측정되는 빛의 세기가 그에 따라 변화함

[문단 3]

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.

이유: 중력파는 공간을 일정한 비율로 변형시킴
 결론: 간섭계의 경로를 되도록 크게 하는 것이 좋음
 - 간섭의 경로 길이를 되도록 크게 하는 것이 길이의 변화량을 크게 할 수 있어 유리함

한계: 간섭계 경로의 최대 건설 길이는 약 4km임

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.

▶ 대응: 기본적인 간섭계에 공진기를 구성함
 - 두 개의 거울(M3, M4)을 추가하여 ‘공진기’를 구성함
 - 각 공진기의 두 거울 사이를 빛이 여러 번 왕복하도록 함으로써 유효 경로 길이를 늘림

<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.

공진기가 형성되는 위치
 : M1과 M3 사이, M2와 M4 사이

	M1과 M2	M3, M4
반사율	100%	약 99%
투과율	0%	약 1%

반사는 빛이 거울을 부딪혀서 방향이 180도 바뀌는 것을 말하며, 투과는 거울을 지나쳐서 거울 뒤편으로 지나가는 것을 말한다.

각 단어의 의미를 고려하여 표를 완성할 수 있다.

이 경우 공진기 밖으로 나온 빛은 두 거울 사이를 수백 번 왕복한 셈이고 따라서 유효길이가 1,000km 이상에 이른다. 하지만 유효길이의 변화량은 여전히 원자 크기의 십만분의 일 정도에 불과한데, 어떻게 중력파의 검출이 가능하였던 것일까?

공진기 밖으로 나온 빛: M3, M4에서 나온 빛
 - 유효길이가: 1,000km 이상

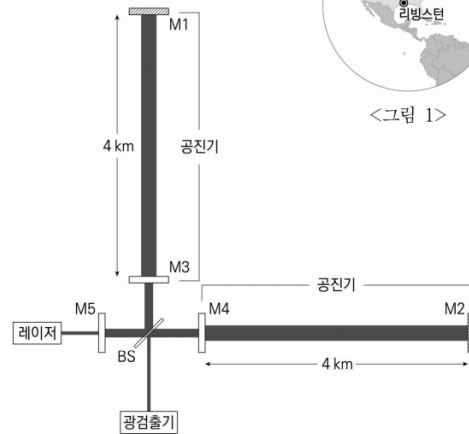
한계: 유효길이의 변화량이 너무 적음
 - 유효길이의 변화량 원자 크기의 십만분의 일

한계에 대한 질문

: (유효길이의 변화량이 매우 작음에도 불구하고)
 어떻게 중력파의 검출이 가능하였던 것일까?



<그림 1>



<그림 2>

[문단 4]

원자의 크기보다도 한참 작은 미세한 길이 변화의 측정이 가능한 이유는 여러 번 측정하여 평균을 취하면 측정값의 정확도를 향상할 수 있다는 사실에 있다.

한계: 원자의 크기보다도 한참 작은 미세한 길이 변화
주어진 사실이자 대응책: 여러 번 측정하여 평균을 취하면 측정값의 정확도를 향상할 수 있다

간섭계는 결국 광검출기에서 빛의 세기를 측정하는 것인데 양자 물리에서 빛은 ‘광자’라고 부르는 입자로 여겨지며 이때 빛의 세기는 광자의 개수에 비례한다.

간섭계: 최종적으로 광검출기에서 빛의 세기를 측정하는 것
- 양자물리에서 빛은 ‘광자’라고 불리는 입자임
- 빛의 세기는 광자의 개수에 비례함

즉, 광검출기는 광자의 개수를 측정하는 것이며 측정할 때마다 무작위로 달라지는 광자 개수의 요동이 간섭신호의 잡음으로 나타나게 되는 데 이를 ‘산탄 잡음’이라고 한다.

광검출기의 역할: 광자의 개수를 측정하는 것
- 측정할 때마다 광자의 개수는 무작위로 달라짐
→ 여러 번 측정하기 때문에, 특정할 때마다를 가정하게 됨

WORD 1 요동 搖 흔들 요 動 움직일 동

- 흔들리어 움직임. 또는 흔들어 움직임.
- 물리 물체가 일정한 평형 상태나 수치로부터 조금 벗어나남. 또는 그렇게 되게 만들.

요동이라는 것은 일정한 평형 상태에서 벗어나는 것을 말한다. 따라서 광자 개수의 요동은 광자의 개수 자체가 일정하지 않고, 무작위로 달라지는 현상을 말한다.

- ① 광자 개수의 요동: 측정할 때마다 광자의 개수는 무작위로 달라짐
- ② 산탄잡음: 광자 개수의 요동으로 인한 간섭신호의 잡음

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.

- 광자의 개수: N
- (간섭) 신호의 크기: 광자의 개수 N 에 비례함
- 광자 개수의 요동에 의한 잡음: N 의 제곱근(\sqrt{N})에 비례함
- ‘신호대잡음비 (신호크기 /잡음크기)’: \sqrt{N} 에 비례하여 증가함

예를 들어 광자의 개수가 1개일 때에 비해 100개일 때, 신호는 100배 증가하지만 잡음은 10배만 증가하므로 신호대잡음비는 10배 증가하게 된다.

- 광자의 개수의 변화: $1 \rightarrow 100$
- (간섭) 신호의 크기의 변화: 100배
- 광자 개수의 요동에 의한 잡음의 변화: 10배
- ‘신호대잡음비’의 변화: 10배



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.

한계 1: 기존의 시설을 통해 원하는 신호대 잡음비를 얻기 힘들

한계 2:

(기존의 시설을 사용하면서 레이저 출력을 올려서 한계 1을 극복하려고 하더라도,)

레이저의 출력을 높이는 데에 한계가 있음

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.

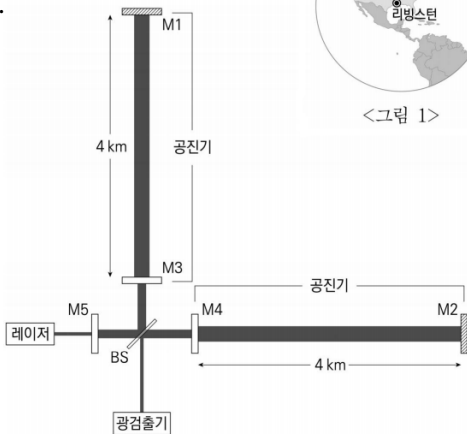
목표: 간섭계에 사용되는 유효 레이저 출력을 원하는 수준으로 높임

수단: 출력 재활용 거울(M5)을 설치함

- 출력 재활용 거울(M5): <그림 2>에서와 같이 BS에서 레이저 쪽으로 되돌아가는 빛을 반사하여 다시 간섭계로 보냄



<그림 1>



<그림 2>

[문단 5]

빛의 입자적 성질은 간섭신호에 ‘복사압 잡음’이라고 불리는 또 다른 잡음을 일으키는데, 광자가 거울에 충돌하며 ‘복사압’이라는 힘을 작용하여 거울이 미세하게 움직이기 때문이다.

원인: 빛의 입자적 성질

- ① 광자가 거울에 충돌하고, ‘복사압’이 발생함
- ② 거울이 미세하게 움직임
- ③ **결과:** 간섭신호에 ‘복사압 잡음’이 발생

‘복사압’은 힘이다.

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.

- ① **원인:** 광자 개수의 요동
- ② **결과 1:** 거울의 요동
- ③ **결과 2:** 거울의 요동에 따른 간섭계 경로 길이의 요동
- ④ **최종결과:** 간섭신호의 잡음

비례관계: 거울의 질량이 클수록 거울의 요동이 작아진다.

4문단의 신호대잡음비는 ‘산탄잡음에 의한 신호대잡음비’이며, 지금 정리되는 신호대잡음비는 ‘복사압 잡음에 의한 신호대잡음비’다.

다시 말해, 잡음의 발생 원인이 다르며, 이로 인해 예측되는 두 신호대잡음비 역시 다른 개념으로 인식해야 한다.

복사압 잡음에 의한 신호대잡음비에서

확인가능한 비례 관계

- 광자 개수의 요동이 작을수록 신호대잡음비는 커진다.
- 거울의 질량이 클수록 신호대잡음비는 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.

원인에 따른 구분(신호대잡음비)

복사압 잡음에 의한 신호대잡음비

- 진동수가 작을수록 신호대잡음비는 급격히 감소함
- 거울의 요동은 힘이 작용하는 시간이 길수록 더 커짐

산탄 잡음에 의한 신호대잡음비

- 진동수가 클수록 신호대잡음비는 완만히 감소함

따라서 두 잡음의 합으로 결정되는 신호대잡음비가 가장 크게 되는 진동수 대역이 존재하며, 중력파의 진동수가 이 영역에 들어올 때 중력파가 검출될 확률이 가장 높다.

두 잡음의 합으로 결정되는 신호대잡음비

= 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비 + 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비

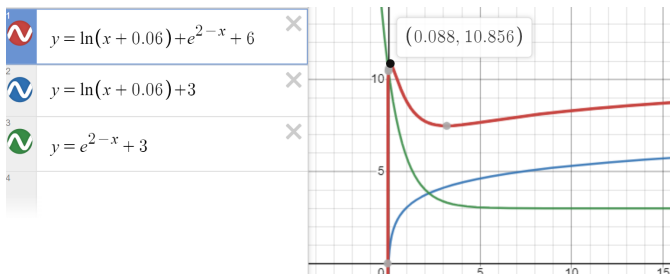
중력파의 진동수에 따라 두 잡음의 신호대잡음비의 증감이 달라질 뿐만 아니라 변화 정도가 다르다는 것을 바로 위에서 확인할 수 있다.

이를 토대로 그래프 모델을 대입하면 아래와 같다.

(x 는 진동수, y 는 신호대잡음비, k 는 양수)

- ‘복사압 잡음에 의한 신호대잡음비’: 로그함수
- ‘산탄 잡음에 의한 신호대잡음비’: 지수의 계수가 음수인 지수함수

- 지문을 근거로 했을 때, ‘두 잡음의 합으로 결정되는 신호대 잡음비’에 대한 1차 모델링 추정을 통한 그래프 개형:



따라서 특정 진동수 대역에서 최대 혹은 극대값을 가질 수 있음을 예상할 수 있다

그리고 해당 실험 장치의 목적을 잊지 말자!

목적: 중력파를 검출하고, 진동수와 크기를 확인하는 것

신호대잡음비가 가장 크게 되는 진동수 대역을 확인하는 이유는 중력파를 검출하기 위함이다. 해당 장치의 반복 실험하면서 얻은 수치들을 통해 모델링을 진행하여 특정 진동수 대역을 구할 수도 있다.

이후 모델링된 데이터를 통해, 장치의 구성요소에 변화를 준다면 중력파가 검출될 확률이 높은 진동수 대역을 수정할 수도 있다.

미리 설정된 진동수 대역 내에서 중력파가 검출된다면, 해당 중력파의 진동수 대역 역시 추측이 가능해진다.

이번 지문에서는 중력파를 검출하고, 진동수를 추측하는 방법을 알 수 있다.

다만 중력파의 크기를 확인하는 방법을 알 수 없다. 혹은 진동수를 측정하는 방법에 대해 범위가 아닌 특정 수치로 정리하는 방법 역시 나오지 않았다.

결국 이번 지문에서 명확하게 정리된 것은 중력파를 검출하는 방법이다.

25.③ 26.⑤ 27.③

[25번 문제]

윗글의 내용과 일치하지 않는 것은?

윗 글에서 선지와 일치하는 내용을 찾고 문제를 풀어나가야 한다

① 중력파는 레이저 간섭계의 경로 길이 변화로 감지한다.

‘중력파는 공간을 일정한 비율로 변형시키므로 간섭계의 경로 길이도 되도록 크게 하는 것이 길이의 변화량을 크게 할 수 있어 유리하’다는 말은, 결국 중력파를 감지하기 위해서는 우선적으로 간섭계의 경로 변화가 우선되어야 한다는 것이다. 따라서 해당 선지는 참이다.

② 공진기는 간섭계 내부에서 빛의 세기를 증가시키는 역할을 한다.

‘공진기는 그 안에 레이저 빛을 가둠으로써 간섭계 내부의 광자 개수를 증가시키는 역할도 한다.’ 따라서 해당 선지는 참이다.

③ 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 레이저 출력이 클수록 작아진다.

레이저 출력이 크다는 말은 레이저의 빛의 세기가 크다는 말이고, ‘양자 물리에서 빛은 ‘광자’라고 부르는 입자로 여겨지며 이때 빛의 세기는 광자의 개수에 비례’한다. 즉, 레이저 출력이 커진다는 것은 레이저에서 나오는 광자의 개수가 증가한다는 말이다.

광자 개수의 요동에 의한 잡음, 다시 말해 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 ‘N의 제곱근(\sqrt{N})에 비례한다. 따라서 ‘신호대잡음비 (신호크기 /잡음크기)’는 \sqrt{N} 에 비례하여 증가한다.’ 따라서 해당 선지는 거짓이다.

④ 복사압 잡음은 광자 개수의 요동 때문에 발생한다.

‘광자 개수의 요동이 거울의 요동과 그에 따른 간섭계 경로 길이의 요동을 유발하여 간섭신호의 잡음으로 나타나’며, 이 때 나타나는 잡음을 복사압 잡음이라 한다. 따라서 해당 선지는 참이다

⑤ 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 진동수가 클수록 커진다.

‘복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 진동수가 작을수록 급격히 감소하’기 때문에, 진동수가 클수록 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 커진다. 따라서 해당 선지는 참이다.

[26번 문제]

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

윗글(지문)의 내용을 근거로 삼아야 한다. 추론 문제라는 것을 고려하면, 주어진 ㄱ, ㄴ, ㄷ에서의 문장이 지문의 문장과 일치하지 않을 수 있다는 점을 기억해야 한다.

ㄱ. 중력파가 검출될 때, 광검출기에서 측정되는 빛의 세기는 일정하다.

‘중력파가 통과하며 공간의 수축과 팽창이 반복되면 빛이 지나는 두 경로의 길이 차가 시간에 따라 변화하고 광검출기에서 측정되는 빛의 세기가 그에 따라 변화한다.’ 따라서 해당 문장은 거짓이다.

ㄴ. 출력 재활용 거울의 반사율을 감소시키면 간섭신호에서 복사압 잡음이 감소한다.

‘레이저 쪽으로 되돌아가는 빛을 반사하여 다시 간섭계로 보내는 출력 재활용 거울(M5)을 설치하여 간섭계에 사용되는 유효 레이저 출력을 원하는 수준으로 높인다’는 것은 간섭계의 빛의 세기, 다시 말해 광자의 개수를 높인다는 것이다.

출력 재활용 거울의 반사율이 감소하면, 간섭계 내부의 광자의 개수가 줄어든다. 광자가 거울에 충돌하며 ‘복사압’이라는 힘을 작용하고 이로 인해 ‘복사압 잡음’이 발생한다. 따라서 광자의 개수가 줄어들면 거울에 충돌하는 광자의 개수 역시 줄어들며, 복사압도 줄어든다. 복사압이 줄어들면, 복사압으로 생기는 잡음 역시 줄어든다. 따라서 해당 선지는 참이다.

ㄷ. 각 공전기를 구성하는 두 거울 사이의 거리를 늘리면 중력파에 의한 경로 길이 변화량이 늘어난다.

‘간섭계의 경로, 길이를 되도록 크게 하는 것이 길이의 변화량을 크게 할 수’ 있다. 따라서 해당 선지는 참이다.

[27번 문제]

27. <보기>에서 특정한 물리량에 해당하는 것만을 있는 대로 고른 것은?

특정한 물리량이 무슨 기능을 하는지 확인하고, 이후 해당하는 것을 고르면 된다

다음 그래프는 어떤 중력파검출기의 민감도(1/신호대잡음비)를 진동수에 따라 나타낸 것이다.

민감도는 신호대잡음비의 역수로 표현되어 있기 때문에, 두 대상의 관계는 반비례 관계이다.

여기서 신호대잡음비는 산탄 잡음과 복사압 잡음 모두에 의한 것이다.

또한 관심있는 신호대잡음비는 산탄 잡음과 복사압 잡음을 모두 고려해야 한다. 따라서 각 신호대잡음비에 대한 공식을 확인해야 한다.

산탄잡음에 의한 신호대잡음비 관련 공식

- 광자의 개수: N
- (간섭) 신호의 크기: 광자의 개수 N 에 비례함
- 광자 개수의 요동에 의한 잡음: N 의 제곱근(\sqrt{N})에 비례함
- ‘신호대잡음비 (신호크기 /잡음크기)’: \sqrt{N} 에 비례하여 증가함

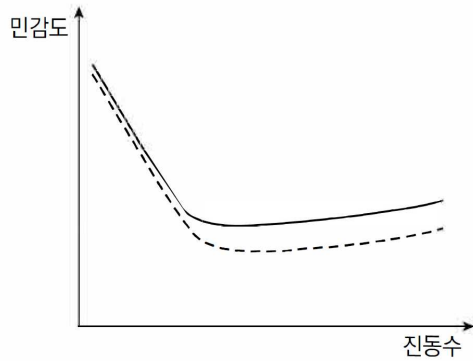
복사압 잡음에 의한 신호대잡음비에서

확인가능한 비례 관계

- 광자 개수의 요동이 작을수록 신호대잡음비는 커진다.
- 거울의 질량이 클수록 신호대잡음비는 커진다.

특정한 물리량을 증가시킴으로써 현재 실선으로 나타난 민감도를 점선과 같은 민감도로 개선하고자 한다.

그래프를 보면서 민감도가 어떻게 개선되는지 확인하자.



기존 그래프에 비해서 민감도가 전체적으로 감소했다. 이는 신호대잡음비가 전체적으로 증가하는 경우를 고려해야 한다는 것이다. 따라서 신호대잡음비를 증가시키는 물리량을 골라야 한다.

ㄱ. 거울의 질량

거울의 질량이 증가하면 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비가 증가한다. 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 거울의 질량을 고려하지 않는다. 최종적으로 전체적인 신호대잡음비는 증가한다. 따라서 해당 물리량은 골라야 한다.

ㄴ. 레이저의 출력

레이저의 출력이 증가하면, 간섭계에서의 광자의 양이 증가하기 때문에, 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 증가한다. 물론 광자의 개수가 증가하면 복사압을 증가하며 복사압 잡음이 증가한다. 하지만 복사압 잡음에 의한 신호대잡음비는 광자의 개수의 요동, 즉 광자 개수의 변화량에만 영향을 받는다. 최종적으로 전체적인 신호대잡음비는 증가한다. 따라서 해당 물리량은 골라야 한다.

ㄷ. 출력 재활용 거울의 투과율

투과율이 증가하면, 반사율이 감소하는 것이기 때문에, 간섭계에서의 광자의 양이 감소한다. 따라서 산탄 잡음에 의한 신호대잡음비는 감소한다. ㄴ에서 사용했던 사고방식 역시 그대로 적용되기 때문에, 최종적인 신호대잡음비 역시 감소한다. 따라서 해당 물리량은 고르면 안 된다.

학습목표

1. 어떤 원인에 따른 변화를 강조하는 과학적 태도를 확인할 수 있다.
2. 이유와 결론, 원인과 결론과 같은 인과적 추론이 반복되는 것을 확인할 수 있다.
3. 이론 및 장치의 한계와 대응책을 통해 과학지식이 확장하는 것을 확인할 수 있다.
4. '투과'와 '반사'와 같이 과학현상에서의 '결레'의 개념을 파악할 수 있다.
5. 원인이 달라지면 결과 뿐 아니라 개념 자체가 달라진다는 것을 확인할 수 있다.
