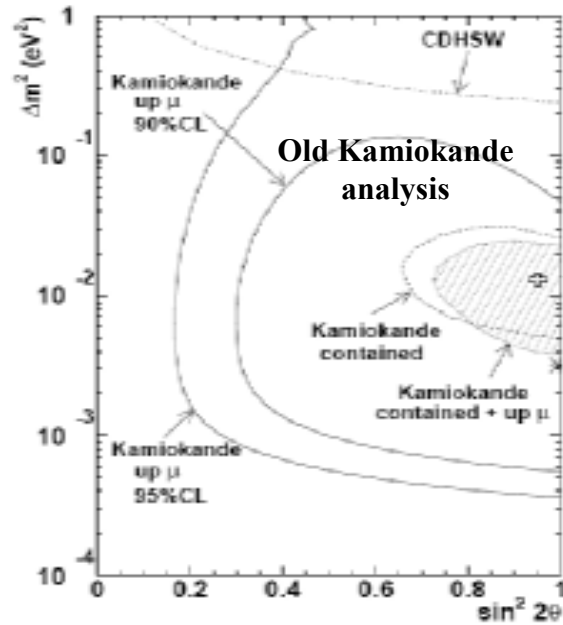
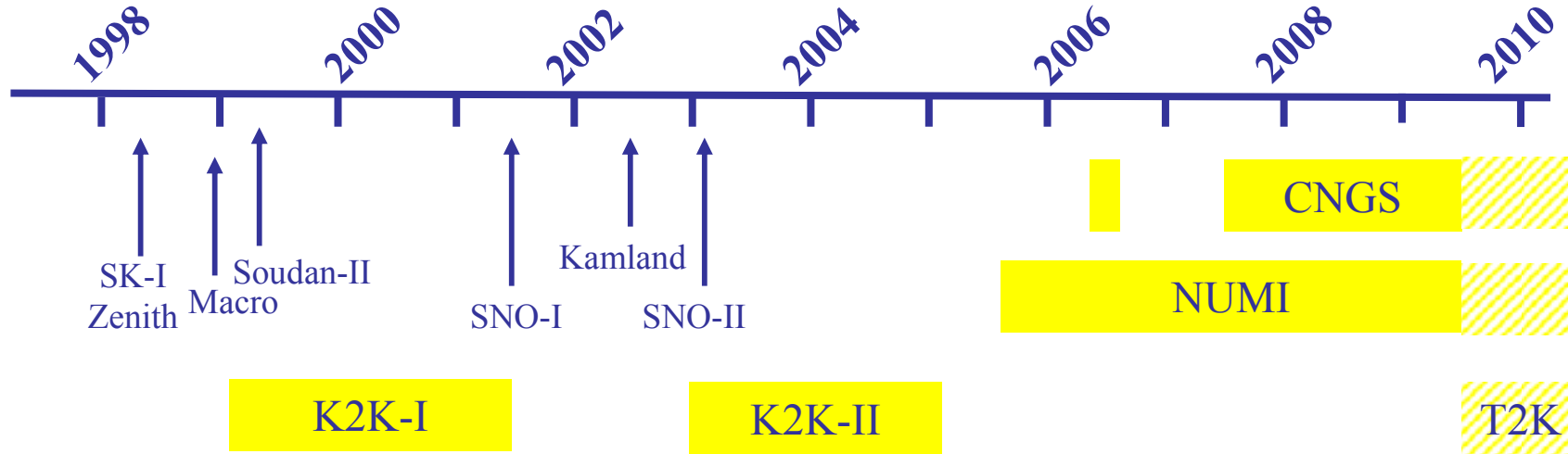




OPERA DENEYİ: ilk sonuçlar

***Murat Güler
ODTÜ***

1998-2003 döneminden sonraki durum

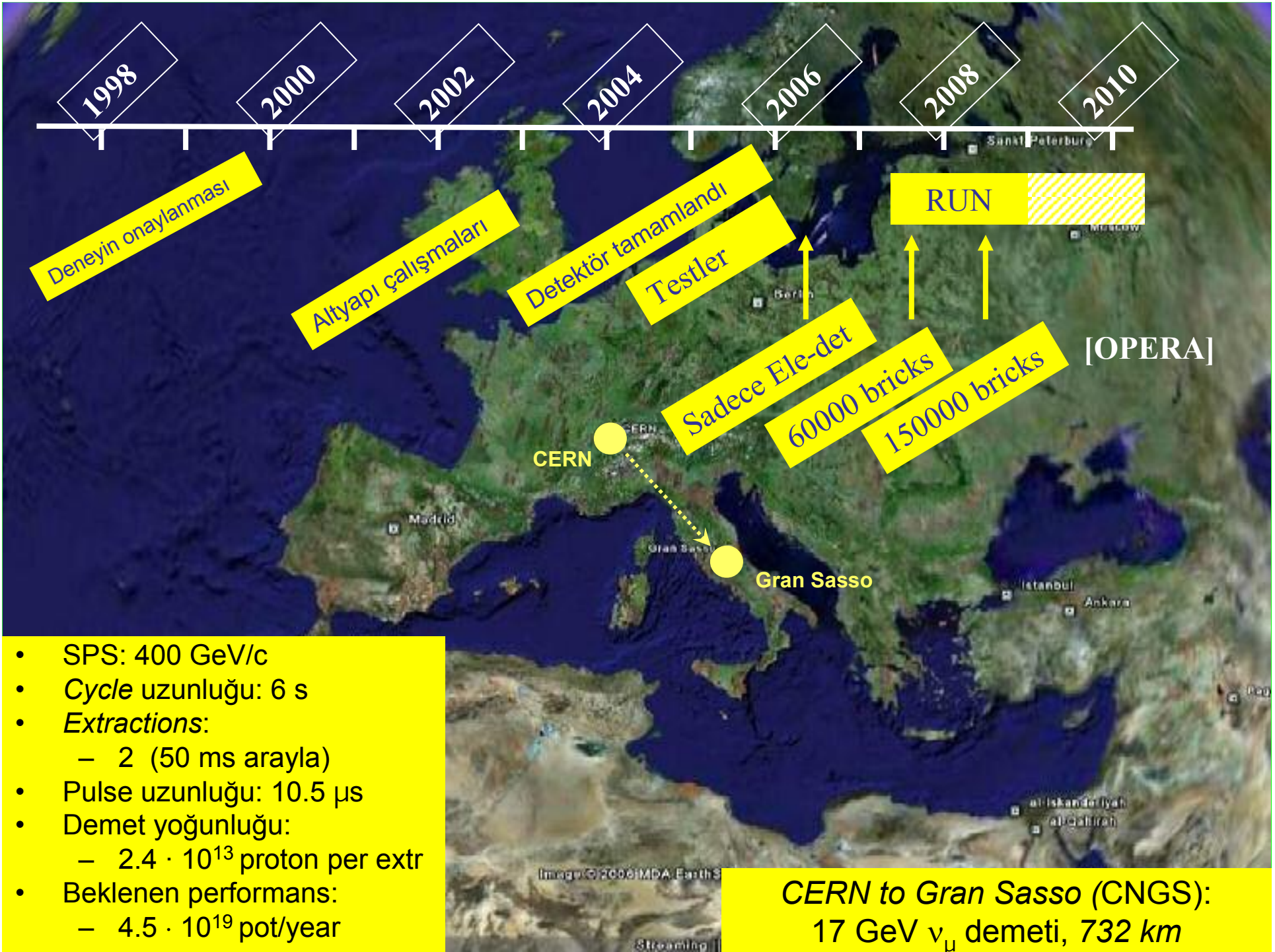


“long baseline” deneyleri için ideal bölge

Mevcut teknoloji ile ulaşmak mümkün değil

Fakat “appearance” deneyi yapmak zor!!

- Solar nötrino, $\nu_e \rightarrow \nu_\mu$ salınımlarını μ CC etkileşimleri yoluyla direkt olarak gözlemlemek mümkün değil
 - Kinematik *threshold* problemi
- Atmosferik skalada ν_μ kaynağı yeterli
 - Fakat $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ salınımları *suppress* edilmiş durumda (“ θ_{13} ” açısı küçük). Dolayısıyla geriye $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ salınımlarına bakmak kalıyor.
- Olay bazında tau aramak (*appearance*) kolay değil
 - Yüksek enerjili nötrino hüzmesi gerekmekte
 - Yüksek çözünürlüklü ağır (kton mertebesinde) detektöre ihtiyaç var.



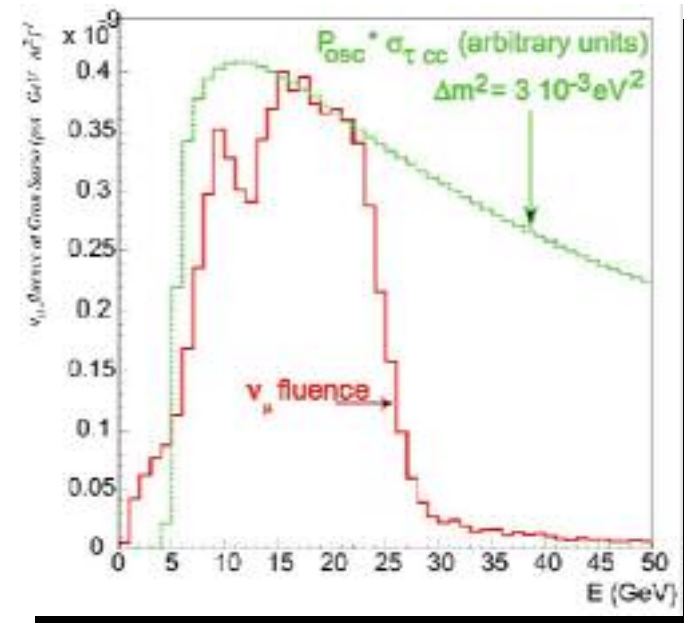
CNGS Nötrino Demeti

- Nötrino demeti, mevcut atmosferik salınım parametrelerine göz önüne alınarak optimize edildi

$$\Delta m_{23}^2 = (2.43 \pm 0.13) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$$

$$\sin^2 2\theta_{23} = 1.0$$

$\langle E_{\nu\mu} \rangle$	17 GeV
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_\mu$	0.87%
$\bar{\nu}_\mu / \nu_\mu$	2.1%
ν_T prompt	negligible
p.o.t./year	4.5×10^{19}
ν_μ CC/kton/year	~2900
ν_T CC/kton/year	~16



OPERA deneyi

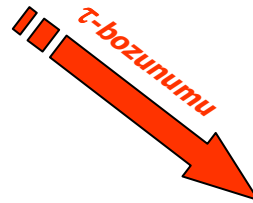


Yöntem: ν_τ bulunması

- Amaç: ν_τ ν_μ salınımlarını direkt gözlemlemek



- Detektör konsepti



$\mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu$	17.7%
$h^- \nu_\tau$ nötral	48.6%
$e^- \nu_\tau \bar{\nu}_e$	17.8%
$h^+ h^- \nu_\tau$ nötral	15.2%

- Mikrometrik pozisyon çözünürlüğü
- Ağır Kütle

- . Emülsiyon
- . Kurşun hedef



ECC

- Nötrino etkileşimlerinin *Trigger* edilmesi
- Müyonun momentumunun ve yükünün ölçümü

- . *Target Tracker*
- . *Spectrometer*



**Elektronik
Detektör**

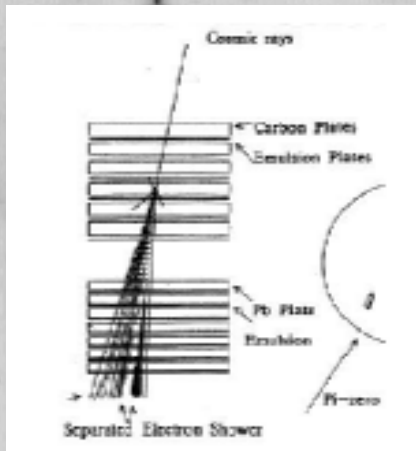
Hibrit-sistem

Emülsiyonun tarihçesi

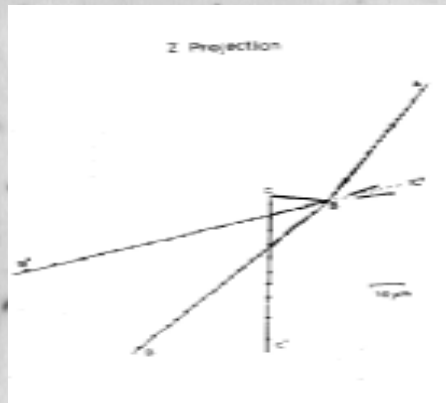
➤ 1947: pionun keşfi $\pi \rightarrow \mu \nu_\mu$ ➔



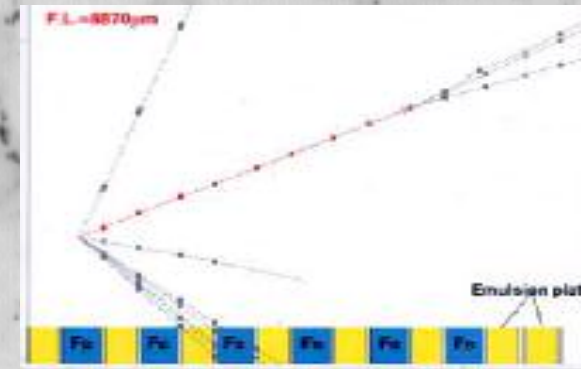
➤ 1950's: Kozmik ışın deneyleri



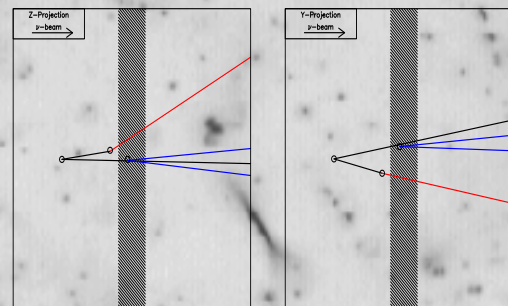
➤ 1971: "X- parçacığının" keşfi



➤ 2000: (DONUT) ν_τ keşfi

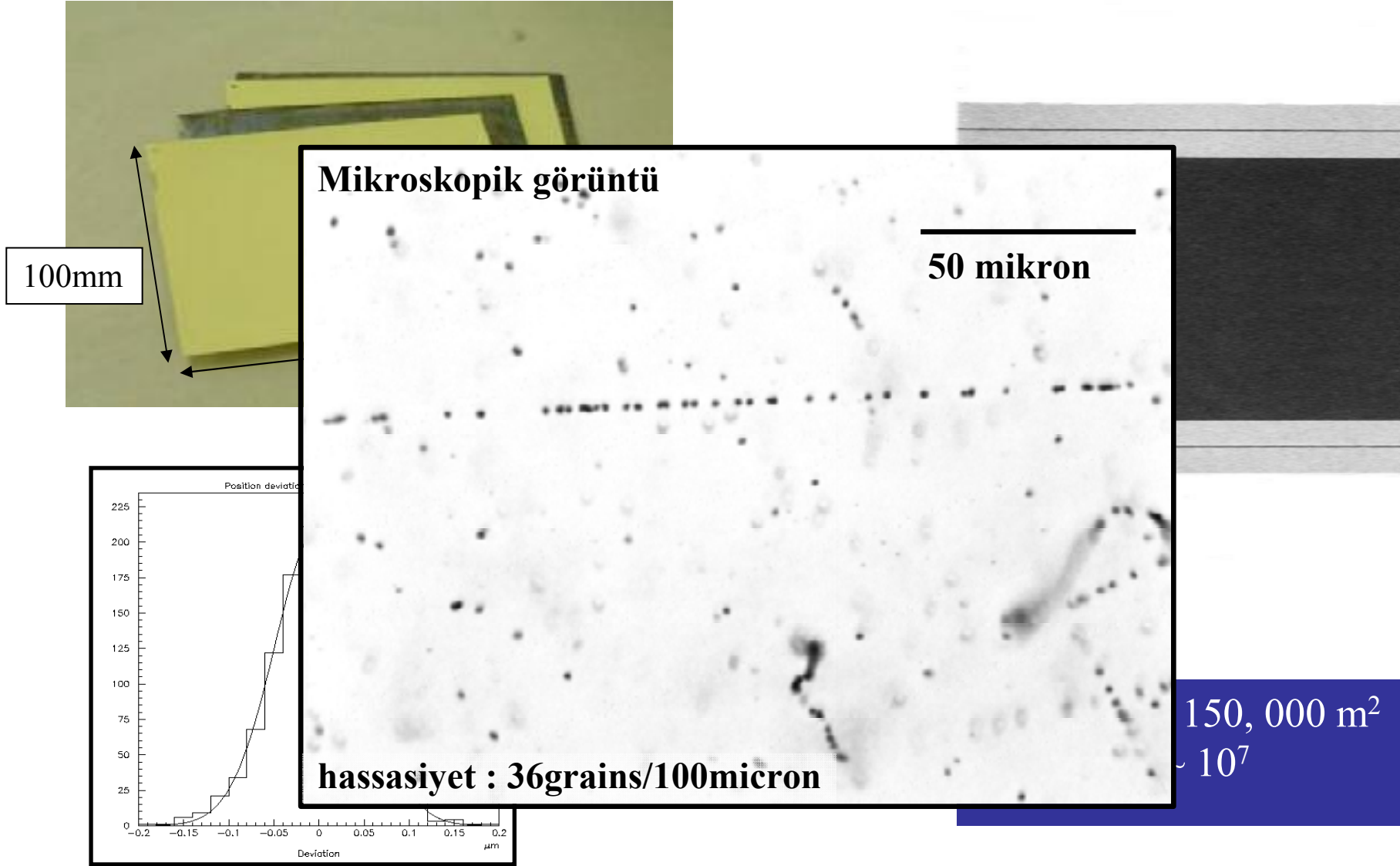


➤ 2007: (CHORUS) "Associated charm" üretimi



➤ OPERA: $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ salınımları

OPERA Emülsiyonu



Refreshing

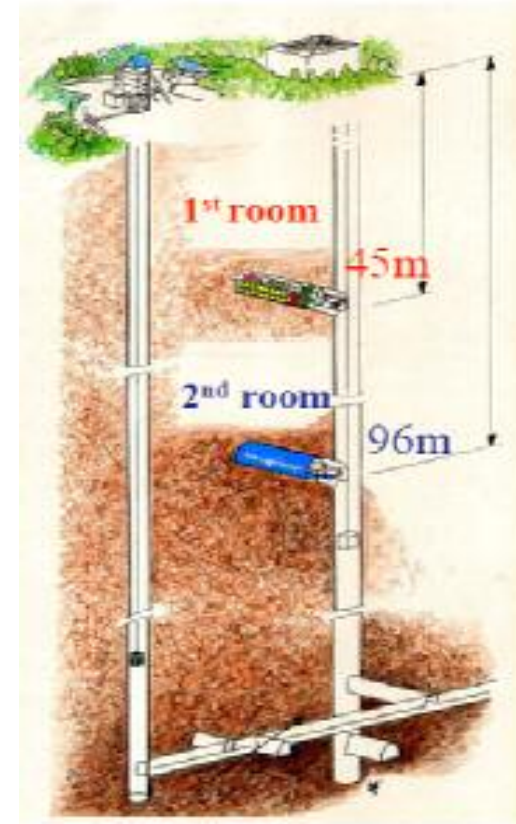
Gran Sasso *Refreshing* ünitesi



Japon, Rus ve Türkiye grupları sorumlu

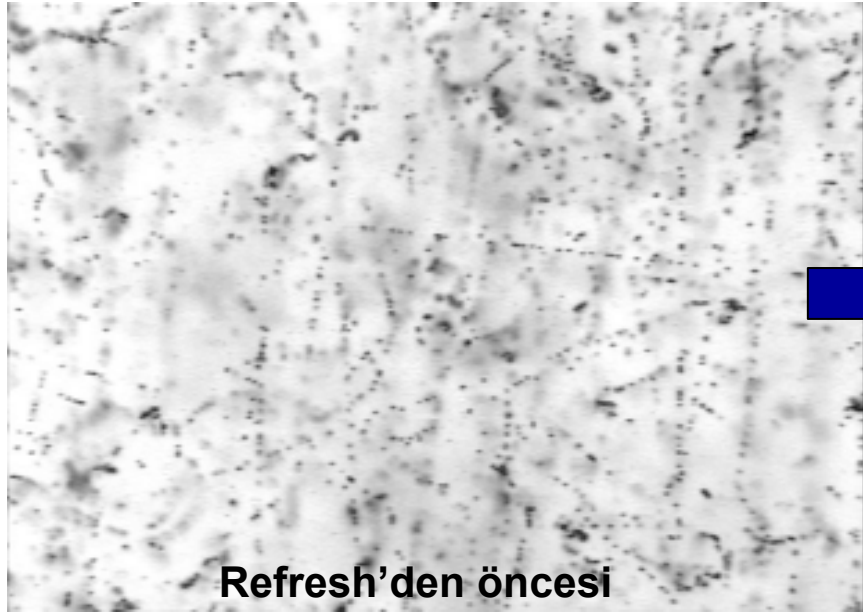
9.3×10^6 film *refresh* edilip GS gönderildi.

Tono Mine *refreshing* ünitesi

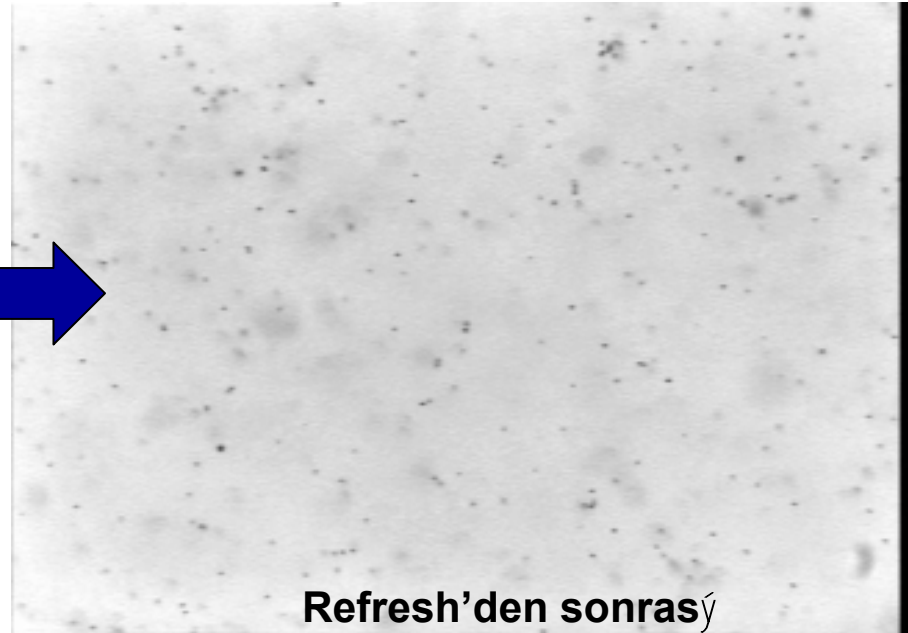


Refreshing

➤ $T=30.$, RH .95% 3 gün



Refresh'den öncesi
B.G. > 30 iz / mm²



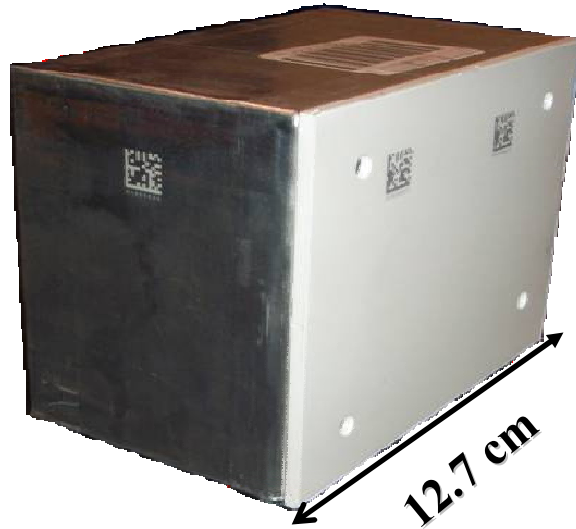
Refresh'den sonrası
B.G. < 1 iz/mm²

➤ Kozmik izler ~98. verimlilikle silinebilmekte.

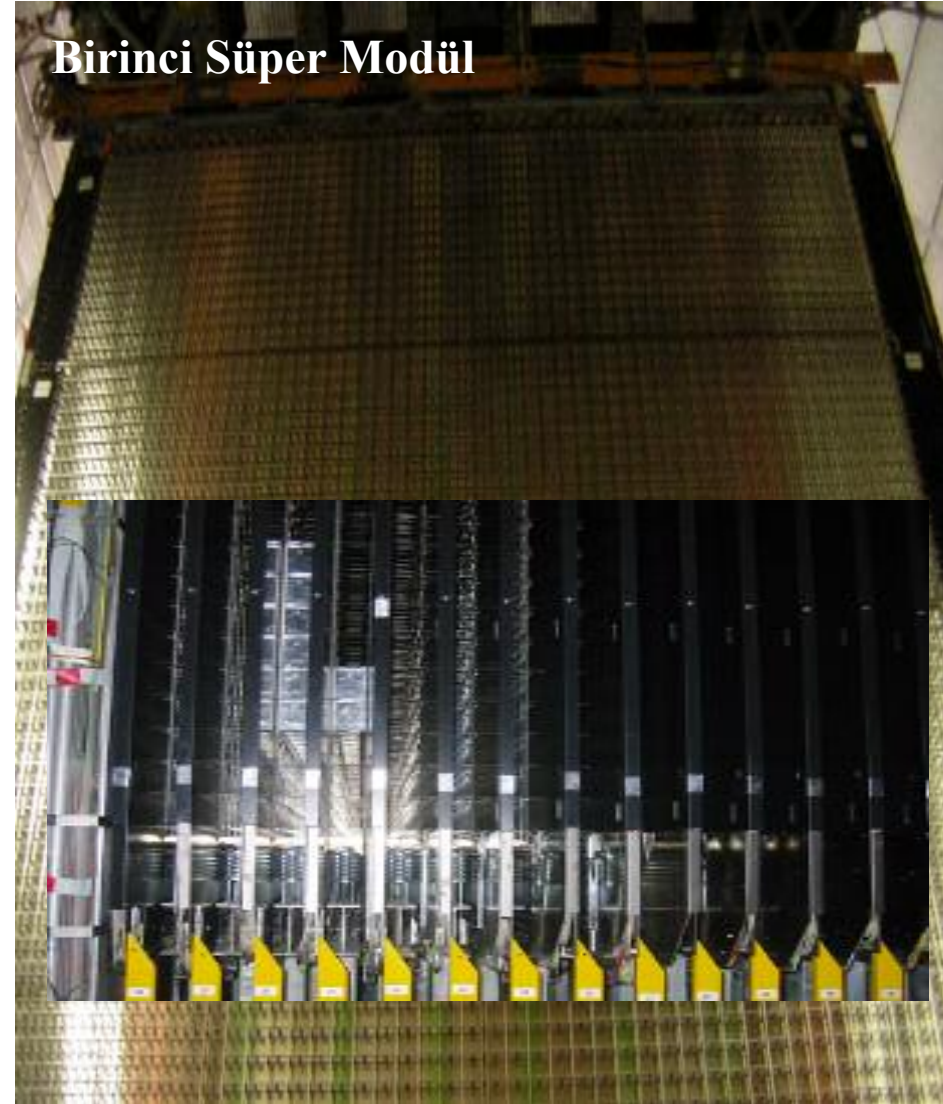
OPERA Brick

➤ Temel birim: *BRICK*

10X₀ (56 emülsiyon film)

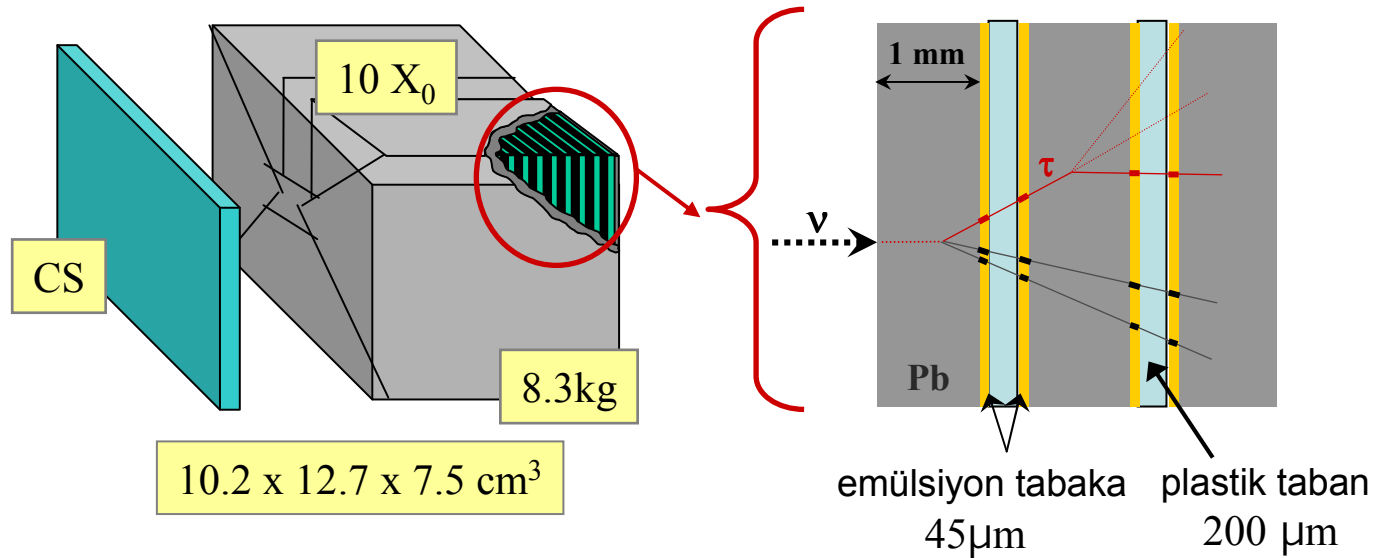


➤ Toplam *brick* sayısı~ 150,000 (1250 tons)



OPERA Brick

- Sandviç yapı: 56 Pb plaka 1mm + emülsiyon
- Yükek çözünürlük ($\sigma_x \approx 0.06\mu\text{m}$, $\sigma_\theta \approx 2\text{mrad}$, *vertex*: $\sigma_x \approx 1\mu\text{m}$)
- *Changeable sheets* (CS)



ECC = özel detektör

- Momentum ölçümü ("*multiple scattering*" yoluyla)
- Düşük enerjilerde Piyon/Müyon ayrımı (dE/dx)
- Elektron tanımlaması ve enerji ölçümü (elektron ve foton)

Brick üretimi

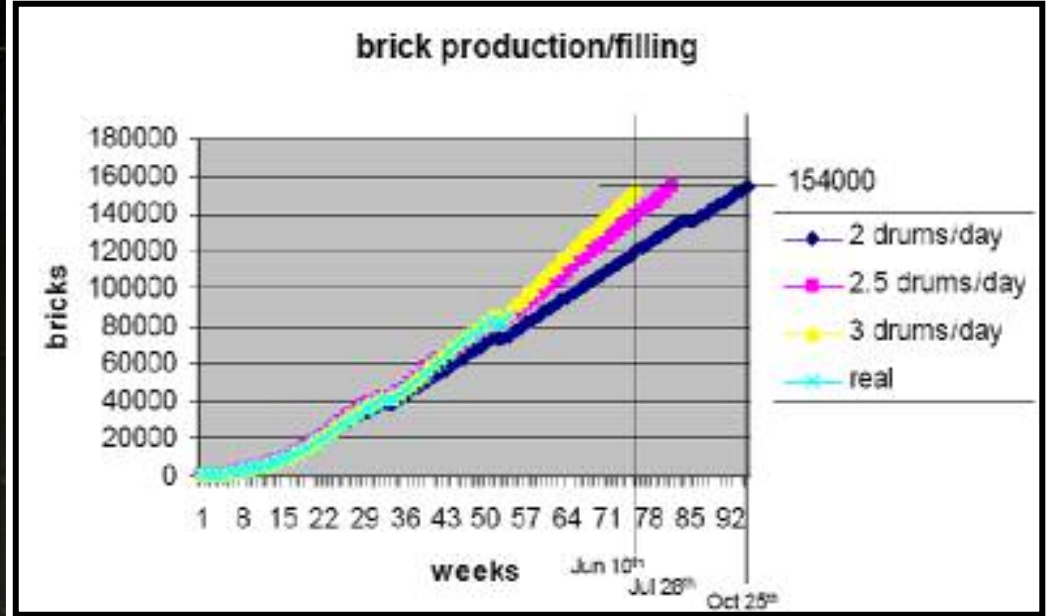
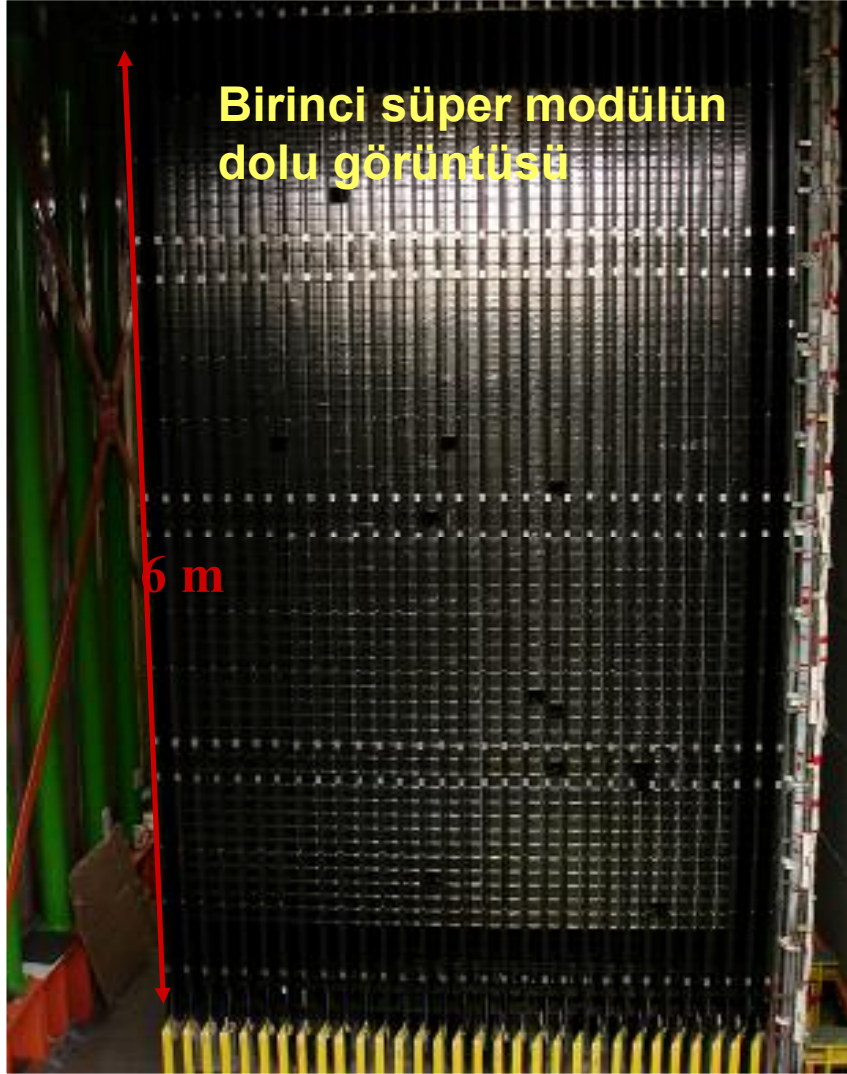


- *Brick* ler otomatik olarak üretildi
- bütün işlem karanlık oda da gerçekleşti
- Hız ~700 *brick*/gün

- *brick* yapımı için 8 çok yönlü kol
- paketlenme için 1 çok yönlü kol.
- CS ön yüze eklenmesi ve barkotlama
- Karşılaşılan zorluklar
 - kurşun/emülsiyon yapışkanlığı
 - Emülsiyonun düzlüğü



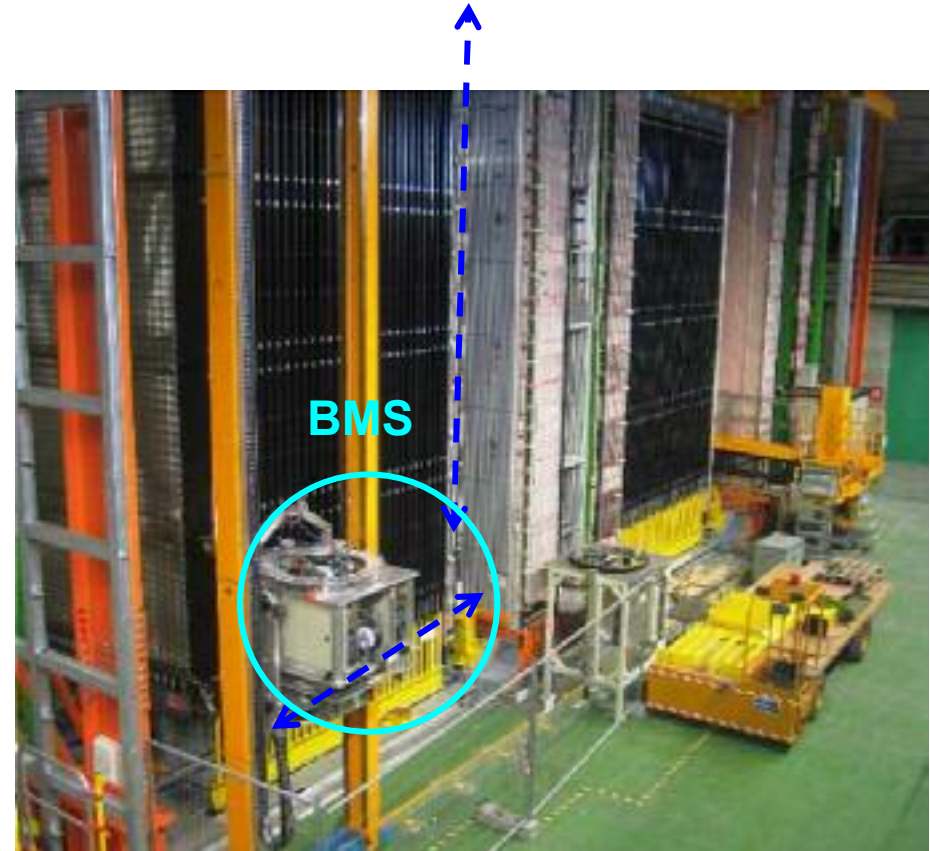
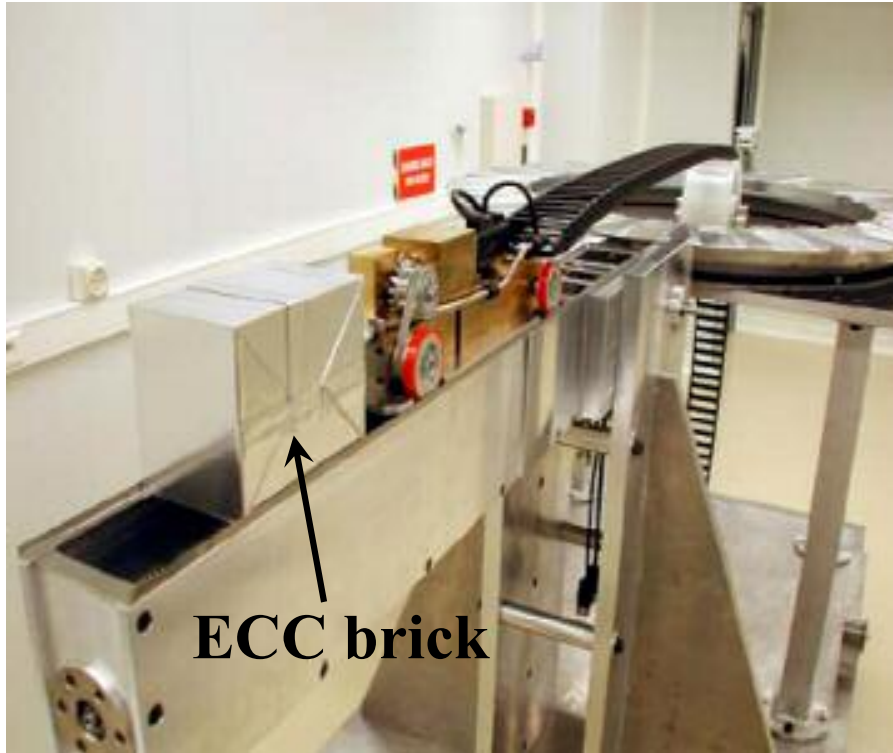
Brick üretilmesi ve detektöre yerleştirilmesi



➤ **Brick** lerin üretilip detektöre yerleştirilmesi ~1.5 yıl sürdü.

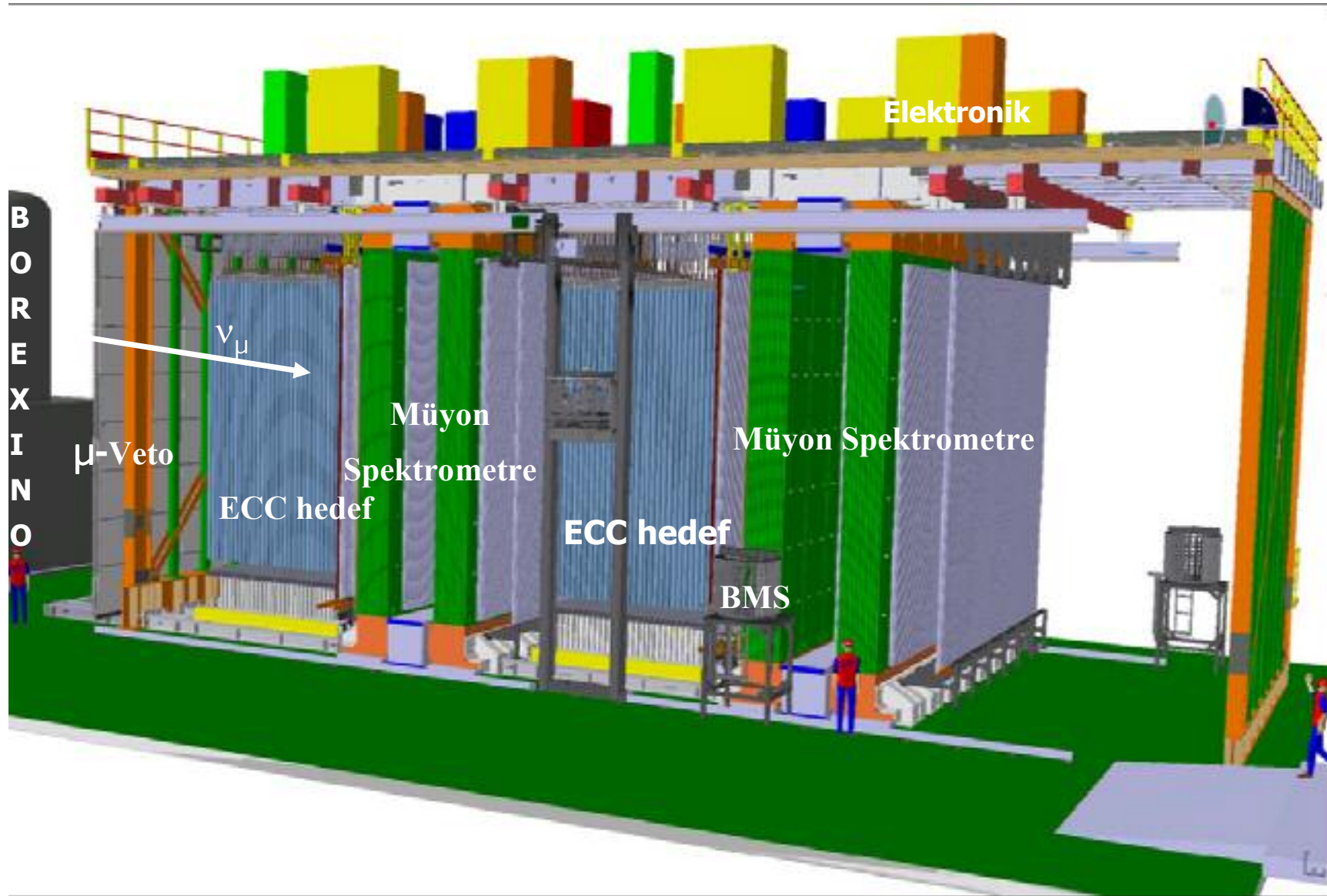
Brick Manipulator System

➤ *Brick* lerin hassas robot- manipulator yardımıyla detektöre yerleştirilmesi ve detektörden çıkarılması için tasarlandı.



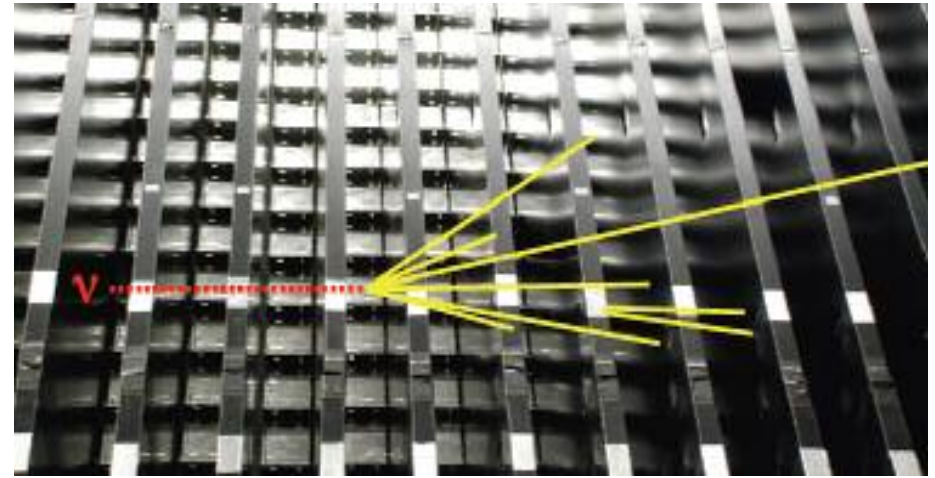
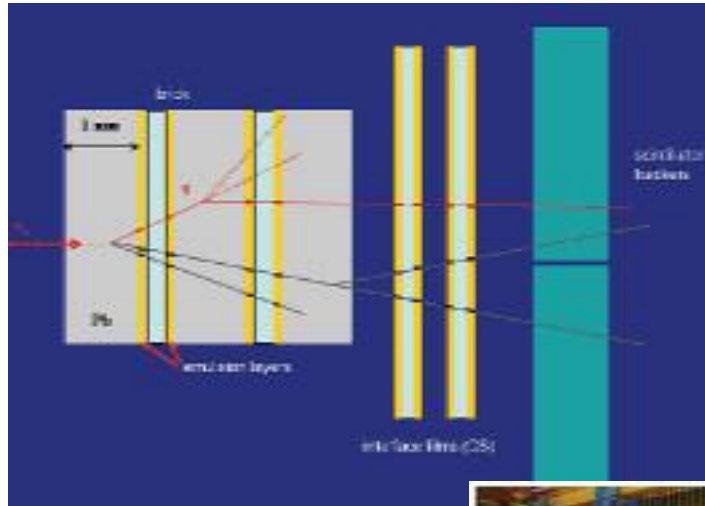
➤ Detektörün her iki tarafına yerleştirildi. Hızı 4 dram/10 saat

OPERA detektörü



Yöntem ve teknoloji

➤Metod ve teknoloji DONUT deneyinde kullanıldı. Fakat bu büyüklükte ilk kez OPERA da kullanıldı.



Veto

BMS: Brick Manipulating System

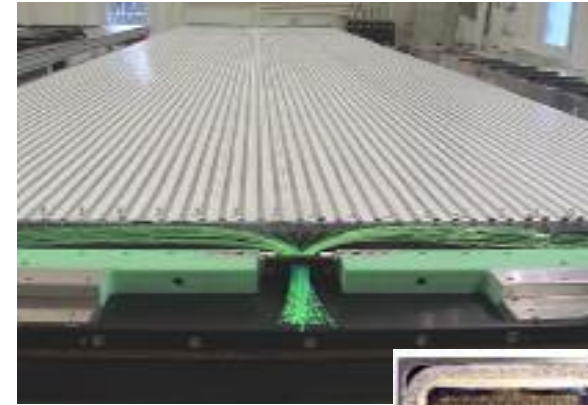
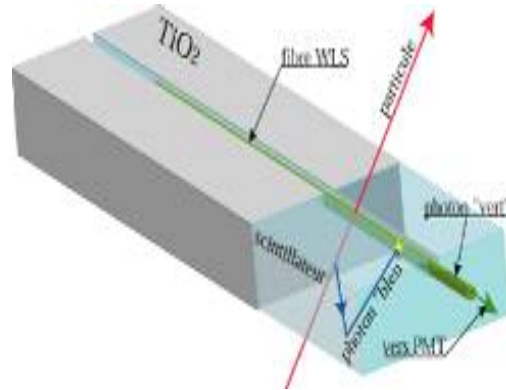
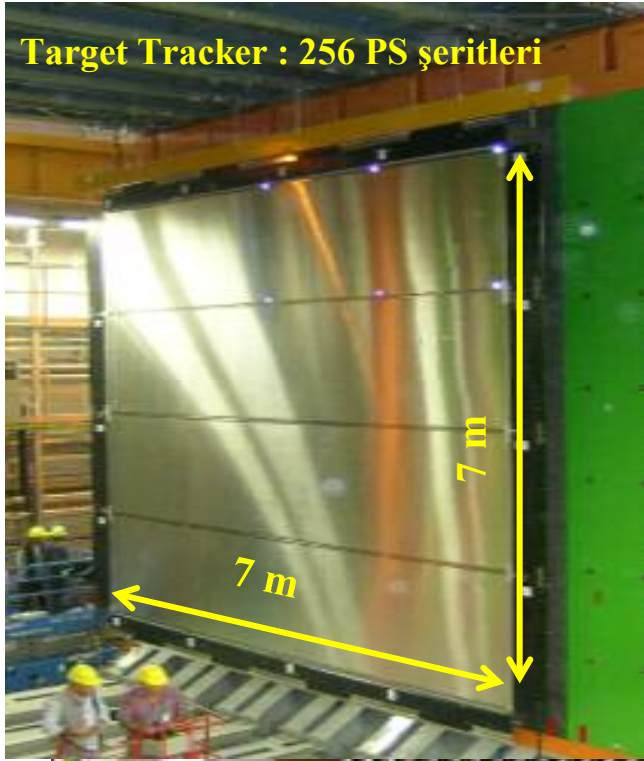
Spectrometer: RPC, Drift Tubes, magnet

Target Tracker

5/31/2009

Target Tracker

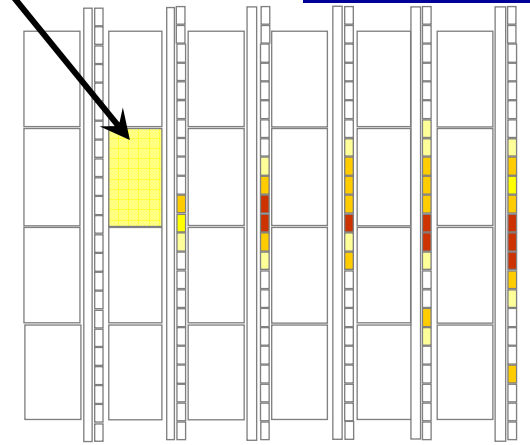
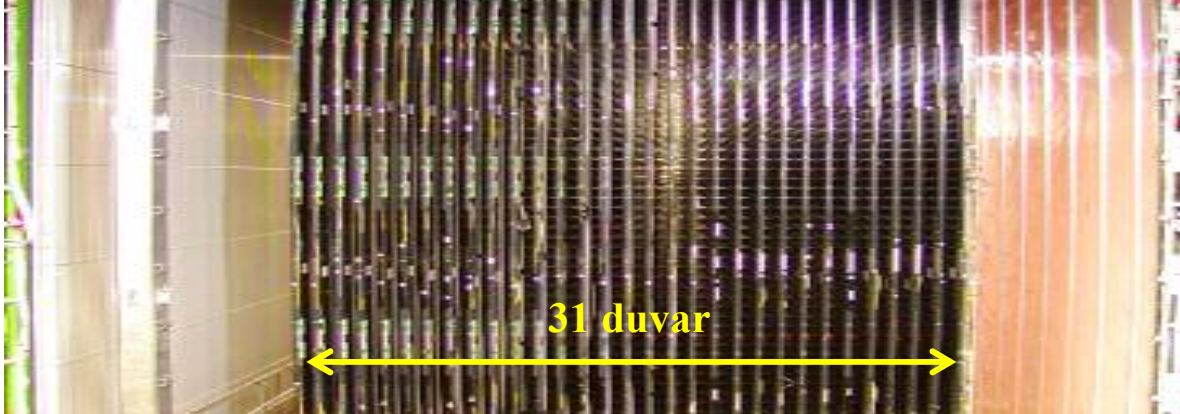
Target Tracker : 256 PS şeritleri



➤ Teknik: polystyrene scintillating strip (plastic)



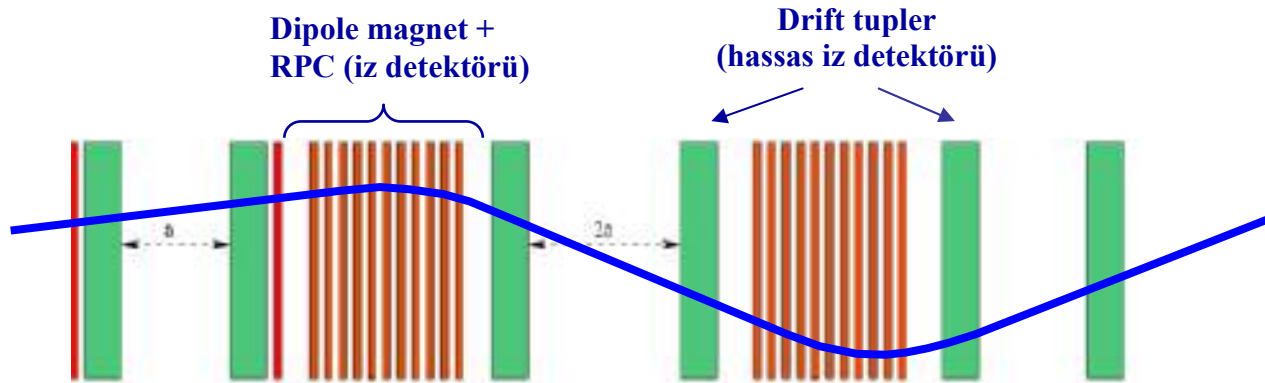
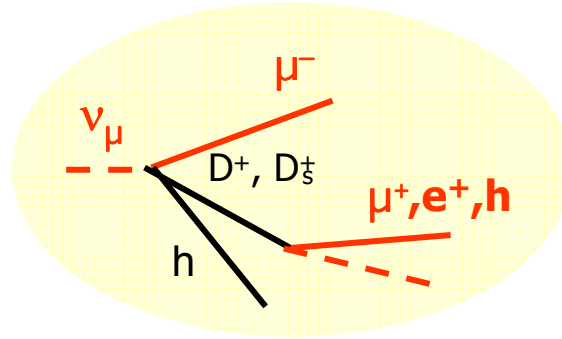
Hamamatsu M64



p.h.
0 max

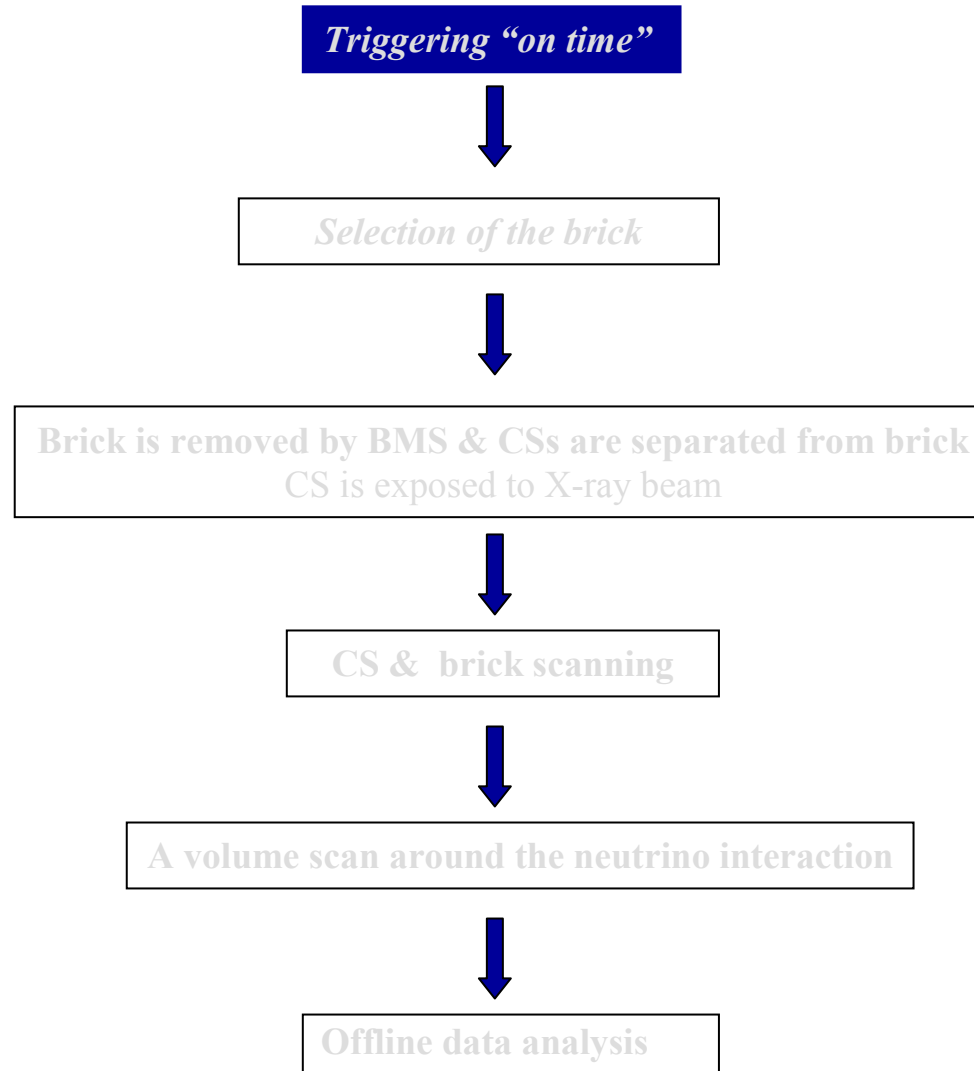
Müyon Spektrometre

- μ tespit edilmesinde
- μ yükünün ölçülmesinde



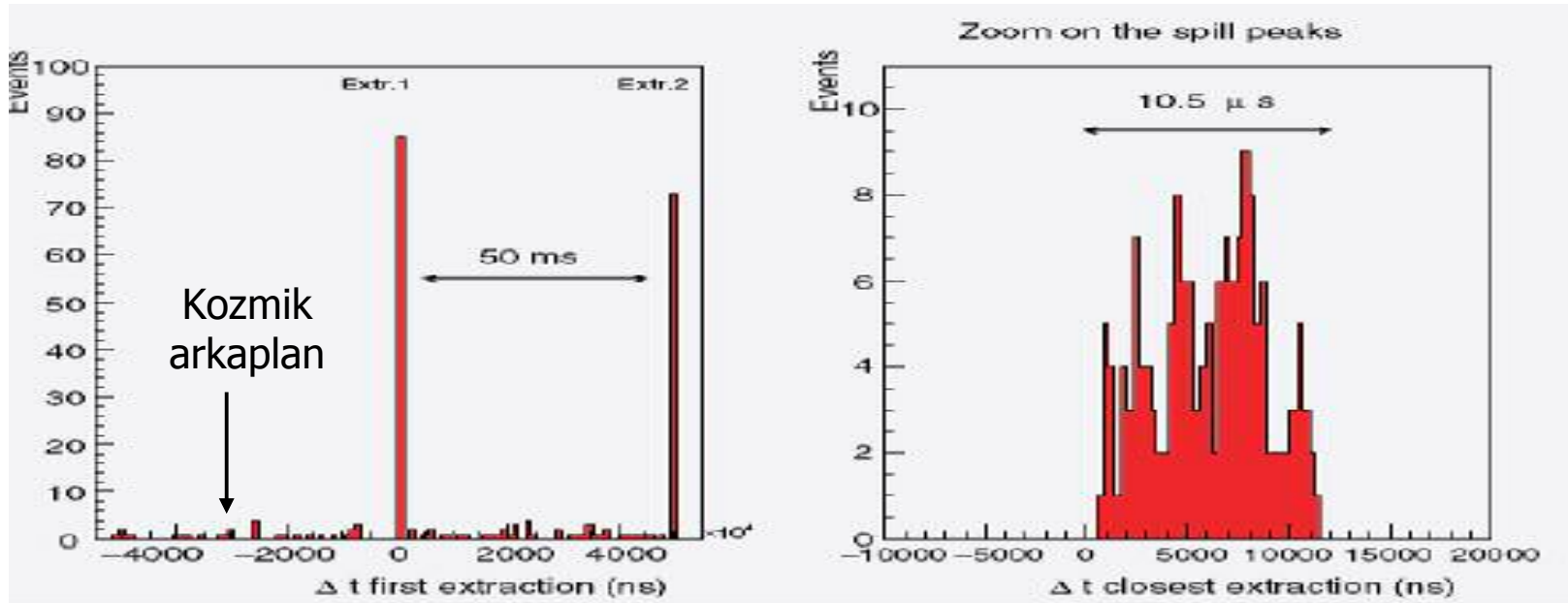
- $\epsilon_{\text{miss charge}} \sim (0.1 - 0.3)\%$
- $\Delta p/p < 20\%$ for $p < 50$ GeV
- $\mu_{\text{id}} > 95\%$

OPERA analiz zinciri

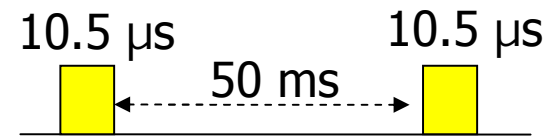


Zaman Senkronizasyonu

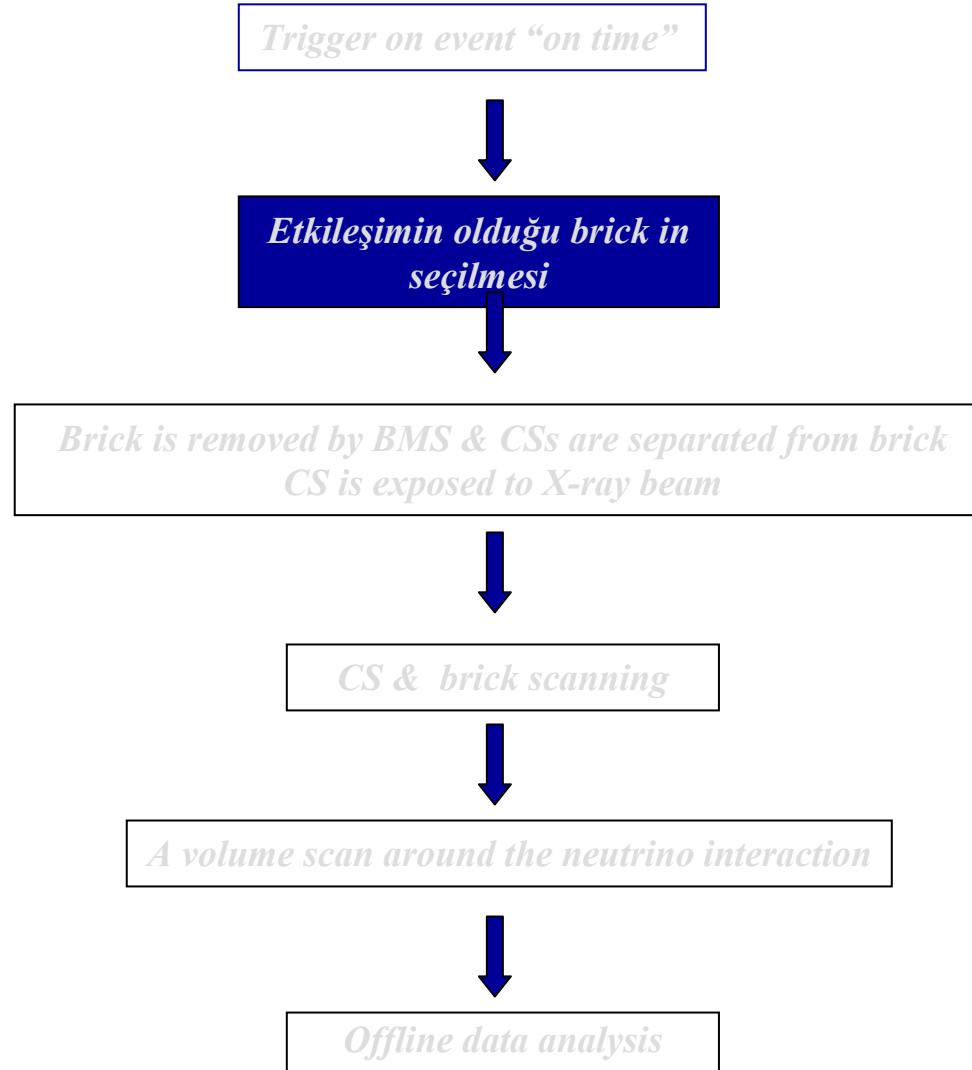
- Olayların seçilmesinde GSP saati referans alınmakta
- *Spill* rms değeri ($10.5 \mu\text{s}$) ulaşılan hassasiyet 100 ns
- Kozmik arkaplan çok küçük $O(10^{-4})$
- Kaydedilen olay sayısı: 10122 (*on time*), bunlardan 1663 tanesi ECC hedef içinde gerçekleşti (çoğu etraftaki madde içinde).



• 10^4

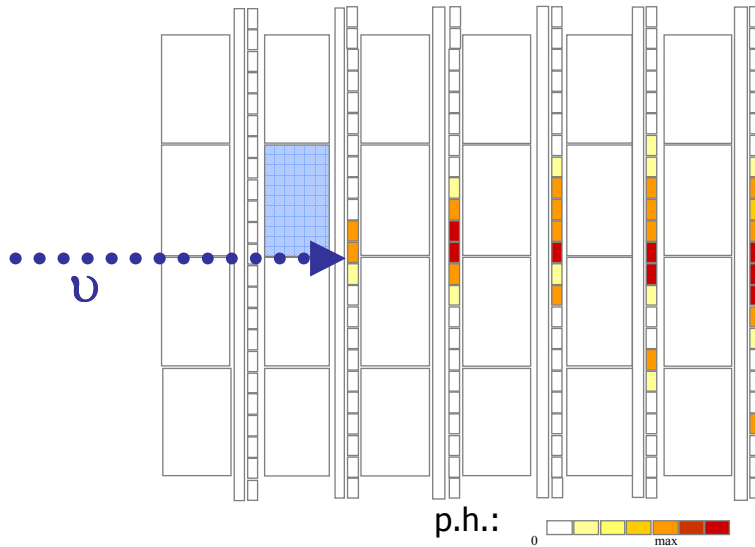


OPERA analiz zinciri

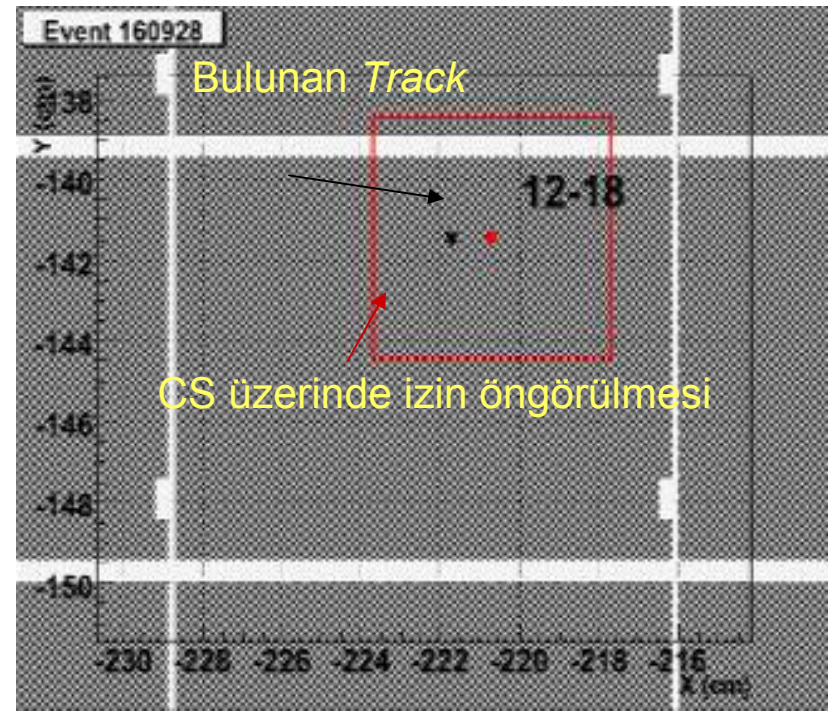


Brick'in bulunması

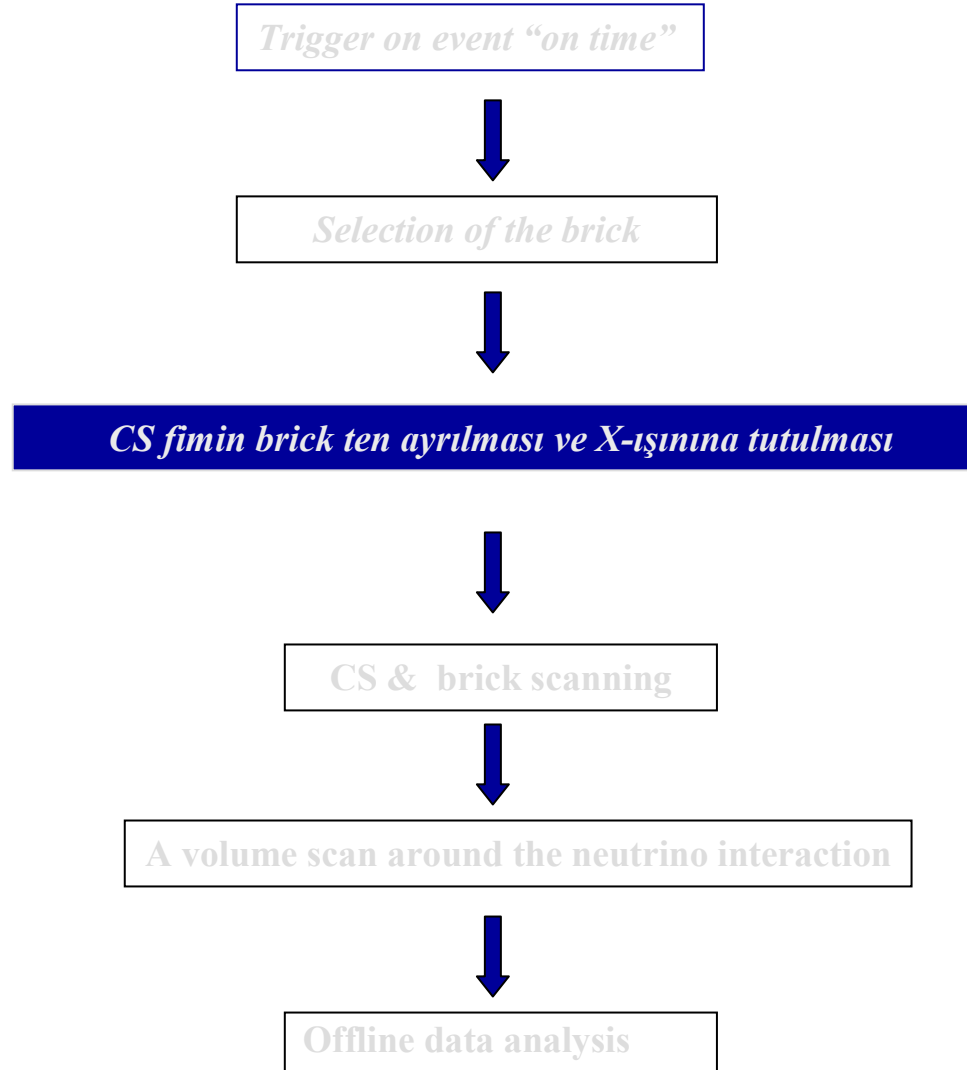
- Elektronik detektörde izlerin oluşturulması, *tracking*
- Etkileşimin gerçekleştiği *brick* in tespit edilmesi
- *Brick* (lerin) detektörden çıkarılıp depolanması



- *Target tracker (TT)* yardımıyla *brick* tespit edilmektedir

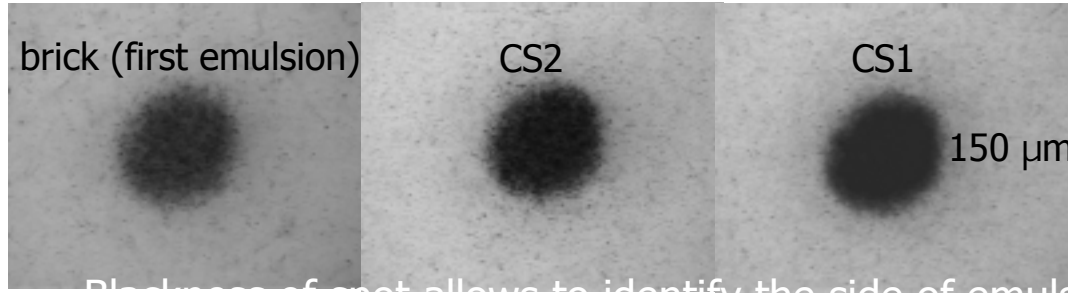


OPERA analiz zinciri



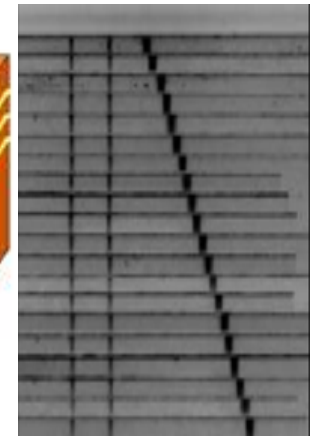
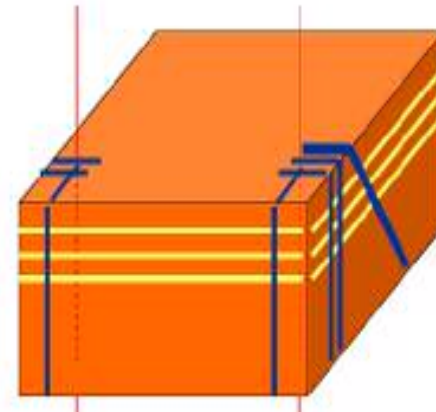
CS'in hizalanması ve işlenmesi

- x-ışınları yardımıyla CS in hizalanması → $\sim 10 \mu\text{m}$
- CS'lerin banyolanması
- TT oluşan izlerin mikroskop yardımıyla CS'in içinde aranması



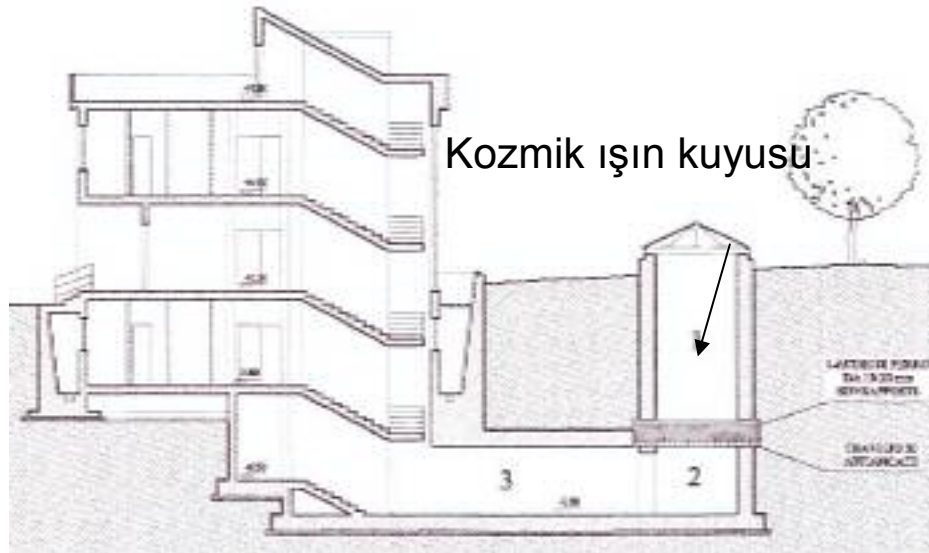
x-ışını makinesi

- x-ışını kullanarak *brick*'lerin hizalanması → $\sim 40 \mu\text{m}$
- x-ışını yardımıyla filmlerin numaralandırılması

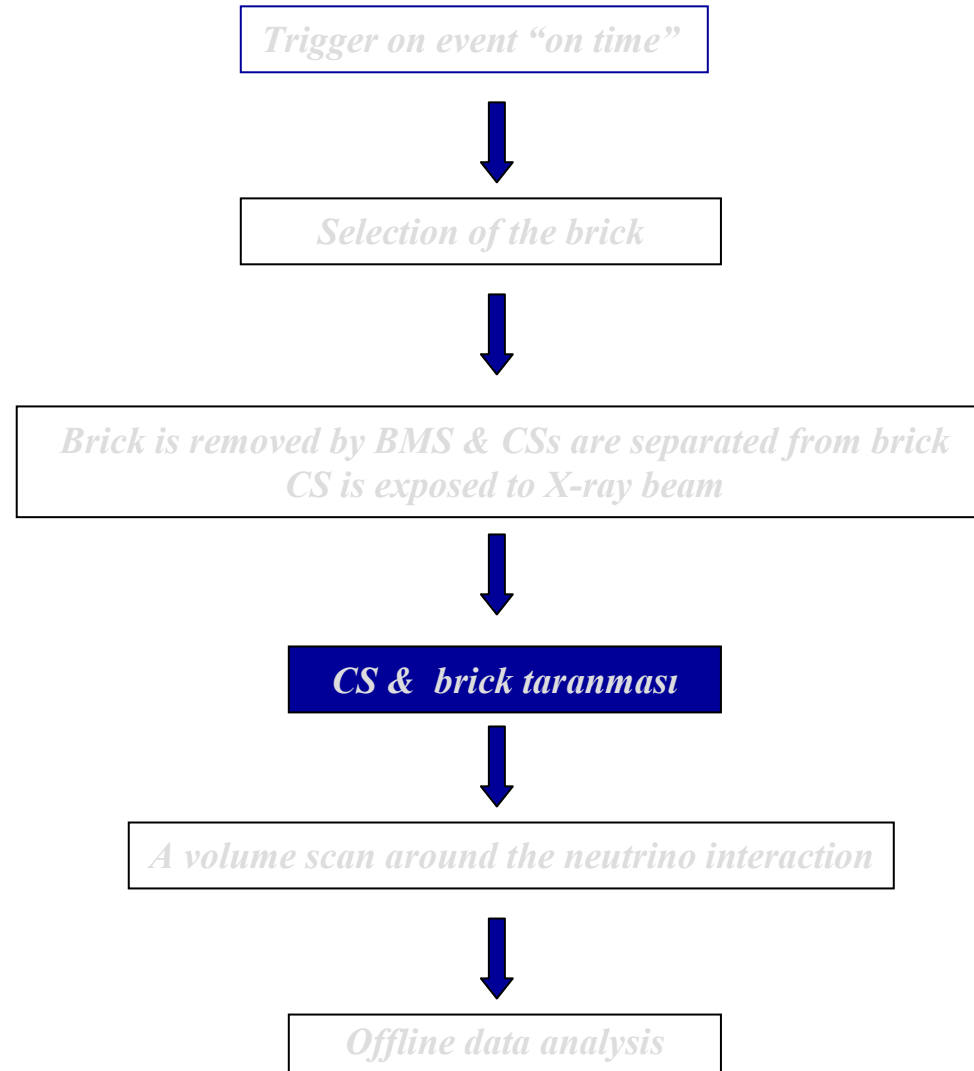


Brick filmlerini banyolanması

- Kozmik ışınlar yardımıyla *brick* lerin hizalanması (*kozmetik pit*)
- 5 otomatik sistem yardımıyla filmlerin banyolanması (*developing*)
- Banyolama hızı: 50 *brick*/gün



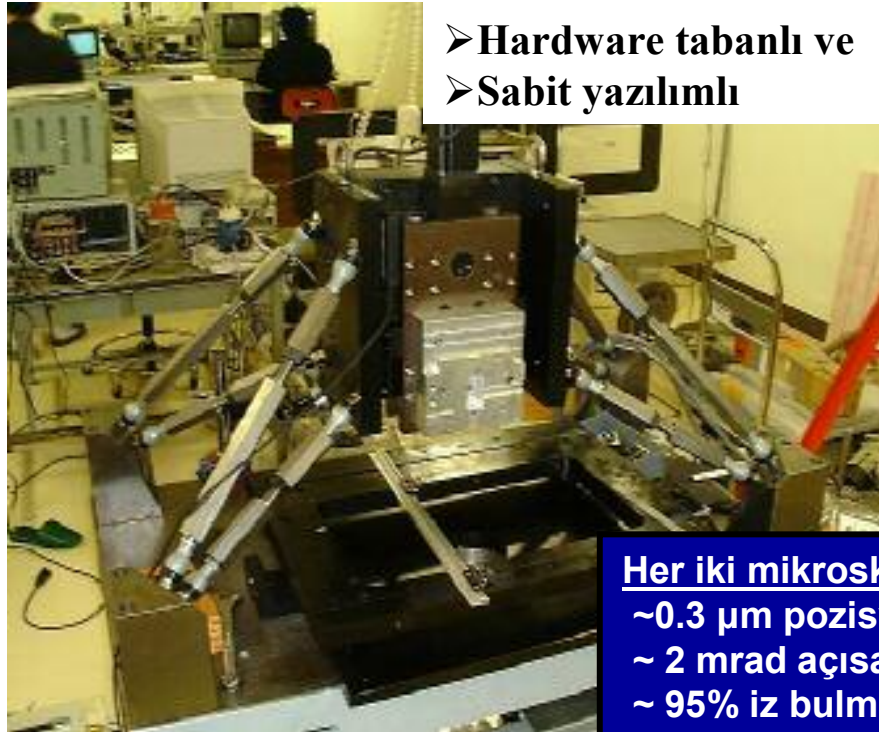
OPERA analiz zinciri



Otomatik tarama sistemi

S-UTS(Japonya)

- Tarama Hızı 40 cm²/saat,
- Hızının geliştirme çalışmaları devam ediyor.



- Hardware tabanlı ve
- Sabit yazılımlı

Avrupa tarama Sistemi

- Hızı 20cm²/saat (30 mikroskop)



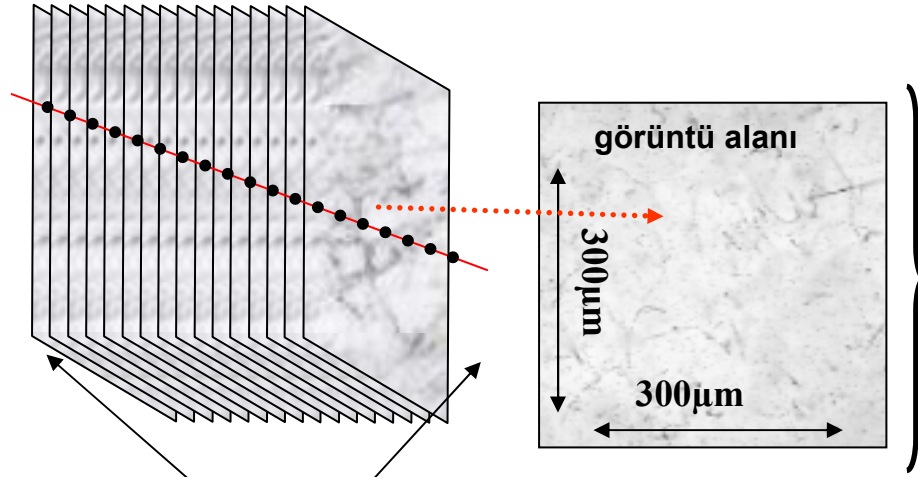
- Yazılım tabanlı
- Ucuz ve kullanımı kolay

Her iki mikroskop sistemi

- ~0.3 μ m pozisyon çözünürlüğüne sahip
- ~ 2 mrad açısal çözünürlüğüne sahip
- ~ 95% iz bulma verimliliğine sahipler

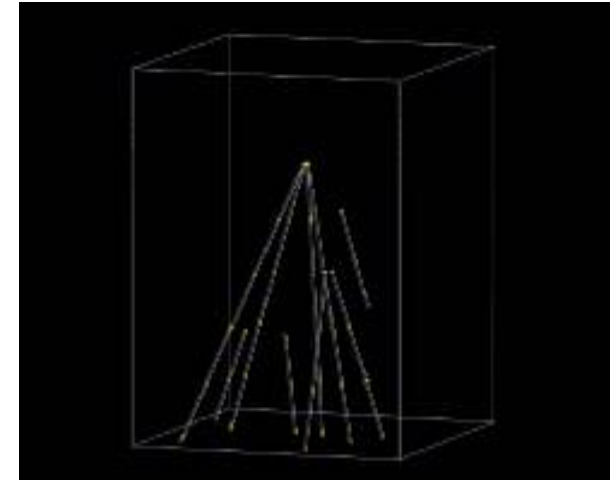
Emülsiyon taraması

➤ 9+2 (Ankara and Dubna) tarama laboratuvarı

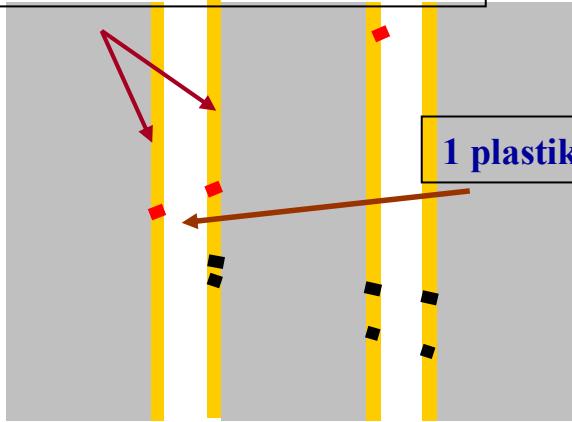


16 tomografik görüntü =
45µm

➤ 3D görüntüyü mikrometrik
hassasiyet ile elde etmek mümkün



2 emülsiyon bölümü (45µm)

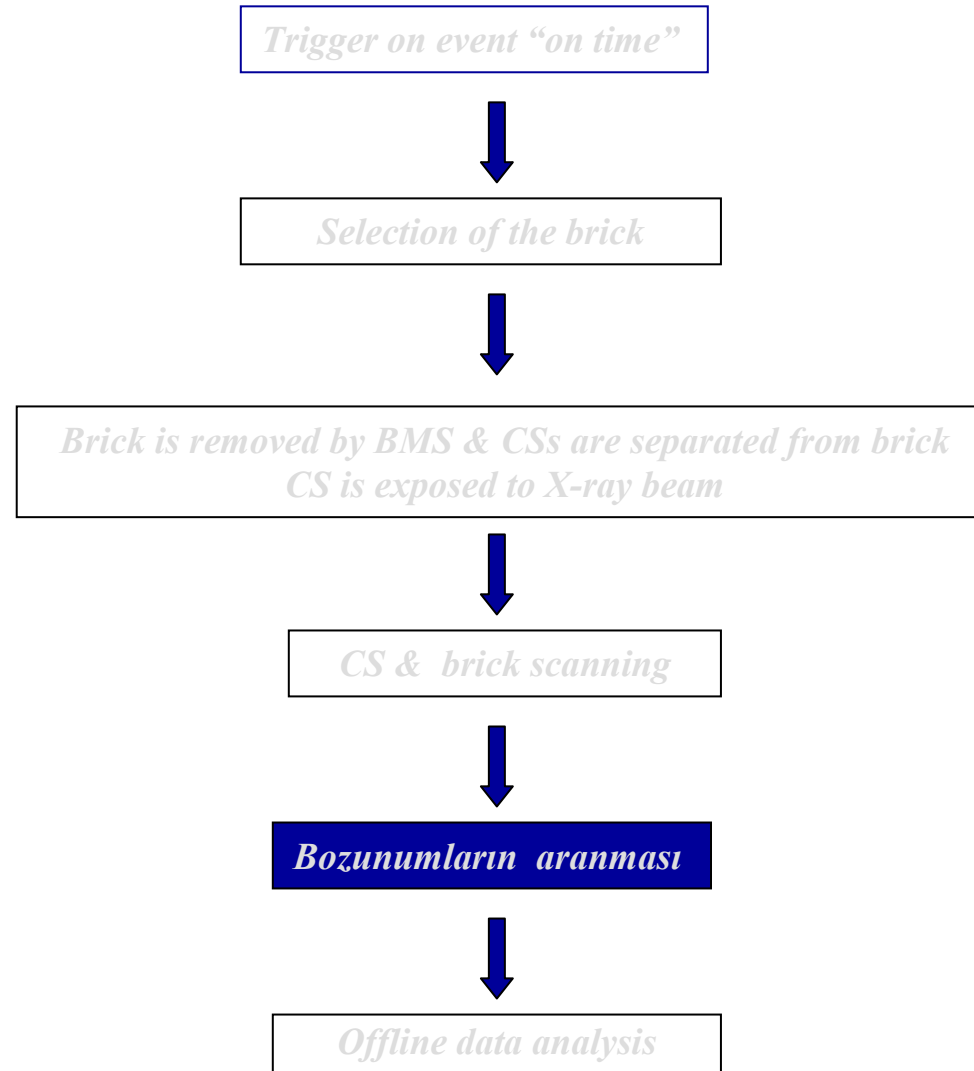


1 plastik taban (200 µm)

➤ 1 emülsiyon plaka (2 yüzü)

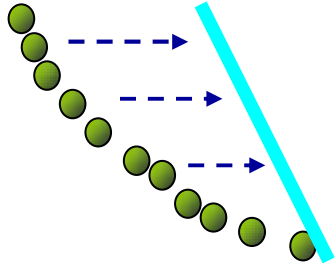
→ 12h tarama ~5GB

OPERA analiz zinciri

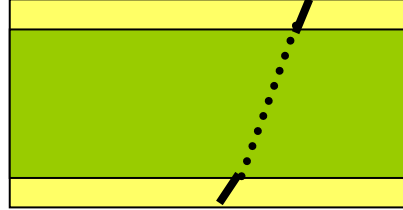


Bozunumları bulmak için izlenen yol

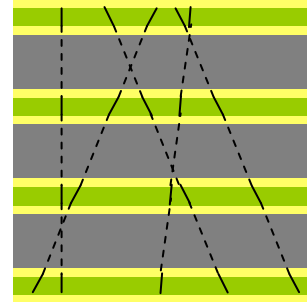
- İzlerin oluşturulup etkileşim ve bozunum noktalarının bulunması



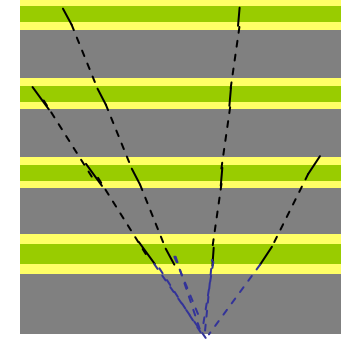
3D mikro-izlerin oluşturulması



Mikro izlerden taban izlerinin oluşturulması

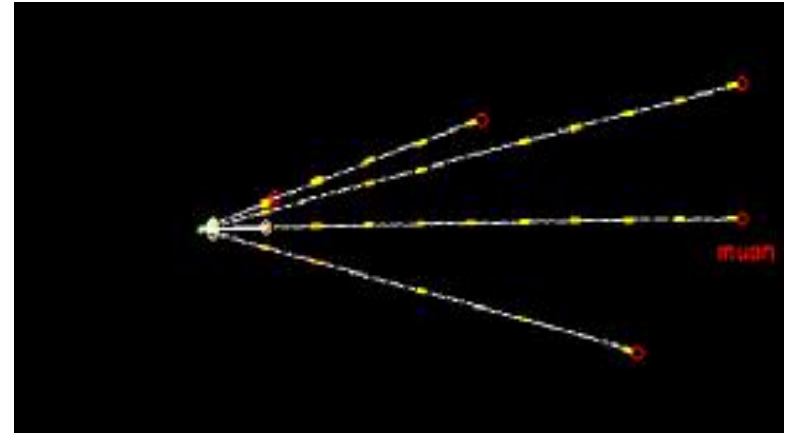


Emülsiyon plakalarında bulunan izlerin birleştirilmesi

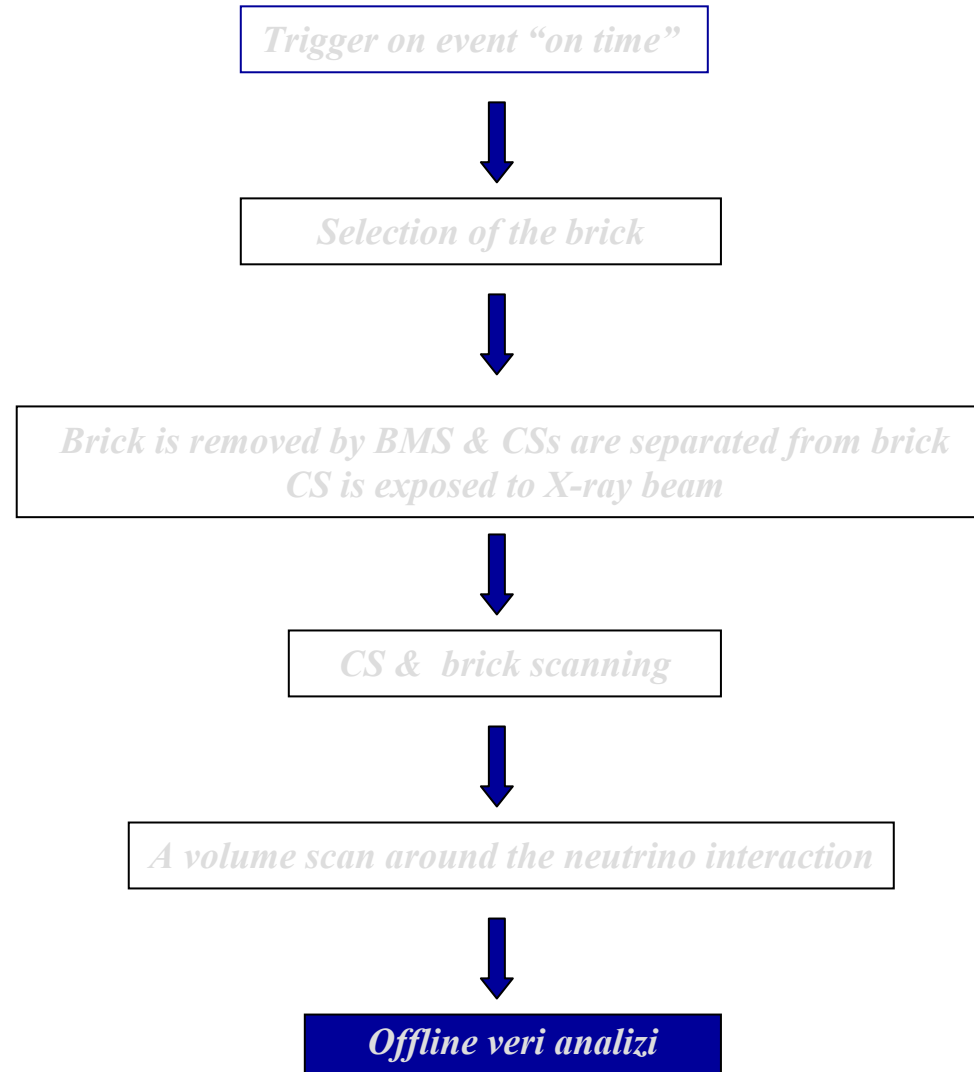


Etkileşim ve bozunum vertex lerinin bulunması

- Çoklu Coloumb saçılması kullanılarak yüklü parçacıkların momentumlarının ölçülmesi
- Elektronların bulunması ve enerjilerinin ölçülmesi
- dE/dx kullanarak π/μ ayırt edilmesi



OPERA analiz zinciri



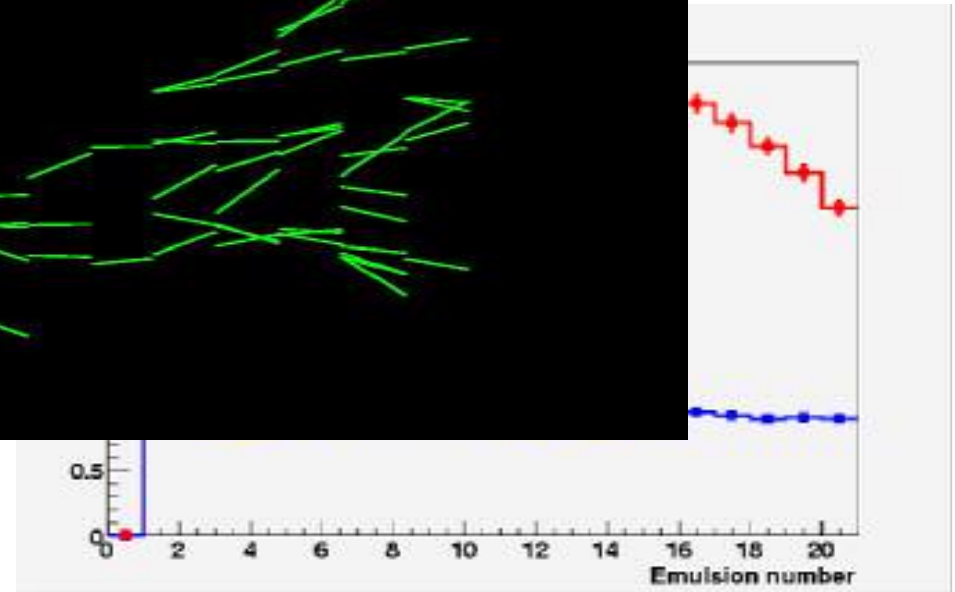
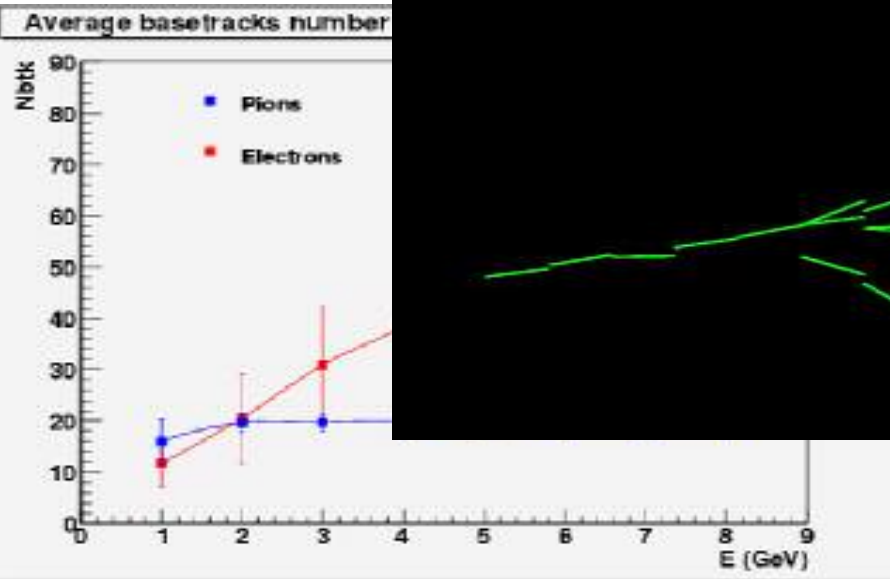
Elektronun ECC içinde bulunması

Duř oluřturma prensibi:

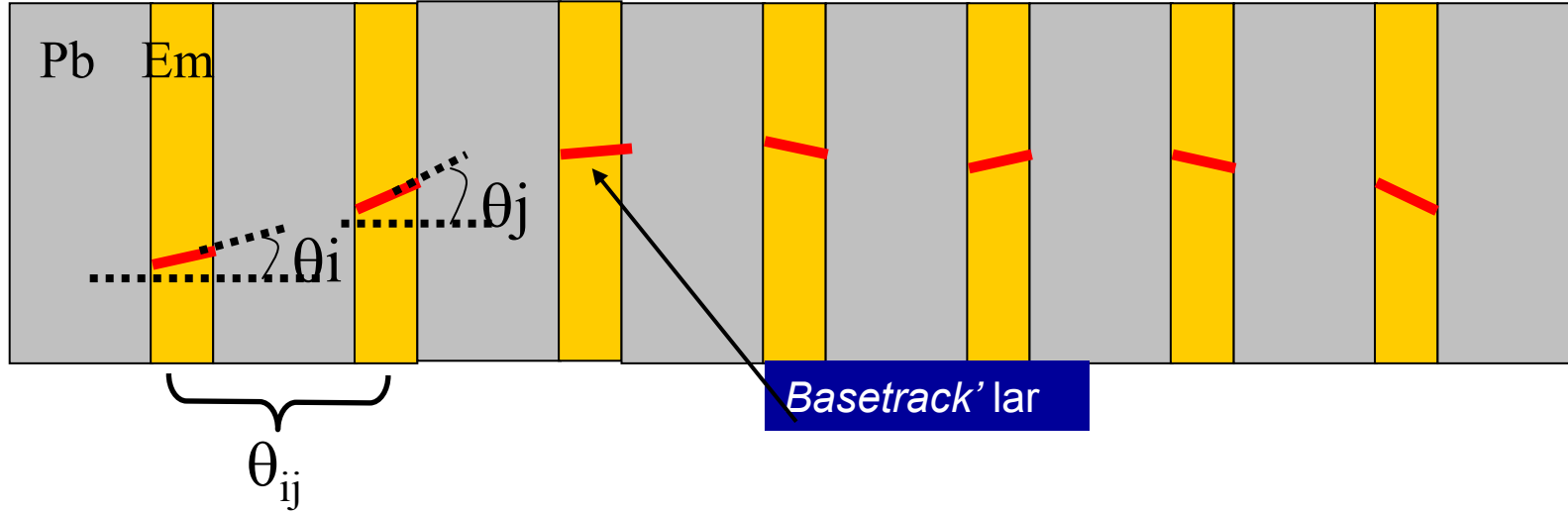
Seçilen bir *base-track* etrafında (koni geometrisi) duştan kaynaklı *base-track* ların aranması (açı ve pozisyonlarına bakılarak)

e/π sayırımı: neural kullanılarak *e/π* ayrırımı

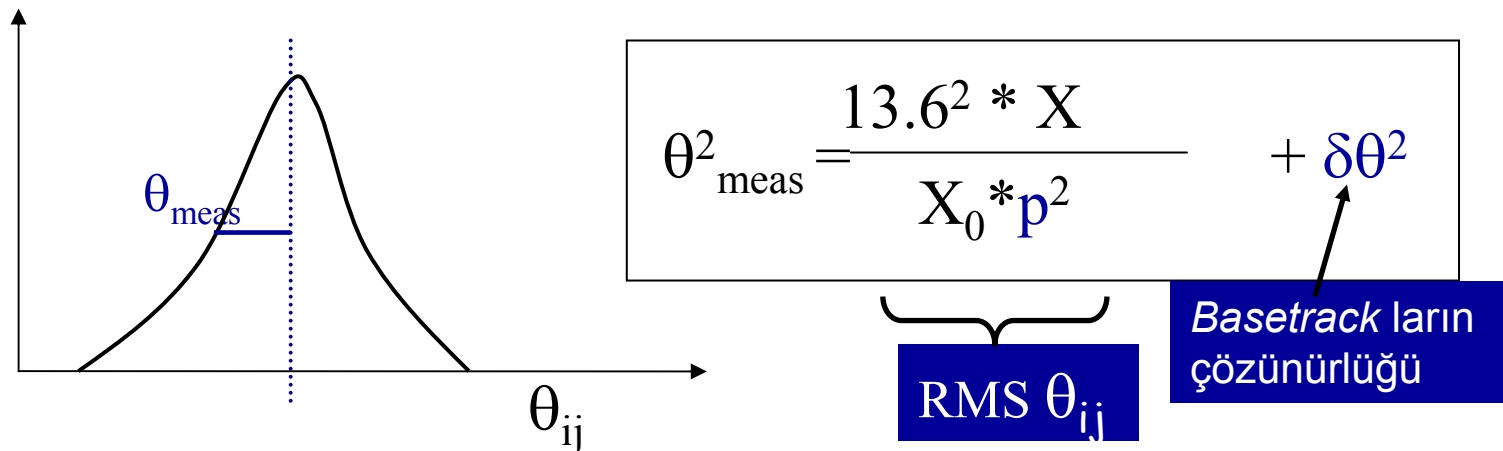
6 GeV enerjij elektron (veri)
20 emülsiyon plakaa içinde $\sim 3.3 X_0$



Yüklü parçacıkların momentumlarının ölçülmesi



Prensip : basetrack ların MCS dolayı oluşan açı farkları ölçülerek momentum ölçülebilmektedir

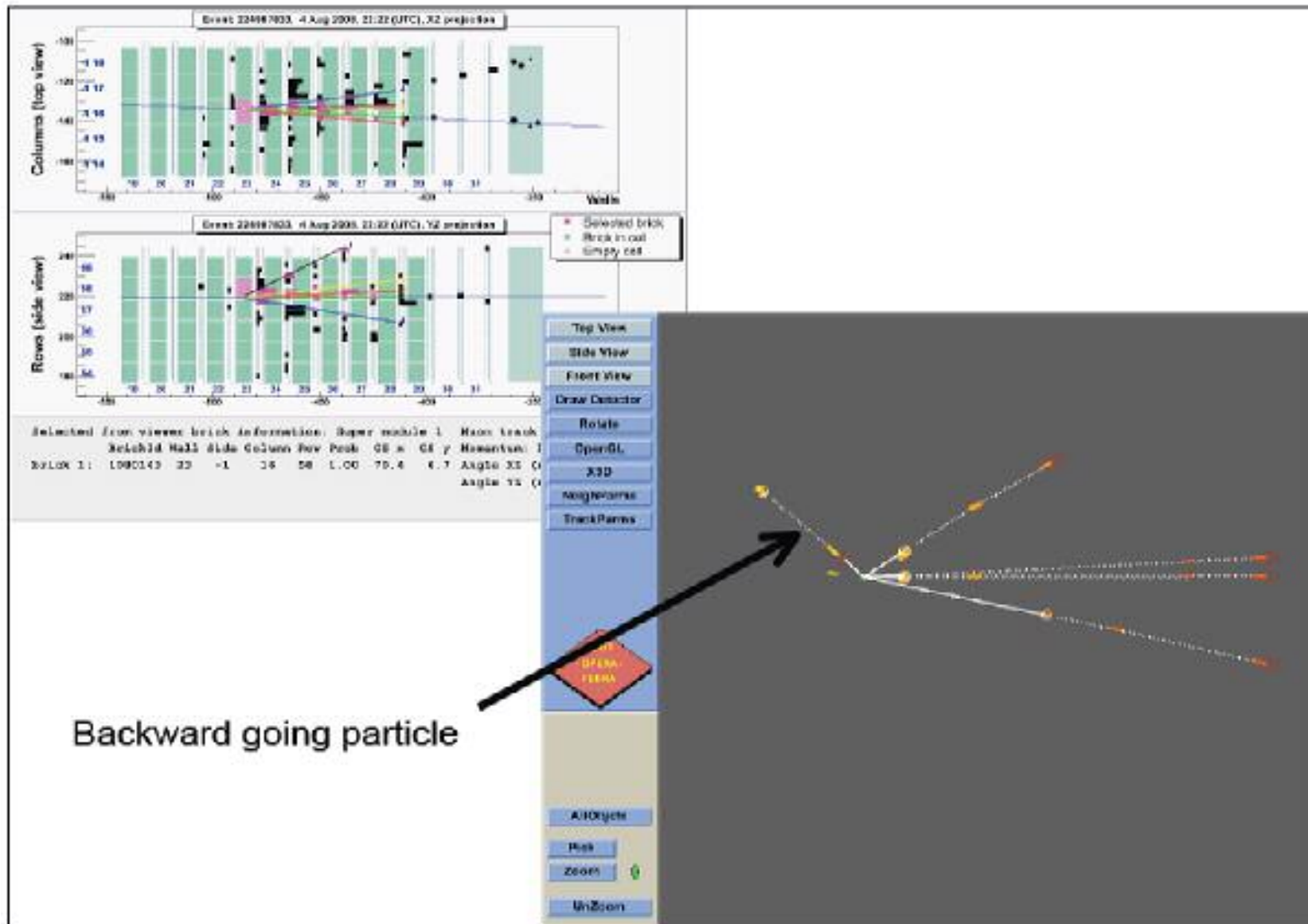


2008 verilerinin analizi

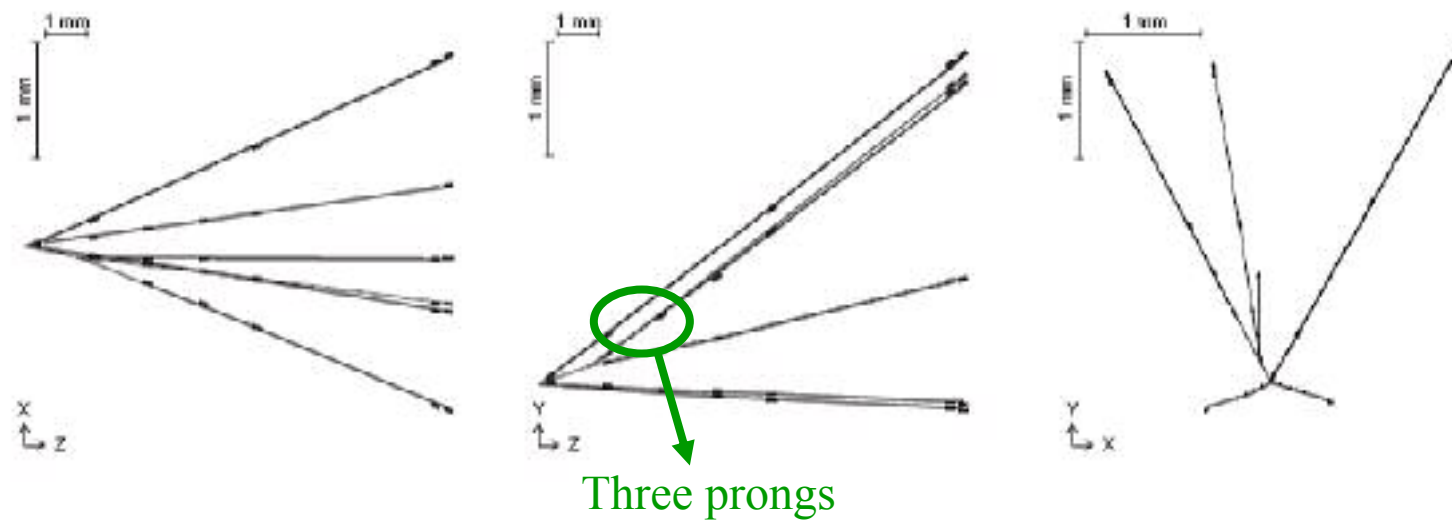
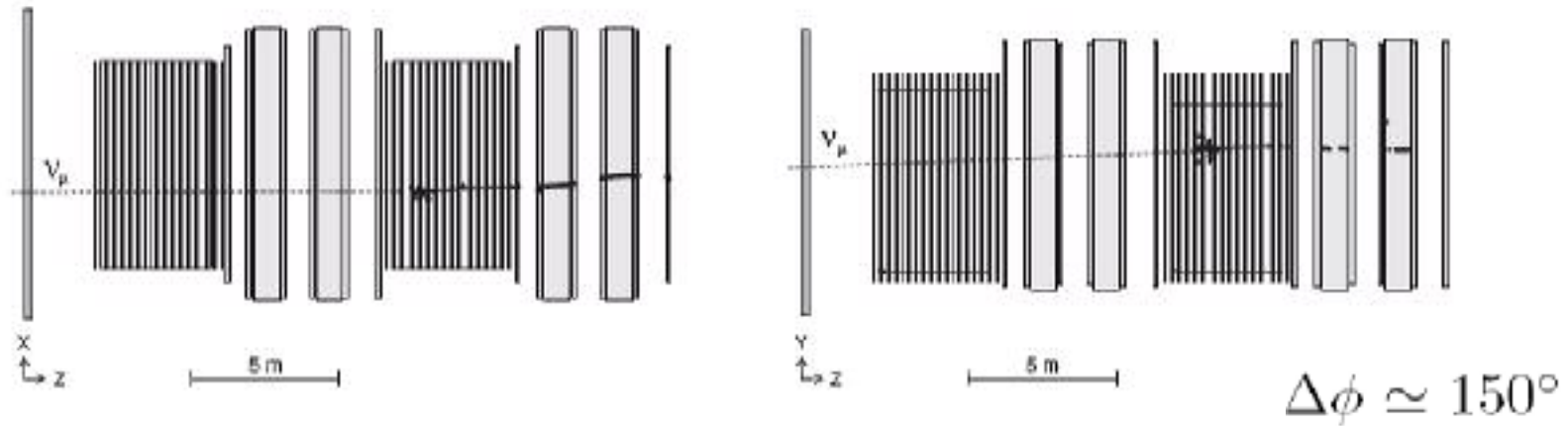
➤ Olay analizi (Avrupa daki veriler) Mart 2009 itibariyle

	NC	CC	Total
Bricks assigned	83	441	524
Bricks received in the labs	78	394	472
Scanning started	74	388	462
CS to brick connected	67	368	435
Vertices located in the brick	43	293	336
Passing through tracks	8	23	31
Vertices in the dead material	1	7	8

Charm



Charm



$p_1 = 2.4_{-0.6}^{+1.3}$, $p_2 = 1.3_{-0.3}^{+0.4}$ and $p_3 = 1.2_{-0.4}^{+1.7}$ GeV/c

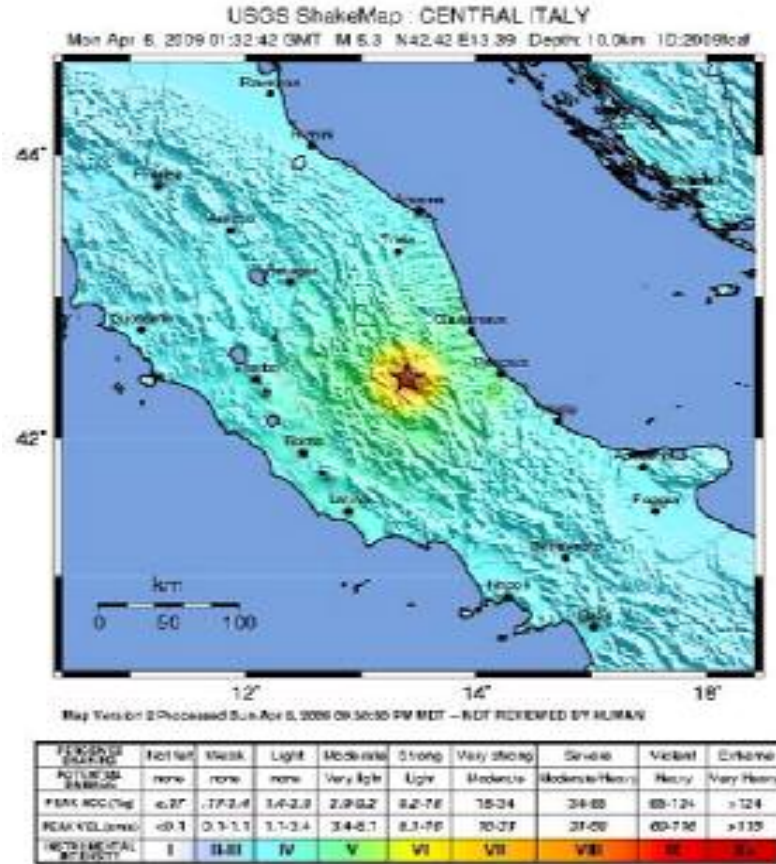
Tau bulunma potensiyeli

➤ 5 yıl veri alımı , 4.5×10^{19} pot / yıl ve $M_D = 1.3$ Kton

τ decay channels	ε(%)	BR(%)	Signal		Background
			$\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	$\Delta m^2 = 3.0 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$	
τ → μ	17.5	17.7	2.9	4.2	0.17
τ → e	20.8	17.8	3.5	5.0	0.17
τ → h	5.8	49.5	3.1	4.4	0.24
τ → 3h	6.3	15	0.9	1.3	0.17
ALL	ε×BR=10.6%		10.4	14.9	0.75

- Beklenen arkafon
- ν_μ CC ve NC etkileşimlerinde oluşan charm
- Hadron ların elastik saçılmaları
- Büyük açılı . saçılması
- ...

İtalya'da Deprem



- 7 Nisan 2009, depremin merkez üstü OPERA detektörüne ~20 km uzaklıkta.
- LNGS ve OPERA detektörde bir hasar yok.
- Fakat güvenlik ve alt yapı problemi yüzünden nötrinin demetinin gelmesi 2 hafta gecikti.
- 2009 veri alımı 1 Haziran'da başlayacak.

Bizim katkılarımız...

- ODTÜ grubu deneye 1999 yılında dahil oldu.
(Prof. Dr. Perihan Tolun'un liderliğinde)

Deney Tasarısı:

- “M. Guler et.al. An appearance experiment to search for $\nu_{\mu} \rightarrow \nu_{\tau}$ oscillations in the CNGS beam

CERN/SPSC 2000-028

SPSC/P318

LNGS P25/2000

July 12, 2000

Bizim katkılarımız...

- 2004-2007 yıllarında refreshing ünitesinin yapı ve emülsiyonların refresh edilmesinde görev aldık.



- CS ünitesinin yapım ekibi 2005

Bizim katkılarımız...

- 2008-bugüne CS filmlerin taranması ve analiz çalışmalarına katılmaktayız.
 - Emulsion sheet doublets as interface trackers for the OPERA experiment by OPERA collaboration, [JINST 3 P07005 \(2008\)](#).
 - The detection of neutrino interactions in the emulsion/lead target of the OPERA experiment by OPERA collaboration, accepted for publication in JINST (2009).

Bizim katkılarımız...

- D^0 arkafon hesabı ve elektronların ECC içinde bulunması ve enerjilerinin ölçülmesi çalışmaları

➤ M. Fatih Bay Yüksek lisans tezi

“Study of Electron Identification in the OPERA Detector” (2008).”

➤ Serhan Tufanlı “ D^0 Background to Neutrino Oscillations in the OPERA detector” (2009).

➤ “D-zero background to neutrino oscillations

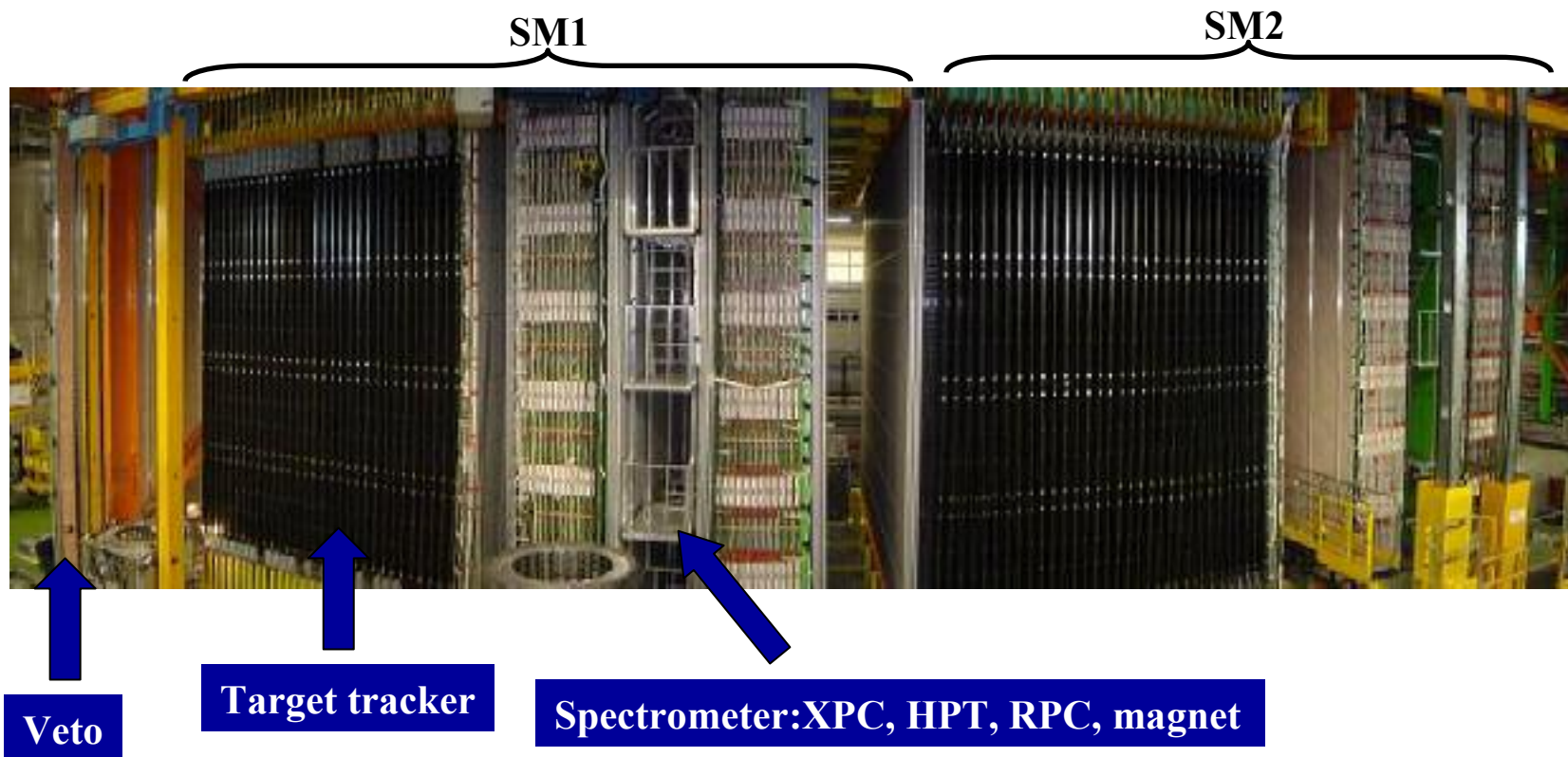
by S. Tufanlı, M. Guler. Talk given in the OPERA Collaboration Meeting, Ankara, April 1-4, 2009“.

OPERA Toplantısı



➤ OPERA toplantısı 1-4 Nisan, 2009 KKM-ODTÜ Ankara

Elektronik Detektörler



- all installed & commissioned
- DAQ validated, data transfer onto the DB implemented
- data analysis tools being tuned on real data !
 - o HPT reconstruction still to be validated
 - o Event reconstruction & Brick Finding:
 - ➔ more data needed for a complete tuning