

그림: T. Pyle/Calech/MIT/LIGO Lab

아인슈타인의 이론 검증에 기여한 진공

LIGO의 공동 설립자인 라이너 바이스 교수(박사)와의 인터뷰

2015년 9월 미국의 루이지애나주와 워싱턴주에 소재한 LIGO 관측소에서 지구에 직접 도달한 중력파를 최초로 검출함으로써 발원지의 강한 중력장 한계에서 아인슈타인의 이론을 확인했는데, 이는 천체물리학에서 획기적인 사건입니다. 진공 기술은 LIGO의 극적인 측정에서 중요한 역할을 했습니다. 파이퍼 베컴의 솔루션은 LIGO 관측소 및 관련된 기본 실험에 모두 사용되었습니다. 인터뷰에서 LIGO의 공동 설립자인 라이너 바이스 교수(박사)는 LIGO의 조사 결과와 파이퍼 베컴 솔루션에 대해 의견을 나누었습니다.

$E = mc^2$: 질량 에너지 동등성을 설명하기 위해 알버트 아인슈타인이 1905년 개발한 상대성 이론의 일부인 이 공식은 아마도 지금까지 가장 유명한 물리 공식일 것입니다. 몇 년 후 세계적으로 유명한

이 물리학자는 자신의 관측을 중력으로 확장하여 1915년 일반 상대성 이론의 일부로서 중력파의 존재를 수학적으로 설명했습니다. 100년 동안 이 이론은 물리학에서 인정을 받아 왔습니다.

미국의 워싱턴주와 루이지애나주에 소재한 LIGO(레이저 간섭계 중력파 관측소)의 도움으로 과학자들은 충돌하는 한 쌍의 블랙홀에서 복사되는 중력파를 최초로 검출할 수 있었습니다. 이와 함께 블랙홀 쌍성계의 존재가 입증되었고 이들의 역학이 아인슈타인의 방정식을 따른다는 게 확인되었습니다.

중력파 – 시공간의 변형

중력파는 중성자별이나 블랙홀과 같이 질량이 큰 물체가 가속되어 가까이에서 서로의 돌레를 돌 때 형성됩니다. 이들은 충돌할 때 광속의 절반에 가까운 엄청난 고속으로 접근하면서 충돌합니다. 이들은 궤도를 돌 때 공간을 압축하고 신장하면서 시공간을 변형시키는 중력파를 방출합니다. 이러한 변형은 매우 작고 진동합니다. 이들은 물에 던지면 표면에 바깥쪽으로 퍼지는 동심원 파도를 만드는 돌과 같다고 할 수 있습니다.

아인슈타인 이론의 극적인 증명

2015년 9월 LIGO는 약 13억 광년의 거리에 있는 은하에서 합쳐지는 2개의 블랙홀이 방출한 중력파를 검출했습니다. 이로써 아인슈타인의 이론을 한 번 더 입증하게 되었을 뿐만 아니라, 이러한 조사 결과를 가지고 최초로 한 쌍의 블랙홀 존재도 증거로서 보여줄 수 있었습니다. 연구자들에게 이러한 발견은 천문학에서 새로운 시대의 시작을 의미하는데, 이는 17세기 갈릴레이 갈리레오가 천문학 적 연구를 시작했던 때에 버금갑니다.

이러한 새 시대로의 진입은 3,000 km나 떨어져 있는 미국 LIGO에서 2개의 검출기, 즉 헨포드(워싱턴주)와 리빙스턴(루이지애나주)을 사용함으로써 가능했습니다. 이 프로젝트는 중력파의 등록에 관한 조사 및 실험을 실시하기 위해 1992년 시작되었습니다. 현재 16 개국에서 온 수천 명의 과학자들이 거기에서 연구하고 있습니다.

검출기는 미켈슨을 따른 간섭 방식으로 작동합니다. 이 검출기에서는 광선 분할기에 의해 분할된 레이저 광선이 가능한 한 긴 두 경로를 거쳐 광학 미러 시스템을 통과합니다. 그런 후 이 레이저 광선은 검출기에서 합류합니다. 이런 식으로 레이저 광선에서 중력파에 의해 만들어지는 비행시간의 가장 작은 차이까지도 측정할 수 있습니다. 중력파에 의해 만들어지는 레이저 광선의 거리 변화는 미러가 4 km 떨어져 있어도 크기가 10^{-18} 미터인 원자 핵의 1/1000에 불과합니다.



그림: Caltech/MIT/LIGO Lab

그림 1: 길이가 4 km에 달하는 루이지애나주 소재 LIGO 검출기 진공 튜브 암의 조망

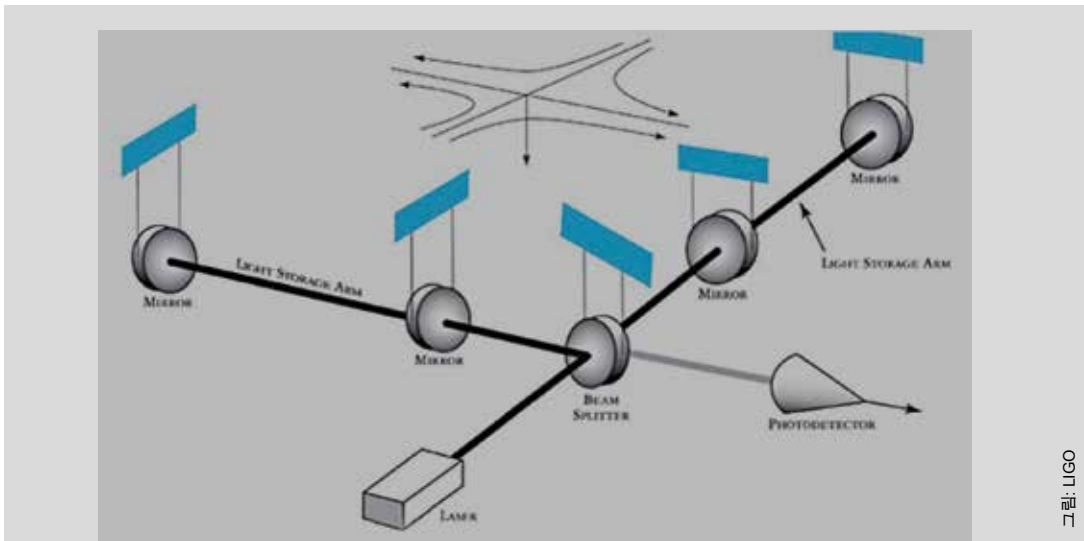


그림 2: 중력파 검출을 위한 LIGO 간섭계의 개략도

LIGO에서 사용된 파이퍼 베콤의 진공 기술

이 실험과 지구에 도달한 중력파의 증명에는 진공 기술이 필요했습니다. 올바른 기능을 보장하기 위해 레이저의 두 경로에 간섭을 일으키는 어떠한 영향도 없어야 합니다. 이러한 이유 때문에 초고진공 시스템에 레이저 광선과 광학 미러를 채택했습니다. 시스템의 품질 및 신뢰성을 확보하고 이로써 성공적인 실험 완료를 보장할 수 있기 위해서는 수십 년에 걸친 준비가 필요했습니다. 이 준비의 일환으로 전 세계에 걸쳐 여러 물리학 연구소에서 중력파 실험을 준비하기 위해 집중적인 기본 조사를 실시했습니다.

파이퍼 베콤은 이러한 기본 실험의 대다수에 진공 장비를 제공했습니다. 또한 LIGO 관측소의 검출기는 파이퍼 베콤의 분석 시스템에 의해 진공이 모니터링됩니다. 대형 빔 튜브의 베이카아웃 진단 시 품질 보장 및 리크 감지를 위해 파이퍼 베콤의 HiPace 터보 펌프 및 다양한 질량 분석기가 사용됩니다. 이들의 사용으로 튜브 시스템에 필요한 진공 조건이 지속적으로 유지되고, 실험의 성공적인 실행을 위한 환경 조건이 조성됩니다.

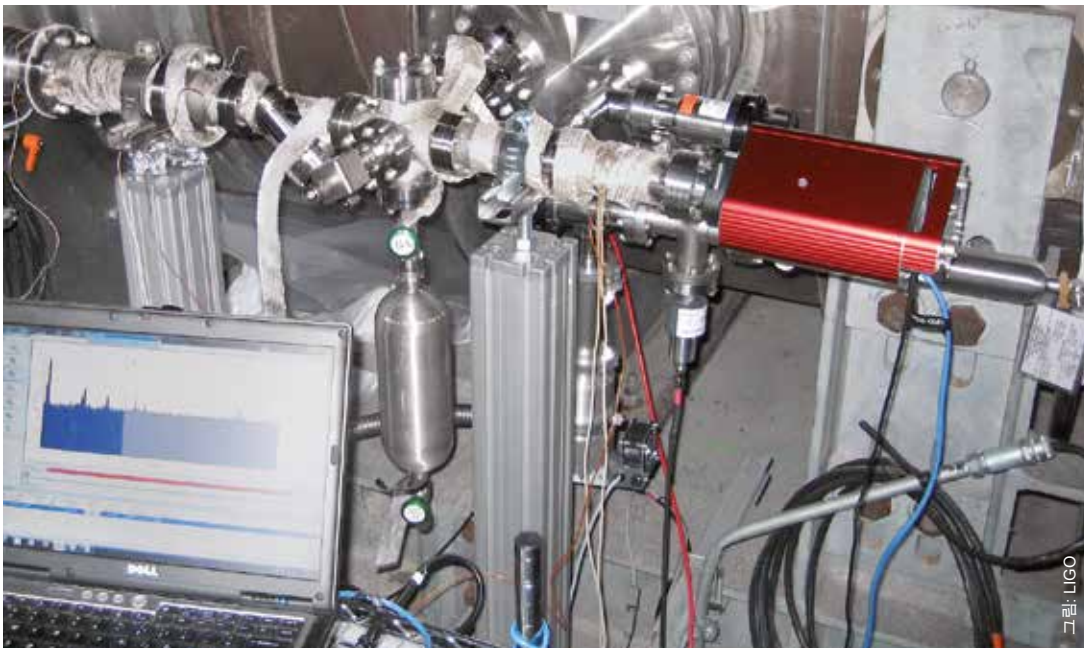


그림 3: LIGO 실험에 사용된 파이퍼 베콤의 진공 솔루션 - HiPace 터보 펌프와 Prisma Plus 질량 분석기

LIGO의 공동 설립자이자 과학계 리더인 라이너 바이스와의 인터뷰



그림: MIT 뉴스/브라이스 워마드

LIGO 공동 설립자인 라이너 바이스 교수(박사)

바이스 박사는 LIGO의 공동 설립자이자 이 프로젝트의 과학계 리더로서 25년 이상 검출기를 사용하여 연구를 이어가고 계십니다. 이러한 모든 일이 어떻게 시작되었는지 말씀해주시겠습니까? 프로젝트가 어떻게 발전해왔고 박사의 경우 무엇이 동기를 부여했습니까?

이야기하자면 길지요. 이 프로젝트는 제가 MIT에서 초임 교수일 때 시작되었는데, 그 때 일반 상대성 이론을 강의해 달라는 요청을 받았지요. 그 때가 1968년이었고, 저는 물리학과에서 실험 중력과 관측 천문학 연구를 위한 새로운 조사 그룹을 막 가동시킨 시점이었어요. 저는 일반 상대성 이론을 거의 알지 못했는데, 학생들에 비해 약간 앞서 배워가는 형편이었습니다. 솔직히 말해 텐서 미적분학은

저보다 나왔을 겁니다. 강의에서는 웨버 실험에 관해 더 많은 것을 알고 싶어했지요. 그것은 아인슈타인의 중력과 연구 선구자인 조센 웨버가 1960년대 시도한 측정법으로서 알루미늄 바의 여기 작용을 이용했어요. 저는 바와 중력과 간의 상호 작용을 이해하는 데 끔찍한 어려움을 겪었습니다. 저는 중력파가 접근할 때 이웃한 축지선을 따라 이동하는 한 쌍의 물체가 어떻게 간격을 변화시키는지 이해하고 계산할 수 있을 거라고 믿었어요. 그래서 떠오른 생각이 빛이 물체 사이를 왔다갔다 하는 데 걸리는 시간을 이용하여 이러한 간격을 측정하는 것이었습니다. 수학은 그다지 어렵지 않았어요. 그래서 학생들에게 과제로 내주었지요. 나중에 이 문제를 좀더 자세히 생각한 끝에 이런 식으로 누군가 감도가 우수한 중력과 검출기를 만들어 낼 수 있으리라는 걸 알았습니다. 이것이 제가 LIGO를 처음 생각해 낸 계기입니다.

이제 중력파는 정말 물리적으로 검출되었지요. 처음 이러한 검출 소식을 들었을 때 박사님의 기분은 어떠했습니까?

그 때 저는 메인주에서 가족들과 함께 휴가를 보내고 있었어요. 우리는 시러큐스 대학 LIGO 연구 그룹의 피터 사울슨 부부와 함께 메인 해변을 따라 카약을 타기로 약속했었는데, 우연히 리차드 아이작슨도 동행하게 되었어요. 리차드는 찰스 미스너의 제자였는데 중력파가 에너지를 띠고 있는 실제의 물리적 존재임을 보여주는 중요한 논문을 썼지요. 그는 간섭계를 이용한 중력파 검출이 제안 중이던 중요한 시기에 NSF의 중력 물리학과장을 역임했습니다. 그는 초기 LIGO를 발전시키고 기금을 마련하는 데 있어 NSF에 대해 절대적으로 중심적인 역할을 했습니다. LIGO 이사회로부터 승인을 받은 후 피터와 저는 리차드에게 앞으로 수행할 “이벤트”에 관해 이야기했지요. 그는 대단히 회의적으로 생각했는지 “그게 그렇지 않다는 걸 어떻게 입증하겠습니까...”라면서 우리에게 매우 민감한 질문들을 쏟아냈고, 데이터를 확인하는 한편 매우 철저한 질문 공세를 이어간 후 우리 모두는 정말이지 기억에 남을 만한 저녁 식사를 하러 나갔는데 거기서도 그 “이벤트”를 화제로 올려 옛날의 추억들을 이야기했지요.

일반적으로 진공 기술이 LIGO의 실험 작업에 기여한 역할은 무엇입니까?

길이가 4 km 되는 긴 암에서는 잔류 기체 분자가 전방 산란되지 않으려면 10^{-9} torr 미만의 진공이 필요합니다. 왜냐하면 그렇지 못할 경우 간섭계 출력에서 위상 잡음이 발생하기 때문이에요. 가장 심각한 위상 잡음은 비교적 분극성이 크고 천천히 움직이는 대형 분자에서 발생합니다.

잔류 기체 원자와의 충돌로 인해 테스트 질량이 순간적으로 변동하지 않도록 하려면 테스트 질량 챔버에서 10^{-8} torr 미만의 진공이 필요합니다. 여기서도 비교적 무거운 분자가 가벼운 분자에 비해 더 심각한 위상 잡음을 발생시킵니다.

진공 시스템에서 어떤 특정한 요구를 충족해야 합니까?

진공 시스템은 위에서 언급한 압력 요건 외에 한 번에 수개월 동안 신뢰성 있게 실행되어야 합니다. 또한 테스트 질량을 방해하지 않으면 진공 펌프가 진동하지 않아야 합니다.

LIGO에서는 어떤 파이퍼 베큘 제품을 사용했고 이들 제품을 선택한 이유는 무엇입니까?

일반적으로 우리는 여러 제조업체의 진공 구성품을 사용합니다. 미국에 있는 파이퍼 베큘 대표로부터 우리가 LIGO에서 직면해 있던 특히 어려운 두 가지 문제에 대해 이 분야 지식이 풍부한 정보와 탁월한 조언을 받을 수 있었기 때문에 우리는 파이퍼 베큘의 잔류 기체 분석기를 사용하게 되었습니다. 첫 번째 문제는 우리가 제조업체의 잔류 기체 압력 사양을 수락하기 전에 LIGO 빔 튜브에서 이러한 사양을 직접 확인할 수 있는지 여부였습니다. 두 번째 문제는 나중에 4 km에 이르는 튜브의 용접 부위에서 쥐 소변의 염산에 의해 진전된 부식 때문에 발생한 리크의 위치를 찾아내면서 확인되었습니다. 이 두 가지 문제가 모두 안정적이고 드리프트가 없고 감도가 우수한 잔류 기체 분석기가 필요했습니다.

파이퍼 베큘과의 협력 관계를 어떻게 평가하십니까?

파이퍼 베큘과 장기적이고 신뢰할 수 있는 협업은 매우 효과적이고 유용했습니다. 우리는 잔류 기체 분석기 또는 터보 펌프는 물론 관련된 프로세스와 관련하여 발생한 어떠한 질문도 할 수 있었지요.

중력파의 존재가 입증되고, 이와 함께 아인슈타인 상대성 이론의 정확성도 입증되지 않았습니까. 이는 LIGO에서의 실험 작업에 어떤 의미를 지닙니까? 그리고 어떤 방식으로 지속될 것으로 보입니까?

원하던 목적은 아직 성취되지 않았습니다. 첫 걸음만 내딛은 상태이지요. 이제 설계 감도에 대한 추가 개선을 통해 LIGO는 중력파 천문학의 영역을 넓혀나갈 예정입니다. 이는 새로운 천문학 영역으로서, 우주를 가로지르면서 질량을 가속시킴으로써 방출되는 중력파의 관측을 통해 어두운 우주를 탐사합니다. 우리는 블랙홀 쌍성계와 중성자별의 존재를 알고 있습니다. 하지만 이들에 관해 알아야 할 것이 많이 남아있습니다. 블랙홀 질량 분석기가 이의 형성과 이가 천문학에서 차지하는 중요성에 관한 정보를 제공해줄 것입니다. 중성자별은 핵물질 상태의 방정식, 그리고 아마도 우주에 무거운 원소를 만들어내는 프로세스에 대한 정보를 제공해줄 것입니다. 우리가 초신성을 관측할 수 있다면 중력파가 성상 붕괴의 내부 프로세스를 밝혀줄 것입니다. 당연히 우리가 생각하지 못한, 중력파의 새로운 원인이 있을 수 있지요.

인터뷰에 응해주셔서 대단히 감사합니다.



그림: Caltech/MIT/LIGO Lab

원스톱으로 제공되는 진공 솔루션

파이퍼 베콤은 전세계에 걸쳐 혁신적인 고객 맞춤형 진공 솔루션,
기술적인 완벽성, 역량 있는 조연, 신뢰성 있는 서비스를 제공합니다.

완전한 제품군

간단한 구성품에서 복잡한 구성품까지:
당사는 종합적인 제품 포트폴리오를 제공하는 유일한 진공 기술 공급업체입니다.

이론과 실재를 바탕으로 갖춰진 뛰어난 역량

당사의 노하우와 교육 기회의 포트폴리오에서 얻을 수 있는 이점!
당사는 전세계에 걸쳐 플랜트 레이아웃을 지원하고 최고의 현장 서비스를 제공합니다.

완벽한 진공 솔루션을 찾고 계
십니까 당사로 문의하십시오.

파이퍼베콤 GmbH
본사 · 독일
전화: +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com

PFEIFFER  **VACUUM**