힉스 입자를 따라서

세계 최대의 진공 시스템에 파이퍼 베큠의 진공 솔루션이 적용되었습니다.

파이퍼 베큠은 CERN의 대형 강입자 충돌기(LHC)의 주요 진공 구성품을 공급해왔습니다.

스위스에 소재한 유럽원자핵공동연구소 CERN은 세계에서 가장 큰 입자 물리학 연구 센터입니다. 1954년 설립된 연구소에는 약 2,500명의 직원과 전세계에서 온 10,000명 이상의 객원 과학자가 활동하고 있습니다. CERN의 주요 업무는 우주를 구성하는 물질과 이들이 작동하는 방식을 발견하는 일입니다. 이러한 과정에서 그 목적은 물질의 기본 구성요소와 이들 간에 작동하는 힘을 설명하는 원자 입자 물리학의 표준 모델을 완성하는 데 있습니다. 이 모델에는 아직까지 실험적으로 입증되지 않은 중요한 구성요소, 즉 힉스 입자가 빠져 있습니다.

이 연구를 구현하기 위해 CERN은 다양한 입자 가속기를 운영합니다. 이들 중 가장 특별한 충돌기가 지하 터널에 설치된 LHC(대형 강입자 충돌기)입니다. 원주가 26.7 km로서 세계 최대의 입자 가속기로 기록됩니다. LHC에는 2개의 마주 보는 입자 빔이 거의 광속에 가까운 속도로 가속되어 대형 탐지기에 정의된 위치에서 충돌을 일으킵니다. 이러한 충돌 프로세스에서 새 입자가 만들어집니다. 탐지기의 기록에서 충돌 및 새로 만들어진 입자의 특성에 관한 결론을 제공합니다. 과학자는 이런 방식을 통해 힉스 입자를 입증할 수 있기를 바랍니다. 2012년 7월 4일 ATLAS 및 CMS 탐지기에 대한 연구 그룹에서 새 입자을 발견했다고 보고했습니다. 이의 특성을 결정함으로써 이것이 표준 모델에서 설명하고 있는 힉스 입자인지 여부를 입증해야 하는 일이 남았습니다.

LHC 가속기 구조물(CERN의 허가를 받음)

1 빔 진공

입자가 가속기 경로를 지나면서 기체 분자와 충돌하는 것을 방지하기 위해 빔 라인이 10^{-11} hPa의 초고진공 하에 있어야 합니다. 소위 빔 진공은 다단 펌프 프로세스에서 만들어집니다. 먼저 빔 라인은 파이퍼 베큠의 HiPace 300 터보 펌프를 사용하여 10^{-8} hPa로 사전에 진공 처리해야 합니다. 이러한 펌프의 장점은 가벼운 기체에 대해 압축률이 매우 높다는 점입니다. 이는 수소(공기 중에 존재하는 가장 가벼운 기체)가 초고진공 영역의 도달 압력을 결정할 때 특히 중요합니다. 사전 진공 처리 후 CERN에서 개발한 NEG(비증발형 게터) 코팅이 빔 라인 내부에서 열에 의해 활성화됩니다. 이 코팅은 추가적인 흡수 진공 펌프 역할을 합니다. 이는 남아있는 기체 분자를 흡수하여 10^{-11} hPa의 필요한 도달 압력을 만들어냅니다.

2 절연 진공

매우 강력한 초전도 자석이 액체 헬륨으로 1.9 K(약 -271 °C)까지 냉각되면서 LHC 내의 입자를 자신의 궤도를 벗어나지 못하도록 합니다. 자석을 저온으로 유지시키기 위해서는 냉각 시스템 전체를 철저히 절연해야 합니다. 이를 위해 보온병 플라스크와 유사하게 절연 진공이 자석 주변에 만들어지고, 이로써 저온유지 시스템 내로 들어오는 열이 최소가 되도록 줄여줍니다. 절연 진공은 영구적으로 10^{-6} hPa 미만으로 유지되어야 합니다. 초유동체 헬륨이 냉각 시스템에서 불가피한 누출로 인해 절연 진공으로 흘러들 수 있기 때문에 파이퍼 베큠의 HiPace 300 펌프를 영구적으로 사용하여 절연 진공을 유지합니다. 특출하게 높은 펌핑 능력과 가벼운 기체에 대한 높은 압축률로 인해 HiPace 터보 펌프는 특히 펌핑으로 빼내야 하는 헬륨에 적합합니다.

진공의 중요성

입자 가속기 작동에서 중요한 요소는 신뢰성 있고 강력한 진공 시스템입니다. 그러나 LHC와 같은 특별한 기계들에는 설치된 진공 기술에 대해 매우 특정한 요구사항이 있습니다. 아주 작은 오류가 있어도 가속기 전체가 몇 시간 동안 중단될 수 있습니다. 따라서 완전한 진공 시스템에 매우 높은 신뢰성이 요구됩니다. 이 밖에 가속기 내에서 사용되는 모든 장비가 최대 1,000 Gy/a에 이르는 방사를 견딜 수 있어야 합니다. 이러한 복잡한 측정을 제공하는 장비는 가속기의 방사 구역을 벗어날 수 없습니다. 따라서 장비를 현장에 유지시키는 일이 매우 중요합니다.

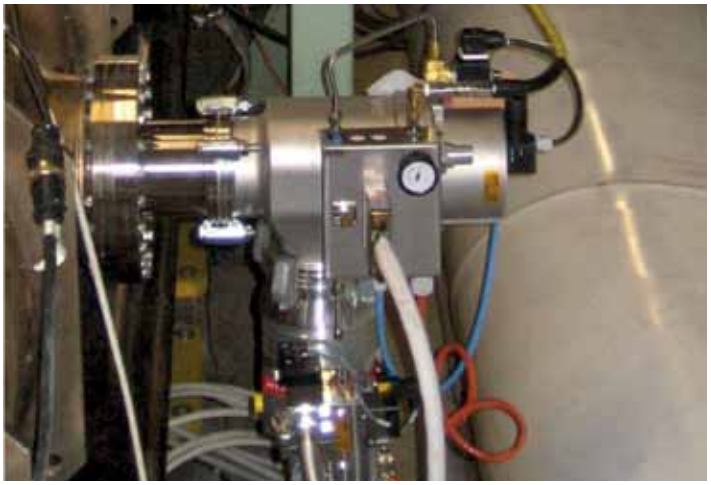
이와 같이 매우 까다로운 요구사항을 충족하기 위해 파이퍼 베큠은 CERN과 협력해서 진공 생성, 진공 측정, 진공 분석을 위해 특수하게 구현된 진공 솔루션을 개발하였습니다.

진공 생성

LHC는 2개의 진공 시스템, 즉 빔 진공과 절연 진공을 차별화합니다. 파이퍼 베큠 터보 펌프가 이 두 가지 진공 모두에 사용됩니다. 이들은 LHC의 특별 요구사항을 충족하기 위해 개조되었습니다. 방사성 환경에서 터보 펌프를 작동할 수 있으려면 펌프에 전자 구성품을 사용해서는 안 됩니다. 이러한 요구사항을 충족하기 위해 파이퍼 베큠에서 센서가 없는 드라이브 컨셉트를 개발했는데, 이를 통해 펌프의 기계적 부품을 전자 부품과 분리할 수 있습니다. 이 컨셉트를 사용하여 전자 부품을 터보 펌프에서 최대 1,000 m 떨어진 차폐 영역에 배치할 수 있습니다.

진공 측정

생성된 진공은 파이퍼 베큠에서 특별히 개발한 측정 장치를 사용하여 측정합니다. 사용된 장치는 개조된 Pirani 및 냉음극 진공 게이지입니다. 이들은 주로 가속기 내의 압력을 모니터링하고 압력이 증가한 경우 적절한 조치를 취할 수 있도록 합니다. 진공 게이지가 높은 방사 수준에 노출되기도 하기 때문에 이들은 전자 부품이 통합되지 않은 패시브 센서로 구성됩니다. 모든 전자 부품은 방사로부터 안전한 영역에 담고 길이가 긴 케이블을 통해 패시브 센서에 연결합니다. 필요한 케이블은 CERN과 긴밀한 협력 하에 지정됩니다. 이로써 냉음극 진공 게이지를 가지고 최대 10-11 hPa까지 압력을 측정할 수 있습니다. 특별한 점화 프로세스는 매우 낮은 압력에서도 냉음금 진공 게이지를 쉽게 켤 수 있다는 이점을 제공합니다. 가속도의 수명 시간이 약 30 내지 40년이기 때문에 이러한 전자 구성품만이 이렇게 긴 시간동안 사용할 수 있으며, 또한 채택됩니다.

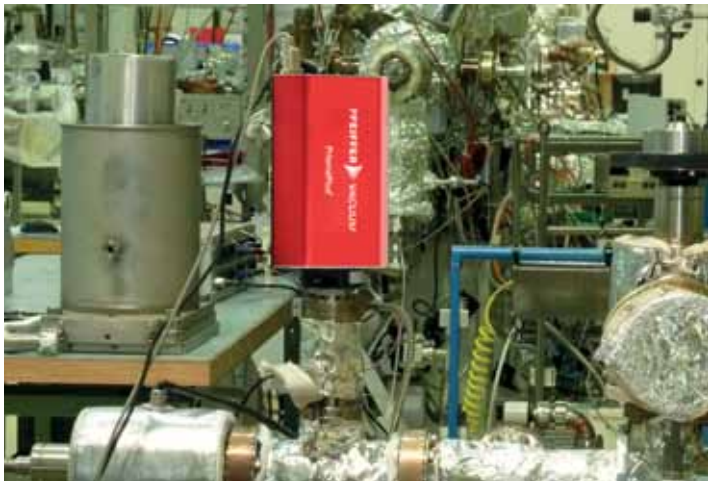


HiPace 300 터보 펌프를 사용한 빔 진공 생성

HiPace 300 터보 펌프를 사용한 절연 진공 생성

PKR 261 게이지를 사용한 진공 측정

ASM GRAPH 제품이 적용된 LHC 구성품의 누출 검사 시스템



PrismaPlus 제품이 적용된 LHC 구성품의 탈기체의 특성 검사 시스템

헬륨 누출 탐지

LHC에서 필요한 초고진공 압력을 만들려면 가속기에 사용되는 구성품의 누출률이 매우 낮도록 만드는 일이 중요합니다. 따라서 구성품을 설치하기 전에 광범위한 누출 검사가 필수적입니다. 누출 검사를 위해 CERN에서는 ASM 시리즈 헬륨 누출 탐지기를 사용합니다. 이를 사용하면 10^{-13} Pa·m³/s에 불과한 매우 작은 누출도 신뢰성 있게 탐지할 수 있습니다.

진공 분석

압력뿐만 아니라 잔류 가스의 구성도 가속기의 올바른 작동에 중요한 요인입니다. 잔류 가스 분석계를 사용하여 가속기에 사용되는 물질의 탈기체에 관한 결론을 도출할 수 있습니다. 잔류 가스 스펙트럼을 도출하기 위해 CERN에서는 파이퍼 베큠의 질량 분석계를 사용합니다. 초고진공에서 이러한 잔류 가스를 측정할 때 질량 분석계의 분석기에서 낮은 탈기체율을 보이는 것이 특히 중요합니다. 진공 열처리 이온 소스 외에 CERN에서 사용하는 파이퍼 베큠 분석기에는 진공 열처리 로드 시스템도 있습니다. 이를 사용하여 분석기에서 매우 낮은 언더그라운드 신호를 생성하는데 이에 따라 가속기에서 실제 잔류 가스 비율을 기록하기 위해 이를 매우 적합한 장소에 설치하여야 합니다.

CERN에서 사용 중인 파이퍼 베큠 제품의 실례

진공 생성
HiPace 300

진공 측정
ModulLine

헬륨 누출 탐지
ASM 310

진공 분석
PrismaPlus

José Miguel Jimenez 박사와 함께 한 파이퍼 베큠의 André Kägi(왼쪽)와 Florian Henss(오른쪽)

CERN에서의 인터뷰
CERN 기술부의 진공, 표면 및 코팅 그룹 책임자인 José Miguel Jimenez 박사와의 대담

Jimenez 박사님, 세계 최대이자 가장 높이 평가받는 과학연구 센터에서 일하시는 기분이 어떻습니까?
저는 CERN에서 일하는 것을 아주 자랑스럽게 생각하며 동시에 매우 기쁩니다. 밖에서 볼 때 CERN 과제가 주로 기본 물리학으로 보이지만 그 이면에 있는 기술적 발전과 국제적 협조가 커다란 동기부여로 작용하는 게 사실입니다. 엔지니어로서 저는 이 센터의 구조물과 가속기가 많은 유형의 기술에 제공하는 거대한 시각에 진심으로 감사하게 생각합니다.

이는 오랫동안 찾고 있던 힉스 입자가 마치 지금 CERN에서 발견된 것과 같습니다. 연구 작업에서 진공 기술은 일반적으로 어떤 역할을 합니까?
좀더 정확히 말하면, 새 입자가 발견되었지만 우리는 여전히 충돌을 측적하고 데이터를 연구하여 우리가 힉스 입자를 발견했다는 것을 확인해야 합니다.

우리의 연구 작업에서 진공 기술의 역할에 관해 말하자면, 매우 우수한 초고진동이 없을 경우 가속기와 탐지기는 작동할 수 없을 것입니다.

LHC 가속기 링에서 진공 기술의 목적은 무엇입니까?
진공 기술은 빔 진공과 절연 진공에 사용됩니다. 빔 진공은 가장 중요한 진공으로서 고에너지 가속기에서는 특히 중요합니다. 빔 라인 내부에는 빔이 있을 경우 10^{-10} hPa 범위의 압력이, 또는 정적 모드에서 10^{-12} hPa 범위의 압력이 존재해야 합니다. 실험 영역에는 탐지기에서 저준위를 유지하고 전자 부품을 보존하기 위해 이러한 초고진공과 또한 수백 미터에 달하는 탐지기의 업스트림과 다운스트림이 필요합니다. 실제로 일차 양자 빔 입자와 잔류 진공의 분자 간의 충돌이 많을수록 "노이즈"와 탐지기에 대한 손상이 그만큼 커집니다.

LHC의 절연 진공의 경우 우리는 헬륨 가스를 펌핑하기 위해 터보 펌프를 사용합니다. 자석도 1.9 K(-273°C)에서 작동하고 표면에서 응결시킬 수 있는 헬륨 가스의 양이 매우 작은데, 이는 헬륨의 응결 온도가 매우 낮기 때문입니다. 이와 같이 매우 길고 복잡한 액체 헬륨 회로에서 누출을 해결해야 하는 경우 우리는 가속기를 지속적으로 작동하기 위해 약간의 펌핑에 여유가 있어야 합니다. 이러한 이유 때문에 터보 펌프를 터널에 설치해야 합니다.

CERN에서 필요한 진공 기술의 대부분은 시중에 이미 나와 있는데, 문제는 이러한 기술을 모두 가속기라는 매우 특정한 환경에 통합하는 것입니다. 이러한 점 때문에 LHC와 기타 모든 CERN 가속기를 위해 진공 기술을 개발해야 합니다.

펌핑 시스템의 경우에 충족되어야 할 특별한 요구사항으로 무엇이 있습니까?
입자 가속기를 성공적으로 작동시키는 데 중요한 부분은 고성능 진공 시스템입니다. 진공 시스템은 신뢰성이 높고 전자기장에 사용할 수 있으며 내방사선성이 있어야 함은 물론 유지보수가 용이해야 합니다.

이 경우 파이퍼 베큠에서는 어떤 제품/시스템/구성품을 채택합니까?
LHC에서는 파이퍼 베큠이 제공하는 진공 측정 장비 와 잔류 가스 분석기를 채택하고 있습니다. 모든 게이지, 게이지 컨트롤러, 잔류 가스 분석기는 파이퍼 베큠에서 공급합니다. 우리는 또한 수많은 HiPace 터보 펌프를 영구적으로 터널에 설치하거나 이동식 펌핑 스테이션으로 사용할 수 있도록 했는데 이는 터널 또는 실험실에서 조정이 가능합니다.

파이퍼 베큠의 제품에 대해 어떻게 평가하십니까? 어떤 점이 CERN에서 파이퍼 베큠의 진공 솔루션을 중용하도록 결정하는 데 도움이 되었다고 보십니까?
파이퍼 베큠과의 협력은 LHC로 시작하지 않고 30년 이전에 교차 저장 링(ISR)으로 시작되었는데, 이는 세계 최초의 대형 초고진공 가속기를 사용한 거대 전자-양전자 충돌기(LEP) 프로젝트입니다.

José Miguel Jimenez 박사가 가속기의 특정 환경과 진공 시스템에서 필요한 조정사항을 설명합니다.

파이퍼 베큠의 품질, 신뢰성, 성능은 우리의 입자 가속기의 요구사항에 적합합니다. 우리는 우리가 사용하는 복잡한 구성에서 이러한 제품들을 구현하는 방법을 알고 있습니다.

CERN과 파이퍼 베큠과의 관계는 오래 지속되고 있습니다. 우리의 가속기가 몇 십년 동안 작동해야 하기때문에 이러한 점에서 이는 매우 중요합니다.

이러한 응용 분야에서 특정하게 필요한 터보 펌프의 특징으로는 어떠한 것들이 있습니까?
LHC에서는 매우 낮은 도달 진공도를 허용하기 위해 헬륨과 수소에 대한 터보 펌프의 압축률이 높아야 합니다. 펌프는 전자기적으로 방사능에 견딜수 있어야 하고 LHC down 시간을 단축하기 위해 펌프의 신뢰성이 매우 높아야 합니다. 이들 중 일부는 도달 진공도를 훨씬 더 낮추기 위해 250°C에서 24시간 이상의 긴 베이크아웃 사이클를 견딜 수 있어야 합니다.

가속도 링에서 환경 조건의 특수성을 간략하게 설명해 주십시오. 터보 펌프를 어떻게 개조해야 했습니까?
초전도 자석의 저온유지 장치와 액체 헬륨 저온유지 이송 라인에 설치된 영구 펌프의 예를 사용하겠습니다. 사람들은 1.9 K(약 -271°C)에서도 소량의 헬륨 가스만 응결된다는 사실을 알아야 합니다. 이러한 복잡한 저온유지 회로에서 소량의 누출이 발생하더라도 영구적으로 설치된 터보 펌프는 LHC를 계속해서 작동시킬 수 있습니다. 따라서 이러한 펌프는 터널 내에서 길이가 긴 케이블과 함께 사용할 수 있고 자석이나 국소적인 빔 손실로 인한 작은 전자기 변화에서도 사용할 수 있어야 합니다.

LHC에서의 작동에 적합하려면 터보 펌프가 최대 1.000 Gy/a의 방사량을 견딜 수 있어야 합니다. 이렇게 높은 수준의 방사는 펌프 내에 있는 반도체로된 구성품들의 작동을 방해합니다. 이러한 문제를 해결하기 위해 우리는 센서가 없는 새로운 드라이브 컨셉트를 사용하는데, 이를 파이퍼 베큠과 함께 개발했습니다. 이로써 펌프 본체에서 전자 부품들을 완전히 없애는 동시에 터널 밖 방사로부터 보호되는 서비스 갤러리에의 설치가 가능해졌습니다. 비록 전자 부품들이 펌프로부터 떨어져 배치되더라도 여전히 터보 펌프의 모든 중요한 상태 파라미터를 사용자가 확인할 수 있습니다.

CERN에서 사용되고 있는 파이퍼 베큠 제품의 개략적인 규모를 알 수 있을까요?
파이퍼 베큠 제품의 규모는 상당히 큽니다. 가속기의 경우 우리는 총 89 km에 해당하는 빔 진공 시스템을 갖추고 있습니다. 액체 헬륨 이송 라인과 LHC의 절연 진공을 계산한 결과 진공 시스템의 길이가 128 km에 달하는 것으로 파악됩니다.

진공 생성, 진공 측정, 부분 압력의 분석을 위해 수많은 진공 장비가 사용되고 이들 중 많은 수를 파이퍼 베큠에서 공급하고 있습니다.

예를 들어 LHC의 경우 사용 중인 게이지 및 게이지 컨트롤러의 거의 95%, 터보 펌프의 70%, 리크디텍터의 65%, backing 펌프의 50%는 물론 수많은 잔류 가스 분석기(RGA), 밸브 및 피팅 구성품을 파이퍼 베큠에서 공급하고 있습니다.

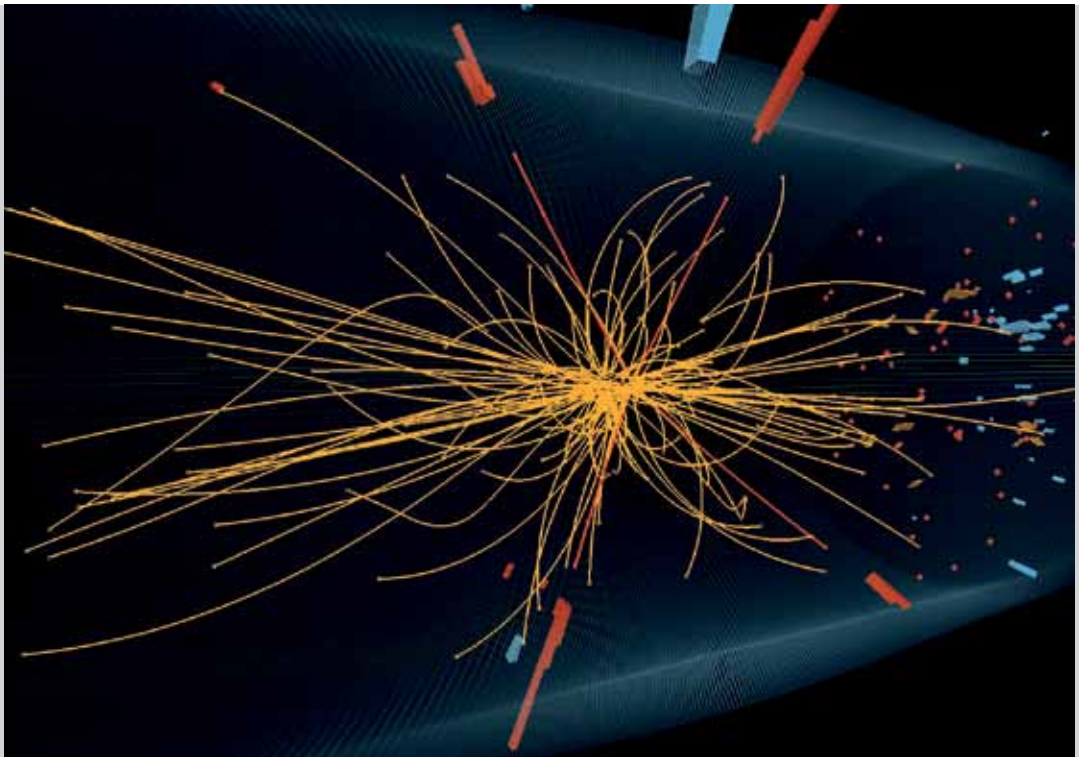
파이퍼 베큠과의 협력 관계를 어떻게 평가하십니까?
우리는 많은 파이퍼 베큠 제품을 사용하고 있는데 대부분의 진공 솔루션은 우리에게 특정한 니즈에 맞게 조정한 것들입니다. 우리는 파이퍼 베큠을 우리의 향후 관심사에 최선을 다해줄 강력한 파트너로 생각하고 있습니다.

박사님의 경우, 진공 구성품에 대한 기술적 지원이 얼마나 중요하십니까?
설치된 모든 제품과 터보 펌프나 배압 펌프와 같이 빔 진공과 관련되어 설치된 모든 제품의 경우, 우리의 구성품이 방사와 관련하여 결코 활성화되지 않고 오염되지 않음에도 불구하고 우리가 외부로 제품 반출 시 제품을 반출하는데 사용하는 절차는 매우 까다롭습니다. 절차는 핵시설 설치물을 기준으로 하기 때문에 이러한 반출 절차의 후속 조치 시 매우 엄격하게 처리합니다. 따라서 우리는 외부에 제품을 반출하지 않으려고 노력합니다. 이러한 점 때문에 서비스 엔지니어를 현지에 두는 것이 우리의 입장에서 매우 중요합니다.

분명히 힉스 입자가 발견된 것 같습니다. 이는 LHC에서의 연구 작업에 어떤 의미를 지닙니까?
이제 연구가 완료된 셈입니까? 다음에는 무엇을 하게 됩니까? 힉스 입자일 수 있는 입자가 발견된 바 있고, 이는 전세계에 걸친 과학자와 기술진으로 구성된 대규모 커뮤니티에서 기울인 노력에 대한 환상적인 보답이라고 생각합니다.

LHC 프로젝트는 1980년대 시작되었고 1994년에 승인되었으며 구조물은 1998년에 준공하여 2008년에 완공되엇으며 2012년 이 새로운 입자를 발견하기에 이르렀습니다. 오랜 기간이 걸렸지만 이는 굉장한 업적이라고 할 수 있습니다.

앞으로 우리는 힉스 입자 발견을 확인하고 그 후 이 입자의 다른 모든 특성을 조사하기 위해 LHC를 계속 작동해야 합니다. 이는 훨씬 더 높은 에너지와 강도로 LHC를 작동하고 이 환상적인 가속기를 한계까지 밀고 간다는 것을 의미합니다. 우리는 모두 표준 모델 또는 표준이 아닌 모델에서 훨씬 더 많은 발견이 이루어질 것이라고 확신합니다. "암흑 물질"에 대한 보다 정확한 이해가 이들 중 하나입니다.



4개의 고에너지 전자(빨간색 타워)가 관찰된 실제 CMS 양성자-양성자 충돌(CERN의 허가를 받음)

PFEIFFER VACUUM

원스톱으로 제공되는 진공 솔루션

파이퍼 베큠은 전세계에 걸친 혁신적인 고객 맞춤형 진공 솔루션, 기술적인 완벽성, 역량 있는 조언, 신뢰성 있는 서비스를 자랑합니다.

완전한 제품군

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

이론과 실제에서 갖춰진 뛰어난 역량

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

완벽한 진공 솔루션을 찾고 계십니까?
당사로 문의하십시오.

Pfeiffer Vacuum GmbH
본사 · Germany
전화: +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

Pfeiffer Vacuum GmbH
본사 · Germany
전화: +49 6441 802-0
info@pfeiffer-vacuum.de

www.pfeiffer-vacuum.com

모든 데이터는 사전 고지 없이 변경될 수 있습니다. PI0352PEN (February 2013/10)