



한국-CMS 실험 사업

양운기 (서울대)
한국-CMS 대표

입자분과 장기 전략회의, 2019.9.20-21

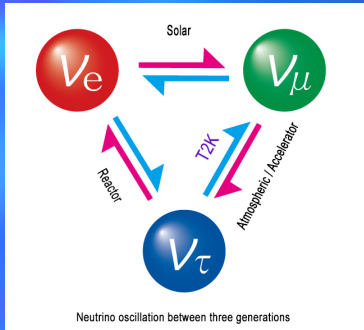
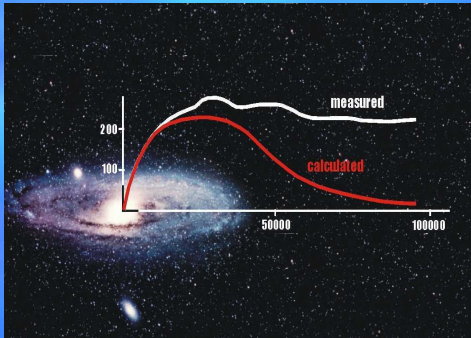
한국-CMS 사업팀: 목적

- CERN과 국제협력을 통한 World-class Research
- 대형 검출기를 CERN과 공동 개발
- 기초과학에서 연구인력 양성

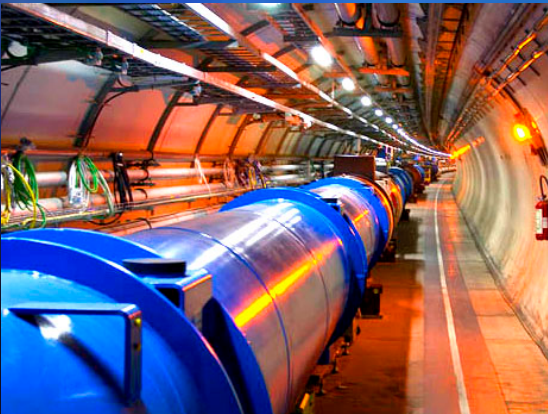


에너지 프란티어에서 새로운 물리 탐사

CMS at LHC



- 힉스입자 발견으로 표준모형은 완성이 되었으나, **암흑물질, 중성미자 진동, 우주의 물질과 반물질의 비대칭성**은 더 근본적인 물리법칙을 증거하고 있음



CMS국제공동연구단



46개국, 198개 대학, 5400명이 참가하는 세계최대 규모의 입자물리 실험집단 ~거대과학

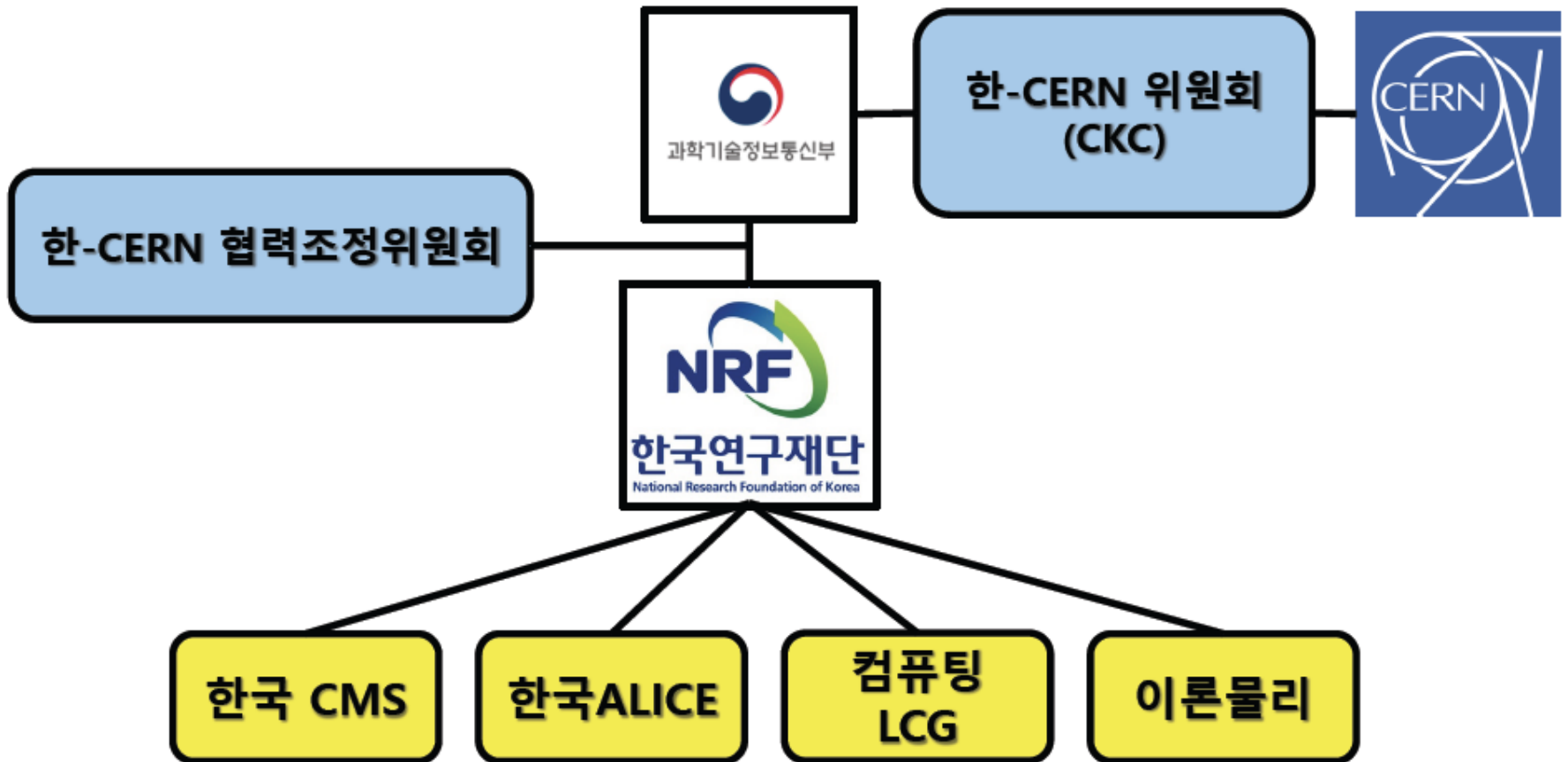
2006년 한-CERN협력사업 체결



스위스 박원화대사 – Robert AYMAR 소장

한-CERN협력사업 양해각서 체결

한-CERN 협력사업구조



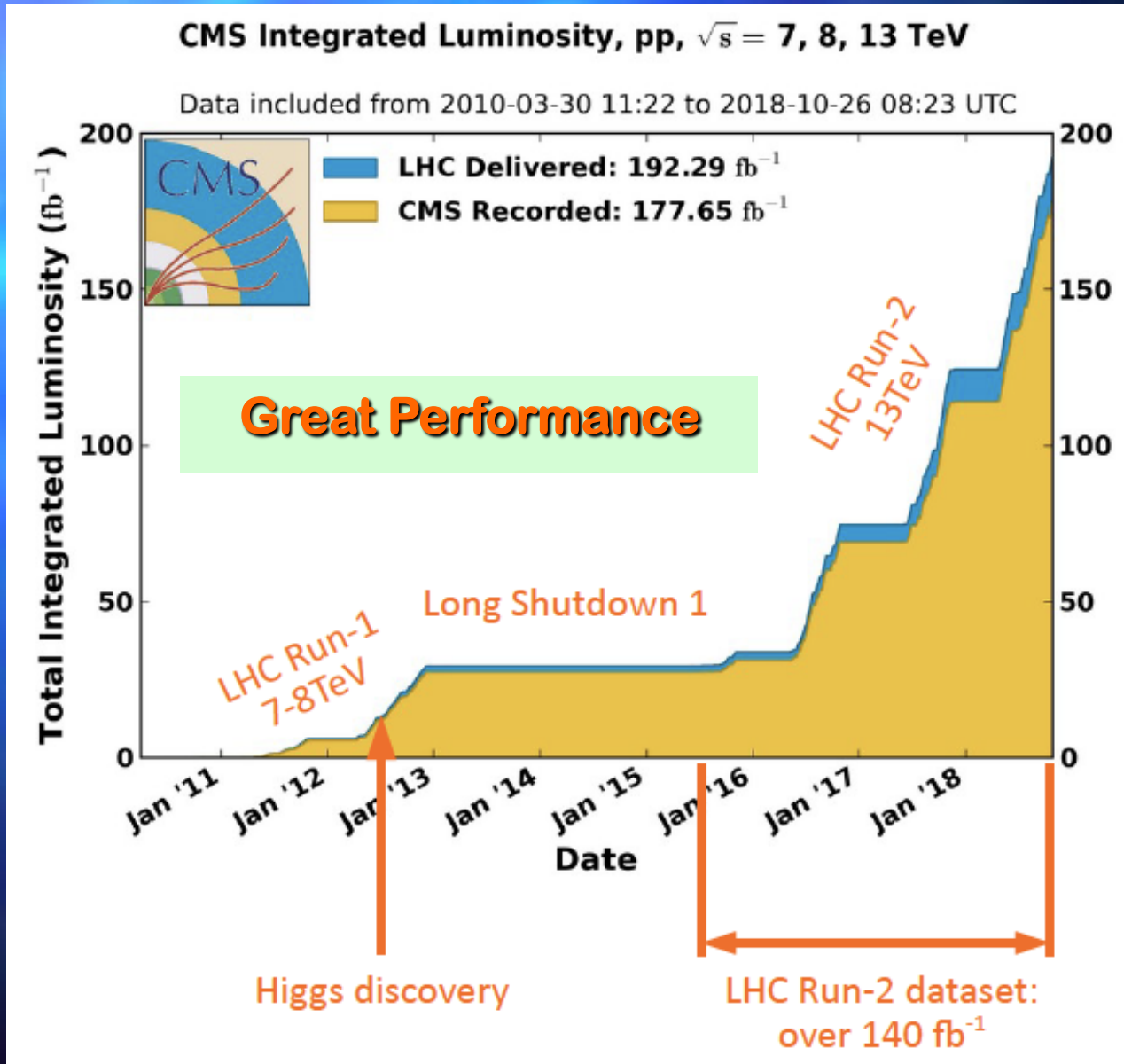
한국-CMS 실험 사업팀



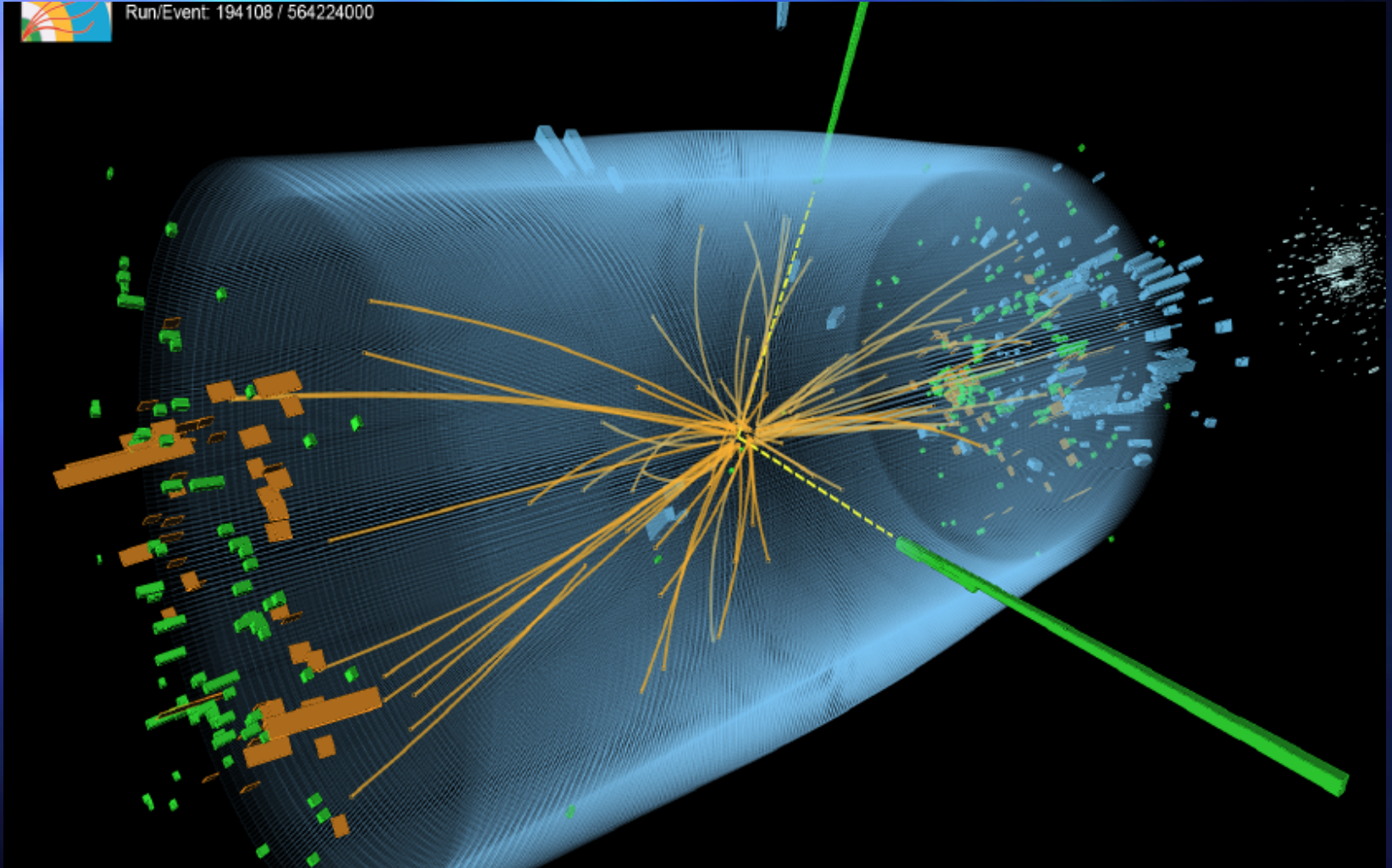
- 참여자 (116)
- 9 개 대학
 - 교수: 18
 - 박사급연구원: ~20
 - 대학원생: 69
 - 엔지니어, 직원: 9

The 11th largest country in CMS
국대 최대 입자물리 실험팀

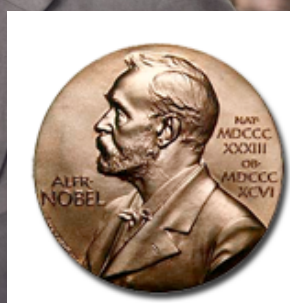
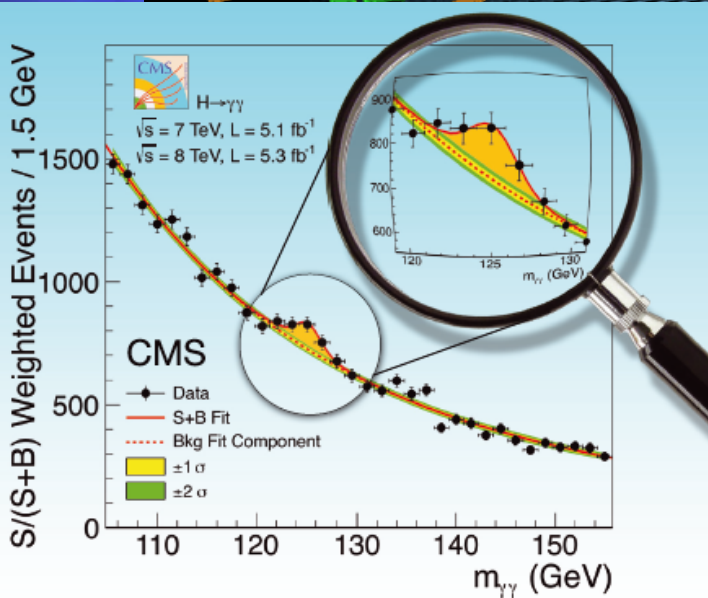
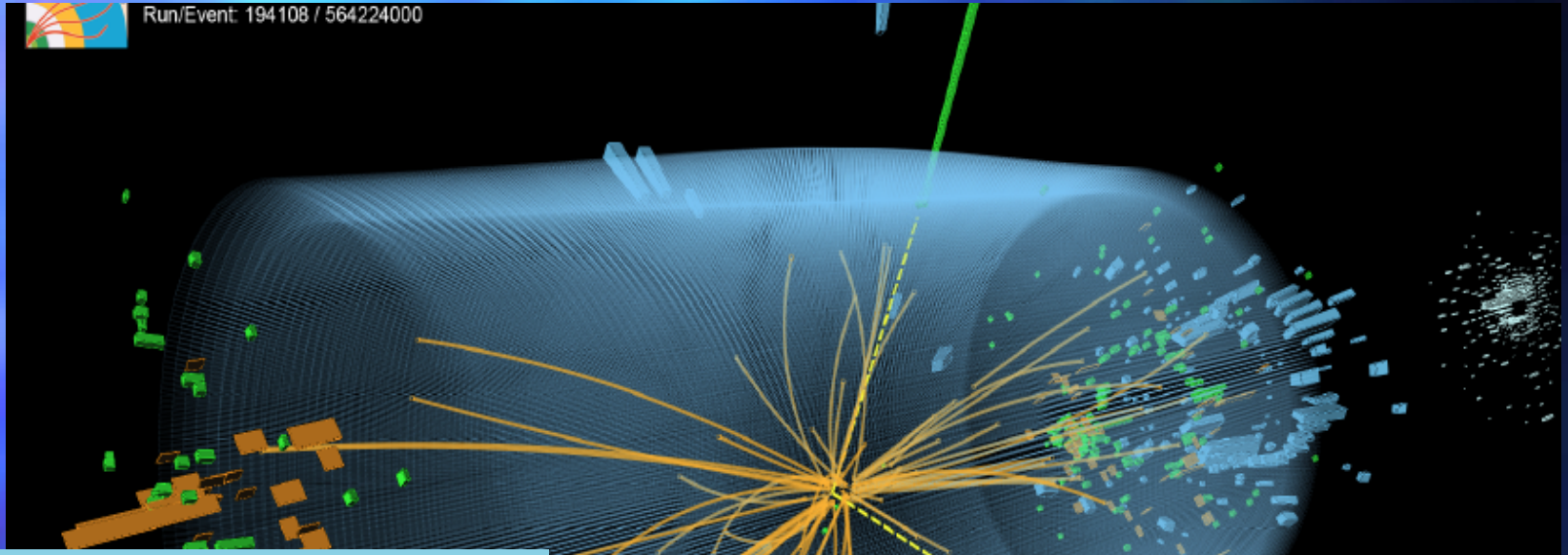
LHC & CMS experiment

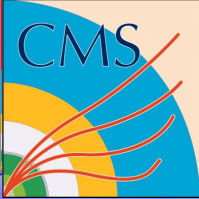


Discovery of Higgs boson (2012)

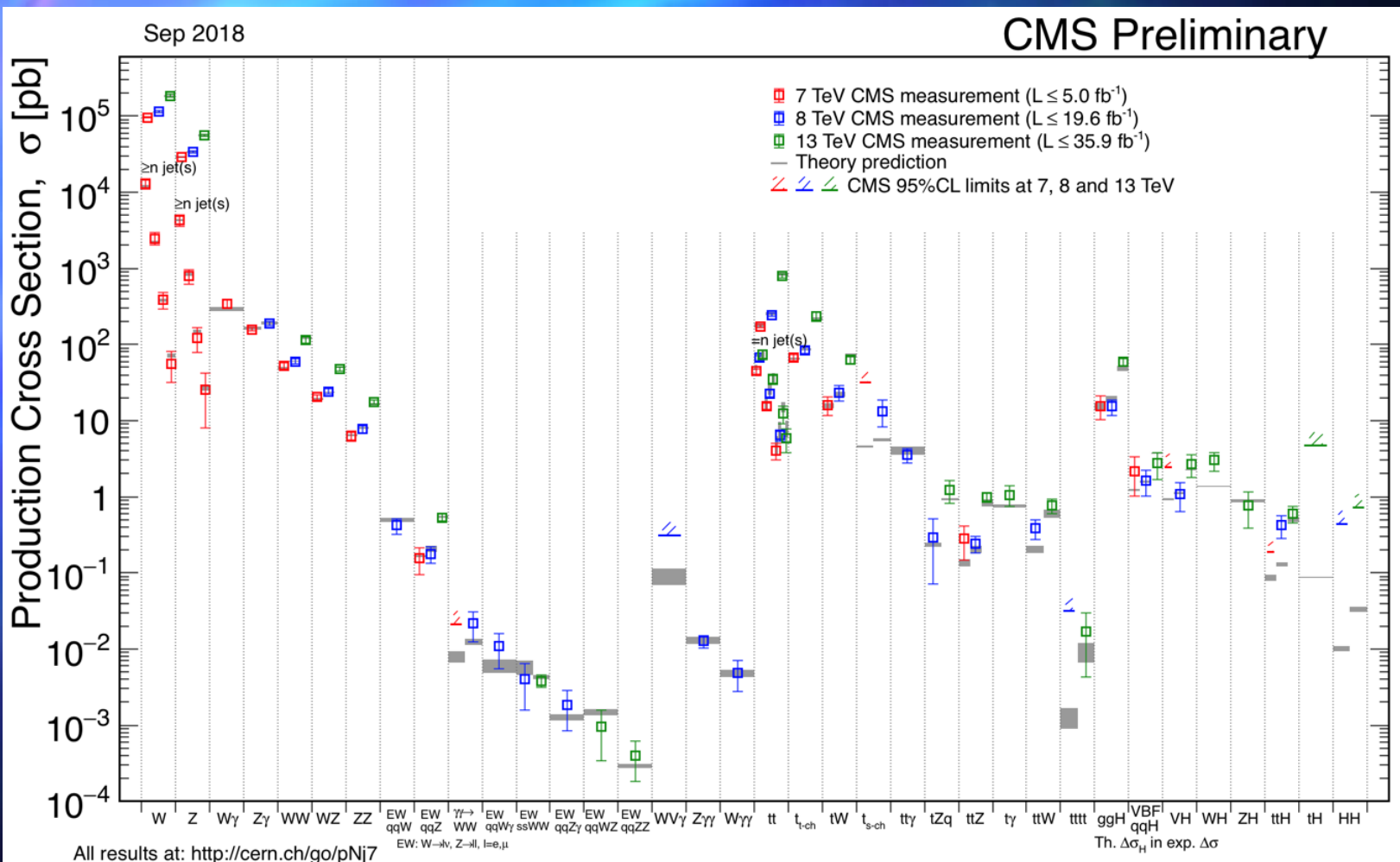


Discovery of Higgs boson (2012)





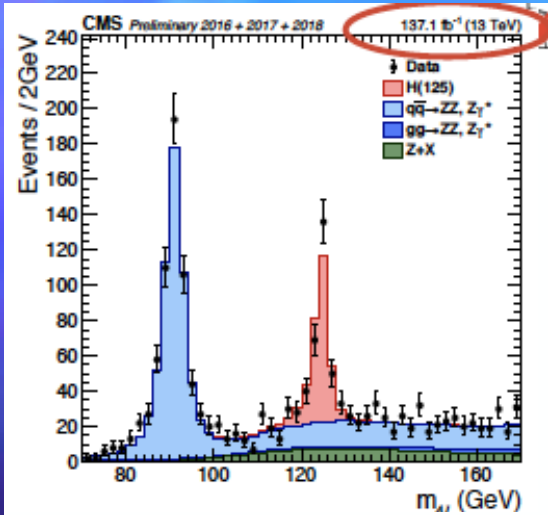
Understanding on the SM!



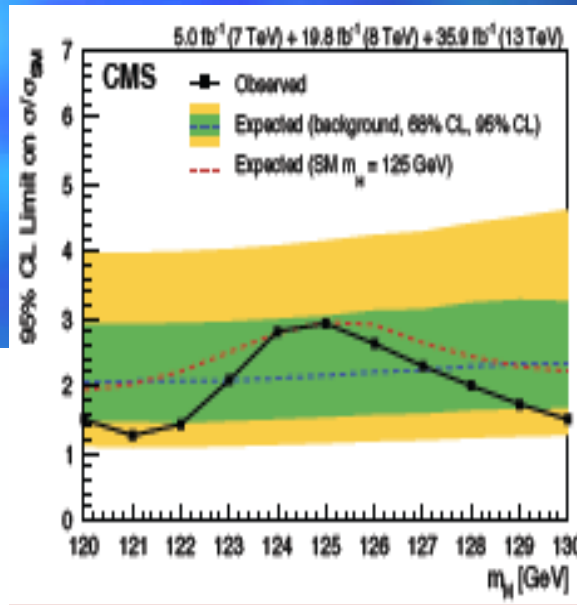
➤ Impressive agreements with the SM

Higgs Physics

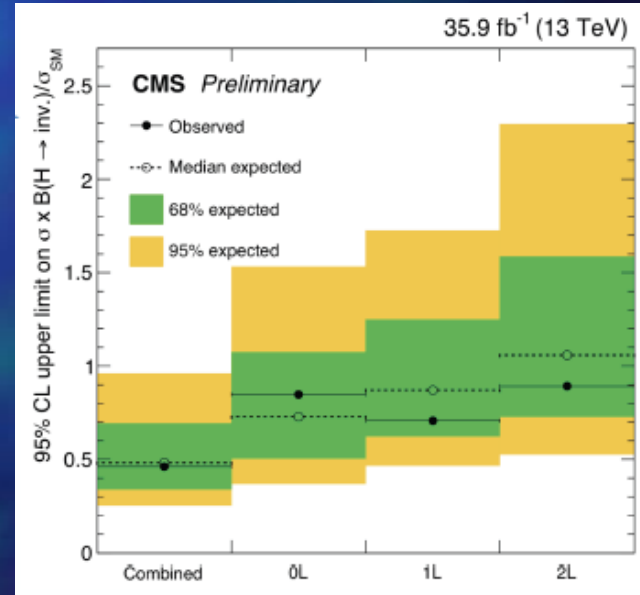
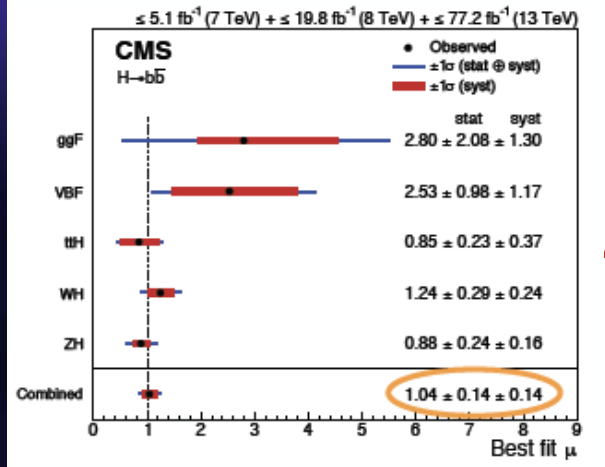
➤ Precision



➤ Rare decays

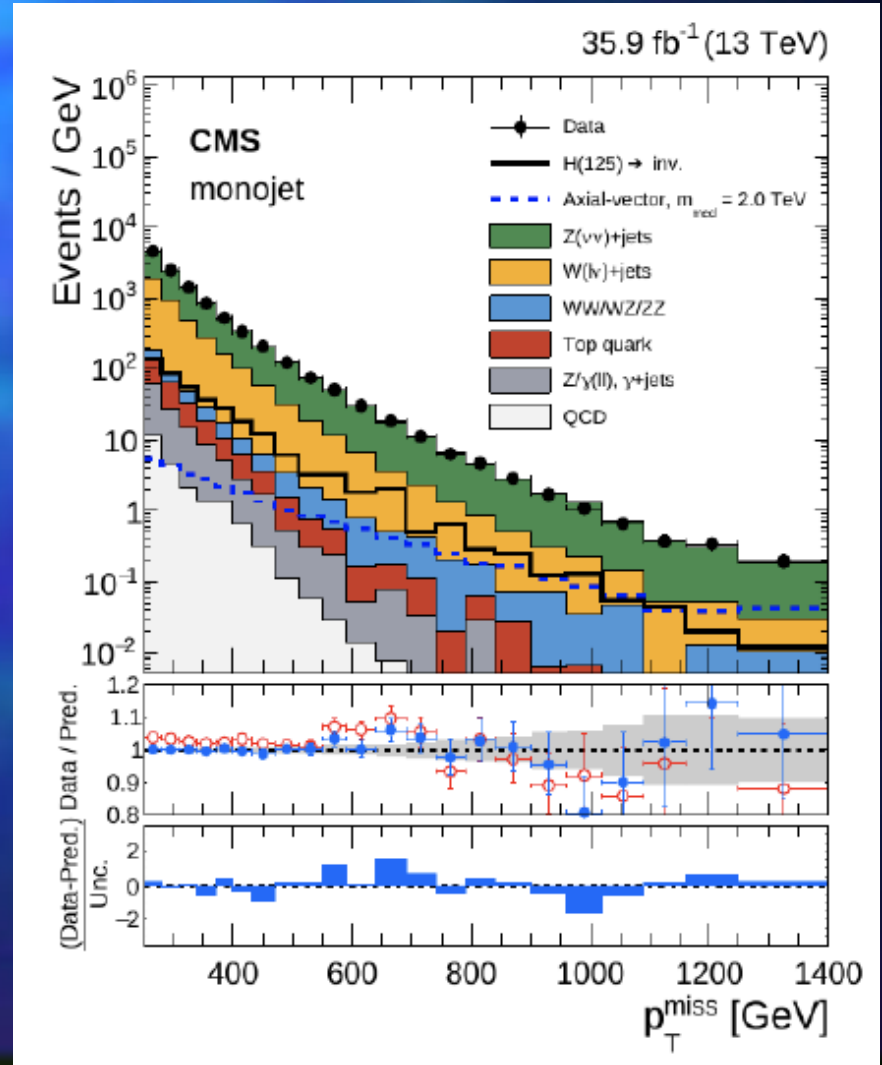
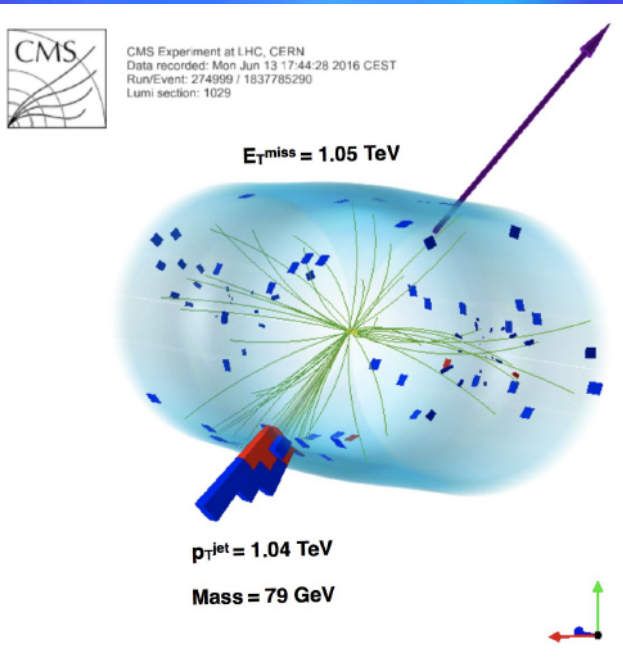
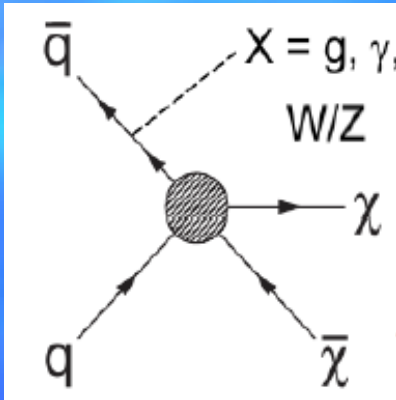


➤ BSM Higgs

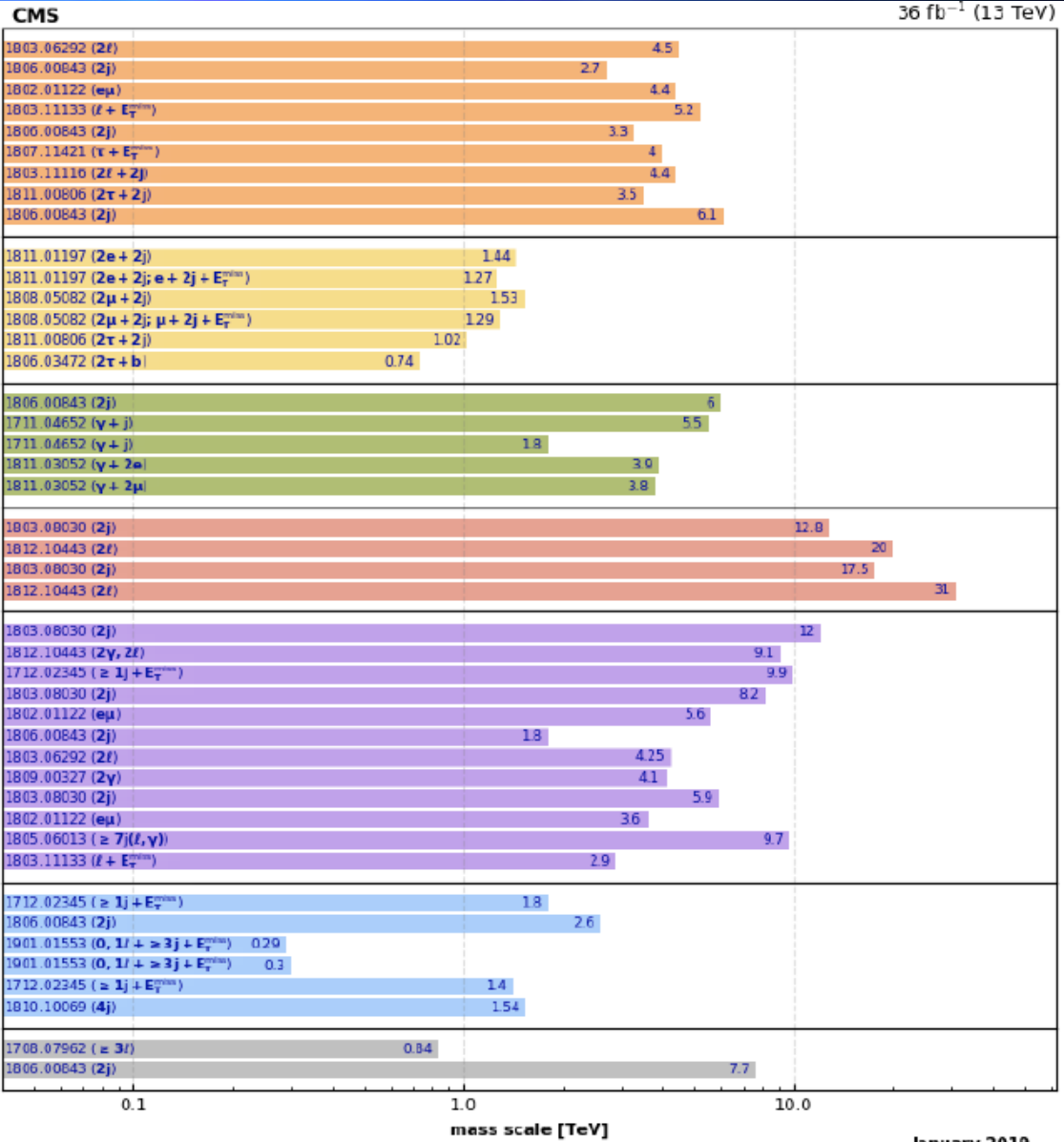


Dark Matter

➤ Direct Searches




Summary on Exotic Searches



Selection of observed exclusion limits at 95% C.L. (theory uncertainties are not included).

한국-CMS (CMS) 사업소개

➤ 4단계를 마치고 5단계를 수행중 (~13년)

	1 단계 ('07~'10)	2단계 ('10~'13)	3단계 ('13~'16)	4단계 ('16~'19)	5단계 ('19~'22)
기관수	6	7	8	8	9
인원	~50	~70	~80	~100	~120
예산/년	~7억	~15억	~22억	~23억	~26억
대표					
특징	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Commissioning & the first LHC Run 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Run1: 7,8 TeV ➤ Higgs Discovery 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Physics Analysis (7,8 TeV) ➤ RPC Upgrade 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Run 2: 13 TeV ➤ GEM Upgrade 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Run 2: 13 TeV ➤ GEM & RPC Upgrade



한국-CMS (KCMS) 사업팀

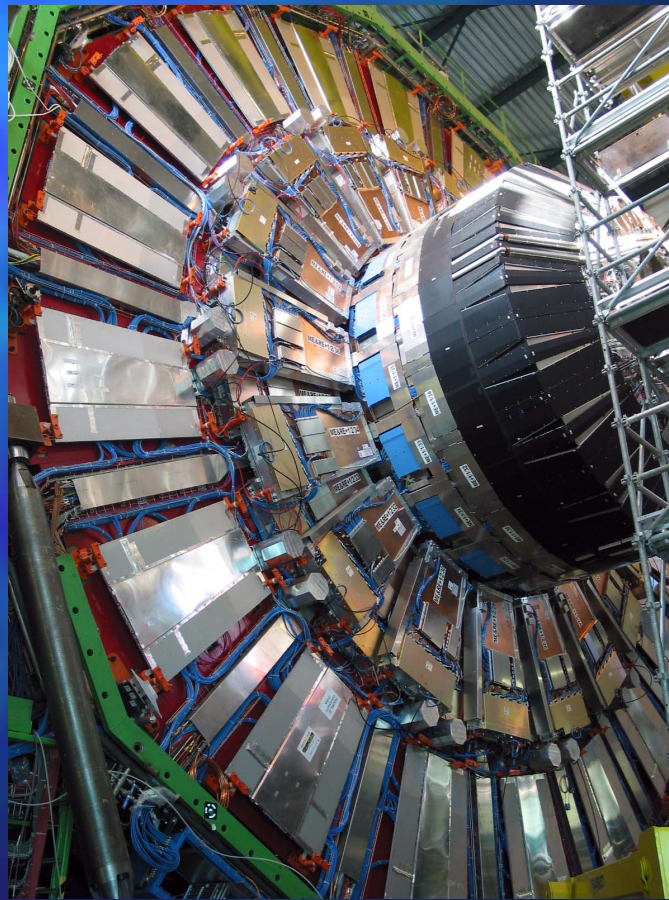
- CMS: 46개국, 198개 기관, 5400명 참여 (저자수 2300명)
- KCMS: 9개의 참여기관 (2019년 9월)
 - 경북대, 경희대, 고려대, 서울대, 서울시립대, 성균관대, 전남대, 한양대, 세종대

- 예산 및 연구인력 (총 26억 1천만원, 116명)
- 세계에서 11번째 규모의 사업팀 (2.2%)

단계	연도	총 예산 (억원)	교수	연구원	대학 원생	기술, 행정	총인원
3	2013	22.0	13	18	36	10	77
4	2016	22.5	15	20	46	5	86
	2018	23.3	16	19	60	9	104
5	2019	26.1	18	20	69	9	116

Stage 0 ('98~'06)

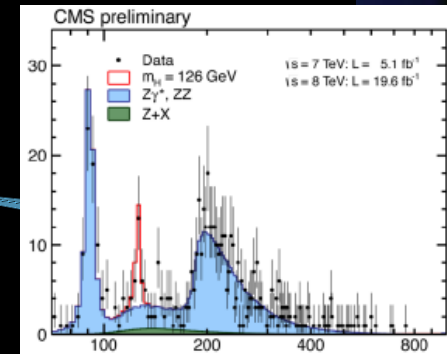
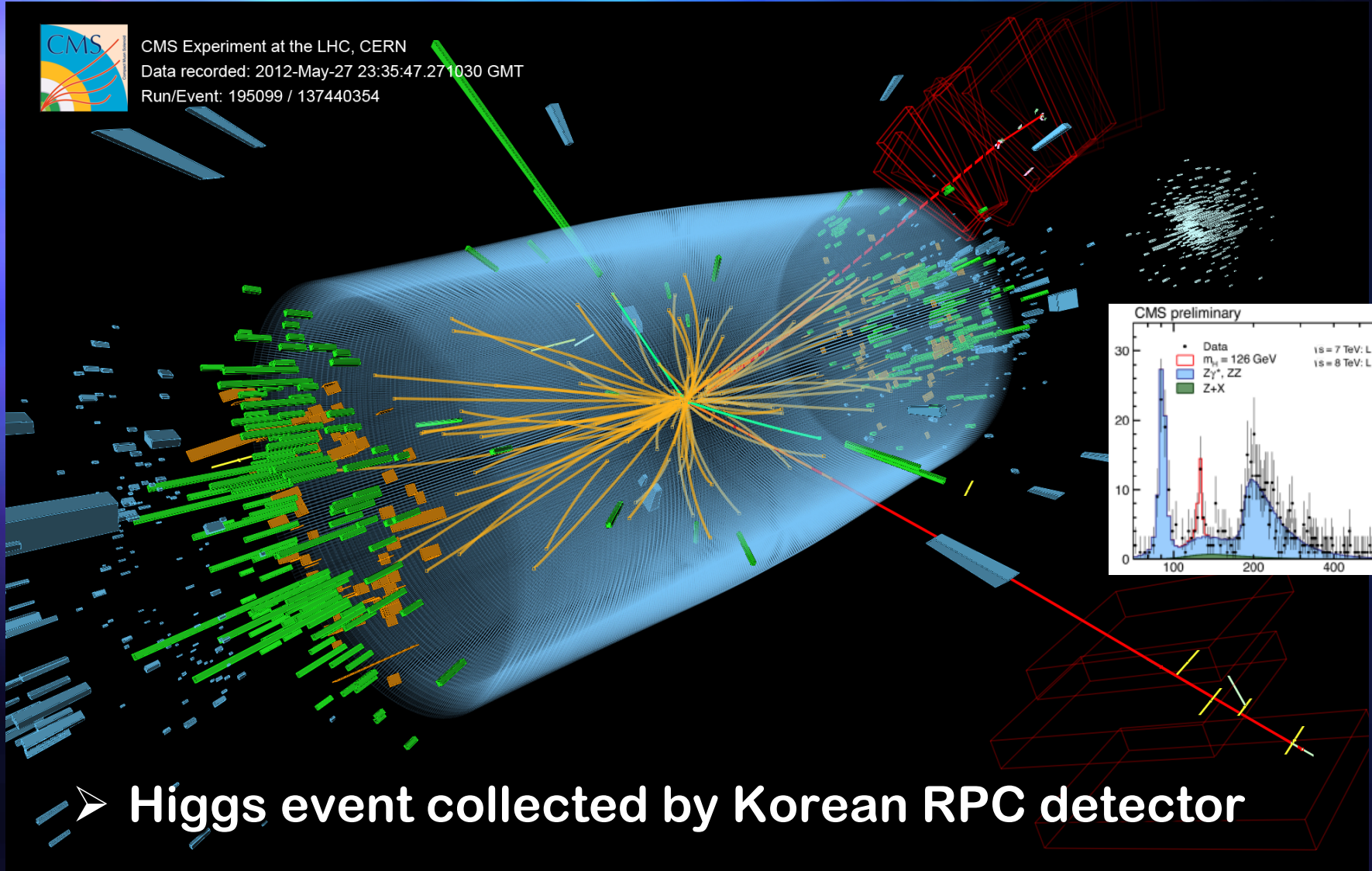
- Superconducting magnet platform
- Forward RPC production & Online DAQ hardware



Higgs Discovery in 2012



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354



➤ Higgs event collected by Korean RPC detector

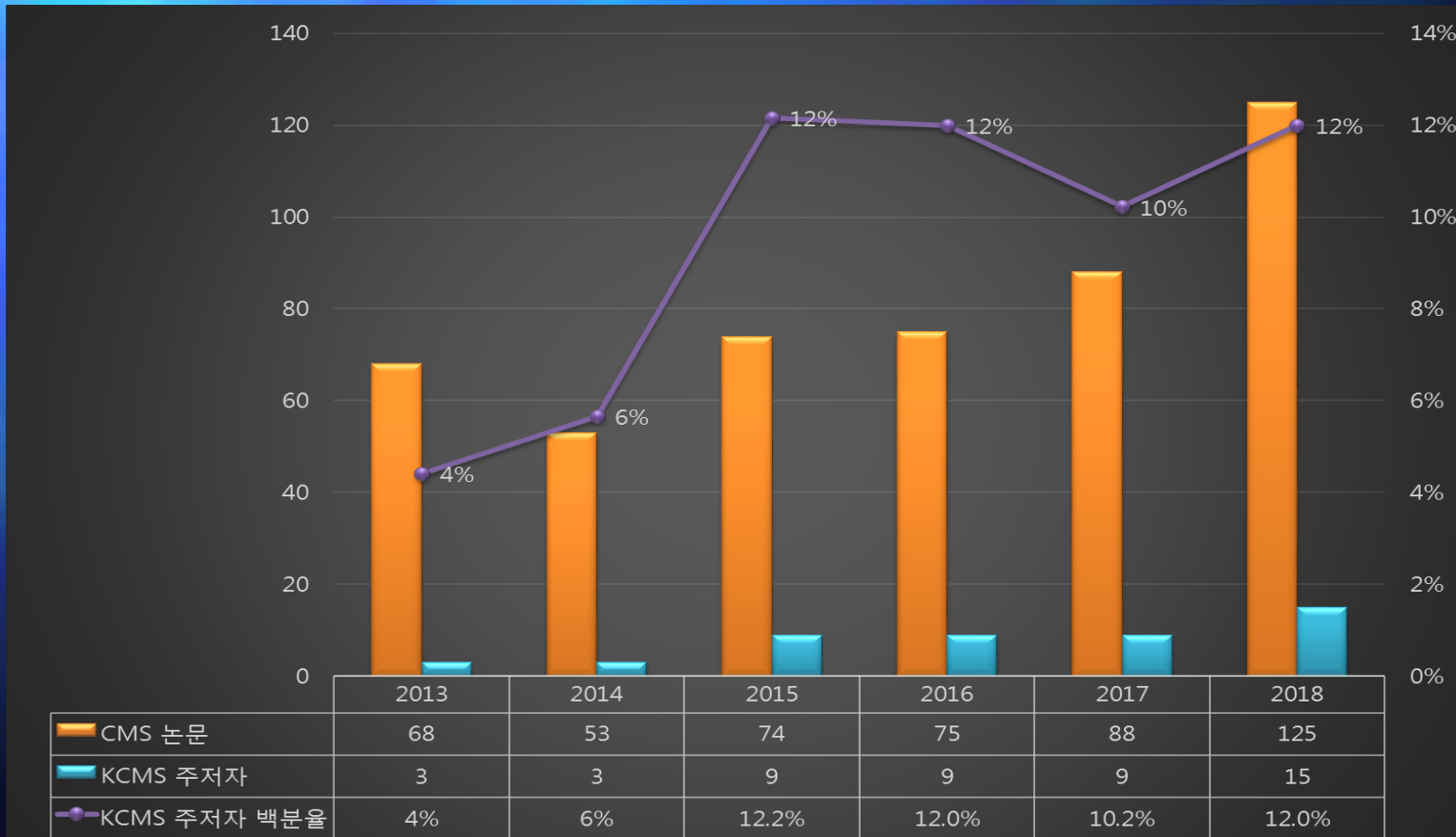
RPC Upgrade: 2013~2015



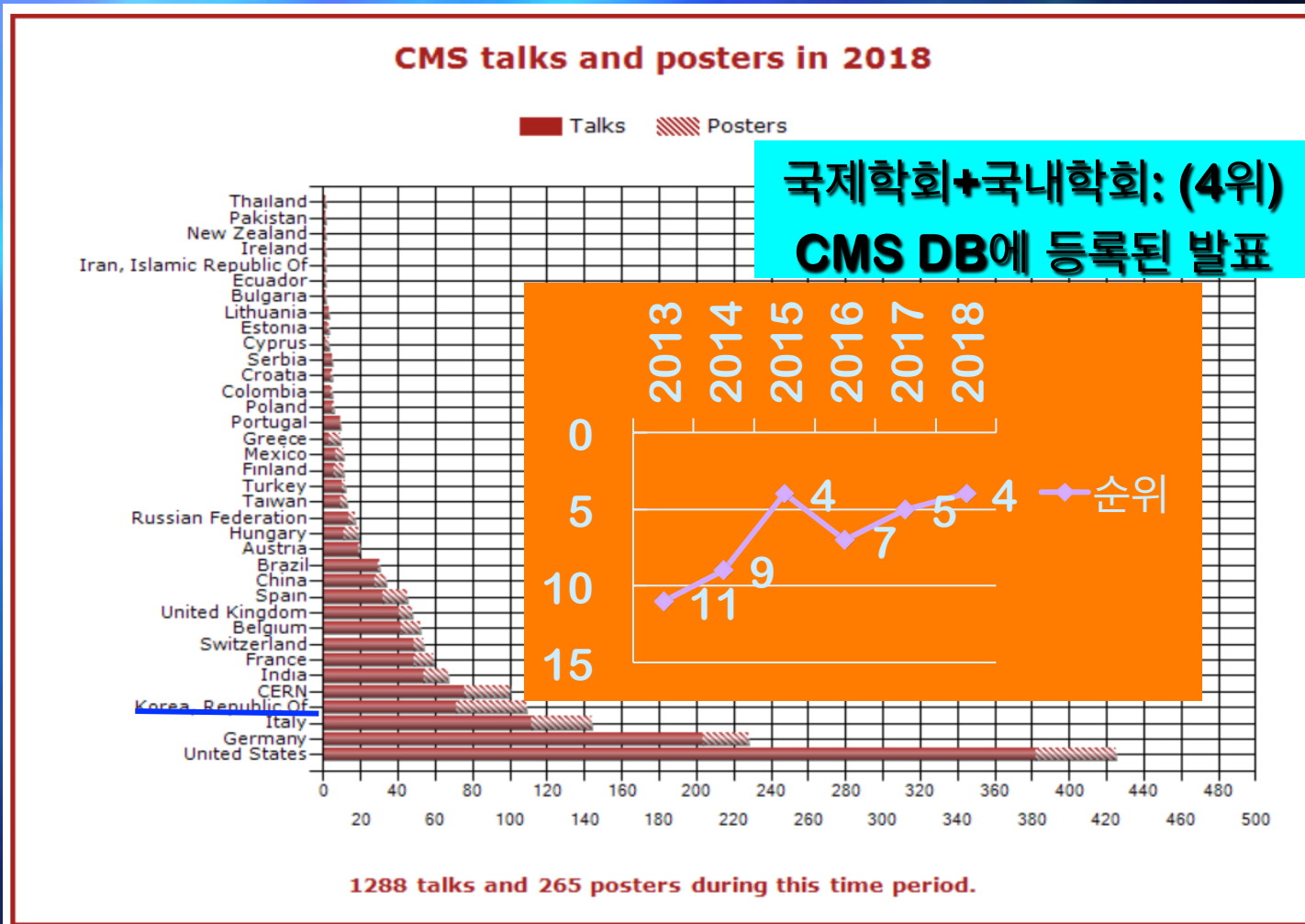
- All Forward RPC gaps were built by KCMS

KCMS 논문 업적

- KCMS 4단계 주저자 논문 33편 (총 288 편: 11%)
- 3단계: KCMS 주저자 논문 15편 (7.7%)



KCMS 학회 발표 업적



- 국제/국내 학회 발표활동: 11위(2013) → 4위 (2018)
- 총 ~250편 발표 (5.4% 공헌 vs M&O-A 2.2%)

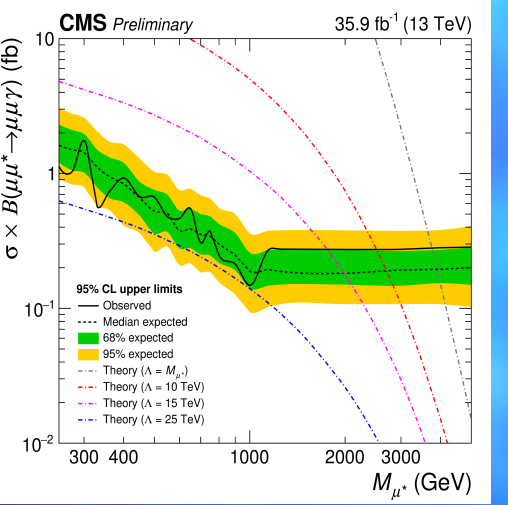
사업활동 전략



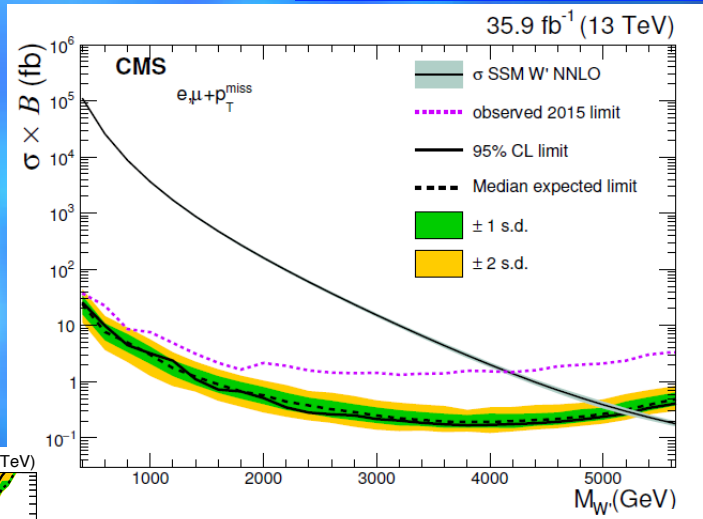
- 4개의 **Physics Task Force** 팀 + 검출기 개발팀 + **Computing Resource** 운영 위원회가 새로운 물리 발견을 목적으로 유기적으로 활동
- Machine Learning 프로그램 양성 with KISTI 팀

KCMS Physics highlight (4단계)

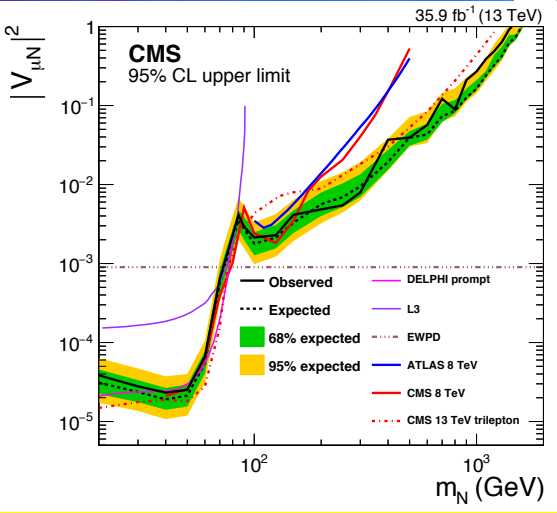
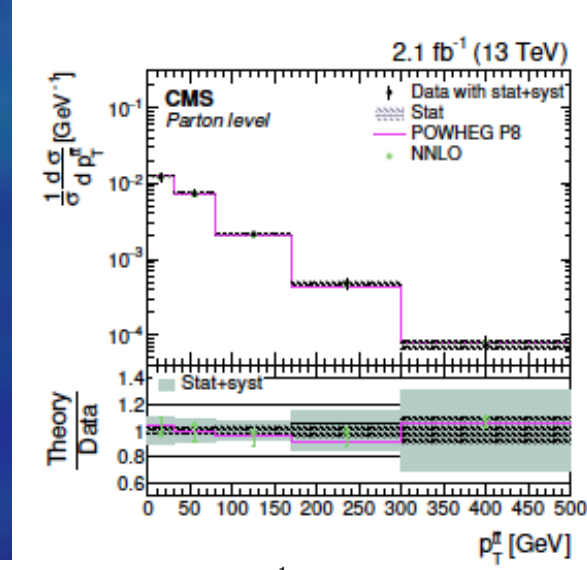
Excited leptons



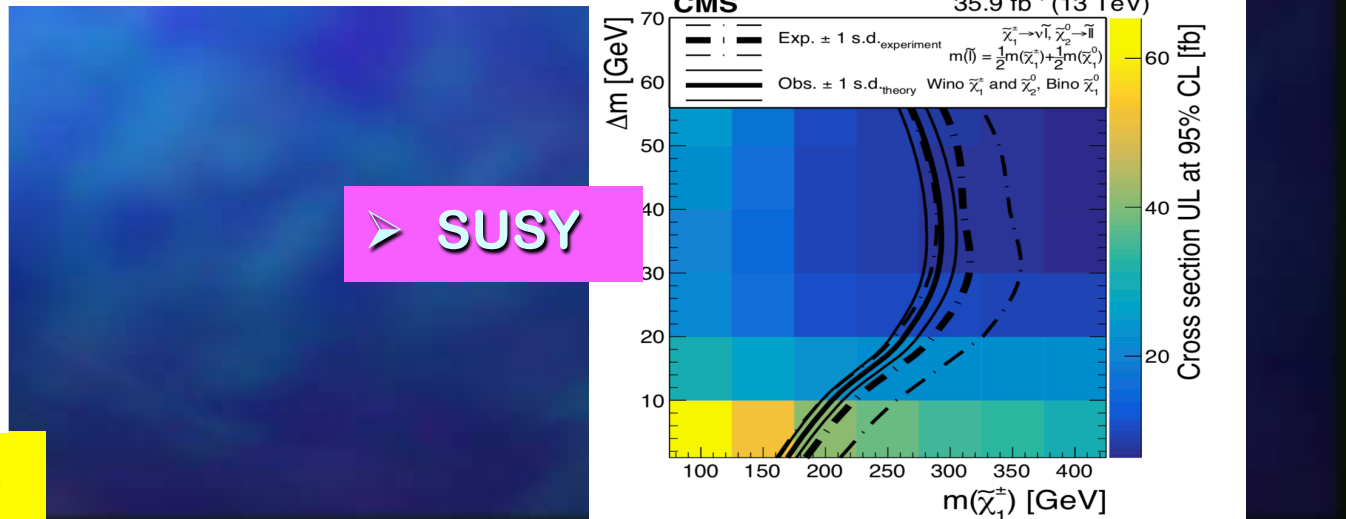
W* search



Precision Top

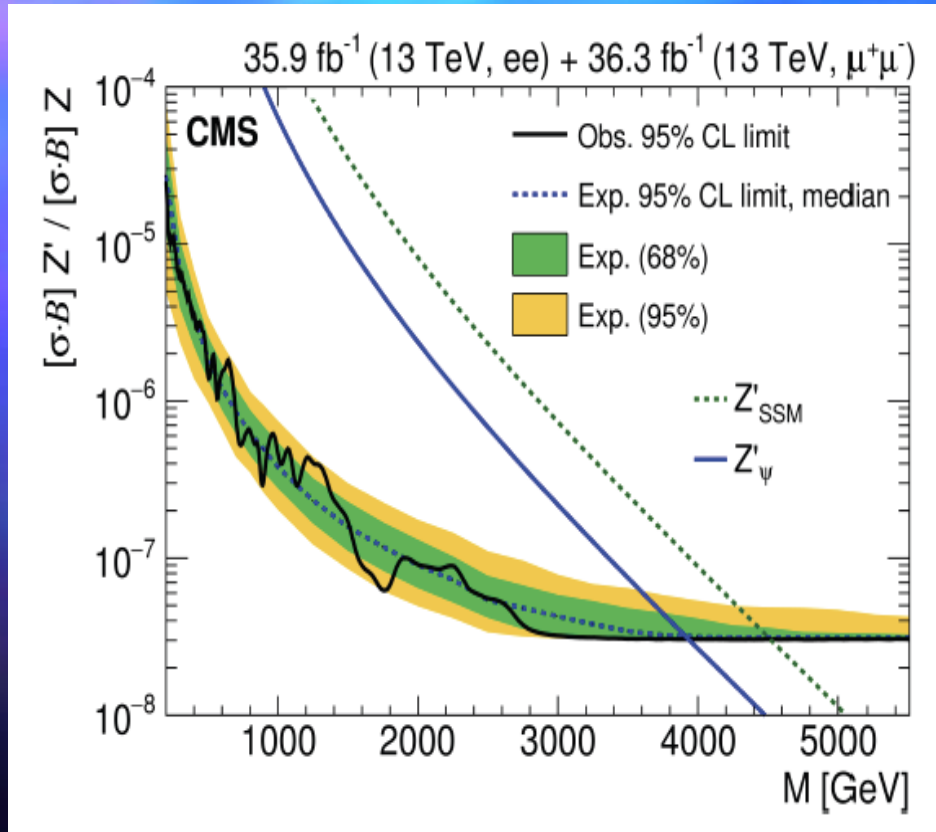


SUSY



Majorana neutrino

Highlight 1: Z' 탐색

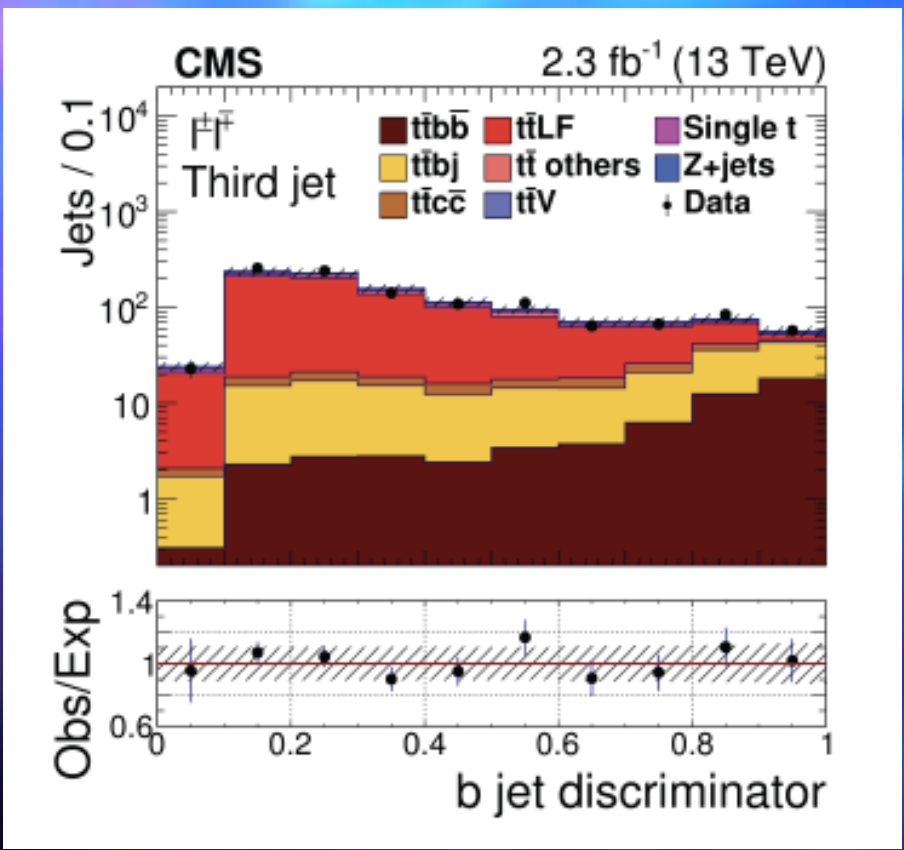


➤ 두 개의 뮤온입자를 통해서 새로운 게이지 보존입자와 초대칭성 입자를 탐색하여 **3 TeV**의 고에너지 영역까지 초대칭성 입자 생성에 대한 여러 가능성을 제거하고 생성방식에 **World-best** 한계치를 설정함

➤ 한국팀이 주도한 결과로 세계적인 국제학회인 **ICHEP 2016, 2018**에 중요한 연구결과로서 소개됨

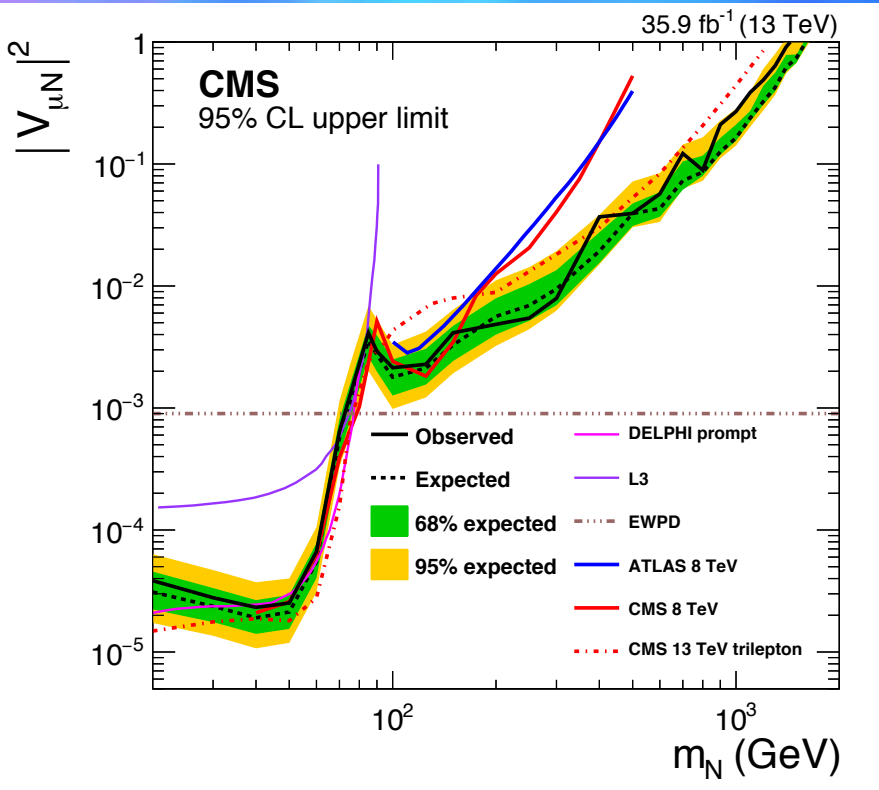
JHEP 06 (2018) 120
Phys. Lett. B. 768 (2017) 57

Highlight 2: Rare Process in Top quark



- 한국팀이 주도하여 rare process 인 **tt+bb** 단면적을 8 TeV에서 세계 최초로 측정하고 13 TeV를 이용하여 정밀 측정함
- 탑쿼크와 힉스 입자와의 coupling, 을 측정, 또 하나의 희귀과정인 **Flavour Changing Neutral Current**를 측정하기 위한 중요한 채널

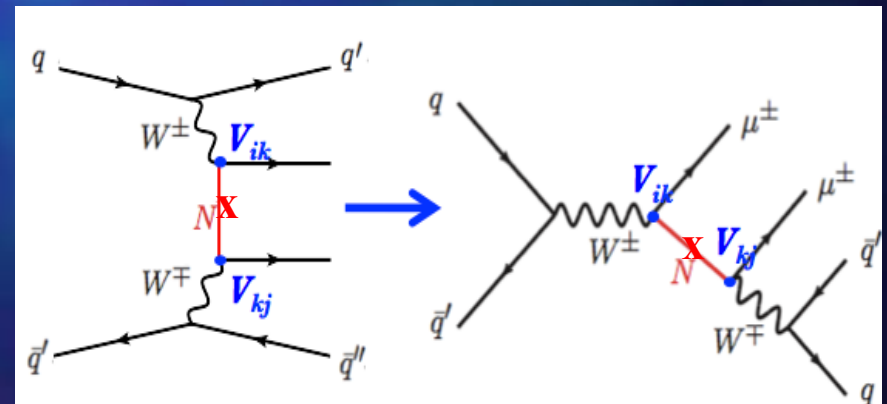
Highlight 3: 무거운 중성미자 탐색



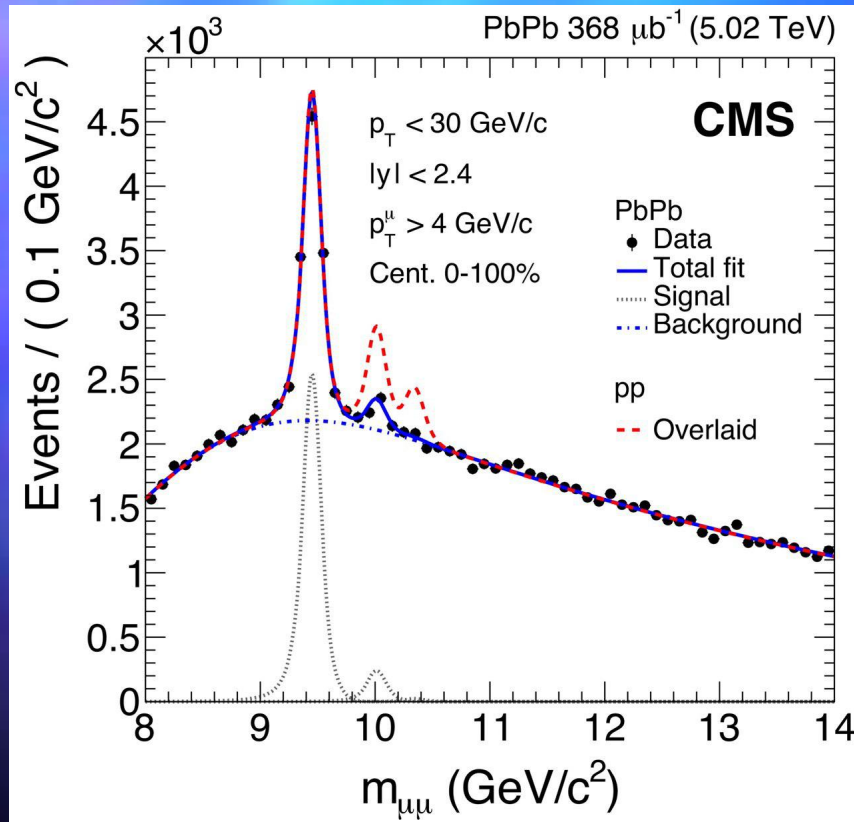
- 전통적으로 낮은 에너지 영역에서 수행되었던 연구를 한국 CMS 실험팀이 100% 주도하여 LHC에서 직접 탐색
- LHC에서 마요라나 중성미자 탐색은 중성미자 질량의 근원에 대한 중요한 문제임 (CUP에서도 $0\nu\beta\beta$ 를 이용하여 탐색)
- 100 GeV 보다 무거운 중성미자에 대해서는 world-best 한계치를 설정

JHEP 01 (2019) 122

PRL 120 (2018) 221801



Highlight 4: 중이온 충돌에서 Υ 생성



- 중이온 충돌에서 양성자 충돌에 비해 $\Upsilon(2s)$ 는 시그널이 아주 약하고 $\Upsilon(3s)$ 는 거의 보이지 않을 정도로 Quark Gluon Plasma 효과로 인하여 suppressed된 것을 처음으로 발견
- 한국 CMS 팀이 주도한 연구결과

PRL 120 (2018) 142301
 PLB (2019) 예정

학위배출 업적

- 박사 7명, 석사 4명 배출 (4단계까지 박사 18명 배출)
 - Madam-Curie Fellowship, KISTI 정규직, 삼성 종기원 등
- 석박사 통합과정에서 19명이 석사과정을 마치고 박사과정으로 진입

석/박사 구분	학위일	성명	학위 논문 제목	소속대학
석사	2019.2	이상란	Search for Higgs to dimuon in the ttbar Higgs associated production	서울시립대학교
석사	2019.2	투머란	Study of the muon isolation efficiency in high jet multiplicity environment at the LHC	한양대학교
박사	2015.2.	권은향	The measurement of the top quark mass with BEST method in CMS experiment at LHC	고려대학교
박사	2015.8.	김현철	Exclusive reconstruction of B^\pm in pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 5.02$ TeV	고려대학교
박사	2016.2.	정남균	Dark matter search through monotop channel in pp collisions at $\sqrt{s} : 14$ TeV using 100 fb ⁻¹ simulated data	
박사	2016.2.	Khakimjan Butanov	Measurement of the transverse momentum spectra of W bosons decaying to an electron and a neutrino in proton-proton collisions at the centre-of-mass energy of 8 TeV with the CMS detector	경북대학교
박사	2016.2.	Hamid Yusupov	Measurement of the transverse momentum spectra of weak vector bosons decaying to muon channels in proton-proton collisions at the centre-of-mass energy of 8 TeV with the CMS detector	경북대학교

석사	2016.8.	좌연재	Search for a Light Charged Higgs Decaying into cb in the CMS experiment with pp collisions at $\sqrt{s}=8$ TeV	서울대학교
석사	2017.8.	이아라	CMS에서 탑쿼크 쌍생성 단면적에 대한 pile-up효과 연구	전북대학교
박사	2017.8.	이송교	Measurement of prompt and nonprompt J/psi production in pp and pPb collisions at $\sqrt{s(s_{NN})} = 5.02$ TeV	고려대학교
박사	2017.2.	류건모	Top quark mass measurement using charmed meson without b-jet	서울시립대학교

신진교수 배출 업적

- KCMS 사업을 통해서 양성된 인력 (학생, 박사연구원)중 교수 2명 배출 (4단계까지 총 7명의 교수 배출)

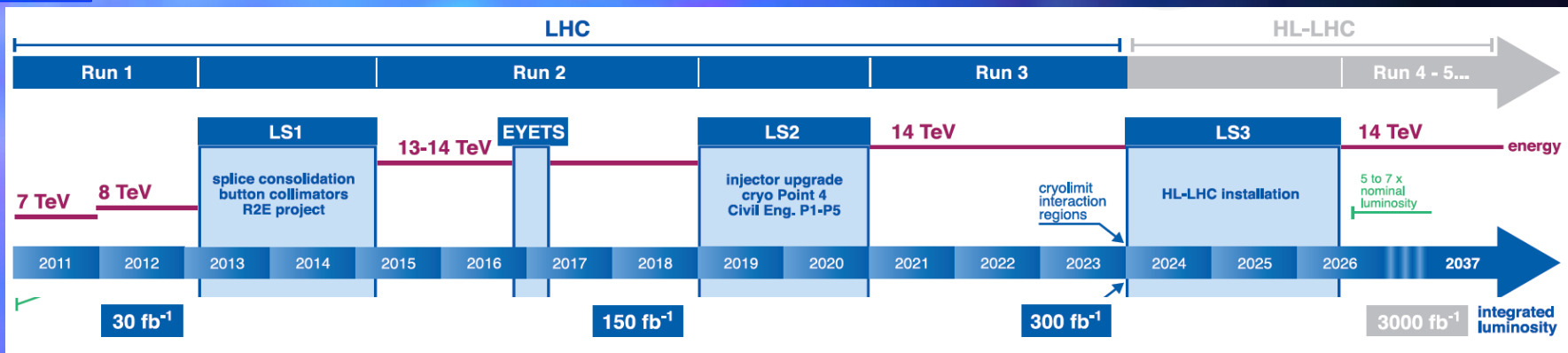
성명	임용시기	현재 직위	전직 KCMS 활동
김용선	2018.9.	세종대학교 교수	고려대학교 박사연구원
고정환	2018.2.	경북대학교 교수	한양대학교 박사연구원
이상훈	2016.3.	서울시립대학교 교수	서울시립대 박사연구원
이세욱	2015.9.	경북대학교 교수	고려대학교 박사연구원
문동호	2014.9	전남대학교 교수	고려대학교 학생
김태정	2016.3	한양대학교 교수	고려대학교 박사연구원
이현수	2015.9	IBS 지하실험단 부단장	고려대학교 박사연구원

CMS에서 주요 리더쉽

성명	현재 직위	CMS에서의 역할	활동기간
최수용	고려대학교 교수	CMS 이사회 부의장	2016.9-2018.8
		Other Non-Member States Representative (CMS Management Board member)	2018.09-현재
박성근	고려대학교 교수	RPC Resource Manager	2016.3-2018.2
박인규	서울시립대 교수	MuonPublication&ConferenceBoard이사	2015-2017
고경환	경희대학교 교수	RPC DPG Deputy Coordinator (L2)	2017.5-현재
Jason Lee	서울시립대 교수	GEM DPG coordinator (L2)	2018.9-현재
Ian Watson	서울시립대 박사연구원	GEM Reconstruction (L3)	2018.9-현재
Sezen Sekmen	경북대학교 박사연구원	Fast Simulation Group Convener (L2)	2016-2019.1
		CMSUpgradePerformanceStudiesGroup (L3)	2019.1-현재
Benjamin Radburn- Smith	서울대학교 박사연구원	Muon HLT convener (L3)	2014.9-2017.8
Brieuc Francois	한양대학교 박사연구원	RPC Trigger Coordinator (L3)	2018.9-현재
남경욱	서울대학교 학생	TSG Storm group convener (L2)	2018.9-현재
이경필	서울대학교 학생	Muon HLT group convener (L3)	2017.9-현재
오민석	서울대학교 학생	Muon High Energy group convener (L3)	2018.11-현재

- 최수용: CMS 이사회 부의장, 아시아 지역 대표
- 김태정 : MUON RPC 이사회 의장 (just appointed)
- 남경욱 (학생): TSG Storm Group Convener (L2): 장기 파견 효과
- 4명의 Level-2 지도자
- 6명의 Level-3 지도자 (MUON HLT Convener: all by KCMS)

CMS Upgrade Project



□ LS1 participation (500k)

- RPC 갭 생산 (KODEL/KU)

• 660 gaps : 360kCHF

✓ 완료

- RPC 챔버 생산 (SKKU)

• 10 chambers: 140kCHF



➤ LS2 : GE11 (2019~2022)

- 메카로 회사와 같이 대형 GEM 호일을 성공적으로 개발하여 생산
- GE11 검출기 30개 제작
- CERN과 MOU 체결

➤ LS3: GE21, ME0 (2024~2025)

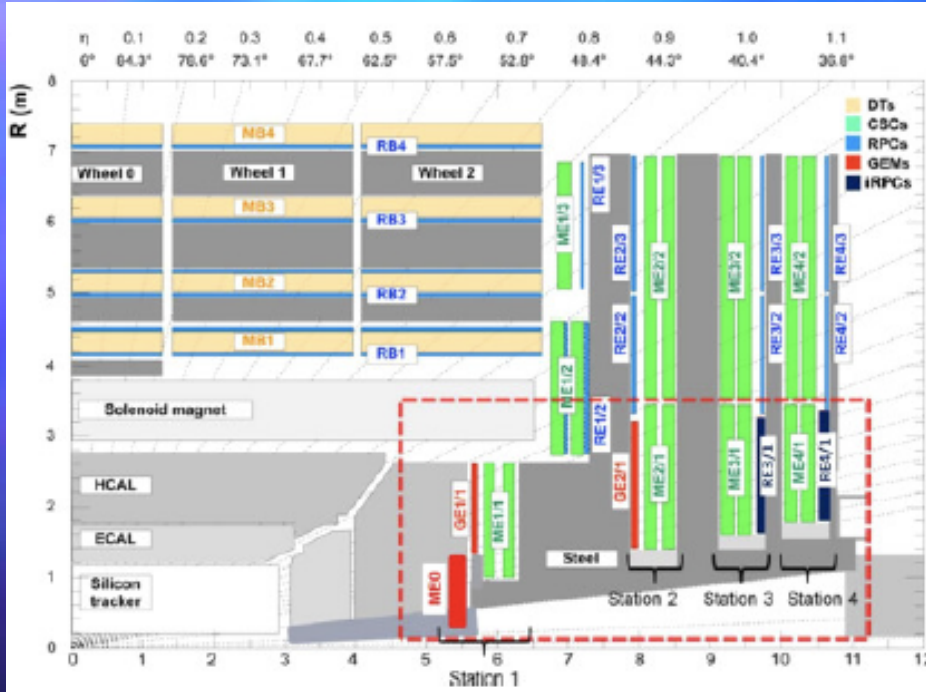
- Prototype GEM 호일 생산하여 테스트 진행중

➤ LS2 : iRPC (2019~2020)

- RPC gap 테스트 진행



Muon 검출기 업그레이드



- LS3 2022
- Full Upgrade
- GE2/1
- ME0 increases η coverage from 2.4 to 2.8

- **GE11 (2019~2020): 30개 검출기 제작: done**
- **GE21, ME0 (2024~2025): ~450 (GE21), ~650 (ME0) GEM 호일**
- **RPC Upgrade**
- **총 40억 기여 (대부분 현물)**

GEM 생산장비

DFR Film coater



Large Bipolar Exposure



DFR Film Developer



Cu layer etcher



Inspection & QC



Cleaner & Dryer



PI etching machine



Cleaner & Dryer

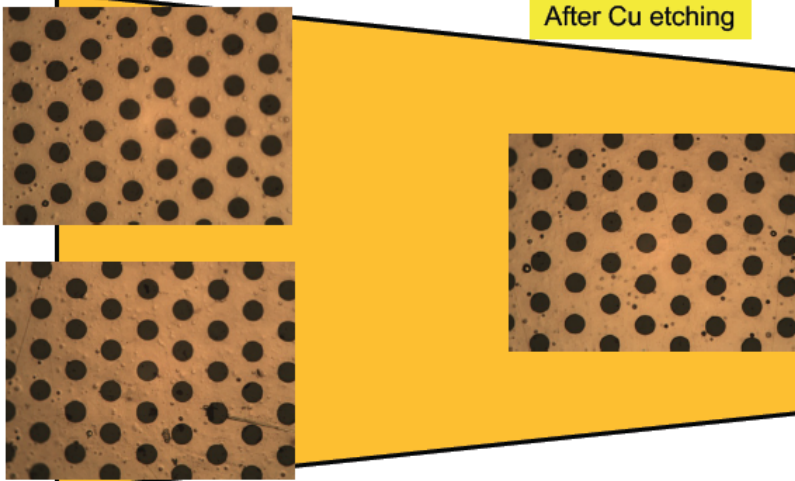


Facilities completed by 2017

GE11 호일 생산과 검출기 제작

Double mask method
대형 호일 세계 최초로 성공:

After Cu etching



**GE11
for
CMS**

반도체 부품업체 메카로 내달 코스닥 상장.. "글로벌 선도기업 목표"

조선비즈 | 안소영 기자

입력 2017.11.16 13:01

"열 관리 기술, 박막 물질 개발 기술 등 메카로만의 핵심역량을 기반으로 사업을 확대해 나갈 계획입니다. 코스닥 상장을 계기로 글로벌 선도 기업으로 거듭나겠습니다"

메카로의 이재정 대표이사는 16일 서울 여의도에서 기자간담회를 열고 사업 비전과 상장 이후 성장 전략을 밝혔다. 메카로는 내달 6일 코스닥시장에 상장할 예정이다.

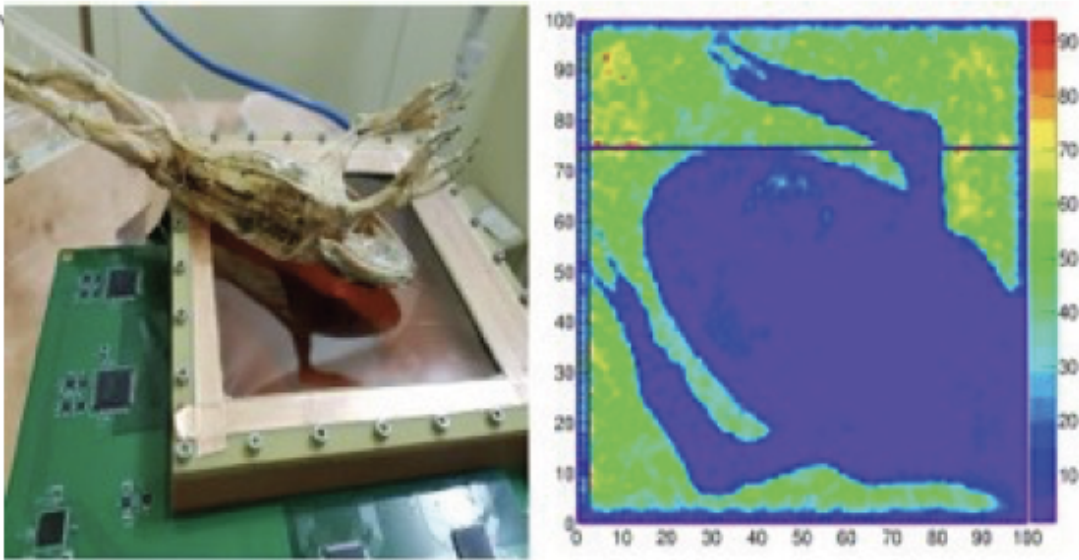


이재정 메카로 대표이사



GEM 검출기 응용

➤ 메카로 회사와 같이 X-ray 검출기 개발



시료용 개구리와 획득한 이미지



2018년 10월 열린 한국물리학회 전시회 출품

검출기 업그레이드 향후 계획

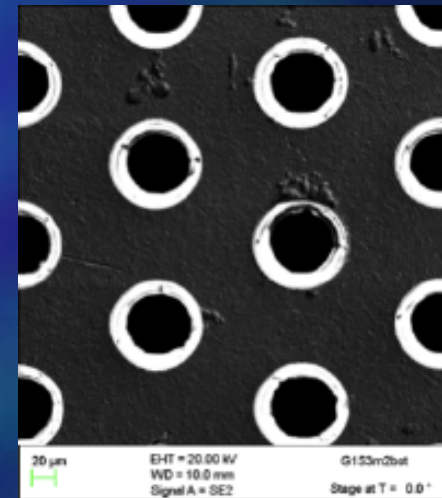
- **GE11** : 30 detectors (**592kCHF**) : (실제 비용: **300kCHF**)
 - Lithography machine (50%): ~200kCHF
 - **GE11 MOU (done)**: 392kCHF (90 foils, 30 chambers, man-power)

- **GE21, ME0 (2024~2025)**: **2.262MCHF** (실제 비용: **1.548MCHF**)
 - 456(GE21), 666(ME0) foils:2064kCHF
 - Glass mask (5 pairs):198kCHF
 - **MOU ('19년 4월 체결)**

- **iRPC Upgrade**: **400kCHF** (실제 비용: **260kCHF**)
 - RPC GAP: 286kCHF (in-kind)
 - Shipping + chamber components (114k)
 - **MOU('20년 체결 예정)**

- **Common Fund (MOU:done)** (실제 비용: **560kCHF**)
 - ~560kCHF (2018~2026)

- **Total contribution on muon by KCMS: ~3.81MCHF**





검출기 업그레이드 계획 (단위: KCHF)

Total: 3.81MCHF (실제: 2.6MCHF)

	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24
GE11: 592k (300k)	100	104	96				
GE21,ME0: 2.26M (1.548M)		400	350	300	300	198	
RPC: 400k (200k)		40	60	100			
Common Fund (560k)		51	10	30	50	150	269
Total (총 예산)	100	595	516	430	350	348	269

CERN과 협력 네트워크

- CERN과 매년 2회 CERN-Korea Committee Meeting 개최
- CERN Management team과 과기부, 사업팀장들과 2회에 걸쳐 협력 방안 논의 (2017.3, 2018.7)
- CMS Management team과 매년 3~4차례 협력방안 논의
- 한국-CERN 국제협력 10주년 기념 심포지움 (~200명): 2017년 3월
- 한선 사업팀들과 같이 한국-CERN 협력센터를 모색
- 이론 물리학자들과 연구 주제 공유



CERN, 팀들간 협력 네트워크

- CERN과 3건의 협약서 체결
- KISTI와 1건의 협약서 체결, ICHEP에서 Machine Learning session 조직
- KoAlice팀과 같이 검출기 학교 공동참여



- 주요참여 인사
 - CERN: Research Director, Int. Director, CMS 대표 등
 - 국내: 과기부 기초진흥과 과장, 연구재단 실장, 한선 사업팀 팀장들

Machine Learning Workshop



- 2회 개최: 2017.9과 2018.9
- 19개 대학 60여명 참석 (입자, 핵, 천문 분야)

Machine learning

- Use full power of multiple variables and reduce need for manual tuning
- Wide range of state-of-the-art algorithms used for solving combinatoric problems, regression, and classification

*The 1st Particle Detector School
For HIGH-ENERGY PHYSICS*

9th - 11th January 2019
High-1 Resort
<https://indico.sccc.uos.ac.kr/event/3/>

- SCIENTIFIC PROGRAMME -

<p>INTRODUCTION TO PARTICLE DETECTOR I&II - PARTICLE INTERACTIONS WITH MATTER - HISTORY OF PARTICLE DETECTORS PROF. HONGJOO KIM⁽¹⁾</p> <p>SCINTILLATION DETECTOR & PMT DR. JONGWON LEE⁽²⁾</p> <p>EM & HADRON CALORIMETERS PROF. SEHWOK LEE⁽¹⁾</p> <p>SEMICONDUCTOR DETECTOR - VERTEX & TRACK MEASUREMENTS PROF. INKWON YOO⁽³⁾</p> <p>CHERENKOV DETECTOR AND ITS APPLICATIONS - RICH, WATER CHERENKOV PROF. YOUNGJUN KWON⁽⁴⁾</p>	<p>EMULSION, LIQUID ARGON DETECTORS PROF. JAEHOON YU⁽⁵⁾</p> <p>PRINCIPLES OF THE GEM DETECTOR & ITS CHARACTERISTICS DR. INSEOK YOON⁽⁶⁾</p> <p>WORLD OF MUON DETECTORS - RPC, DRIFT TUBE, CSC DR. KYONGSEI LEE⁽²⁾</p> <p>BASICS OF SIGNAL PROCESSING & TRIGGER, DAQ HYUPWOO LEE⁽⁸⁾</p>
---	---

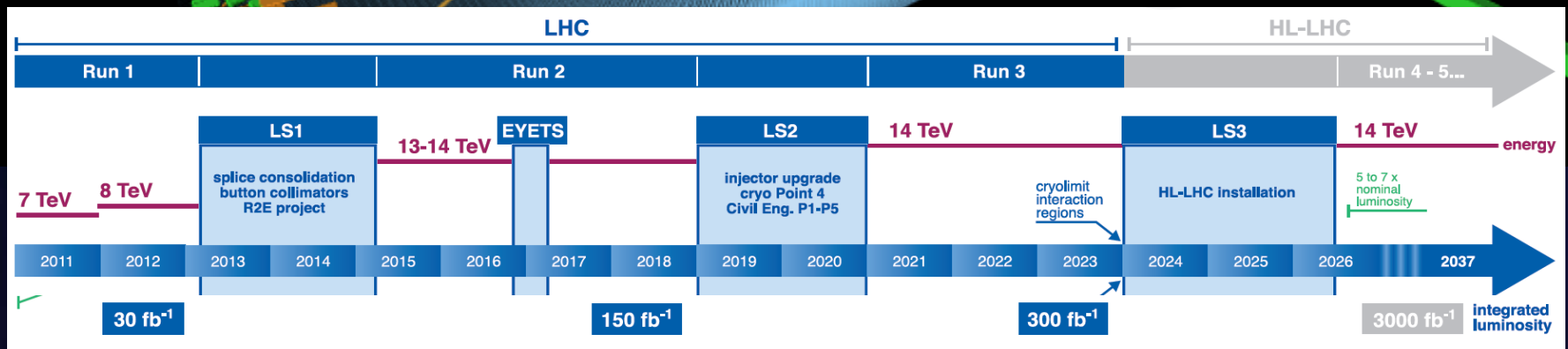
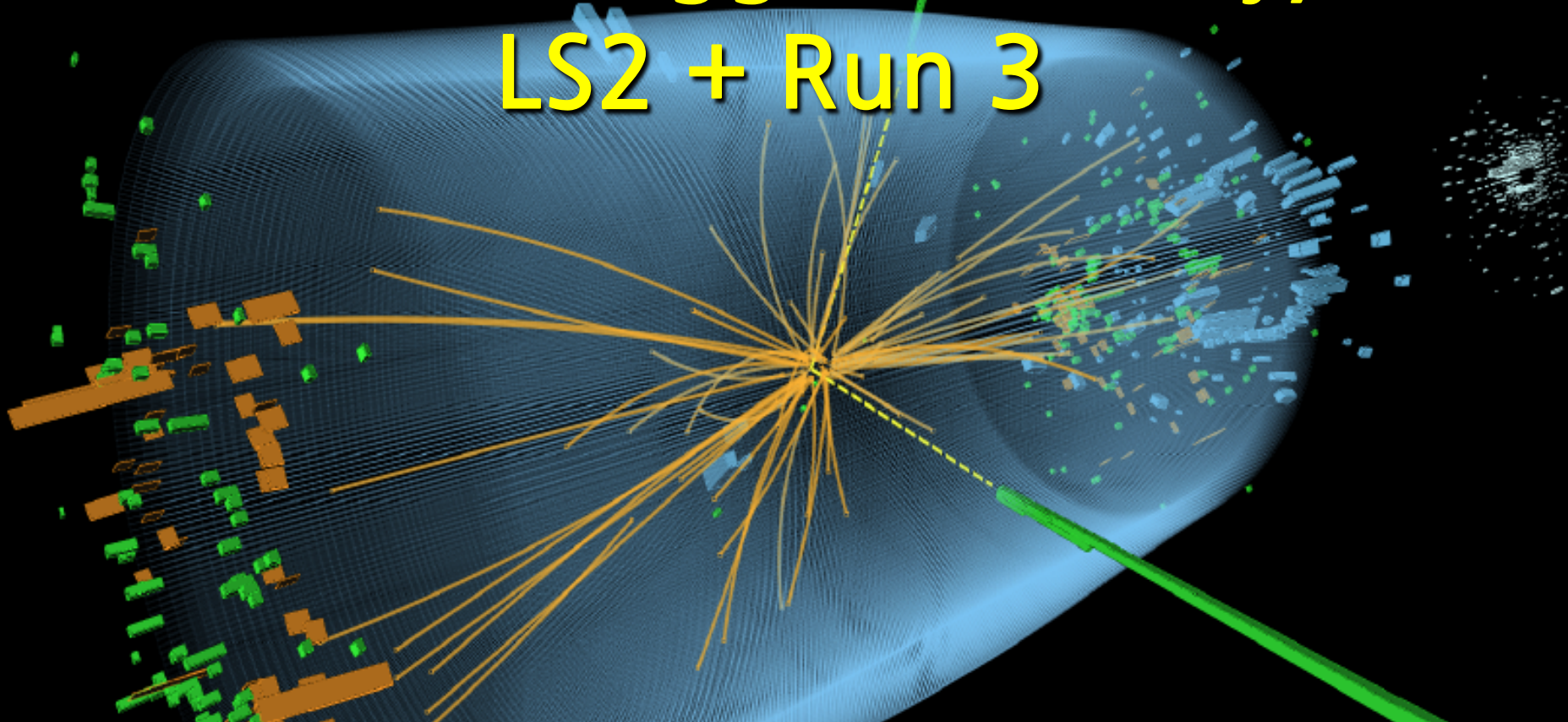
(1)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY (2)THE UNIVERSITY OF ULSAN (3)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY (4)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY (5)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY (6)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY (7)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY (8)KOREAN NATIONAL UNIVERSITY

SPECIAL PROGRAMME Accelerators, Computing, Detectors and the future of Particle Physics | Prof. Jaehoon Yu⁽⁵⁾
Electronics for Physicists | Prof. Il Hung Park⁽⁷⁾

FORUM Machine Learning and Particle Detectors | Prof. Inkyu Park⁽⁸⁾

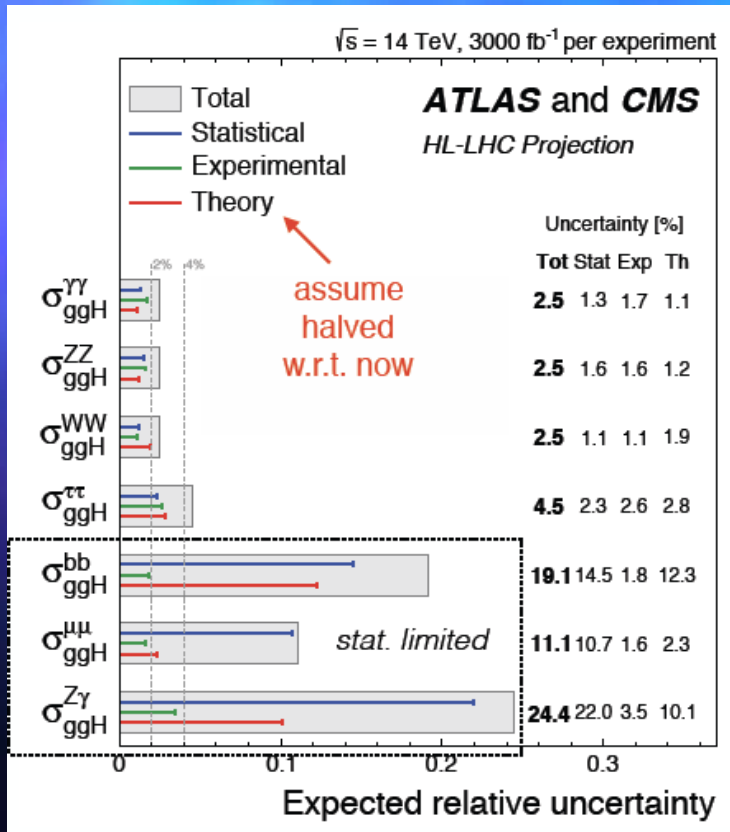
검출기 겨울학교

After a Higgs Discovery, LS2 + Run 3



Higgs Physics @ High-Lum

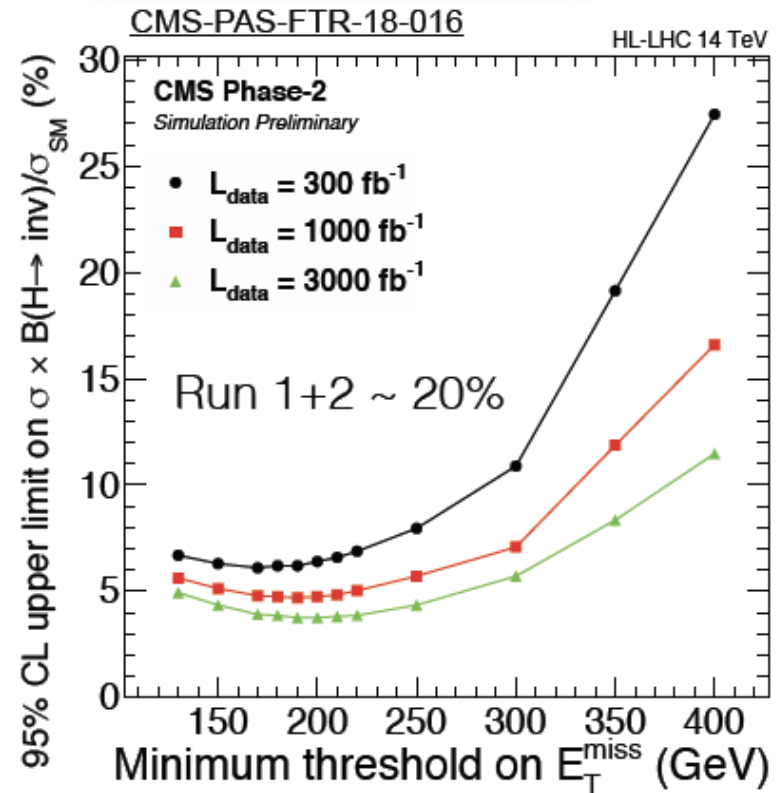
➤ Coupling



CMS-PAS-FTR-18-011

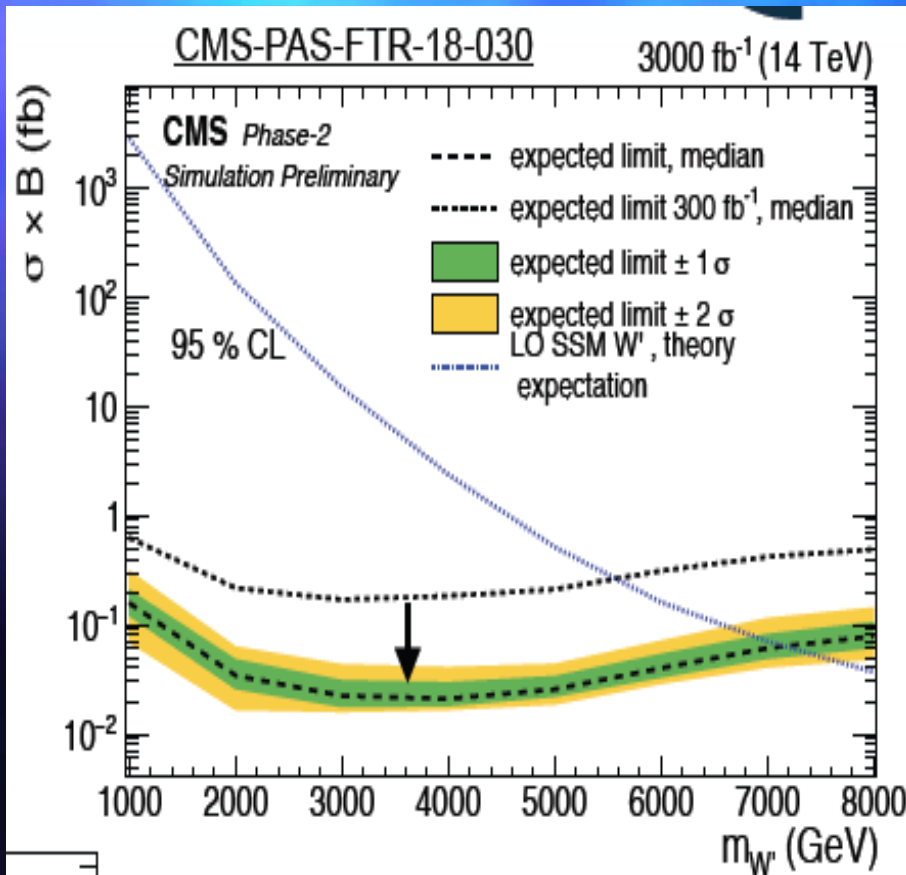
ATL-PHYS-PUB-2018-054

➤ Invisible Decay

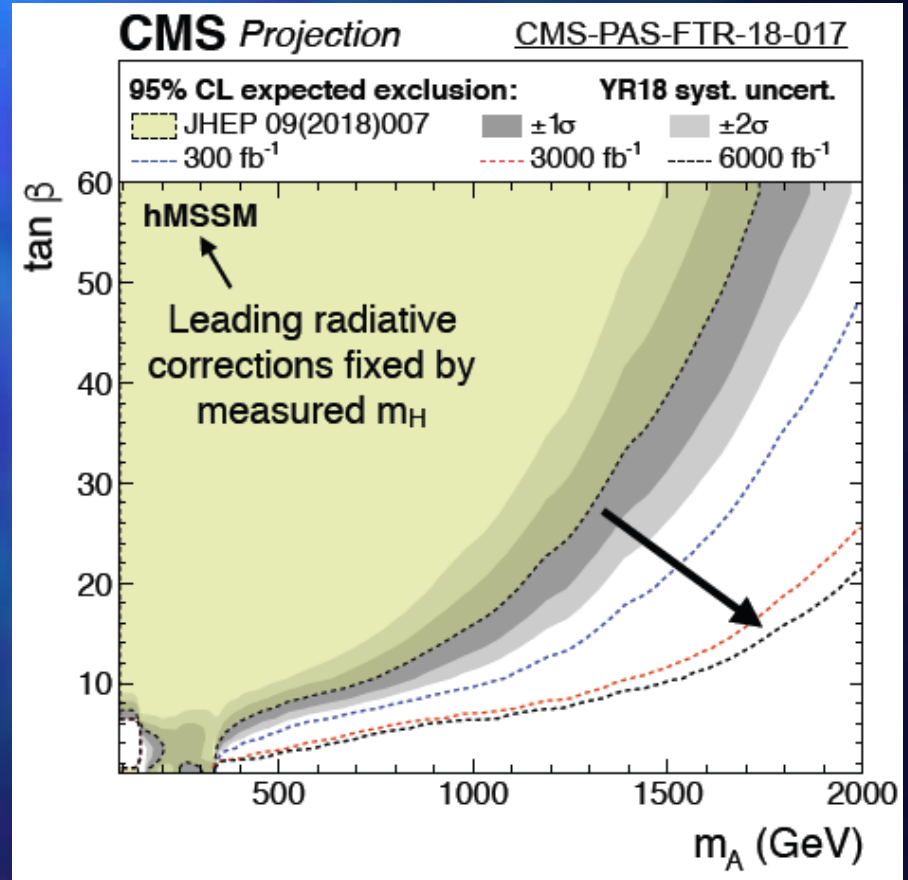


BSM Physics @ High-Lum

➤ Z'/W'



➤ Heavy Higgs





Summary

➤ LHC CMS

- After Higgs discovery, continuing the harvest based on the Run 2 data
- Many New Results focusing on searches and rare decays
- HL-LHC projections show the large gains expected with the upgraded detector and an luminosity of 3000 fb^{-1}

➤ Korea-CMS

- Has been very productive in physics analysis
- Made major contributions to muon detectors (RPC and GEM), and on the right track for the upgrade project
- Very successful in training students and postdocs
- Very aggressive in analyzing Run 2 data and preparing Run 3



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT

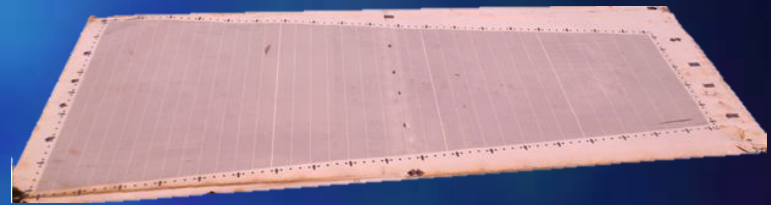
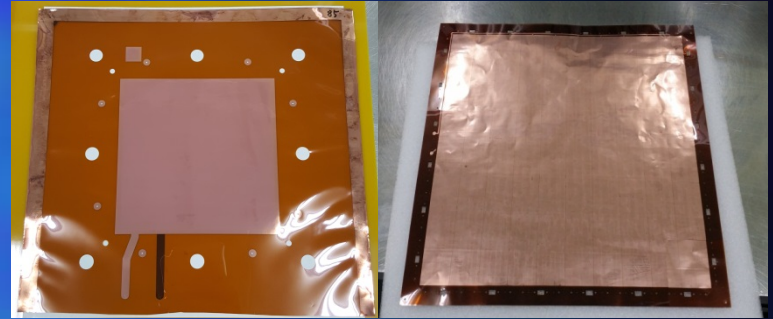
Run/Event: 195099 / 137440354



감사합니다

GEM foil production

- Small size GEM (10x10 cm²)
 - Succeeded!
 - Plan: ~2000 foils/year
- Mid-size GEM (30x30 cm²)
 - Succeeded!
 - Produced for IBS: 10 x 20 cm²
- Large size GEM (50x100 cm²)
 - Require a double etching:
Lithography machine
 - CMS Phase 2 upgrade (GE11/GE21)
 - ~500 GEM foils
 - In-kind contribution for Phase 2?



GE11
for
CMS

탑쿼크 및 힉스 입자 연구

➤ 12개 세부 주제: **10편 논문 발행**

연구주제	연구 현황	Reference
탑 쿼크 산란 단면적 측정 (100% 한국 그룹)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 7,8 TeV 결과 논문 발행 ➤ 13 TeV 결과 논문 발행 	<p>PRD 94(2016) 052006</p> <p>JHEP 04(2018) 060</p>
탑 쿼크 사건에서의 희귀 현상 측정 (100% 한국 그룹)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13 TeV 결과 논문 발행 	<p>PLB 776(2018) 355</p>
FCNC 탑쿼크와 힉스 결합 상수	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13 TeV 결과 논문 발행 	<p>JHEP 06(2018) 102</p>
새로운 하전힉스 입자 탐색 (100% 한국 그룹)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ $H^+ \rightarrow c\bar{b}$ 결과 논문 발행 (세계 최초 측정) ➤ $H^+ \rightarrow W A$ 결과 승인받음 	<p>JHEP 11(2018) 115</p>
표준 힉스 입자 측정 $H \rightarrow WW$	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Higgs 운동량 측정 결과 논문 발행 ➤ Higgs width 측정결과 논문 발행 ➤ 산란단면적 측정결과 발행예정 	<p>JHEP 3(2017) 32</p> <p>JHEP 09(2016) 51</p> <p>JHEP (2019) 예정</p>



경입자 연구

➤ 13개 주제: **11편 논문** 발행

연구주제	연구 현황	Reference
W' 입자 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 2015년도 13 TeV 결과 논문 발행 ➤ 2016년도 13 TeV 결과 논문 발행 	Phys. Lett B 770 (2017) 278 JHEP 06 (2018) 128
Z' 입자 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 쌍경입자 채널에서 13 TeV 결과와 8TeV 결과 논문 2편 발행 (100% 한국 그룹) ➤ 4개의 경입자 채널 결과 논문 발행 ➤ 쌍타우입자 채널에서 탐색 결과를 논문 발행 	JHEP 06 (2018) 120 Phys. Lett. B. 768 (2017) 57 Phys. Lett. B 773 (2017) 563 JHEP 02 (2017) 048
비정상 게이지 결합 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 8 TeV 결과를 논문 발행 	Phys. Lett. B 770 (2017) 380
Drell-Yann 산란 단면적 측정	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Drell-Yan 결과 논문 발행 예정 	JHEP (2019) 예정
W, Z 미분 산란단면적 측정	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 8 TeV 결과를 논문 발행 	JHEP 1702 (2017) 096
쌍경입자+photon에서 750 GeV 입자, Z', excited lepton 탐색	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 750 GeV 입자탐색 결과 논문발행 ➤ Z' 결과 논문발행 ➤ Excited lepton 결과 논문 발행예정 	JHEP 01 (2017) 076 JHEP 09 (2018) 149 JHEP (2019) 예정
MSSM SUSY 연구	<ul style="list-style-type: none"> ➤ SUSY 탐색 결과에 대한 MSSM 해석결과를 논문발행 ➤ Razor를 이용한 SUSY 탐색결과에 논문 발행 예정 	JHEP 10 (2016) 129 JHEP (2019) 예정

Dark Sector 연구

➤ 4개 주제: **5편 논문 발행**

연구주제	연구 현황	Reference
Heavy Neutrinos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13 TeV 데이터를 이용하여 2개의 tri-lepton channel 결과와 dilepton channel 결과 논문 2편 발행 (100% 한국 그룹) ➤ Di-tau channel에서 13 TeV 탐색결과를 논문 발행 (world best limit 설정) 	<p>JHEP 01 (2019) 122 PRL 120 (2018) 221801 JHEP 03 (2017) 077</p>
Dark Matter	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 13 TeV 2016년 데이터를 이용하여 강입자 다발 또는 W/Z 보손들의 hadronic 붕괴 channel의 분석결과 논문 2편 발행 	<p>PRD 97(2018) 092005 JHEP 1707 (2017) 014</p>

단독논문 2개 (S. Sekman)

Com. Phys. Comm 228(2018) 245,

Com. Phys. Comm 233(2018) 215



중이온 충돌현상 연구

➢ 9개 주제: **6편 논문 발행**

연구주제	연구 현황	Reference
J/psi 입자 생성 현상	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 5.02 TeV의 pp와 pPb 충돌실험 결과 논문 발행 ➢ 2.76 TeV의 pp와 PbPb 충돌실험 결과 논문 발행 	EPJC 77 (2017) 269 EPJC 77 (2017) 252
B 중간자 생성 현상	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 5.02 TeV의 pp와 PbPb 충돌 실험에서 Bs 중간자 생성결과 논문 발행 ➢ 5.02 TeV의 PbPb 충돌 실험에서 B+ 중간자 생성결과 논문 발행 	PLB 790 (2019) 270 PRL 119 (2017) 152301
Upsilon 입자 생성 현상	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 2015년 5.02 TeV의 pp와 PbPb 충돌실험을 통해 이중 및 단일 핵수정변수와 생성률에 대한 결과 논문 1편 발행, 추가 1편 예정 ➢ 2.76 TeV의 pp와 PbPb 충돌실험 결과 논문 출판 	PRL 120 (2018) 142301 PLB (2019) 예정 PLB 770 (2017) 357
광자-제트 상관관계	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 2015년 5.02TeV의 pp와 PbPb 충돌실험 통해 광자-제트쌍을 찾아내고 그들의 상관관계 결과를 논문 준비 중 	PLB 785 (2018) 14