

세계최고순간휘도



SuperKEKB 가속기의 전자-양전자 충돌지점 내부 모습. 충돌지점 주위로 물리사건에서 발생하는 다양한 입자들을 검출하기 위해 Belle II 검출기가 설치되어 있다.

세계 최고의 순간휘도 측정하는 연구다.

- 담당 교수: [천병구](#) 교수

□

목차

- [1 개요](#)
- [2 진행 경과](#)
 - [2.1 SuperKEKB 입자가속기 시동 \(2016.02\)](#)
 - [2.2 전자-양전자 입자충돌 성공 \(2018.04\)](#)
 - [2.3 세계 최고 순간휘도 달성\(2020.06.26\)](#)
- [3 관련 용어](#)
- [4 자료 사진](#)

개요

- 고에너지가속기연구소(KEK) : 일본 츠크바 과학연구도시에 위치한 연구소로 우주대폭발 후 초기 우주 진화동안 사라진 반물질(anti-matter)의 수수께끼와 관련해서 2008년 노벨물리학상의 주제인 물질-반물질의 전하-패리티(Charge-Parity : CP) 비대칭성 연구의 결정적인 실험결과를 제공하여 세계 입자물리학계에서 주목을 받은 바 있다.
- SuperKEKB 가속기 : KEK가 기존 KEKB 가속기의 순간휘도 성능의 40배 높은 세계 최고 휘도 달성을 목표로 건설한 가속기

- 싱크로트론 타입. 지하 10m 아래 3km 원형 터널에 초전도 가속공동(RF-cavity)과 1000개 이상의 전자석을 사용해 두 개의 저장 링 구축
- 40억 전자볼트 (4GeV) 에너지를 갖는 양전자와 70억 전자볼트 (7GeV) 에너지를 갖는 전자를 빛의 속도에 가깝게 반대 방향으로 가속시켜, 벨 II 검출기 제일 안쪽 중심지점에서 수십 나노미터 수준으로 빔 궤도를 정밀하게 조정하여 전자-양전자 충돌을 시키는 최첨단 거대과학 실험장치
- 벨 II 검출기 국제공동 실험연구팀 : SuperKEKB 가속기의 전자-양전자 빔 충돌지점에 벨 II 검출기를 장착해 물리 데이터 수집
 - 무거운 쿼크(bottom, charm quarks)와 경입자(tau lepton)의 희귀한 약한 붕괴현상들의 정밀 측정과 더불어 암흑광자(Dark photon)의 존재성을 탐구하여 입자물리학의 표준모형 이론을 벗어나는 새로운 물리현상 발견을 기대
 - 참여 기관 : 미국, 독일, 일본, 한국 등을 포함한 전 세계 26개국 115개 연구기관으로부터 약 1000명의 물리학자들이 협업하여 실험을 수행
 - 국내 현황 : 한양대, 고려대, 연세대, 서울대, 경북대, 경상대, 전남대, 송실대, 한국과학기술정보연구원의 9개 기관이 참여
 - 한양대 역할 : 시스템 설계단계부터 책임을 맡아 건설한 전자기열량계트리거 장치를 비롯해서 3차원 궤적트리거, 벡터검출기 등을 제작했으며 실험의 컴퓨팅과 소프트웨어 연구에 중추적 역할

진행 경과

SuperKEKB 입자가속기 시동 (2016.02)

KEK는 기존 KEKB 가속기 휘도(luminosity)* 성능의 40배 높은 세계 최고 휘도달성을 목표로 하여 SuperKEKB를 건설하고, 2016년 2월 정상 작동 공식 발표

전자-양전자 입자충돌 성공 (2018.04)

이 실험을 통해 벨 II 검출기팀이 물리사건을 획득

- 이후 두 빔간 충돌 횟수를 획기적으로 증가시키기 위해 전자 및 양전자 가속기에서 나노빔 기술 (nano-beam scheme) 및 새로운 입자충돌 기술 (crab waist collision scheme) 등을 가속기 빔 운전에서 성공적으로 적용

세계 최고 순간휘도 달성(2020.06.26)

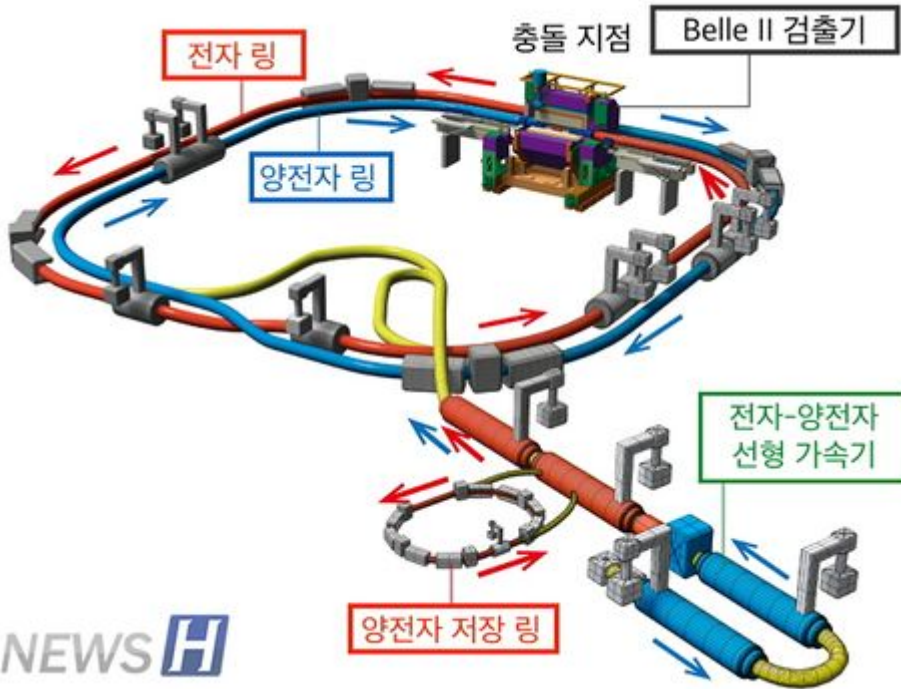
유럽 CERN 연구소의 LHC 가속기를 포함한 모든 가속기들 중에서 가장 높은 순간휘도 ($2.22 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$) 기록 달성

- 2020.6 현재 $2.40 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 로서 순간휘도 값을 계속 갱신하고 있는 중
- KEKB 가속기의 전자, 양전자 다발전류 (bunch current) 보다 25% 낮은 전류를 사용해서도 세계에서 가장 높은 순간휘도 값을 얻음
- 향후 10년간 본 실험 지속 수행 예정. 현재보다 40배 높은 순간휘도를 목표. SuperKEKB 가속기 개선 작업을 꾸준히 진행

관련 용어

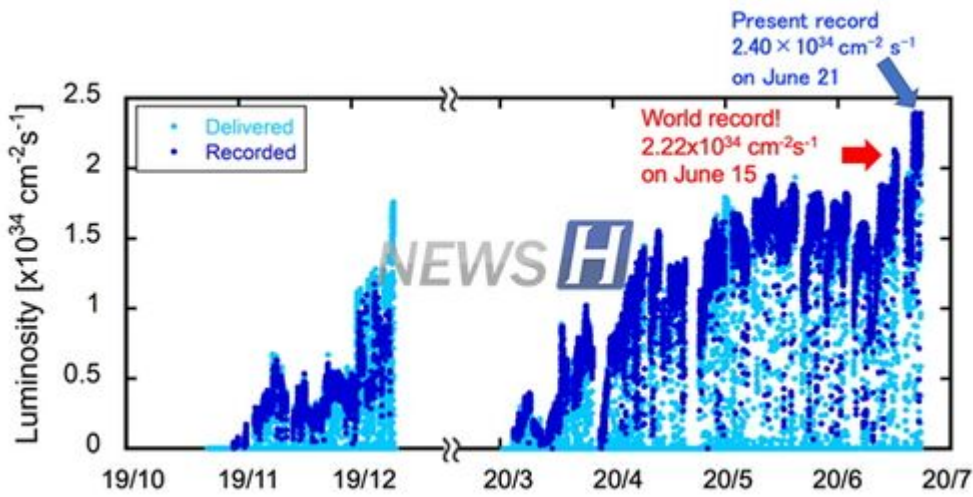
- 반물질(Anti-matter): 우주를 이루는 기본입자에는 전하만 반대이고 그 외 다른 물리적 특성들은 모두 같은 반입자가 있다. 우주 생성 초기에는 반입자로 이뤄진 반물질이 물질과 같은 양으로 존재했으나 현재는 물질만 존재하는 것으로 관측되고 있다. 반물질의 행방에 대한 의문은 과학에서 가장 중요하게 던지는 질문 중 하나이다.
- 전하-페리티 비대칭성(CP Asymmetry): 입자 혹은 반입자의 약한 붕괴과정에서 전하 이외 다른 특성들이 바뀌면 전자기 및 강한 붕괴과정에서 유지되는 공간-페리티 대칭성이 깨지는 경우가 발생하는데 2008년 노벨물리학상을 받은 고바야시-마스가와 교수들의 KM 이론에서 이러한 비대칭성 메커니즘을 잘 규명하였다.
- 순간휘도(Peak luminosity): 가속기 물리에서 정의하는 순간휘도는 단위 시간당 두 빔의 충돌 횟수를 두 입자 상호작용 단면적으로 나눈 값으로 정의한다. SuperKEKB 가속기의 단위 시간당 순간휘도 최종목표는 $80 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이다. 이는 이전 KEKB 가속기에서 10년간 취득한 데이터를 3개월 만에 얻을 수 있음을 의미한다.
- 나노빔 기술(Nano-beam scheme): SuperKEKB에서 매우 높은 순간 휘도를 얻기 위한 빔 제어 방식이며, 이는 전자빔-양전자빔 충돌시 기존의 가속기에서 보다 큰 충돌각을 가지게 함으로써 매우 강한 수직방향 빔 집속을 갖도록 하는 방식이다. SuperKEKB에서는 빔 충돌시 수평방향 및 수직방향 빔 크기는 각각 10마이크론과 50나노미터로써 이는 KEKB보다 1/20 정도로 작게끔 빔 제어를 하고 있다.
- 새로운 입자충돌 기술(Crab Waist collision scheme): 빔 충돌시 순간휘도를 높이기 위해, 수평방향 빔사이즈는 작게, 충돌각은 크게, 수직방향 빔 집속은 크게, 수직방향 싱크로베타트론 공명현상은 억제되도록 하는 최신 빔 제어 기술이다.
- 전자볼트(eV): 전자 하나가 1 볼트의 전위차를 거슬러 올라갈 때 드는 일로 정의되는 에너지 단위이다.
- 양전자(Positron): 우리에게 친숙한 전자(electron)의 반입자로 전하부호만 다르고 그 외 물리 특성들은 동일한 입자이다. 전자를 만나면 소멸하고 전자-양전자 입자들의 총에너지에 따라 소멸 후 생성되는 입자들이 다르게 나타나는 특성을 갖고 있다.
- 쿼크(Quark): 우주를 구성하는 가장 기본 입자 중 하나로 양성자 및 중성자 내부에 존재하고 전하는 전자 전하의 1/3 또는 2/3을 가진다. 기본입자로 업쿼크와 다운쿼크를 비롯해 참쿼크, 스트레인지쿼크, 톱쿼크, 바텀쿼크의 모두 6가지가 있다. 홀로 존재하지는 않으며 둘 또는 셋의 쿼크들이 모여 각각 중간자(meson)와 중입자(baryon)를 이룬다. Belle II 실험에서는 참쿼크와 바텀쿼크를 포함하는 입자의 희귀한 약한 붕괴현상 연구를 수행한다.
- 경입자(Lepton): 강한 핵력에는 영향이 받지 않는 기본 입자로서 전자, 뮤온, 타우입자 세 종류와 각각에 해당하는 중성미자와 쌍을 이루어 총 6가지가 있다. Belle II 실험에서는 타우입자의 희귀한 약한 붕괴현상 연구에도 관심을 가지고 있다.
- 암흑광자(Dark photon): 우주의 약 25% 정도를 차지하고 있는 암흑물질과 상호작용하며 암흑세계에서 힘을 전달하는 역할을 담당하고 있는 가상입자로 알려져 있다. 비표준모형 입자물리 이론에 의하면 암흑광자는 우리가 알고 있는 표준모형 입자들과 약하게나마 상호작용할 것으로 예상하고 있다.

자료 사진



NEWS H

SuperKEKB 전자-양전자 충돌형 가속기 개략도



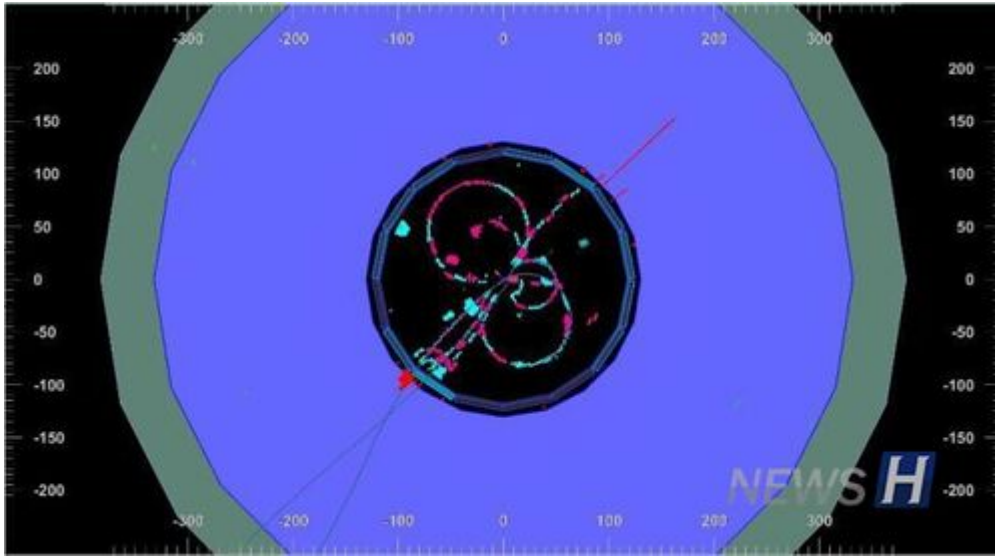
SuperKEKB/Belle II 실험에서 온라인상으로 얻은 시간별 순간휘도 프로파일



SuperKEKB 가속기의 전자-양전자 충돌지점 내부 모습. 충돌지점 주위로 물리사건에서 발생하는 다양한 입자들을 검출하기 위해 Belle II 검출기가 설치되어 있다.



SuperKEKB 가속기 지하터널 내부 모습



SuperKEKB 가속기의 전자-양전자 충돌로부터 Belle II 실험이 획득한 최초의 물리 사건을 보여 주고 있다.