

CERN 연구소의 CMS 실험 (문창성 교수 : Moon Lab)

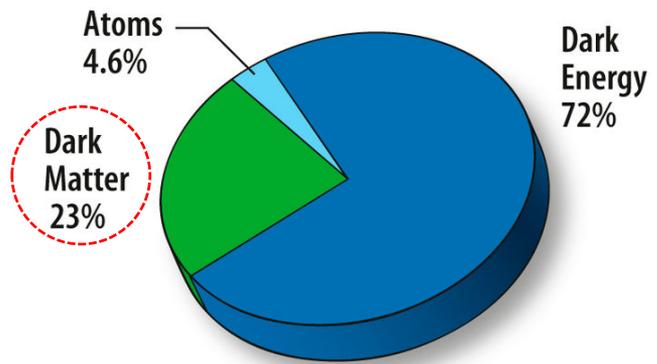
CERN (유럽입자물리연구소)

- 스위스 제네바와 프랑스의 국경지대에 위치한 세계 최대의 입자 물리학 연구소
- 대형 강입자 충돌기 (LHC)를 이용한 고에너지 물리 실험들을 수행



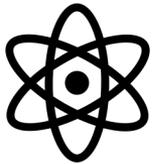
CMS 실험

- LHC를 이용하여 양성자간 충돌로 발생하는 고에너지를 이용해서 **우주의 기원과 입자들의 상호작용에 대한 근본원리를 연구**하고 있다.

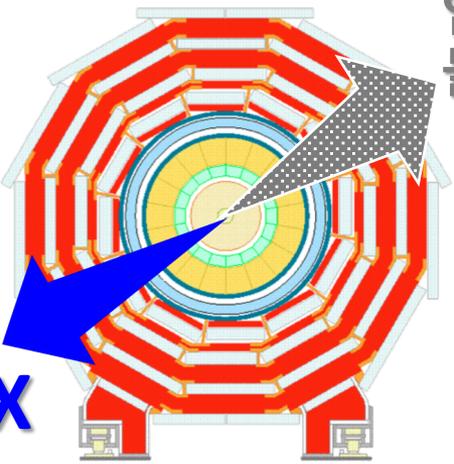


- 2008년 LHC의 가동을 시작으로 2012년 **힉스 입자를 발견**함으로써 표준모형을 완성하였다.
- 현재 CMS의 주요 목표 중 하나는 아직 정체가 알려지지 않은 **암흑물질**을 탐색하는 것이다.
- 가까운 미래에 현재보다 가속기 및 검출기 성능을 업그레이드해서 실험을 수행할 계획임.

LHC 가동	7 TeV	8 TeV 힉스발견	13 TeV 현재	14 TeV HL-LHC
2008년	2011년	2012년	2019년	2026년



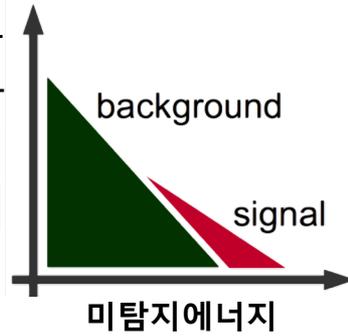
LHC가속기의 CMS 실험에서 암흑 물질 탐색



암흑 물질

□ LHC의 암흑 물질 탐색은 암흑물질과 함께 생성되는 표준모형의 입자(X)를 이용한 Mono-X 채널 연구한다.

□ 암흑물질은 검출기에 아무런 흔적을 남기지 않기 때문에 큰 미탐지에너지가 생성되고 운동량 보존으로 미탐지에너지 반대방향으로 생성되는 표준모형의 입자의 큰 에너지를 이용해 암흑물질을 탐색한다.

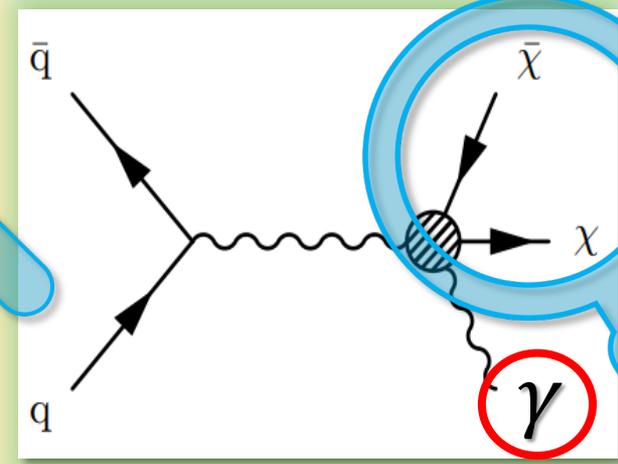
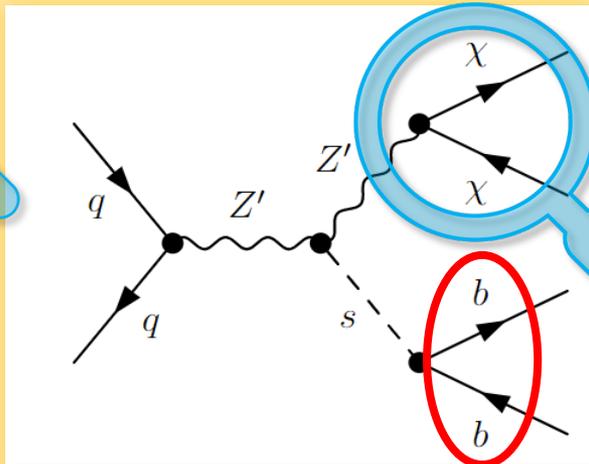
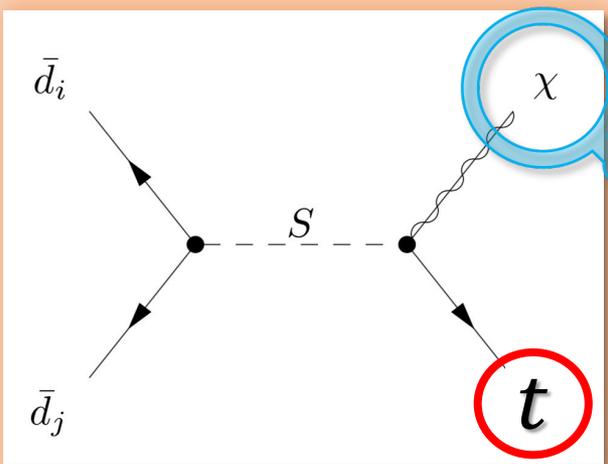


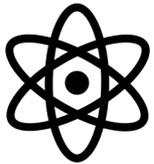
Moon Lab에서 연구중인 Mono-X 채널들

Mono-top

Mono-jet

Mono-photon

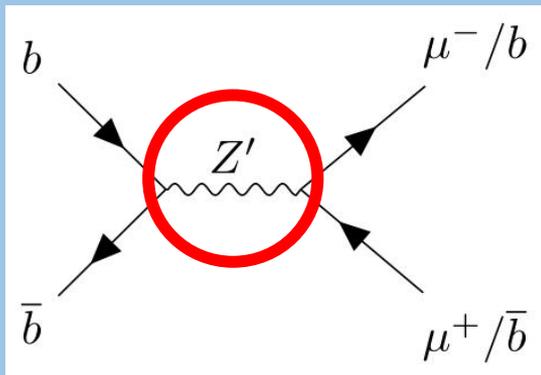




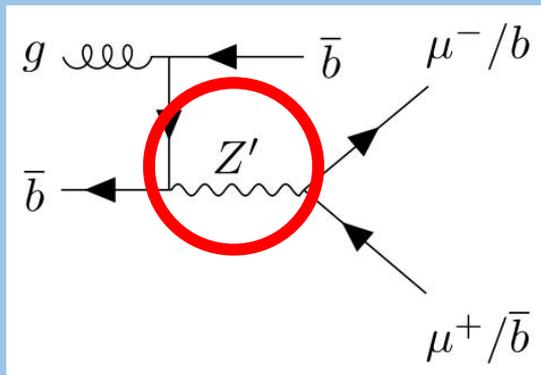
바닥쿼크 퓨전에 의한 Z' 입자 탐색

- Z' 입자는 표준 모형의 전자기 약 대칭성(Electroweak symmetry)의 확장에 의해 예측되는 가상의 Gauge boson이다.
- 현재 다양한 모델들이 다른 종류의 Z' 입자를 예측하고 있는데, Moon Lab에서는 **바닥쿼크의 퓨전으로 생성되는 Z' boson을 탐색**하고 있다.
- 본 연구에서 고려중인 이론적인 모델에서는 Z' 입자가 생성될 때 동반해서 만들어지는 강입자다발 (Jet)의 갯수를 통해서 아래 그림과 같이 **3 종류의 Z' 입자의 생성 모드**로 분류할 수 있다.

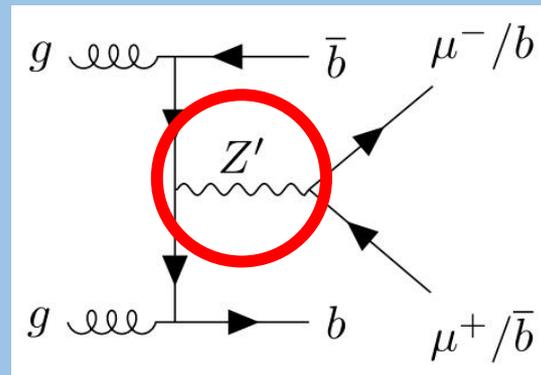
$Z' + 0$ jet

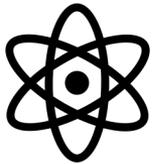


$Z' + 1$ jet



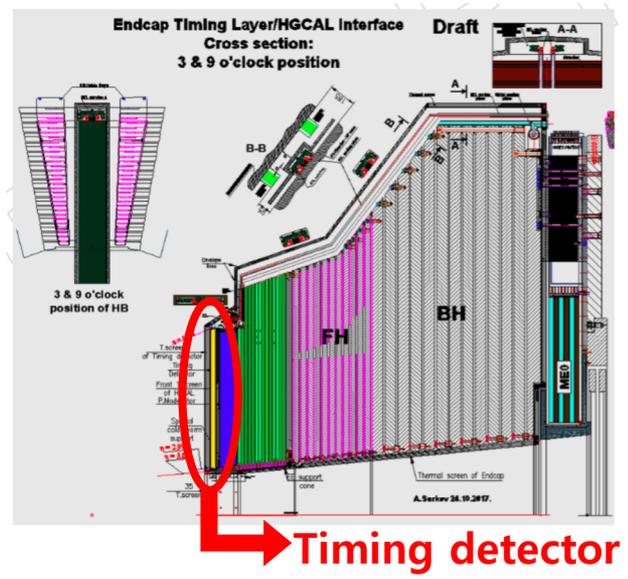
$Z' + 2$ jets





MIP(Minimum Ionizing Particle)을 활용한 Timing Detector

- HL-LHC에서 **동시다발 양성자간 충돌(pile-up)**에 의한 배경사건을 제거하기 위한 최첨단 검출기
- 이온화 되기 힘든 고에너지 입자를 이용하여 각각의 양성자간 충돌 사건들의 **정확한 시간을 측정**한다.



CMS 검출기
종 단면도

Timing detector

Timing detector 작동 원리

양성자 충돌로부터
MIP 생성

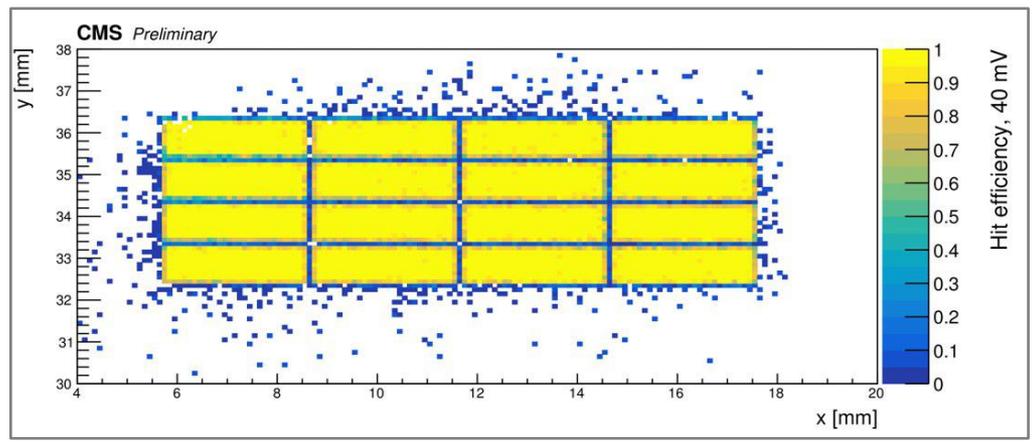


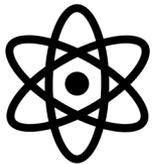
MIP이 센서에 도달하는
시간 측정



측정 신호의 시간정보를 통해
Pile-up 신호 제거

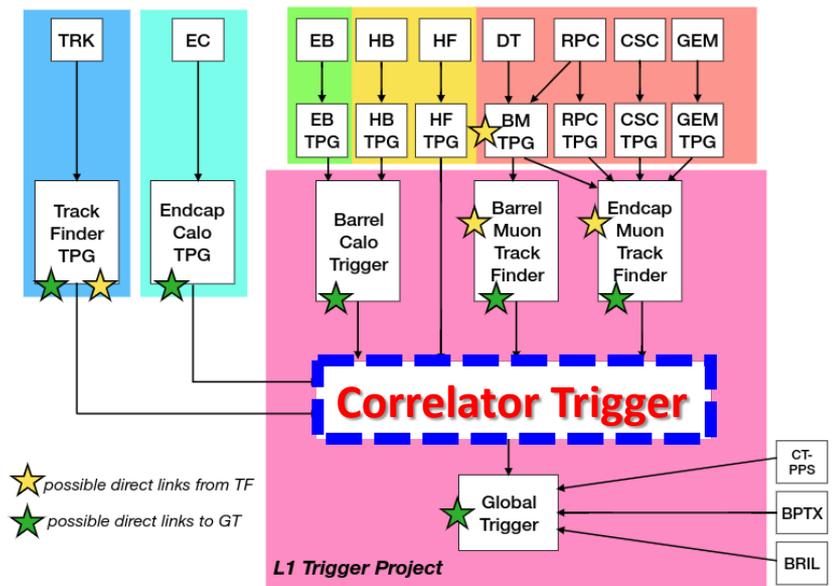
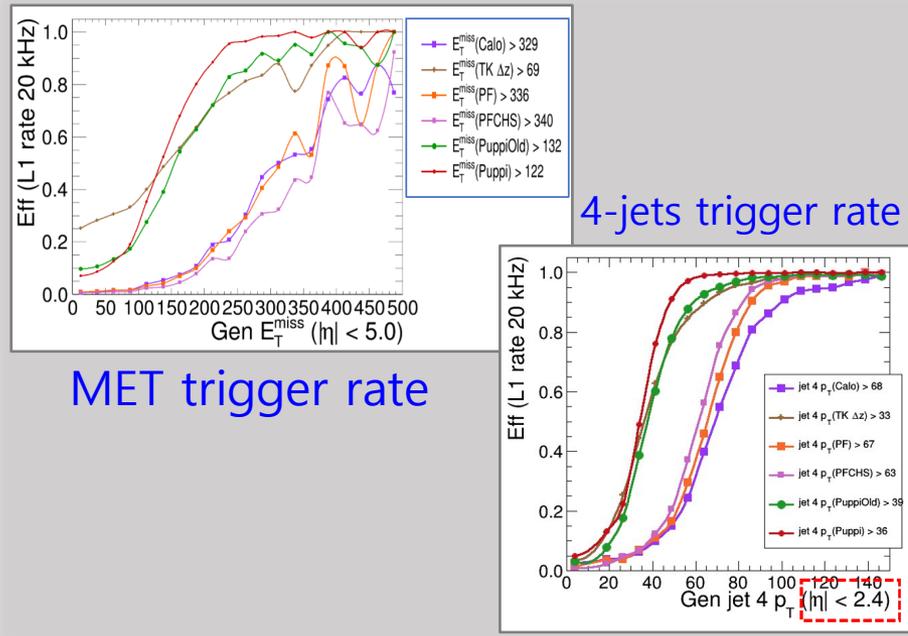
LGAD (Low Gain Avalanche Detector) sensor로부터 얻는 데이터를 이용해서 시간분해능, 신호의 진폭, 센서의 효율분석



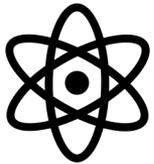


CMS Level-1 Correlator Trigger

- CMS 검출기에서 초당 4천만번 양성자-양성자 충돌에 의한 신호들이 만들어지는데 모든 신호를 데이터에 저장할 수 없기 때문에 물리적으로 중요한 신호만을 탐지해서 골라내는 것이 필수적이다.
- **Trigger (트리거 시스템)** : 수많은 양성자간 충돌 사건들 중에서 물리적으로 의미있는 사건의 데이터를 실시간으로 처리하는 데이터 획득 시스템이다.
- **Correlator Trigger (CT)**는 궤적 검출기, 열량계, 뮤온챔버 등으로부터 얻어진 모든 신호들을 매칭하는 역할을 수행한다.
 - CT에 의해서 매칭이 완료된 이벤트들은 Global Trigger로 보내지고 최종적으로 **이벤트 선택 여부가 결정된다.**



High-level view of the Phase-2 L1 trigger

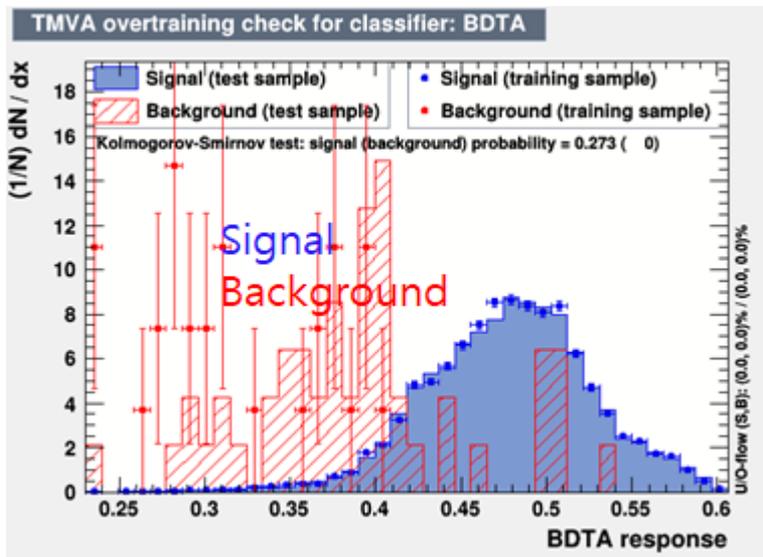
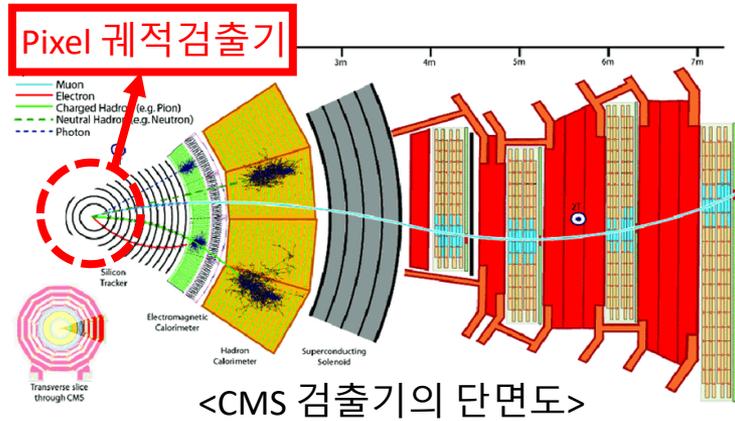


기계 학습 기법을 통한 CMS 궤적 검출기 성능 향상

기계 학습이란? 컴퓨터에 데이터를 학습시켜 스스로의 성능을 향상 시키고, 이를 예측, 의사결정 등에 이용하는 분야

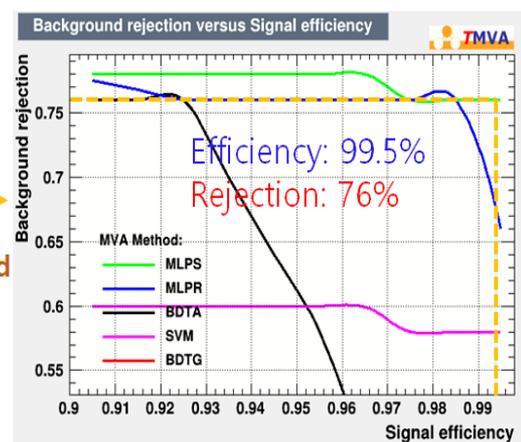
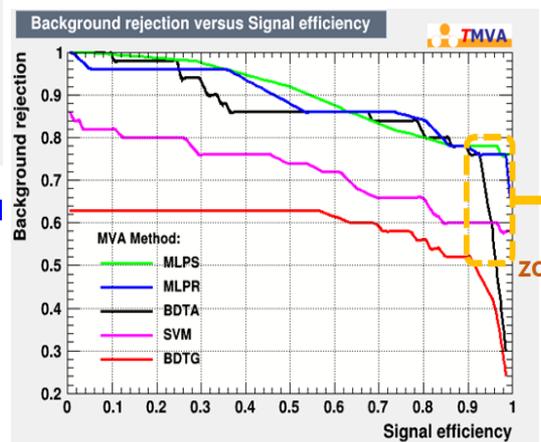
□ CMS 데이터 분석에 기계학습 기법을 적용하여 고전적인 데이터 분석 기법을 사용하였을 때 보다 향상된 결과를 얻고자 함

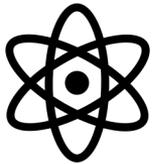
□ Pixel 궤적 검출기와 전자기 열량계의 정보 서로 매칭하여 전자의 신호를 배경사건으로부터 효율적으로 골라 내는데 머신러닝을 이용한다.



→ Boosted Decision Tree (BDT) 기법을 이용한 Classifier 로 데이터를 **Signal**과 **Background**로 분류한 결과

AUC, ROC curve를 이용한 Classifier의 성능평가





슈퍼컴퓨터와 기계학습을 이용한 고에너지 물리 연구



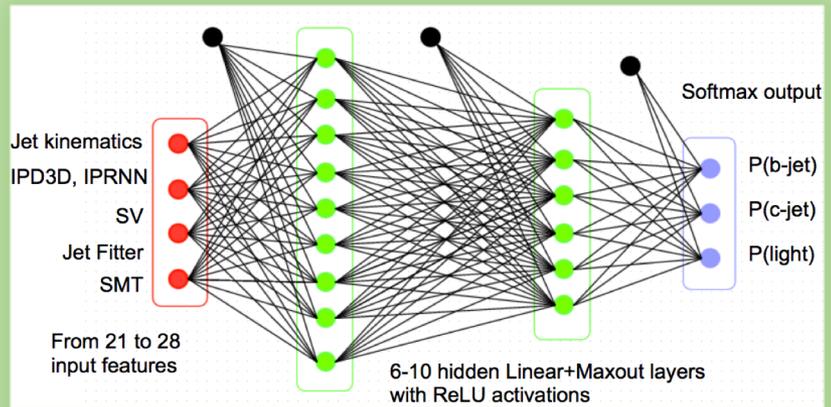
누리온 (Nurion) 슈퍼컴퓨터

□ 한국정보과학기술원 (KISTI)에서 가동 중인 슈퍼컴퓨터 5호기

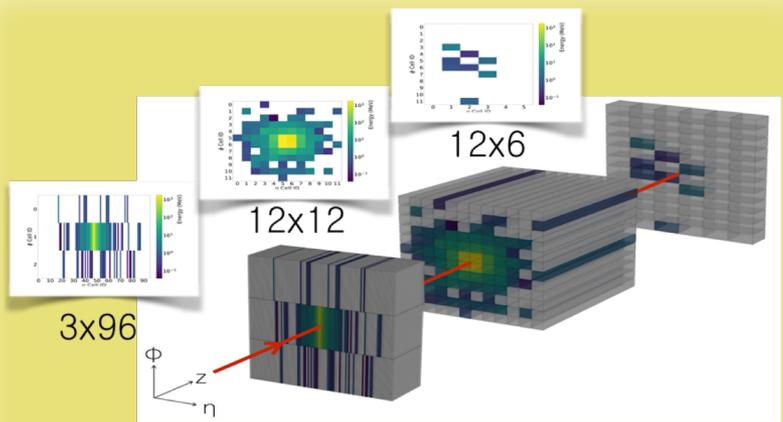
➤ **대량의 데이터를 병렬로 빠르게 처리할 수 있다!**

슈퍼컴퓨터 규모 세계 순위	슈퍼컴퓨터 5호기 성능	
11 위	25.7 PFlops	
5호기 코어 570,020 core	5호기 무게 133 ton	5호기 설치 면적 468 m ²
5호기 케이블 총 길이 132 km	5호기 데이터 저장소 33.88 PByte	
5호기 냉각 12,373,920 (L/일)		

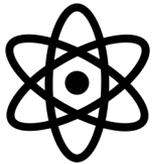
□ 빅데이터 분석과 딥러닝 기술을 고에너지 물리학에 적용하여 기존의 분석 방법으로 얻은 결과보다 **향상된 데이터 분석 결과**를 도출한다.



□ 머신 러닝의 주요 기법 중 하나인 Deep Neural Network



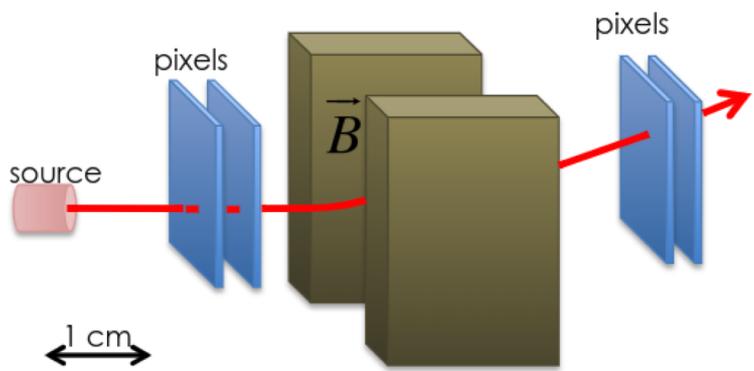
□ Convolution Neural Network 방법을 실제 분석에 적용한 예.



국제적 교육용 실리콘 궤적 검출기 개발 (한-프랑스 협력연구사업)

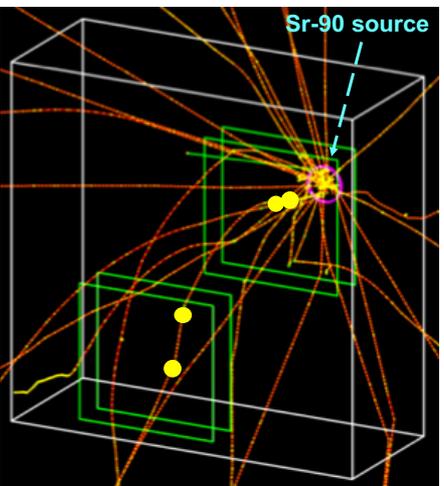


□ 실험실 규모의 소형 입자 궤적 검출기를 개발하여 학생들이 궤적 검출기의 원리 및 실제 데이터를 획득하는 과정을 체험한다.

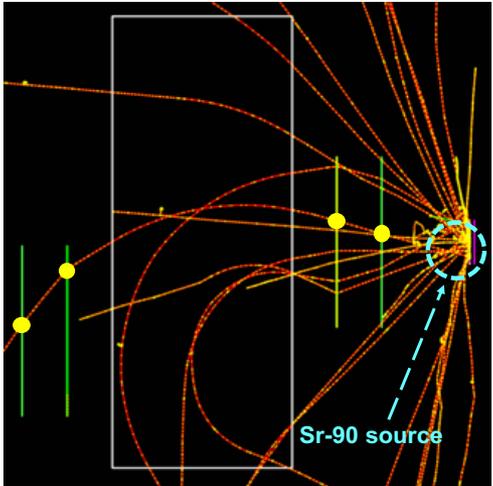


- 방사능 소스에서 방출된 전자가 영구 자석에 의한 자기장 영역을 통과한다.
- 이 때 자석 앞뒤에 픽셀 센서들을 설치하고 전자에 의한 픽셀의 위치 정보를 이용해서 **전자의 궤적을 재구성** 한다.
- 재구성된 전자의 궤적으로부터 **전자의 운동량을 측정**할 수 있다.

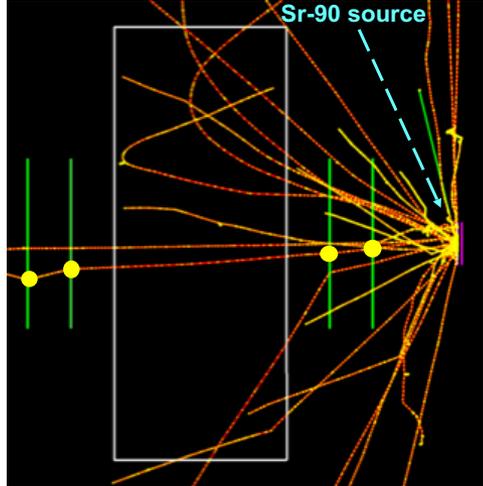
3D view



Side view (y-z plane)



Top view (x-z plane)



▲ Geant4 시뮬레이션을 이용하여 만든 궤적 검출기와 입자의 궤적