

IFIC summer school 2019

03/07/2019

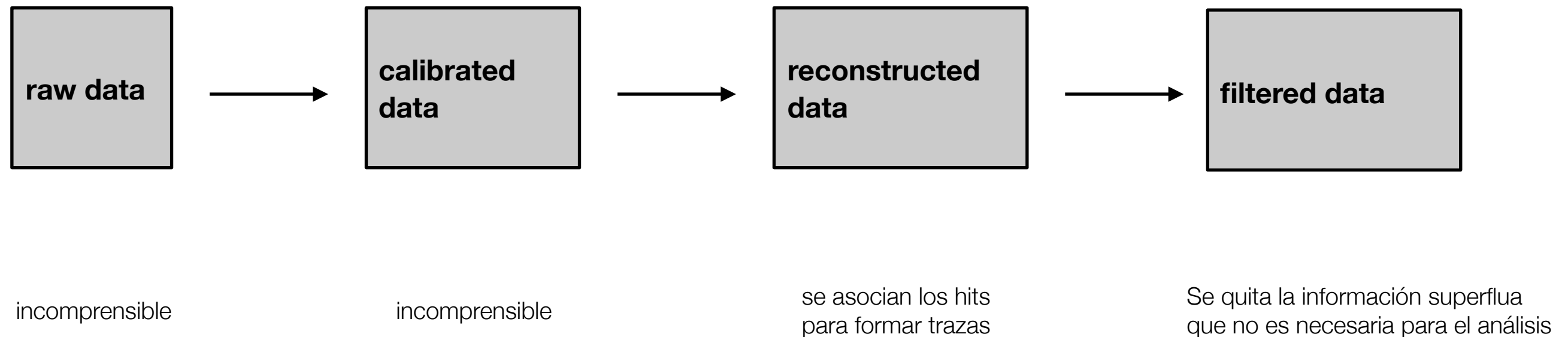


Análisis de datos

Anselmo Cervera Villanueva
IFIC-Valencia

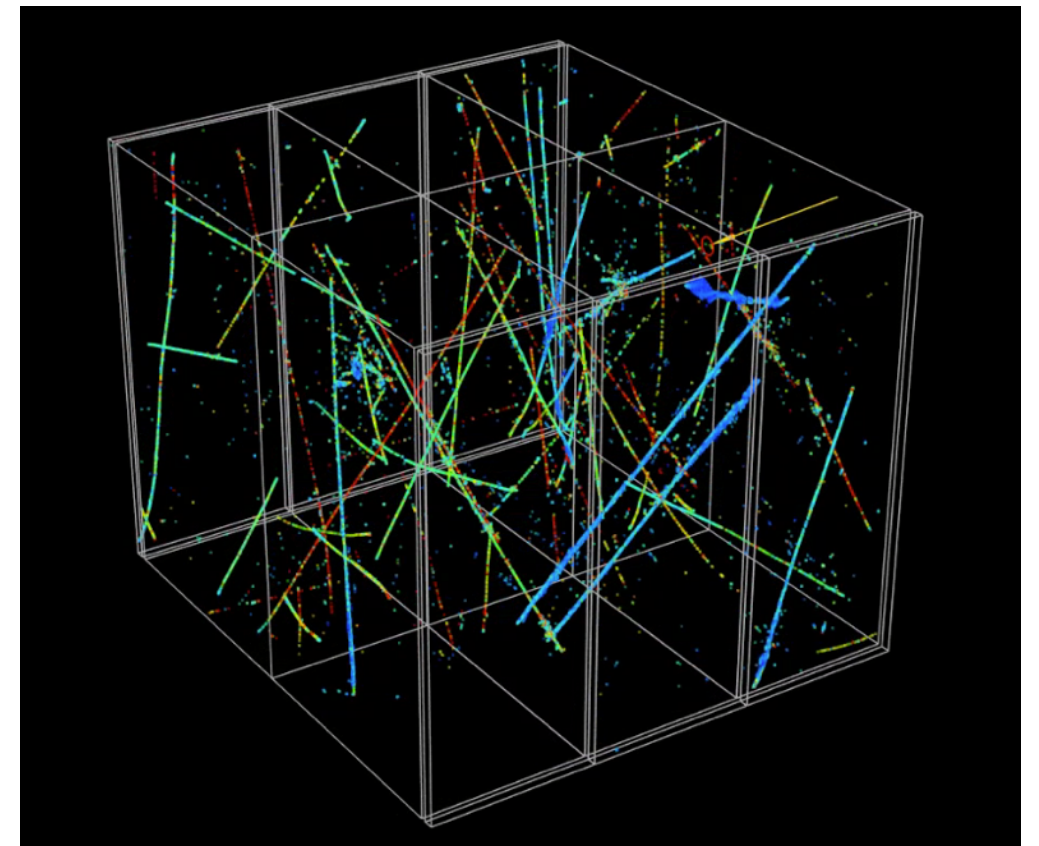
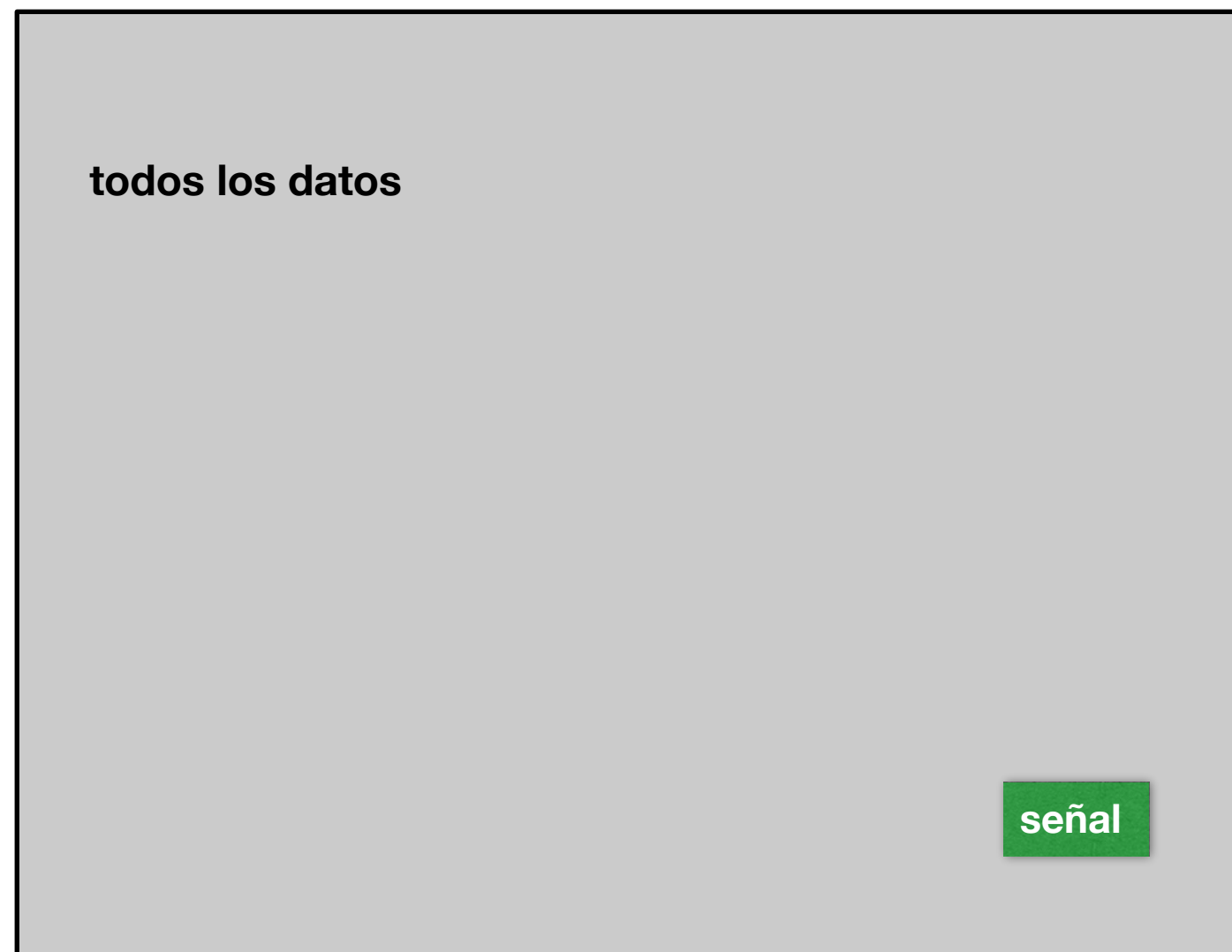
Muestras de eventos

- Las señales eléctricas recogidas por un detector se almacenan para ser analizadas posteriormente
- El formato depende del experimento, pero hoy en día la mayoría usan ficheros de root



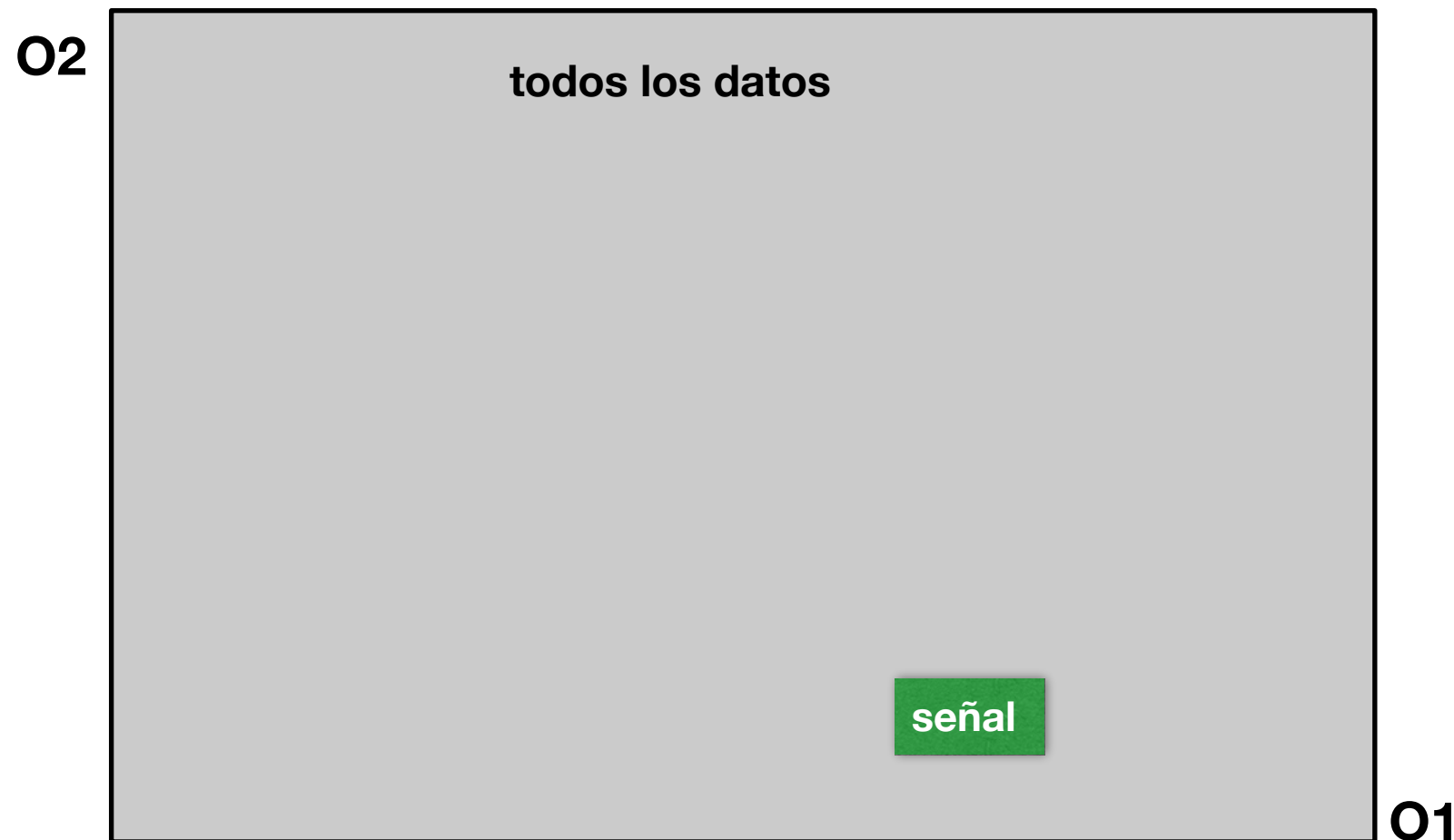
Señal y ruido de fondo

- La señal es la parte de los datos que nos interesa, por ejemplo, la traza que viene del haz
- El ruido de fondo serían todos los rayos cósmicos



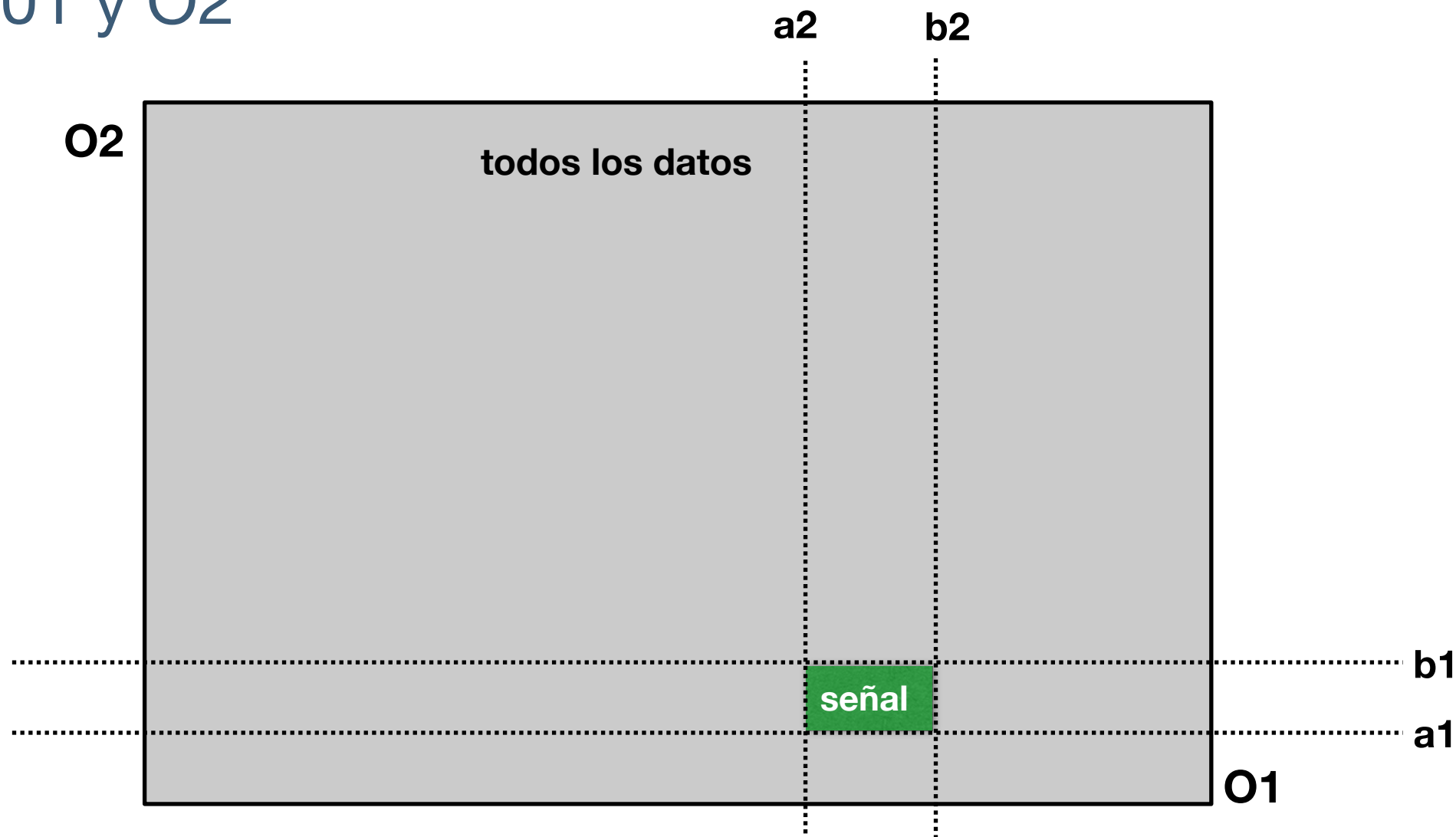
Señal y ruido de fondo

- Consideremos un espacio N-dimensional en el que cada dimension es un observable físico que conocemos
- Tenemos que quedarnos con una pequeña porción del espacio en el que se encuentra la señal. Ejemplo para dos observables O1 y O2



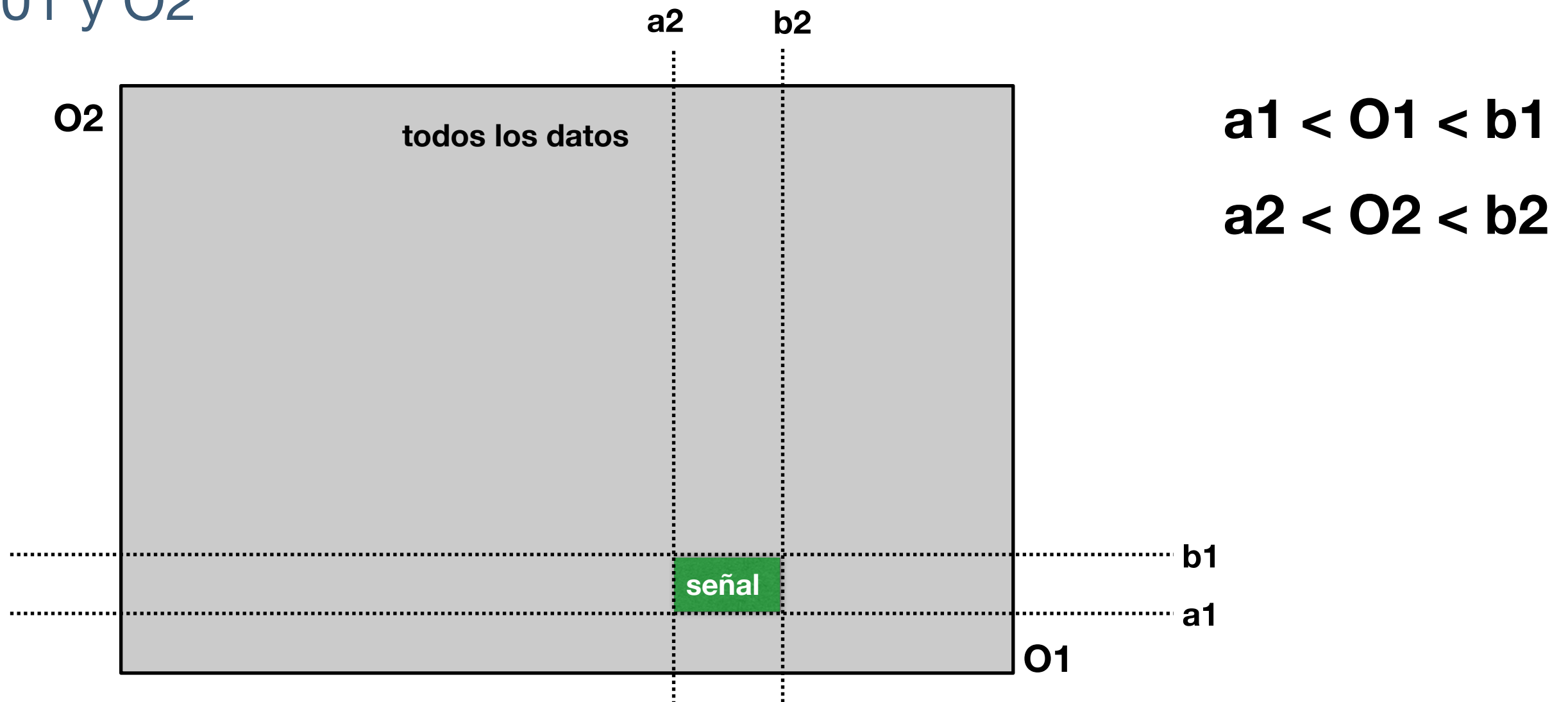
Señal y ruido de fondo

- Consideremos un espacio N-dimensional en el que cada dimension es un observable físico que conocemos
- Tenemos que quedarnos con una pequeña porción del espacio en el que se encuentra la señal. Ejemplo para dos observables O1 y O2



Señal y ruido de fondo

- Consideremos un espacio N-dimensional en el que cada dimension es un observable físico que conocemos
- Tenemos que quedarnos con una pequeña porción del espacio en el que se encuentra la señal. Ejemplo para dos observables O_1 y O_2

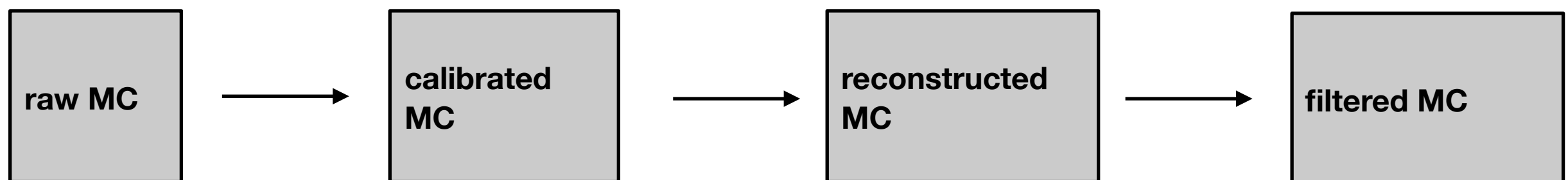


-
- Pero como sabemos donde buscar, pues la señal no la vemos
 - O bien intuimos donde debe estar y vamos acotando la zona
 - O usamos una **simulación** que nos ayude a determinar donde está la señal (cuales son los valores de a_1 , a_2 , b_1 , b_2) que maximizan la pureza de la muestra seleccionada

$$\text{pureza} = \frac{\text{numero de eventos seleccionados que son señal}}{\text{numero de eventos seleccionados}}$$

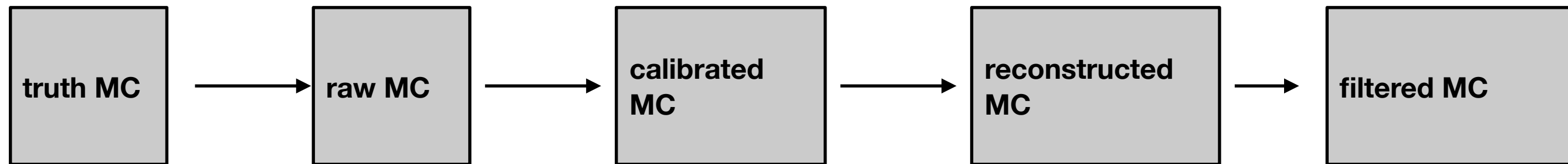
Simulación MonteCarlo

- Existe un programa muy complejo llamado GEANT4 donde todos los procesos físicos conocidos están implementados, así como las propiedades de los materiales
- Este programa es capaz de simular nuestro detector y lo que pasa en el cuando una partícula lo atraviesa
 - Interacciones de esa partícula para producir otras, desintegraciones, etc. Deposición de energía en el detector (ionización del argón líquido)
 - También simulamos el efecto de la electrónica de forma que al final obtenemos lo mismo que para los datos



Simulación MonteCarlo

- Pero hay una diferencia: en el MonteCarlo sabemos lo que ha ocurrido en realidad (“the truth”)



momento real

trayectoria real de la partícula

proceso físico que la ha producido: interacción, desintegración, etc

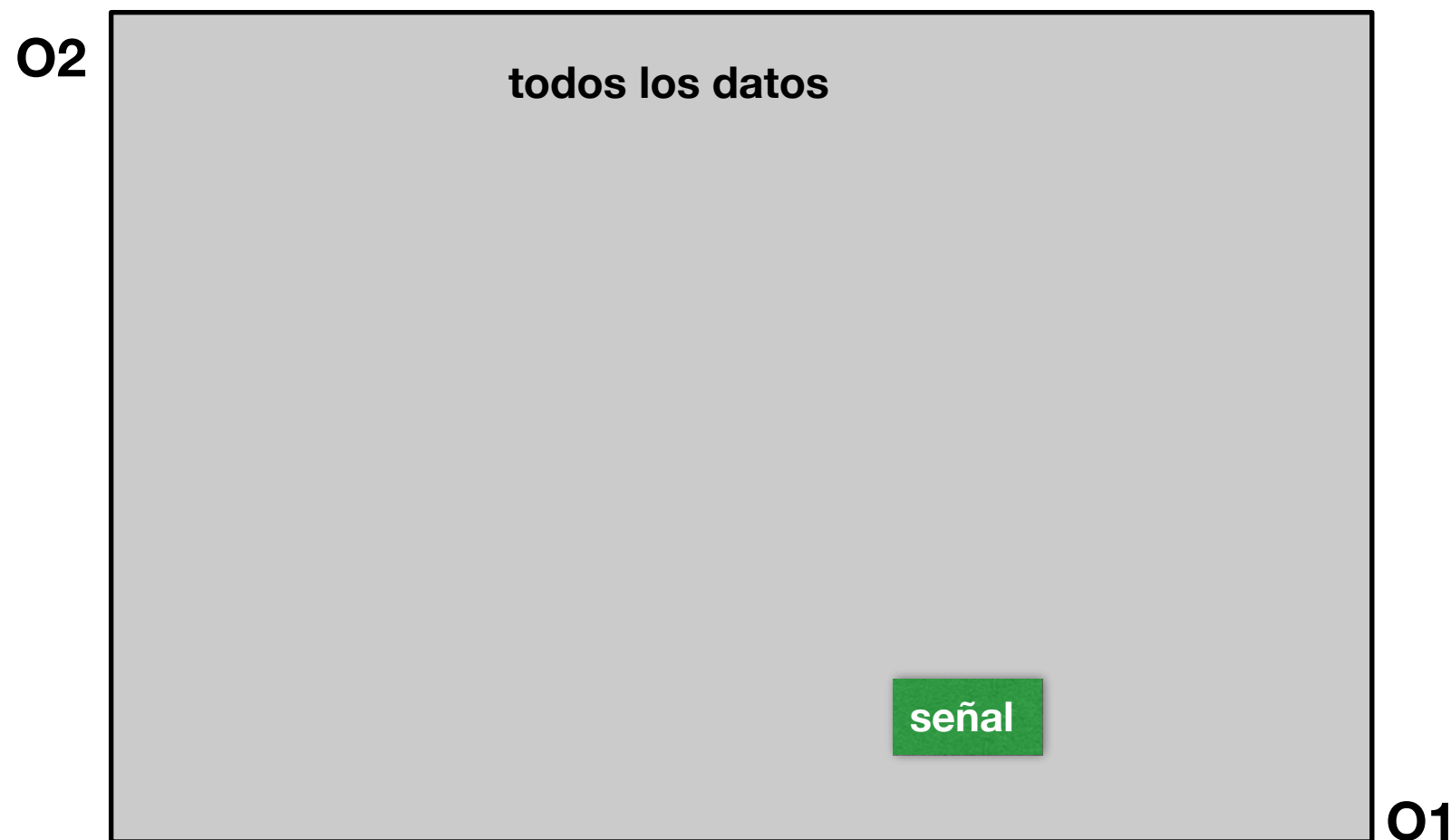
tipo de partícula: electron, muon, proton, etc

.....

- de forma que sabemos donde está la señal

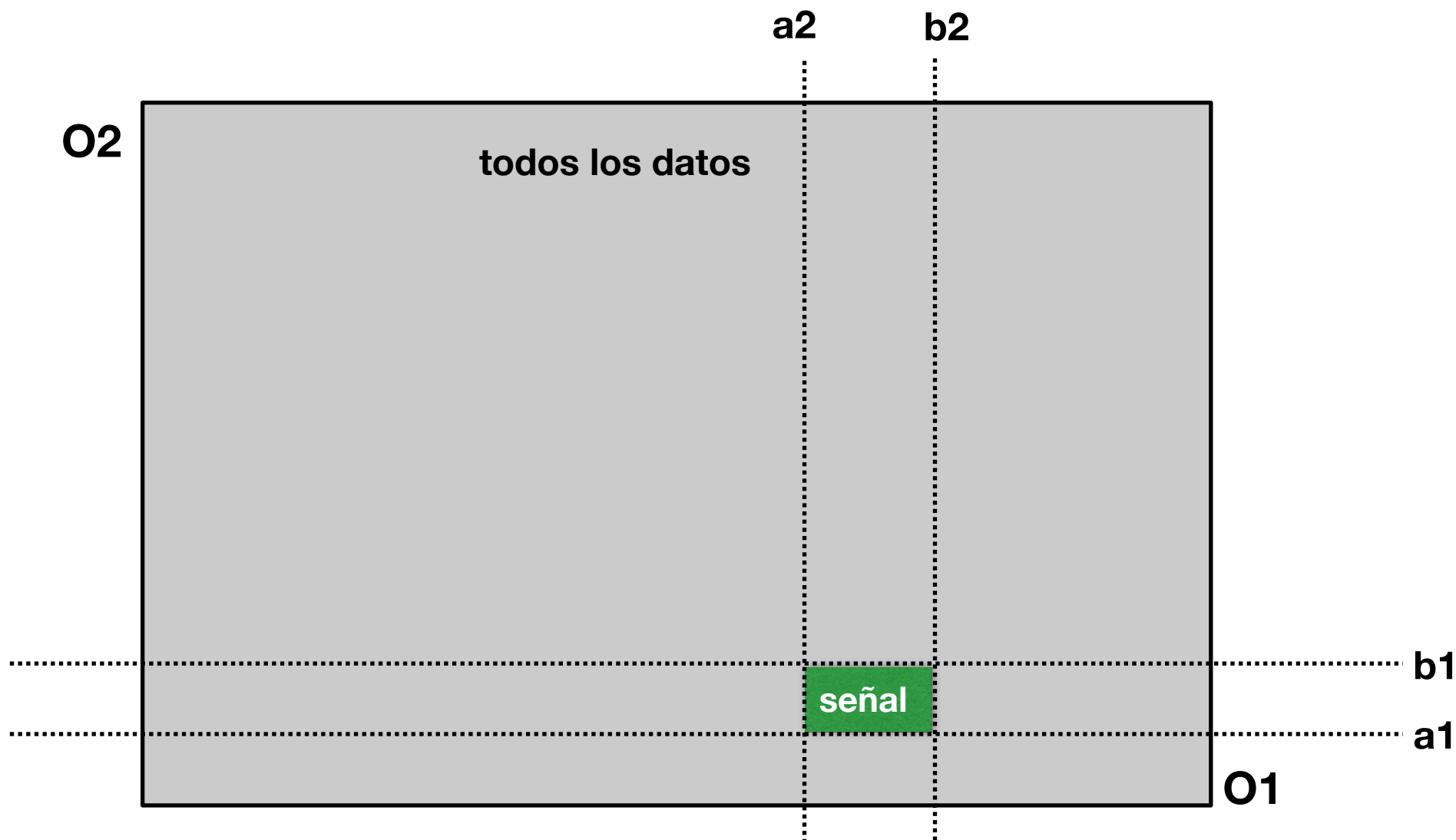
Señal y ruido de fondo

- En principio la señal para datos y MC debería estar en el mismo sitio de forma que los mismos cortes que hemos deducido usando el MC podemos aplicarlos despues a los datos
- Sin embargo a veces hay discrepancias



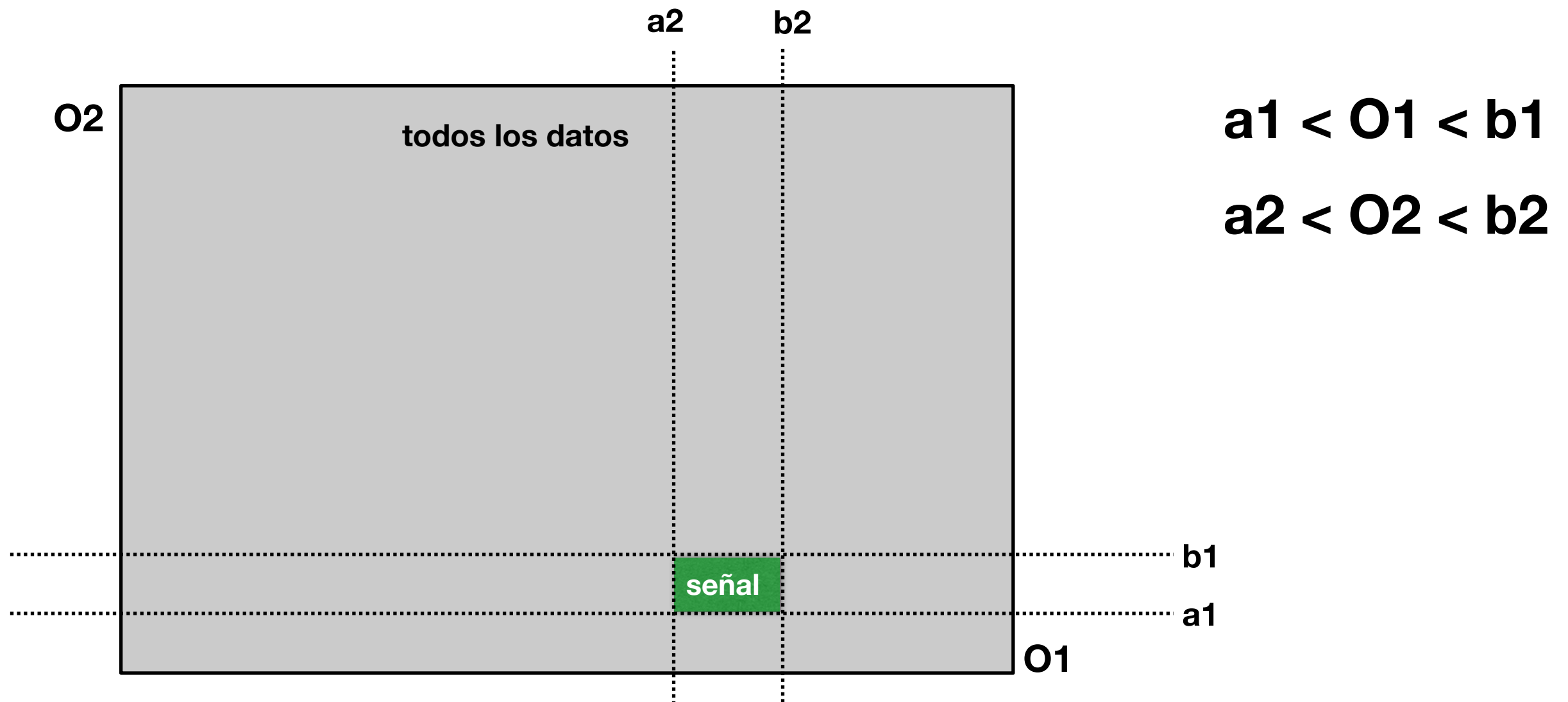
Señal y ruido de fondo

- En principio la señal para datos y MC debería estar en el mismo sitio de forma que los mismos cortes que hemos deducido usando el MC podemos aplicarlos despues a los datos
- Sin embargo a veces hay discrepancias



Señal y ruido de fondo

- En principio la señal para datos y MC debería estar en el mismo sitio de forma que los mismos cortes que hemos deducido usando el MC podemos aplicarlos despues a los datos
- Sin embargo a veces hay discrepancias



¿Y si hay discrepancias ?

- O bien la simulación no ha tenido todo en cuenta. En ese caso hay que mejorarla con toda la información sobre los datos reales que podemos obtener
- ... o hemos descubierto algo ... gravitino ????

HighLAnD

- HighLAnD= **H**igh **L**evel **A**nalysis **D**evelopment
- Es un paquete de software que hemos creado en el IFIC
- Se creó para T2K y ahora lo estamos usando en DUNE
- Sirve para facilitar el análisis de datos
- Utiliza root

DrawingTools

- Son unas utilidades para hacer plots en root
- Información detallada aquí

<http://acervera.web.cern.ch/acervera/highland/DrawingTools.html>

- En una sesión de root hacemos

```
root [0] DrawingToolsBase draw("file_name.root")
```

- Y ya podemos llamar a los comandos de **draw**. Por ejemplo:

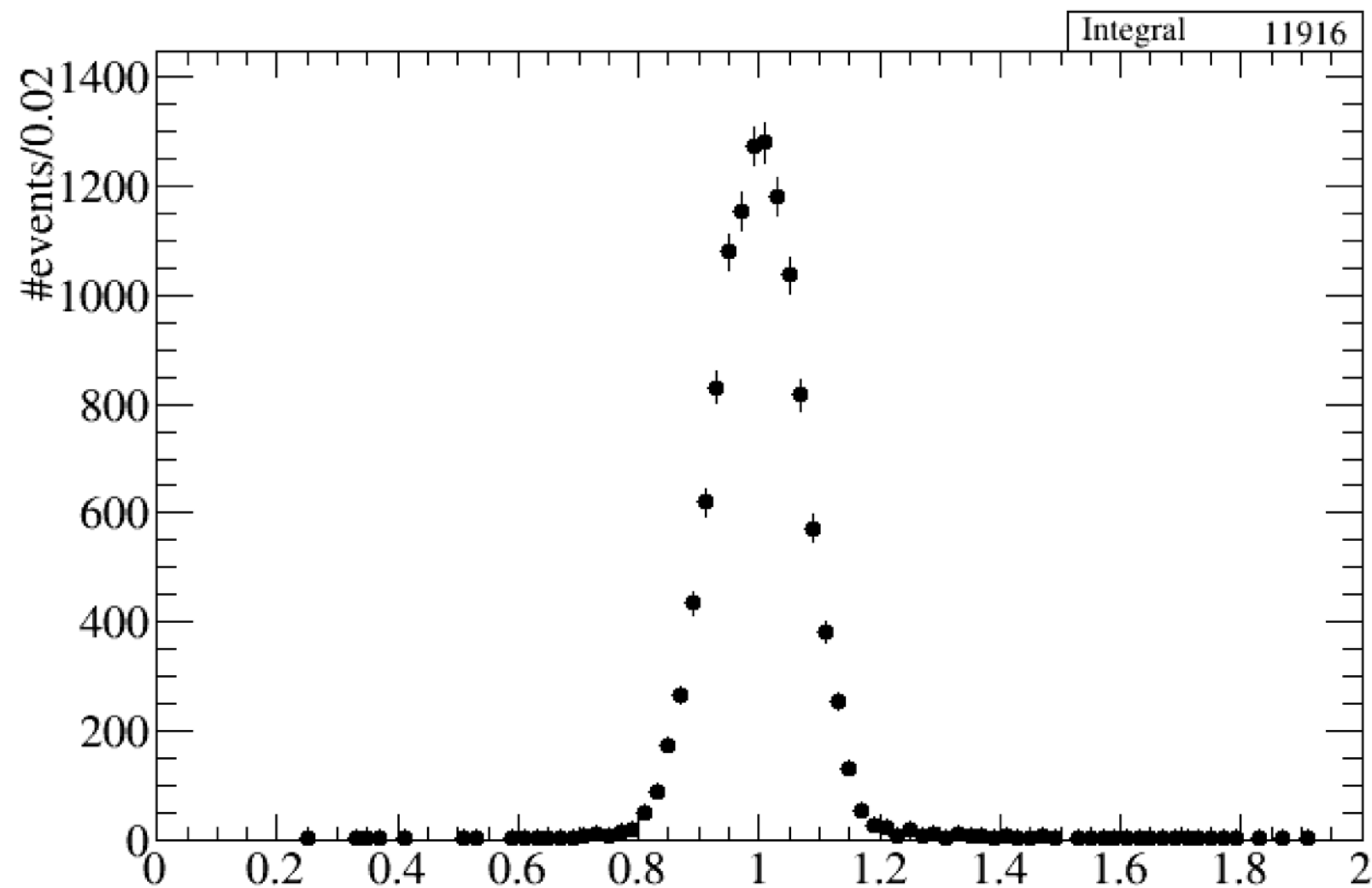
```
root [2] draw.ListVars()
```

- Que hace una lista de todas las variables en el tree

Mi primer plot

- Momento de todas las partículas del beam

```
root [19] draw.Draw(d,"beam_mom",100,0,2)
```



Mi primer plot

```
root [19] draw.Draw(d,"beam_mom",100,0,2)
```

↓
root tree

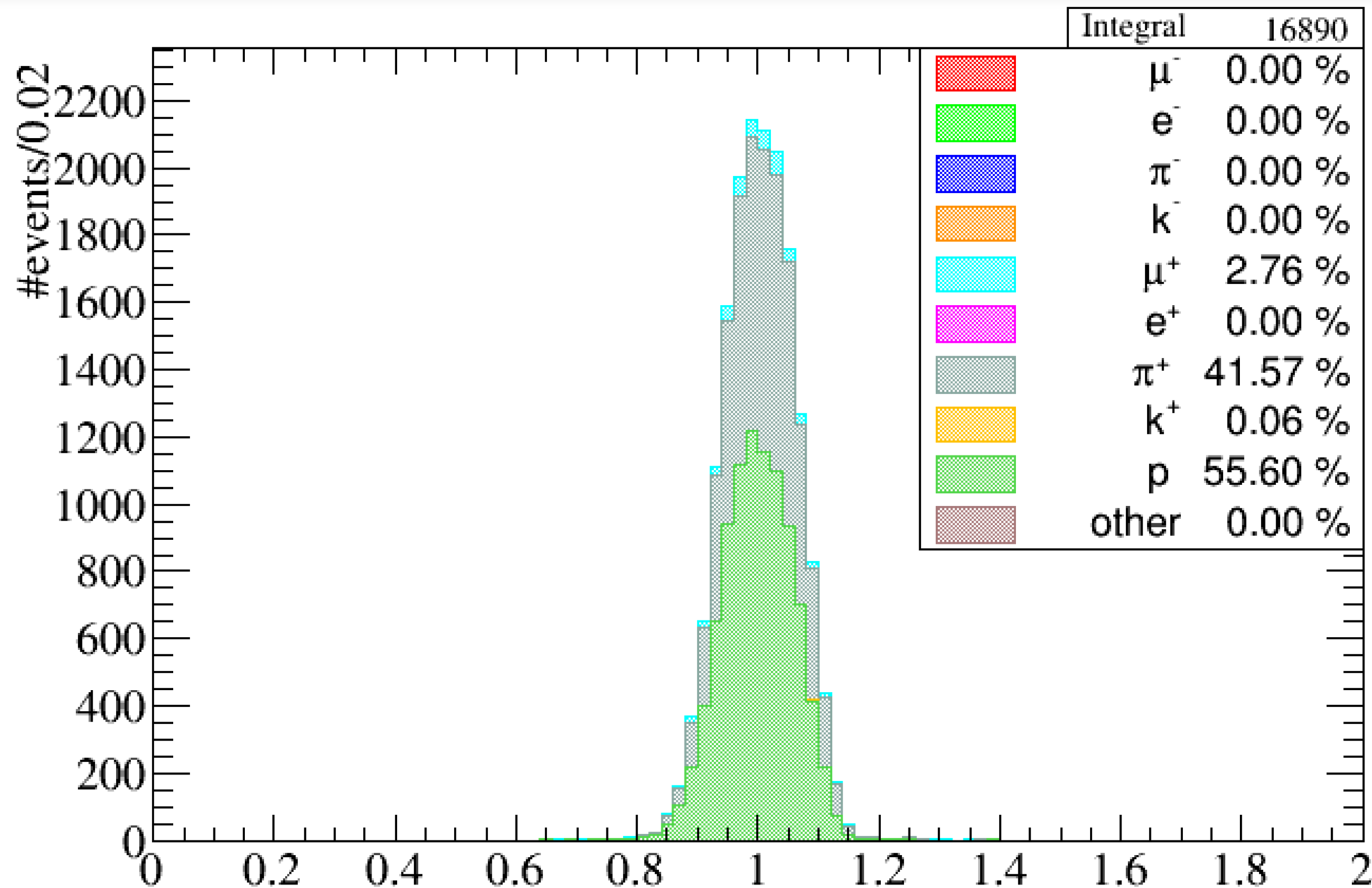
↓
variable

↓
binado

- **root tree**: tree de datos reales
- **variable**: el momento medido (reconstruido) de la partícula del haz
- **binado**: 100 bins entre 0 y 2 (GeV/c)

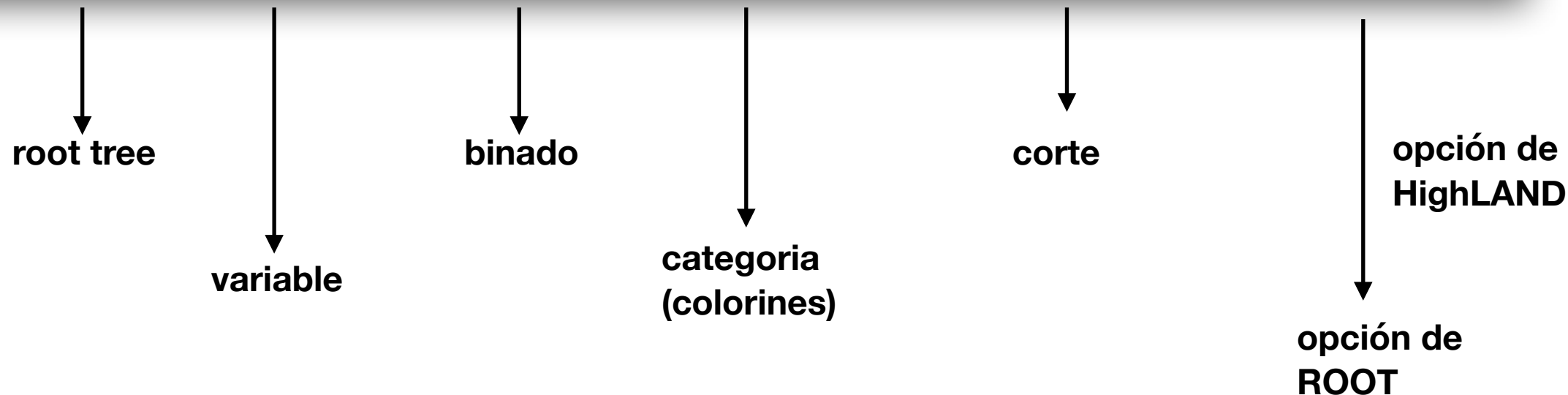
Un poco más complicado

```
root [11] draw.Draw(mc,"beam_truemom",100,0,2,"beamparticle","beamparticle!=-11","", "PUR")
```



Un poco mas complicado

```
root [11] draw.Draw(mc,"beam_truemom",100,0,2,"beamparticle","beamparticle!=-11","", "PUR")
```



- **root tree**: tree de MC
- **variable**: el momento real de la partícula del haz
- **binado**: 100 bins entre 0 y 2 (GeV/c)
- **categoría**: el histograma tendrá varios colores que representarán el tipo de partícula del haz. La categoría “**all**” pone todo junto sin colores
- **corte**: no queremos que aparezcan positrones (pdg code de positrones es -11”=
- **opción de ROOT**: same, HIST, ...
- **opción de HighLAND**: en este caso escribe el porcentaje de cada tipo de partícula

PDG codes

```
root [41] draw.DumpCategory("beamparticle")
```

```
-----  
Types for 'beamparticle' category
```

#mu ⁻	code 13	color 2
e ⁻	code 11	color 3
#pi ⁻	code -211	color 4
k ⁻	code -321	color 94
#mu ⁺	code -13	color 7
e ⁺	code -11	color 6
#pi ⁺	code 211	color 31
k ⁺	code 321	color 92
p	code 2212	color 8
other	code 999	color 48
no truth	code -1	color 92
sand #mu	code 777	color 51

```
-----
```

Categorías para plotar

```
root [27] draw.DumpCategories()  
----- Available track categories -----  
- beamdetector  
- beamendprocess  
- beamgparent  
- beamndau  
- beamnuparent  
- beamnutype  
- beamparent  
- beamparticle  
- beamparticle_withPurities  
- beamprimary  
- beamprocess  
- beamreaction  
- beamreactionCC  
- beamreactionnofv  
- beamtarget  
- daudetector  
- dauendprocess  
- daugparent  
- daundau  
- daunuparent  
- daunutype  
- dauparent  
- dauparticle  
- dauprimary  
- dauprocess  
- daureaction  
- daureactionCC  
- daureactionnofv  
- dautarget  
- detector  
- endprocess  
- gparent  
- ndau  
- nuparent  
- nutype  
- parent  
- particle  
- primary  
- process  
- reaction  
- reactionCC  
- reactionnofv  
- target  
-----
```

- De momento solo nos interesa **beamparticle**, que nos dice el tipo de partícula del beam

Variables que nos interesan

informacion sobre la partícula del beam

- beam_ckov_pressure
- beam_ckov_status
- beam_ckov_time
- beam_enddir
- beam_endpos
- beam_mom
- beam_mom_raw
- beam_mom_tpc
- beam_time
- beam_tof
- beam_trigger
- beam_truedir
- beam_trueendpos
- beam_trueendproc
- beam_truemom
- beam_truemom_tpc
- beam_truepdg
- beam_truepos

informacion sobre cada traza en la TPC

→ ntracks

- trk_dedx
- trk_dir
- trk_length
- trk_mom_muon
- trk_mom_prot
- trk_ndau
- trk_pos
- trk_truedir
- trk_trueendproc
- trk_truemom
- trk_truepdg
- trk_truepos
- trk_trueproc

Cortes

```
root [11] draw.Draw(mc,"beam_truemom",100,0,2,"beamparticle","beamparticle!=-11","", "PUR")
```



root tree



variable



binado



categoria
(colorines)



corte



opción de
HighLAND

opción de
ROOT

- **root tree**: tree de MC
- **variable**: el momento real de la partícula del haz
- **binado**: 100 bins entre 0 y 2 (GeV/c)
- **categoría**: el histograma tendrá varios colores que representarán el tipo de partícula del haz. La categoría “**all**” pone todo junto sin colores
- **corte**: no queremos que aparezcan positrones (pdg code de positrones es -11”=
- **opción de ROOT**: same, HIST, ...
- **opción de HighLAND**: en este caso escribe el porcentaje de cada tipo de partícula

Cortes

- Poner cortes significa restringir el valor de una determinada variable **O** (observable físico) a una determinada región:
 - “ $O > 10$ ”
 - “ $O < 30$ ”
 - “ $O \geq 10$ ” (mayor o igual)
 - “ $O \leq 30$ ” (menor o igual)
 - “ $O \neq 10$ ” (O no es igual a 10)
 - “ $O == 10$ ” (O es igual a 10)
- Se pueden encadenar cortes
 - “ $O > 10 \ \&\& \ O < 30$ ” (O tiene que estar entre 10 y 30)
 - “ $(O < 10 \ || \ O > 30)$ ” (O tiene que ser menor de 10 o mayor de 30)

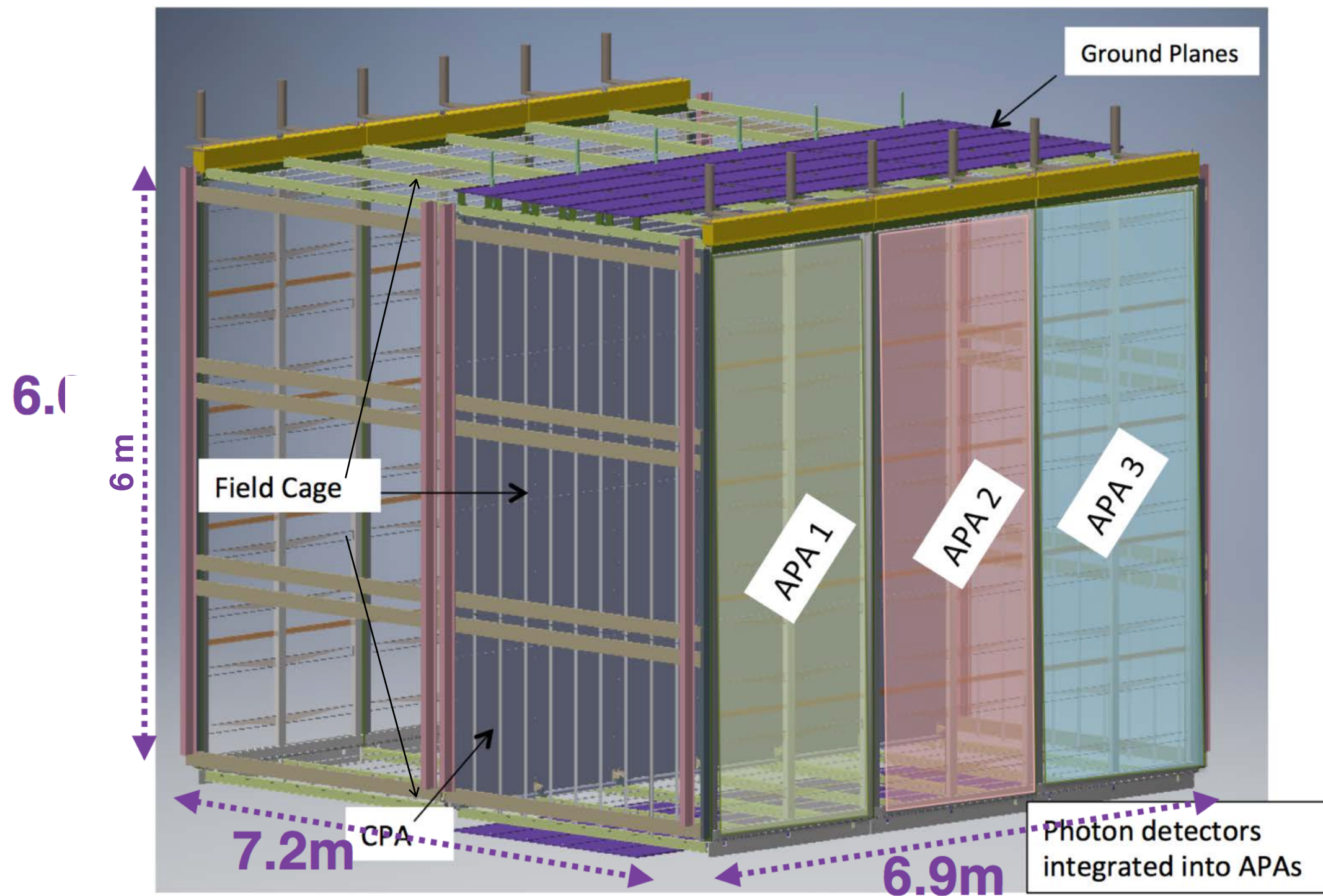
Cortes

- Se pueden usar tantas variables como se quieran. Por ejemplo si tenemos dos observables O1 y O2
 - “O1 > 10 && O2 > 5”
 - “O1 > 10 && O1 < 30 && O2 > 2 && O2 < 4” (10 < O1 < 30 y 2 < O2 < 4)
- Podemos agrupar los cortes como queramos. En una sesión de root podríamos hacer

```
std::string cut1 = "beam_tof > 150 && beam_tof < 170";  
std::string cut2 = "trk_dir[][2] > 0.9";  
draw.Draw(d2, "trk_pos[][0]", 100, -400, 400, "all", cut1 + " && " + cut2, "HIST");
```

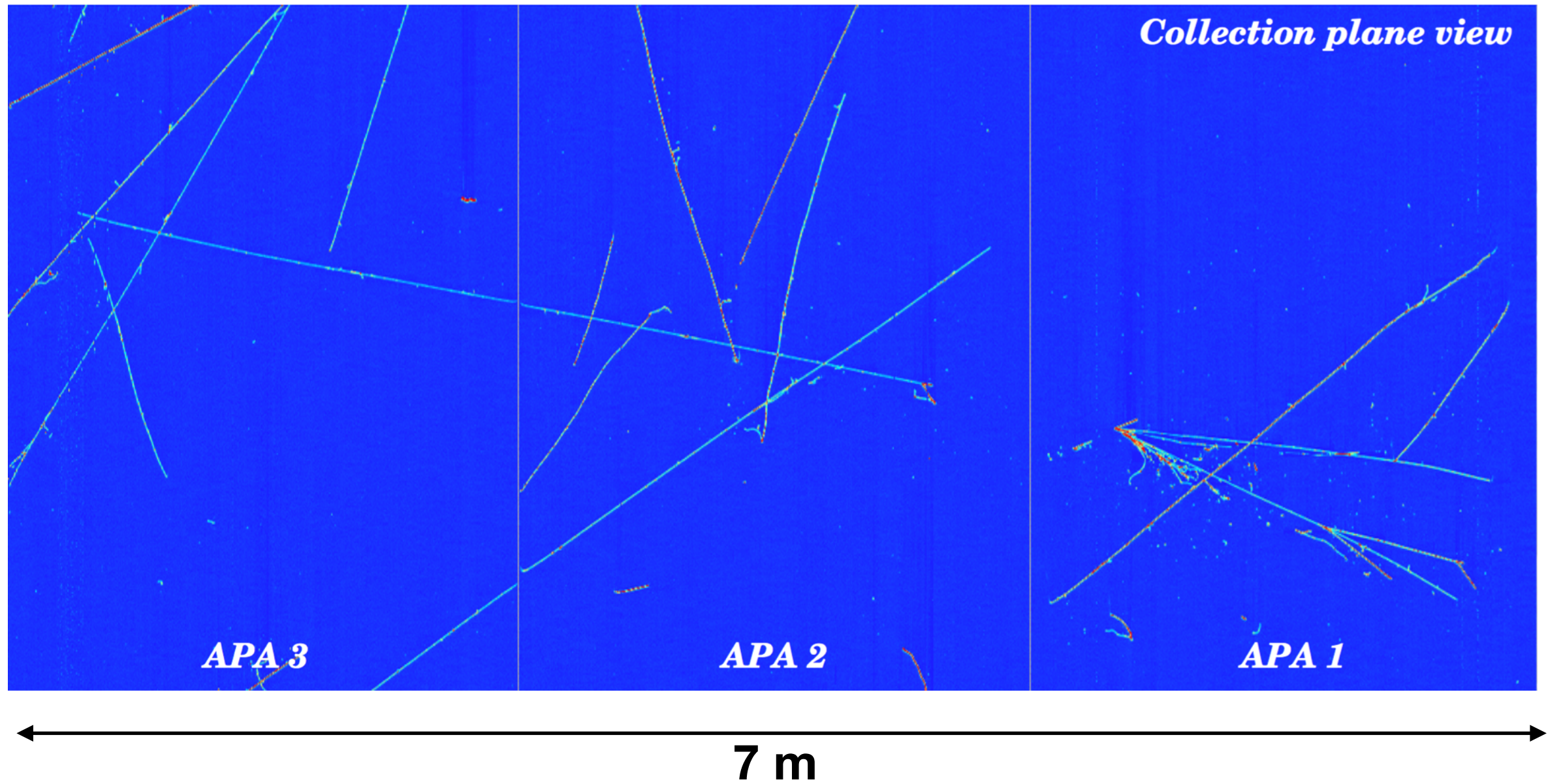

Para que sirven los cortes

- Para ir filtrando la muestra, deshaciéndonos del ruido de fondo y quedándonos con la señal

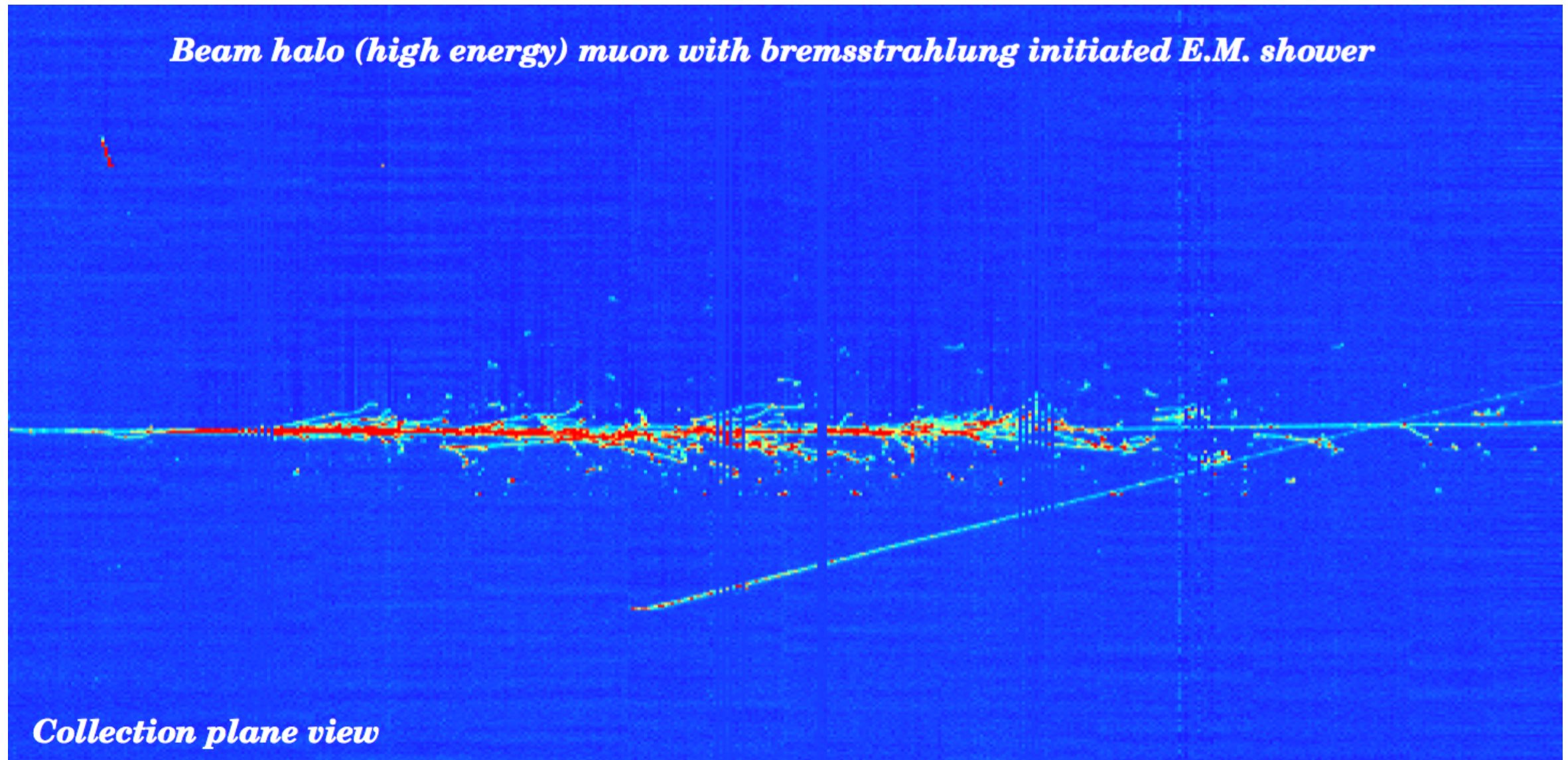


Event gallery

7 GeV beam proton

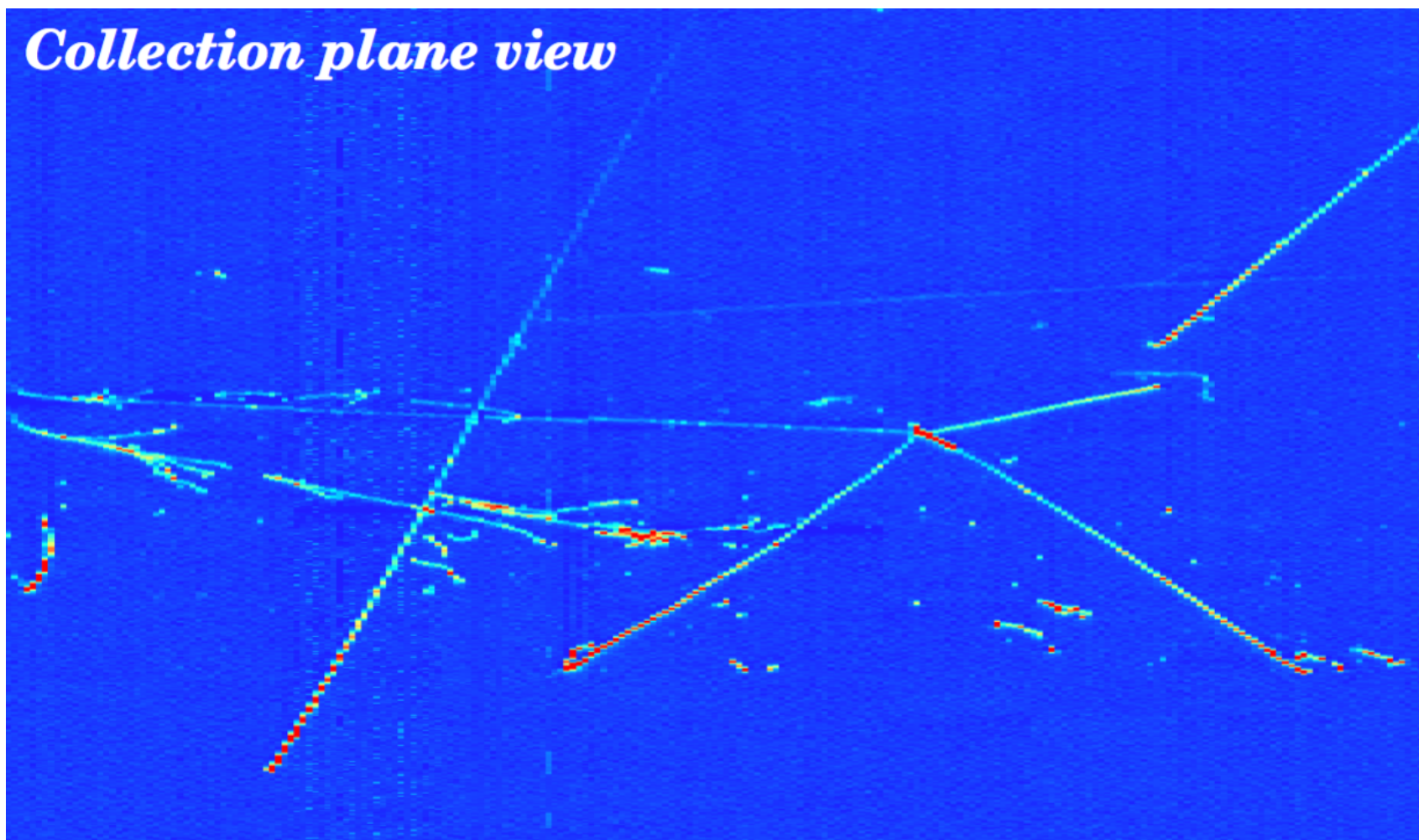


Event gallery



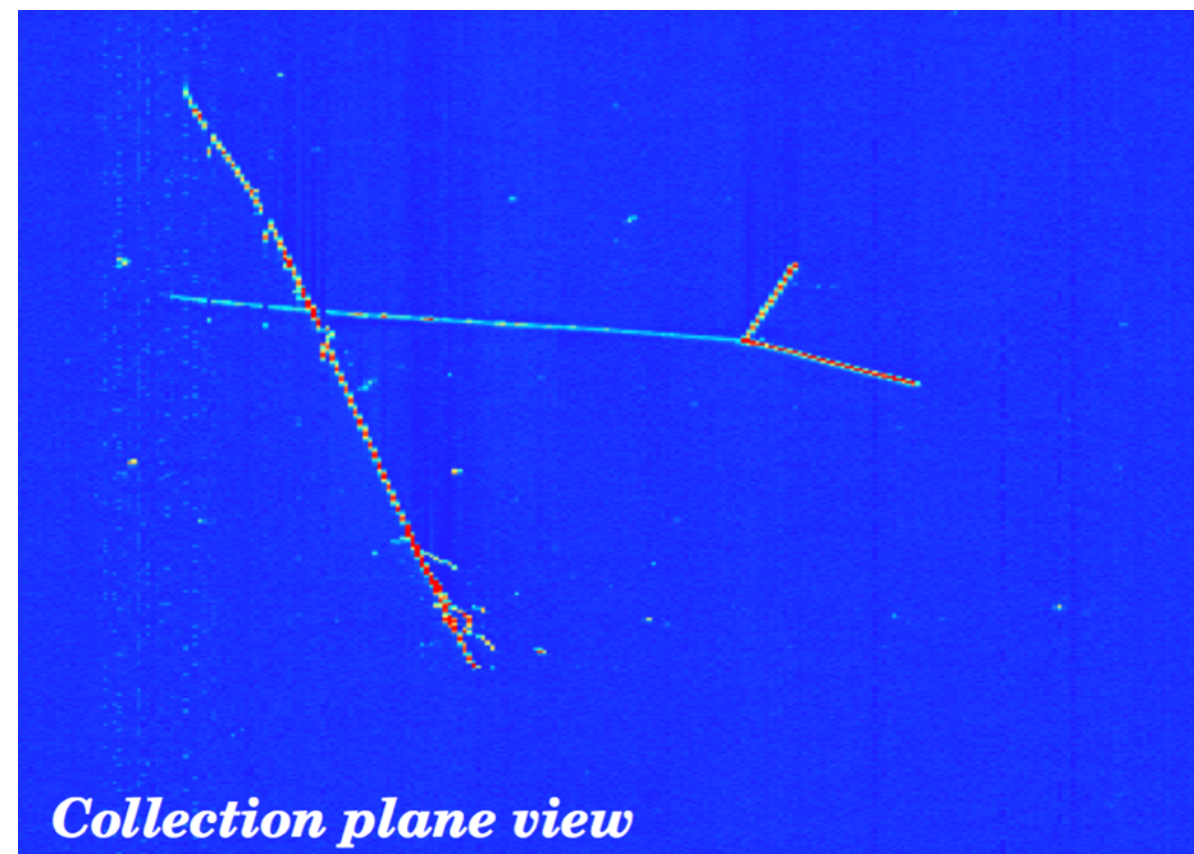
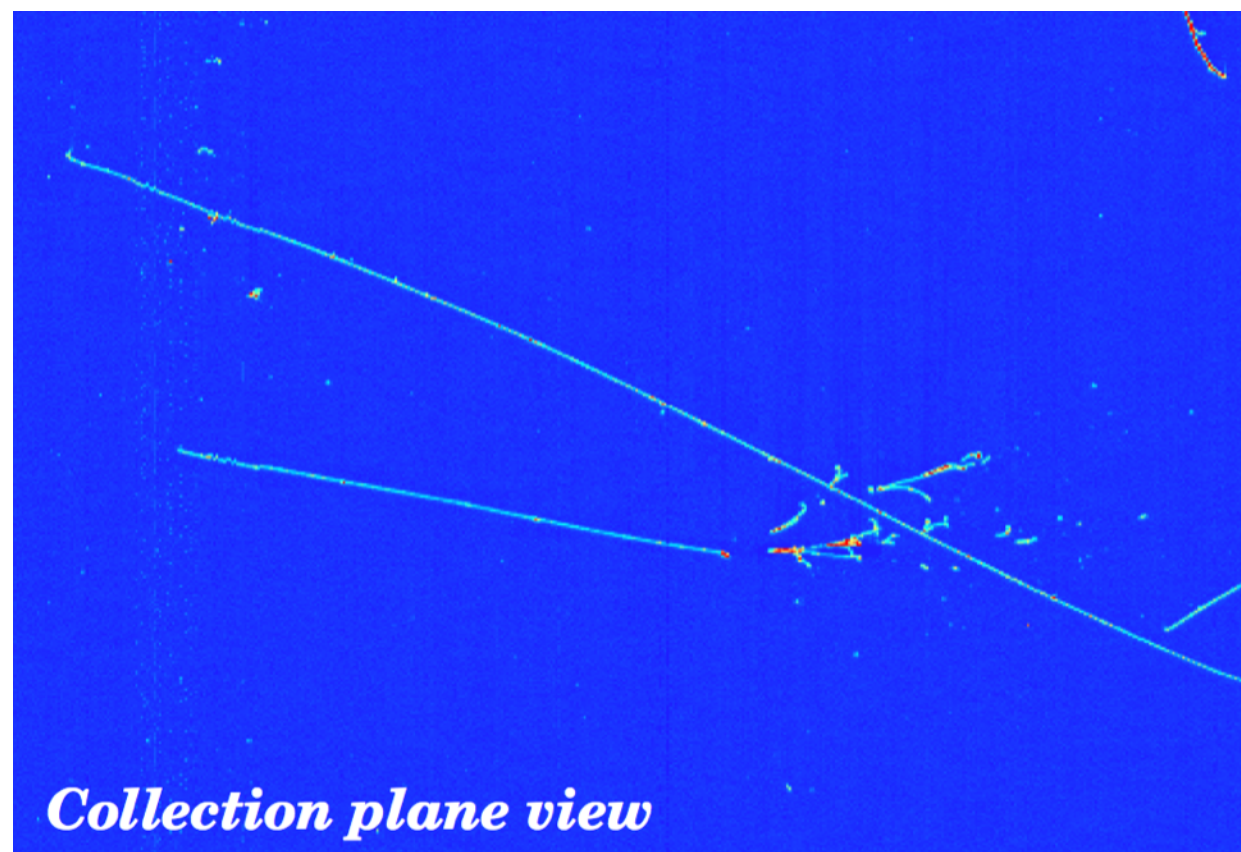
Event gallery

**2 EM showers and a pion
interaction with 4 outgoing particles**



Event gallery

1 GeV pions



backup

Por qué una TPC ?

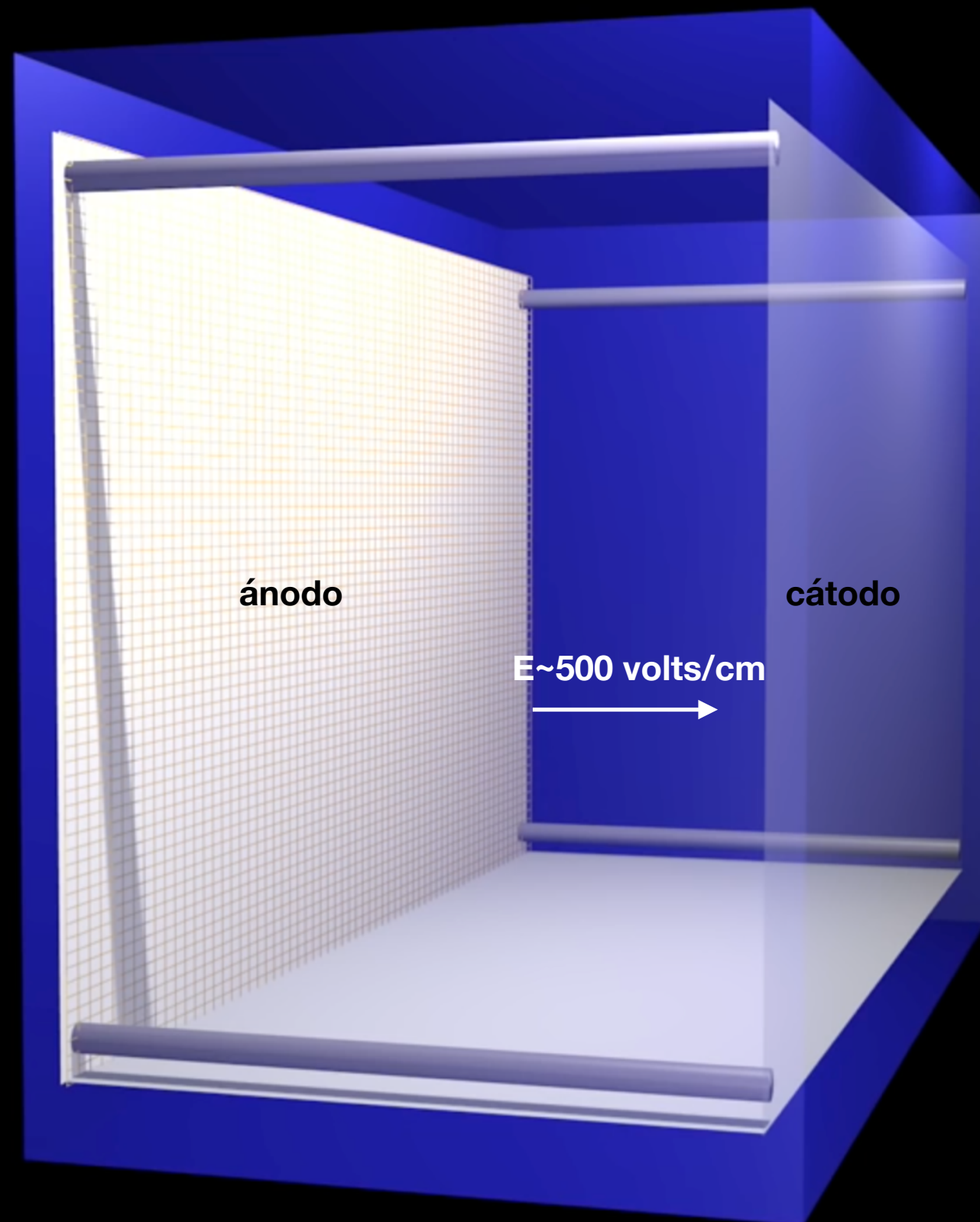
μ BooNE

Fine-grained, 3D images of neutrino interactions.
Particle identification based on dE/dx and range.
Close to full acceptance.

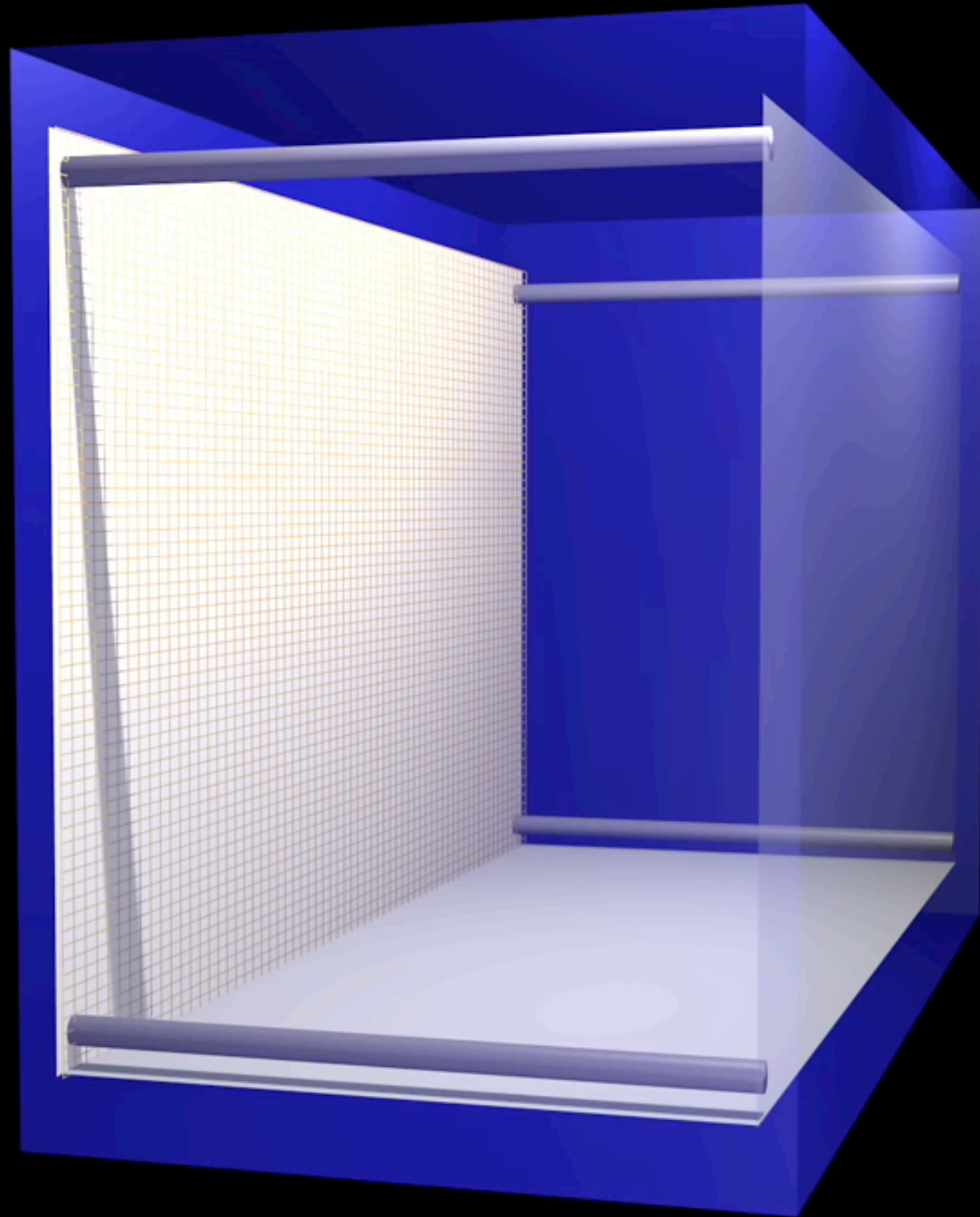
75 cm

Run 3493 Event 41075, October 23rd, 2015

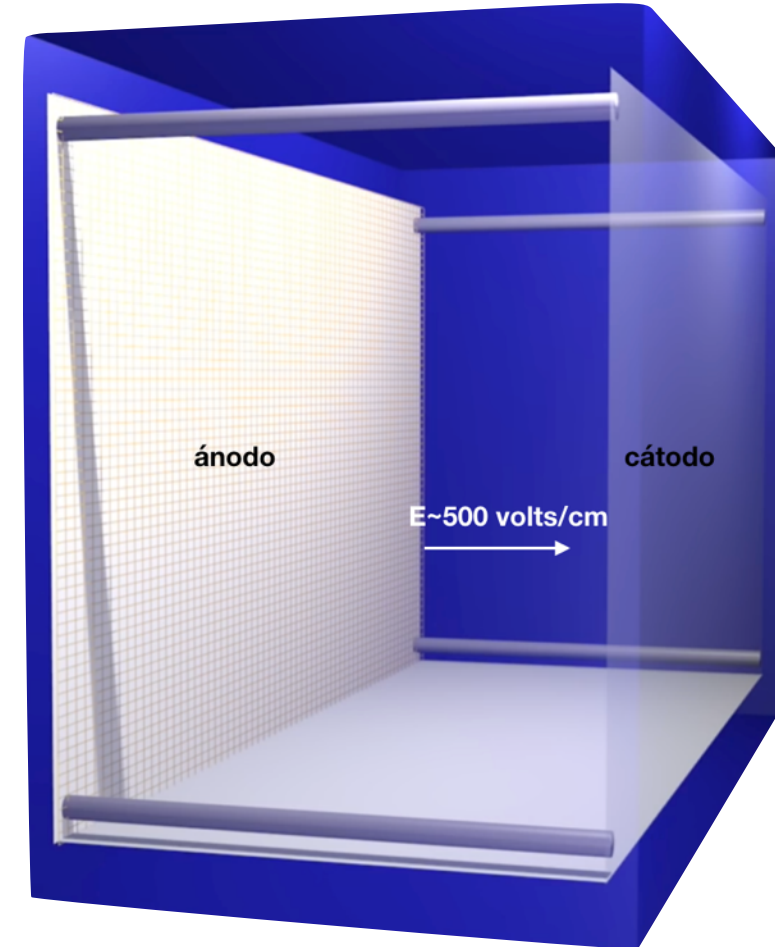
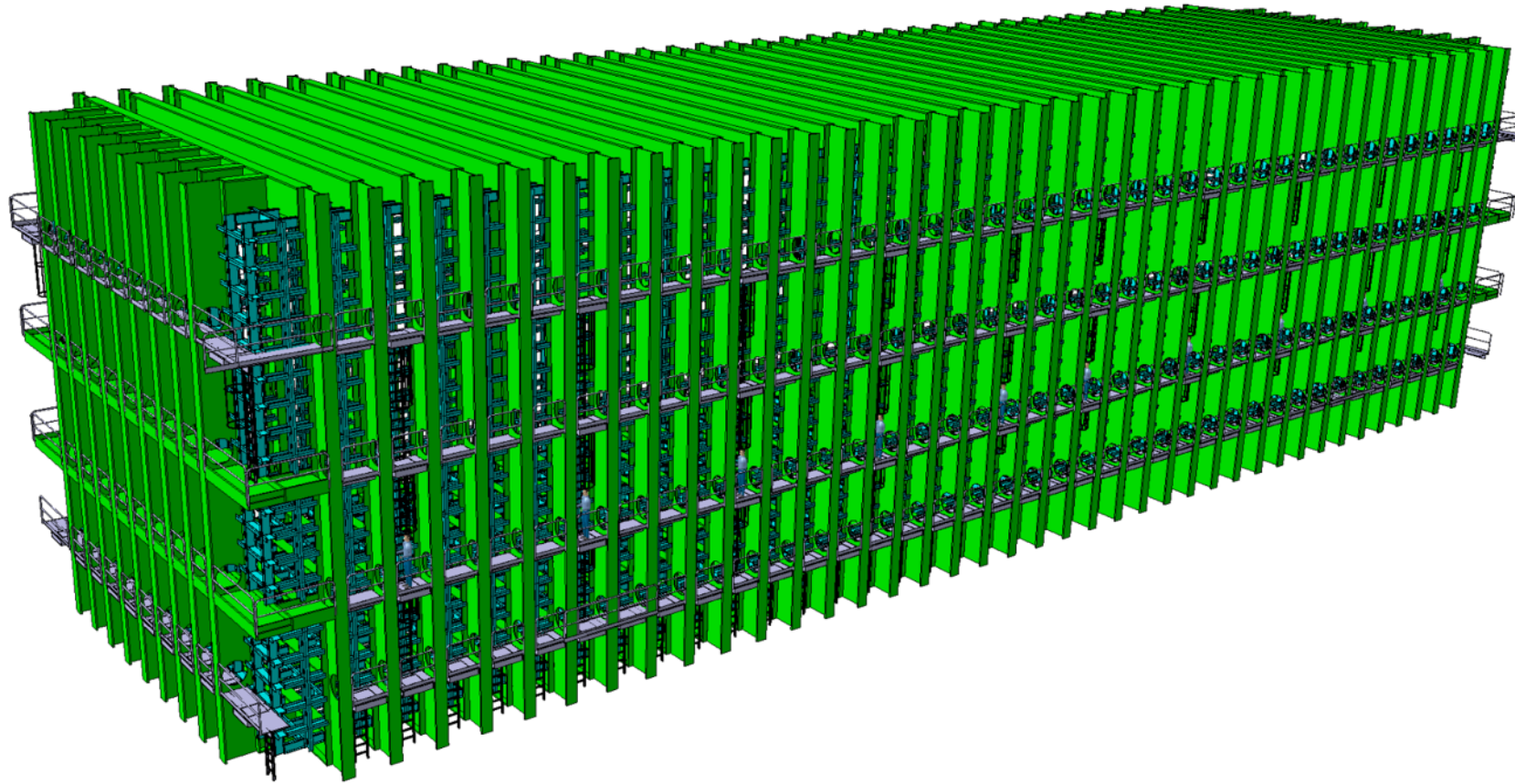
¿Como funciona ?



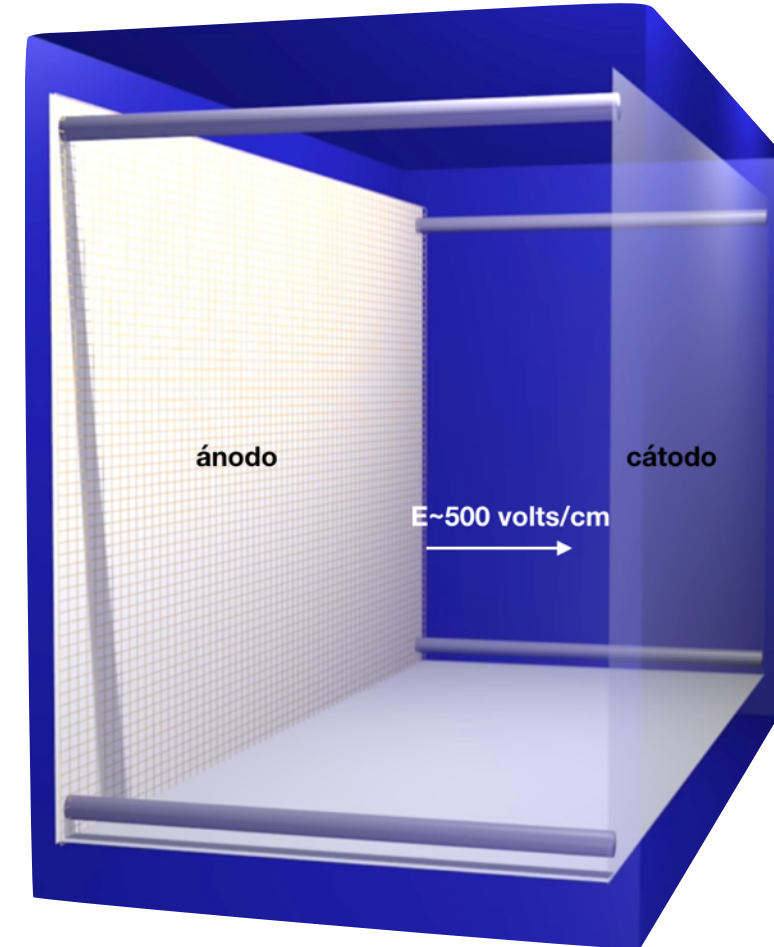
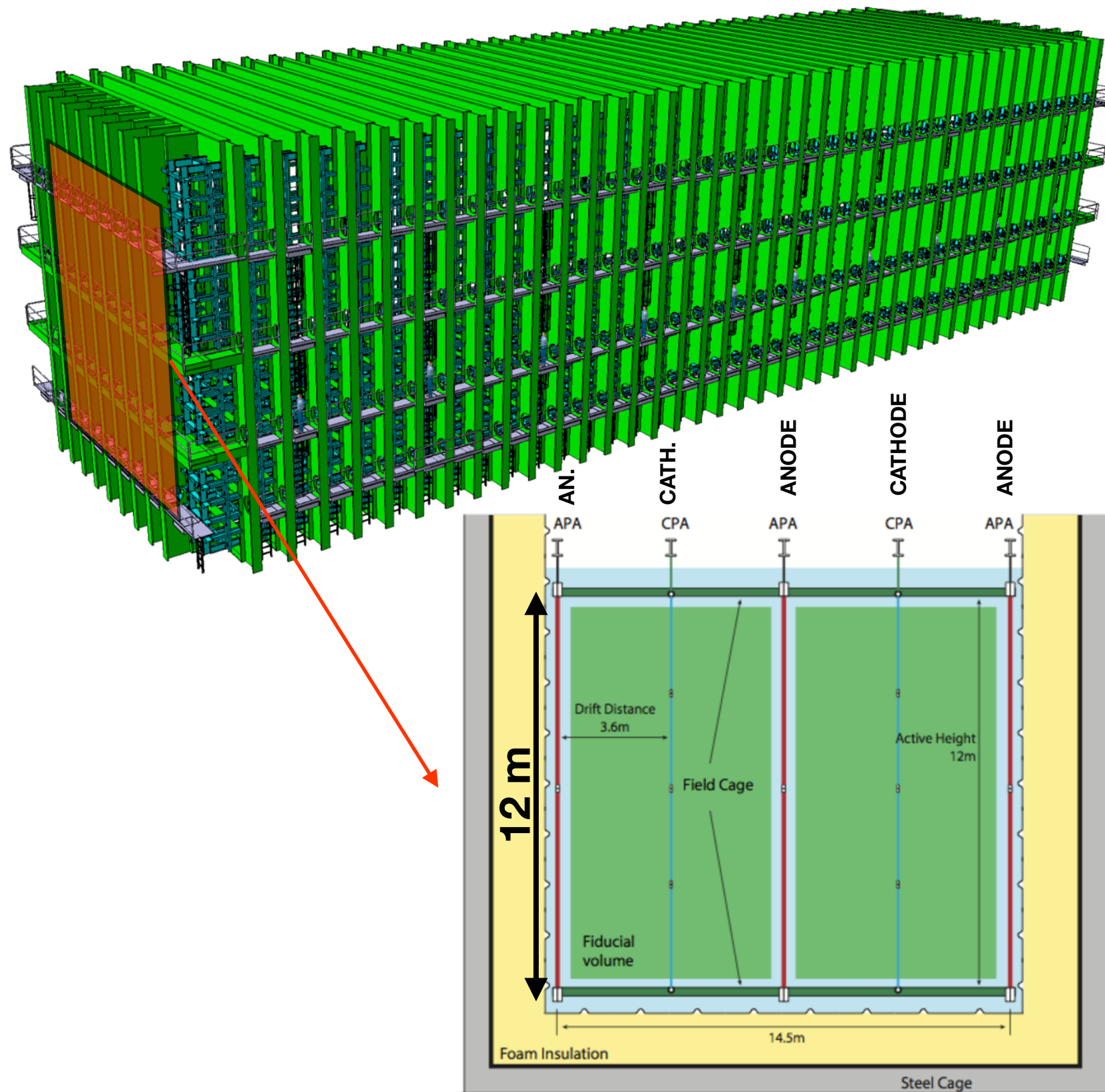
¿Como funciona ?



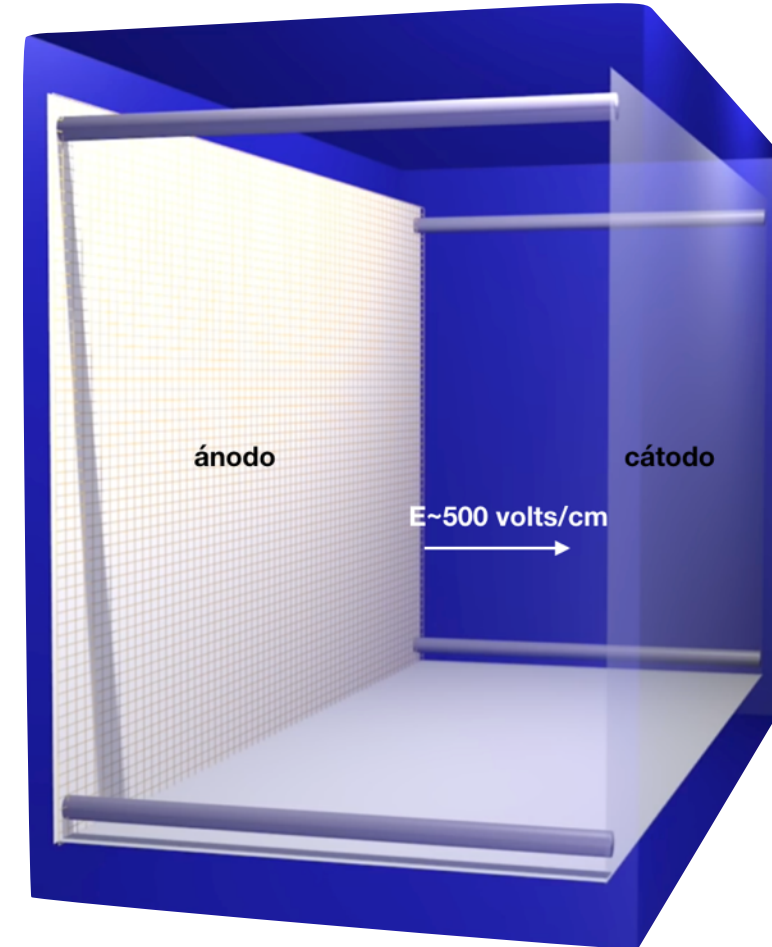
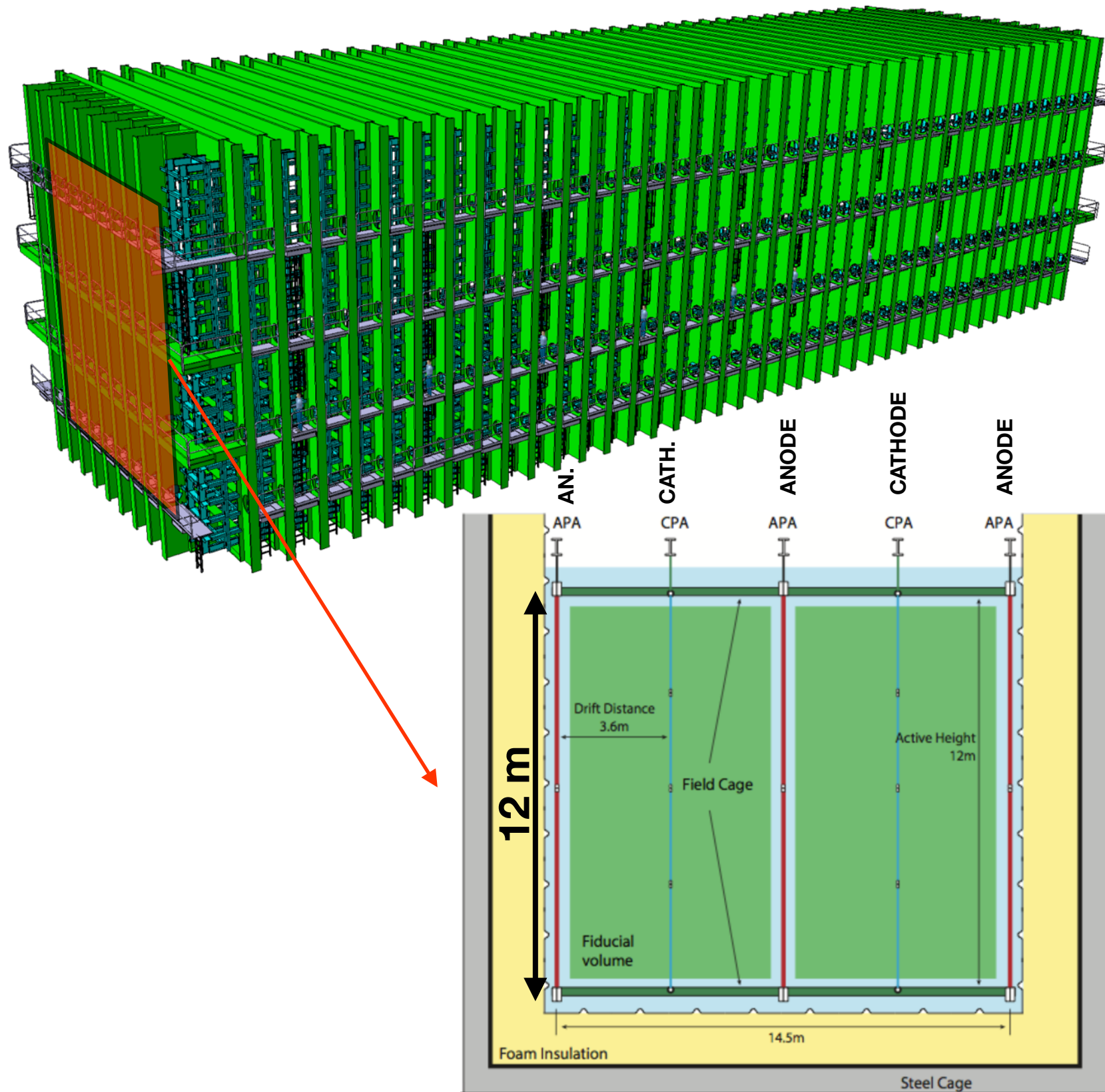
Detectores lejanos



Detectores lejanos



Detectores lejanos



180,000 volts between cathode and anode

ANODE

CATHODE

ANODE

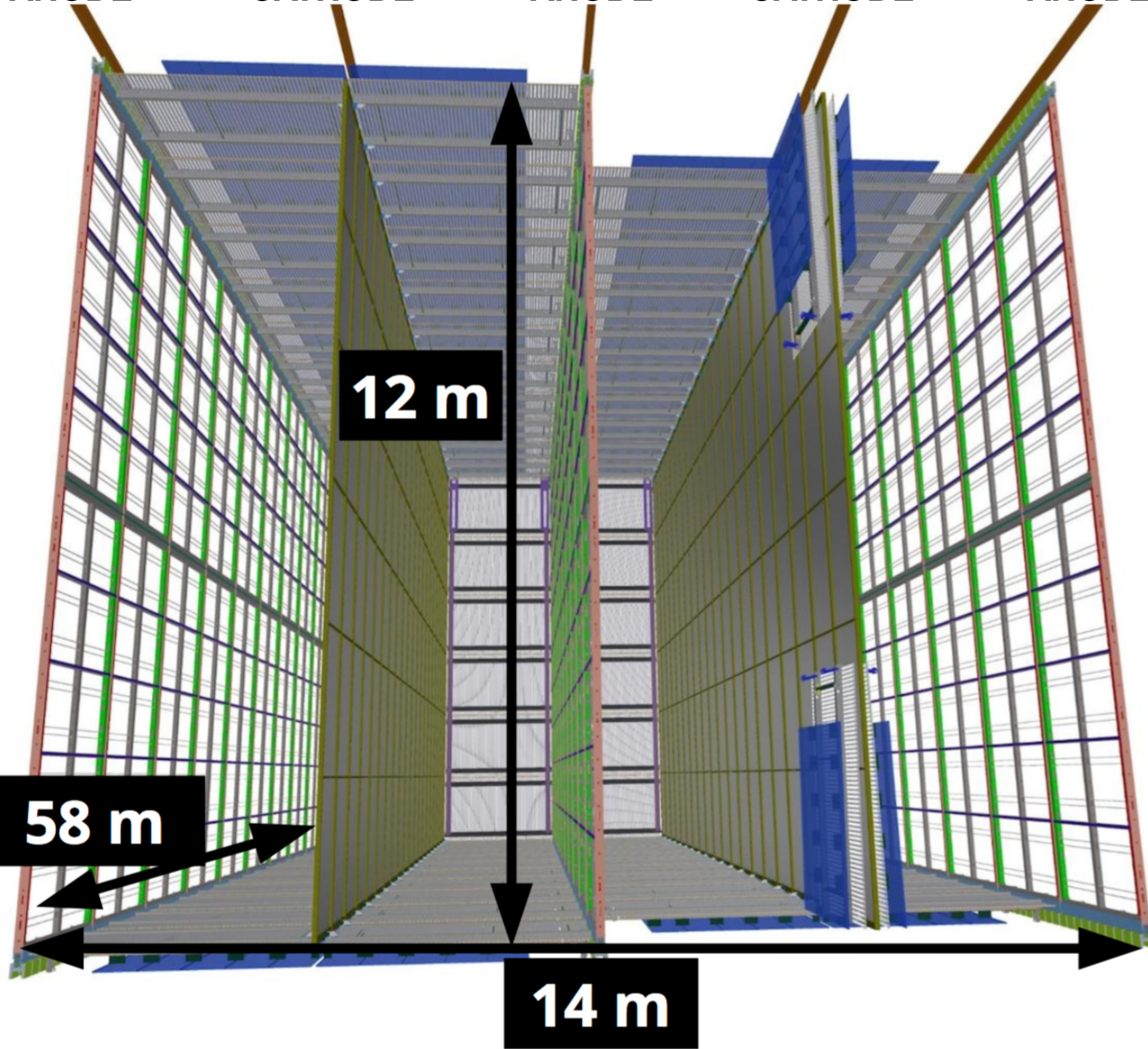
CATHODE

ANODE

12 m

58 m

14 m



ANODE CATHODE ANODE CATHODE ANODE

12 m

58 m

14 m

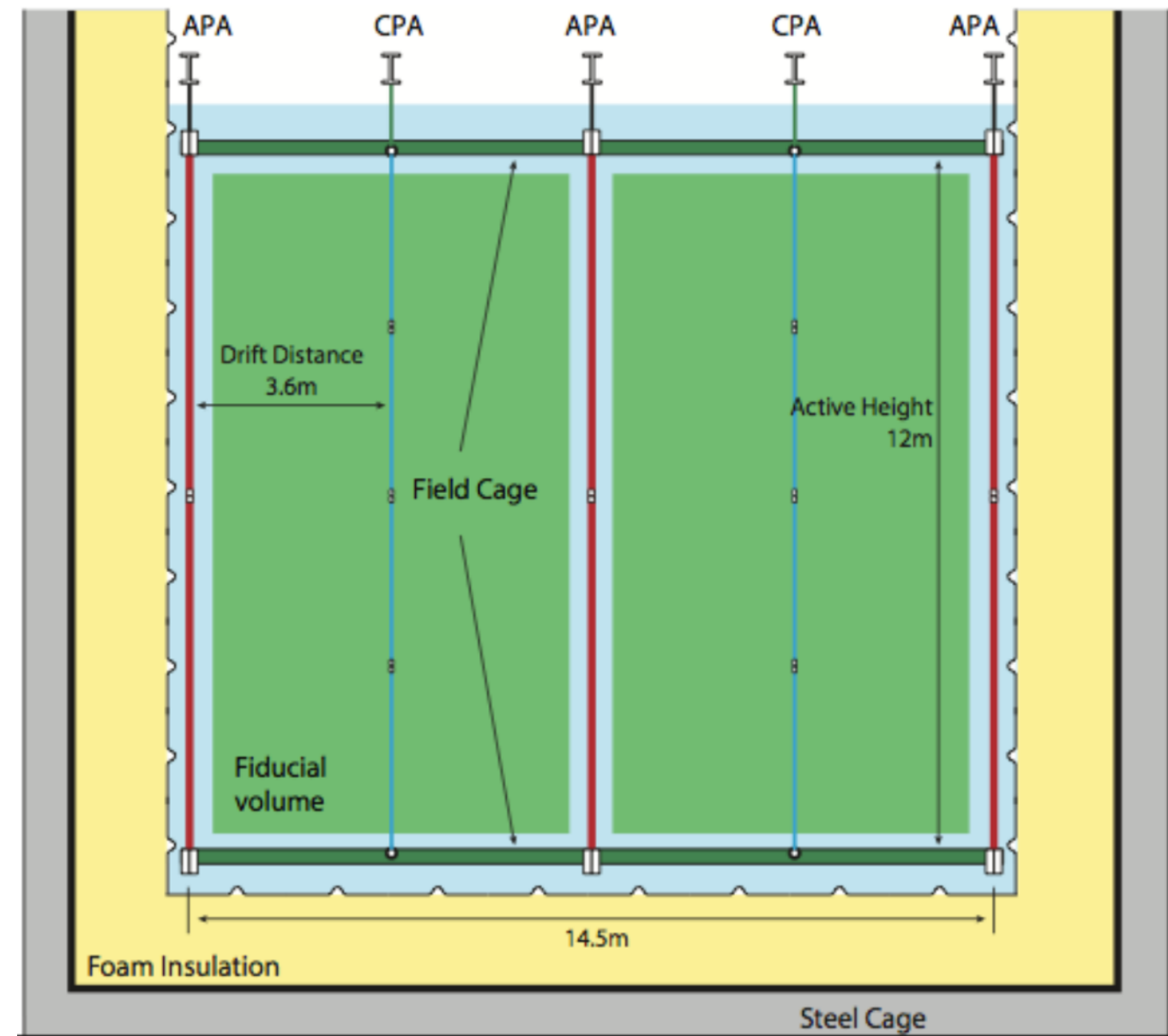


Icarus x 20

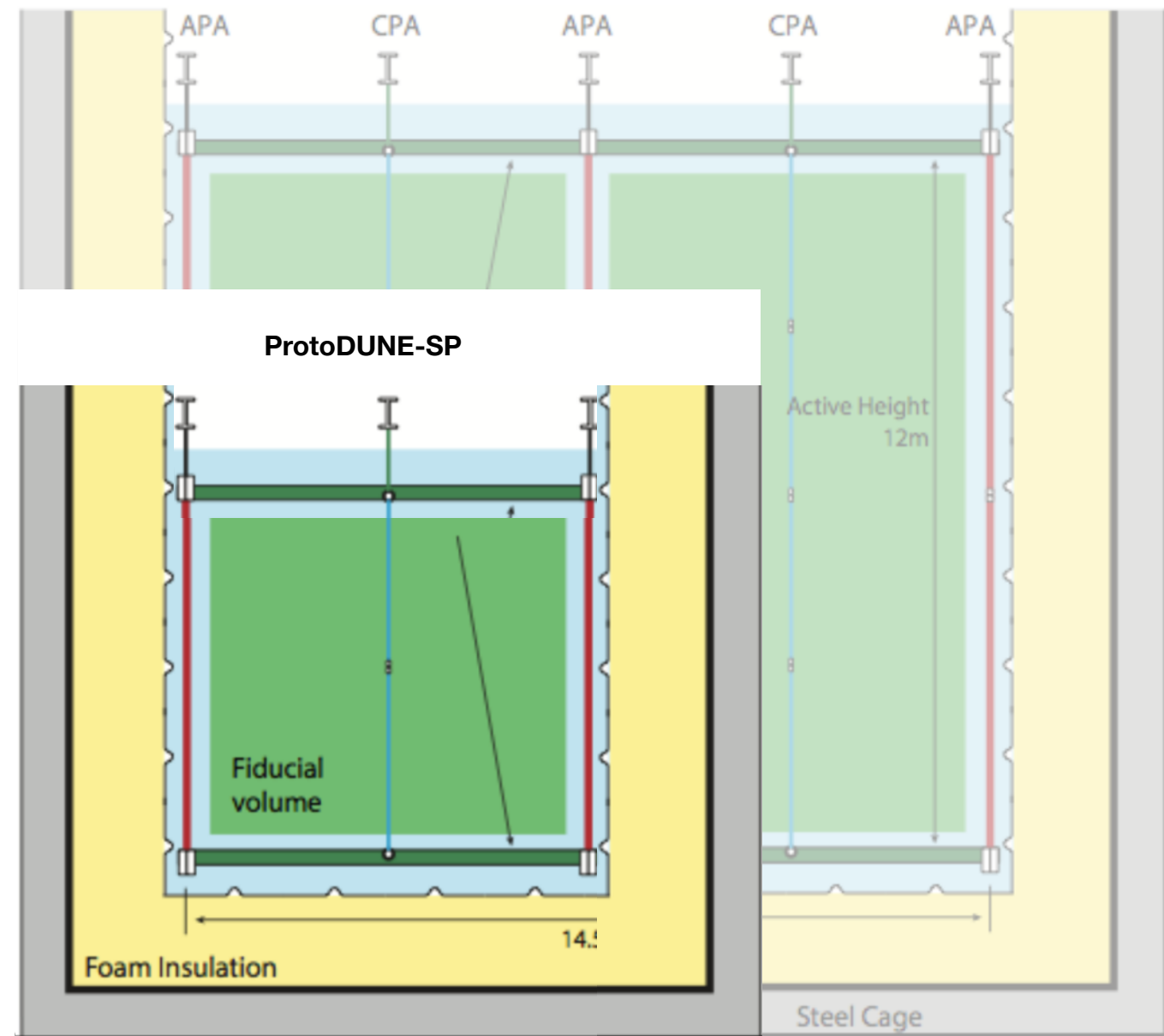
1/2 Icarus



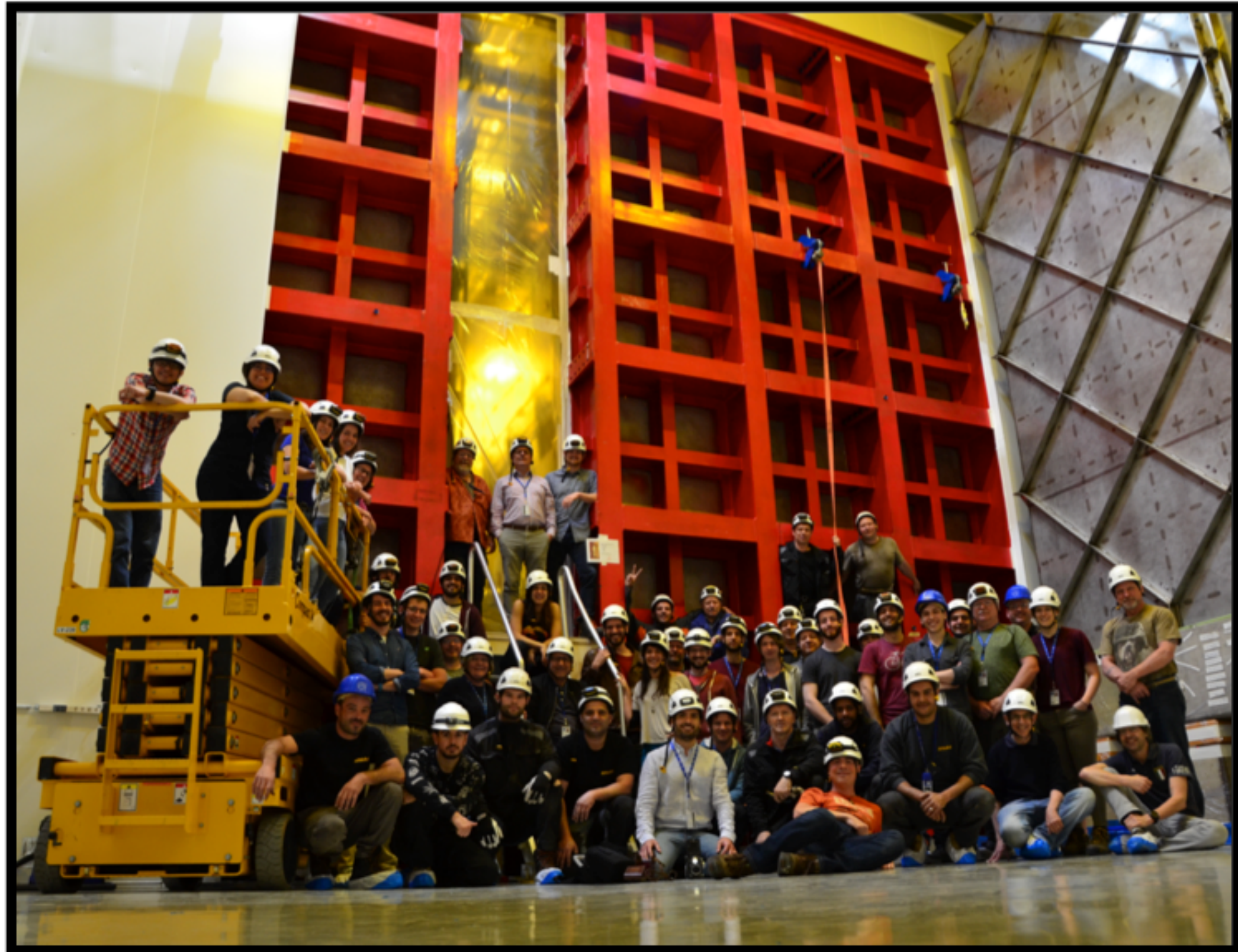
ProtoDUNE en el CERN



ProtoDUNE en el CERN



ProtoDUNE cryostats



The CERN Neutrino Platform



March 2016

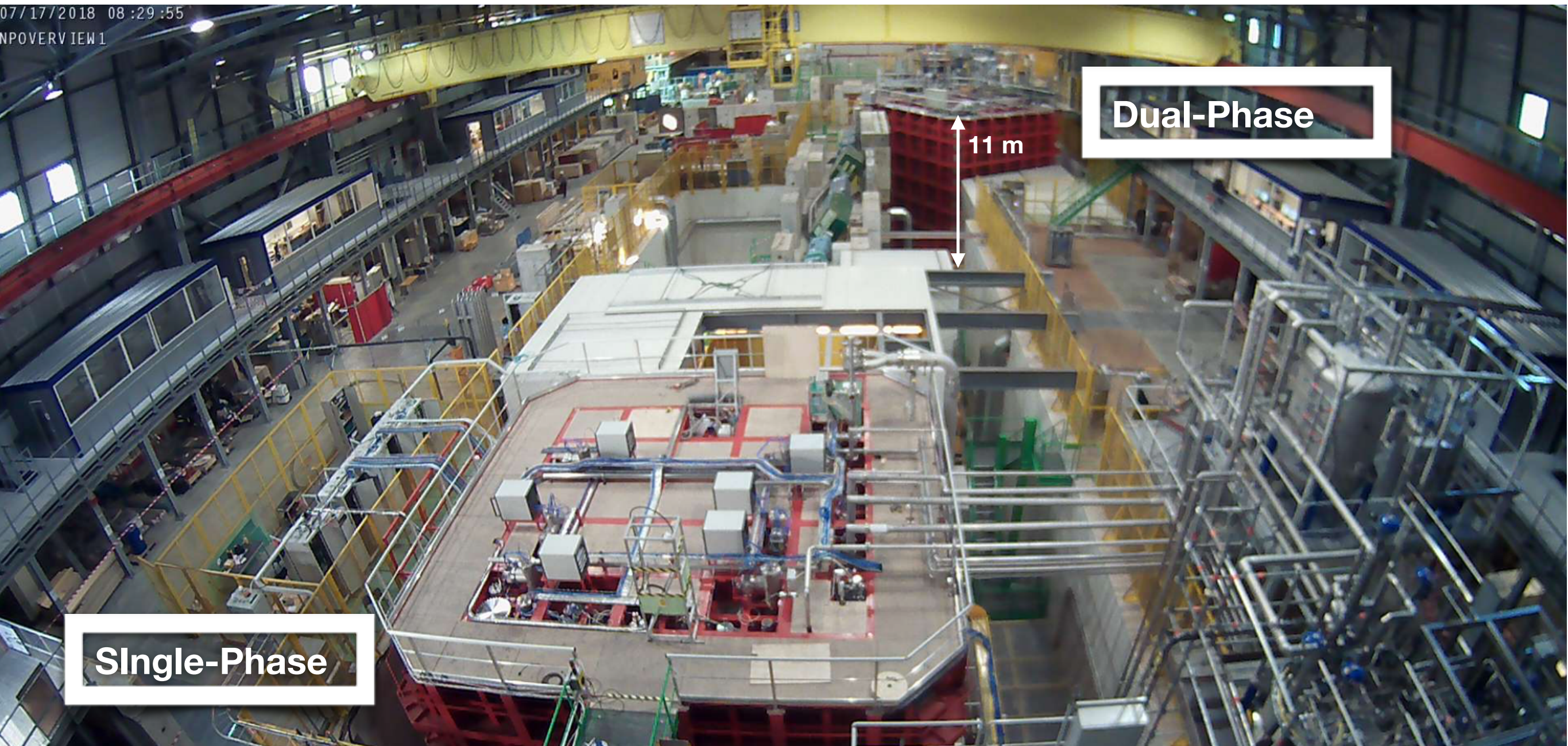


October 2016

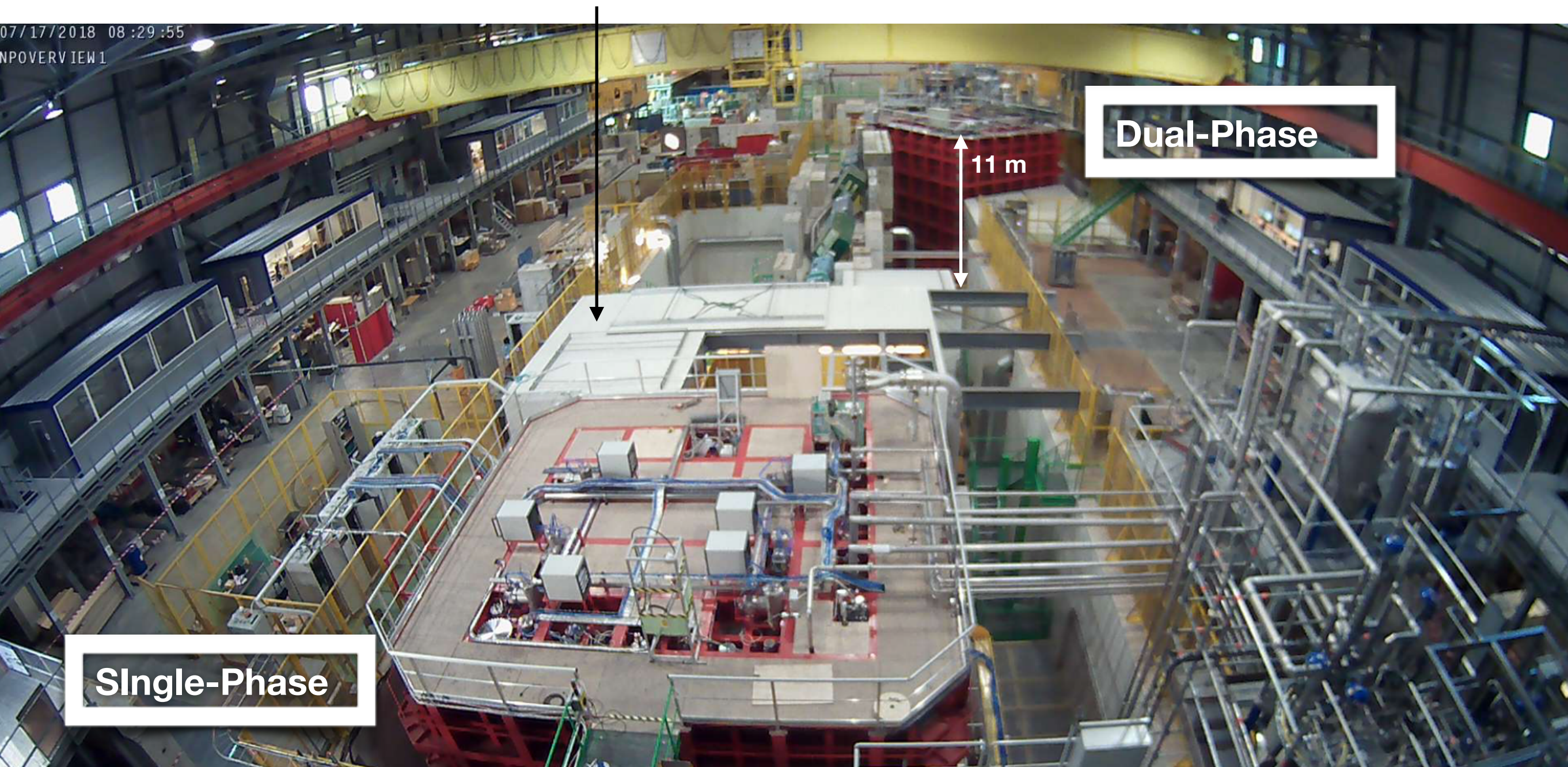


July 2018

07/17/2018 08:29:55
NPOVERVIEW1

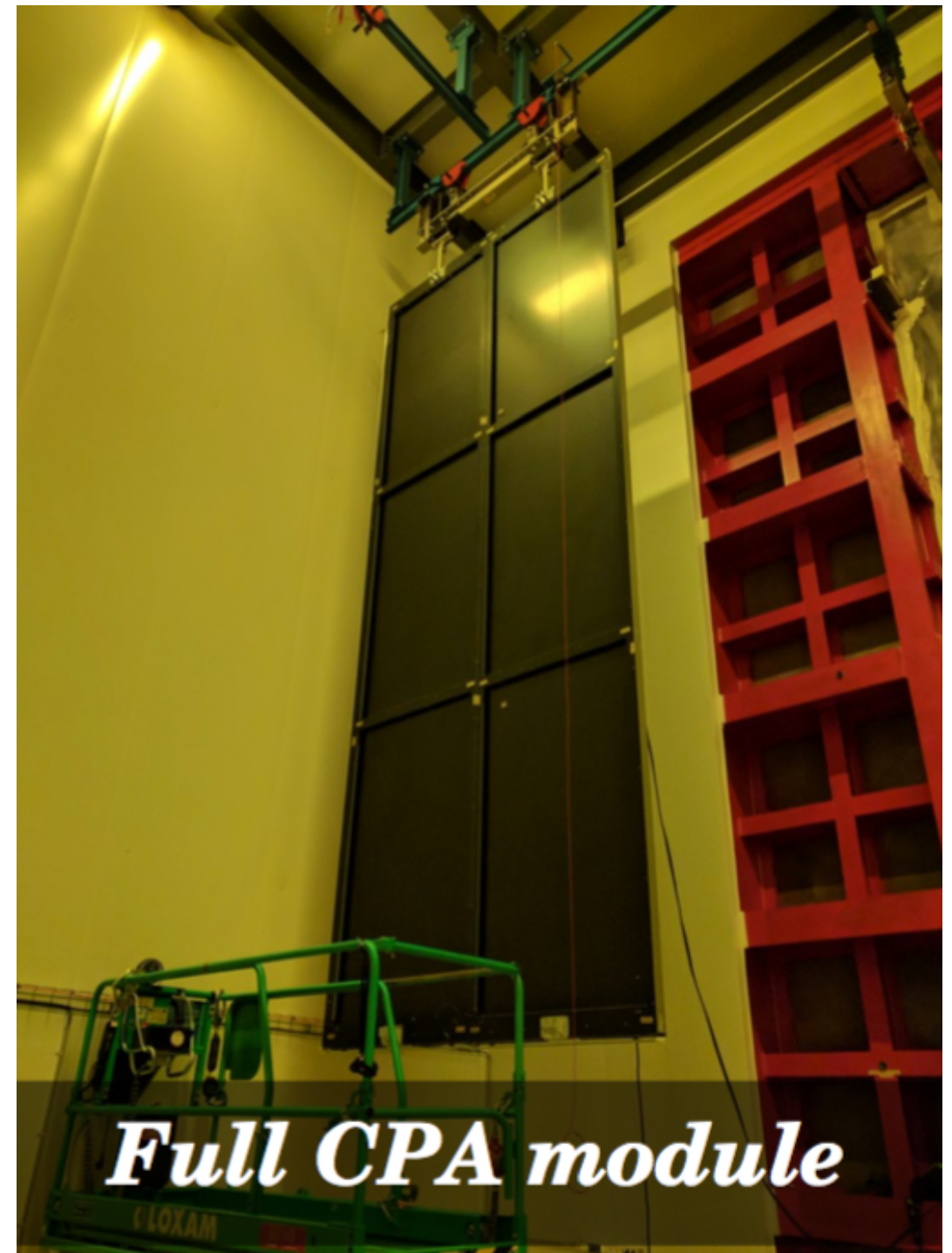


July 2018

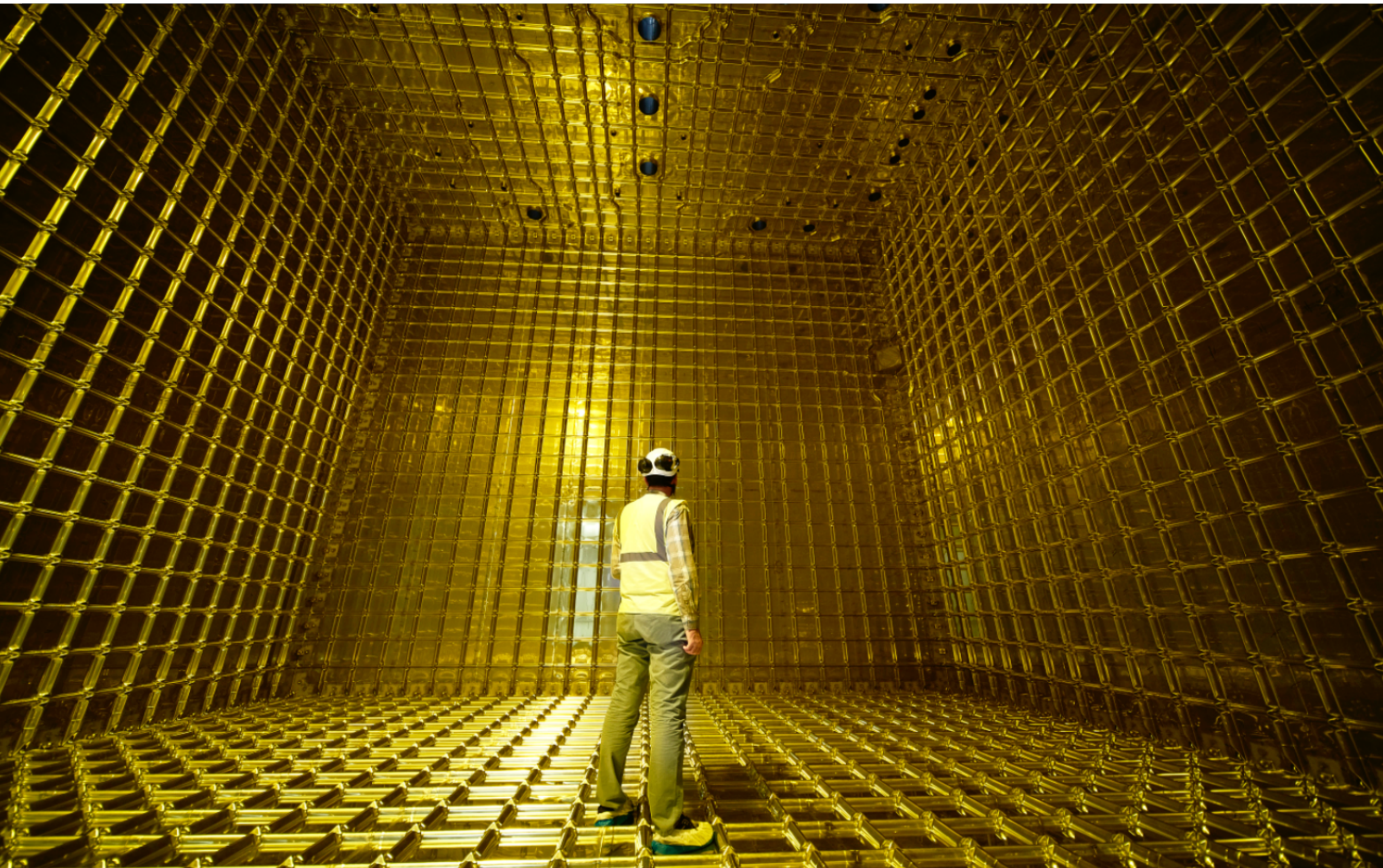


ProtoDUNE-SP

in the clean room

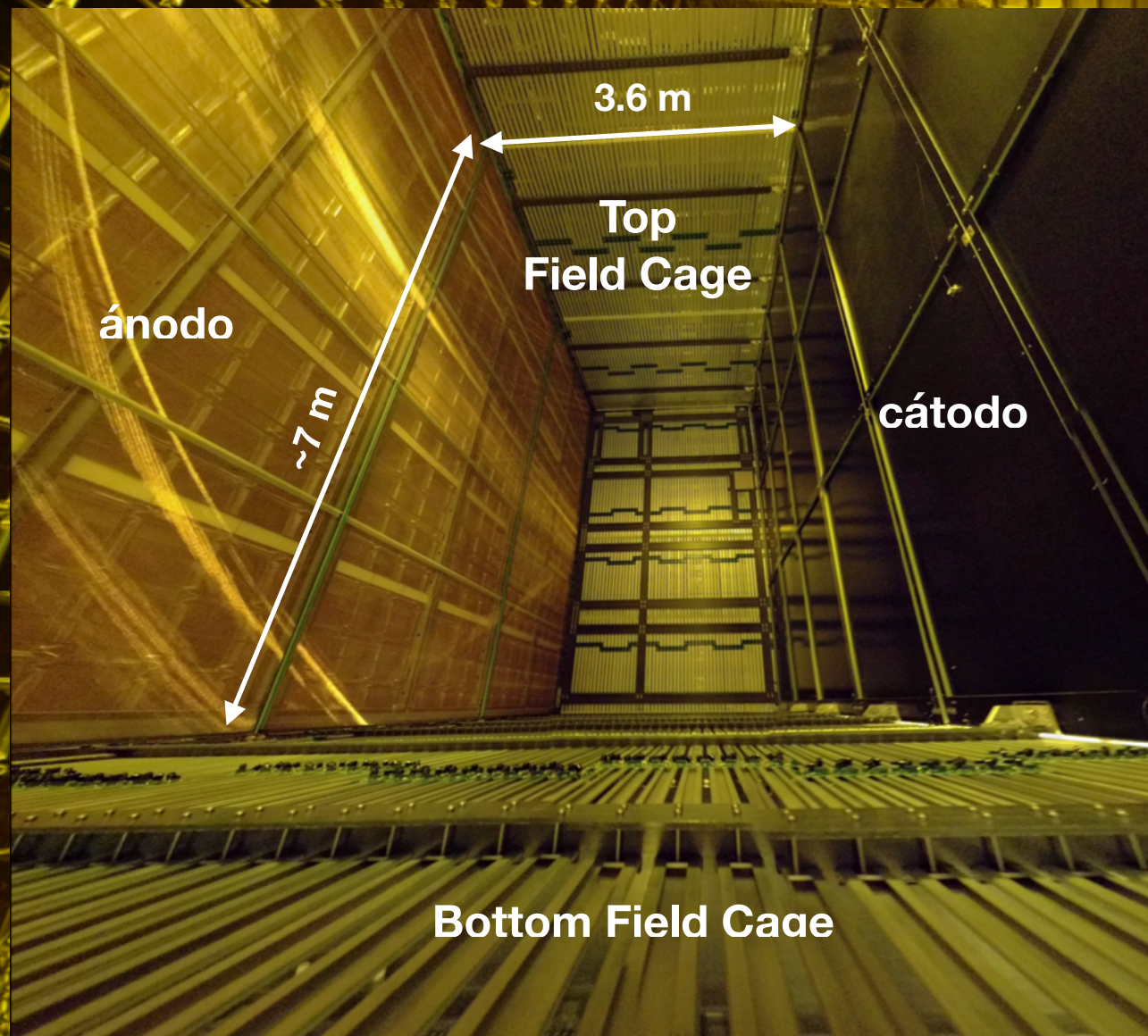


Criostato vacío



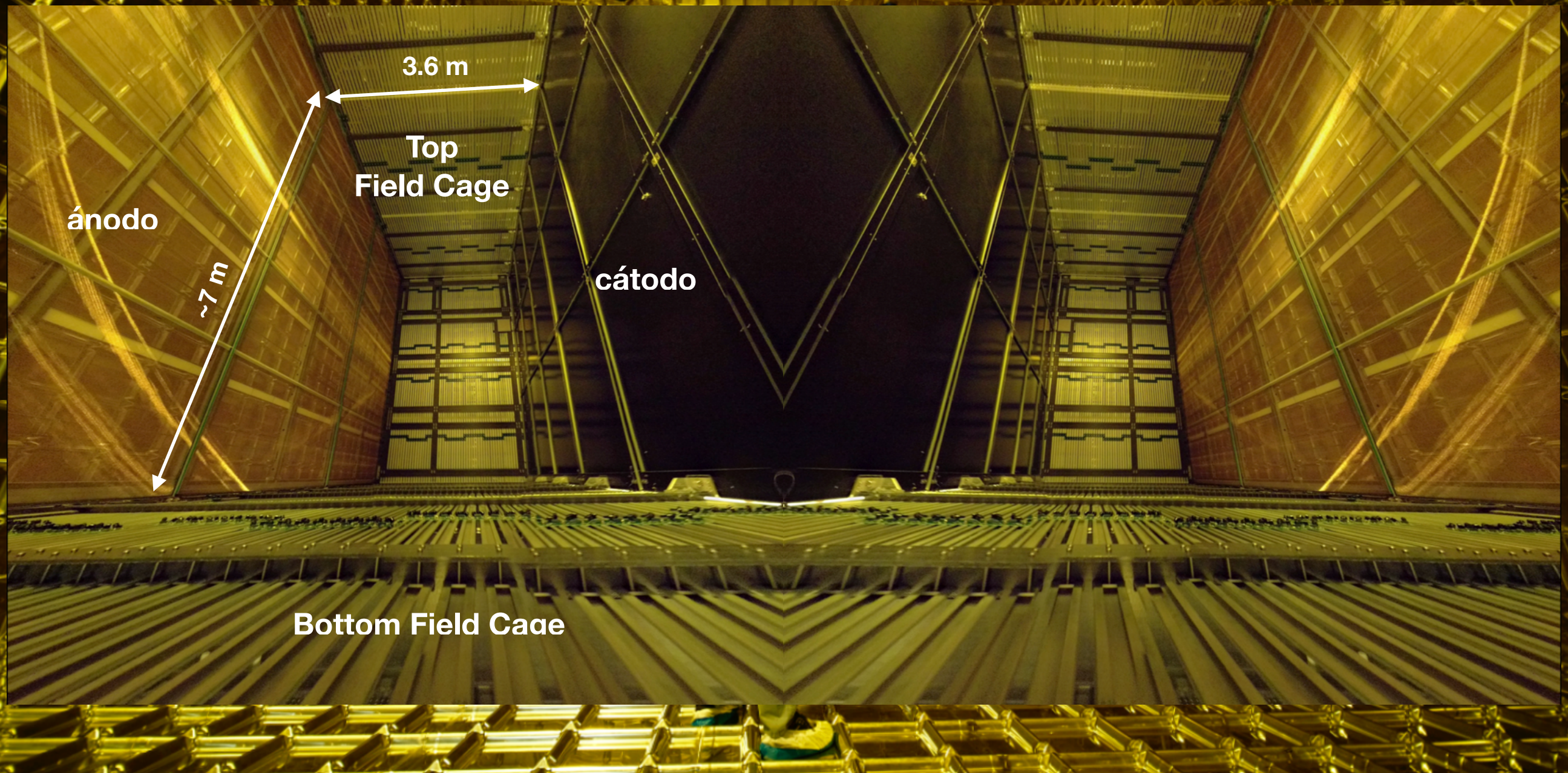
ProtoDUNE-SP

One fully instrumented drift volume



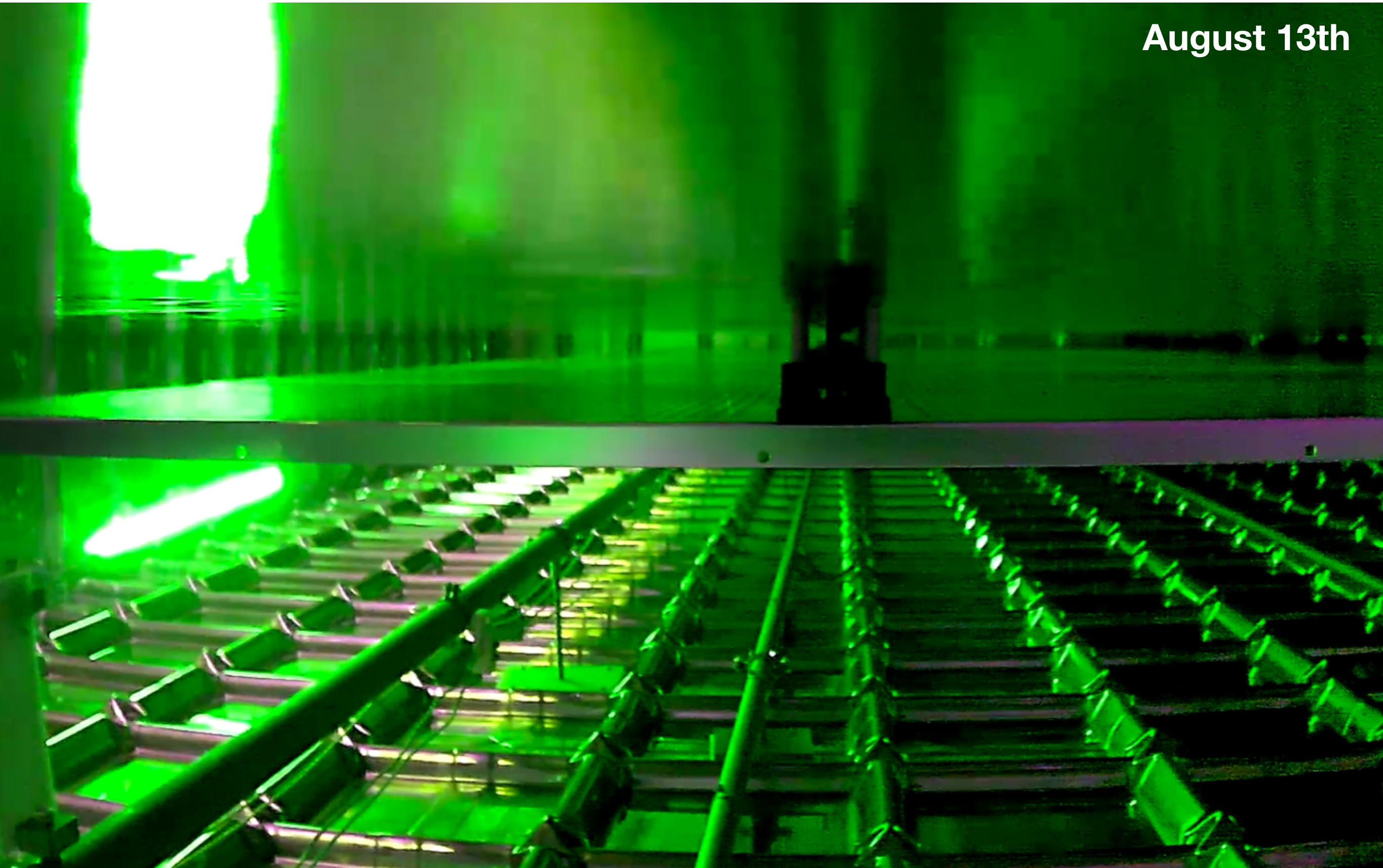
ProtoDUNE-SP

One fully instrumented drift volume



La luz amarilla se vuelve verde

August 13th



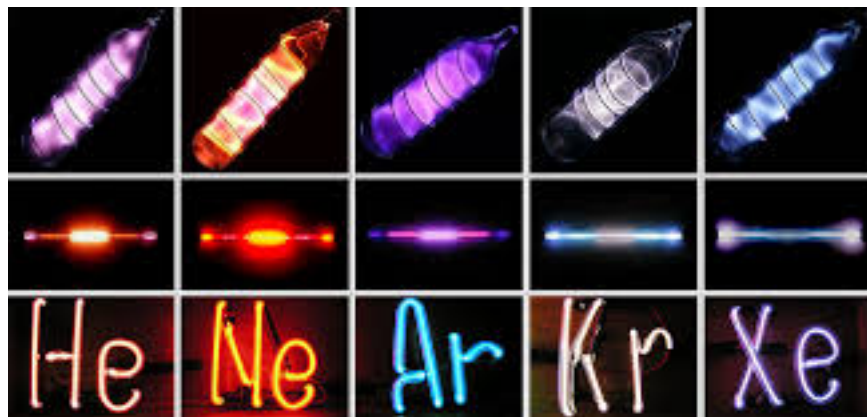
La luz amarilla se vuelve verde

August 14th



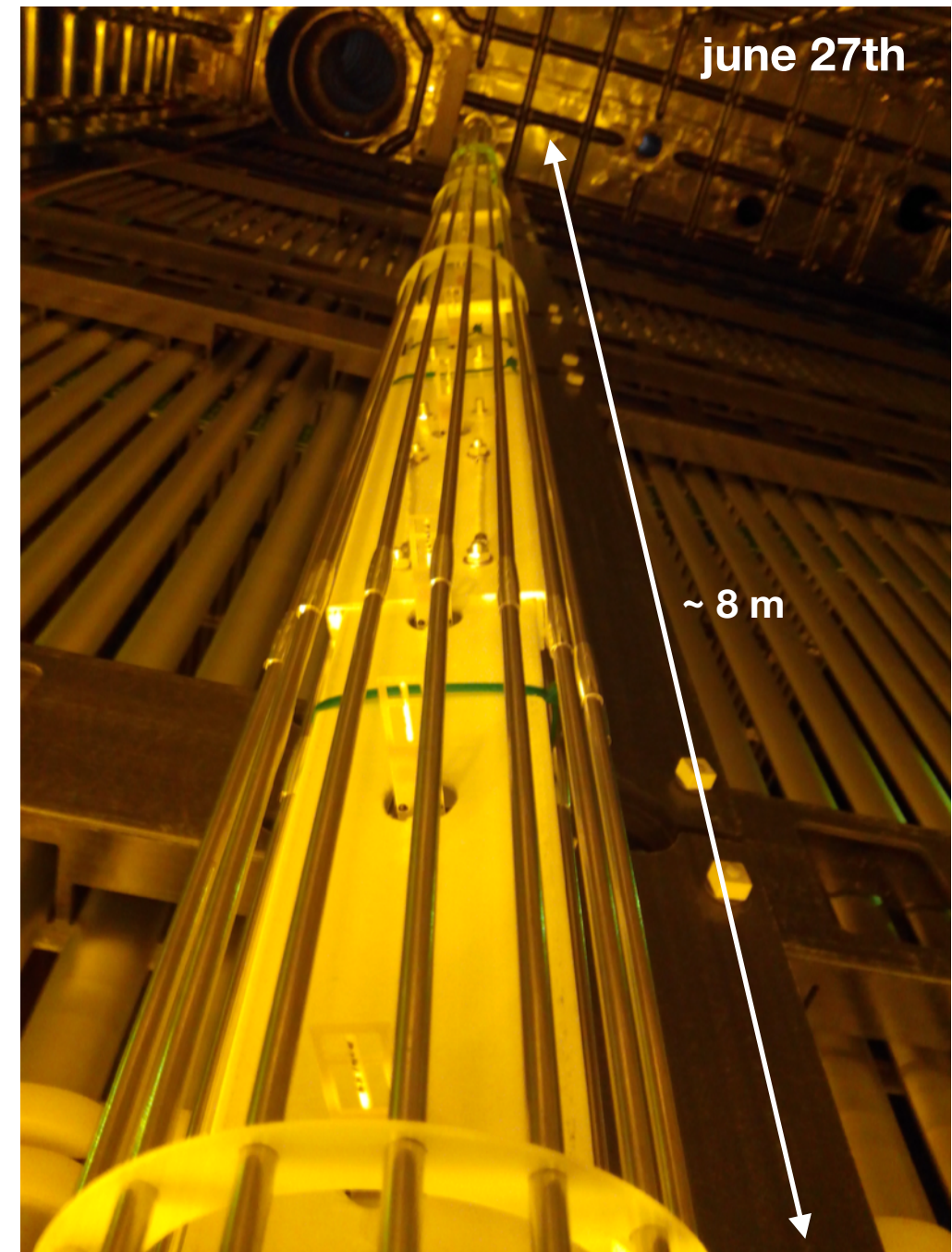
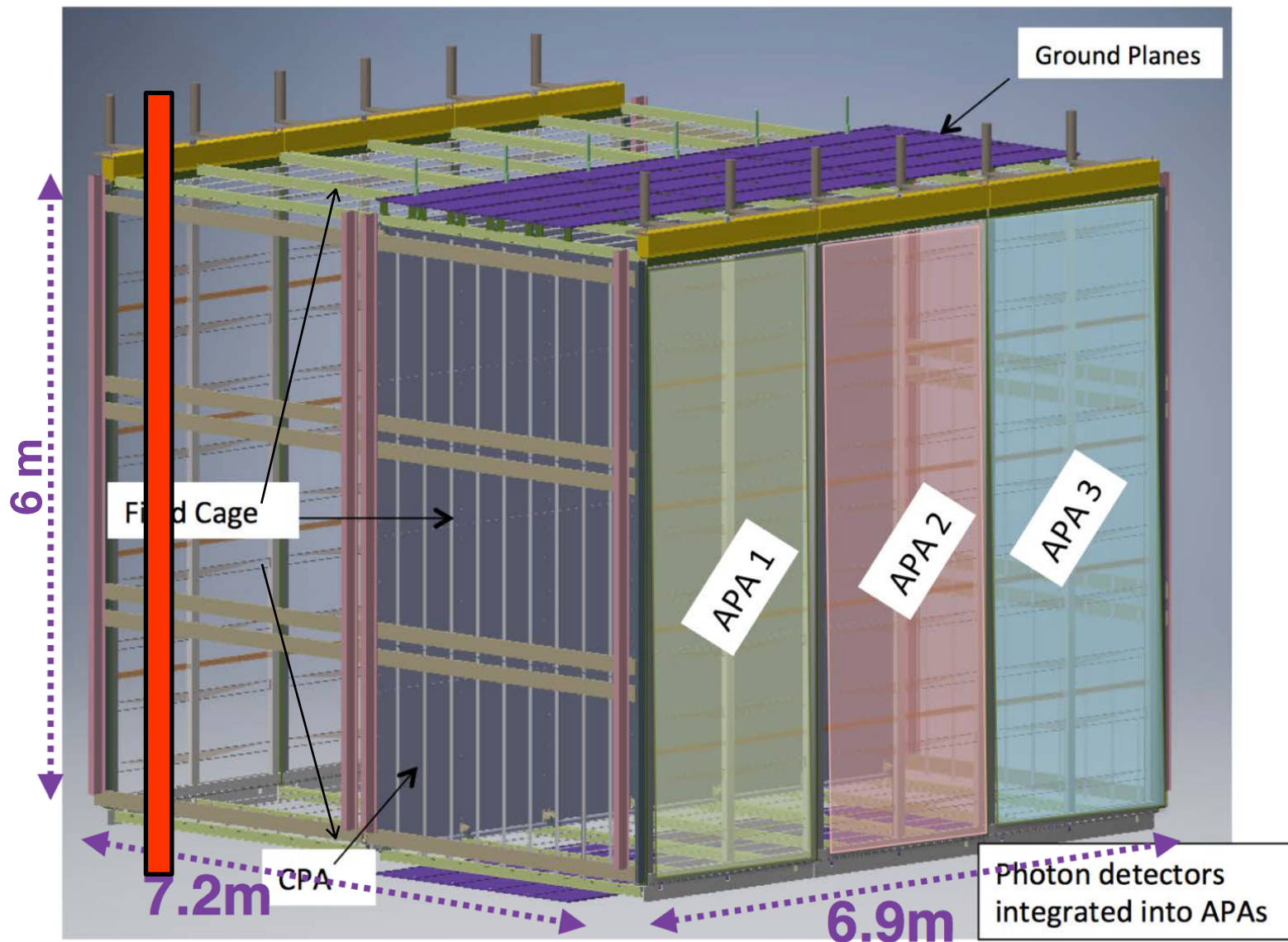
Por qué Argón Líquido ?

- **Dense:**
40% denser than water
- **Cheap:** abundant
(1 % of the atmosphere)
- **Ionizes easily:**
55,000 electrons/cm
- **Excellent scintillation:**
20,000 photons/MeV
(@ 500 V/cm)



Dentro de ProtoDUNE-SP

Situado a 20 cm de la FC en un punto de potencial 60000 voltios



Enlaces

- More pictures

<https://www.symmetrismagazine.org/article/protodune-in-pictures>

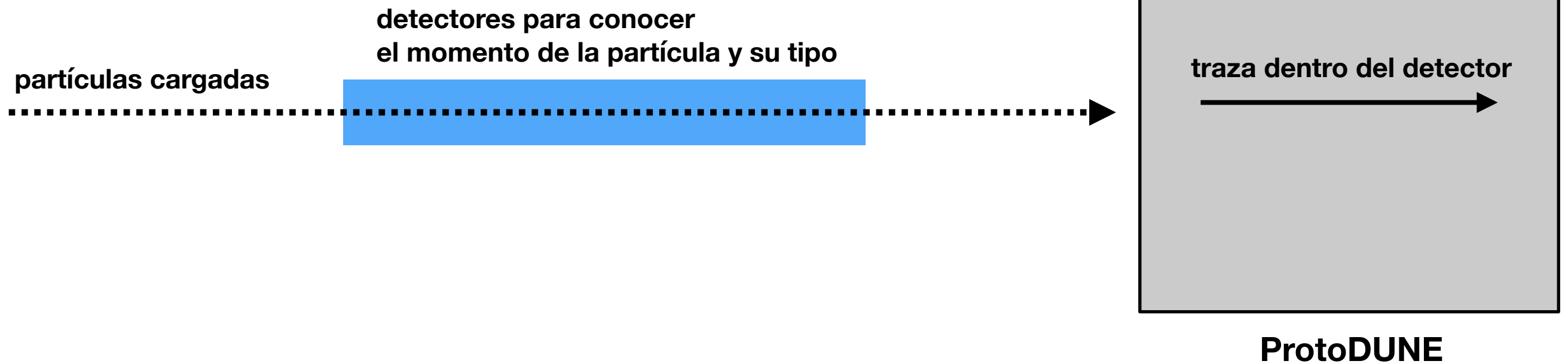
- Enlace a medidas de temperatura en tiempo real

<http://np04-slow-control.web.cern.ch/np04-slow-control/app/index.html#!/tinternal>

El test-beam

- Un test-beam es un haz controlado y muy bien conocido de partículas cargadas al que se expone un detector, normalmente un prototipo, para entender su funcionamiento
- Esto no se podría hacer con los detectores finales de DUNE pues no podemos construir un haz de partículas a 1.5 km de profundidad
- El test-beam nos sirve para entender “que ve” el detector cuando le llega un muón, un electrón, un protón, un pión, ...
- De esta forma cuando se construya DUNE y estemos tratando de distinguir electrones de muones sabremos como hacerlo y, sobre todo, sabremos cuantas veces nos estamos equivocando

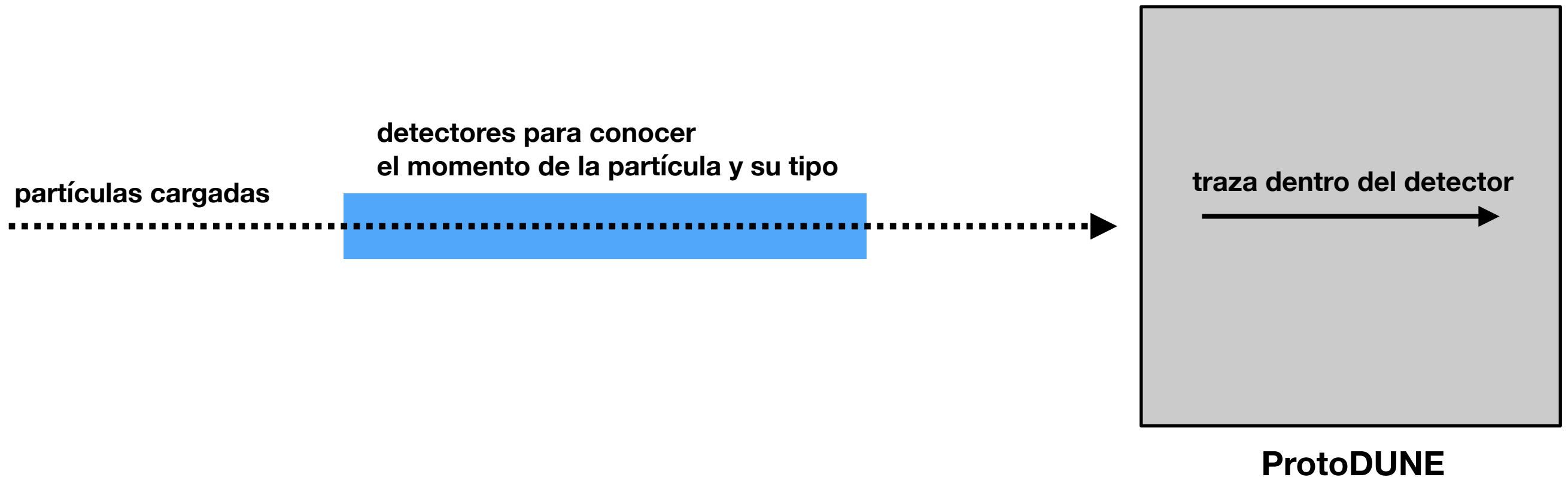
El test-beam



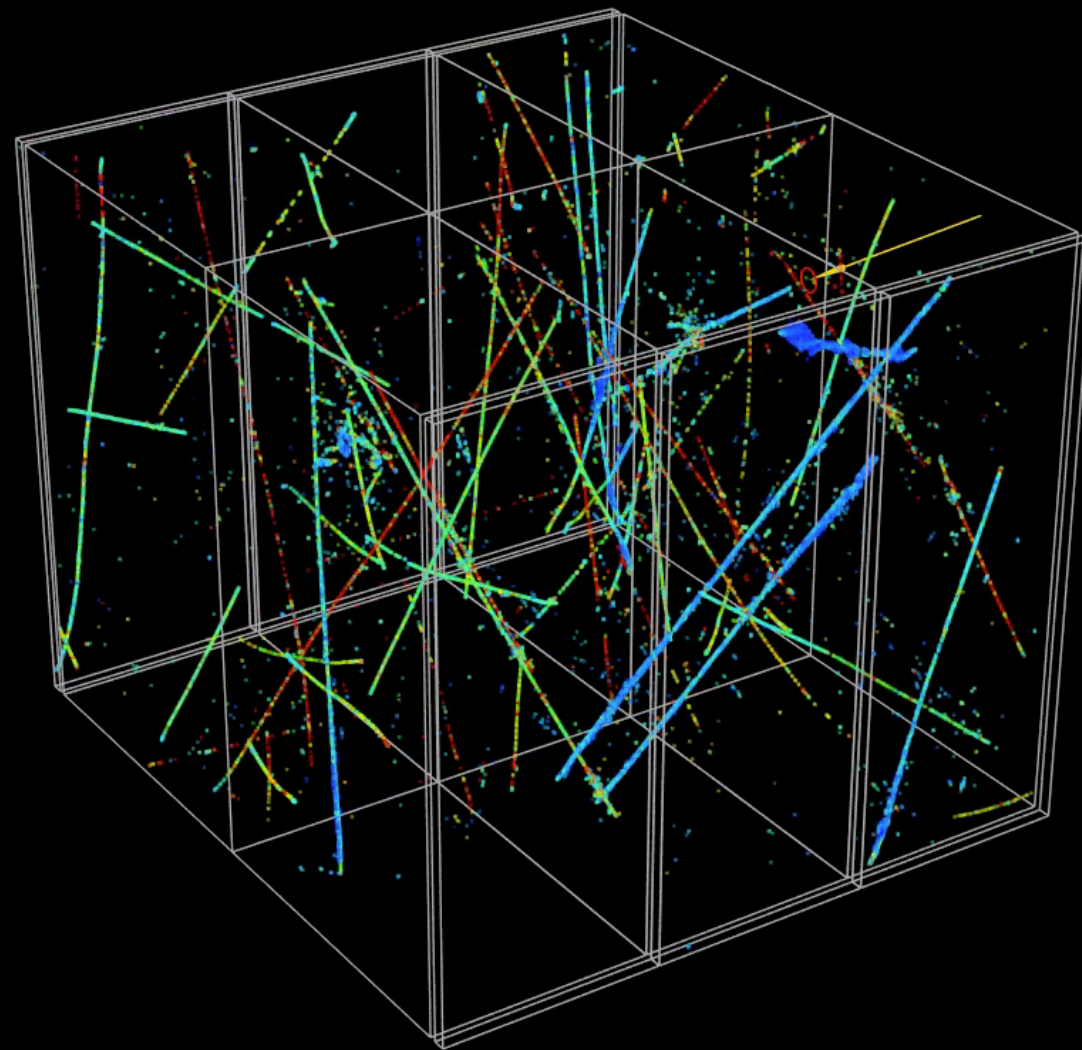
Observables Físicos

- **Posición**
- **Dirección**
- **Momento**
- **Tiempo de vuelo**
(tipo de partícula)

- **Posición**
- **Dirección**
- **Longitud**
- **Perdida de energía por**
unidad de longitud (dE/dx)

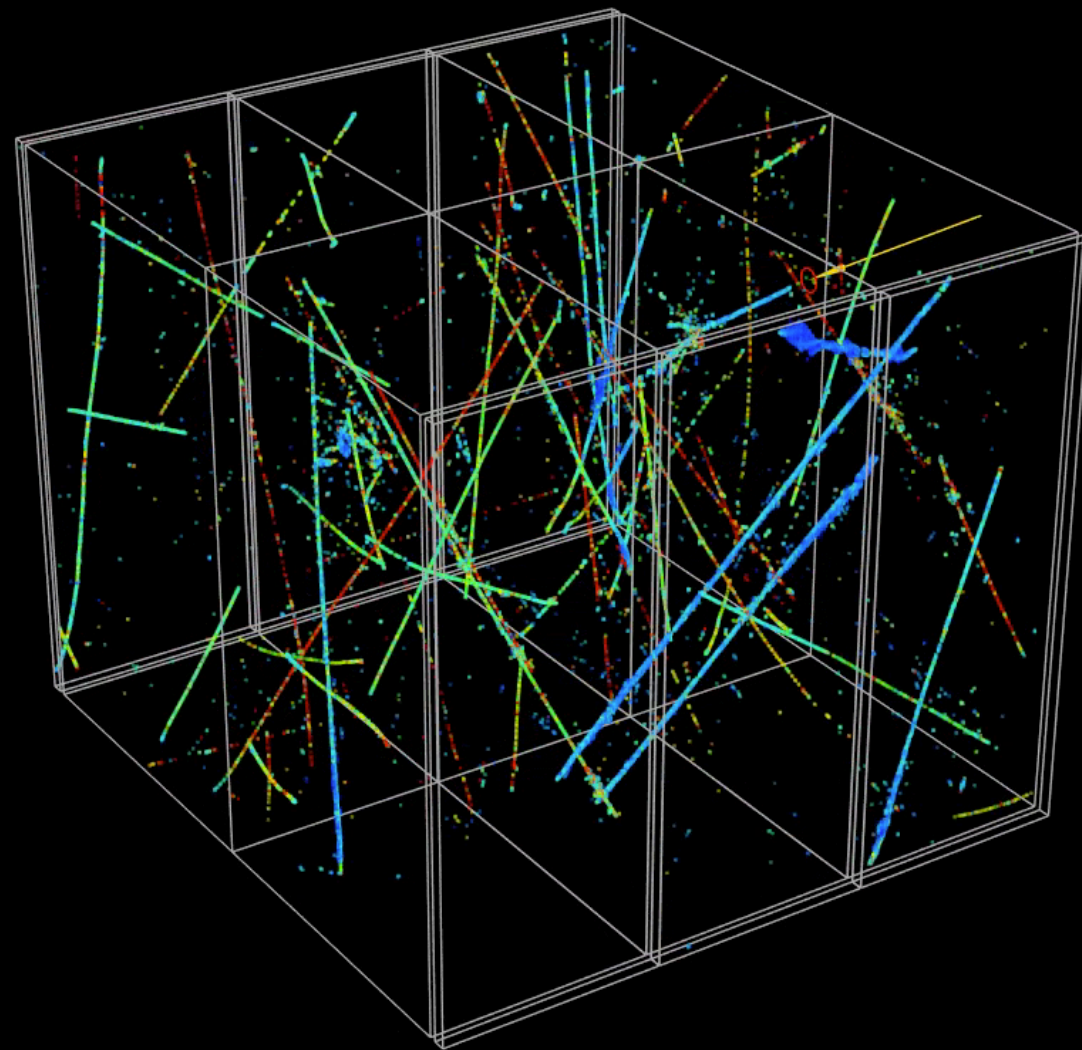


Press Esc to exit full screen



Event: 5145 - 1 - 26918
Trigger: 12 [Beam] [momentum = 7 GeV]
Wed, 10 Oct 2018 22:57:33 +0000 (GMT) + 0 nsec

Press Esc to exit full screen



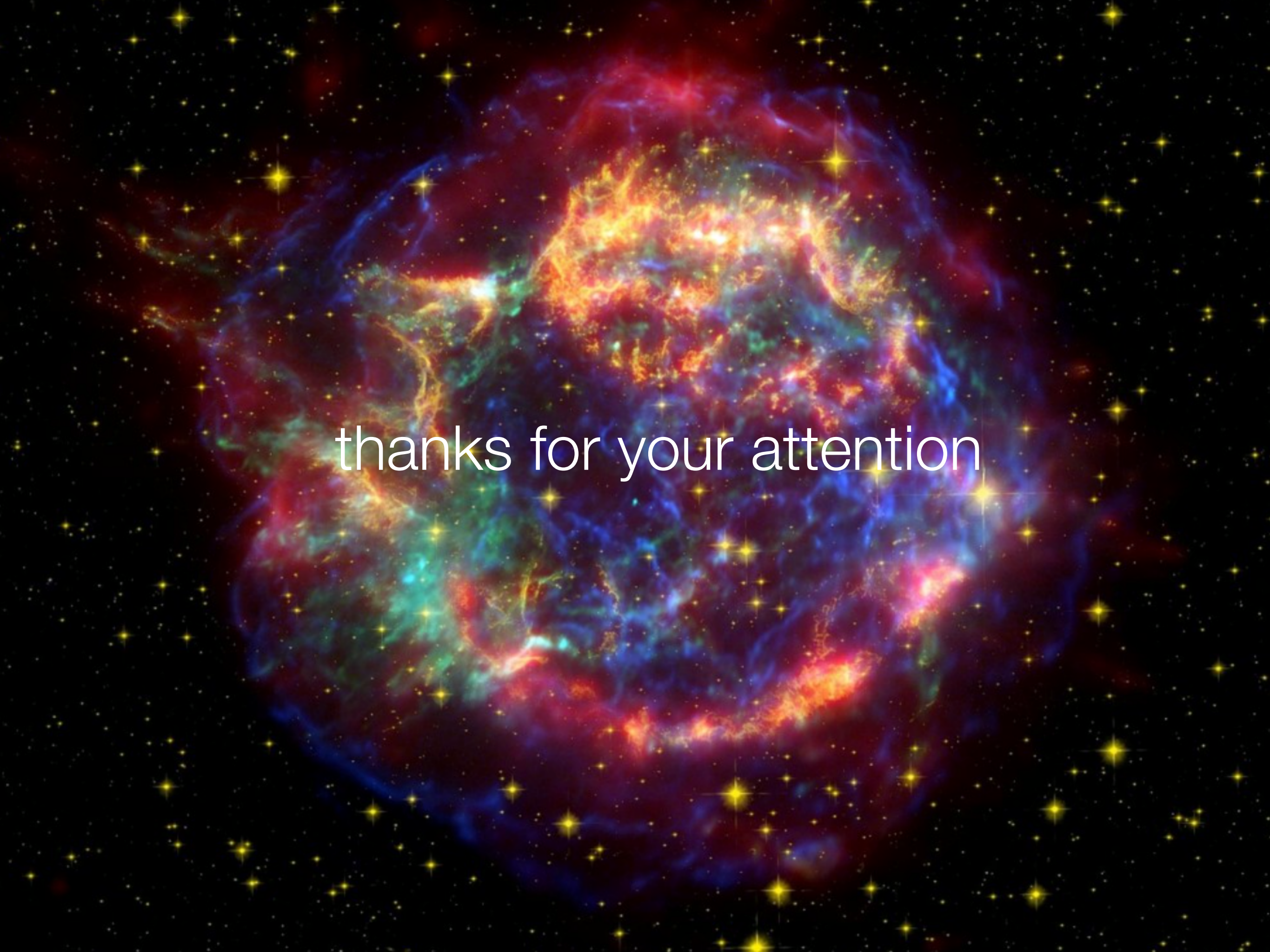
Event: 5145 - 1 - 26918
Trigger: 12 [Beam] [momentum = 7 GeV]
Wed, 10 Oct 2018 22:57:33 +0000 (GMT) + 0 nsec





Outlook

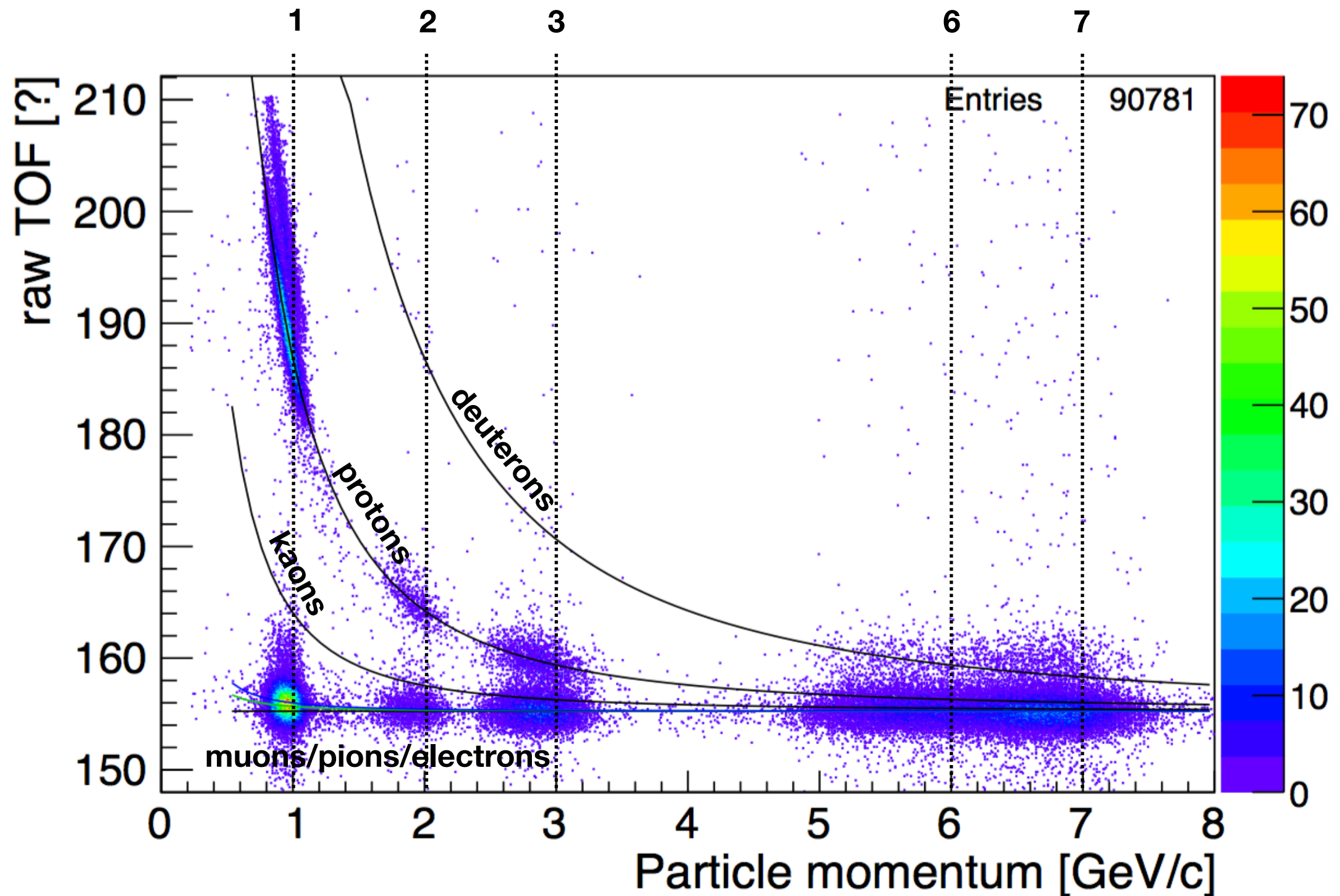
- DUNE is the result of combining international efforts (>20 years R&D on LAr) and the next accelerator mega-science project
- LBNF and DUNE making rapid progress on facility construction, detector design, and physics analysis
- Ongoing R&D program at CERN with two large scale prototypes:
 - ProtoDUNE beam data looks great !!!
- Look for DUNE Technical Design Report and ProtoDUNE results in 2019
- Expect first DUNE FD data in ~2026...



thanks for your attention

Beam detectors

Time of Flight for beam particles



ProtoDUNE goals

ProtoDUNE goals

- Hardware:
 - Prototyping **production** and (underground) **installation** procedures
 - **Validating the design** from basic detector performance
 - Demonstrating **long-term** operational stability

ProtoDUNE goals

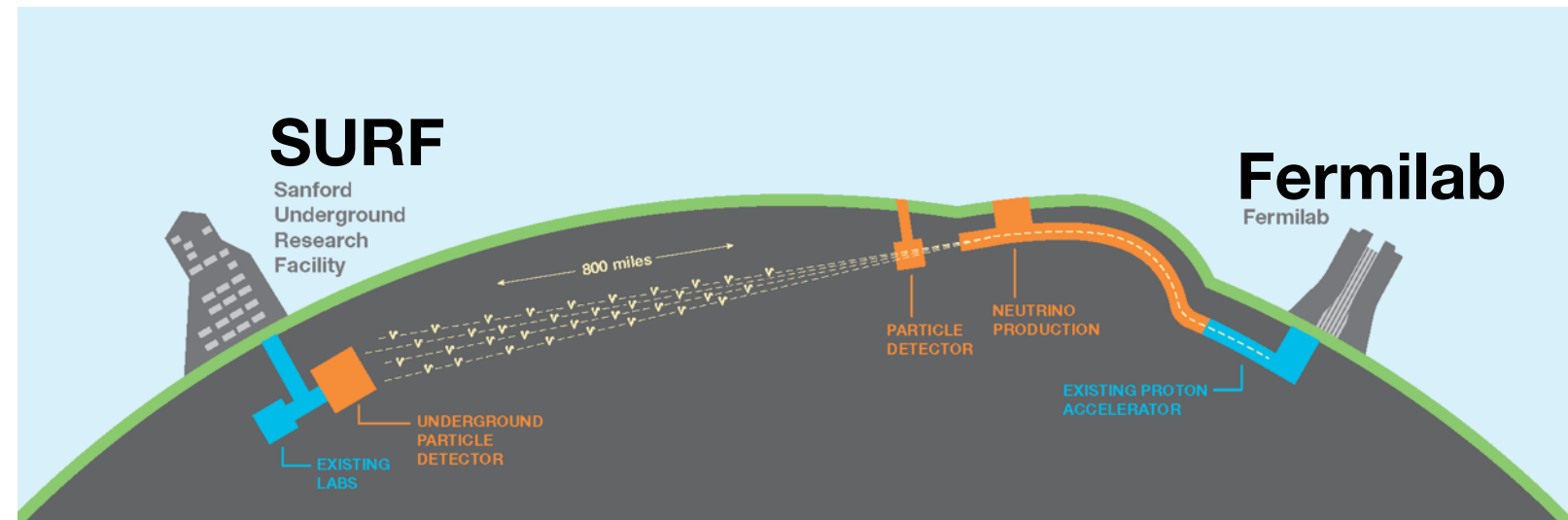
- Hardware:
 - Prototyping **production** and (underground) **installation** procedures
 - **Validating the design** from basic detector performance
 - Demonstrating **long-term** operational stability
- Test beam data:
 - **Detector response** understanding, calibration, dE/dx, PID, etc.
 - Perform **cross section** measurements of hadrons on Argon
 - of interest for the entire LAr community (SBN)
 - knowledge of π Ar interactions are key to control systematics for DUNE

ProtoDUNE goals

- Hardware:
 - Prototyping **production** and (underground) **installation** procedures
 - **Validating the design** from basic detector performance
 - Demonstrating **long-term** operational stability
- Test beam data:
 - **Detector response** understanding, calibration, dE/dx , PID, etc.
 - Perform **cross section** measurements of hadrons on Argon
 - of interest for the entire LAr community (SBN)
 - knowledge of π Ar interactions are key to control systematics for DUNE
- Cosmics data:
 - 3D map of **detector response**: space charge and E field distortions
 - **Different E-field**: dE/dx , dQ/dx , and charge recombination models
 - Identify and **reconstruct Michel e-** in order to use their energy spectrum (10 – 60 MeV) to test the calibration of the detector in the energy range interesting for Supernova ν

Deep Underground Neutrino Experiment

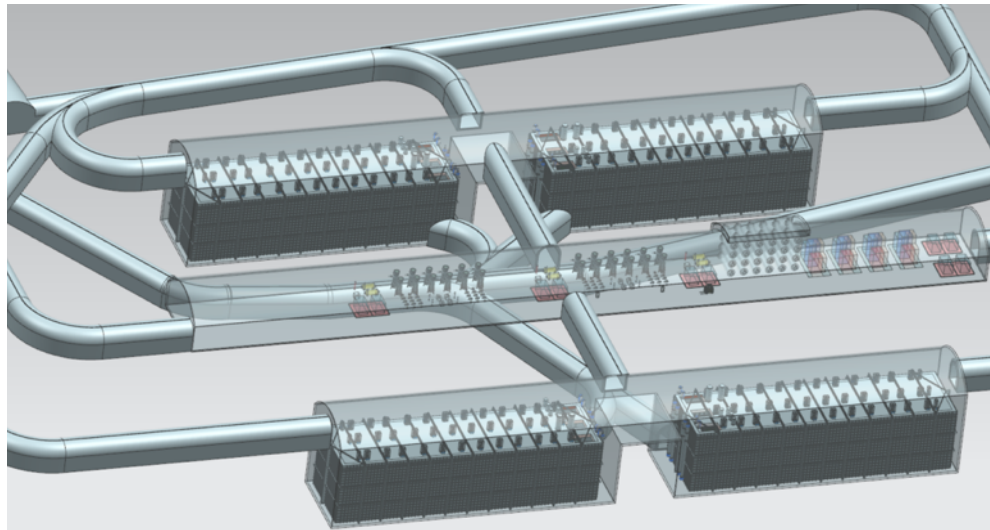
High power *wide band* muon neutrino beam from Fermilab to SURF, in South-Dakota, 1300 km away



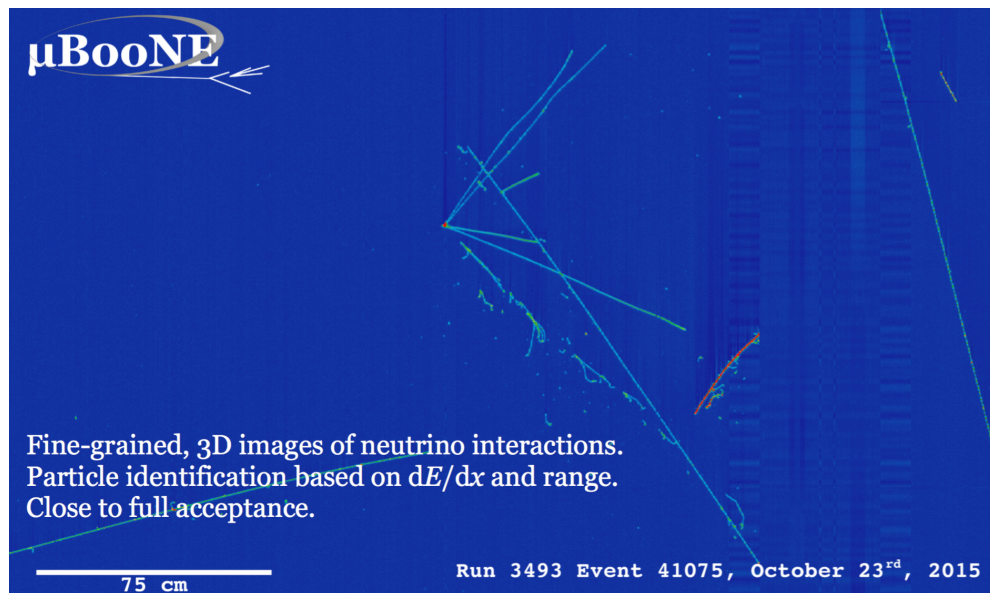
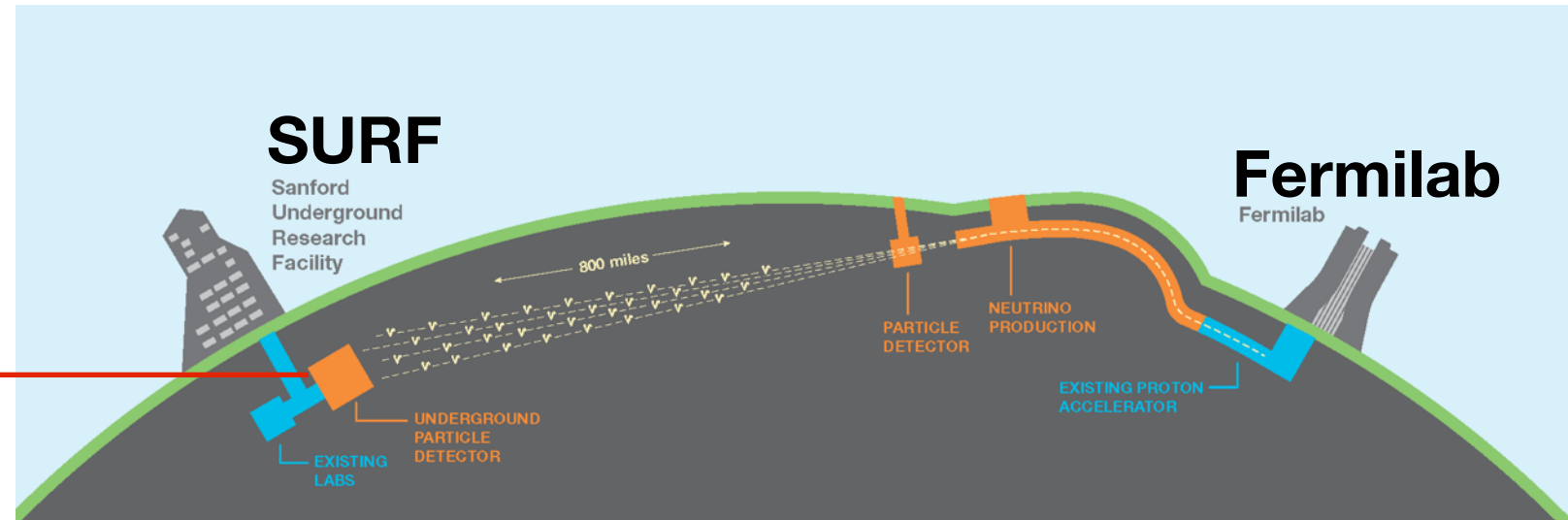
Deep Underground Neutrino Experiment

40 Kton far detector using
Liquid Argon TPC technology

Time Projection Chamber

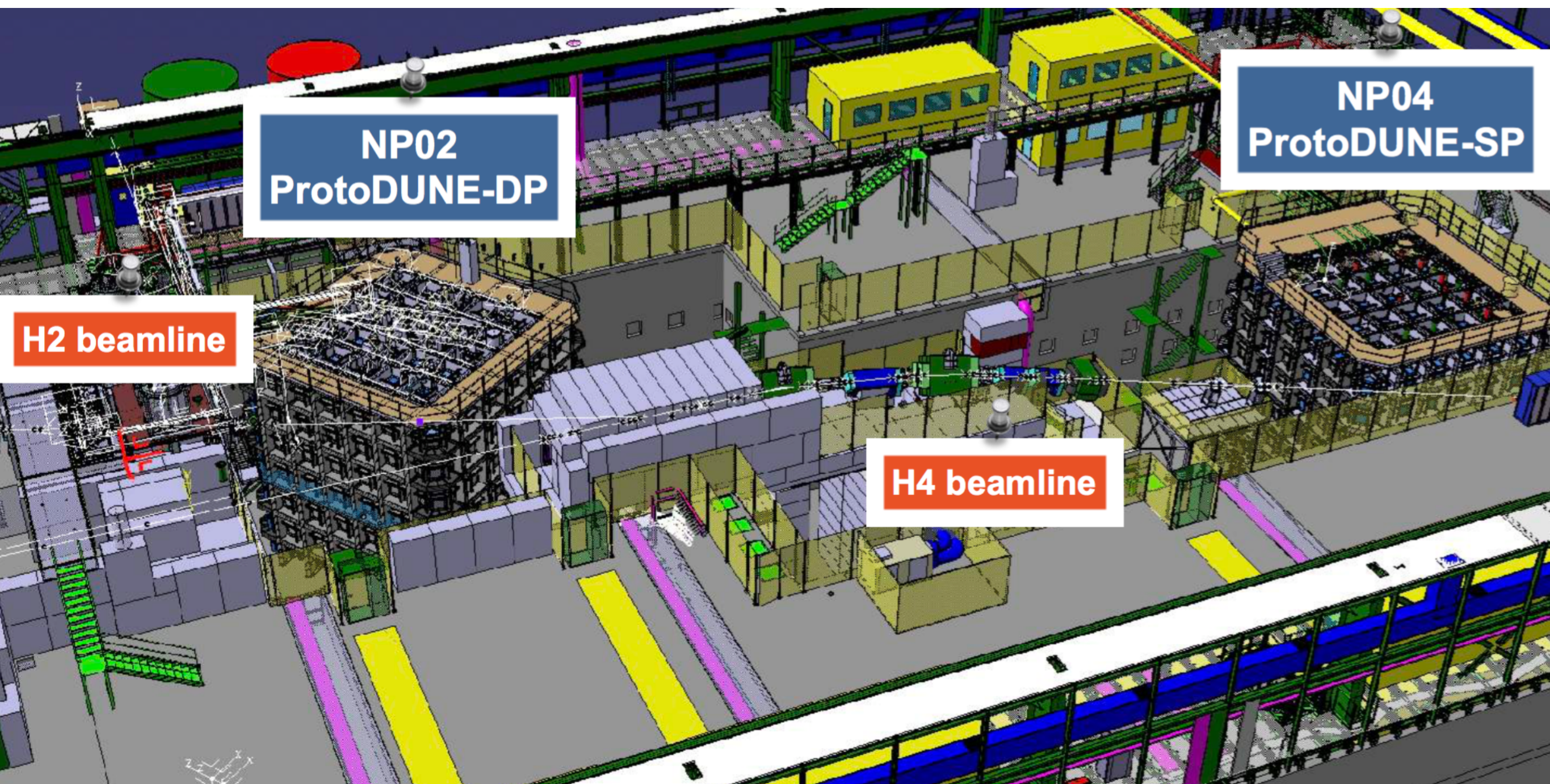


High power *wide band* muon neutrino beam from
Fermilab to SURF, in South-Dakota, 1300 km away

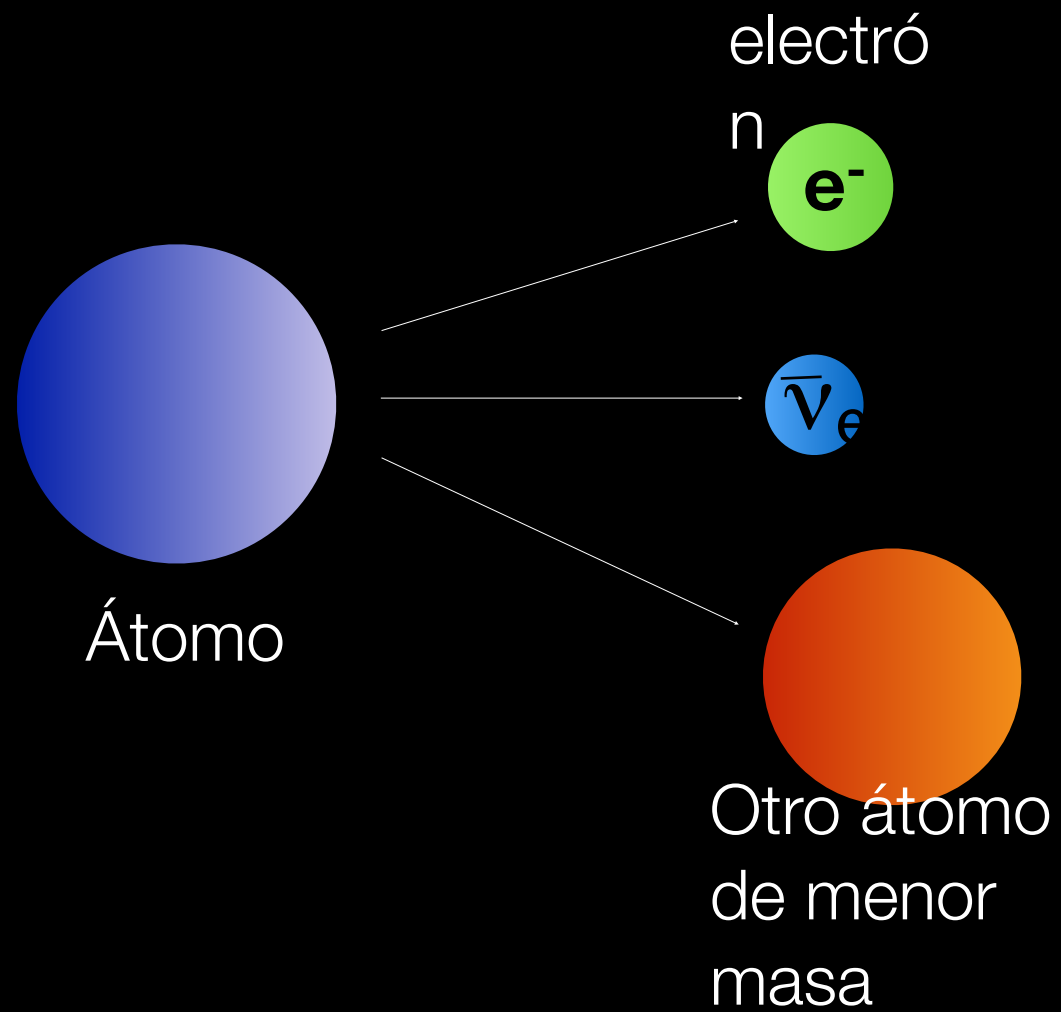




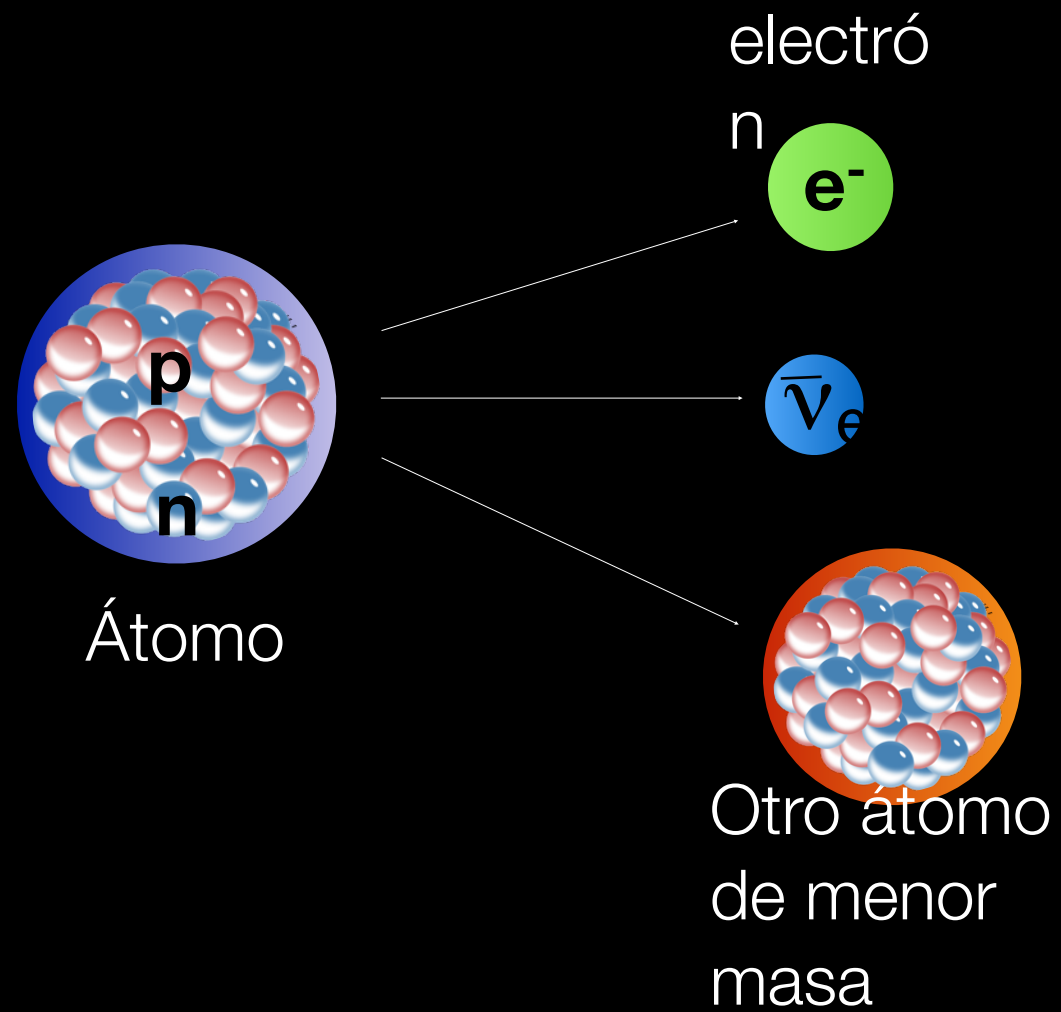
Another view



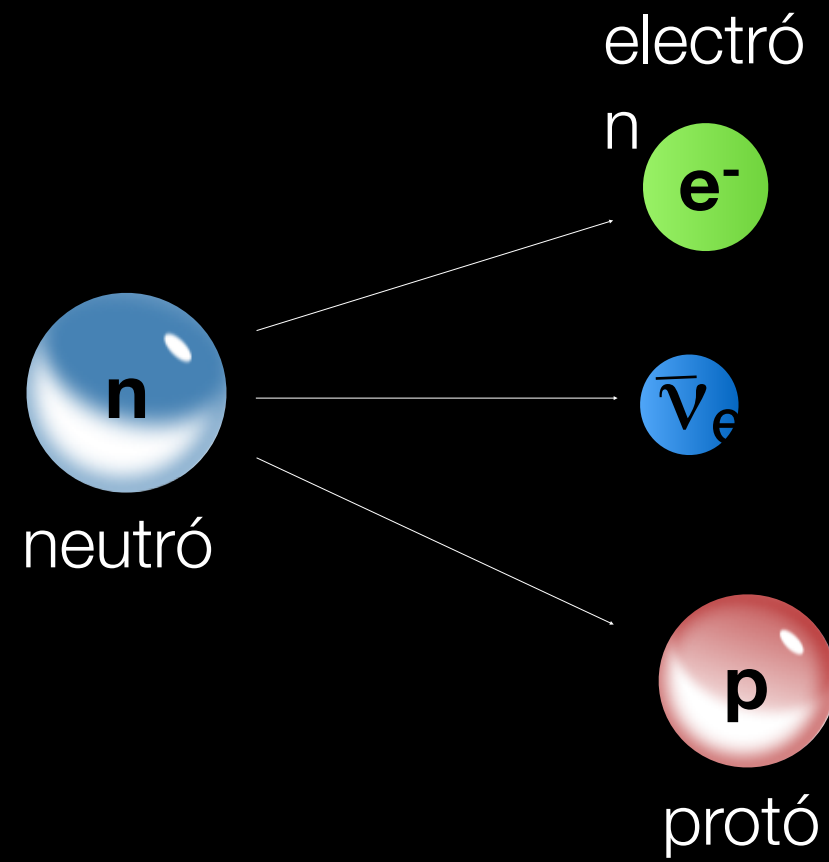
desintegración Beta



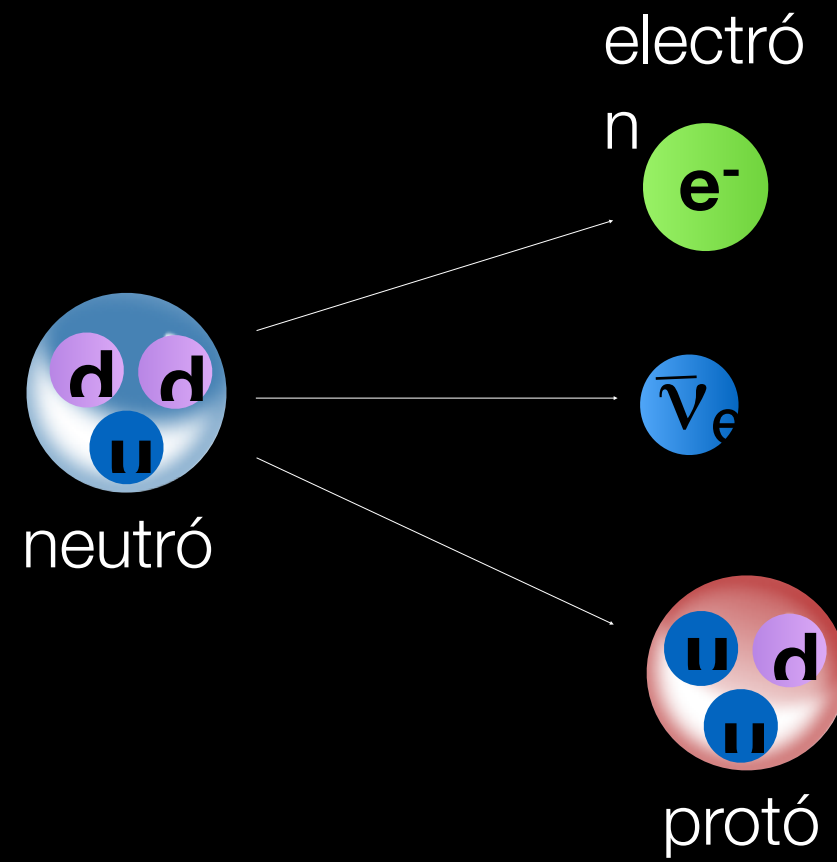
dentro del núcleo atómico



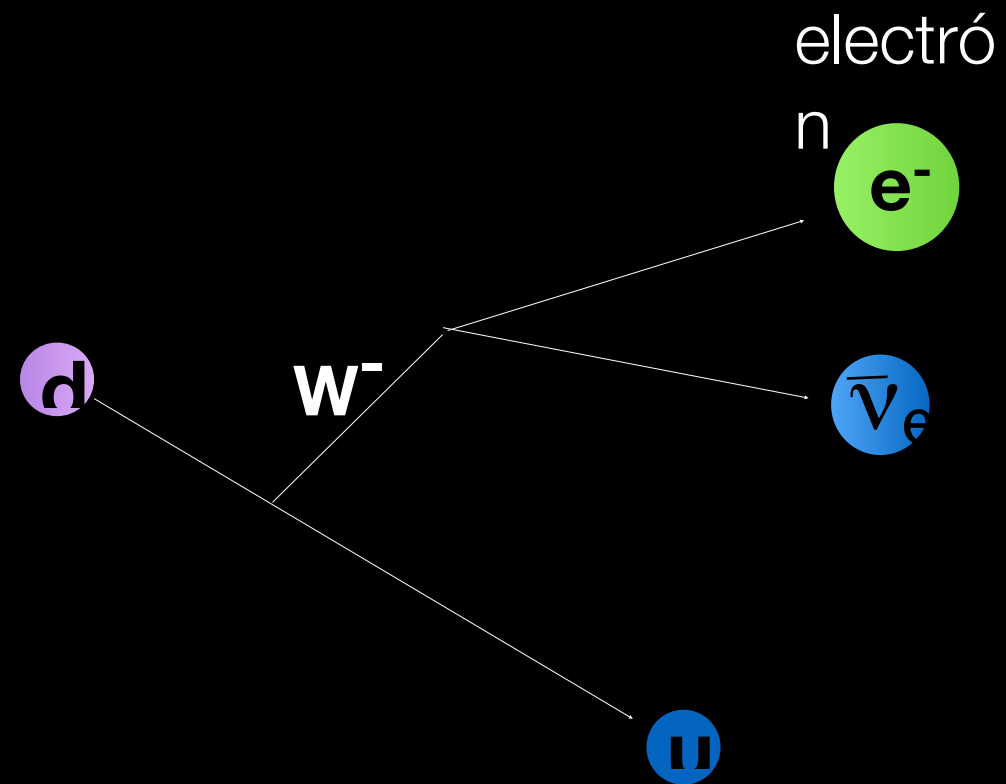
los nucleones protones y



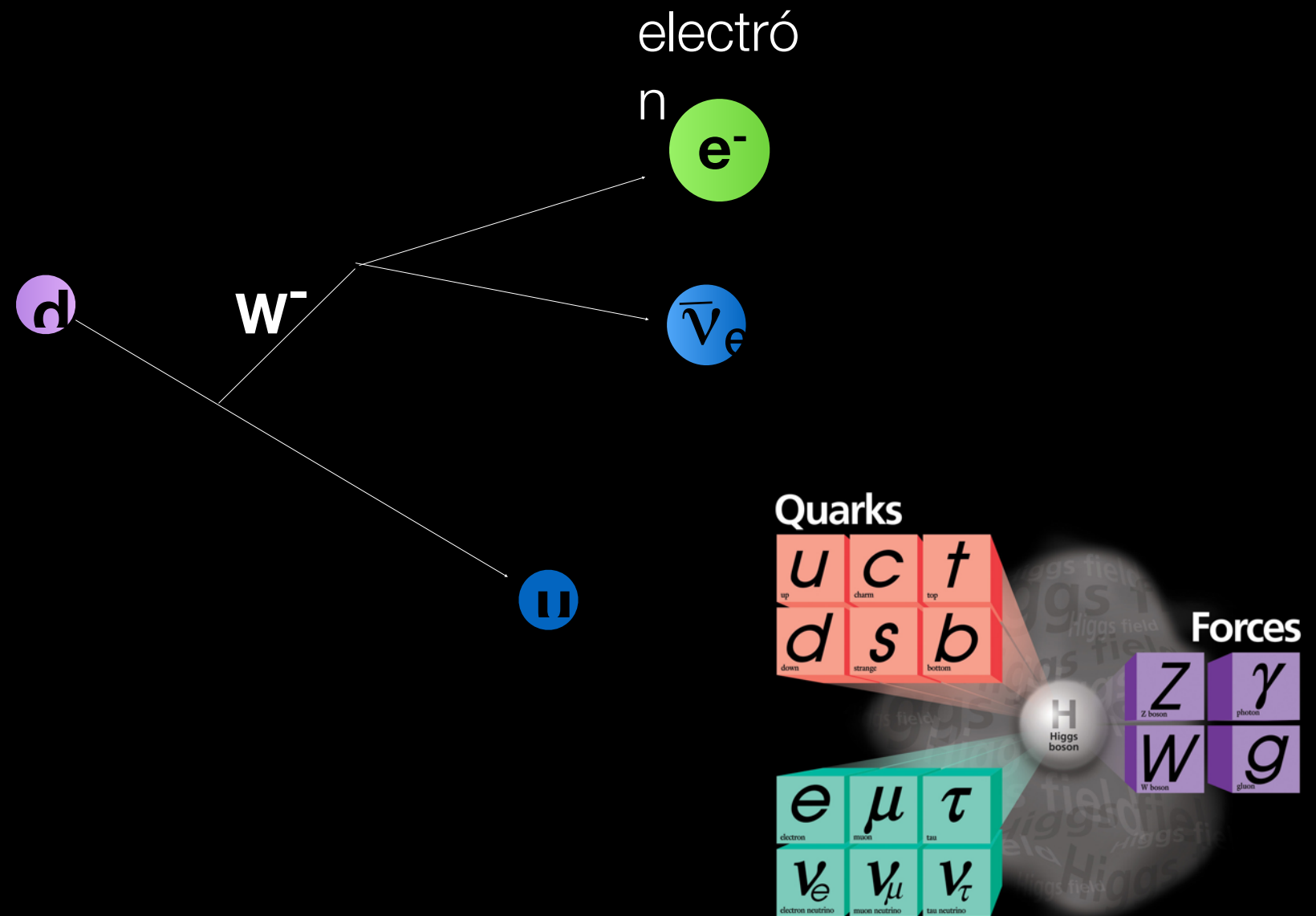
dentro de los nucleones



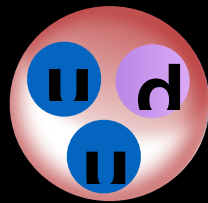
lo que en realidad
ocurre



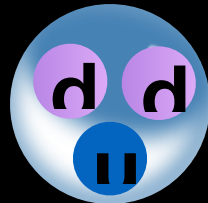
lo que en realidad
ocurre



3
quarks

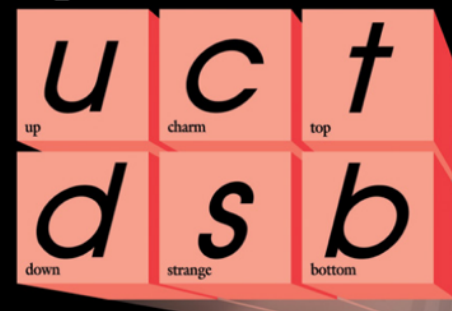


protón

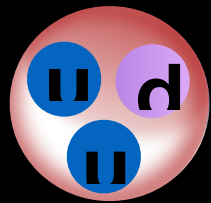


neutrón

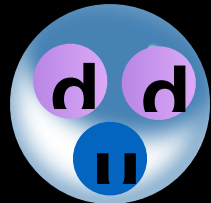
Quarks



3
quarks

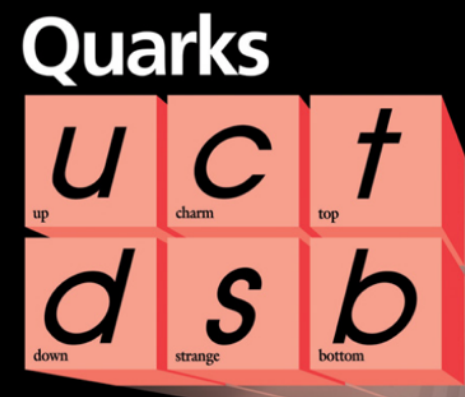


protó

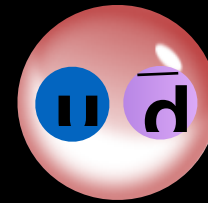


neutró

$M \sim 1 \text{ GeV}$



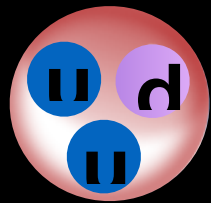
2
quarks



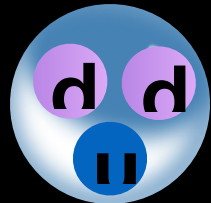
pión

$M \sim 0.15 \text{ GeV}$

3
quarks

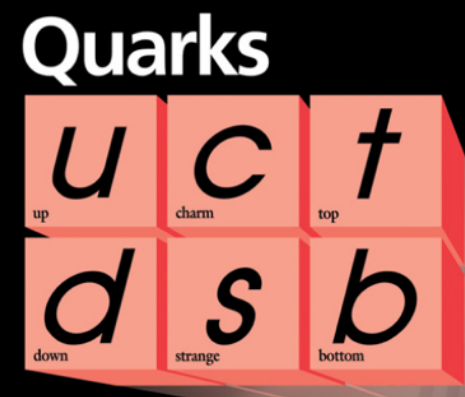


protó

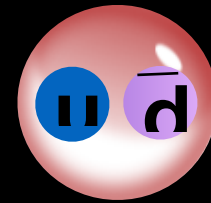


neutró

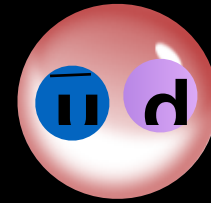
$M \sim 1 \text{ GeV}$



2
quarks



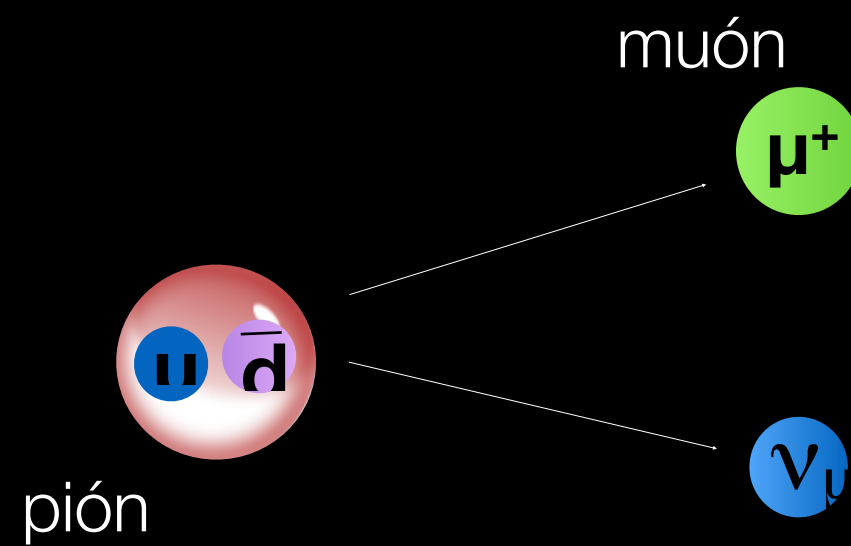
pion positivo



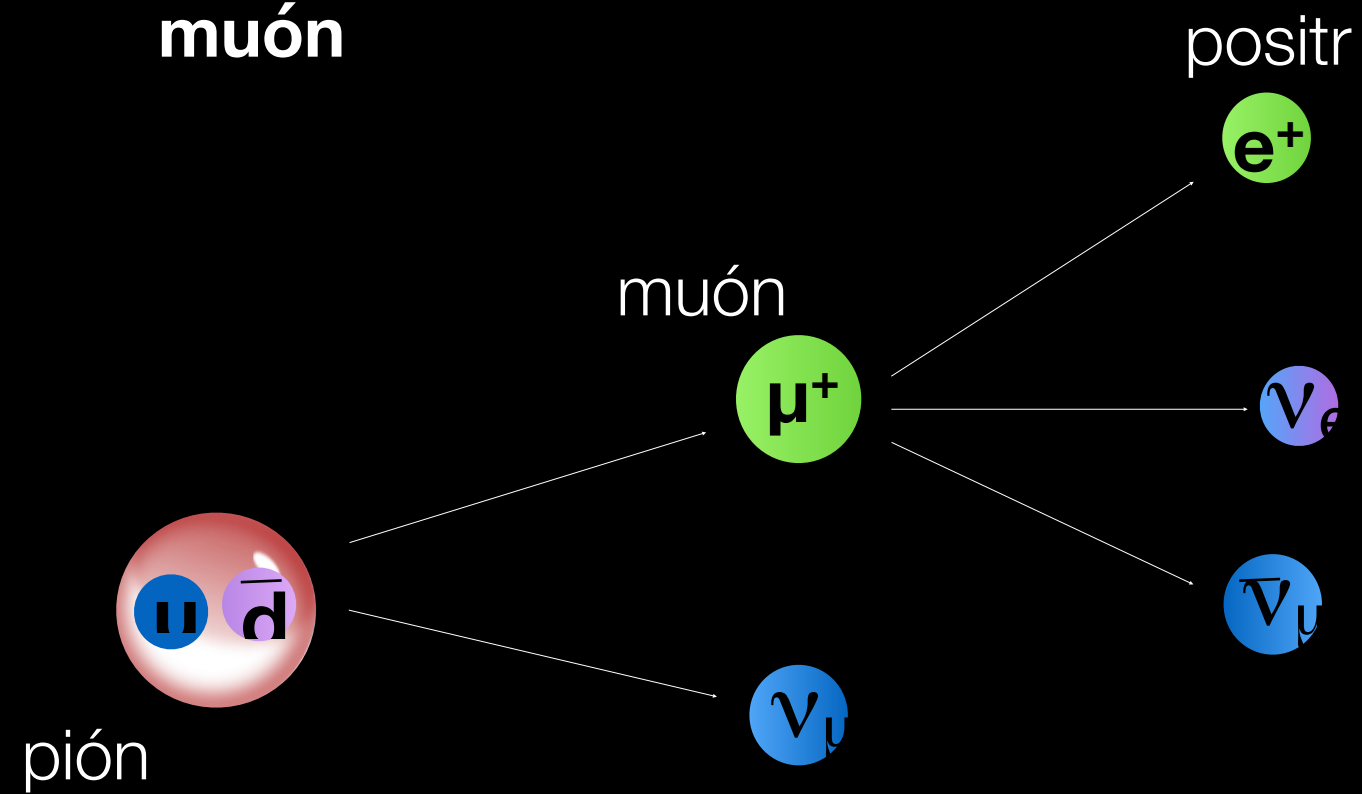
pion negativo

$M \sim 0.15 \text{ GeV}$

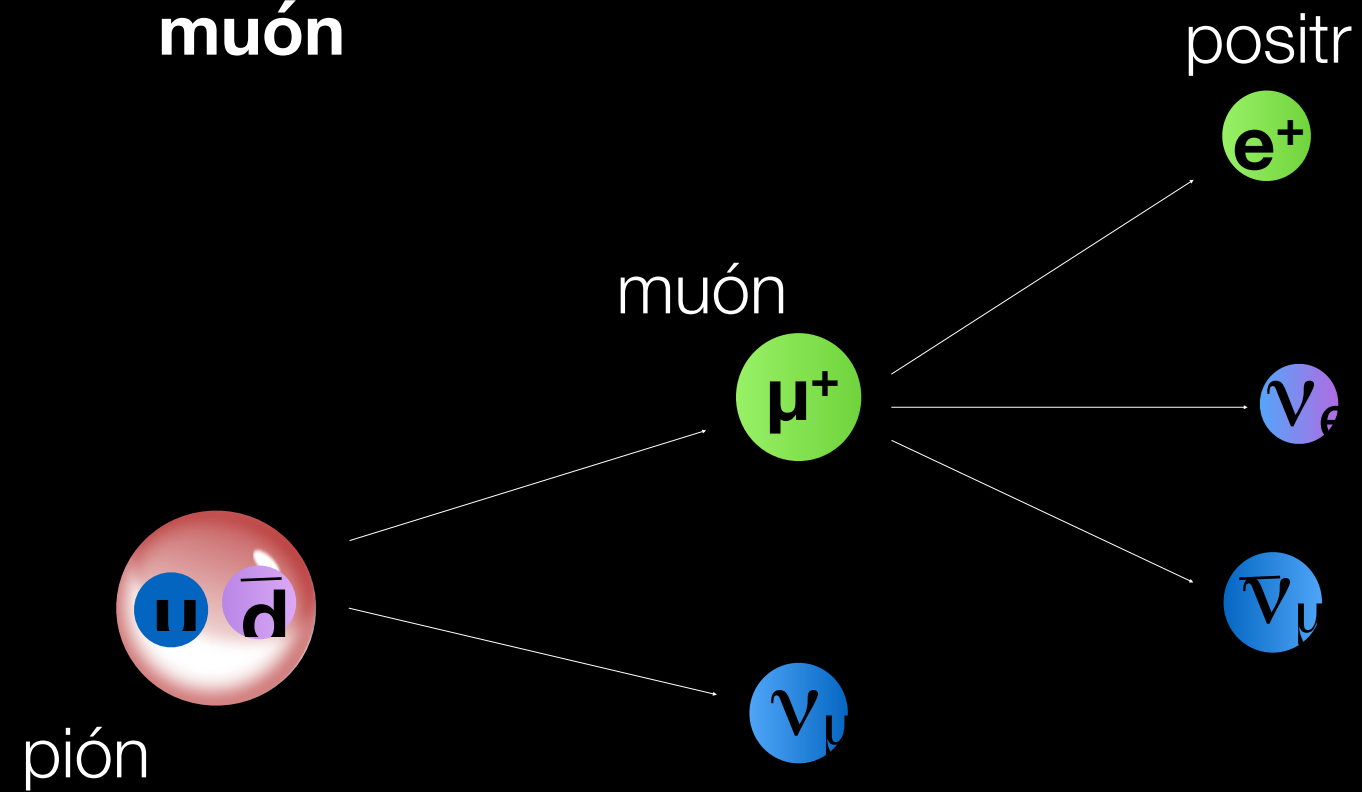
La desintegración del pión



La desintegración del muón



La desintegración del muón



En la desintegración de un pión finalmente se producen dos neutrinos muónicos y uno electrónico