

Dedektörlerin Kullanım Alanları Ve ArGe Çalışmaları



Burak Bilki

Beykent Üniversitesi

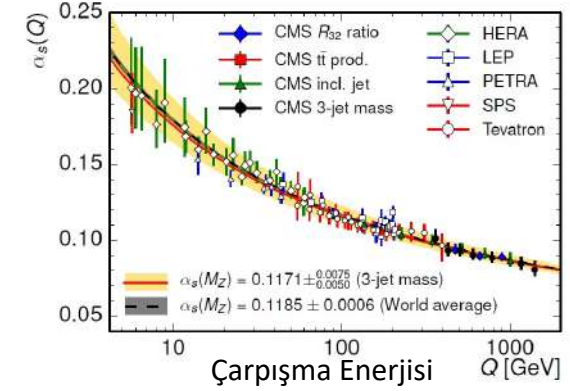
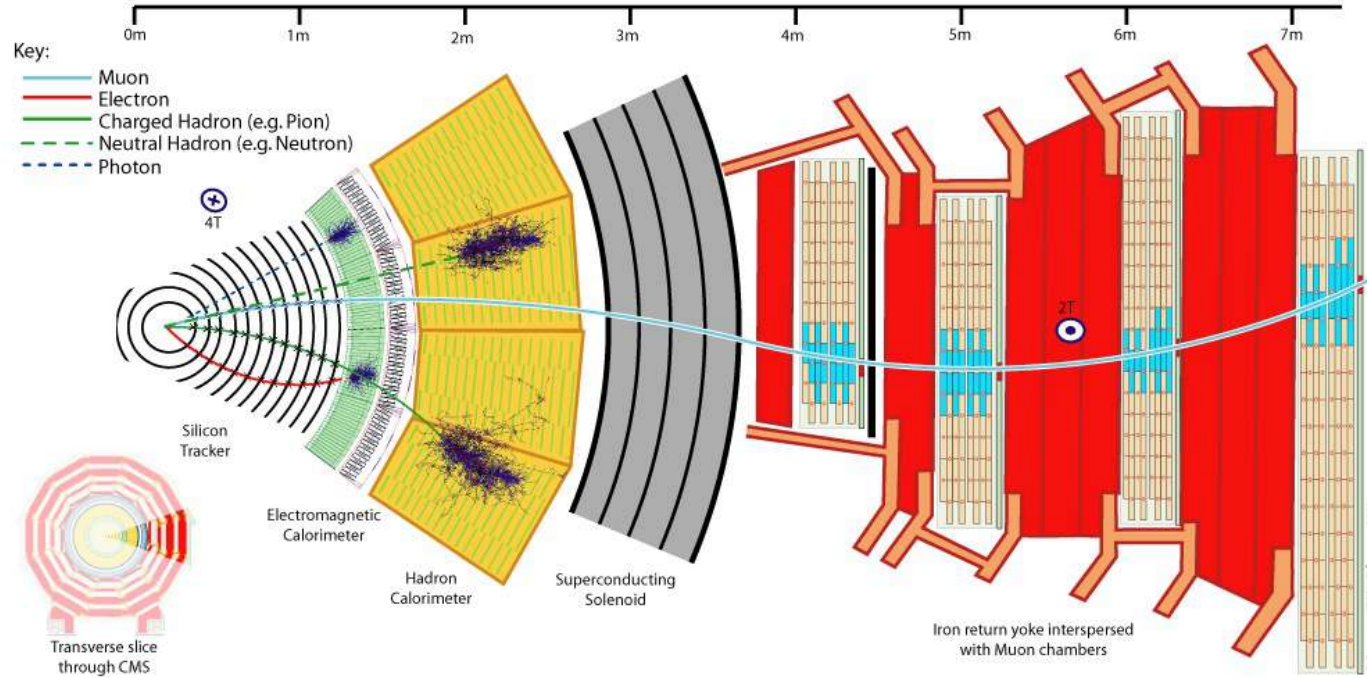
burakbilki@beykent.edu.tr



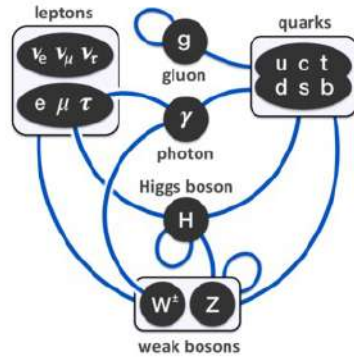
İçerik

- **Yüksek Enerji Fiziki Deneyleri Dedektör Sistemleri**
 - **Büyük Hadron Çarpıştırıcısı Deneyleri Dedektör Sistemleri**
 - **Çarpıştırıcı Dışı Deneylerin Dedektör Sistemleri**
- **Deney Dışı Dedektör Uygulamaları Örnekleri**
- **Büyük Deneylerin Dedektör İyileştirmeleri**
- **Planlanan Büyük Çaplı Çarpıştırıcı Deneyleri Örnekleri**
- **Ulusal Dedektör ArGe Çalışmaları Örnekleri**
- **Özet**

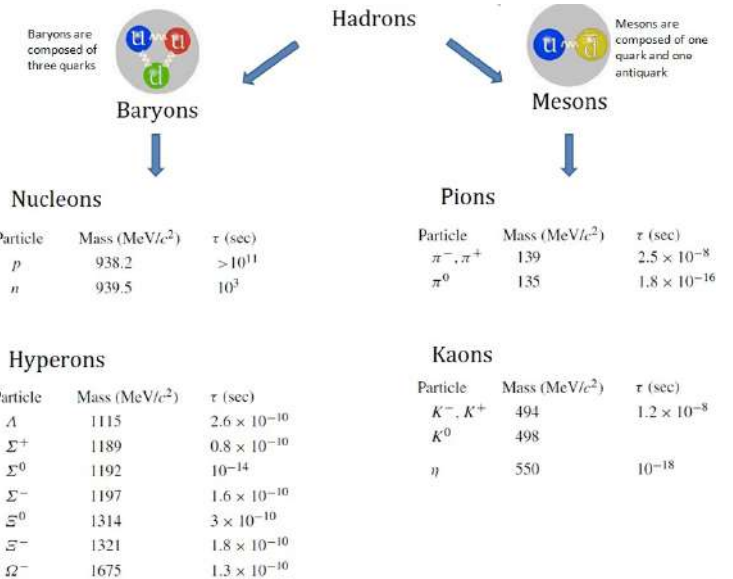
Yüksek Enerji Fiziği Deneyleri Dedektör Sistemleri



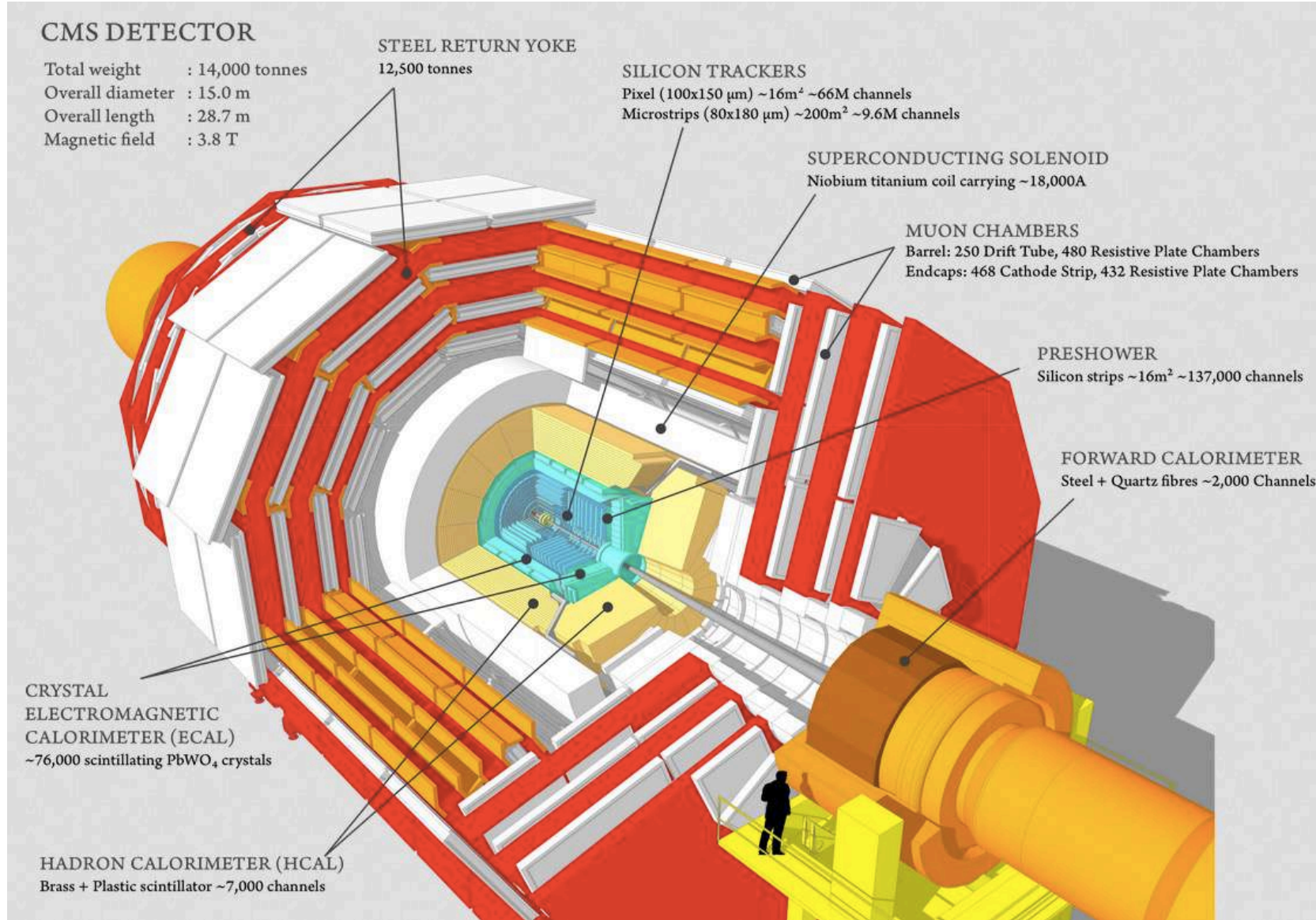
Temel Parçacıklar



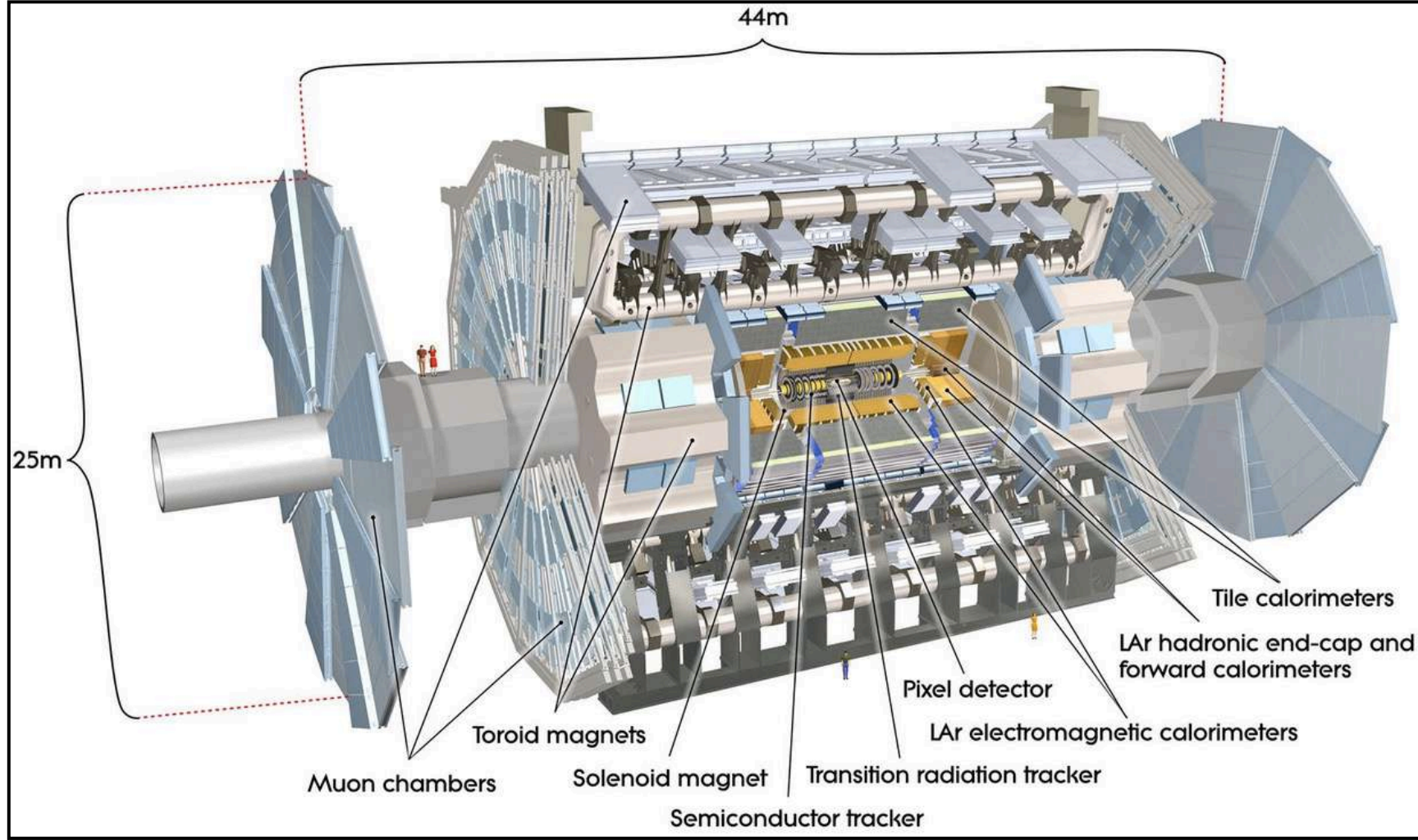
Kompozit Parçacıklar



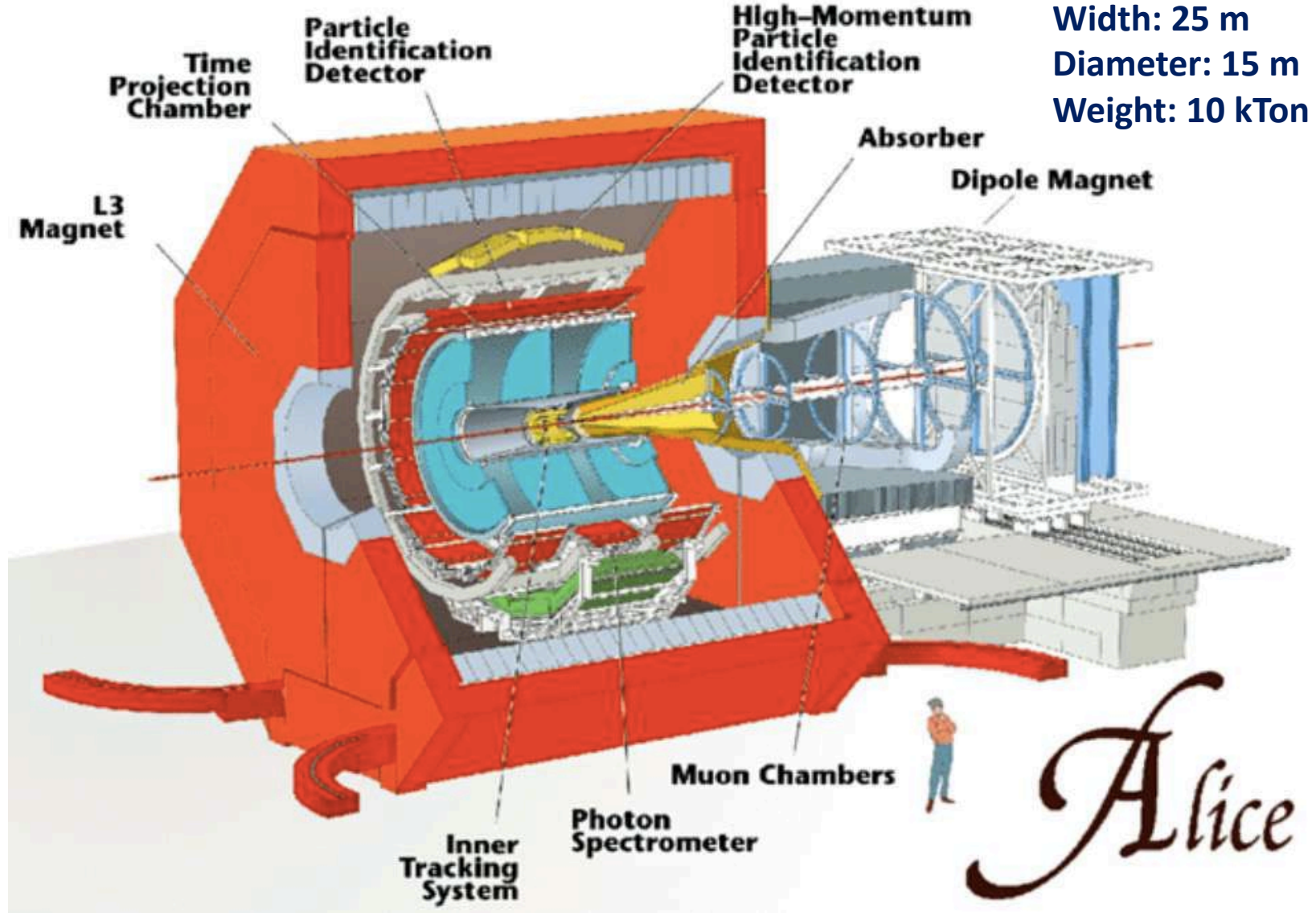
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı Deneyleri Dedektör Sistemleri



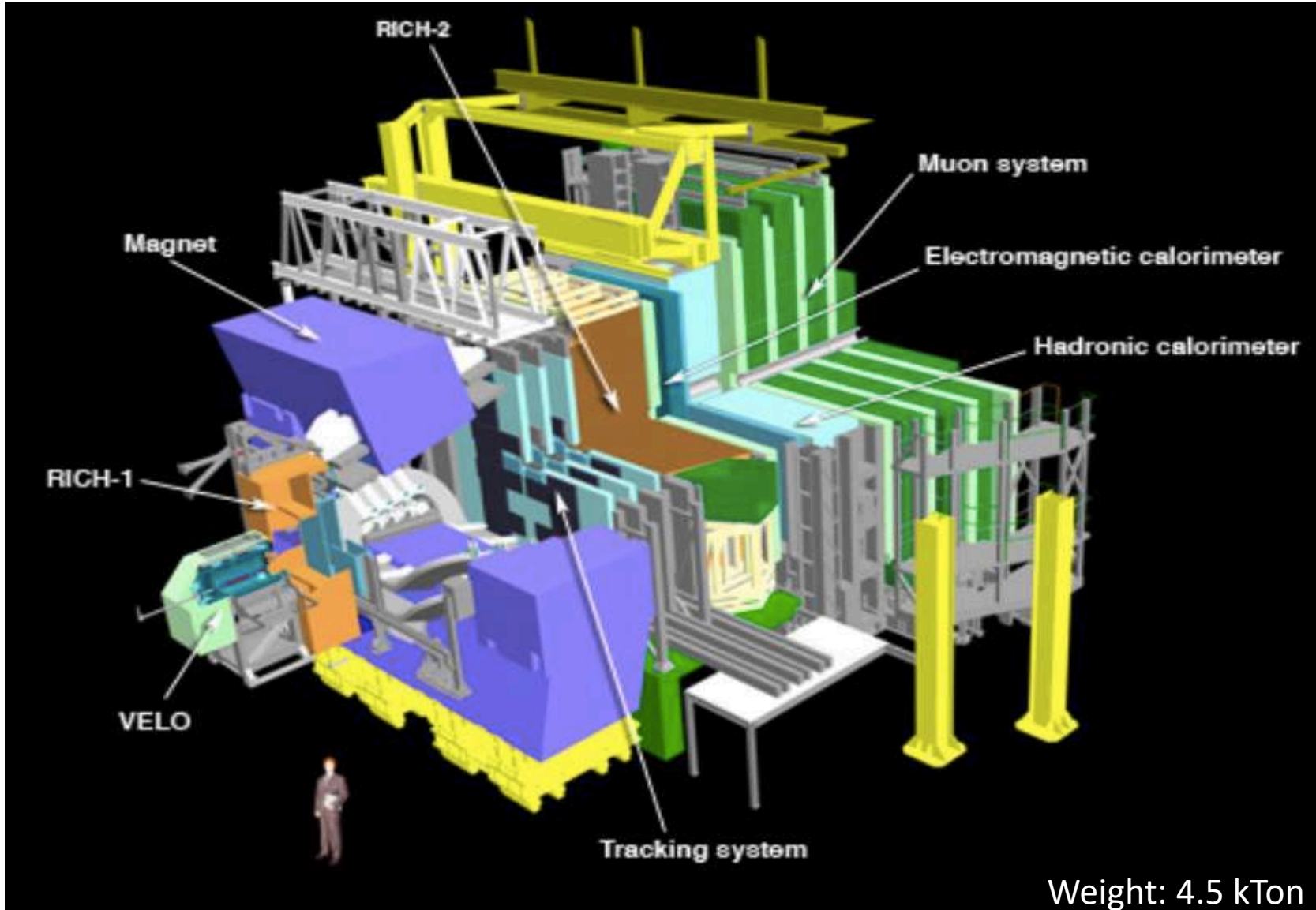
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı- CMS



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı- ATLAS



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı- ALICE



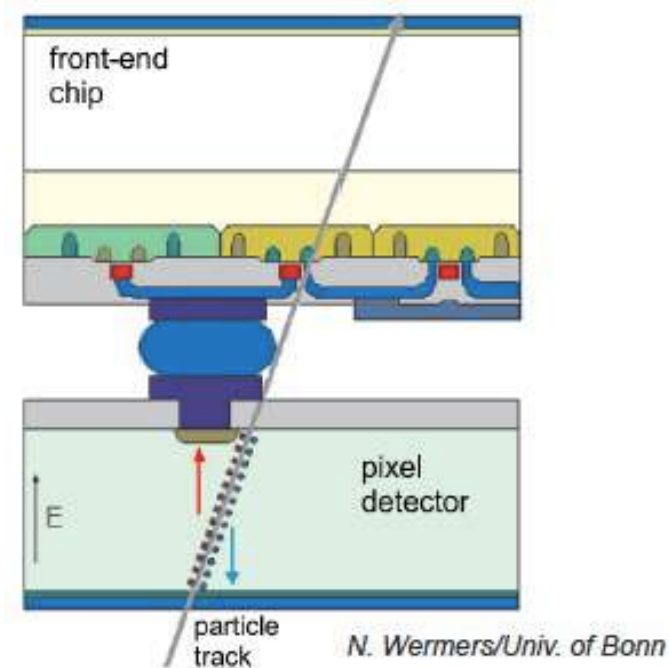
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı - LHCb

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – İzci Algıç Sistemleri

	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Silikon	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)+TRT	Silikon+Zaman Projeksiyon Odası (TPC)	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – İzci Algıç Sistemleri

	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Silikon	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)+TRT	Silikon+Zaman Projeksiyon Odası (TPC)	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)

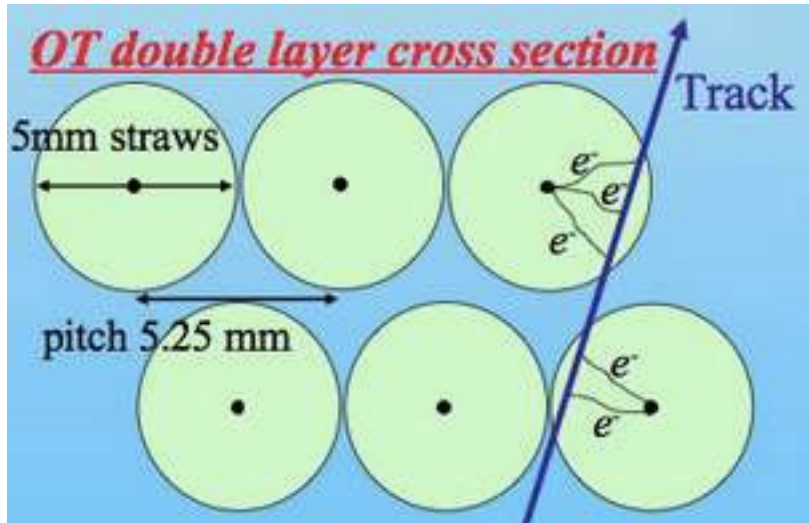


Dijital: 0/1 → Hit

Technology	Industry standard for readout; special high- Ω sensors
Interconnect	Bump-bonding required
Granularity	Max $\sim 25 \mu\text{m}$
Timing	Fast
Radiation hardness	"Feasible"

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – İzci Algıç Sistemleri

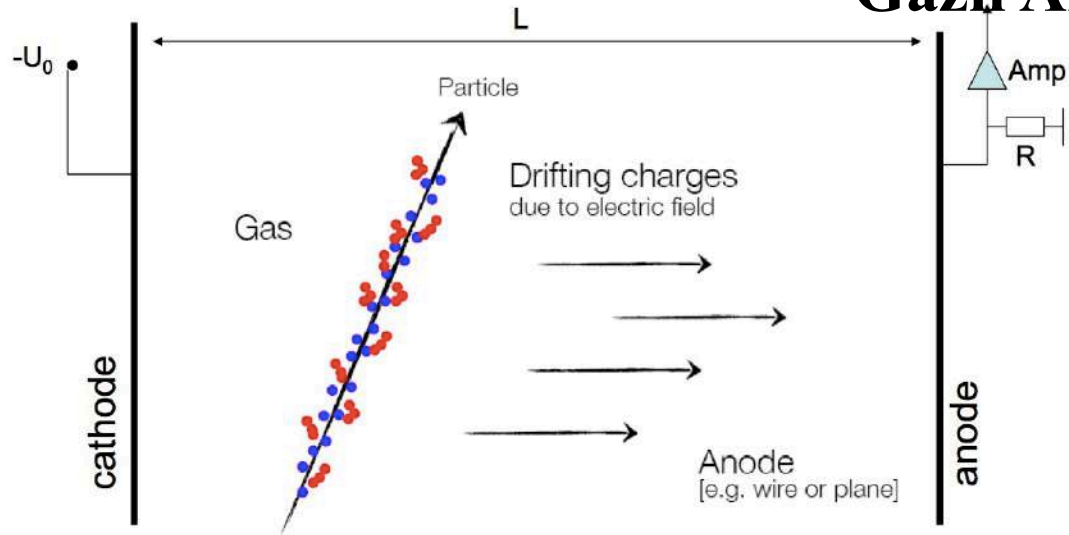
	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Silikon	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)+TRT	Silikon+Zaman Projeksiyon Odası (TPC)	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)



Gazlı algıçlar



Gazlı Algıçlar

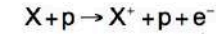


- Primary Ionization
- Secondary Ionization (due to δ -electrons)

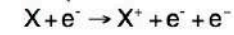
$$(E_i = I_0)$$

Gas	ρ (g/cm ³) (STP)	I_0 (eV)	W_i (eV)	dE/dx (MeVg ⁻¹ cm ²)	n_p (cm ⁻¹)	n_T (cm ⁻¹)
H ₂	$8.38 \cdot 10^{-5}$	15.4	37	4.03	5.2	9.2
He	$1.66 \cdot 10^{-4}$	24.6	41	1.94	5.9	7.8
N ₂	$1.17 \cdot 10^{-3}$	15.5	35	1.68	(10)	56
Ne	$8.39 \cdot 10^{-4}$	21.6	36	1.68	12	39
Ar	$1.66 \cdot 10^{-3}$	15.8	26	1.47	29.4	94
Kr	$3.49 \cdot 10^{-3}$	14.0	24	1.32	(22)	192
Xe	$5.49 \cdot 10^{-3}$	12.1	22	1.23	44	307
CO ₂	$1.86 \cdot 10^{-3}$	13.7	33	1.62	(34)	91
CH ₄	$6.70 \cdot 10^{-4}$	13.1	28	2.21	16	53
C ₄ H ₁₀	$2.42 \cdot 10^{-3}$	10.8	23	1.86	(46)	195

Primary ionization



Secondary ionization



p = charge particle traversing the gas
 X = gas atom
 e^- = delta-electron (δ)

if E_δ is high enough ($E_\delta > E_i$)

Relevant Parameters for gas detectors

Ionization energy	: E_i	Differences due to δ -electrons $\langle n_T \rangle = \frac{L \cdot \langle \frac{dE}{dx} \rangle_1}{W_i}$ [about 2-6 times n_p] [L: layer thickness]
Average energy/ion pair	: W_i	
Average number of primary ion pairs [per cm]	: n_p	
Average number of ion pairs [per cm]	: n_T	

Typical values:

$E_i \sim 30$ eV
 $n_T \sim 100$ pairs / 3 keV incident particle

Ionization mode:

full charge collection
no multiplication; gain ≈ 1

Proportional mode:

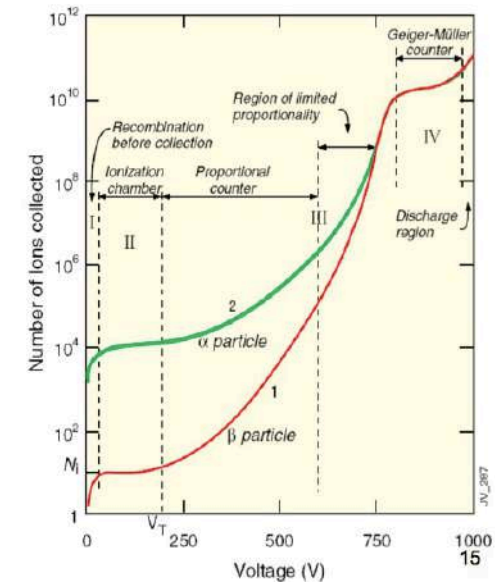
multiplication of ionization
signal proportional to ionization
measurement of dE/dx
secondary avalanches need quenching;
gain $\approx 10^4 - 10^5$

Limited proportional mode:
[saturated, streamer]

strong photoemission
requires strong quenchers or pulsed HV;
gain $\approx 10^{10}$

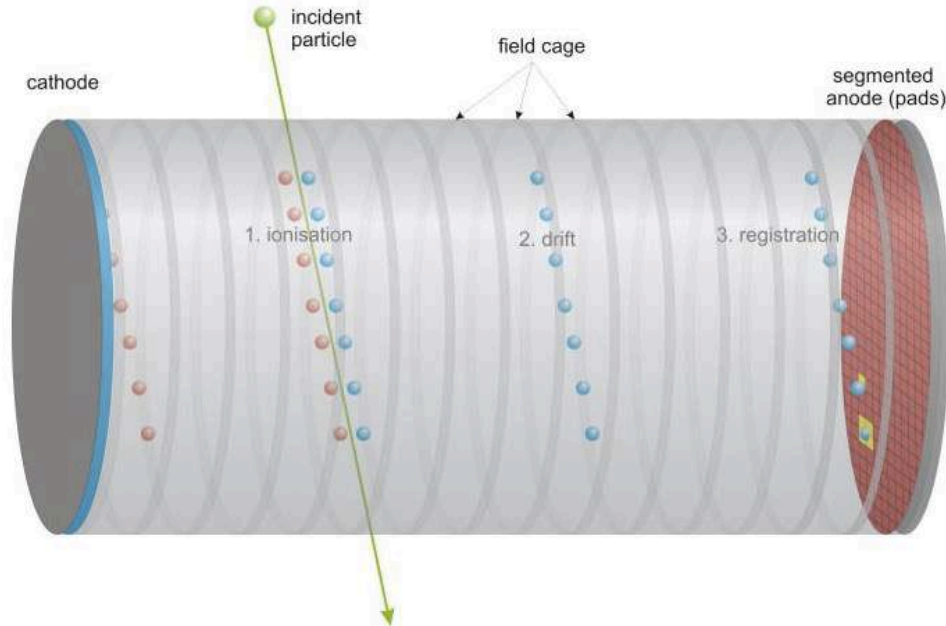
Geiger mode:

massive photoemission;
full length of the anode wire affected;
discharge stopped by HV cut



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – İzci Algıç Sistemleri

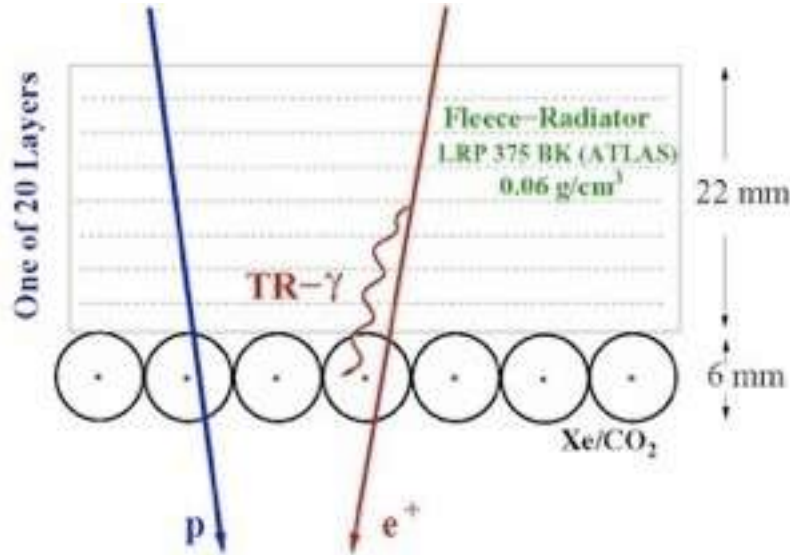
	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Silikon	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)+TRT	Silikon+Zaman Projeksiyon Odası (TPC)	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)



David Nygren
2015 APS DPF
Instrumentation
Award Recipient

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – İzci Algıç Sistemleri

	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Silikon	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)+ TRT	Silikon+Zaman Projeksiyon Odası (TPC)	Silikon+Sürüklenme Tüpleri (DT)



Transition Radiation Tracker – Geçiş Radyasyonu İzçisi

The TRT provides, on average, 35 measurements per track in the bending plane, with drift-time information for momentum measurements and pattern recognition. The TRT also provides electron identification through its sensitivity to X rays produced by transition radiation from highly relativistic particles traversing the multiple interfaces in fiber or foil radiators embedded between the straws.

polymer fibers (barrel) and foils (endcaps)

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Elektromanyetik Kalorimetreler

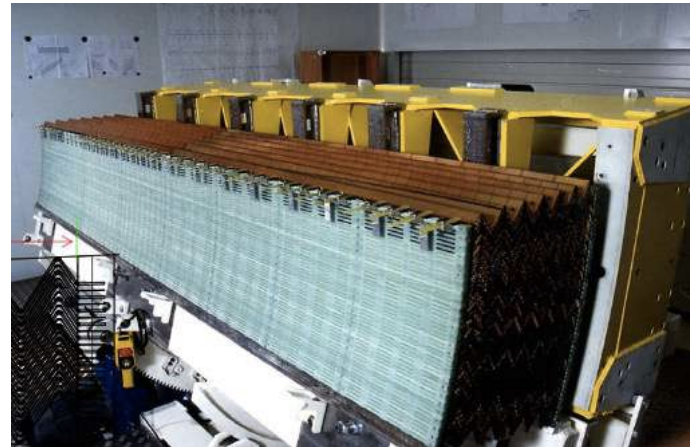
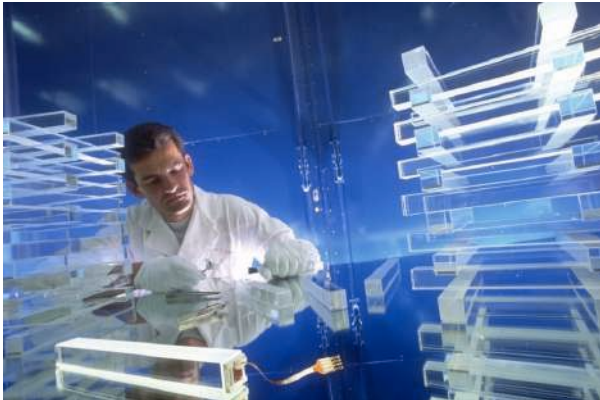
	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	PbWO ₄ kristal	Pb/LAr akordiyon	Pb-sintilatör shashlik	Pb-sintilatör shashlik

ATLAS

CMS

	Barrel	End caps	Barrel	End caps
Intrinsic resolution				
Stochastic term a	10%	10 to 12%	3%	5.5%
Local constant term b	0.2%	0.35%	0.5%	0.5%

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{\alpha}{\sqrt{E}} \oplus C$$



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Hadron Kalorimetreleri

Teknoloji	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Barrel	Brass-scintillator tile	Fe-scintillator tile		Fe-scintillator tile
Forward	Brass-scintillator tile	Cu/LAr		
	Fe-quartz fiber	CuW/LAr	W-quartz fiber	

ATLAS

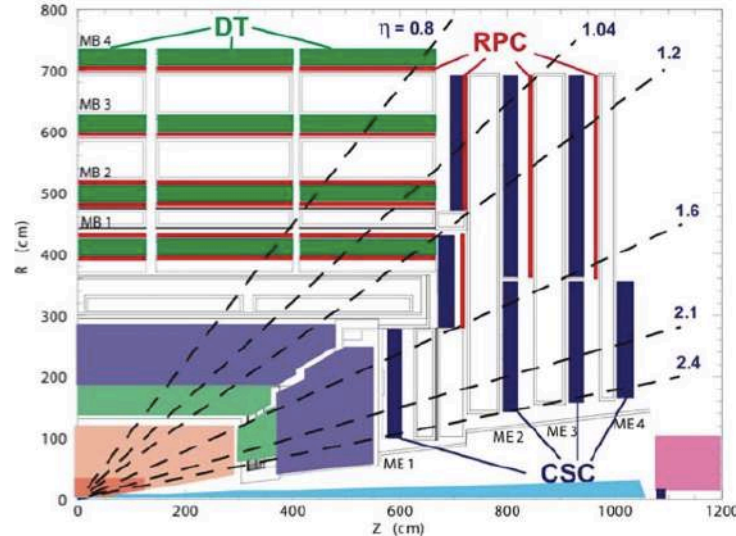
$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{\alpha}{\sqrt{E}} \oplus \frac{\beta}{E} \oplus C$$

	Barrel LAr/Tile		End-cap LAr		CMS	
	Tile	Combined	HEC	Combined	Had. barrel	Combined
Electron/hadron ratio	1.36	1.37	1.49			
Stochastic term	45%/√E	55%/√E	75%/√E	85%/√E	100%/√E	70%/√E
Constant term	1.3%	2.3%	5.8%	< 1%		8.0%
Noise	Small	3.2 GeV		1.2 GeV	Small	1 GeV

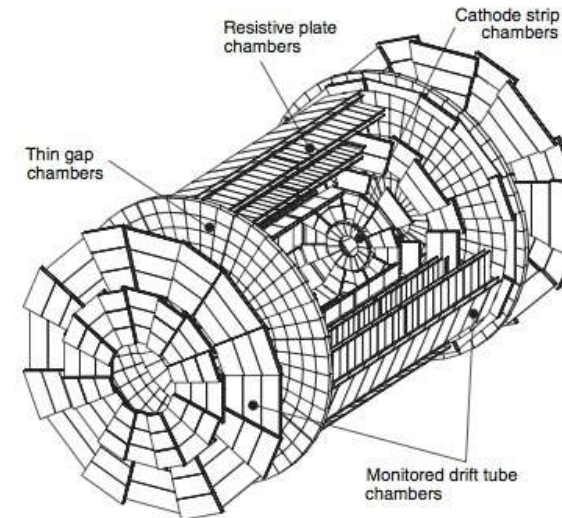
15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Müon Sistemleri

	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	<p>Sürüklenme tüpleri (DTs)</p> <p>Katot şerit odaları (CSCs)</p> <p>Dirençli levha odaları (RPCs)</p>	<p>Sürüklenme tüpleri (DTs)</p> <p>Katod şerit odaları (CSCs)</p> <p>Dirençli levha odaları (RPCs)</p> <p>Thin Gap Chambers (TGCs)</p>	<p>Katod şerit odaları (CSCs)</p> <p>Dirençli levha odaları (RPCs)</p>	<p>Çok telli orantılı sayaçlar (MWPCs)</p> <p>Gaz elektron çoklayıcılar (GEMs)</p>

CMS



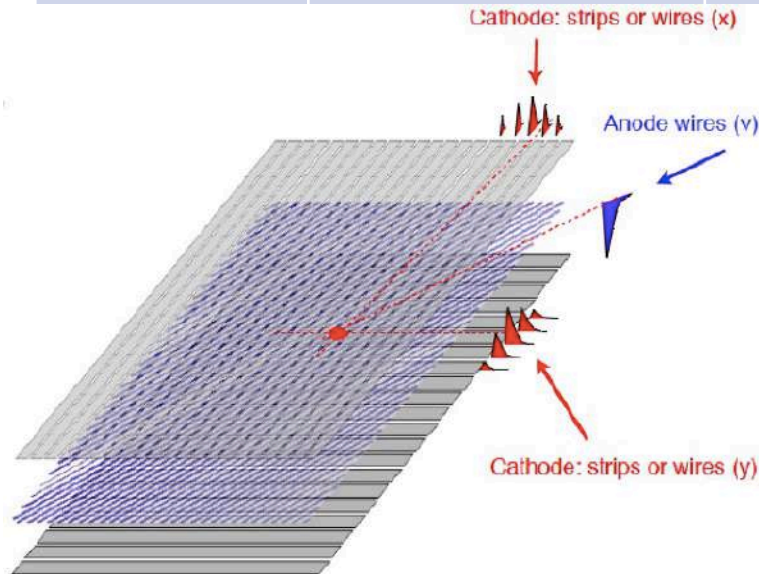
ATLAS



15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV)

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Müon Sistemleri

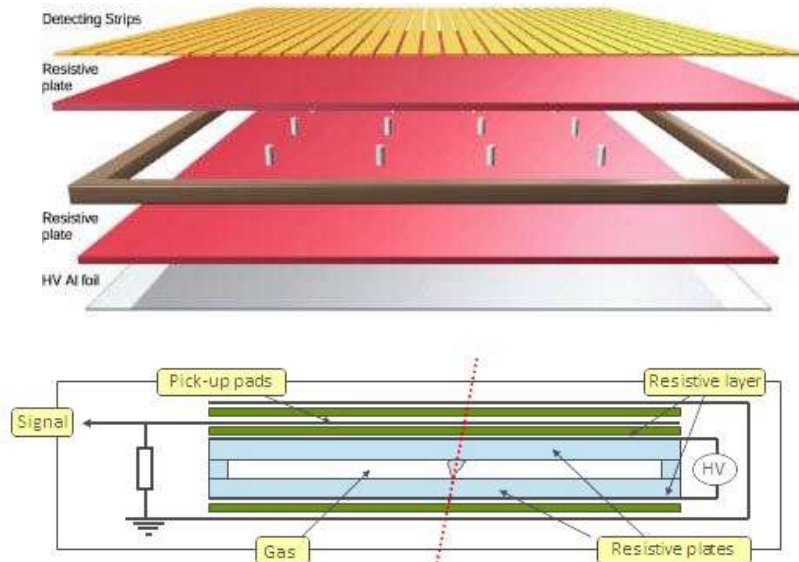
	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Sürüklenme tüpleri (DTs) Katot şerit odaları (CSCs) Dirençli levha odaları (RPCs)	Sürüklenme tüpleri (DTs) Katot şerit odaları (CSCs) Dirençli levha odaları (RPCs) Thin Gap Chambers (TGCs)	Katod şerit odaları (CSCs) Dirençli levha odaları (RPCs)	Çok telli orantılı sayaçlar (MWPCs) Gaz elektron çoklayıcılar (GEMs)



CSCs consist of arrays of positively-charged “anode” wires crossed with negatively-charged copper “cathode” strips within a gas volume. When muons pass through, they knock electrons off the gas atoms, which flock to the anode wires creating an avalanche of electrons. Positive ions move away from the wire and towards the copper cathode, also inducing a charge pulse in the strips, at right angles to the wire direction.

15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Müon Sistemleri

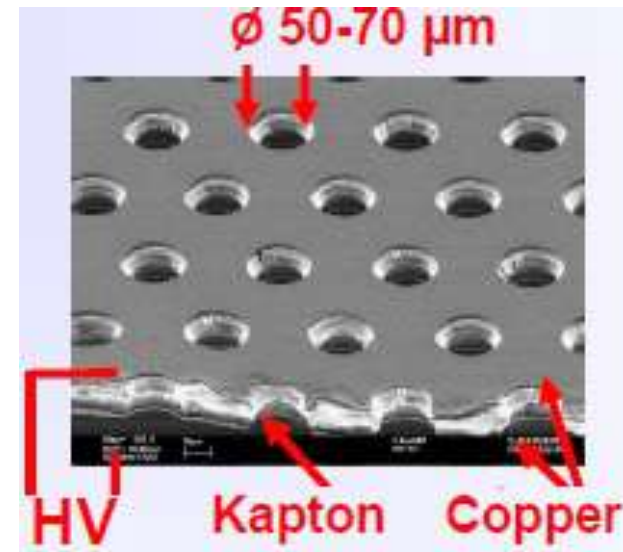
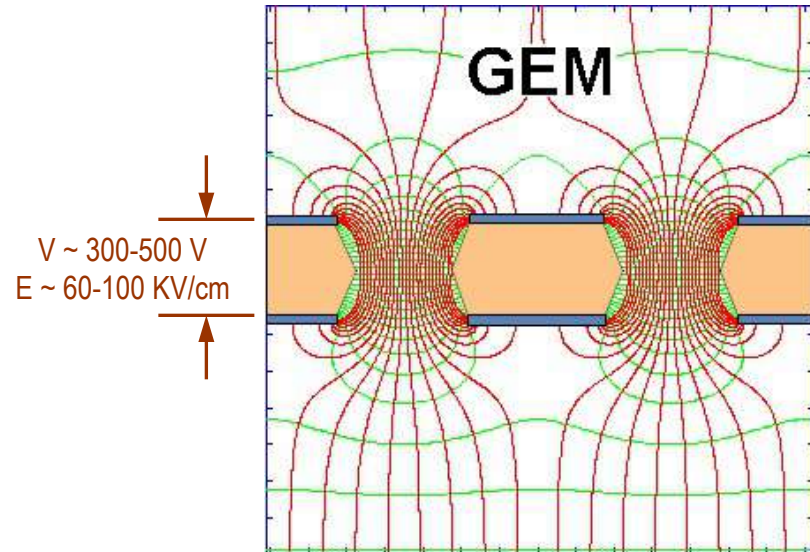
	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Sürüklenme tüpleri (DTs) Katot şerit odaları (CSCs) Dirençli levha odaları (RPCs)	Sürüklenme tüpleri (DTs) Katot şerit odaları (CSCs) Dirençli levha odaları (RPCs) Thin Gap Chambers (TGCs)	Katot şerit odaları (CSCs) Dirençli levha odaları (RPCs)	Çok telli orantılı sayaçlar (MWPCs) Gaz elektron çoklayıcılar (GEMs)



RPCs consist of two parallel plates, a positively-charged anode and a negatively-charged cathode, both made of a very high resistivity plastic material and separated by a gas volume. When a muon passes through the chamber, electrons are knocked out of gas atoms. These electrons in turn hit other atoms causing an avalanche of electrons. The electrodes are transparent to the signal (the electrons), which are instead picked up by external metallic strips after a small but precise time delay.

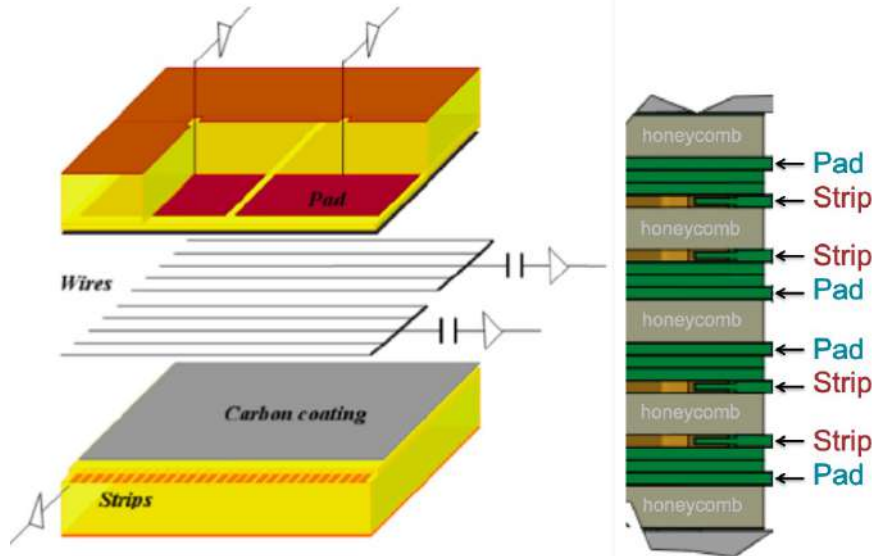
15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Müon Sistemleri

	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Sürüklenme tüpleri (DTs)	Sürüklenme tüpleri (DTs)	Katot şerit odaları (CSCs)	Çok telli orantılı sayaçlar (MWPCs)
	Katod şerit odaları (CSCs)	Katod şerit odaları (CSCs)	Dirençli levha odaları (RPCs)	Gaz elektron çoklayıcılar (GEMs)
	Dirençli levha odaları (RPCs)	Dirençli levha odaları (RPCs)		
		Thin Gap Chambers (TGCs)		



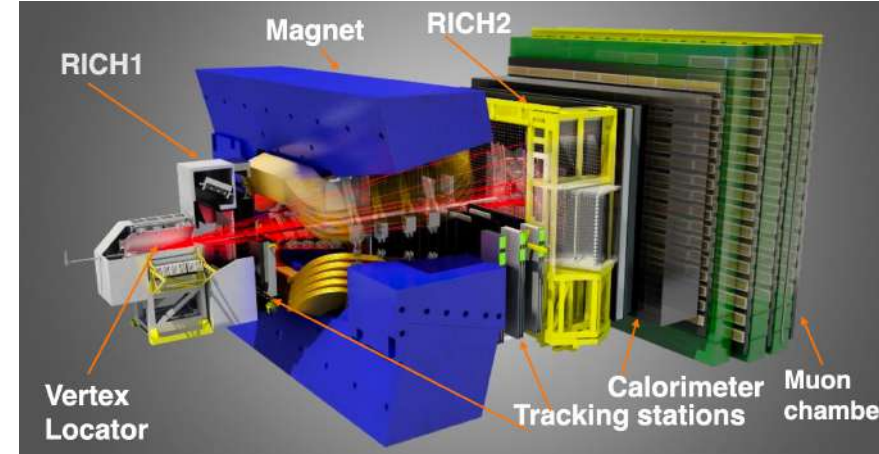
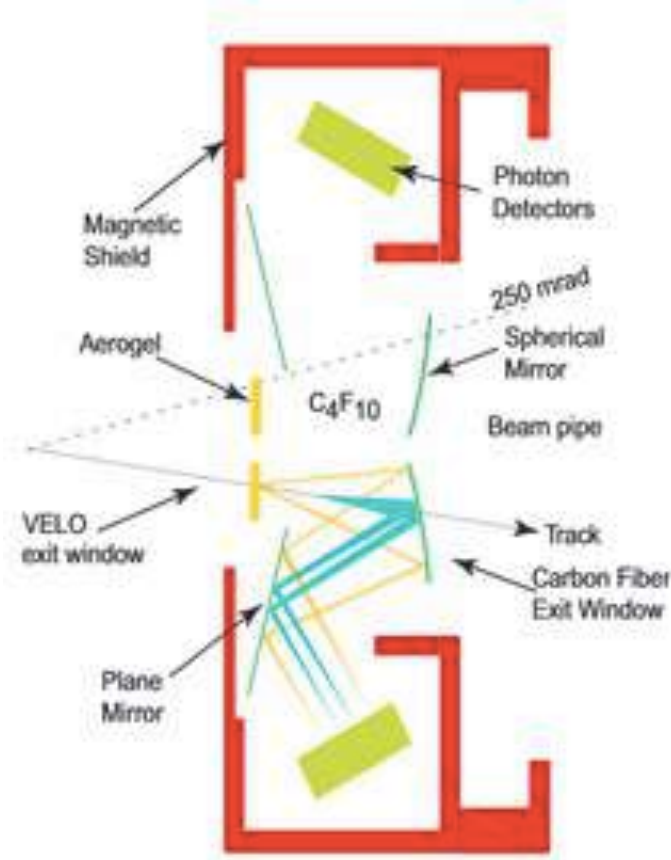
15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – Müon Sistemleri

	CMS	ATLAS	ALICE	LHCb
Teknoloji	Sürüklenme tüpleri (DTs)	Sürüklenme tüpleri (DTs)	Katot şerit odaları (CSCs)	Çok telli orantılı sayaçlar (MWPCs)
	Katod şerit odaları (CSCs)	Katod şerit odaları (CSCs)	Dirençli levha odaları (RPCs)	Gaz elektron çoklayıcılar (GEMs)
	Dirençli levha odaları (RPCs)	Dirençli levha odaları (RPCs)		
		Thin Gap Chambers (TGCs)		



The 50 μm diameter gold plated tungsten wires are held at a 2.9 kV. They have 1.8 mm pitch and are sandwiched between two cathode planes each at 1.4 mm from the wire plane. The cathode planes, made of graphite-epoxy mixture, have a surface resistivity of typically 100-200 $\text{k}\Omega/\square$. 55% CO_2 and 45% n-pentane

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – LHCb RICH (Ring Imaging Cherenkov)

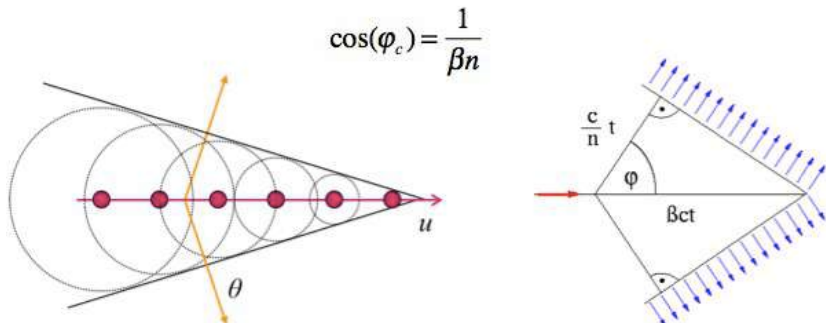


The RICH system has the task of identifying charged particles over the momentum range 1-150 GeV/c, within an angular acceptance of 10-300 milliradians (mrad).

The system consists of an upstream detector (RICH-1) with silica aerogel and C₄F₁₀ gas radiators, positioned directly behind the VELO, and a downstream detector (RICH-2) with a CF₄ gas radiator, located behind the magnet and the tracking system.

C₄F₁₀ : perfluorobutane

CF₄ : carbon tetrafluoride



Sintilasyon - Scintillation

Parıldak (Sintilatör) Nedir?

- Parıldak algıcının çalışma prensibi ışıltama yapan bir maddenin içerisinden geçen yüklü parçacığın enerjisini uyarma vasıtasıyla kaybetmesi (dE/dx) ve uyarılmış atom tarafından yayınlanan ışığın bir foto algıç tarafından algılanmasına dayanır.
- Parıldak Çeşitleri:**
 - İnorganik Parıldaklar (Katı, Sıvı, Gaz)
 - Organik Parıldaklar (Plastik)
- İyi bir parıldak nasıl olmalı:**
 - Çok kısa bozunma süresi
 - Yüksek ışık yayınlama verimi sahip olmalı
 - Yayınladığı ışığın kendi içinde iletimine izin vermeli
 - Yayınlanan ışığın dalga boyu, Foto algıçlar tarafından detekte etmeye uygun olmalı

6/1/16

HAF Çalıştayı -Kadri Özdemir



Existing Crystal Calorimeters

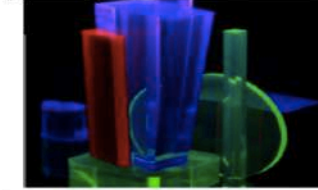
Date	75-85	80-00	80-00	80-00	90-10	94-10	94-10	95-20
Experiment	C. Ball	L3	CLEO II	C. Barrel	KTeV	BaBar	BELLE	CMS
Accelerator	SPEAR	LEP	CESR	LEAR	FNAL	SLAC	KEK	CERN
Crystal Type	Nal(Tl)	BGO	CsI(Tl)	CsI(Tl)	CsI	CsI(Tl)	CsI(Tl)	PbWO ₄
B-Field (T)	-	0.5	1.5	1.5	-	1.5	1.0	4.0
r _{inner} (m)	0.254	0.55	1.0	0.27	-	1.0	1.25	1.29
Number of Crystals	672	11,400	7,800	1,400	3,300	6,580	8,800	76,000
Crystal Depth (X ₀)	16	22	16	16	27	18 to 17.5	18.2	25
Crystal Volume (m ³)	1	1.5	7	1	2	5.9	9.5	11
Light Output (p.e./MeV)	350	1,400	5,000	2,000	40	5,000	5,000	2
Photosensor	PMT	Si PD	Si PD	WS ⁺ +Si PD	PMT	Si PD	Si PD	APD ^a
Gain of Photosensor	Large	1	1	1	4,000	1	1	50
σ_N /Channel (MeV)	0.05	0.8	0.5	0.2	small	0.15	0.2	40
Dynamic Range	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁵

Future Crystal Calorimeters in HEP:

LYSO for COMET (Mu2e, Super B and CMS at HL-LHC)
BaF₂ and PbF₂ for Mu2e and g-2 respectively at Fermilab
PbF₂, PbFCl, BSO and BGO for Homogeneous HCAL for LC

Plastik Parıldak

- Plastik parıldaklar sertleştirilmiş bir polimer matrisi içerisinde çözülmüş organik floresant bileşikler içeren katı malzemeler olarak tanımlanabilir.
 - PS
 - Polivinilbenzen
 - Poliviniltoulen
 - PVT
 - Polimetilstiren
- Plastik parıldakın yapısındaki malzemeler değiştirilerek
 - İşık verimi
 - Radyasyon direnci
 - Bozunma süresi gibi bazı özellikleri kontrol edilebilir.



6/1/16

HAF Çalıştayı -Kadri Özdemir

6



Alternative Fast Crystals

Talk in CMS Forward Calorimetry Task Force Meeting, CERN, June 27, 2012

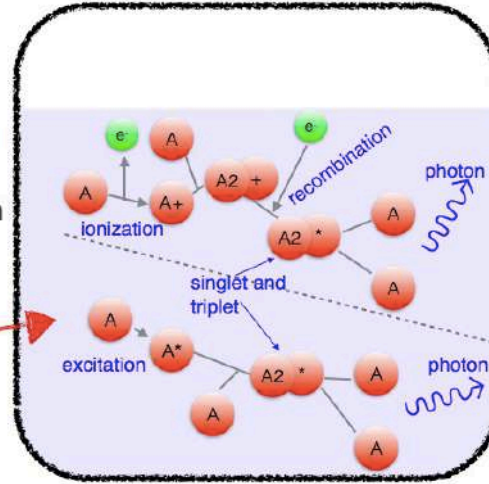
	LYSO/LYSO	GSO	LYSO ^a	CsI	BaF ₂	CeF ₃	CeBr ₃ ^b	LaCl ₃	LaBr ₃	Plastic scintillator (BC 304) ^c
Density (g/cm ³)	7.40	6.71	4.44	4.51	4.89	6.16	5.73	3.86	5.29	1.03
Melting point (°C)	2050	1950	1980	621	1280	1460	722	858	783	70 ^d
Radiation Length (cm)	1.14	1.38	3.11	1.86	2.03	1.70	1.96	2.81	1.88	42.54
Moliere Radius (cm)	2.97	2.23	2.93	3.57	3.10	2.41	2.97	3.71	2.85	5.59
Interaction Length (cm)	20.9	22.2	27.9	39.3	30.7	23.2	31.5	37.6	30.4	78.8
Z value	64.8	57.0	33.3	54.0	51.6	50.8	45.6	47.3	45.6	-
dE/dX (MeV/cm)	9.55	8.88	6.56	5.56	6.52	8.42	6.65	5.27	6.50	2.02
Emission Peak ^e (nm)	420	430	420	310	300	340	371	335	356	408
Refractive Index ^f	1.82	1.85	1.80	1.95	1.50	1.62	1.9	1.9	1.9	1.58
Relative Light Yield ^g	100	45	76	4.2	42	8.5	141	15	153	35
Decay Time ^h (ns)	40	73	60	30	650	30	17	570	20	1.8
d(N)/dT ⁱ (%/°C)	-0.2	-0.4	-0.3	-1.4	-1.0	-0	-0.1	0.1	0.2	-0

- Top line: slow component, bottom line: fast component.
- At the wavelength of the emission maximum.
- Relative light yield normalized to the light yield of LSO at room temperature (20°C)
- Softening point.
- N. Tsichas et al. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, 385 (1997) 291-298 <http://www.hitachi-cern.ch/eng/ish/products/csc/017.html>
- W. Drozdowski et al. *IEEE TRANS. NUCL. SCI.*, VOL.55, NO.3 (2008) 1391-1396
- Cherliang Li et al. *Solid State Commun.*, Volume 144, Issues 5-6 (2007), 220-224 <http://scimlink.org/>
- <http://www.solidstate.com/Products/Scintillators.aspx>
- http://cds.cern.ch/record/2008/AtomicNuclearProperties/HTML_PAGES/218.html

Asal Sıvı Algıçları (Noble Liquid Detectors)

- *Electrons from ionization.
- *Scintillation photons are emitted from excited dimer
→ Transparent for its scintillation photons

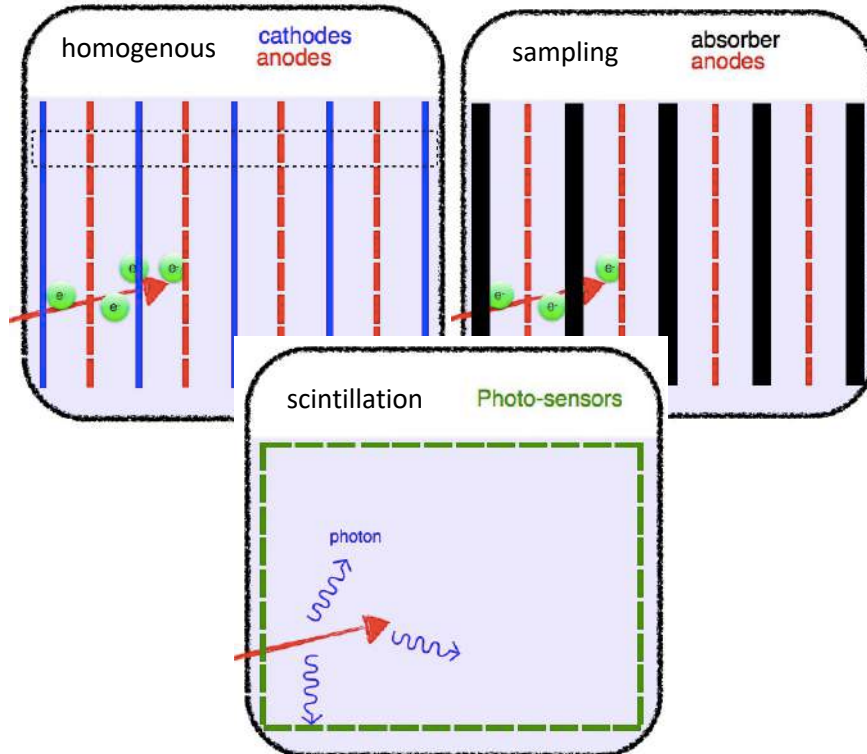
Particle



Cerenkov light is emitted if $(\beta > 1/n)$

This figure taken from "Particle Detection with Liquid Nobles" by James Nikkel

Noble liquids	
He/Ne <ul style="list-style-type: none"> *Long radiation length *Low boiling temperature (< LN₂) *Short scintillation wavelength (< 90 nm) 	Ar <ul style="list-style-type: none"> *Low price *Low radioactivity <p>→ Sampling calorimeter EM/Hadronic</p>
Kr <ul style="list-style-type: none"> *Short radiation length *High resolution *Modest price *High radioactivity <p>→ Homogeneous calorimeter</p>	Xe <ul style="list-style-type: none"> *Very short radiation length *Very high resolution *Very expensive (~10 times higher than Kr) <p>→ Homogeneous/scintillation calorimeter</p>



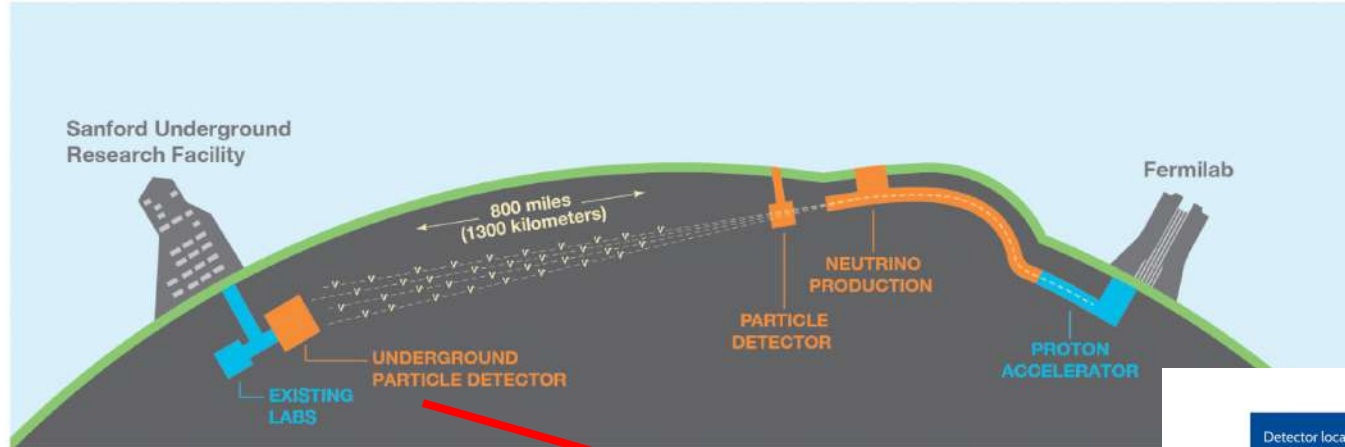
Experiment	Type	Material	Signal	Resolution (%)
D0	Sampling	LAr	Ionization	$16/\sqrt{E} \oplus 0.3 \oplus 0.3/E$
H1	Sampling	LAr	Ionization	$12/\sqrt{E} \oplus 1$
ATLAS	Sampling	LAr	Ionization	$10/\sqrt{E} \oplus 0.4 \oplus 0.3/E$
NA48/62	Homogeneous	LKr	Ionization	$3.2/\sqrt{E} \oplus 0.42 \oplus 0.09/E$
KEDR	Homogeneous	LKr	Ionization	3 @ 1.8 GeV
CMD-3	Homogeneous	LXe	Ionization	$1.78/\sqrt{E} \oplus 1.86$ combined resolution with Cal
MEG	Homogeneous	LXe	Scintillation	1.7 @ 50 MeV

Çarpıştırıcı Dışı Deneylerin Dedektör Sistemleri

DUNE – Deep Underground Neutrino Experiment - <https://www.dunescience.org/>

An International Experiment for Neutrino Science

The Deep Underground Neutrino Experiment (DUNE) is a leading-edge, international experiment for neutrino science and proton decay studies. Discoveries over the past half-century have put neutrinos, the most abundant matter particles in the universe, in the spotlight for further research into several fundamental questions about the nature of matter and the evolution of the universe — questions that DUNE will seek to answer.



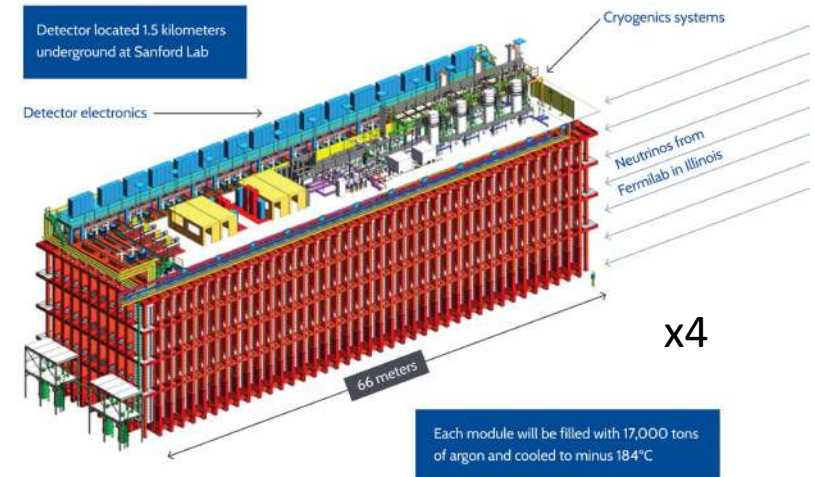
Sıvı Argon TPC ve foton dedektörleri

HD (horizontal drift)

VD (vertical drift)

DUNE Far Detector Technical Design Report, Volumes I, III, and IV

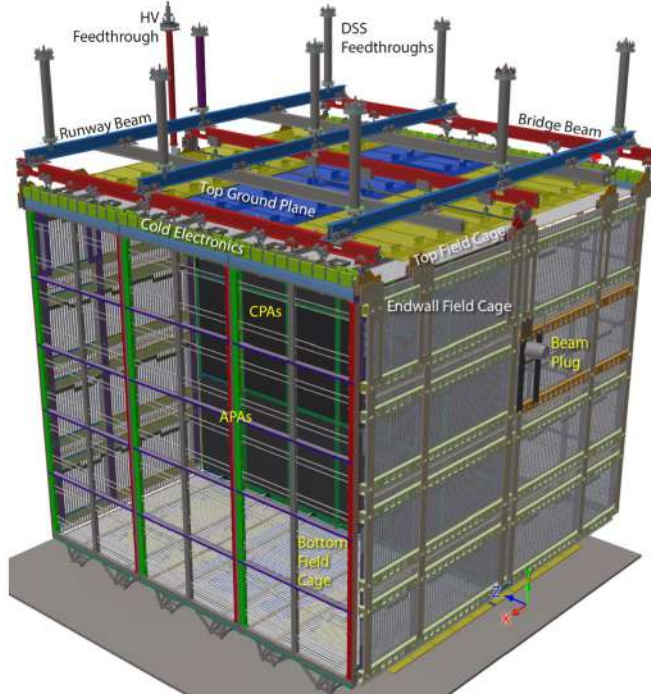
<https://iopscience.iop.org/journal/1748-0221/page/extraproc95>



CERN Neutrino Platform

DUNE dedektörlerinin prototiplemesi için kuruldu.

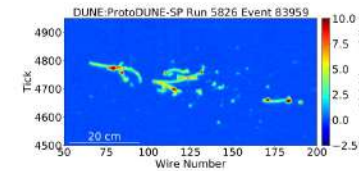
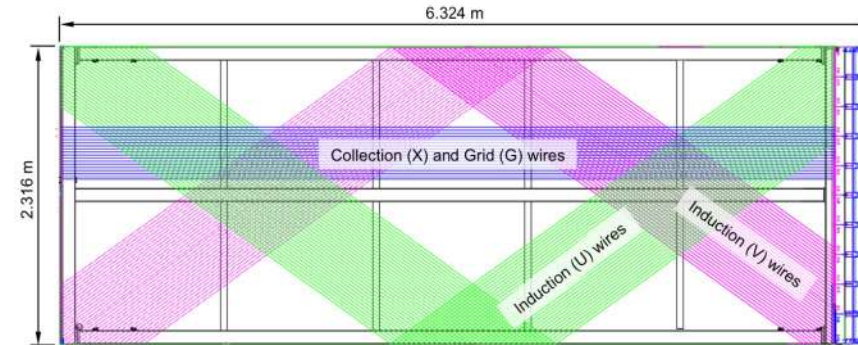
ProtoDUNE-SP (Single Phase)



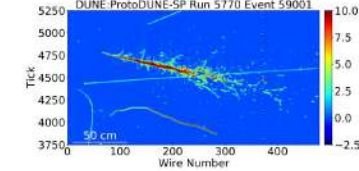
6 m x 6 m x 6 m LAr TPC + foton dedektör sistemleri
500 V/cm sürüklenme alanı

Katot: rezistif; anot: kablolar

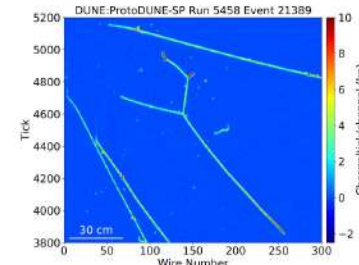
Foton dedektör sistemi: dalga boyu kaydırıcılar + SiPM



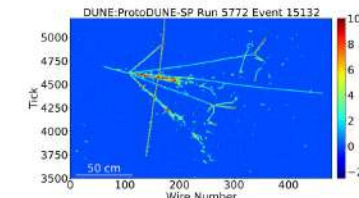
(a) A 0.5 GeV/c electron candidate.



(b) A 6 GeV/c electron candidate.



(c) A 1 GeV/c pion candidate.



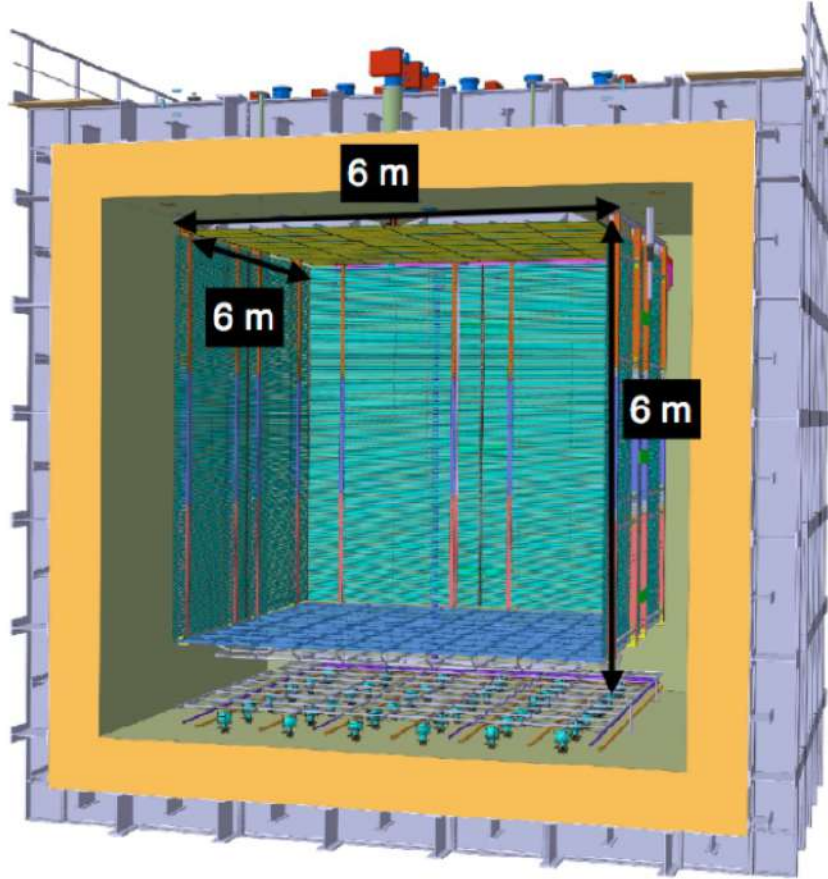
(d) A 6 GeV/c pion candidate.

APA: Anode Plane Assemblies
CPA: Cathode Plane Assemblies

CERN Neutrino Platform

ProtoDUNE-DP (Dual Phase)

6 m x 6 m x 6 m LAr-GAr TPC + foton dedektör sistemleri
500 V/cm sürüklenme alanı



Katot: rezistif grid

Anot: PCB

Gaz fazında LEM (large electron multiplier)

Foton dedektör sistemi: dalga boyu

kaydırıcı kaplı fototüpler

Problemler:

- 300 kV katot potansiyelini sağlamak ve muhafaza etmek
- Sıvı-gaz sınırını kararlı tutmak

Çözüm:

- Tasarım değişikliği
 - Vertical Drift

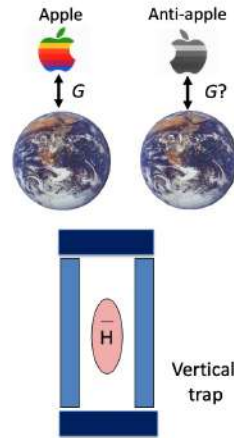
PoS ICHEP2018, 300

Antimatter Gravitasyonu

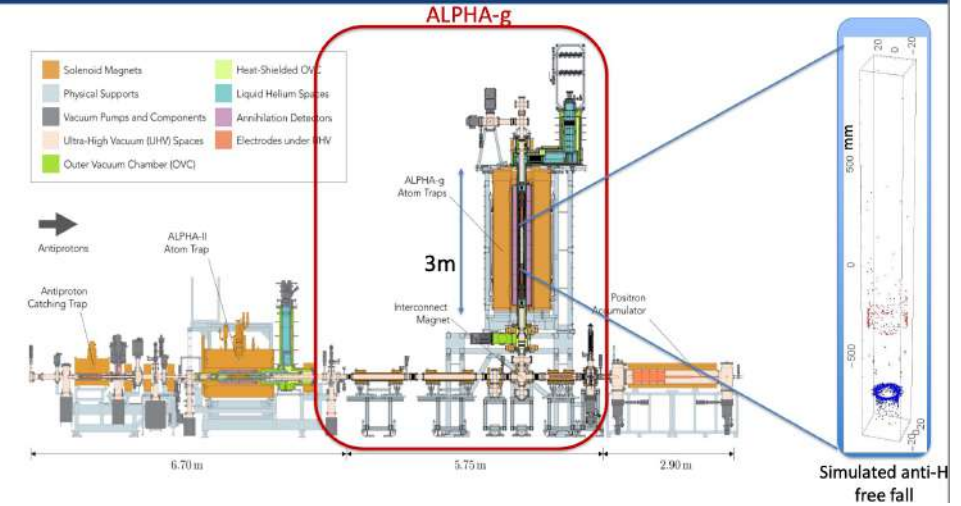


Antimatter Gravity Experiment

- Does antimatter fall down?
 - Many constraints incl. 5th force tests
 - Experimental question! (e.g. Lykken et al, arXiv:0808.3929)
 - Anti-H “gas” will sag due to gravity
 - If anti-H temperature ~ 300 K
 $kT = mgh$
for $h \sim 300$ km
- Laser cooling essential step
- Position sensitive detection via annihilations

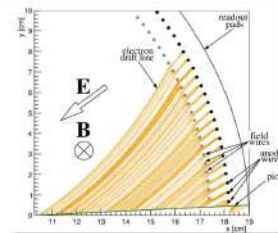


ALPHA-g: dropping anti-H to measure gravity



ALPHA-g detector system requirements

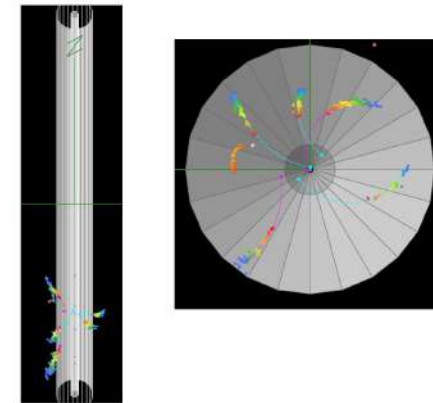
- Tracking: Key for ALPHA successes!
 - Annihilation position (few mm)
Limited by multiple scat.
 - Good pattern recognition
 - Uniform efficiency
 - **Long length coverage (~ 2.4 m)**
 - **Limited radial space (~ 10 cm)**
 - **Unusual B fields (Solenoid + Octupole)**
- Radial-Drift TPC
(+SiPM based cosmic veto)



Ar-CO₂ (atm)



First antiproton annihilation events in rTPC



<https://indico.cern.ch/event/981823/contributions/4341752/>

Astrofizik Deneyleri (Birkaç Örnek)

GECAM
Gravitational wave high-energy Electromagnetic Counterpart All-sky Monitor

Characteristics

- **FOV** : 100% all-sky
- **Sensitivity** : $\sim 2E-8$ erg/cm²/s
- **Localization** : ~ 1 deg (1- σ stat., $1E-5$ erg/cm²)
- **Energy range** : 8 keV – 4 MeV
- **GRB Broadcast** : Near real-time, via Beidou Satellites

GECAM satellite (160 kg for each)

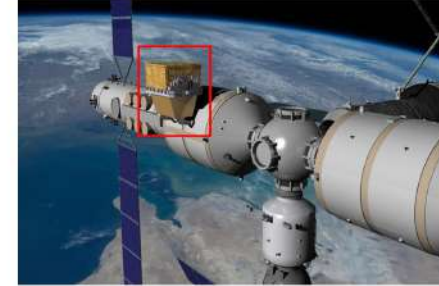
GRD Structure
Gamma Ray Detector

Domestic crystal Silicone pad Reflective film SiPM Array

<https://indico.cern.ch/event/981823/contributions/4295052/>

UPHDYO-XV, 5-10 Eylül 2023, Bodrum/Muğla

The High Energy cosmic-Radiation Detection (HERD) Facility



- Proposed as a space astronomy payload onboard the **China's Space Station (CSS)**.
- Planned to be operational **from 2027** for more than **10 years**.
- The HERD consortium includes 130+ scientists from China, Italy, Switzerland, Spain. More to join.

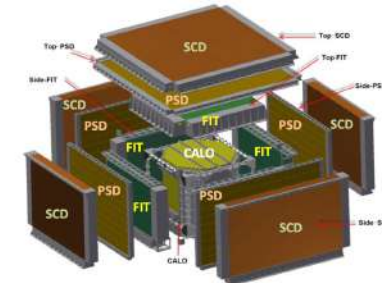
25.05.21

P. Azzarello, University of Geneva

2

HERD: the detector

- **Calorimeter (CALO)**: 3D, e/ γ /CR energy, e/p discrimination
- **Fiber tracker (FIT)**: 5 sides, particle trajectory, charge identification
- **Plastic scintillator detector (PSD)**: 5 sides, low energy γ , charge identification
- **Silicon charge detector (SCD)**: charge identification
- **Transition radiation detector (TRD)**: energy calibration



Mass	< 4 t
Envelope dimensions	$\sim 2.3 \times 2.3 \times 2.6$ m ³
Field of View	$\pm 70^\circ$
Power consumption	~ 1200 W
Lifetime	> 10 years (with in-orbit replacements)

25.05.21

P. Azzarello, University of Geneva

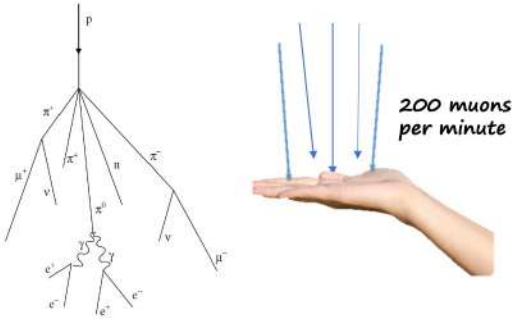
4

<https://indico.cern.ch/event/981823/contributions/4295049/>

Deney Dışı Dedektör Uygulamaları Örnekleri

TIPP2021: <https://indico.cern.ch/event/981823/timetable/#20210524>

Müon radyografi – Müografi (sintilatörler, gazlı algıçlar)



- Cosmic –ray muons: natural source of high energy particles
- well-known constant flux
- Muons have a high penetration power through rock (~ hundreds meters)
- Measuring the outcoming muon flux we can indirectly measure the mean density of the object

Applications in :

- Volcanology
- Archaeology
- Civil Engineering
- Industry



MURAVES muon telescope - Mariaelena D'Errico - TIPP21 - 05/27/2021

MUON RADIOGRAPHY (1/3)

Muons passing through rock are involved in interactions with matter:

- Ionization
- Brehemstrahlung
- Scattering (lower energies)

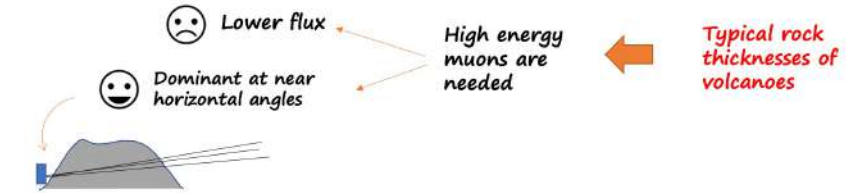


$$-\frac{dE}{dX} = aE + b \quad \begin{matrix} b \sim 2 \text{ MeV g}^{-1} \text{ cm}^2 \text{ and} \\ a \sim 4 \times 10^{-6} \text{ g}^{-1} \text{ cm}^2 \end{matrix}$$

Energy loss in standard rock (approximation)

$$R_\mu = \int_0^{E_\mu} -\left(\frac{dE}{dx}\right)^{-1} dE$$

Energy	10 GeV	100 GeV	1 TeV	10 TeV
Range	19 m	115 m	0.9 km	2.3 km



MURAVES muon telescope - Mariaelena D'Errico - TIPP21 - 05/27/2021

$$N_\mu(\theta, \phi) = \Delta T \cdot \epsilon(\theta, \phi) \cdot A(\theta, \phi) \cdot \int_{E_{min}}^{\infty} I(E; \phi, \theta) dE$$

Observed muons exiting the target

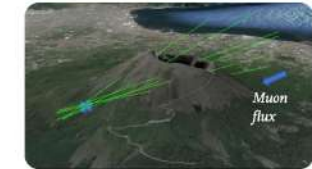
X (opacity) = density * thickness

$$N_\mu^{fs}(\theta, \phi) = \epsilon(\theta, \phi) \cdot A(\theta, \phi) \cdot \Delta T^{fs} \cdot \int_{E_{detector}}^{\infty} I(E; \theta, \phi)$$

Observed muons without the target (free-sky calibration)

$$T(\theta, \phi) = \frac{N_\mu(\theta, \phi) \Delta T^{fs}}{N_\mu^{fs}(\theta, \phi) \Delta T_\mu}$$

Transmission is independent by acceptance and efficiencies



Directionality to measure density distribution along the body

MURAVES muon telescope - Mariaelena D'Errico - TIPP21 - 05/27/2021

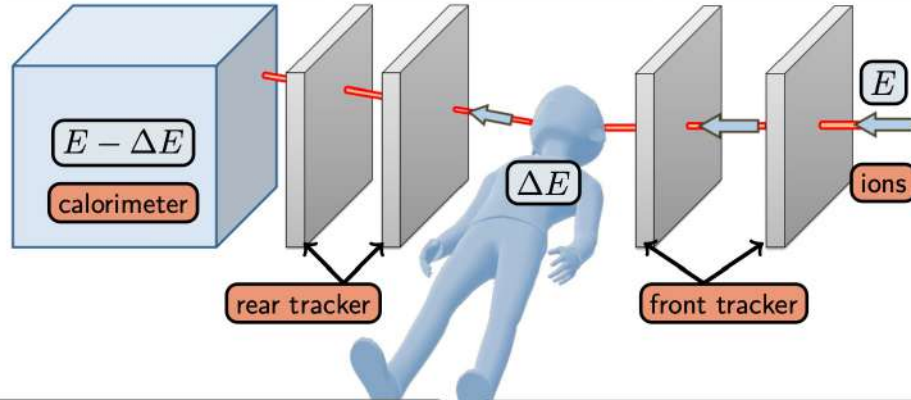
MUON RADIOGRAPHY (2/3)

MUON RADIOGRAPHY (3/3)

Proton Bilgisayarlı Tomografi

Motivation pCT setup Results Discussion and outlook

Imaging with ion beams – Overview



Particles with energy E :

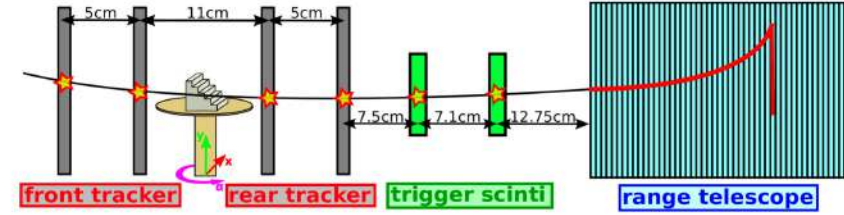
- Pass front tracker
- Lose energy in object: ΔE
- Pass rear tracker
- Deposit energy in calorimeter: $E - \Delta E$

Proton/ion CT:

- Calculate path estimate and measure ΔE for each ion
- Repeat for different object rotations
- Reconstruct 3D image of stopping power

F. Ulrich-Pur (HEPHY) 5/18

pCT setup – Overview



- pCT demonstrator based on double sided silicon strip detectors (DSDDs) and a range telescope
- Synchronisation via AIDA2020 trigger and logic unit (TLU) (Cussans 2017)
 - ▶ Exclusive trigger number per particle to correlate tracks and energy loss
- Object to be imaged (1 cm³ aluminum cube phantom) was mounted on a rotating table

F. Ulrich-Pur (HEPHY) 6/18

Results – 3D Reconstruction

Reconstruction

- Tomographic iterative GPU-based reconstruction toolkit (TIGRE) (Biguri et al. 2016, Kaser et al. 2021)
 - ▶ Limited amount of projections
 - ▶ Straight-line approximation

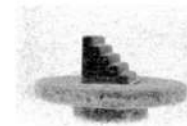
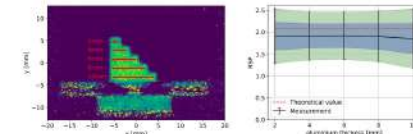


Image: 3D view of reconstructed aluminum phantom

Performance

- RSP values in region of interest were summarized and compared to literature values



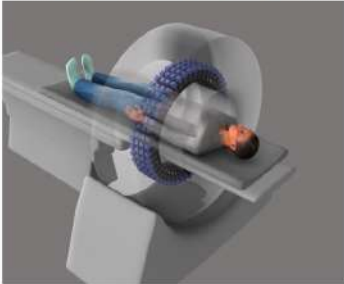
- RSP resolution: $\frac{\sigma_{RSP}}{\mu_{RSP}} \approx 6.4\%$
- RSP accuracy: $\frac{\mu_{RSP} - RSP_{lit}}{RSP_{lit}} \approx 8.2\%$

F. Ulrich-Pur (HEPHY) 12/18

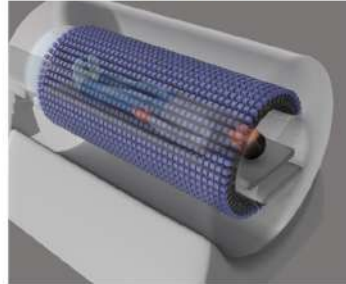
Tüm Vücut PET

Total-body PET – what's the point?

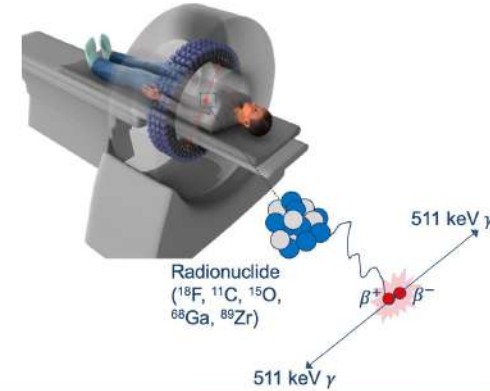
CONVENTIONAL PET



TOTAL-BODY PET

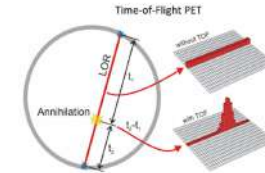


A quick refresher on positron emission tomography (PET)



Scanner collects millions of 511 keV photon pairs over 10-60 min

Detection **locations** and **times** are used to mathematically reconstruct an image of the radiotracer distribution



Building the uEXPLORER

- 8 detector rings (194 cm AFOV)
- 24 detector modules per ring
- Up to 5 rings in coincidence axially (57° maximum acceptance angle)
- Coincidence time window: 4.5 ns – 6.9 ns (ring difference dependent)
- ULD: 645 keV; LLD: 430 keV
- 565,480 crystals
- 53,760 SiPMs
- ~ 91 x 10⁹ lines-of-response



Büyük Deneyleerin Dedektör İyileştirmeleri

15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV) Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – CMS İyileştirmeleri

İzci algıç:

Faz 1: ROC (readout chip – okuma çipi), hermetiklik seviyesi, radyasyon toleransı, pasif malzeme miktarı → BPIX (orta silindir) ve FPIX (ileri disk) yenilenmesi

BPIX: 285 μm fosfor doplu <111> 4" wafer, 3.7 k Ωcm

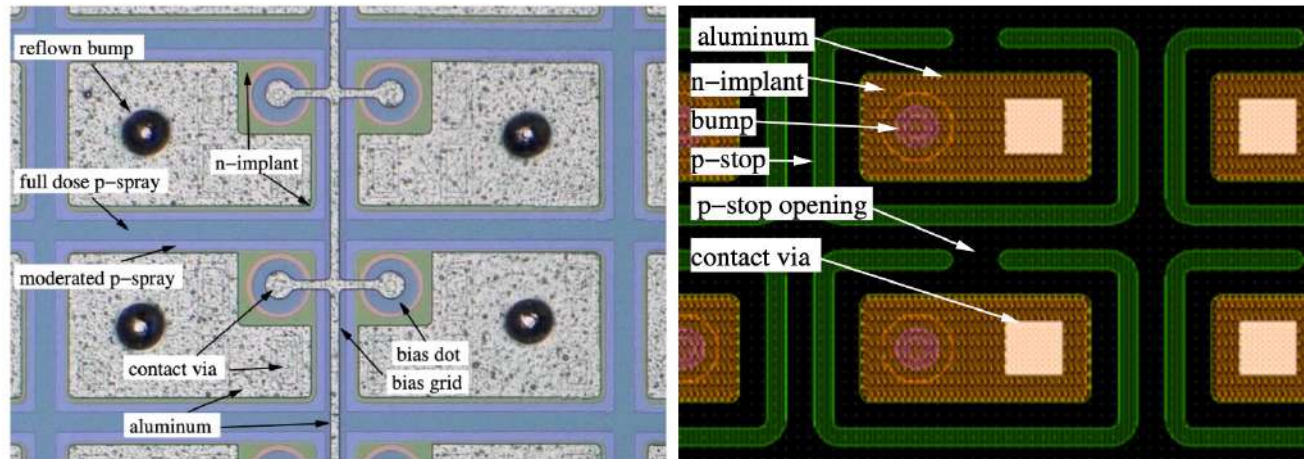
FPIX: 300 μm <100> 6" wafer, açık p-stop

ROC: daha yüksek miktarda veri, daha yüksek radyasyon toleransı

PSI46 → PSI46dig, PROC600

	PSI46dig	PROC600
Detector layer	BPIX L2-L4 and FPIX	BPIX L1
ROC size	10.2 × 7.9 mm ²	10.6 × 7.9 mm ²
Pixel size	100 × 150 μm^2	100 × 150 μm^2
Number of pixels	80 × 52	80 × 52
In-time threshold	< 2000 e ⁻	< 2000 e ⁻
Pixel hit loss	< 2% at 150 MHz/cm ²	< 3% at 580 MHz/cm ²
Readout speed	160 Mb/s	160 Mb/s
Maximum trigger latency	6.4 μs	6.4 μs
Radiation tolerance	120 Mrad	120 Mrad

Faz 2: Tüm izci algıç sistemi yenilenecek. Dış izci (OT) için 290 μm n-in-p seçildi. İç izci (IT) için ROC RD53 tasarımı, sensör teknolojisine karar verilecek.



<https://arxiv.org/pdf/2012.14304.pdf>
NIM A 979 (2020) 164432
NIM A 980 (2020) 164396

Müon Sistemi:

Muon Upgrade Scope Isabelle De Bruyn

Replace electronics to cope with HL-LHC L1/DAQ specs:

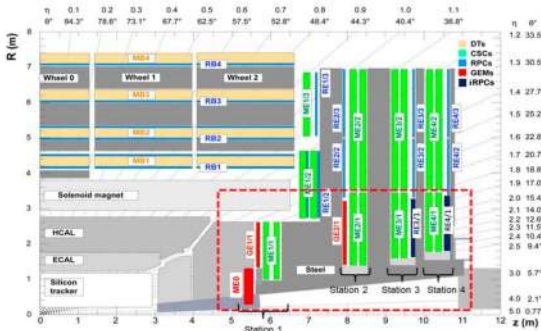
- ▶ **DT**: on-detector and BE
- ▶ **CSC**: selective on-detector and all BE
- ▶ **RPC**: off-chamber readout/control

Increase redundancy forward system:

- ▶ **GE1/1**: 2 extra points
- ▶ **GE2/1**: 2 extra points
- ▶ **ME0**: 6 layers, eta-coverage is extended from 2.4 to 2.8
- ▶ **RE3/1 and RE4/1**: 1 extra point per station

Improvement of timing in trigger primitives:

- ▶ **DT, RPC**: sub BX resolution



Large fraction of the upgrades already completed before LS3!

2 ACES 2020

27/05/20

GEM overview

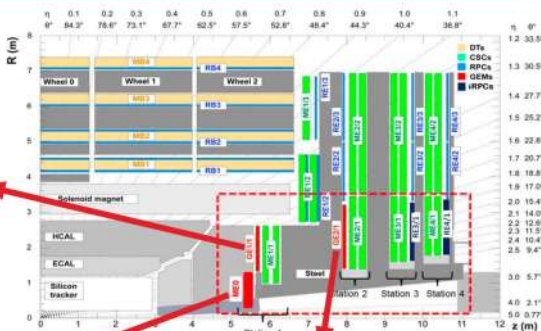
new detectors
→ new front-end and back-end electronics

GE1/1 (LS2):

- ▶ all chambers produced
- ▶ half already installed → commissioning ongoing
- ▶ FE electronics integration and validation ongoing for second half

ME0 (LS3):

- ▶ very high expected particle rate (up to 142 kHz/cm²)
- ▶ testing and development ongoing with prototype electronics



GE2/1 (before LS3):

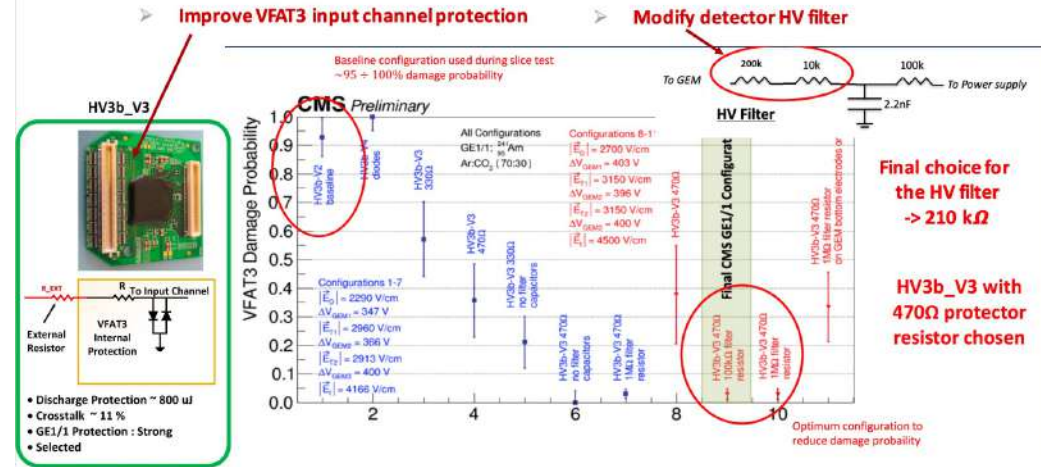
- ▶ similar to GE1/1
- ▶ design improvements from GE1/1 experience

15 ACES 2020

27/05/20

Lessons learned

- ▶ During the 2017-18 "Slice Test" run with VFAT2, some detectors showed a significant (up to several %) loss of channels
- ▶ Lab studies showed that VFAT3 needs improved input protection
- ▶ 1 year of R&D to understand the process of propagating discharges and to optimize mitigation solutions



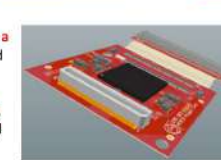
ACES 2020 G. De Lentdecker

27/05/20

Lessons learned from GE1/1



GE1/1 hybrid:
- VFAT3 die assembled on a small (~4.5 x 4.5 cm²) rigid PCB
- PCB difficult to manufacture and to bond, because of the small bond pitch (60 μm)



GE2/1 Plug-in card:
- Packaged VFAT3
- The flex part absorbs residual misalignment of GEB vs ROB
- Rigid part is also hosting VFAT3 improved (R + C) input protection circuit *



GE1/1 OH & GEB:
- 1 OH connected to 2 GEB PCBs → potential mechanical stress
- Evolved powering and grounding scheme.



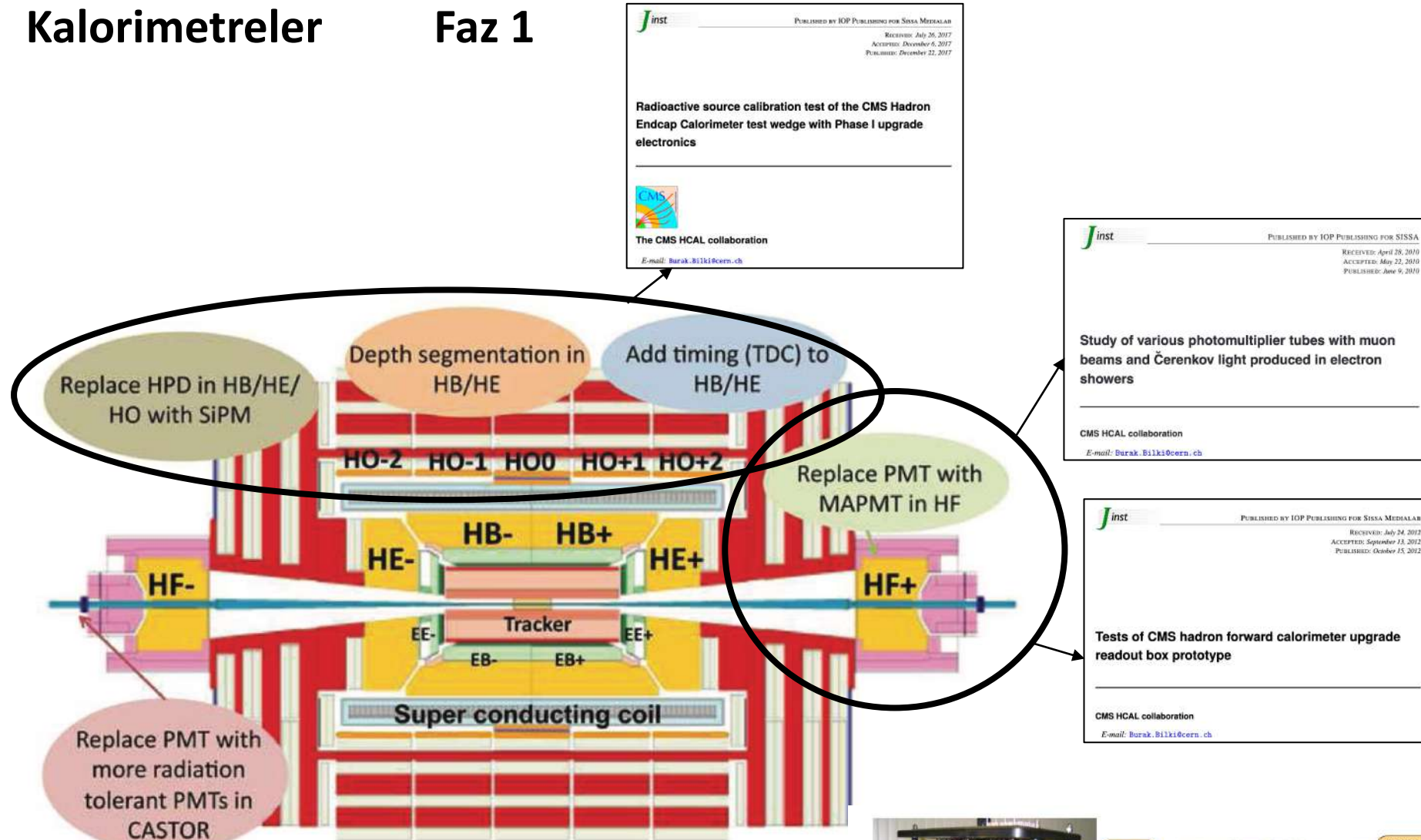
GE2/1 OH & GEB:
- Each module has its own OH
- No potential for mechanical stresses from misalignments
- Independent powering, separate grounds
- Small lower power FPGA (Artix-7)

OH: Opto-hybrid

* + segmentation of bottom side of GEM foil facing strips to reduce further the damage probability in case of sparks

Kalorimetreler

Faz 1



Jinst PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB
RECEIVED: July 26, 2017
ACCEPTED: December 6, 2017
PUBLISHED: December 22, 2017

Radioactive source calibration test of the CMS Hadron Endcap Calorimeter test wedge with Phase I upgrade electronics

The CMS HCAL collaboration
E-mail: Burak.Bilki@cern.ch

Jinst PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA
RECEIVED: April 28, 2010
ACCEPTED: May 22, 2010
PUBLISHED: June 9, 2010

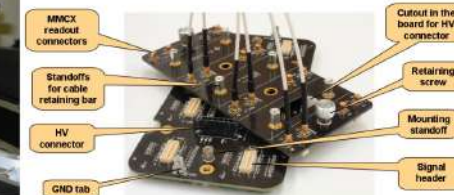
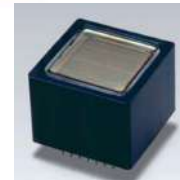
Study of various photomultiplier tubes with muon beams and Čerenkov light produced in electron showers

CMS HCAL collaboration
E-mail: Burak.Bilki@cern.ch

Jinst PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB
RECEIVED: July 24, 2012
ACCEPTED: September 13, 2012
PUBLISHED: October 15, 2012

Tests of CMS hadron forward calorimeter upgrade readout box prototype

CMS HCAL collaboration
E-mail: Burak.Bilki@cern.ch



Kalorimetreler Faz 2

HGCAL Silicon and SiPM-on-Tile

Driven by radiation levels

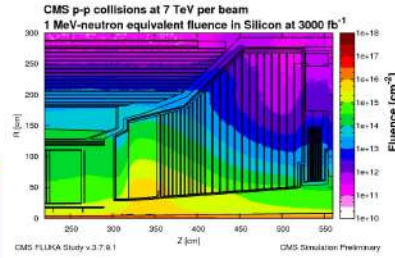


~ same HGCROC
same DAQ
same power
same cooling
same cassette

	CE-E	CE-H	
	Si	Si Scintillator	
Area (m ²)	368	215	487
Channels (k)	3916	1939	389
Si modules (Tileboards)	16 008	8868	(3960)
Partial modules	1008	1452	--
Weight (t)	23	205	
Si-only planes	28	8	
Mixed (Si+Scint) planes		16	

Cooling power @ -35 °C: 300 kW

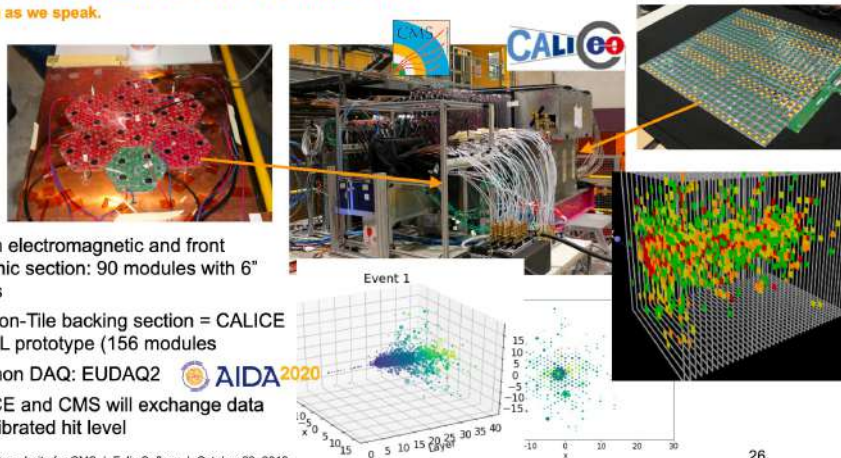
DESY. High Granularity for CMS | Felix Sefkow | October 23, 2018



~ same
~ / 15
~ / 5

Common CALICE CMS beam test

Ongoing as we speak.



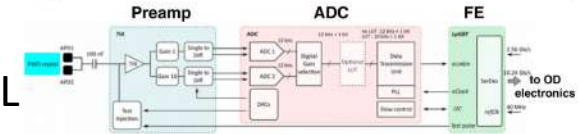
- Silicon electromagnetic and front hadronic section: 90 modules with 6" wafers
- SiPM-on-Tile backing section = CALICE AHCAL prototype (156 modules)
- Common DAQ: EUDAQ2 AIDA 2020
- CALICE and CMS will exchange data on calibrated hit level

DESY. High Granularity for CMS | Felix Sefkow | October 23, 2018

26

ECAL

Vienna Conference of Instrumentation, 18-22 February 2019
Very Front End and Front End (VFE + FE)



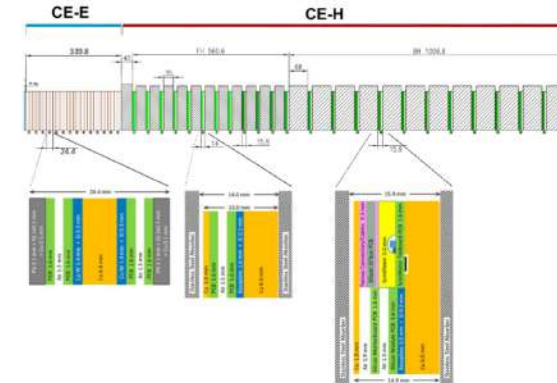
- Optimize **shaping time and sampling rate**
 - to reduce the impact of noise, pileup, and enhance spike discrimination
- **(Pre-)amplifier:** Trans Impedance Amplifier architecture (CATIA)
 - ×2 bandwidth, ×4 sampling rate w.r.t. current electronics
 - 2 TeV dynamic range, two gain ranges (G1, G10) with 50, 500 MeV LSB
- **ADC:** 12 bit, 160 MHz sampling frequency
 - IP core designed by an external company + lossless data compression implemented in a Data Transmission Unit before FE
- **FE:** fast optical links to stream all crystal data off-detector at 40 MHz
 - IpGBT/VL+ chip (4 × 10.24 Gb/s data links, 1 × 2.56 Gb/s control link)
 - eLink serial interface to ADC, clock and i2C interface
- **Low-voltage regulator card (LVR):** 1.2, 2.5 V
 - implemented by point-of-load FEAST DC/DC converters

Federico Ferris@cern.ch

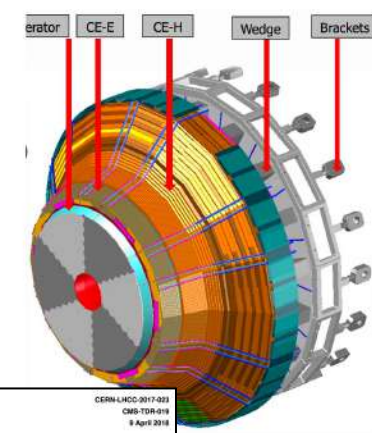
February 19, 2019

Longitudinal Structure

28 silicon, 8 silicon and 16 mixed silicon scintillator layers.



DESY. High Granularity for CMS | Felix Sefkow | October 23, 2018



15



 The CALICE Collaboration



Amaç: Yüksek segmentasyonlu görüntüleyici kalorimetreler geliştirmektir. CALICE, başlangıçta **ILC/CLIC** gereksinimlerini karşılamaya odaklıydı. Sonraki aşamalarda, gelecek tüm kalorimetre uygulamalarının başvuru noktası haline geldi.

Büyük kalorimetre prototipleri başarıyla inşa/test edildi

Silicon-W ECAL, Scintillator-W ECAL, Scintillator-Fe/W HCAL,
RPC-Fe/W HCAL



4 continents



18 countries



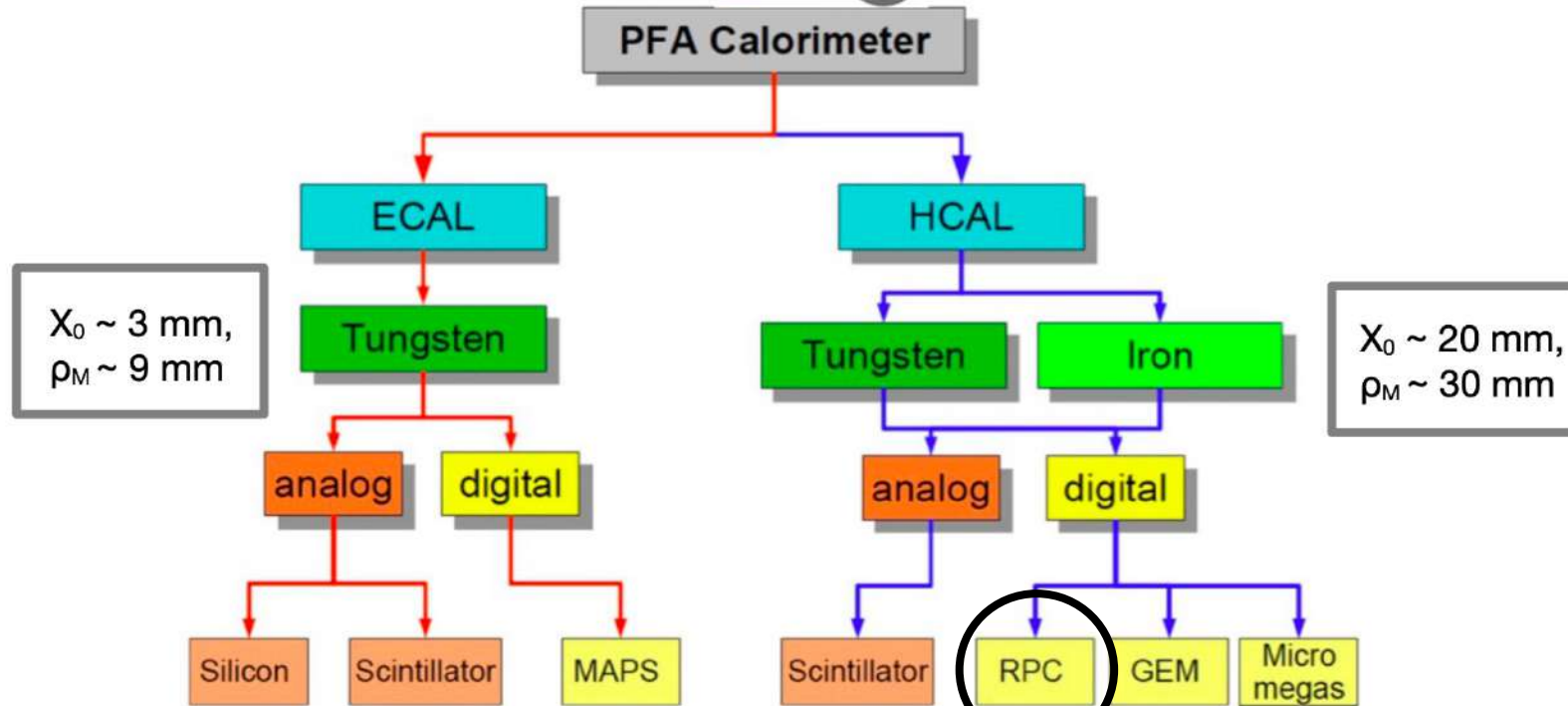
60 institutes



336 physicists/
engineers



Mainly organised within the CALICE Collaboration



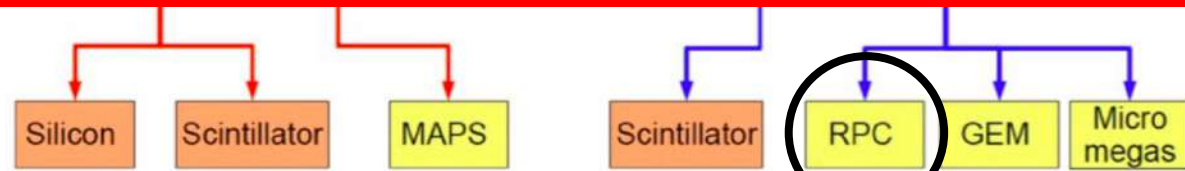
All projects of current future high energy colliders propose highly granular calorimeters

FCC Week – November 2020

6

Digital Hadron Calorimeter

- B. Bilki, et.al., Calibration of a digital hadron calorimeter with muons, JINST 3 , P05001, 2008.
- B. Bilki, et.al., Measurement of positron showers with a digital hadron calorimeter, JINST 4, P04006, 2009.
- B. Bilki, et.al., Measurement of the rate capability of Resistive Plate Chambers, JINST 4, P06003, 2009.
- B. Bilki, et.al., Hadron showers in a digital hadron calorimeter, JINST 4, P10008, 2009.
- Q. Zhang, et.al., Environmental dependence of the performance of resistive plate chambers, JINST 5, P02007, 2010.
- J. Repond, Analysis of DHCAL Muon Data, CALICE Analysis Notes, CAN-030, CAN-030A, 2011.
- L. Xia, CALICE DHCAL Noise Analysis, CALICE Analysis Note, CAN-031, 2011.
- B. Bilki, DHCAL Response to Positrons and Pions , CALICE Analysis Note, CAN-032, 2011.
- J. Repond, Analysis of Tungsten-DHCAL Data from the CERN Test Beam, CALICE Analysis Note, CAN-039, 2012.
- B. Bilki, The DHCAL Results from Fermilab Beam Tests: Calibration, CALICE Analysis Note, CAN-042, 2013.
- B. Bilki, et.al., Tests of a novel design of Resistive Plate Chambers, JINST 10, P05003, 2015.
- M. Affatigato, et.al., Measurements of the rate capability of various Resistive Plate Chambers, JINST 10, P10037, 2015.
- N. Johnson, et.al., Electronically Conductive Vanadate Glasses for Resistive Plate Chamber Particle Detectors, International Journal Of Applied Glass Science, 6, 26, 2015.
- B. Freund, et.al., DHCAL with minimal absorber: measurements with positrons, JINST 11, P05008, 2016.
- C. Adams, et.al., Design, construction and commissioning of the Digital Hadron Calorimeter — DHCAL, JINST 11, P07007, 2016.
- M. Chefdeville, et.al., Analysis of testbeam data of the highly granular RPC-steel CALICE digital hadron calorimeter and validation of Geant4 Monte Carlo models, Nucl. Instr. And Meth. A 939, 89, 2019.



All projects of current future high energy colliders propose highly granular calorimeters

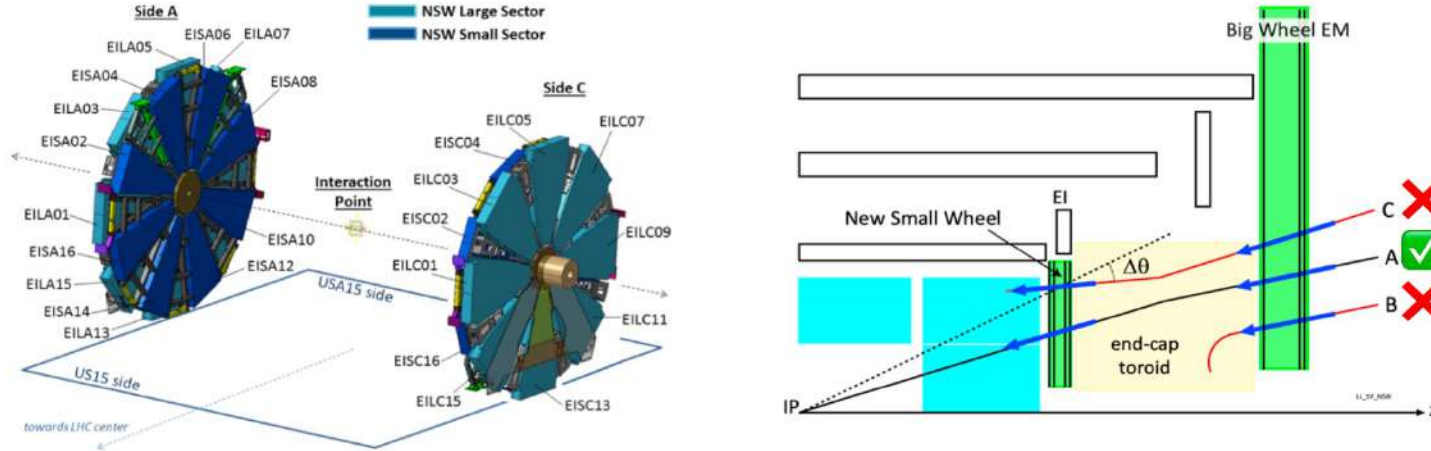
FCC Week – November 2020

6

Digital Hadron Calorimeter

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – ATLAS İyileştirmeleri

Faz 1: “New Small Wheel” detektörü, sıvı argon (LAr) kalorimetresi önyüz elektroniği, “Barrel Inner Small” katmana yeni müon dedektörleri, TDAQ sistemi.



Each wheel is formed by two external small strip thin gap chambers (sTGC) wedges (used mainly for trigger, for bunch crossing identification and for vector tracking) and two internal micromegas wedges (used mainly for tracking with a spatial resolution of less than 100 microns).

The upgrade plan is to replace 16 monitored drift tubes (MDT) chambers with small MDTs and to install 16 new RPC trigger chambers and new front end electronics; the new RPC chambers are updated RPCs, with 1 mm of gas gap, thinner than the ones previously installed.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – ATLAS İyileştirmeleri

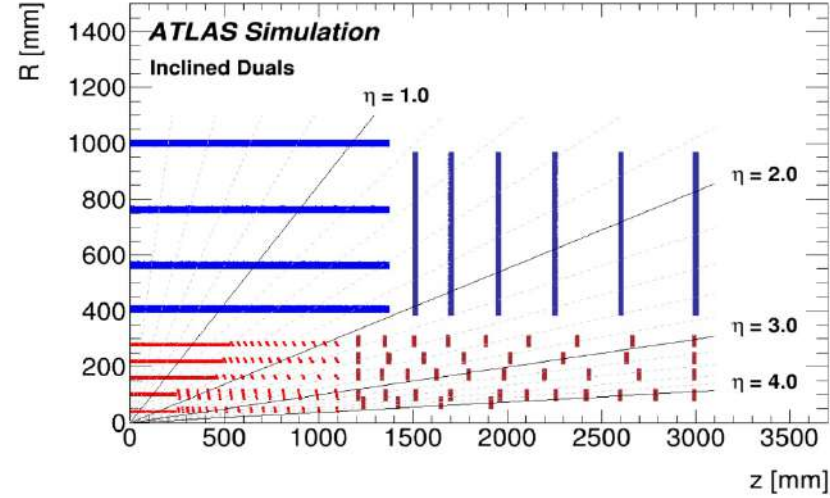
Faz 2: Piksel ve şerit izciler, LAr ve Tile kalorimetreler, müon sistemi, tetikleme ve veri alım sistemleri

İzci sistemi tamamen yenilenecek.

→ Si teknolojisi

LAr kalorimetre → elektronik iyileştirmesi

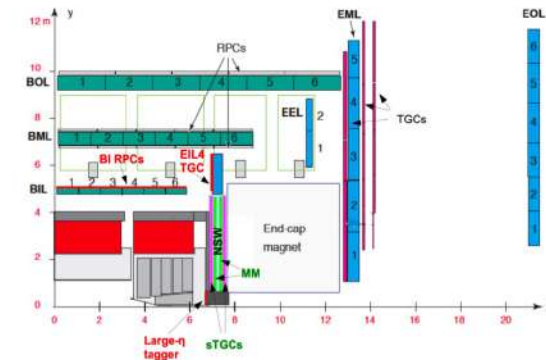
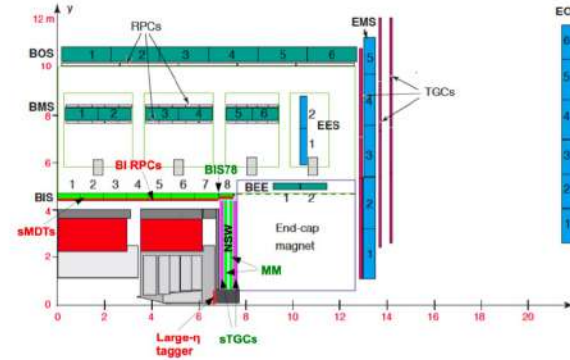
Tile kalorimetre → elektronik iyileştirmesi ve yüksek hasarlı bölgelerde fotodedektör yenilemesi



Müon sistemi:

- Faz 1'deki gibi BIS sMDT+RPC
- BIL RPC
- Endcap TGCs

MDT: monitored drift tubes
TGC: thin gap chambers



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – ALICE İyileştirmeleri

ALICE

ALICE detector upgrade

New Forward Interaction Trigger (FIT) to replace the V0 and T0 detectors

New Inner Tracking System (ITS)

Both based on Monolithic Active Pixel Sensors (MAPS)

TPC with GEM based readout

Muon Forward Tracker (MFT)

+ improved readout for TOF, ZDC, TRD, MUON ARM
+ new Central Trigger Processor
+ new DAQ/Offline architecture

Zhongbao Yin@LHCP2017

ALICE

FIT = T0+ and V0+

T0+ modules

- Improved T0
- Rectangular quartz radiators
- New sensors MCP-PMT
- Larger acceptance
- More channels
- Upgraded electronics and readout

V0+ sectors

- Improved V0
- Faster plastic scintillator
- Monolithic structure
- Reduced fiber length
- New sensor (SiPM or MCP-PMT)
- New electronics and readout

Zhongbao Yin@LHCP2017

Monolithic Active Pixel Sensor – ALPIDE

CMOS Pixel Sensor using TowerJazz 0.18μm CMOS Imaging Process

ITS IB & MFT: 50μm thick
ITS OB: 100μm thick

- High-resistivity (> 1kΩ cm) p-type epitaxial layer (25μm) on p-type substrate
- Small n-well diode (2 μm diameter), ~100 times smaller than pixel => low capacitance (~fF)
- Reverse bias voltage (-6V < V_{bias} < 0V) to substrate (contact from the top) to increase depletion zone around NWELL collection diode
- Deep PWELL shields NWELL of PMOS transistors (full CMOS circuitry within active area)

ALPIDE

ITS Upgrade Design Objectives

- 1. Improve impact parameter resolution by a factor of ~3**
 - Get closer to IP (position of first layer): 39mm → 23mm
 - Reduce material/layer: ~1.14% X₀ → ~0.3% X₀ (IB), 1% X₀ (OB)
 - Reduce pixel size: currently 50μm x 425μm → O(30μm x 30μm)
- 2. Improve tracking efficiency and p_T resolution at low p_T**
 - Increase granularity:
 - 6 layers → 7 layers
 - silicon drift and strips → pixels
- 3. Fast readout**
 - event rate readout to tape: Pb-Pb 50 kHz, pp 1 MHz (currently limited at 1kHz with full ITS)
- 4. Fast insertion/removal for yearly maintenance**
 - possibility to replace non functioning detector modules during yearly shutdown

7-layer barrel geometry (3 inner IB, 4 outer OB) based on CMOS Pixel Sensors

Expected radiation load
- TID: ~270 krad
- NIEL: ~1.7x10¹² 1MeV n_{eq}/cm²

12.5 G-pixel camera taking 50000 pictures/s (~10 m²)

r coverage: 23 – 400 mm
η coverage: |η| ≤ 1.22 for tracks from 90% most luminous region

MFT Design Requirements

- 1. Vertexing for the Muon Spectrometer at forward rapidity**
 - Same CMOS chip as ITS (5% of the ITS surface (0.4 m²) Twice the ITS inner barrel)
 - 5 detection disks of silicon pixel sensors O(25 μm x 25 μm)
 - Material/disk: 0.6% X₀
 - -3.6 < η < -2.45
 - Disk#0 at z = -460 mm, R_{in} = 25 mm (limited by beam-pipe radius)
- 2. Good matching efficiency between MFT and Muon Spectrometer**
 - Disk#4 at z = -768 mm (limited by FIT and frontal absorber)
- 3. Fast electronics read-out**
 - Interaction rate Pb-Pb ~50 kHz, pp ~200 kHz

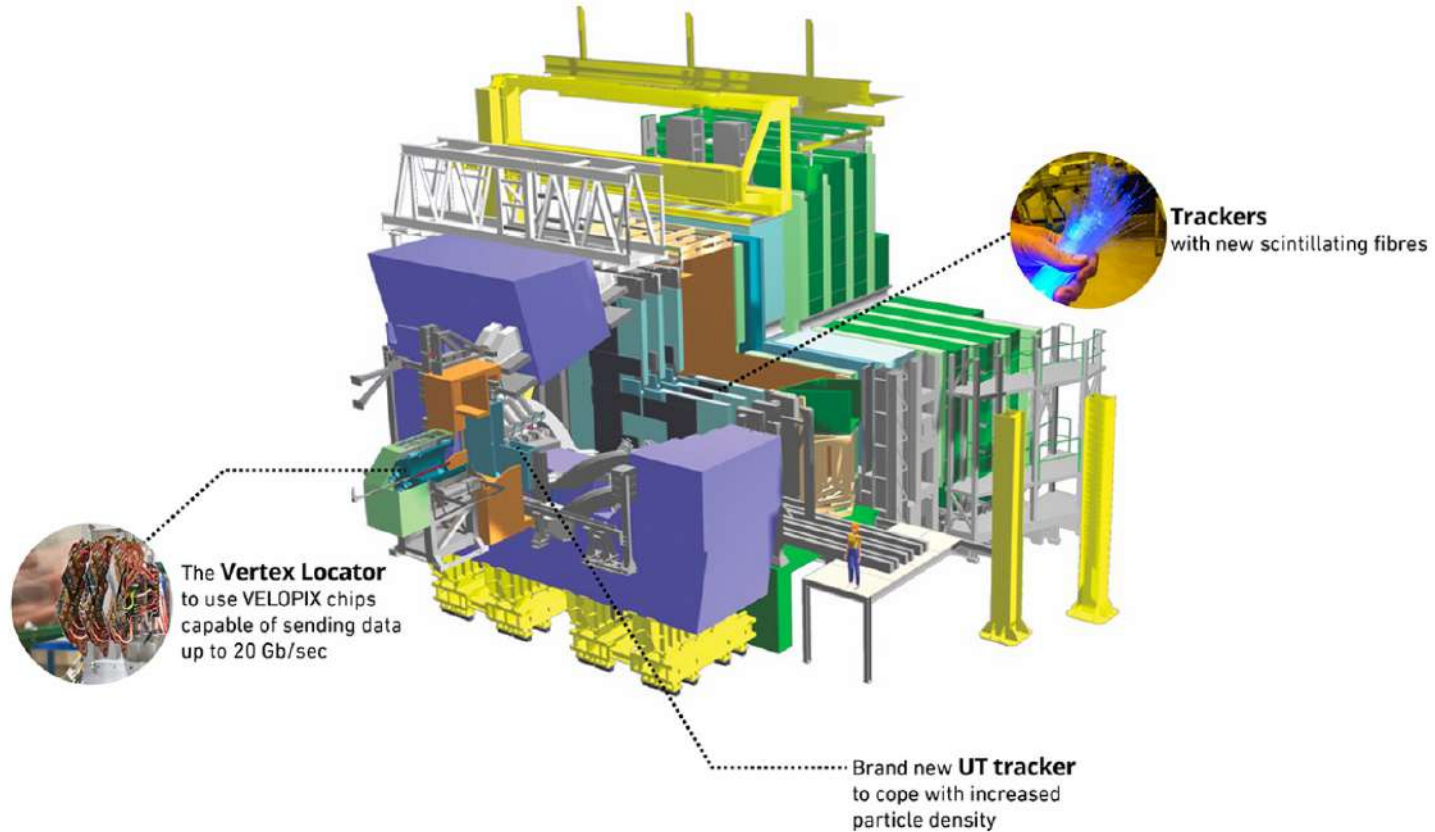
920 Si CMOS pixel sensors
280 ladders of 2-5 sensors each
10 half-disks
2 detection planes each

MFT doses < 400 krad < 6x10¹² 1MeV n_{eq}/cm² 10-fold security factor

-3.6 < η < -2.45
IP region

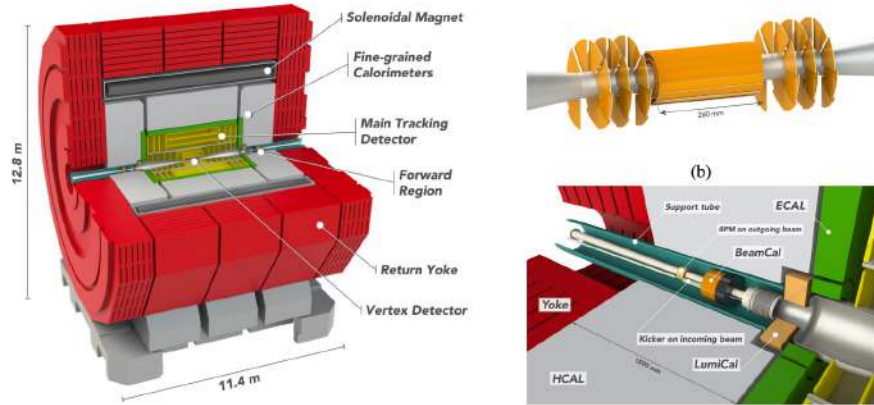
Büyük Hadron Çarpıştırıcısı – LHCb İyileştirmeleri

- VELO (vertex locator) ve UT (upstream tracker): Daha fazla Si piksel/şerit sensörü ve yeni okuma elektroniği.
- Downstream tracker: Mikro-strip Si + sürüklenme tüpleri → sintilatör fiberler + SiPM
- RICH (1 ve 2): Yeni optik ve yeni çok anotlu fototüpler
- ECAL-HCAL: Yeni okuma elektroniği
- Müon sistemi: MWPC'nin bir kısmı GEM ile değiştirilecek, yeni okuma elektroniği.



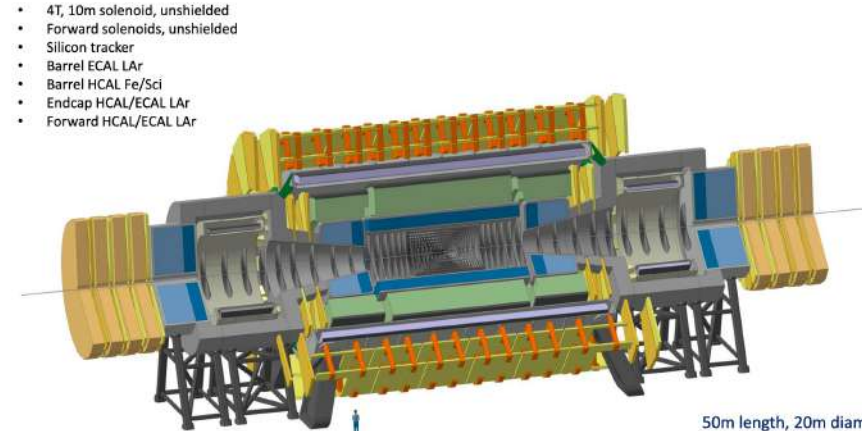
Planlanan Büyük Çaplı Çarpıştırıcı Deneyleri Örnekleri

CLIC



<https://arxiv.org/pdf/1812.07987.pdf>

FCC-hh Reference Detector

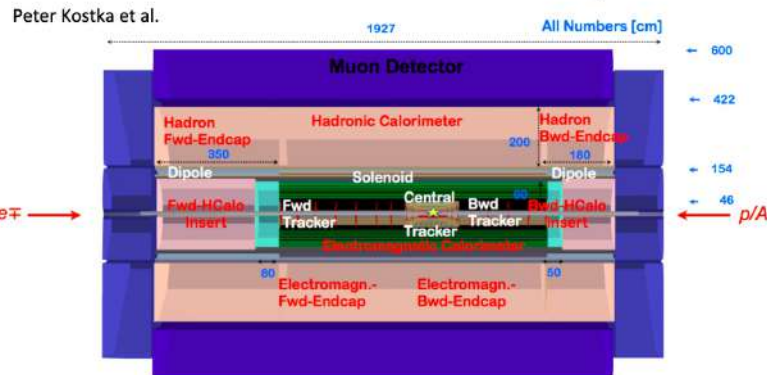


- 4T, 10m solenoid, unshielded
- Forward solenoids, unshielded
- Silicon tracker
- Barrel ECAL LAr
- Barrel HCAL Fe/Sci
- Endcap HCAL/ECAL LAr
- Forward HCAL/ECAL LAr

50m length, 20m diameter
similar to size of ATLAS

https://indico.cern.ch/event/727555/contributions/3461232/attachments/1869213/3075082/fcc_hh_detector_brussels_june_2019_riegler.pdf

FCC-he Detector Study



- Very preliminary FCC detector design: extension of LHeC baseline detector
- Dimensions 20 x 12 m, transverse and longitudinal (fwd) sizes scaled w.r.t. LHeC
- Assumption of similar electron beam steering dipoles as in LHeC baseline design

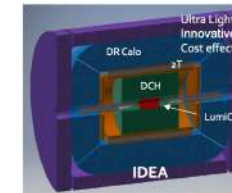
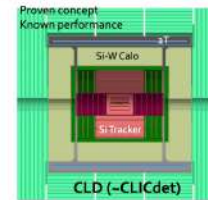
Note added: LHeC → HE-LHC → FCC-he: 1 → 1.4 → 2 scaling the fwd dimension

Alessandro Polini 14.4.

<https://indico.cern.ch/event/438866/contributions/1085066/attachments/1258651/1859171/ehsumRome.pdf>

FCC-ee detector design concepts

Two designs studied so far



- It was demonstrated that detectors satisfying the requirements are feasible
 - Physics performance, invasive MDI, beam backgrounds
- More complete studies, with full simulation, needed
 - Towards at least four detector proposals to be made by ~2026
 - Light, granular, fast, b and c tagging, lepton ID and resolutions, hadron ID
 - Cost effective
 - Satisfy constraints from interaction region layout

Patrick Janot

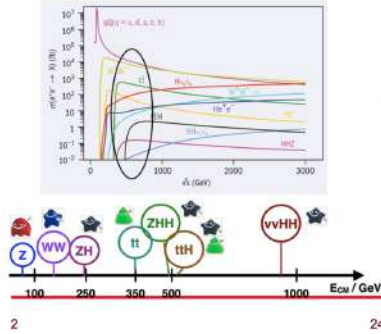
FCC-ee workshop: Theory and Experiment
CERN, 7-11 Jan 2019

8

<https://indico.cern.ch/event/766859/contributions/3252652/attachments/1775501/2887061/FCCeeDiscoveryPotential.pdf>

ILC Introduction

- e+e- Higgs factory is highest priority in HEP
- ILC and CLIC:
 - Two e+e- colliders for 500GeV and beyond: cover tt and Zh (self coupling) production
 - First stage: 250 GeV(ILC) - 380GeV (CLIC)
- Technology is ready



Linear Colliders - Higgs Factories: "Ready"

International Linear Collider

Major R&D completed

Concerns:

- Positron production (>20x SLC) → routinely achieved
- Luminosity and commissioning time:
 - Ground motion, focusing, etc
 - CLIC two-beam scheme is novel
 - Option with klystrons as backup

positron rates [10¹⁰ e⁻/s] required at IP

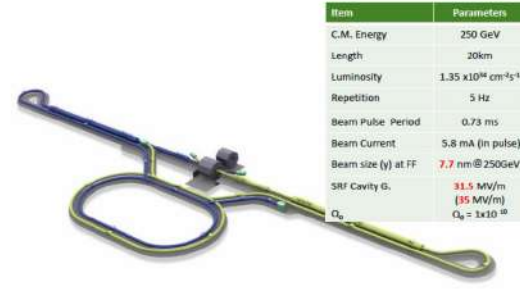
required for top up

achieved

ILC upgrade

12 Aug 03, 2020 V.Shiltsev | ICHEP'20 | Accelerator

V. Shiltsev, ICHEP 2020, <https://indico.cern.ch/event/868940/contributions/3905683/>



Item	Parameters
C.M. Energy	250 GeV
Length	20km
Luminosity	1.35 x 10 ³⁴ cm ⁻² s ⁻¹
Repetition	5 Hz
Beam Pulse Period	0.73 ns
Beam Current	5.8 mA (in pulse)
Beam size (y) at FF	7.7 nm @ 250GeV
SRF Cavity G.	31.5 MV/m (35 MV/m)
Q _o	Q _o = 1x10 ¹⁰

SiD: Silicon Detector

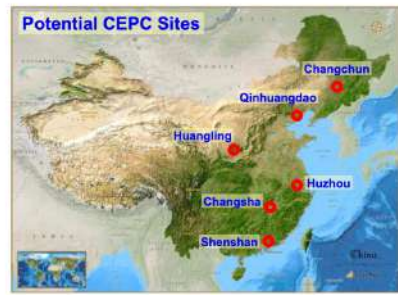
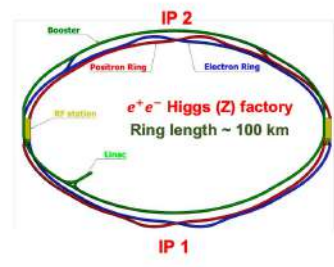
ILD: International Large Detector

International Linear Collider ILC

- Superconducting Cavities, 1.3GHz, 31.5MV/m
- 250GeV CME, upgradeable to 500, 1000 GeV
- L = 1.35E34 cm⁻²s⁻¹ (at initial 250GeV)
- 20km length, in Tohoku / Japan
- Polarisation 80%(e-), 30%(e+)

CEPC The Circular Electron Positron Collider

- The CEPC aims to start operation in 2030's, as a Higgs (Z) factory in China.
- To run at $\sqrt{s} \sim 240$ GeV, above the ZH production threshold for ~1M Higgs; at the Z pole for ~Tera Z, at the W+W pair (possible tt pair) production threshold.
- High precision Higgs, EW measurements, studies of flavor physics & QCD, probes of physics BSM.
- Possible pp collider (SppC) of $\sqrt{s} \sim 50-100$ TeV in the future.



05/24/2021

2

CEPC Conceptual Detector Designs

(Baseline Design) Particle Flow Approach

Magnet (3T/2T)

Yoke + Muon (RPC or μ -RWELL)

LumiCal

PFA HCAL

PFA ECAL

Si Pixel Vertex

SIT TPC SET ETD

FST concept (Full Silicon Tracker)

IDEA concept (also proposed for FCC-ee)

2T Magnet

Preshower (μ -RWELL)

Dual-readout calorimeter

Drift chamber

Yoke + Muon (μ -RWELL)

Si Pixel Vertex

The 4th Concept (To-be-named)

PFA HCAL

Partially Yoke

Magnet (3T/2T)

PID (DC+ToF)

Crystal ECAL (Transverse bar)

Silicon Tracker

05/24/2021

9

Ulusal Dedektör ArGe Çalışmaları Örnekleri

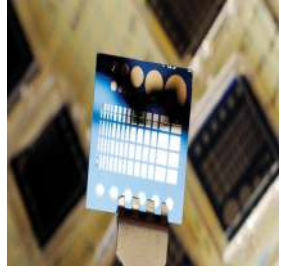
Detaylı bilgi için: Parçacık Hızlandırıcıları ve Algıçları Yerel Altyapı ve Ar-Ge Çalıştayları

2020: <https://indico.cern.ch/event/959878/>

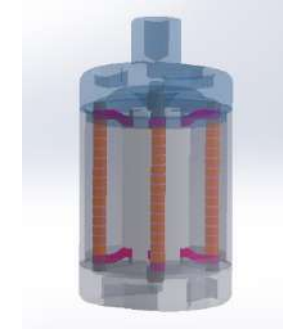
2021: <https://indico.cern.ch/event/1079292/>

2022: <https://indico.cern.ch/event/1201951/>

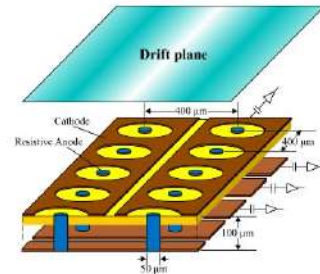
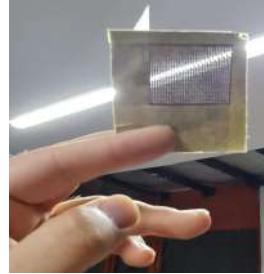
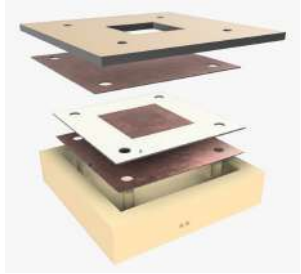
- Yarı iletken Dozimetre (Çip) Teknolojileri (Radiation-sensitive metal-oxide-silicon field-effect transistors (RADFETs))



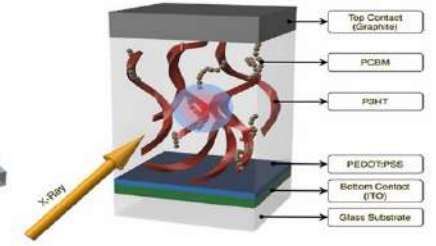
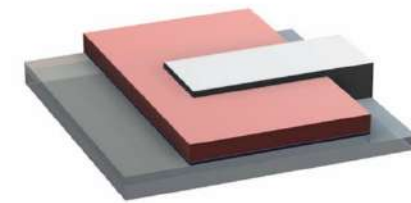
- Alev Dedektörü Teknolojileri



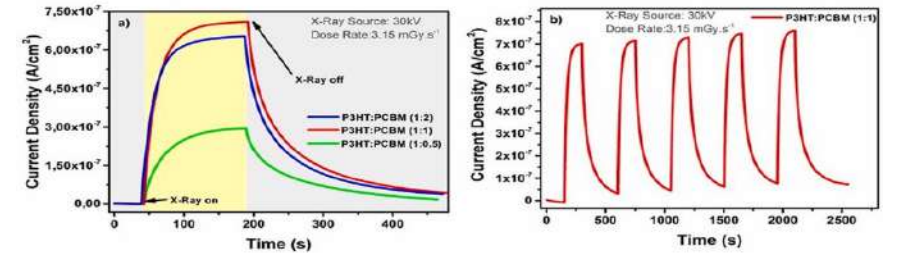
- MPGD Teknolojileri (Gas Electron Multiplier)



- Polimer Tabanlı X-ışını dedektörleri



- PIN Fotodiyot Teknolojileri



Yalçın Kalkan

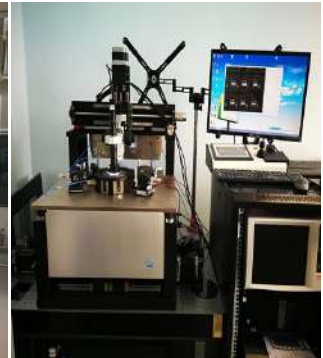
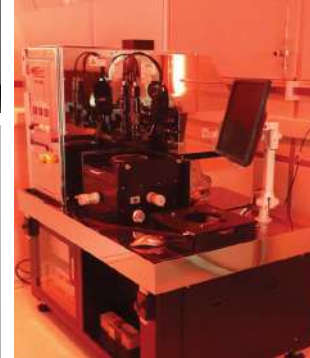
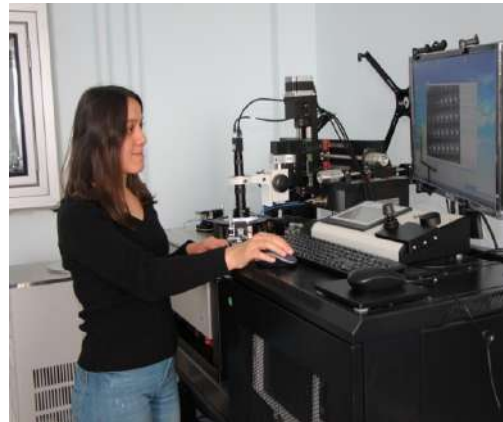


NÜKLEER RADYASYON DEDEKTÖRLERİ UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ



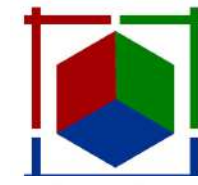
NÜRDAMIN BAZI CİHAZ ALTYAPILARI

- Difüzyon Fırınları (Islak/ Kuru Oksidasyon, Boron, Fosfor Katkılama, Tavlama ve LPCVD)
- Spin Kaplama Sistemi
- Plazma Artırılmış Atomik Katman Kaplama (PEALD) Sistemi
- Farklı Ortamlarda Hızlı Tavlama (RTA) Fırınları
- LPCVD yöntemiyle poly-Si büyütme Fırınları
- Termal/ e-Demeti Buhar Kaplama Sistemi
- RF/DC Saçtırma Sistemi
- Temiz Oda Laboratuvarları (ISO-5 standartlarında)
- Maske Hizalama ve UV litografi Sistemi (1 mikron hassasiyetinde)
- Kontrollü (-1/+10 Atm) Vakum odacığı
- Yonga Kesme Sistemi (5 mikron hassasiyetinde-Dicing Saw)
- Serigrafi Baskı (Screenprint) Sistemi
- Tel Bağlama Sistemi (Wire Bonder)
- Probe İstasyonu (Termal Çarklı, Yarı Otomatik, Keithley 4200-SCS Sistemi ile Bütünleşik)

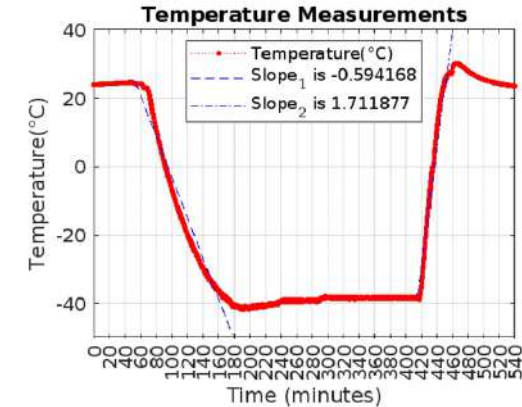
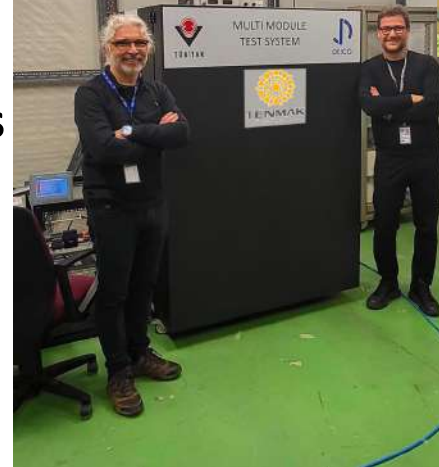
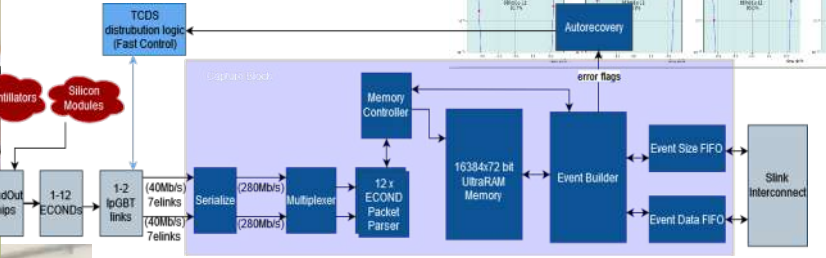
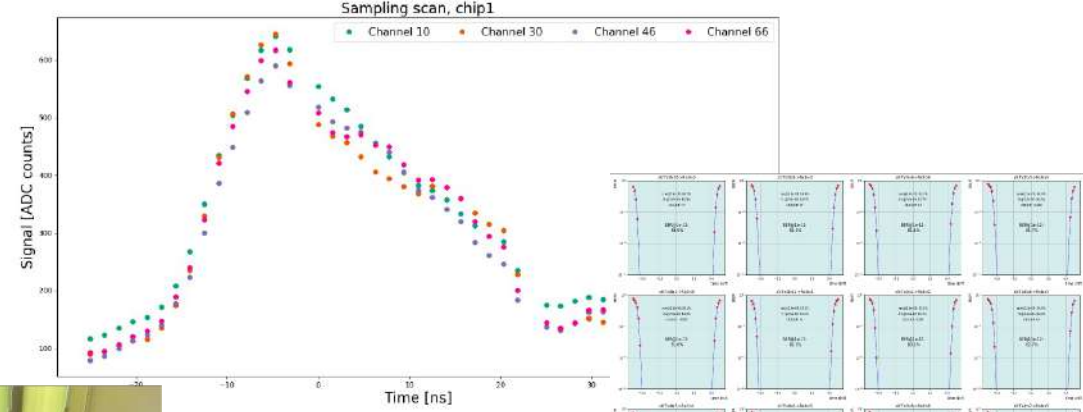


Yalçın Kalkan

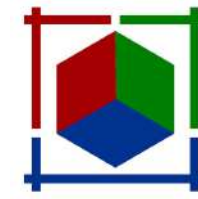
CERN Bağlantılı Dedektör Ar-Ge Çalışmaları



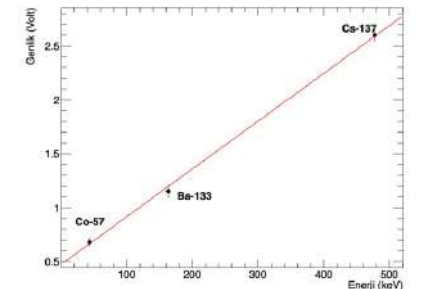
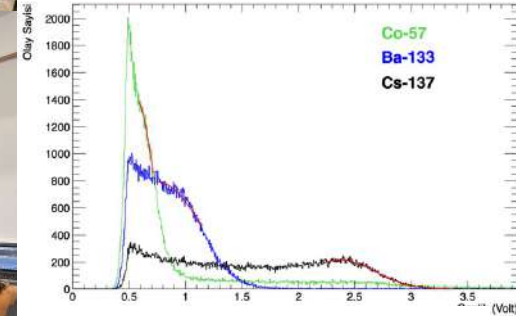
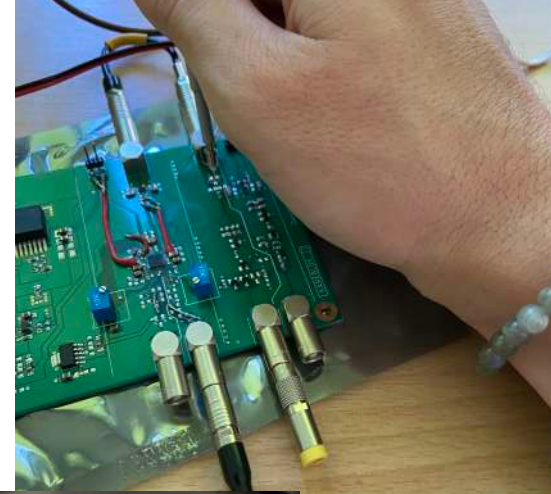
- CMS HGCAL Projesi dahilinde silikon modül test ve geçerlemesi için kullanılacak test sisteminin geliştirilmesi ve prototip test sisteminin Türkiye'de doğrulanması
 - Üzerinde SoC/FPGA bulunan elektronik kart tasarımı ve üretimi
 - Firmware ve yazılım geliştirilmesi
 - Elektronik sistem testleri
 - İklimlendirme sistemi tasarımı ve testleri
- CMS HGCAL Projesi dahilinde gelişmiş telekomünikasyon bilgi işlem mimarisi (ATCA) tabanlı veri akışı ve kontrol sistemi için firmware ve yazılım geliştirilmesi ve testleri
- TENMAK ve TÜBİTAK proje desteği



Ulusal ve Uluslararası Dedektör Ar-Ge Çalışmaları

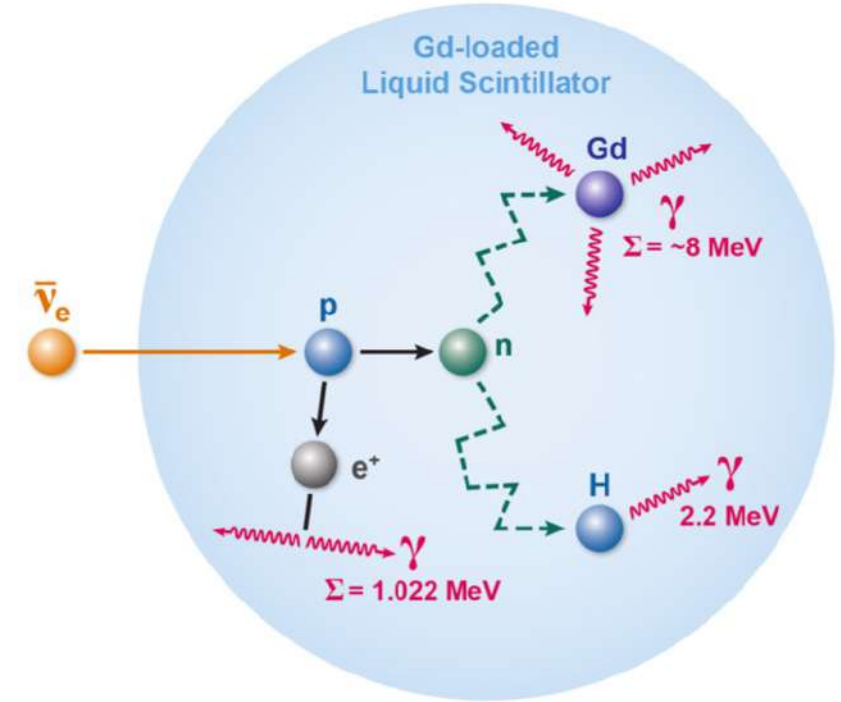


- Türkiye'de üretilen sintilatörlerin karakterizasyon testleri
- Sintilatör tabanlı dedektör sistemleri (sintilatör, okuma devresi ve veri akışı sistemi) geliştirilmesi
 - Tarım, medikal ve parçacık hızlandırıcısı ve dedektörleri uygulama alanları
 - 2 TÜBİTAK ve 1 TÜSEB proje desteği
- Medikal uygulamalar için dedektör sistemi geliştirilmesi
 - 1 TÜBİTAK ve 1 AB EIC Pathfinder proje desteği



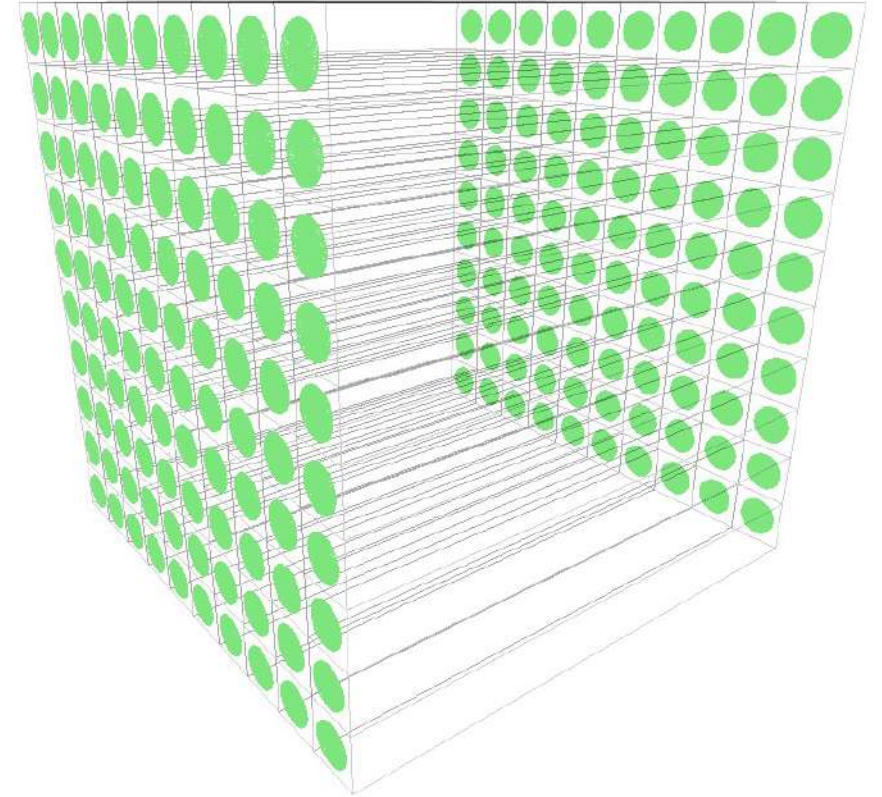
Nükleer Reaktör Nötrinolarının Gadolinyum Katkılı Plastik Sintilatörlü Algıç İle Gözlemlenmesi

- Nükleer reaktörler yoğun nötrino kaynaklarıdır.
- Reaktörde gerçekleşen beta bozunumu süreciyle elektron antinötrinoları üretilir.
- Üretilen antinötrinolar reaktör civarında konumlandırılan bir dedektör sayesinde algılanabilir.
- Dedektöre gelen antinötrinolar ters beta bozunumu etkileşmesi yapar.
- Ters beta bozunumu sonucunda pozitron ve nötron ortaya çıkar.
- Pozitron dedektörde çift yok oluşla hızlıca yok olarak sintilasyona sebep olur, bu olaya hızlı olay (prompt event) denir.
- Nötron bir süre dedektör içerisinde ilerler ve dedektör atomlarıyla etkileşerek enerji kaybeder. Daha sonra, nötron yakalanarak sintilasyona sebep olur, bu olaya gecikmeli olay (delayed event) denir.
- Nötron yakalanma oranını artırmak için dedektör maddesi içine gadolinyum veya lityum gibi maddeler karıştırılır.



Nötrino Algıç Tasarımı

- Geant4 kullanılarak tasarımı yapılan dedektörün özellikleri:
 - Dedektör materyali: % 0.2 gadolinyum katkılı plastik sintilatör.
 - Her iki ucunda PMT bulunan toplam 100 sintilatör modülü
 - Modül boyutları: 10 x 10 x 100 cm³.
 - Her modülün etrafında 20 µm alüminyum kaplama.
 - PMT yapısı: borosilikat cam ve bialkali fotokatot.
 - Fotokatot yarıçapı: 35 mm.
- Sinyal ve arka plan simülasyonları ve makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak algıçın performans hesapları yapılmaktadır.



• Genel Gaz Çalışmaları

- ATLAS'ta 1164 tane RPC Algıci bulunur. ATLAS RPC Gaz Sistemi, tüm bu algıçlara, belirli bir gaz karışımını, belirli bir basınç ve akışta akıtmak için tam performansta çalıştırılmalıdır.
- Genel Gaz Çalışmaları, RPC Gaz Sistemi'ni yüksek performansta çalıştırmak için yapılan çalışmaları kapsar.
- Bu çalışmaların yanı sıra, gelecekte eklenecek RPC'ler için gaz altyapısı oluşturmak da Genel Gaz Çalışmaları kapsamında yapılmaktadır.

• Gaz Kaçakları Onarım Çalışmaları

- ATLAS'ta bulunan RPC'lerin tasarım sürecinde yapılan hatalar nedeniyle, ulaşılması çok güç yerde bulunan bazı bağlantı noktalarında mikroçatlaklar ve kırılmalar meydana gelmektedir.
- Bu çatlaklar ve kırıklar, sisteme verilen gazın kayda değer bir kısmının sistemden çevreye salınmasına neden olmaktadır.
- Hem RPC'lerin istenilen performansta çalışmaları için hem de ATLAS RPC'lerinde kullanılan gazın doğaya CO₂'e oranla 2000 kat zararlı olması nedeniyle bu kaçak sorununun çözümü CERN için kritik öneme sahiptir.

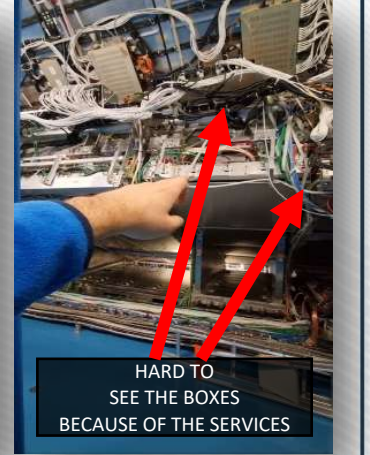
ATLAS RPC Köpük Tekniği

ATLAS RPC Gaz Onarım Çalışmaları kapsamında, ulaşılması çok güç noktalardaki bağlantı elemanlarındaki kaçağı uzun süreli engelleyecek bir yöntem geliştirdik.

Geçtiğimiz Aralık, Ocak, Şubat ve Mart aylarında, bu tekniği ATLAS Algıci'nda uyguladık.

ATLAS RPC Köpük Tekniği Takımı

Serkant Çetin



Aktif zırhlı gama sondası geliştirilmesi (TÜBİTAK-121F291)

İSÜ İSTİNYE
ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL

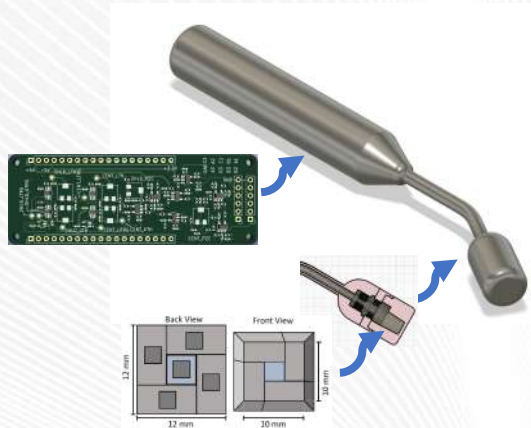
YTU

İTÜ

Disiplinler arası çalışma

Sağlık teknolojilerinde yerleşme hedefli özgün tasarım

Mekanik ve elektronik tasarım/
prototipleme



Serkant Çetin



- Fermilab'daki **Muon g-2 deneyinde** ahenkli betatron salınımlarının RF elektrik alanıyla bastırılması üzerine bir sistem geliştirilmesi ve deneye entegre edilmesi
- **Proton EDM deneyi** için sistematik hataların incelenip giderilmesi üzerine çalışmalar
- **Proton EDM deneyi** için SQUID tabanlı bir demet konum monitörü geliştirilmesi

Sintilatör Sentezi

- Çeşitli türlerde plastik sintilatör sentezi ve karakterizasyonu çalışmaları:
 - 10000 foton/MeV (EJ-204 10400 foton/MeV)
 - 500 nm de %89.95 geçirgenlik (EJ-204 için %91.03)
 - Gadolinyum katkılı, nanoparçacık katkılı, PSD özellikli
- Sıvı sintilatör üretimi ve karakterizasyonu çalışmaları

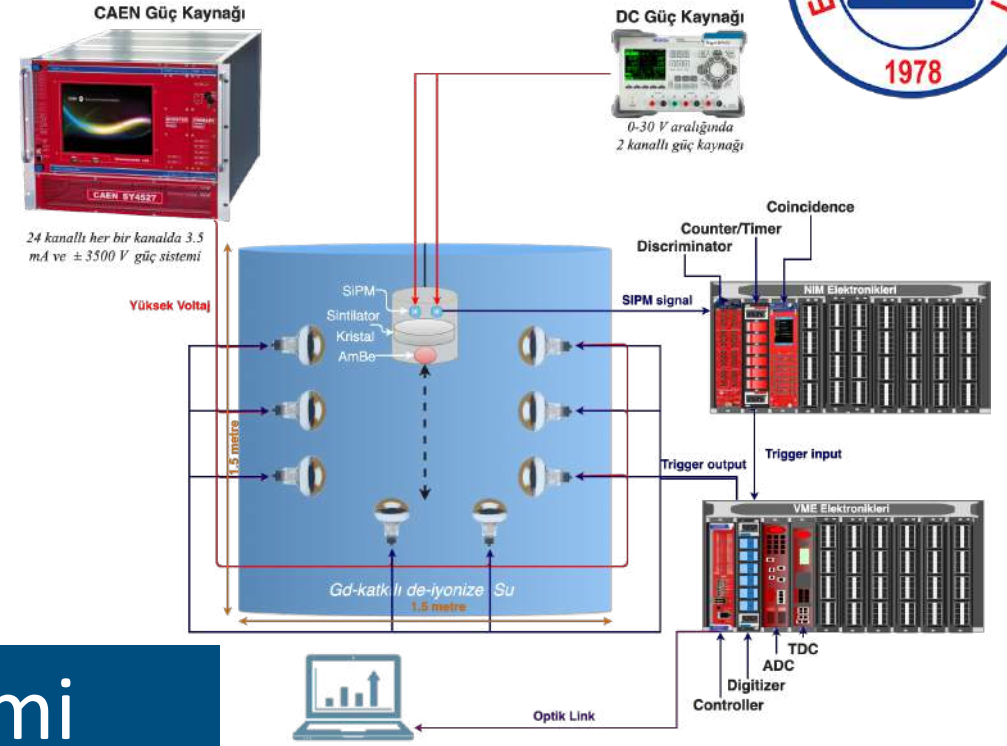
İSÜ İSTİNYE
ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL

Türkiye Reaktör Nötrino Deneyleri (RNET)

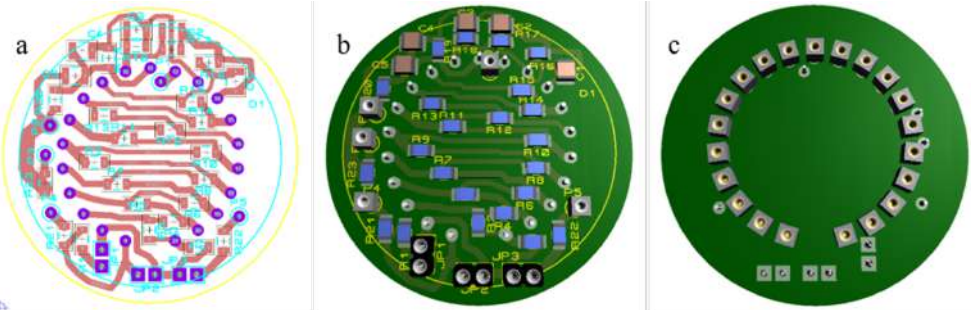


Bu projenin amacı:

- Taşınabilir 2.5 tonluk bir Gadolinyum (Gd) yüklü su Çerenkov dedektörü tasarlamak.
- 3.7 MBq nominal aktiviteli AmBe nötron kaynağını kullanarak simetrik nötron modeli ölçümlerini yapmak.
- Nötron etkileşim modeli ile nötrino-madde etkileşimlerinin daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmak (özellikle nötrino ve antinötrino etkileşim farklarını anlamaya yardımcı olmak).
- İlerleyen yıllarda da bu dedektörün Türkiye'nin ilk reaktör nötrino dedektörü olarak veri alması amaçlanmaktadır.



Elektronik Kartların Dizaynı ve Üretimi



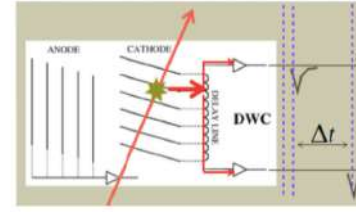
- Parçacık dedektörleri için uzaktan kontrol edilebilen dinamik elektronik kartlar geliştirme çalışmalarımız devam ediyor.
- Abdullah Gül Üniversitesi (AGÜ) ECE Mühendislik Bölümü Doç. Günyaz Ablay ve grubu ile bu konuda bir çalışma başlattık.
- AGÜ ECE Mühendislik doktora öğrencisi olan Nejdet Paran grubumuzla birlikte çalışmakta ve doktora eğitimine devam etmektedir.
- Hamamatsu R7761 ve R7525 PMT'ler için çalışma başlatıldı amacımız hem tek hemde aynı anda çok PMT'ye güç sağlayan ve uzaktan kontrolü sağlanabilen bir kart dizaynı ve üretimi.

ÖLÇÜM KUTUSU TANI İSTASYONU (MBOX)

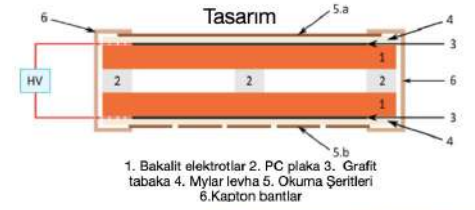
- Bu tanı istasyonu demet geçişine izin veren düşük enerjili demet aktarım (DEDA) mıknatısları arasına yerleştirilecektir.
- Demet bilgisine ihtiyaç duyulduğunda ilişkili algıç ölçüm pozisyonuna hareket ettirilecek ve tamamen otomatik yolla veri elde edilecektir.
- İstasyona yerleştirilecek algıçlar:
 - demeti oluşturan parçacıkları içinde biriktirerek akım ölçmeyi sağlayan **Faraday bardağı**
 - demet profili ölçmek için bir **parıldak**
 - demet yayını ölçmek için bir delikli metal plaka, **tuzluk**



- ölçüm kutusu tüm gövde
- ölçüm kutusu dış gövde
- pnömatik silindirler ve uçlarına monte edilmiş parıldak, tuzluk, faraday kap



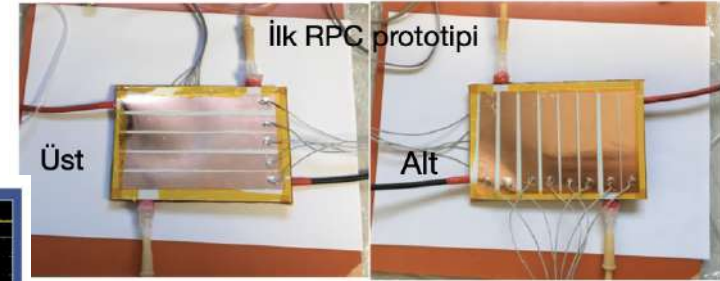
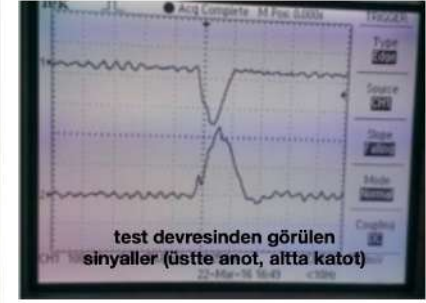
RPC PROTOTİP



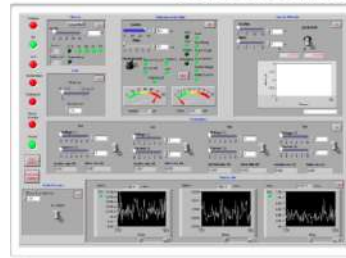
Gas Deşarjı



GECİKMELİ TEL ODASI (GETO)

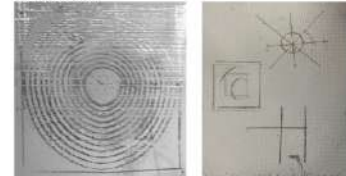


Demet kontrolü

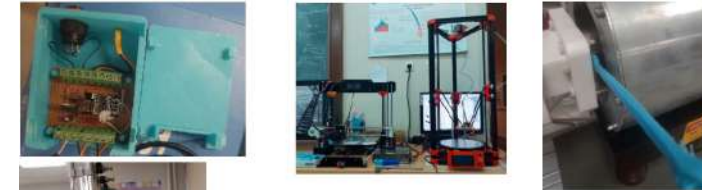


İyi bir demet kontrolü için donanım ve yazılım geliştirildi

- PLC
- LabView
- uController (arduino)



Uygulama ebeam lithography



3D printer ile ara eleman üretimi

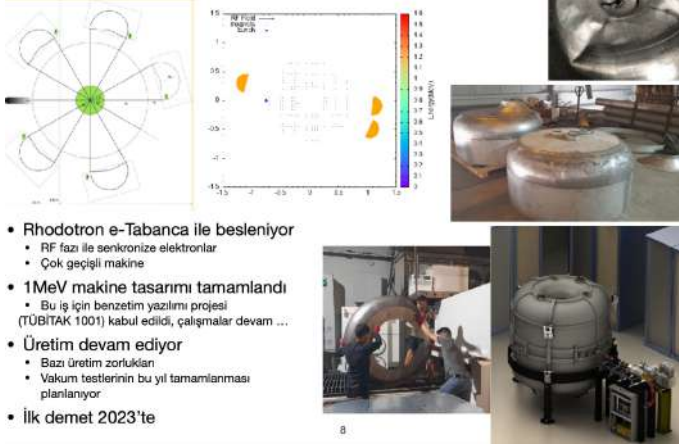


Aytül Adıgüzel, Emre Çelebi

KAHVELab

Boğaziçi University Kandilli Detector, Accelerator and Instrumentation Laboratory

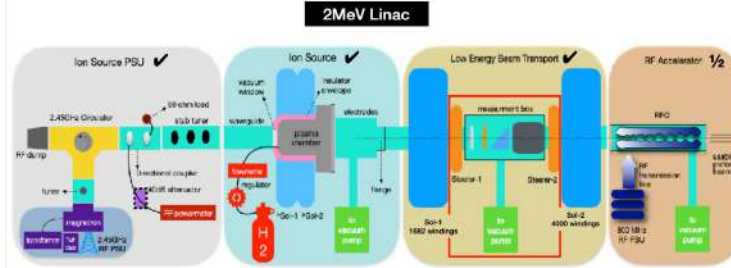
1MeV Rhodotron



- Rhodotron e-Tabanca ile beseniyor
 - RF fazı ile senkronize elektronlar
 - Çok geçişli makine
- 1MeV makine tasarımı tamamlandı
 - Bu iş için benzetim yazılımı projesi (TÜBİTAK 1001) kabul edildi, çalışmalar devam ...
- Üretim devam ediyor
 - Bazı üretim zorlukları
 - Vakum testlerinin bu yıl tamamlanması planlanıyor
- İlk demet 2023'te

PROTON TESTBEAM at KANDİLLİ (PTAK)

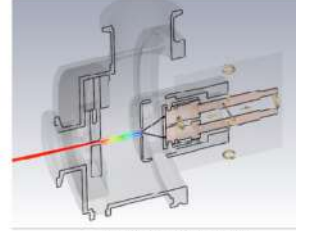
800 MHz frekanslı bir RFQ, 1 mA, 20 keV enerjili protonları 2 MeV'ye hızlandıracak.



- Proje Hedefleri:
 - Gelecek hızlandırıcı fizikçilerini ve mühendislerini yetiştirmek
 - Çalıştırma, kontrol etme bilgisini toplamak
 - Bileşenler yerli olarak tasarlandı ve Türkiye'deki firmalarda üretildi.
 - İkinci amaç PIXE gibi parçacık hızlandırıcı teknolojileri test düzeneklerini kurmak

50 keV E-Tabanca

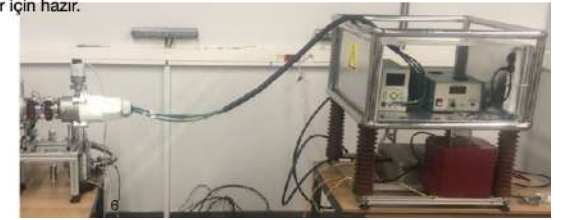
- Yerli tasarım & üretim
 - Sıçrama tahtası
- Bir çok fikir test edildi
 - W, W(Th), LaB6, Disp katod
 - Al₂O₃, PEEK, Teflon yalıtkanlar
 - HV güverte yazılımı, koruma
 - Uzaktan kontrol & görüntüleme BT & WiFi
 - Mıknatıs üretimi: yönlendirici & odaklayıcı
 - Otomatik demet kontrolü: PID kontrol
 - PLC, Labview
 - ...
- ✓ Kararlı çalıştırma
 - Birçok topraklama çalışması
 - Diğer projeler için hazır.



CST benzetimi



Güç Kaynağı & Vakum Rack



RF - FM band

- Q ve Pwall hesaplamak için 2D (SFISH) & 3D (CST) benzetimleri f=107.5 MHz, Q ~ (60k) 45k, Tfill ~ 0.120ms
 - 50kW toplam güç için benzetimler
- Ortak RF kaynağı
 - 2 RF kaynağını birleştirmek için
- Durum
 - Tüm PSU var test edildi
 - koaksiyel iletim hattı kullanılacak
 - RF signal üretici ve preamplifier test edildi
 - Uzaktan kontrol test edildi
 - İyi bir RF yük ihtiyacı var
- Tasarım sonlandırılıyor
 - bağdaştıncıların tasarımları kontrol ediliyor
 - multipacting etkileri çalışılıyor



23

PTAK Durumu & Planlar

- ★ IS + LEBT kuruldu, sistem devreye alınıyor
 - 2.45 GHz dolaştırıcı eklendi, PMIS kullanılıyor
 - Demet ölçüm kutusu tamamen otomatikleştirilmiş durumda
- ★ RFQ üretiliyor
 - Cu module-0 üretildi, test edildi.
 - OFE-CU module 1 & 2 üretimine başlandı
 - kurulum 2023 de
 - Vakum, RF tavlama 2023 Q2
 - RF PSU ların durumuna göre ilk demet 2023 Q4



21

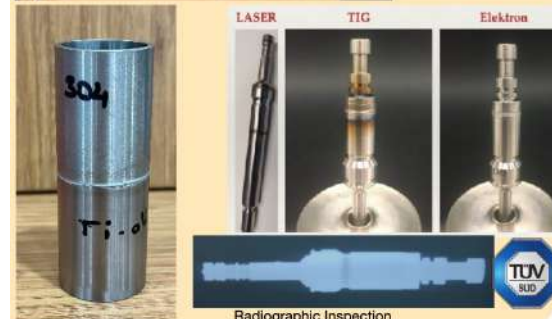
e-Tabanca uygulamaları

EDKaynak



50 kV 40 mA
Φ 100 x 200 mm
10⁻⁷ mbar
2 dof
< mm spot size

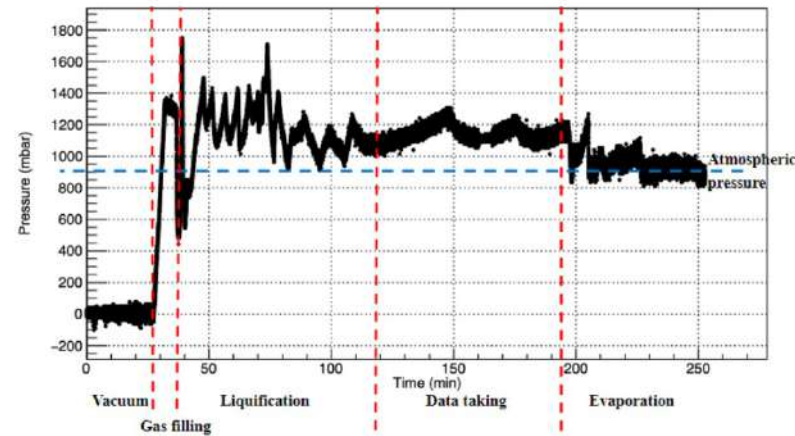
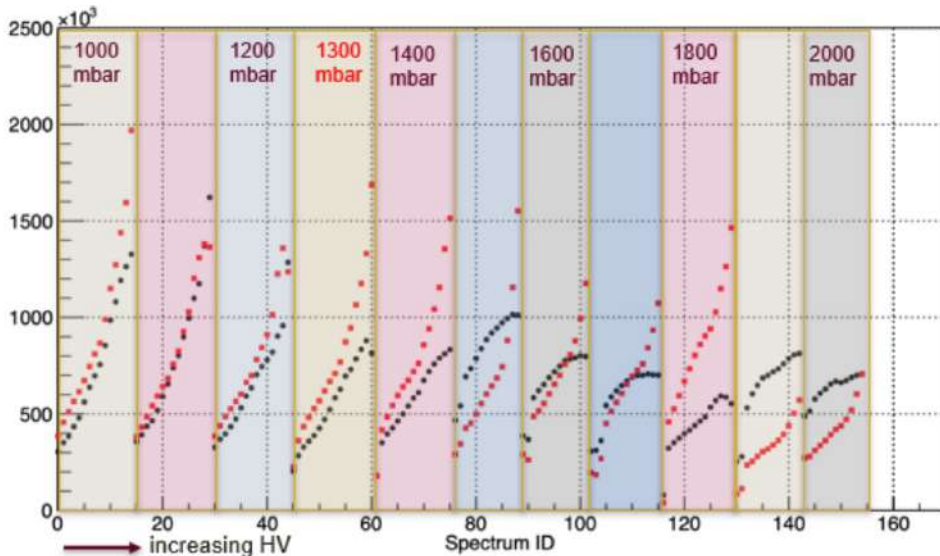
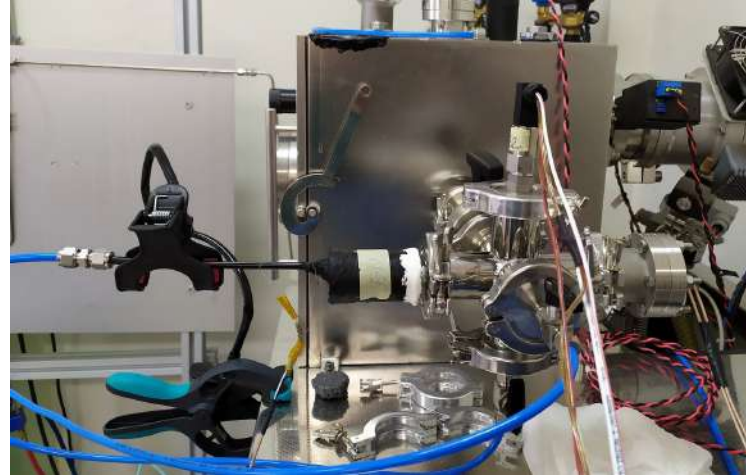
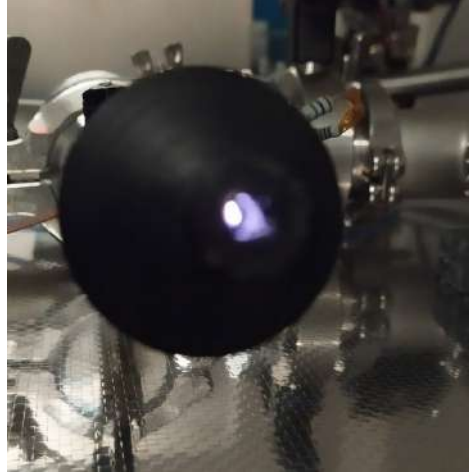
EDSertleştirme



7

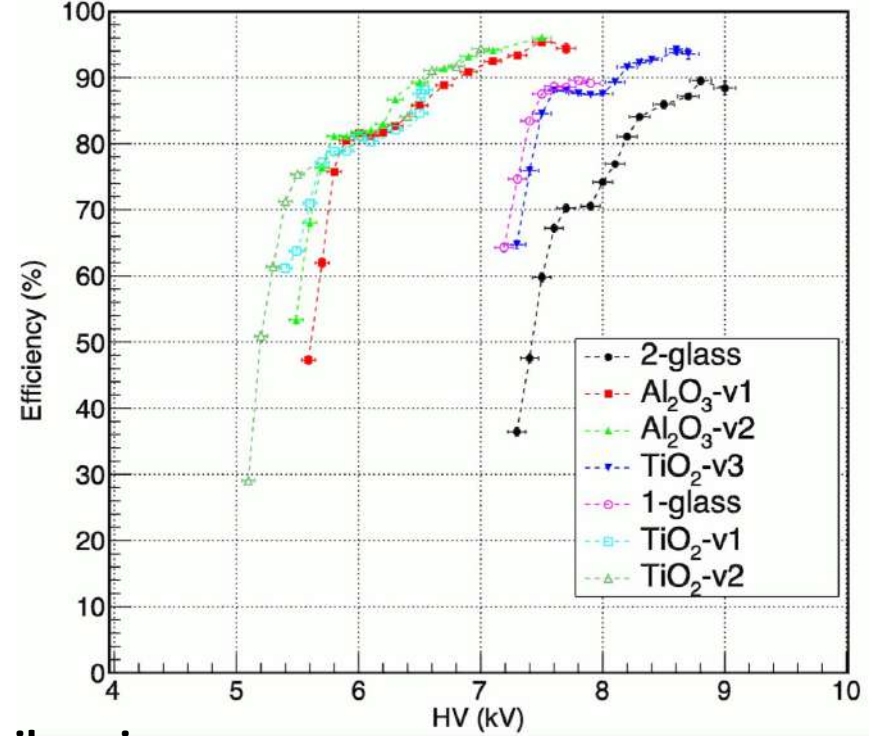
15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV)

Sıvı argon foton dedektörlerinin kalibrasyonları ve kalite kontrolleri için argon ışık kaynağı geliştirilmesi, kryojenik testler, vakum/kryojenik enstrümantasyon geliştirilmesi.



15. ULUSAL PARÇACIK HIZLANDIRICILARI VE DEDEKTÖRLERİ YAZ OKULU (UPHDYO-XV)

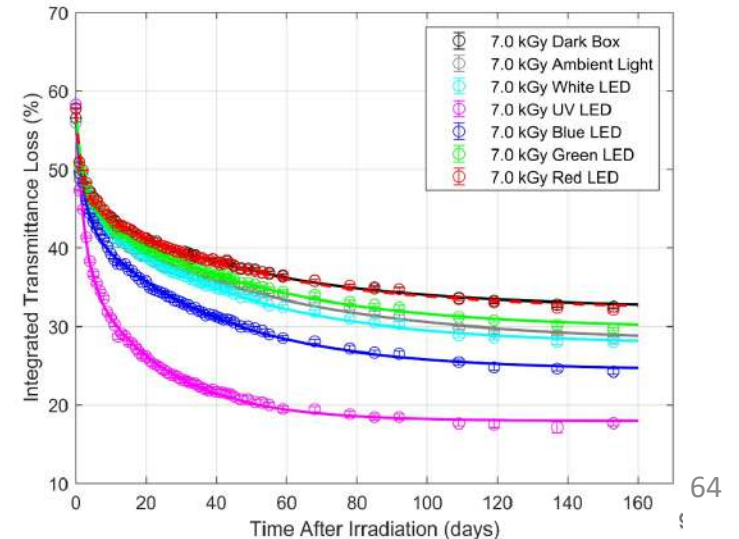
Hibrit RPC'ler geliştirilmesi: 1 camlı RPC'nin anot yüzeyini, ikincil elektron çoklama yeteneği yüksek malzemelerle (Al_2O_3 ve TiO_2 gibi) kaplayarak, elektron çoklamasını gaz katmanından katı hal yüzeyine kaydırmak, RPC gazlarında yakın gelecekte yaşanacak problemleri aşmak için alternatif gazlara ve çalışma koşullarına olanak sağlayacaktır. Hibrit RPC'lerin ilk örnekleri üretilmiş ve Fermilab'da test edilmiştir. İkincil elektron çoklama prensibi doğrulanmıştır.



2-glass RPC
1-glass RPC
500 nm Al_2O_3 (v1)
350 nm Al_2O_3 (v2)
1 mg/cm² TiO_2 (v1)
0.5 mg/cm² TiO_2 (v2)
0.15 mg/cm² TiO_2 (v3)

Optik malzemelerdeki radyasyon hasarının LED uyarımı ile iyileştirilmesi:

- Radyasyon hasarını LED uyarımı ile iyileştirme uygulaması basit bir tekniktir, yüksek radyasyon ortamlarında çalışan radyasyon ve parçacık detektörlerinin optik aktif ortamı için uygulanabilir.
- Daha kısa uyarım dalgaboyu, daha hızlı iyileşme ve daha düşük kalıcı hasar ile sonuçlanır.
- Uyarım dalgaboyu için 500 nm civarında bir sınır vardır, daha uzun dalgaboylarının etkisi neredeyse yoktur.
- Değişen toplam doz ve örnek kalınlığı gibi diğer ışınlama senaryolarının iyileşme özellikleri, mevcut sonuçlar kullanılarak tahmin edilebilir.
- Sonraki adımlar, daha kısa UV aralığında uyarım dalgaboyu kullanımına yönelik olmalıdır.
- Gelecek planlar, sintilatörlerin LED uyarımlı iyileşme özelliklerinin araştırılmasını içermektedir.



Özet

- Parçacık dedektörlerinin kullanım alanları yüksek enerji fiziği deneyleri ile başlayıp bilimin ve günlük hayatın önemli noktalarına ulaşmaktadır. Uygulama alanları listesi oldukça uzundur ve bu derste özet olarak sunulmuştur.
- Dedektör ArGe çalışmaları gerçekleştirmek, bu alanların ilerleme yönlerini ve gelecek problemlerini dikkatlice öngörmeyi; ArGe faaliyetlerini gerçekleştirebilecek fizik, elektronik, mekanik ve bilgi işlem birikimini elde bulundurmayı; ve faaliyetleri destekleyecek güçlü fonlama mekanizmaları gerektirir.