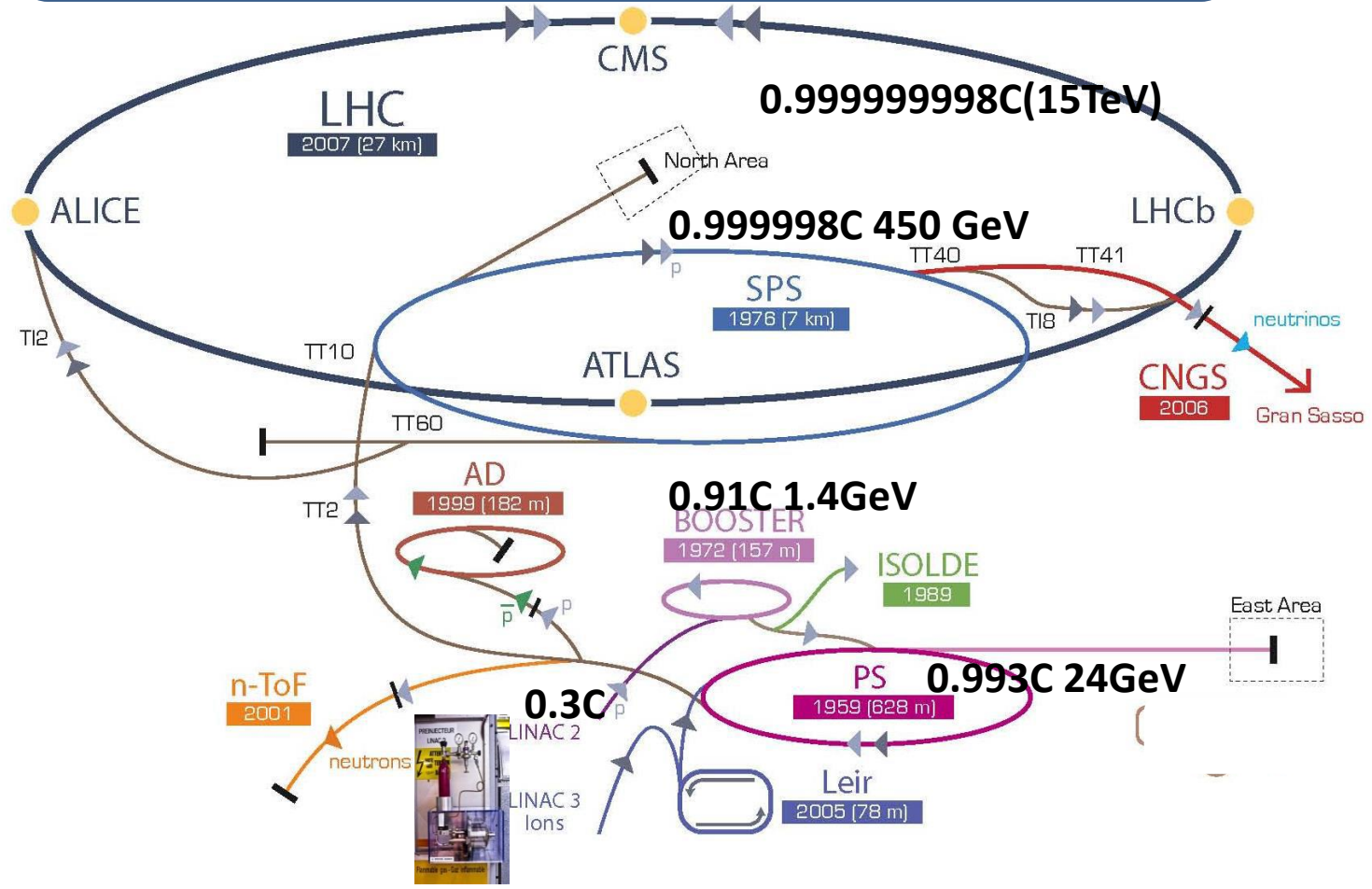


# Εισαγωγή στους ανιχνευτές σωματιδίων στο CERN

...και ίσως μερικές πιθανές ιδέες για τους μαθητές σας

Προγραμμα Ελλήνων καθηγητών, CERN 18-21/04/2016

Οι επιταχυντές στο CERN: αναπαραγουν σε **καθωρισμένο** χωρο την μορφη που ειχε η υλη ενα δισεκατομμυριοστο του sec μετα το Big Bang-οι ανιχνευτες την φωτογραφιζουν!



▶ p [proton]   ▶ ion   ▶ neutrons   ▶  $\bar{p}$  [antiproton]   ▶  $\leftrightarrow$  proton/antiproton conversion   ▶ neutrinos   ▶ electron

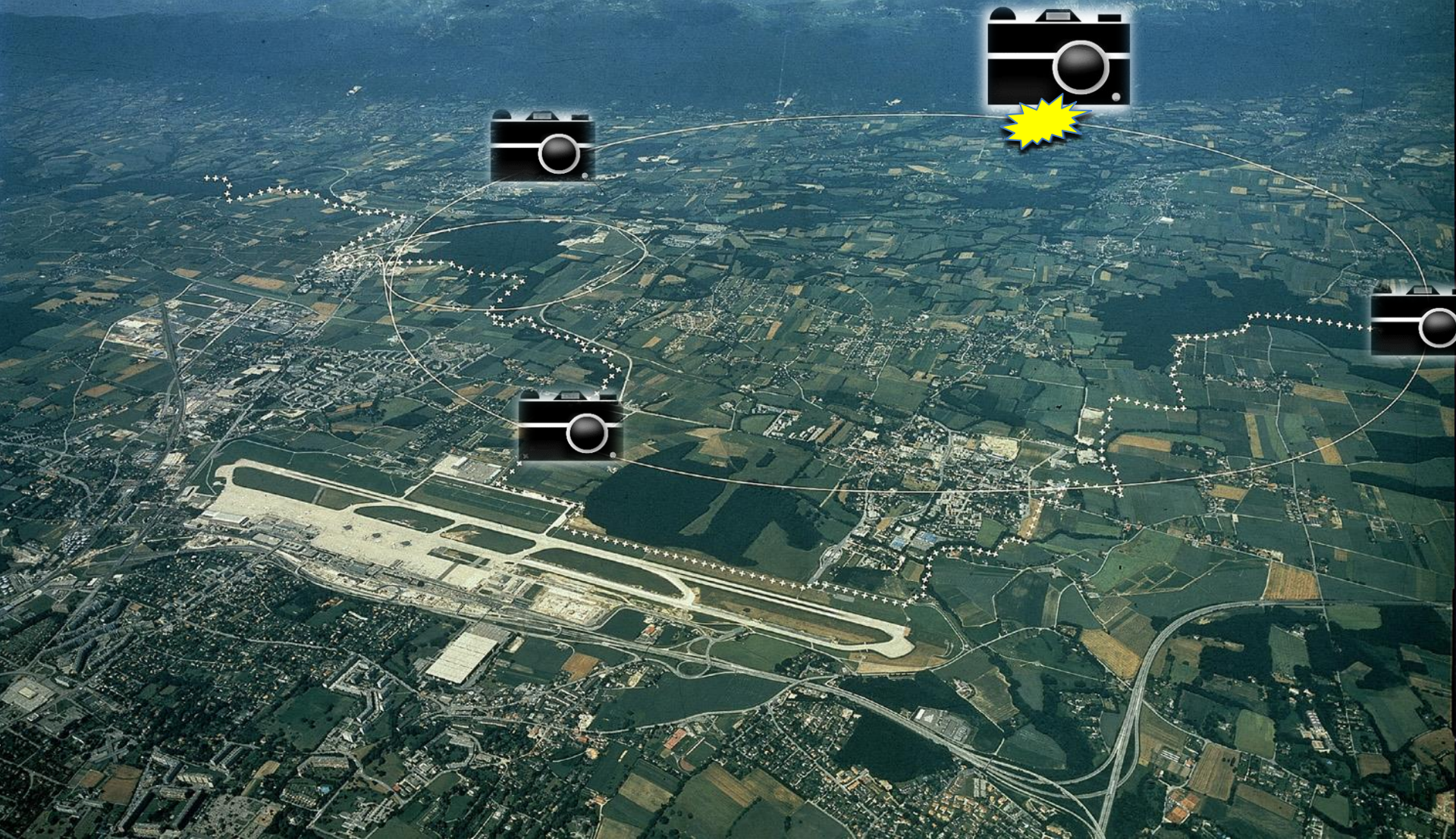
LHC Large Hadron Collider   SPS Super Proton Synchrotron   PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator   CTF3 Clic Test Facility   CNGS Cern Neutrinos to Gran Sasso   ISOLDE Isotope Separator OnLine DEvice

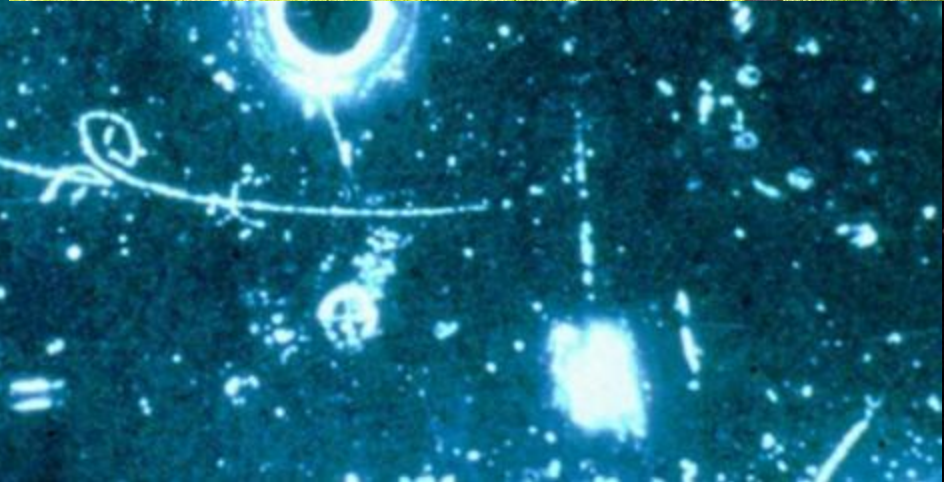
LEIR Low Energy Ion Ring   LINAC LINear ACcelerator   n-ToF Neutrons Time Of Flight

# Ο Large Hadron Collider

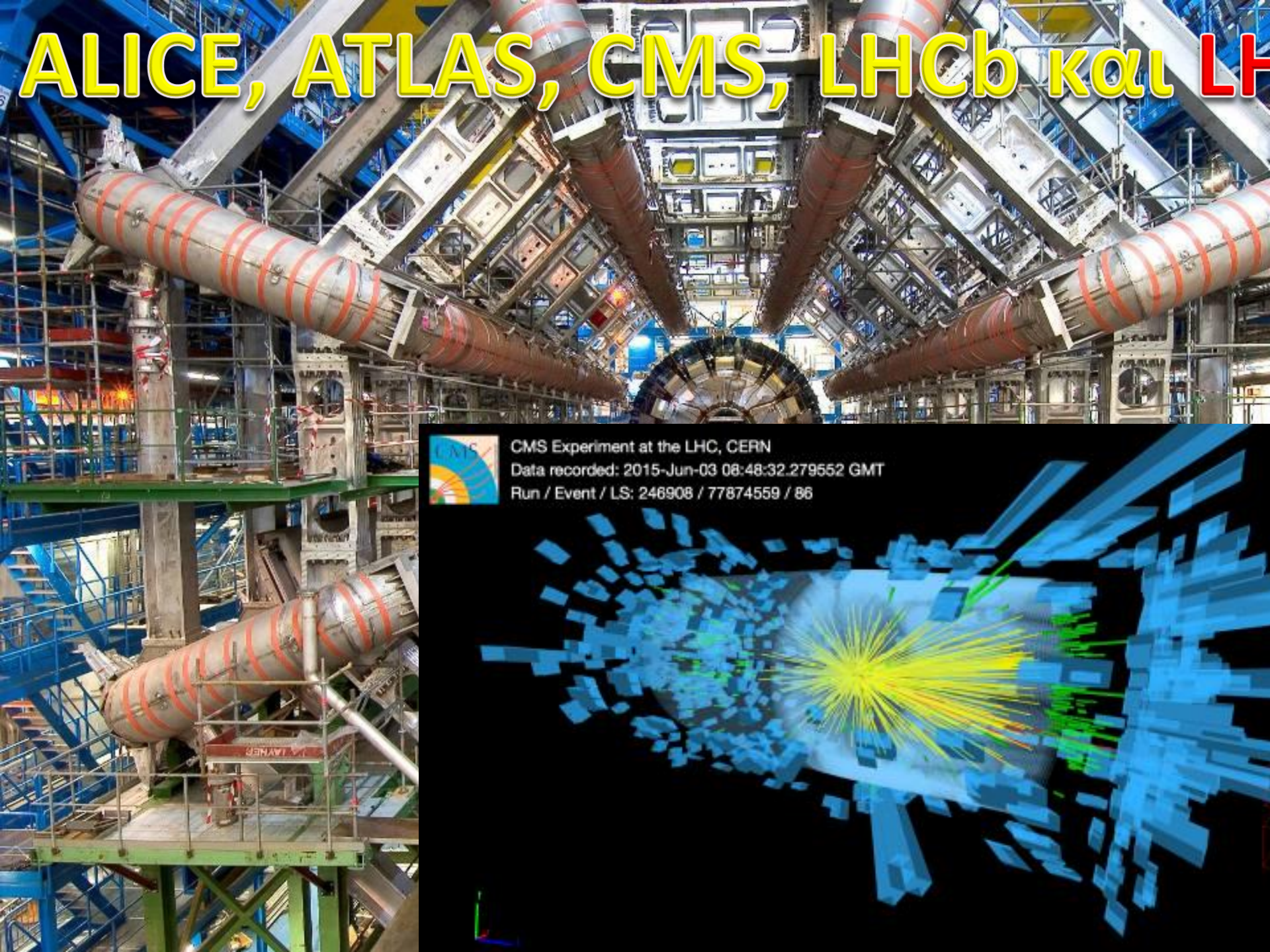
και οι ανιχνευτές/καμερες..



# Gargemelle PS και SPS



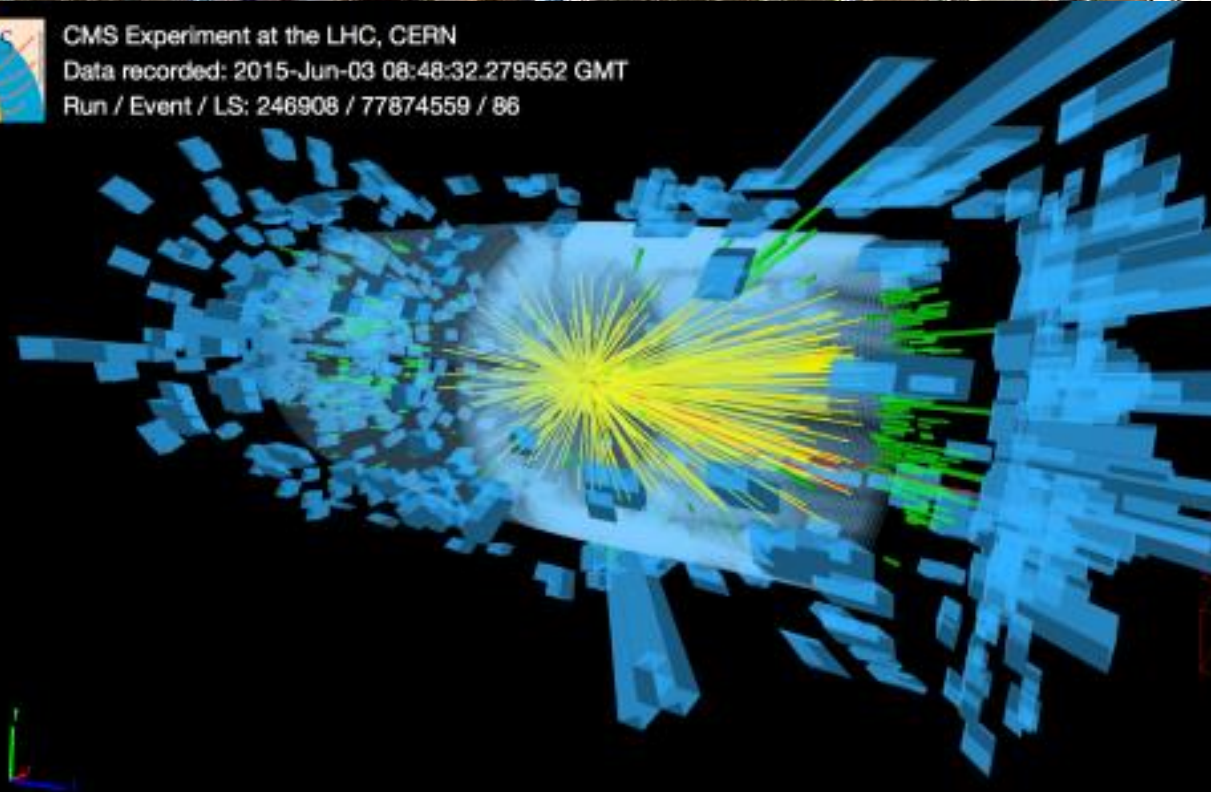




# ALICE, ATLAS, CMS, LHCb και LHC



CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2015-Jun-03 08:48:32.279552 GMT  
Run / Event / LS: 246908 / 77874559 / 86



# Οι ανιχνευτές-κάμερες

- Είναι οι «μηχανές» που χρησιμοποιούμε για να βρούμε γιατί ο κόσμος μας είναι έτσι.
- Γιατί τα σωματίδια έχουν διαφορετικές μαζές
- Τι είναι η σκοτεινή ύλη στο σύμπαν
- Εάν ισχύουν οι διαφορές θεωρίες που αποπειρώνται να συμπληρώσουν/αντικαταστήσουν το “standard model”
- Πώς ήταν η καυτή, πυκνή πρώτη μορφή της ύλης κλάσματα του δευτερολέπτου μετά την Μεγάλη Έκρηξη
- Εάν οι θεωρίες ενοποιηθείς μπορούν να επαληθευτούν

# Οι ανιχνευτες-καμερες

Δεν φωτογραφιζουν τα σωματιδια „απευθειας“

Φωτογραφιζουν την αλληλεπιδραση τους με την υλη ( που ειναι ο ιδιος ο ανιχνευτης, ενα τρισδιαστατο, ατελειωτο film) που στο τελος συνηθως «μεταφραζει» την αλληλεπιδραση σε κατι μετρησιμο

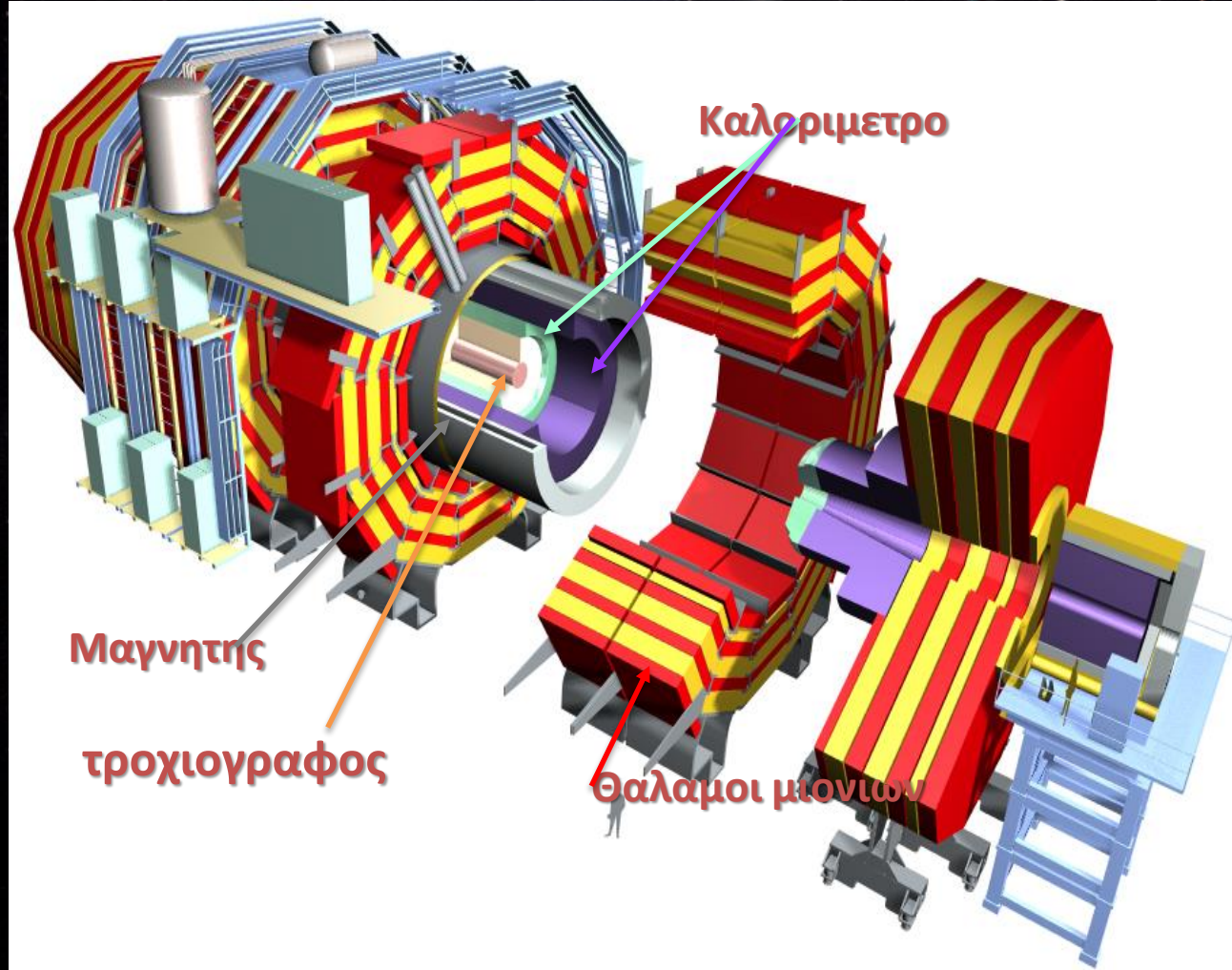
- Φως (-> φωτοπολλαπλασιαστες, φωτοδιοδοι, CCD, Si pixel)
- Ηλεκτρικο σημα

Τι φωτογραφιζουν(μετρουν) οι ανιχνευτες

- Ενεργεια
- Ορμη
- Φορτιο
- Χρονο ζωης
- Διασπασεις
- **Στροφορμη (spin)**
- **Μαζα**



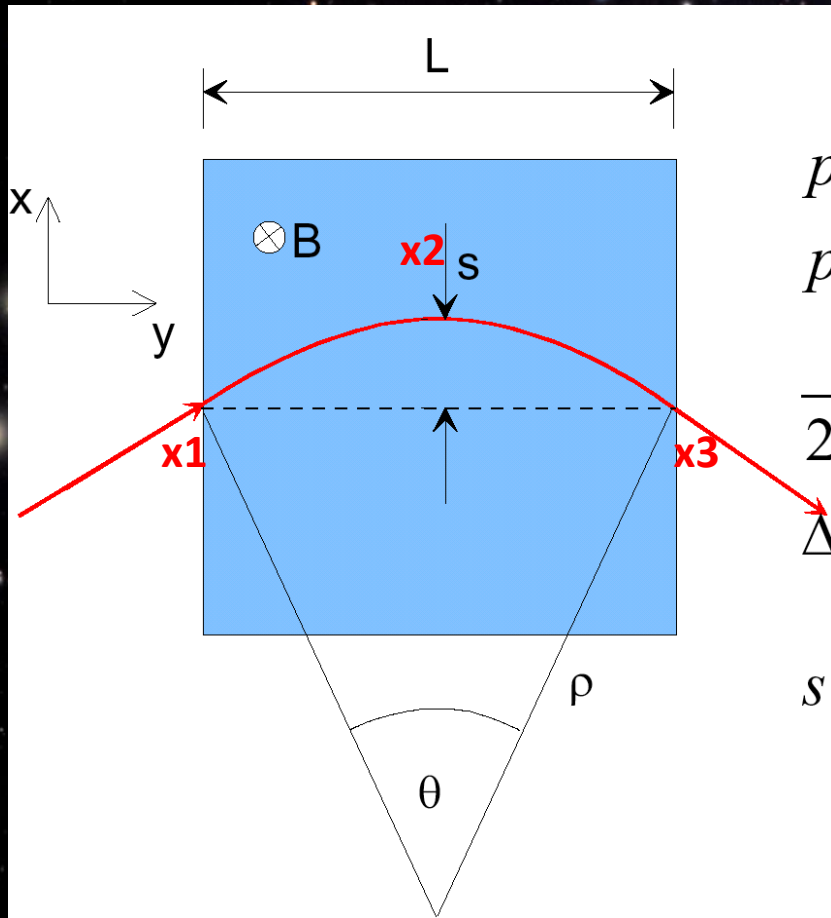
# Οι ανιχνευτές-καμερες είναι κατως ετσι...



# Οι ανιχνευτες-καμερες

- Ορμη  $\vec{p} \rightarrow$  Τροχιογραφος!
- Ενεργεια ( $E$ )  $\rightarrow$  Καλοριμετρα!
- Φορτιο  $\rightarrow$  Μαγν. πεδιο!
- Ο χρονος ζωης φωτογραφιζεται  
( προσοχη κυκλοφορουν μιονια ) το ιδιο και οι
- Διασπασεις!
- Η μαζα υπολογιζεται
- Η στροφορμη «μετριεται» απο την γωνιακη κατανομη

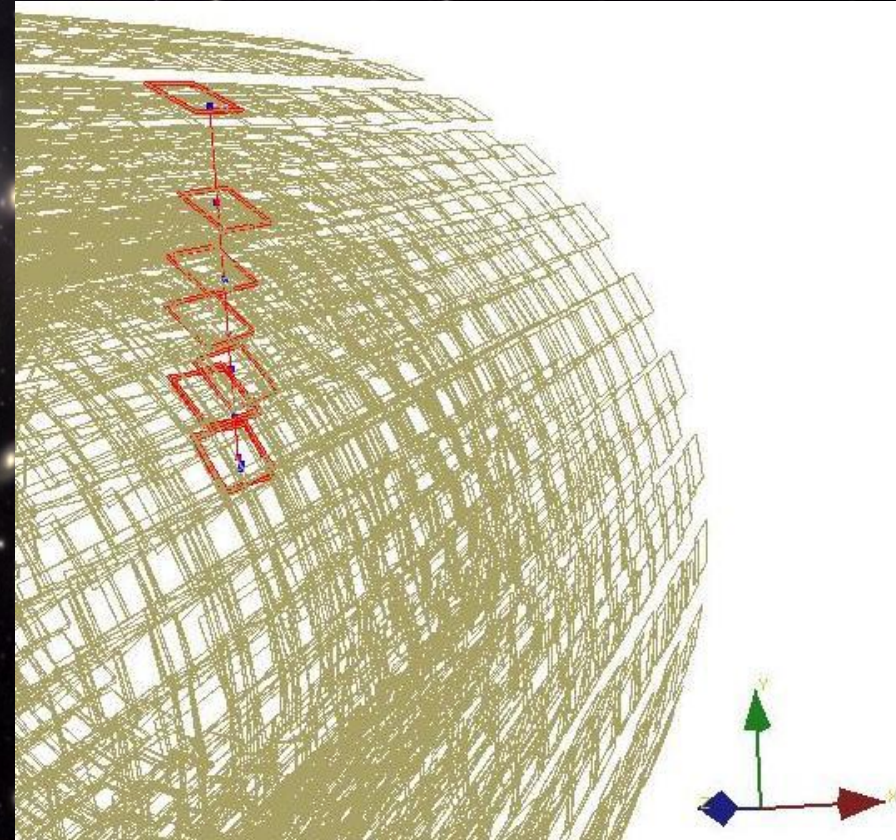
# Οι ανιχνευτές-καμερες Τροchioγραφος



καμπυλότητα

$$\kappa = \frac{1}{\rho}$$

$$p_T = qB\rho$$



# Momentum Measurement in Magnetic Field

Momentum is determined by measurement of **track curvature**  $\kappa = 1/\rho$  in B field:

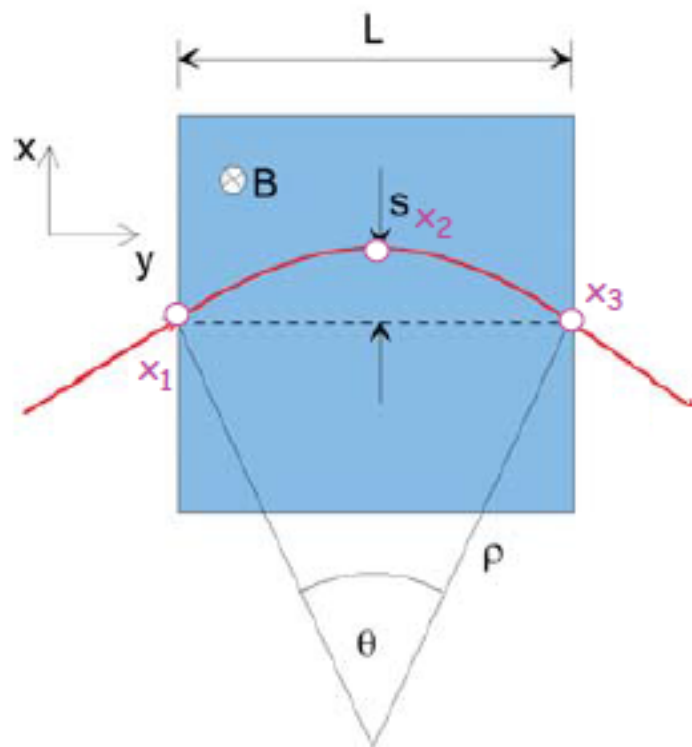
Measure **sagitta**  $s$  of the track. For the momentum component transverse to B field:

$$p_T = qB\rho$$

Units:  $p_T[\text{GeV}] = 0.3B[\text{T}]\rho[\text{m}]$

$$\frac{L/2}{\rho} = \sin\frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2} \quad (\text{for small } \theta) \Rightarrow \theta \approx \frac{L}{\rho} = \frac{0.3B \cdot L}{p_T}$$

$$s = \rho\left(1 - \cos\frac{\theta}{2}\right) \approx \rho\left(1 - \left(1 - \frac{1}{2}\frac{\theta^2}{4}\right)\right) = \rho\frac{\theta^2}{8} \approx \frac{0.3L^2B}{8 p_T}$$



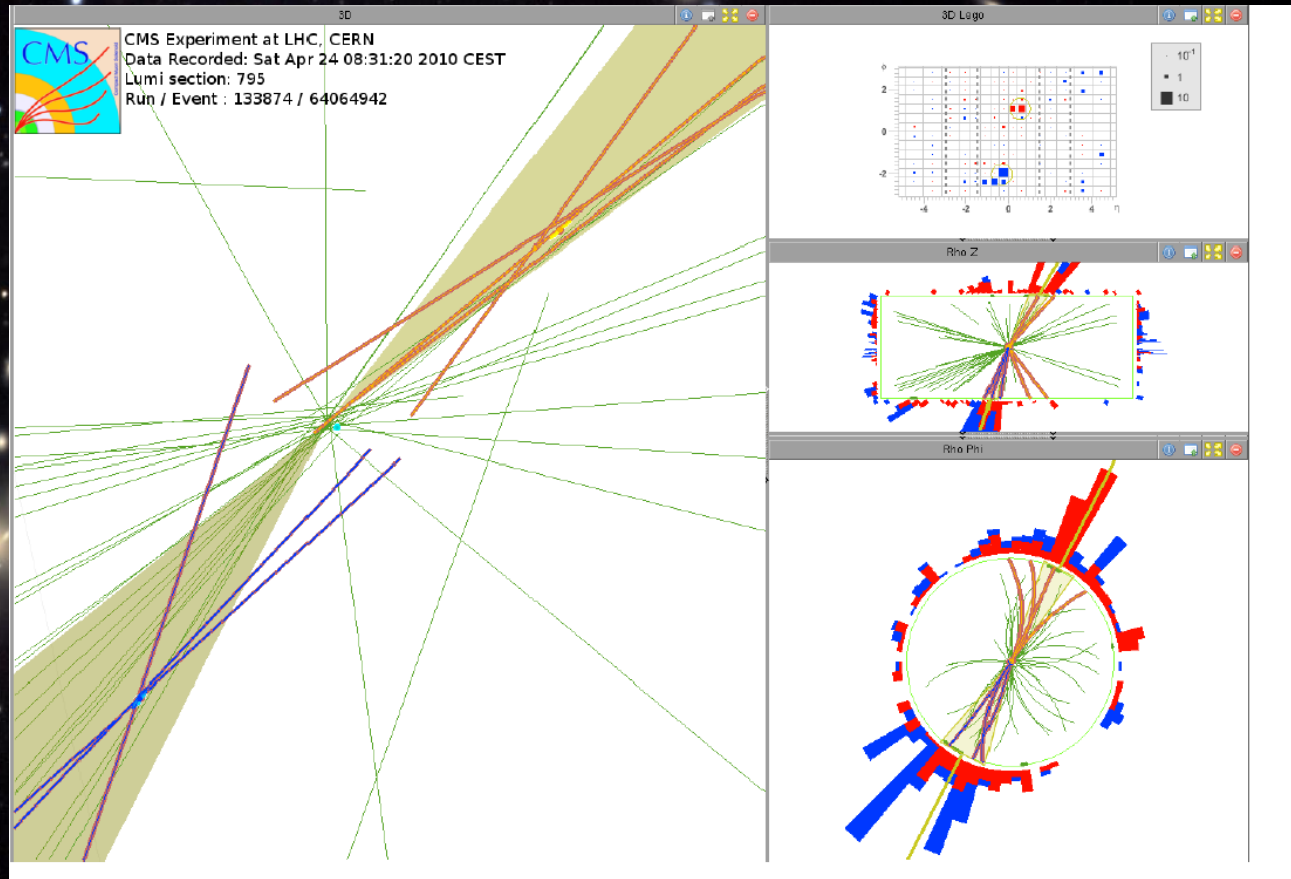
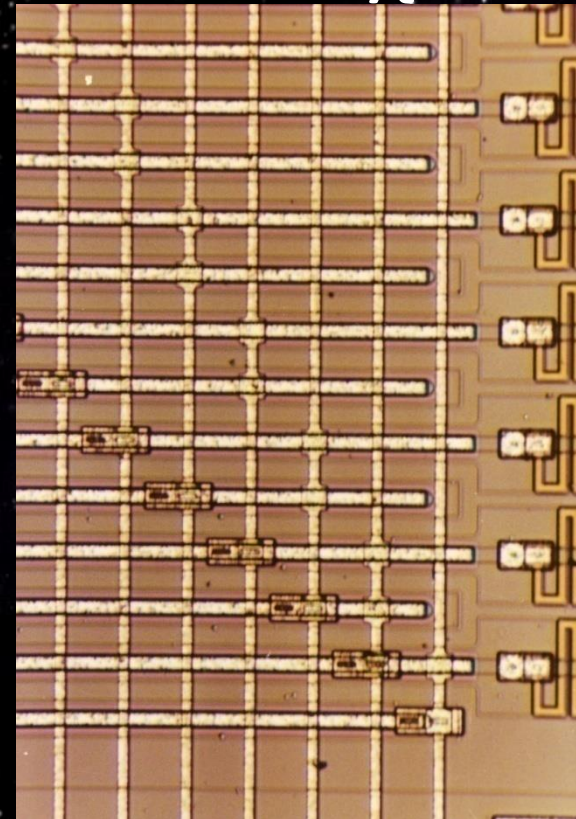
For the simple case of **three measurements**:

$$s = x_2 - (x_1 + x_3)/2 \Rightarrow ds = dx_2 - dx_1/2 - dx_3/2$$

with  $\sigma_x \approx dx_i$  uncorrelated error of single measurement:

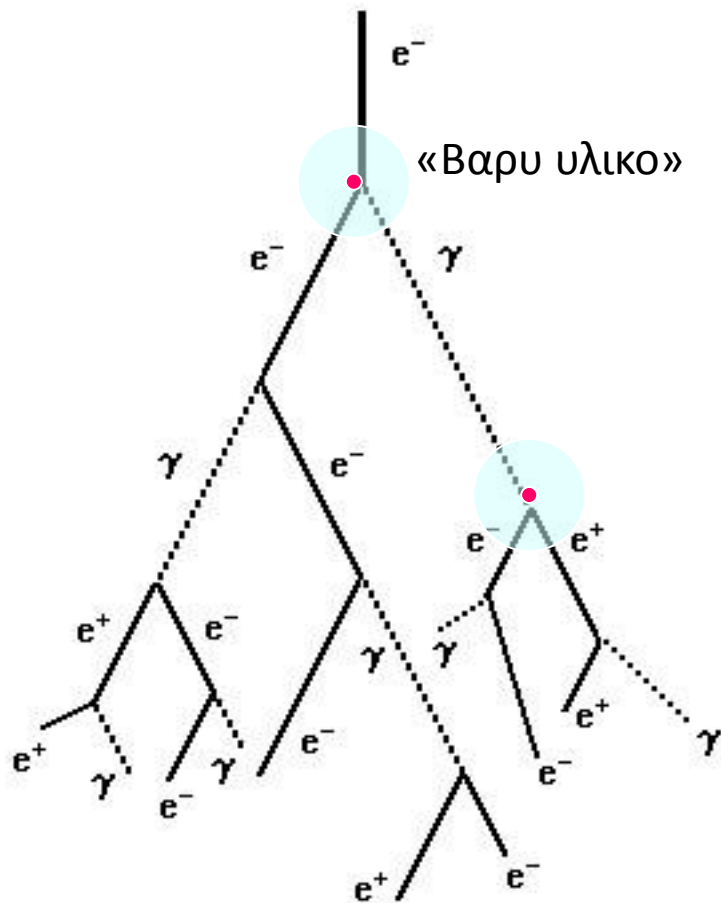
$$\sigma_s^2 = \sigma_x^2 + \frac{\sigma_x^2}{4} \cdot 2 = \frac{3}{2}\sigma_x^2$$

# Οι ανιχνευτές-καμερες Τροχιογραφος



- Μετρηση του τυπου: 20-200 $\mu$ m
- Σφαλμα  $\sim$  2 $\mu$ m
- Γρηγορα!  $\sim$  10ns

# Οι ανιχνευτες-καμερες Καλοριμετρα



## Ηλεκτρομαγνητικα

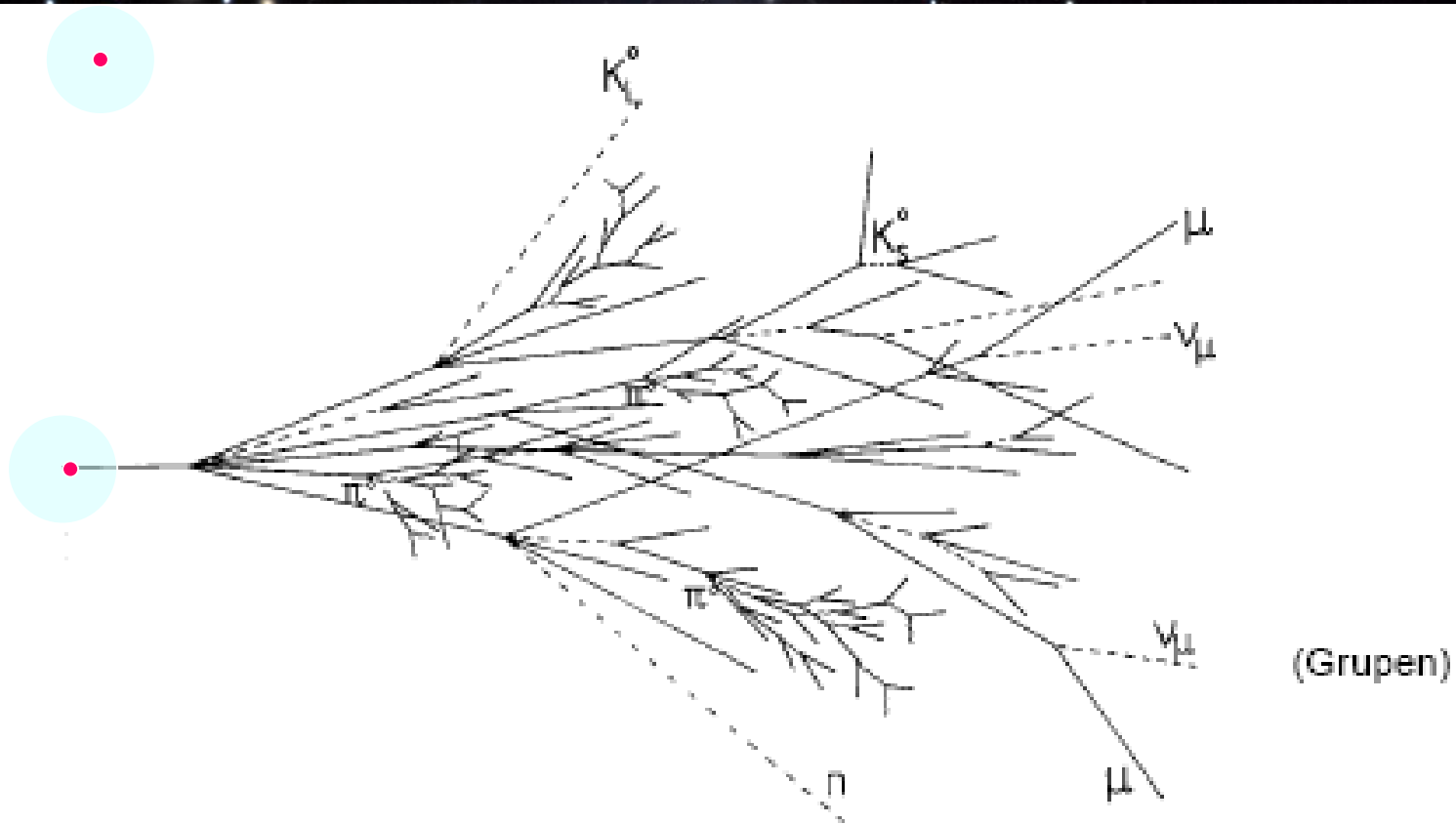
Διδυμη γεννεση, ακτινοβολια πεδησεως σκεδαση κτλ-η αρχικη ενεργεια του σωματιδιου «μεταφραζεται» σε φωτονια και ηλεκτρονια που «φωτογραφιζονται»

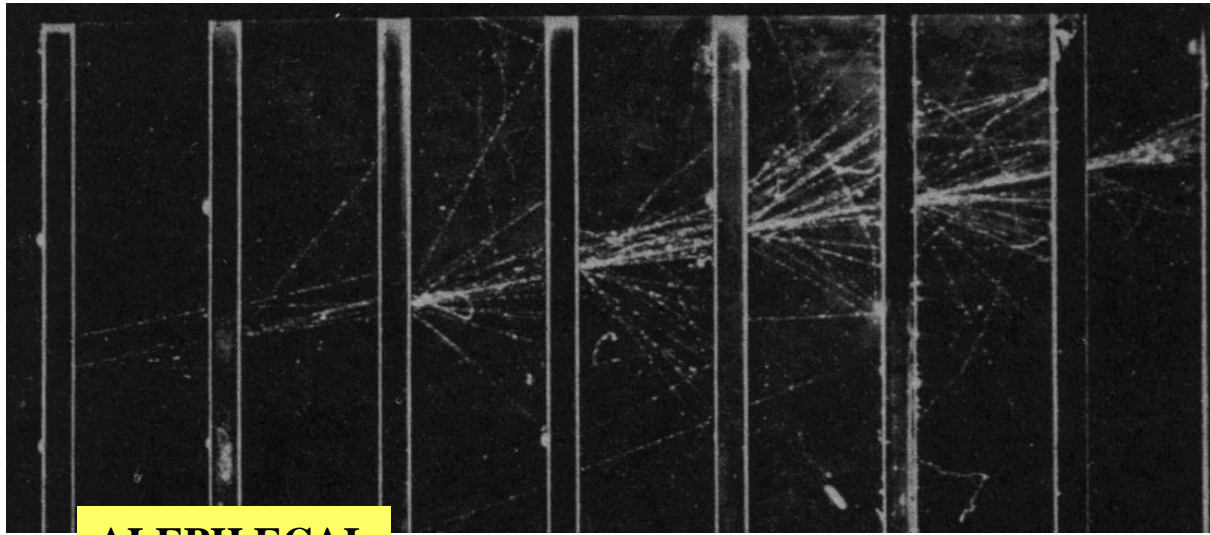
# Οι ανιχνευτές-καμερες Καλοριμετρα

Αδρονικα

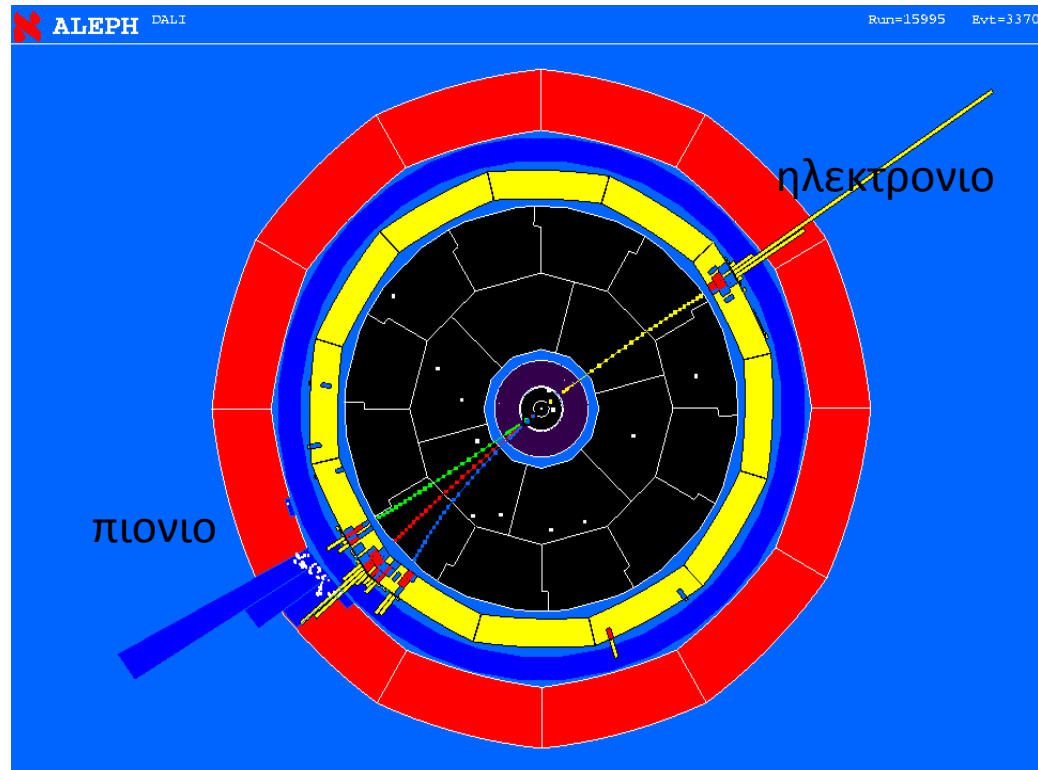
Αδρονικο κομματι καταλωνισμου+ Ηλεκτρομαγνητικο

«Βαρυ υλικο»





ALEPH ECAL





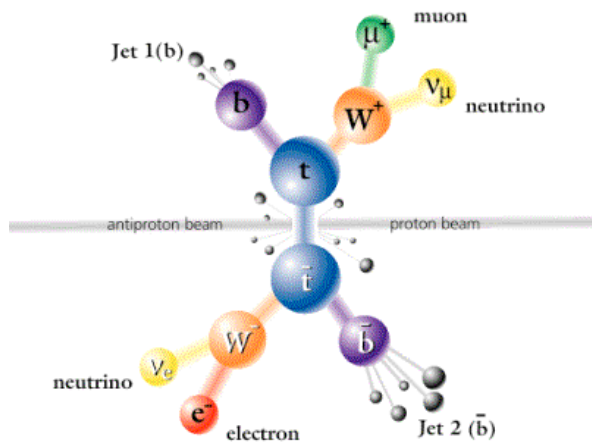
Οι συγχρονοι μεγαλοι ανιχνευτες στο CERN: φωτογραφιζουν με μεγαλη χρονο-χωρικη ακριβεια την συμπεριφορα της υλης στις συνθηκες αμεσως μετα το Big Bang (“αμεσως “  $<10^{-9}$  sec)

- Οι ανιχνευτες ειναι πραγματικα μεγαλοι....

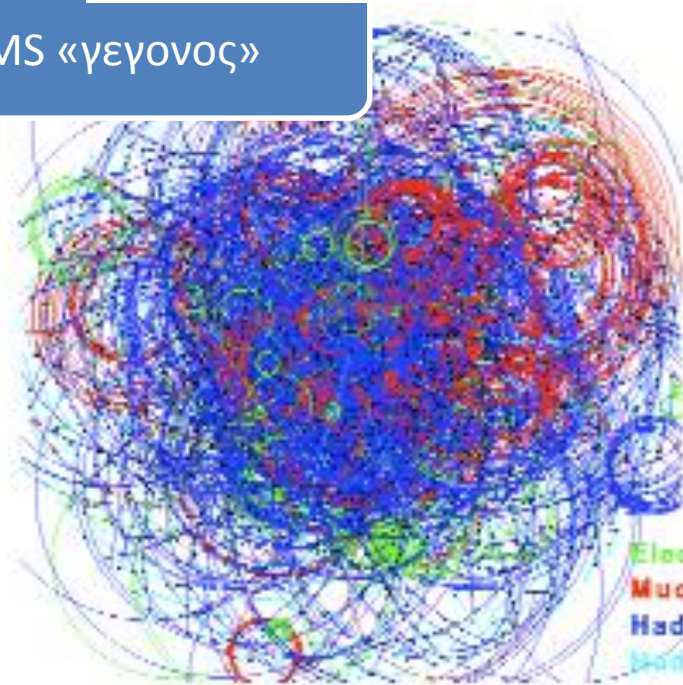
Ονομα	Βαρος (tn)	Μεγεθος (z,r)	Αρχικο κοστος (MCHF)	Ανθρωποι
ALICE	10000	26,16	~300	~1500
ATLAS	7000	44,22	~550	~3000
CMS	13000	21,16	~550	~3700
LHCb	4500	20, 5+	~300	~800

...γιατι πρεπει να «φωτογραφισουν» πολυ «μικρα» αντικειμενα ( $< 10^{-16}$  sec) , μιλαμε για αποστασεις μικρομετρου και χρονους ζωης φραγματα του psec. Οι ζητουμενες φωτογραφιες ειναι του μποζονιου Higgs, υπερσυμμετρικων σωματιδιων, mini μαυρες τρυπες, βαρυτονια η αλλες μορφες της υλης (quark – gluon plasma...)

Θεωρια



CMS «γεγονος»



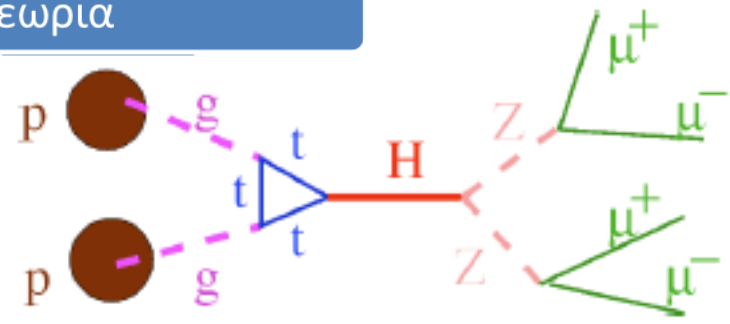
**CMS**

H → μμμμ  
 m(H)=150GeV  
 + 20 Min bias

Electrons  
 Muons  
 Hadrons p<2GeV  
 Hadrons p>2GeV

CMS  
 “φωτογραφιζοντας”

Θεωρια



# CMS

~13000 t

Υπεραγωγμο σωληνοειδες

EM Καλοριμετρο

ECAL

Scintillating  
PbWO4 crystals

Αδρονικο Καλοριμετρο

Plastic scintillator/brass  
sandwich

«Ζυγος» σιδηρου

15 m

τροχιογραφος

Silicon Microstrips  
Pixels

Total weight : 13,000 t ..  
Overall diameter : 15 m  
Overall length : 21.6 m  
Magnetic field : 4(3.8) Tesla

Θαλαμοι μιονιων

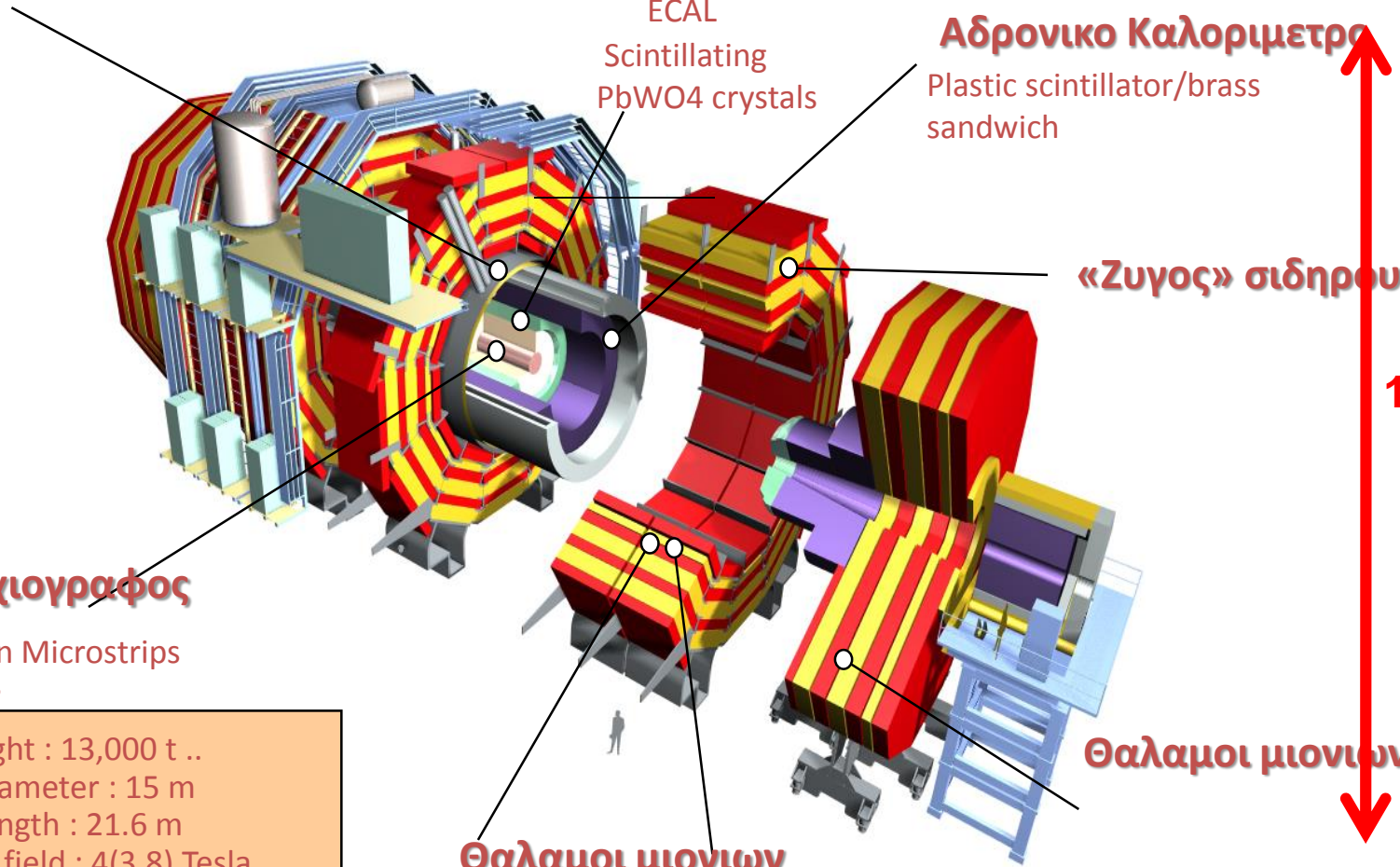
Θαλαμοι μιονιων

Drift Tube  
Chambers

Resistive Plate  
Chambers

Cathode Strip Chambers and  
Resistive Plate Chambers

22 m



# Οι 4 «μεγαλοι» ανιχνευτες του LHC:

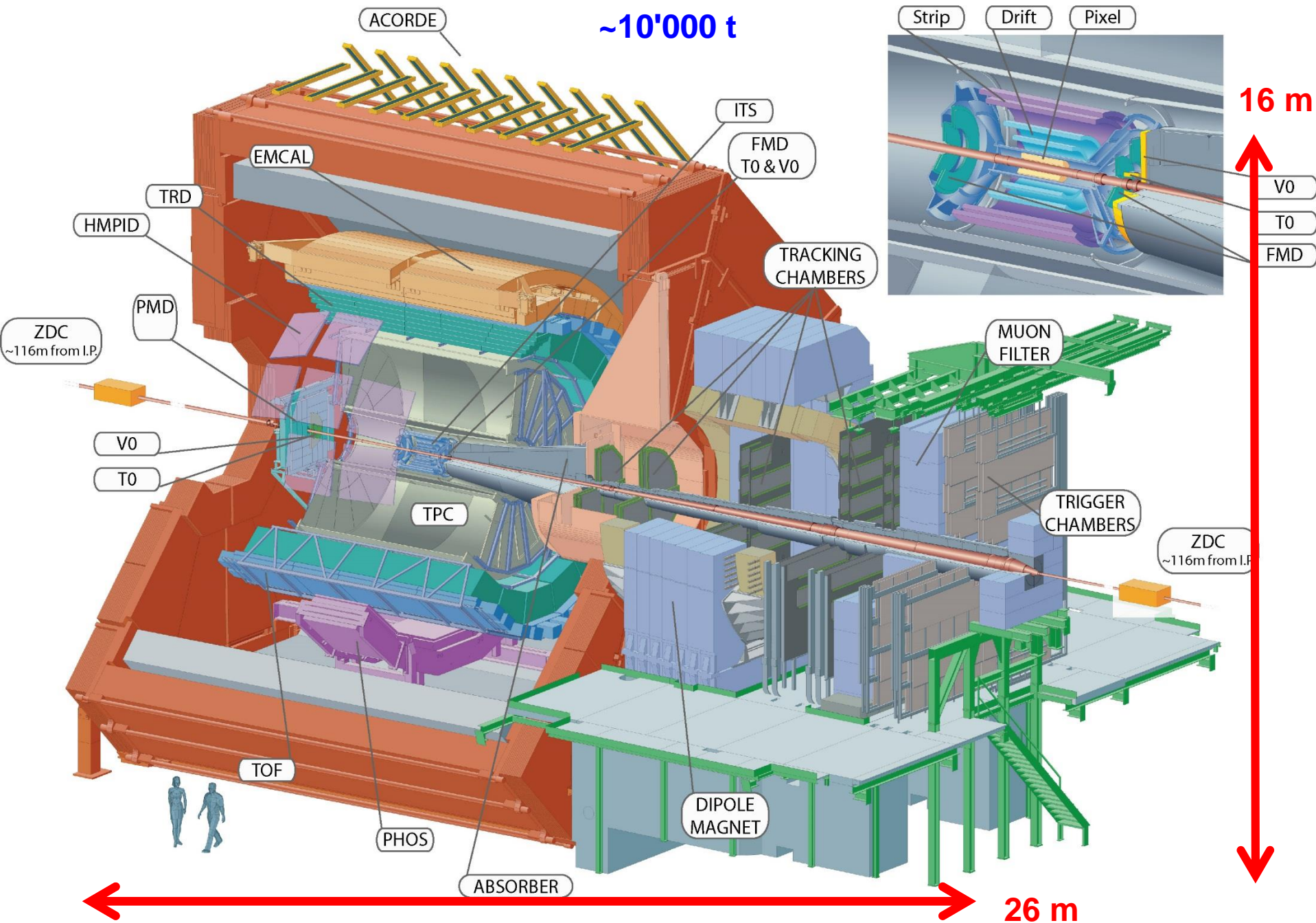
Εχουν ολοι τα ιδια περιπου κομματια (υπανιχνευτες)....

Υπανιχνευτης	ALICE	ATLAS	CMS	LHCb
Vertex detector/Tracker	✓	✓	✓	✓
Καλοριμετρο	✓	✓	✓	✓
Muon detector	✓	✓	✓	✓
Διαφορα	!!!!!!!	✓	✓	!!!!!!!

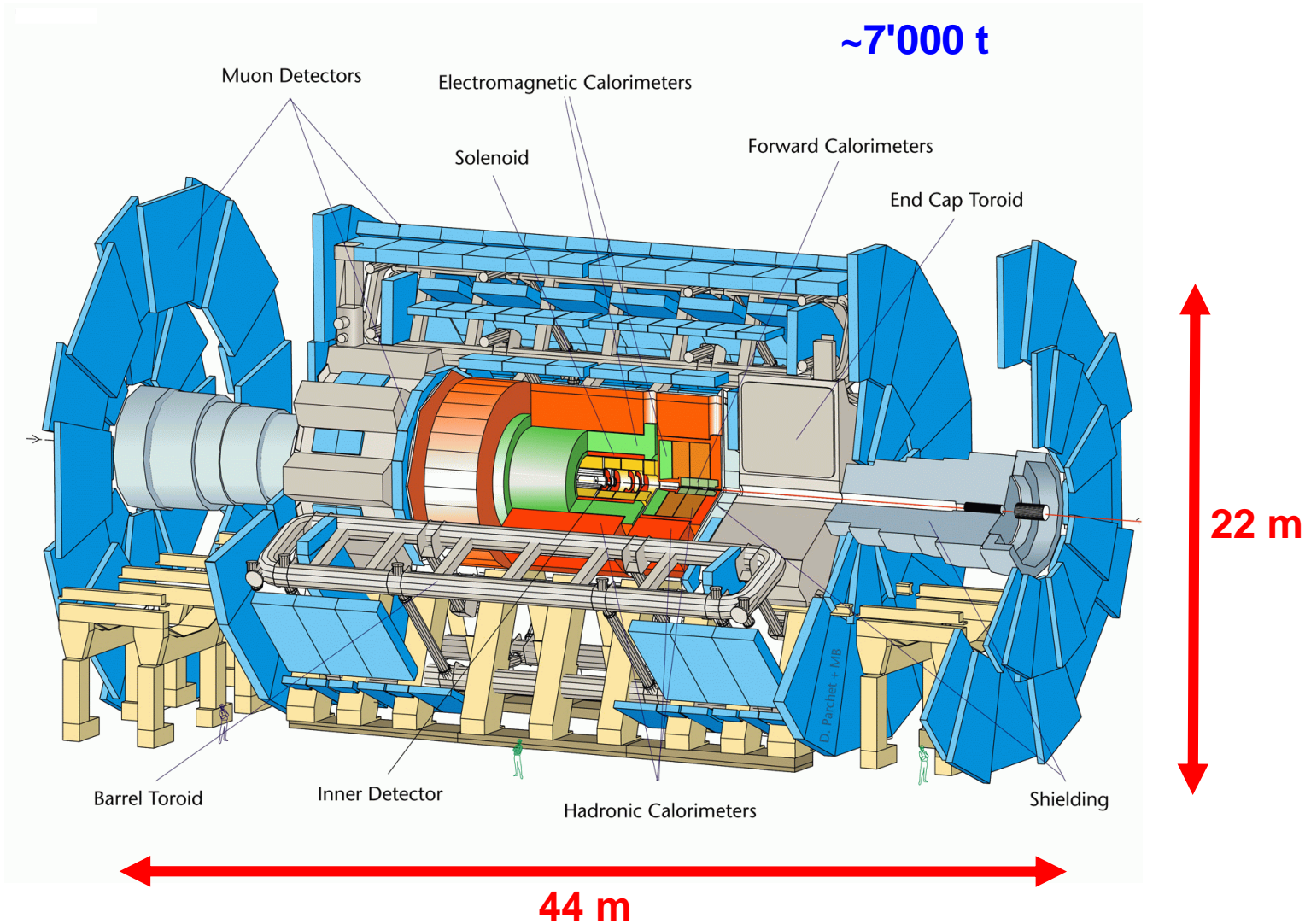
Ολοι εχουν εναν καταγραφεα τροχιων (Tracker στα Ελληνικα!) για να «βλεπουν» την διαδρομη των φορτισμενων σωματιδιων στο χωρο

Ολοι εχουν ενα καλοριμετρο (Ηλεκτρομαγνητικο και Αδρονικο) για να μετρουν την ενεργεια

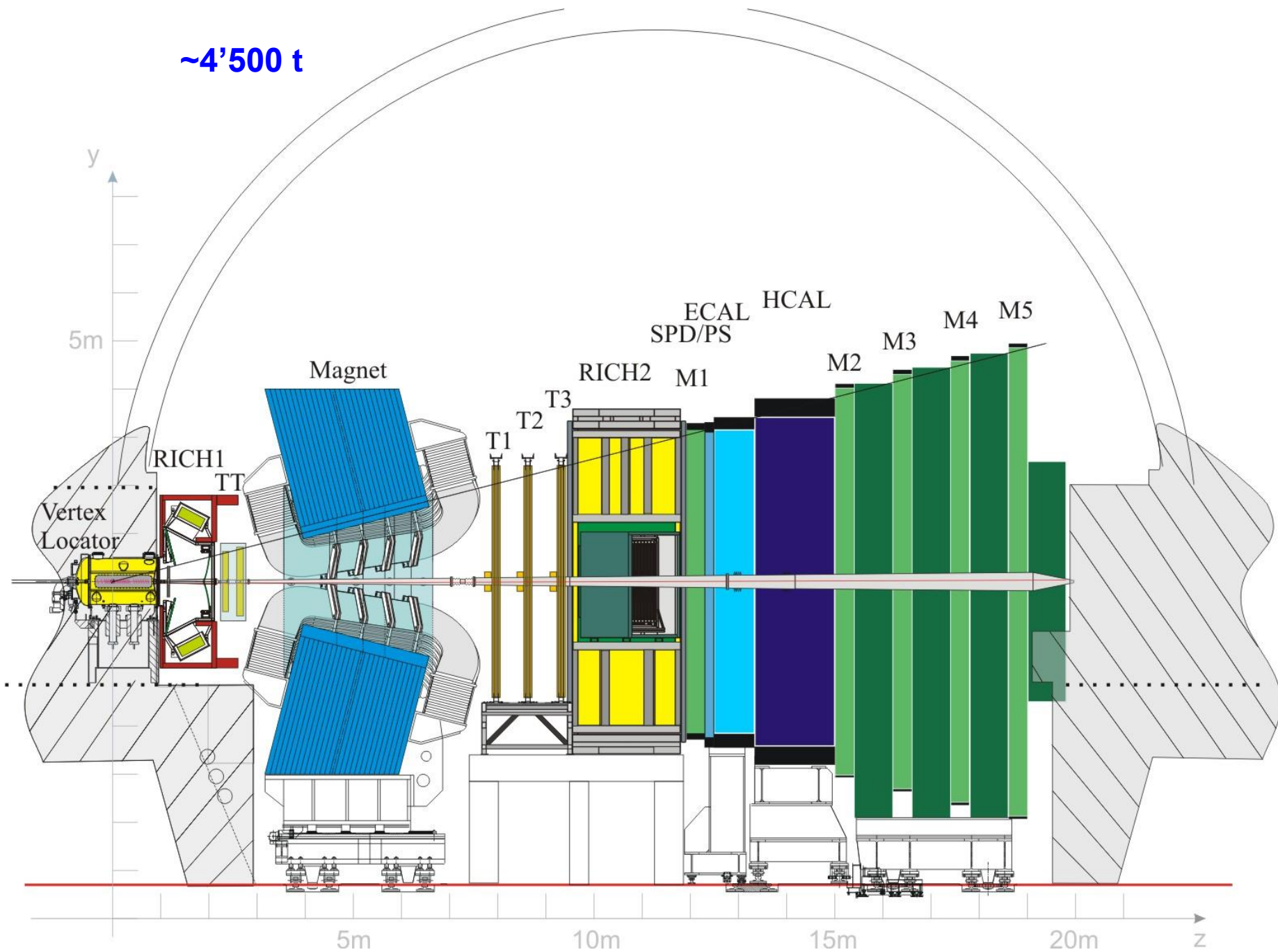
Ολοι εχουν ανιχνευτες μιονιων-γιατι τα μιονια δεν «πεθαινουν» στα καλοριμετρα και η ανιχνευση τους ειναι πολυ σημαντικη



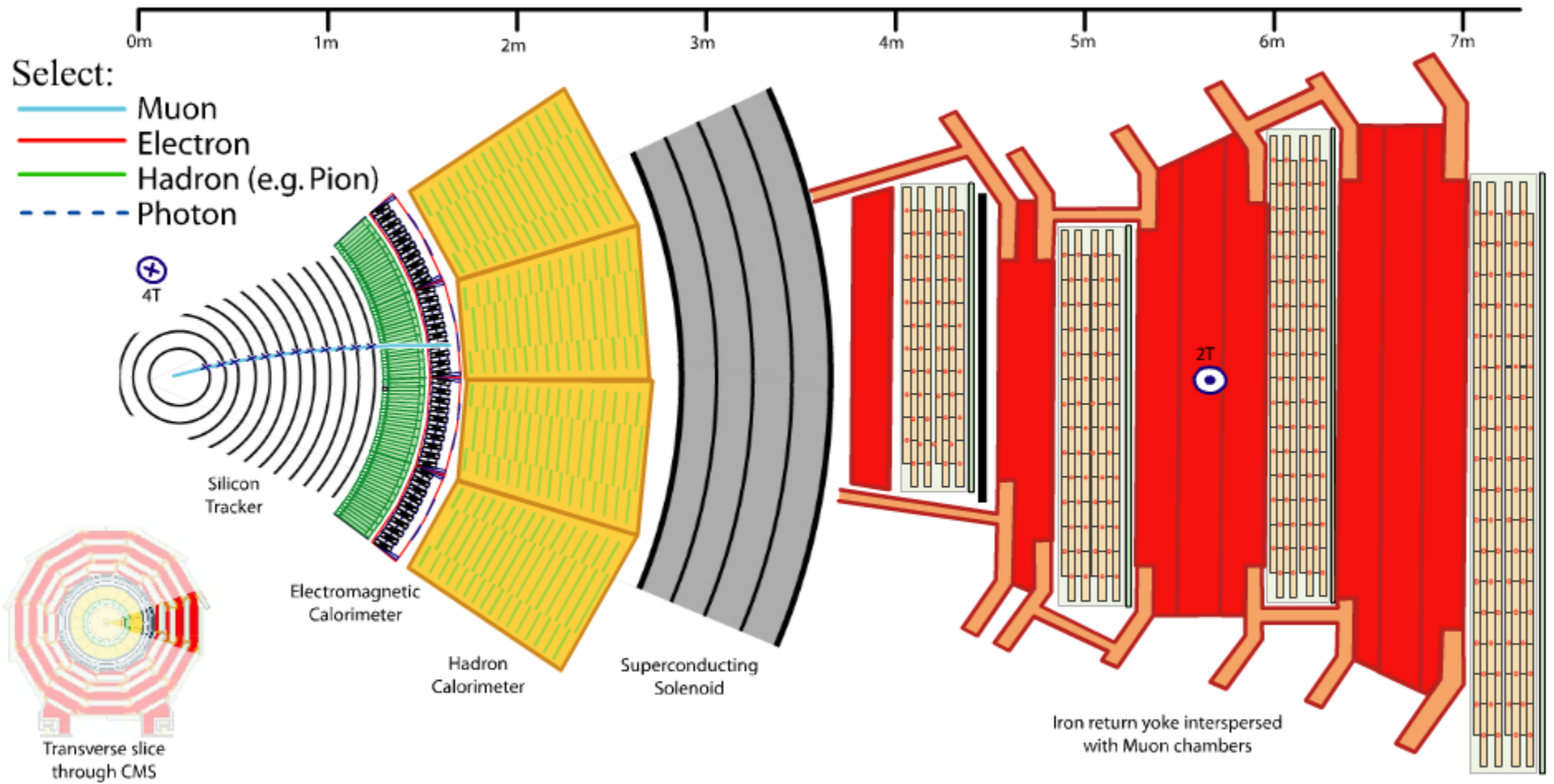
# ATLAS



~4'500 t



# Μια «φρετα» του CMS







# Οι συνδιασμοί των «φωτογραφιών» των ανιχνευτών μας δίνει την «φωτογραφία «του γεγονότος

Ελαφρα υλικά: “tracking” τροχιομετρια,  $P_T$  (καθετη συνιστωσα της ορμης), αρχη ηλεκτρομαγνητικων καταγωνισμων (showers), τοπολογια αρχης αντιδρασεων

Βαρια υλικά(μολυβδος, ουρανιο) και «ενεργα υλικά» για ανιχνευση!  $\lambda_0 \approx A^{1/3}$   
 Ταυτοποιηση σωματιων, jets, μετρηση ενεργειας

Κατ’ ουσιαν καταγραφεας τροχιων..

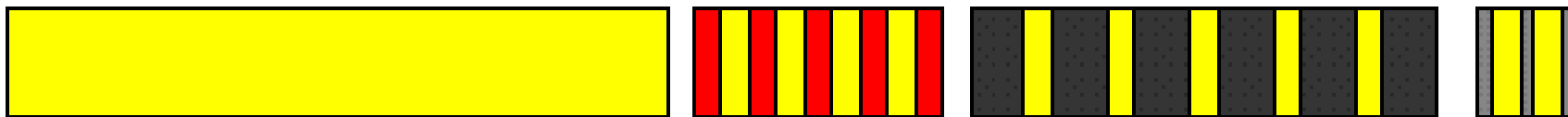
Υλικά με πολλα πρωτονια! και «ενεργα υλικά» για ανιχνευση!  $X_0 \approx \frac{180A}{Z^2}, \rho_0 \approx \frac{7A}{Z}$

**Tracker (καταγραφεας τροχιων)**

**H/M  
καλοριμετρο**

**Αδρονικο  
καλοριμετρο**

**Ανιχνευτες  
μιονιων**



Ηλεκτρονιο;



Φωτονιο;

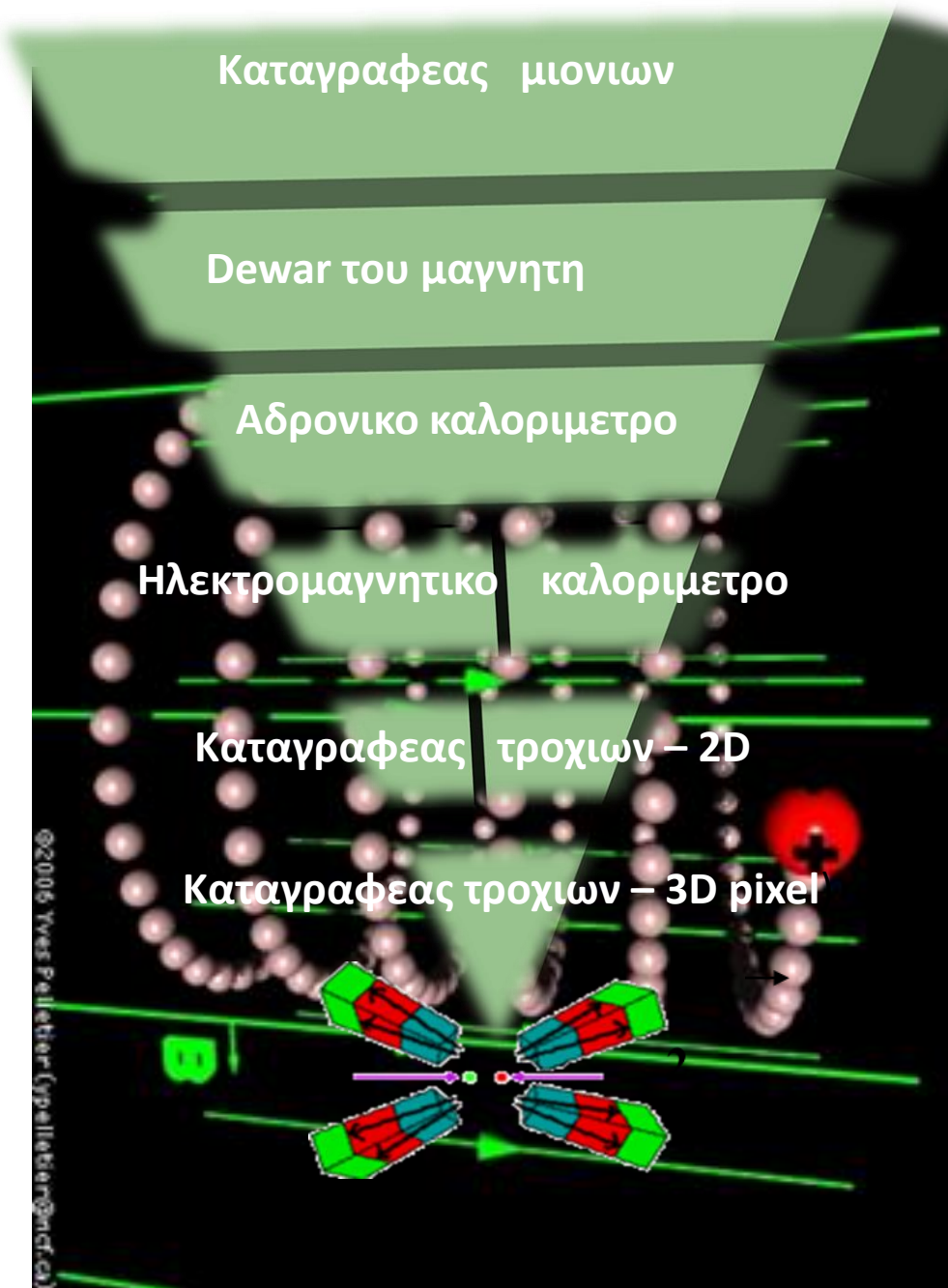


Αδρονιο;



Μιονιο;



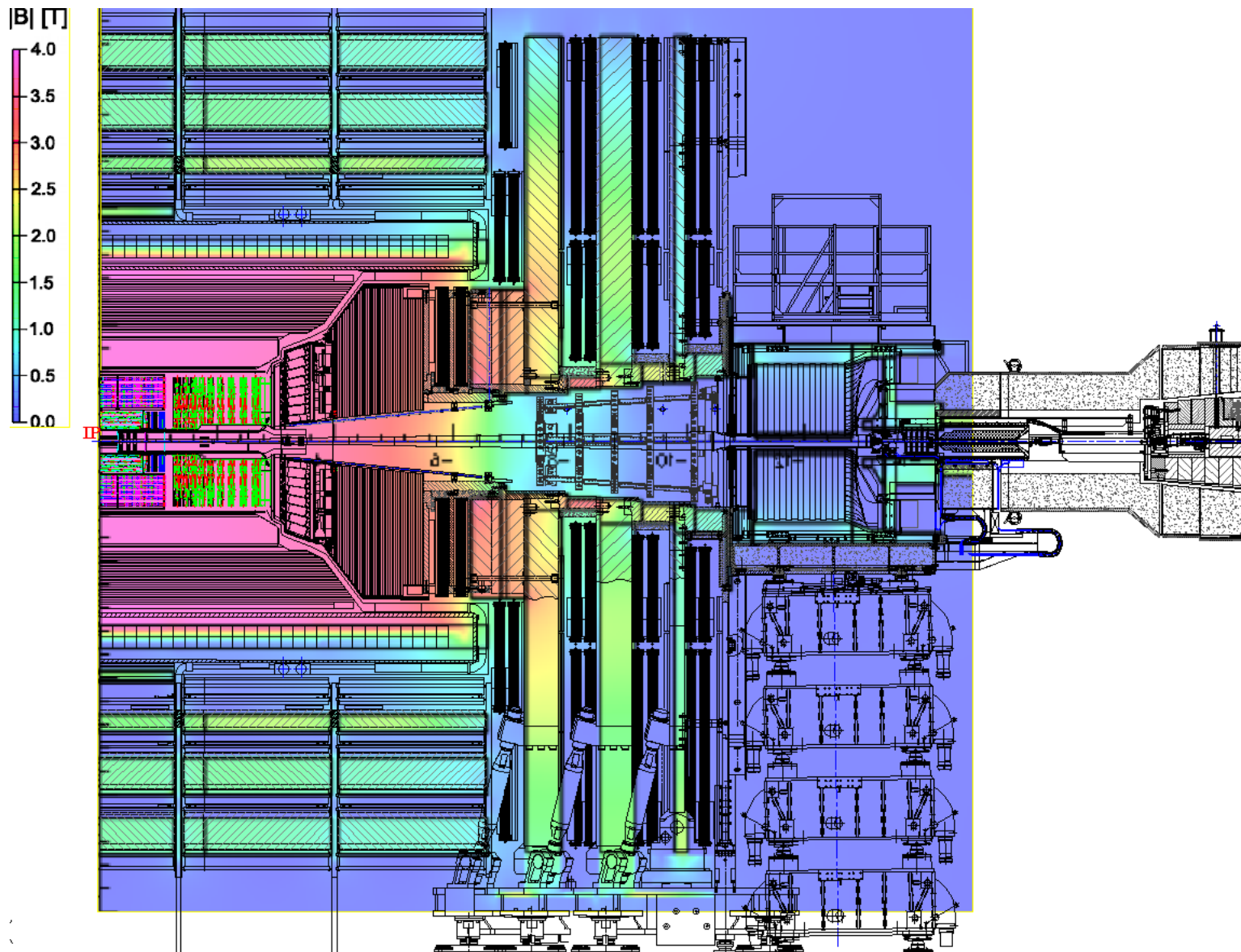


«Βαρια» υλικαι!

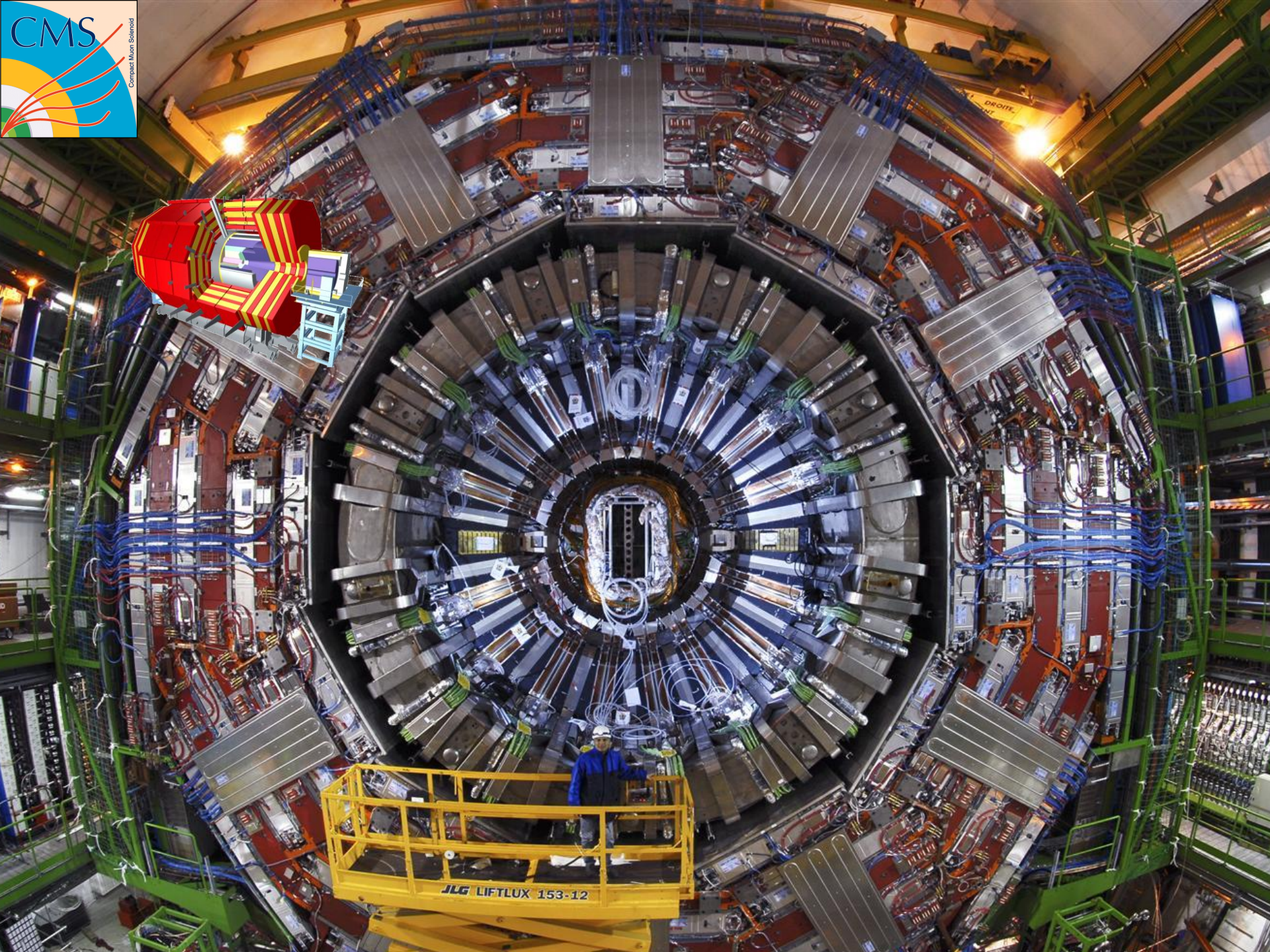
«Ελαφρα» υλικαι!

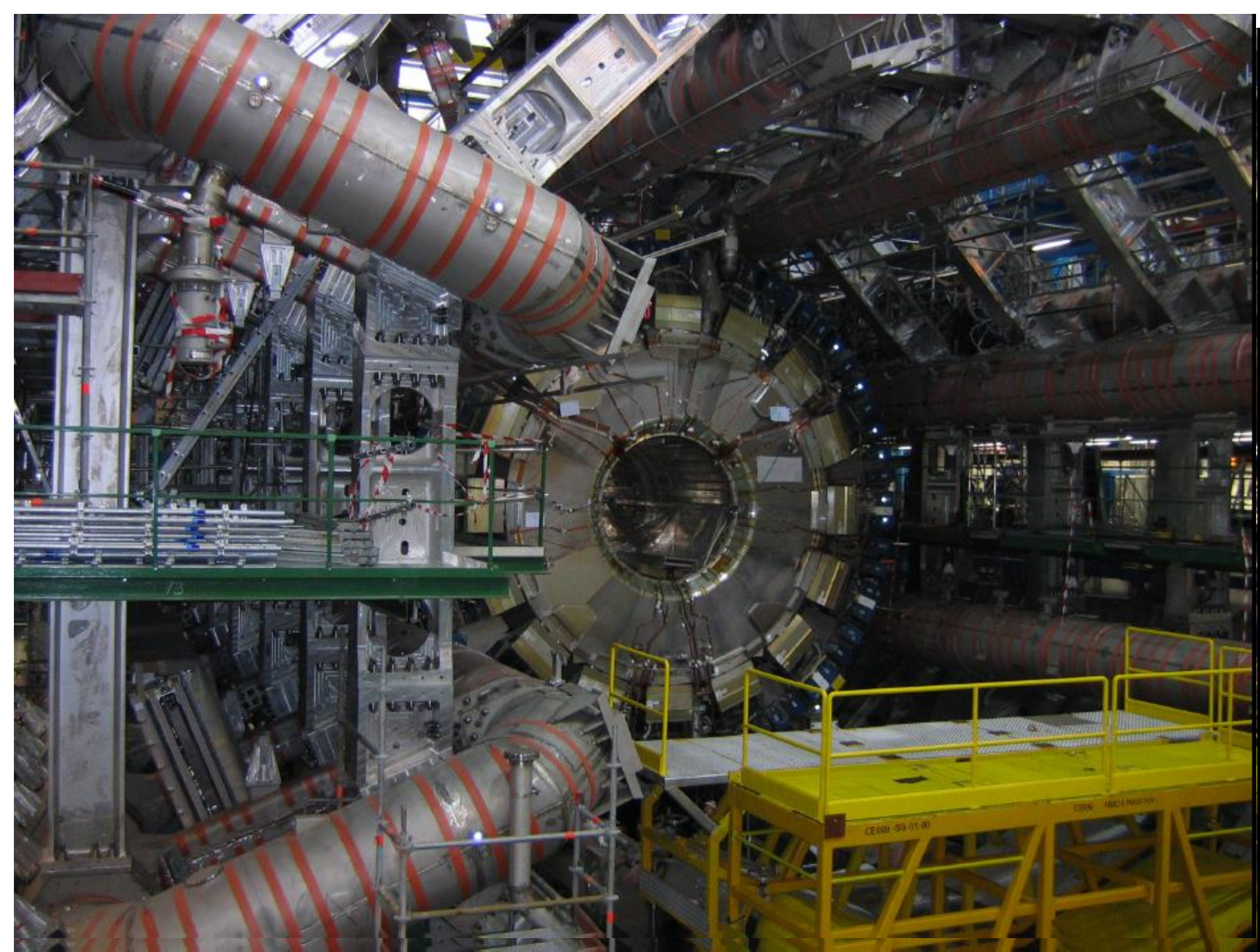
$$E_{CM} = 2E_{beam}$$

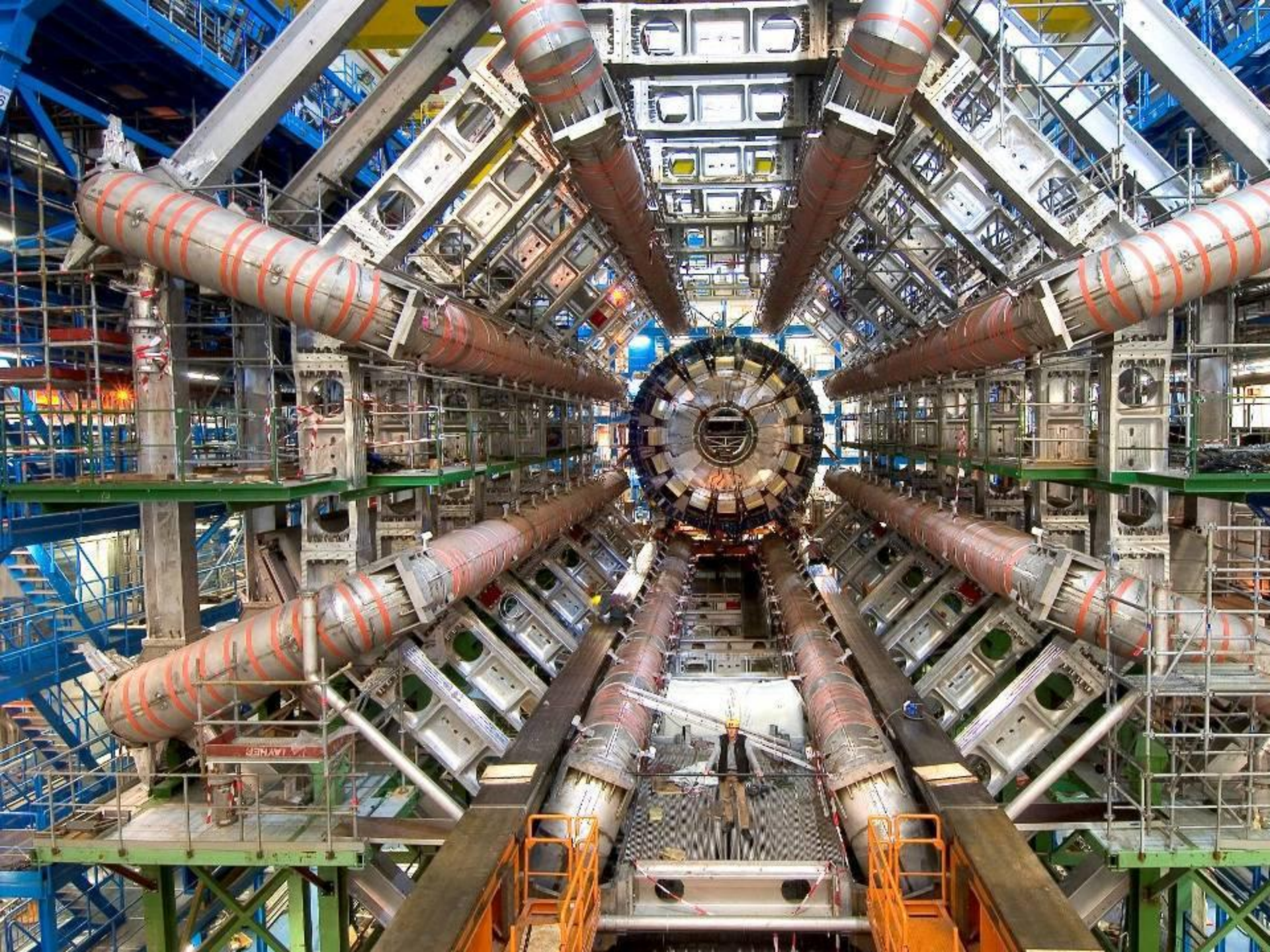
$$p_1 = -p_2$$

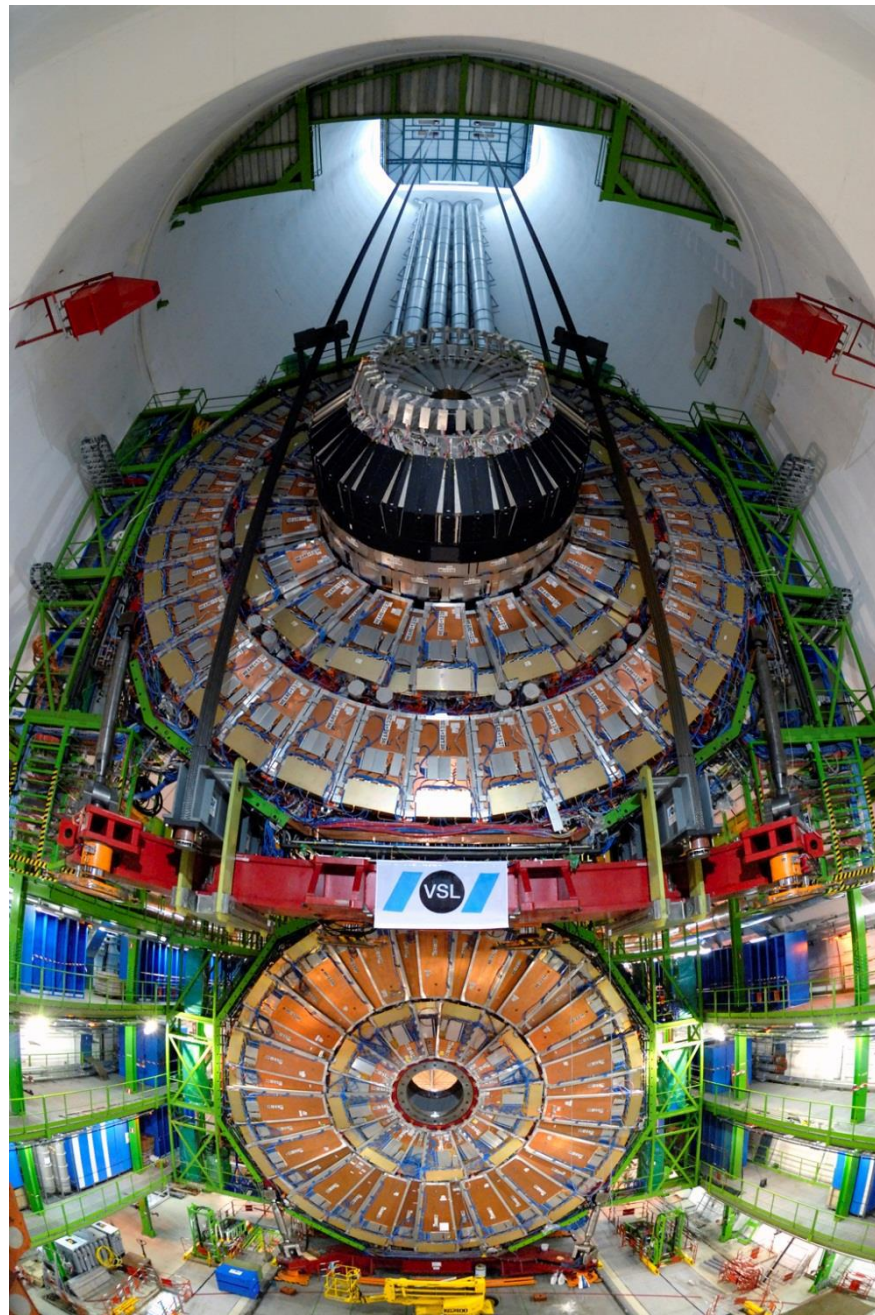


Η ισχύς του μαγνητικού πεδίου μέσα στον ανιχνευτή





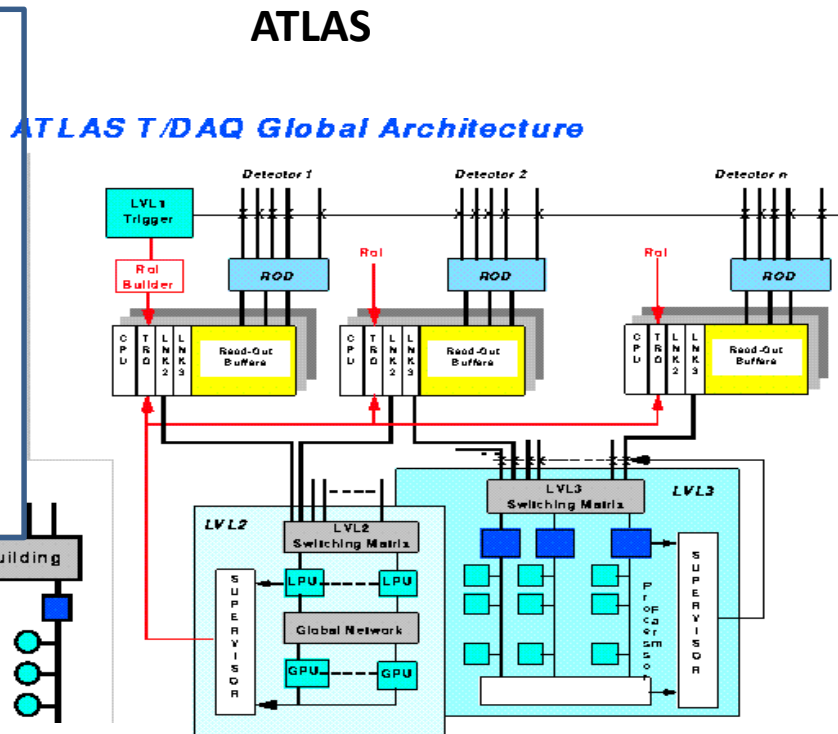




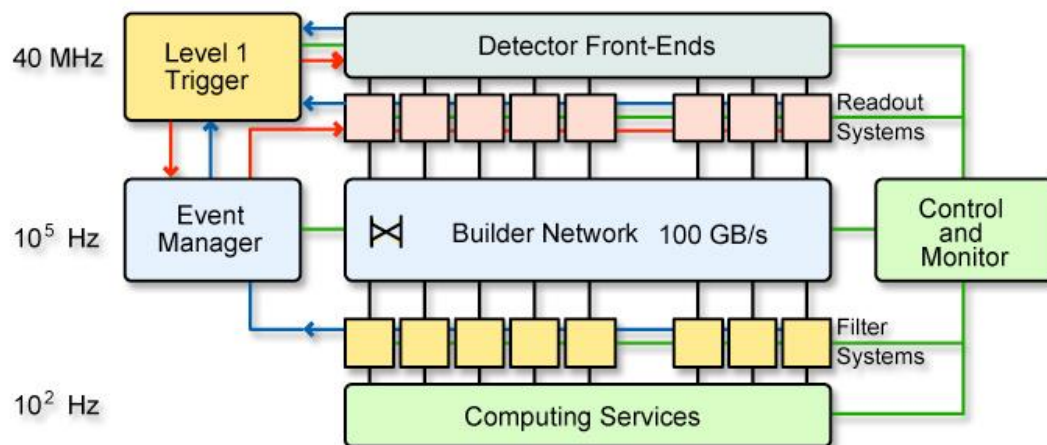


# Η ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΤΩΝ “ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ”

Οι ανιχνευτές είναι ακριβώς παιχνίδια χωρίς το σύστημα επιλογής γεγονότων (trigger) και την επιλογή και καταγραφή δεδομένων (DAQ). Εδώ τα MHz και τα PB είναι καθημερινότητα για τα περίπου 100 εκατομμύρια “κανάλια” που “διαβάζουν” τις πληροφορίες που προέρχονται από τις συγκρούσεις



## CMS



Άλλα και (μπαινω στο θεμα...):

### Για τον ανιχνευτη ...

- Συστηματα Ηλεκτρικης τροφοδοσιας (~15-20kA, ισχυς, συνεχες και εναλασσομενο)
- Συστηματα αεριων (ευφλεκτα και μη )
- Συστηματα ψυκτικων( ~ -30°C καταγραφεας τροχιων)
- Συστηματα εξυπνων μονωτων( ~ -20°C καταγραφεας τροχιων ~ +17°C ECAL)
- Συστηματα ελεγχου κινήσεων αντικειμενων (υποανιχνευτες και αλλα κοματια “ζυγιζουν” 2 και 3 τοννους, αισθητηρες)
- Συστηματα ελεγχου περιβαλλοντος (ξερος αερας, αζωτο)
- Συστηματα ευθυγραμιας (laser) και ελεγχου κινήσεων (CCD καμερες)
- Συστηματα μετρησεως και οχι μονο, της ραδιενεργειας (διαφορετικες μεθοδοι)

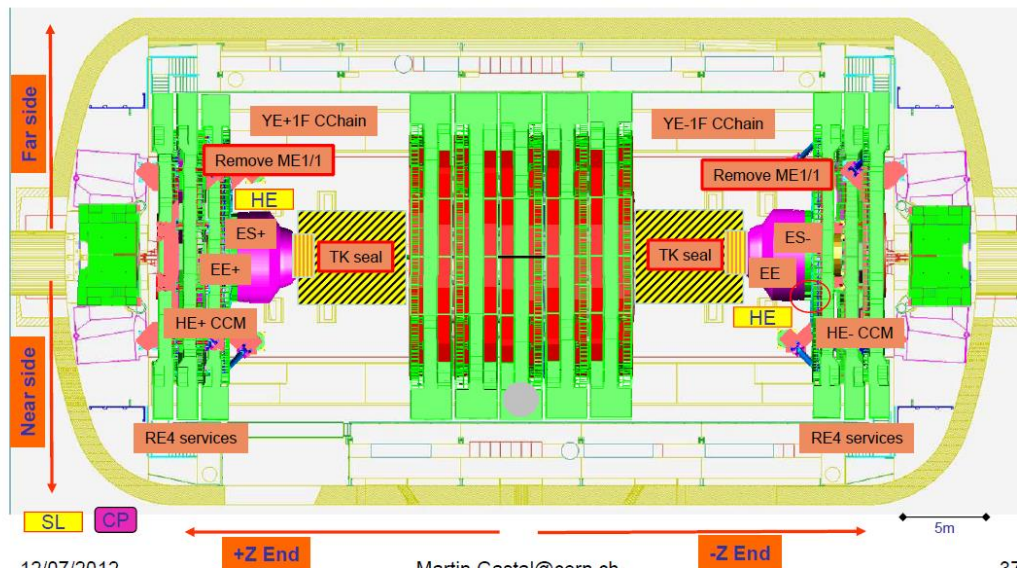
### Για το περιβαλλον γυρω απο τον ανιχνευτη

- Συστηματα αερισμου του πειραματικου χωρου (+/- 2°C)
- Συστηματα ελεγχου περιβαλλοντος (υγρασια, θερμοκρασια)
- Συστηματα ψυκτικων (~ 15°C )
- Συστηματα ευθυγραμιας (laser)
- Συστηματα κινήσης των κομματιων του ανιχνευτη (συνολικα 13!)

### Για τον Μαγνητη

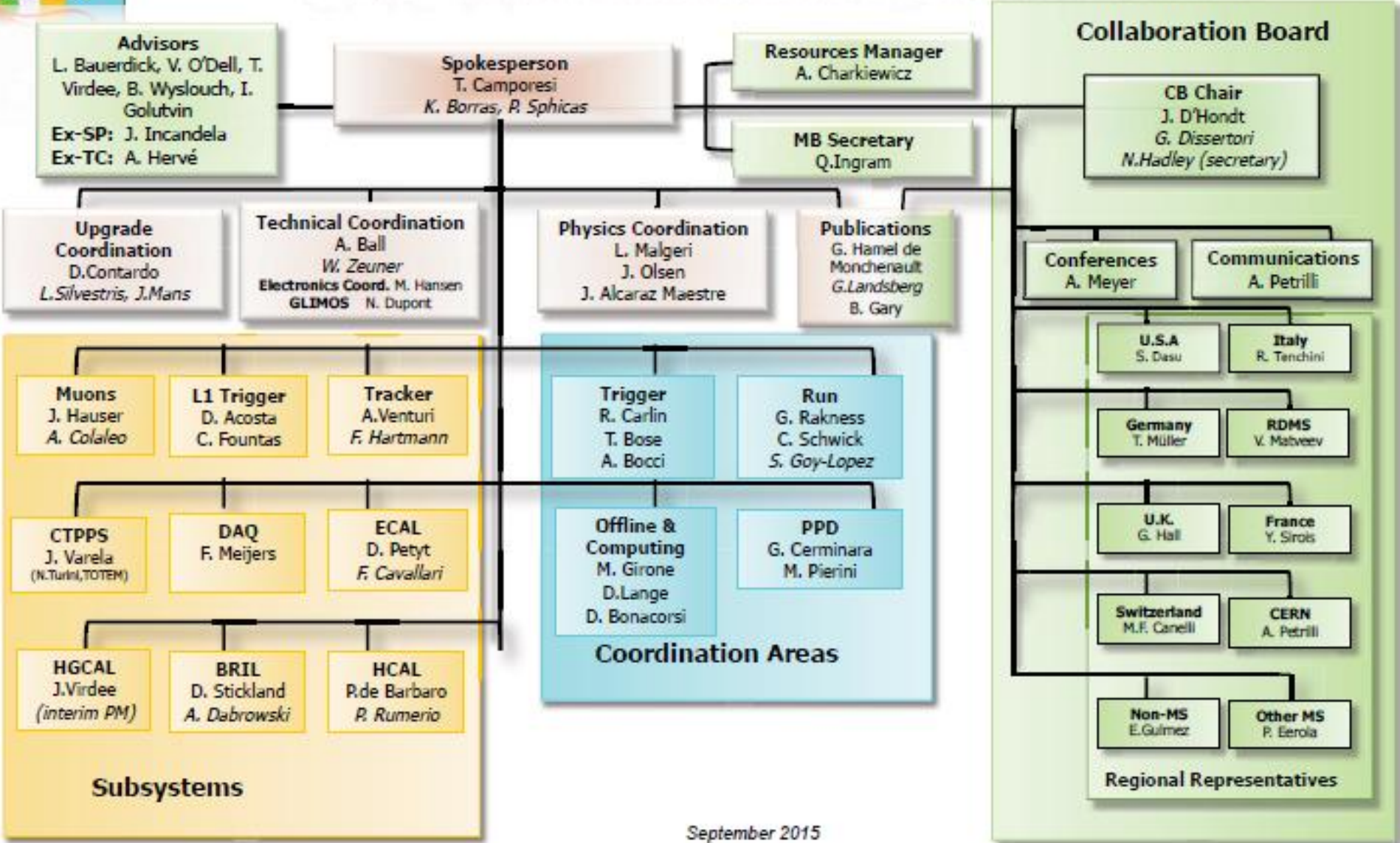
- Συστηματα ελεγχου περιβαλλοντος
- Συστηματα ψυκτικων(-268°K)
- Συστηματα κενου (μονωση)
- Συστηματα Ηλεκτρικης τροφοδοσιας (18-20kA)

- Ο σχεδιασμος, προσομοιωση, κατασκευη, επιβεβαιωση, βαθμονομηση ενος ανιχνευτη με ακριβεια μετρησης ενεργειες και ικανοτητα καταγραφης πολλαπλων γεγονοτων... του τυπου LHC δεν ειναι ενα επιχειρημα «φυσικης» (μονο)-ειναι επιχειρημα μηχανικης, ηλεκτρονικων και ηλεκτρικων σχεδιασμων, υλικων (στερεα κατασταση), υπολογιστικων προγραμματον, σχεδιασμου εφοδιασμων και οργανωσης διοικησης, κατασκευης και οργανωσης εργοταξιου κτλ.
- Η «λειτουργια» (run) του ανιχνευτη χρειαζεται πολυ ειδικευμενο προσωπικο για να μπορεσει να ειναι λειτουργικος και να αναβαθμιζεται για 20-30 χρονια. Το αρχικο προσωπικο θα ανανεωθει, ιδιαιτερα γιατι δεν υπαρχουν «μονιμες» θεσεις.
- Ο ανιχνευτης οπως και ο επιταχυντης εχει πολυ μεγαλυτερη συμμετοχη απο το προσωπικο του CERN, χωρις βεβαια να αποκλειονται πολλες συνεργασιες.





# CMS Management Board 2015





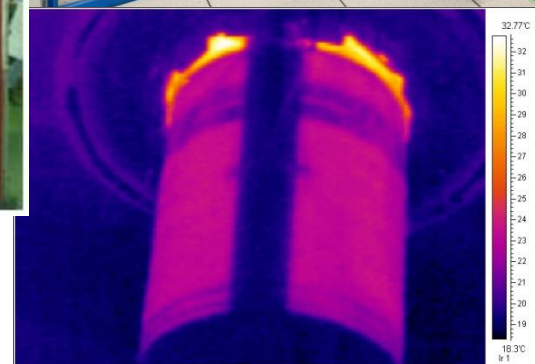
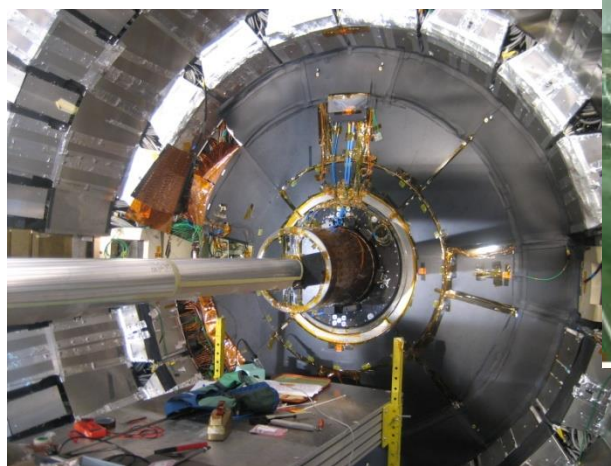
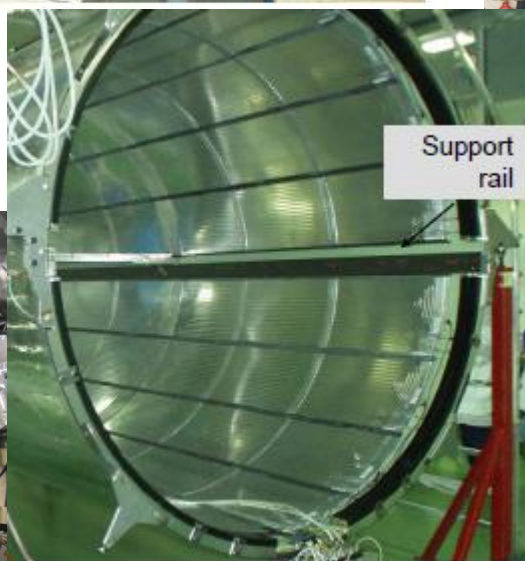
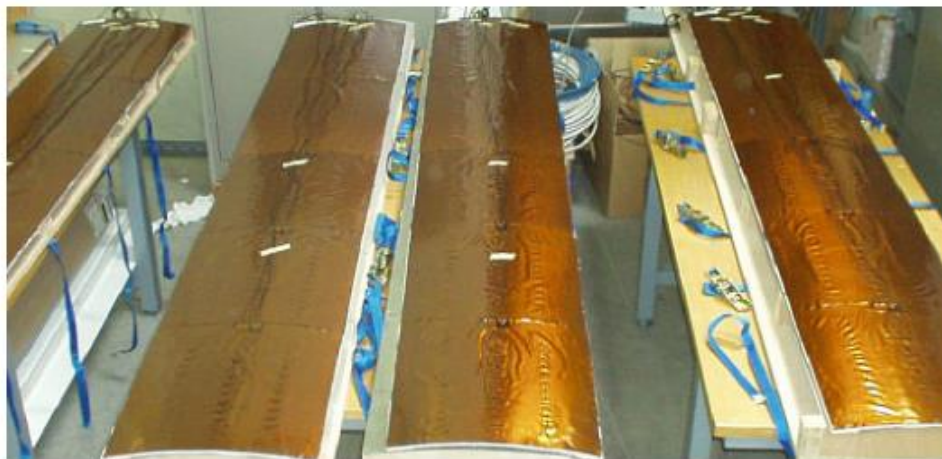
### Activity Co-ordination Tool

COOK James Richard

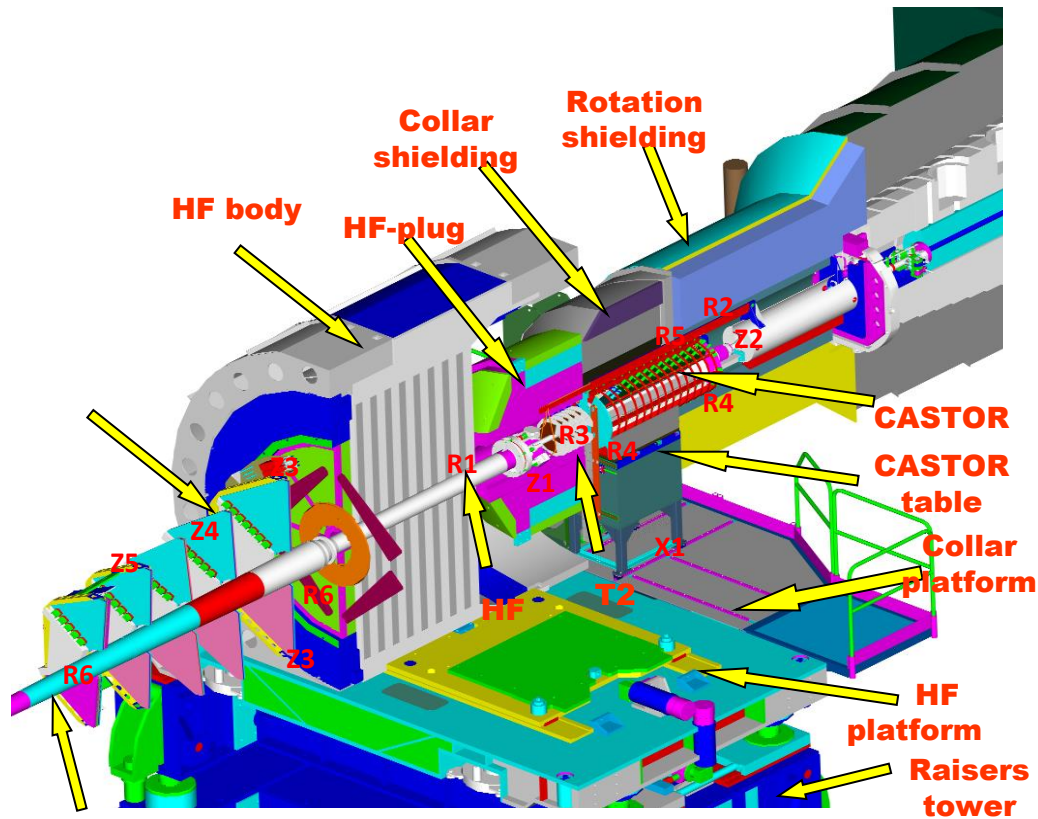


Task ID	Task Name	Duration	3rd Quarter			4th Quarter
			Jun	Jul	Aug	Sep
260	<b>Perform work on YB0+Z with Full acces to vacTank</b>	<b>33.5 days</b>		09/08	26/09	
261	Open YB+2 / YB+1	1.5 days		09/08	13/08	
262	Remove MABs	1 day		13/08	14/08	
263	Install access staircase to inside of VacTank	1 day		13/08	14/08	
264	Remove CCM jumpers (RBXs) inside VacTank	18 days		14/08	09/09	
265	Remove thermal shield for TK	7 days		14/08	23/08	
266	Install additional services under thermal shield	5 days		23/08	30/08	
267	Install temperature sensors for TK	2 days		23/08	27/08	
268	Perform TK cold test	9 days		27/08	09/09	
269	Refurbish Quick connectors	18 days		23/08	18/09	
270	<b>HO-DT-RPC tasks</b>	<b>20 days</b>		15/08	12/09	
271	<b>Remove ECAL LV cables</b>	<b>8 days</b>		15/08	27/08	
272	S02N	1 day		15/08	16/08	
273	S03 N	1 day		16/08	19/08	
274	S06 F	1 day		19/08	20/08	
275	S07 F	1 day		20/08	21/08	
276	S11	2 days		21/08	23/08	
277	S10	2 days		23/08	27/08	
278	<b>Remove DT-RPC cables</b>	<b>7 days</b>		19/08	28/08	
279	S02 S03	1 day		19/08	20/08	
280	S06 S07	1 day		21/08	22/08	
281	S11	1 day		23/08	26/08	
282	S10	1 day		27/08	28/08	
283	<b>Perform work on HO</b>	<b>10 days</b>		20/08	03/09	
284	S02	1 day		20/08	21/08	
285	S03	1 day		21/08	22/08	
286	S06	1 day		26/08	27/08	
287	S07	1 day		27/08	28/08	
288	S10	1 day		30/08	02/09	
289	S11	1 day		02/09	03/09	
290	<b>DT chamber extraction for HV repairs</b>	<b>9 days</b>		16/08	29/08	

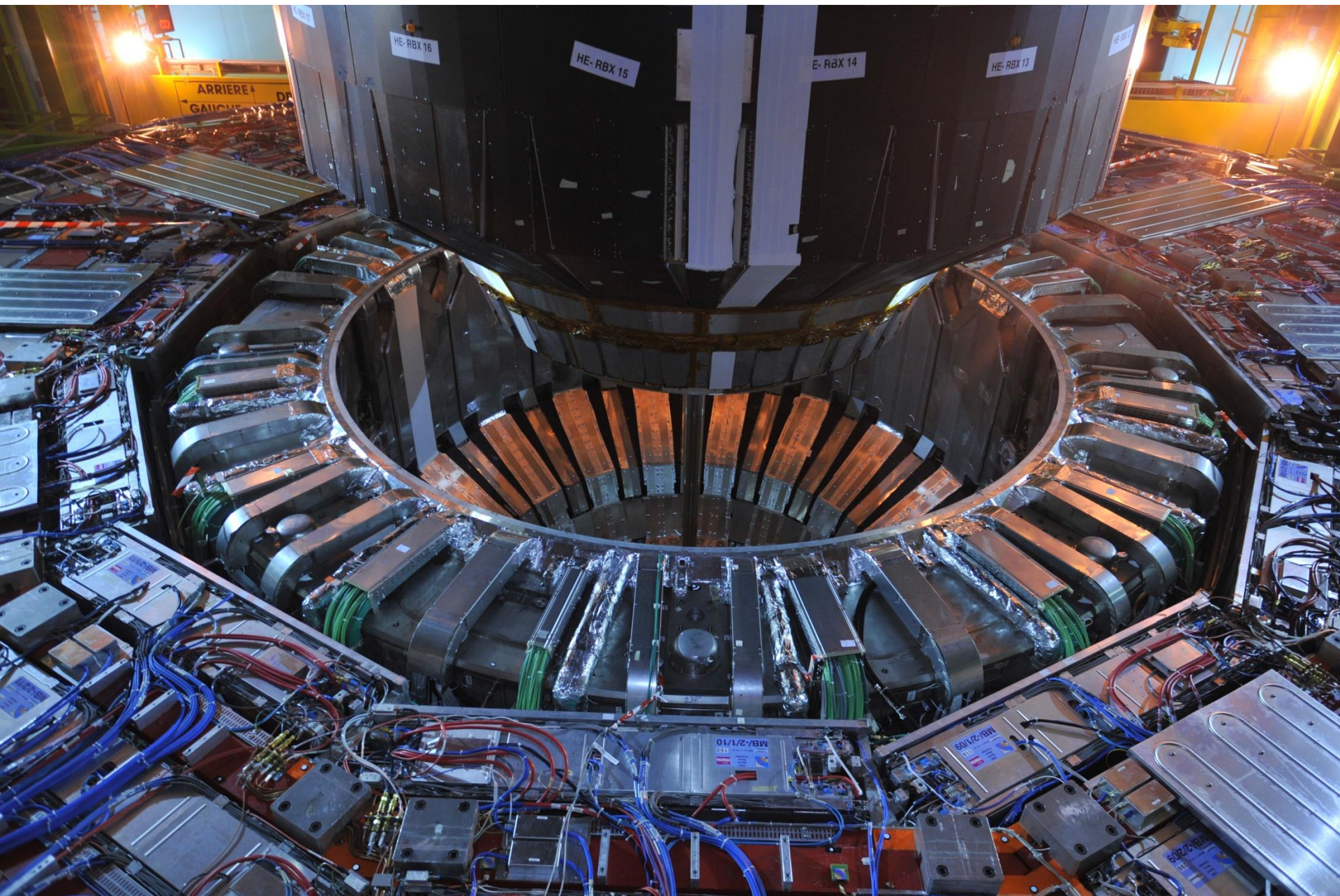
# Συστήματα εξυπνων μονωτων( $\sim -20^{\circ}\text{C}$ καταγραφεας τροχιων $\sim +17^{\circ}\text{C}$ ECAL)



- Συστήματα ελέγχου κινήσεων αντικειμένων (υποανιχνευτές και άλλα κομμάτια “ζυγίζουν” μέχρι 2 τόνους, αισθητήρες)

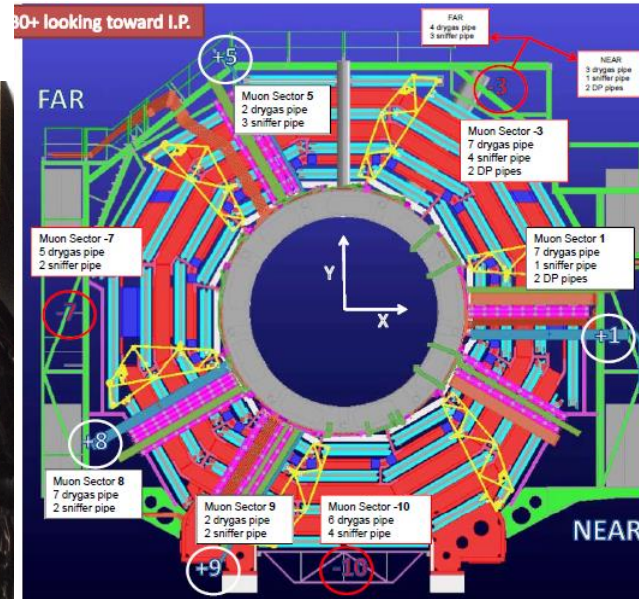


Τα βαρη των κομματιων μπορούν να αγγιξουν τους 2 τόνους και κινουνται με υδραυλικα συστημα. Ολα αυτα αυτοματα και απο μακρια...μα το προβλημα του να βρεθουν η να αναπτυχθουν αισθητηρες καταλληλοι για τις συνθηκες των πειραματων παραμενει





## •Συστηματα ελεγχου περιβαλλοντος (ξερσ αερας, αζωτο, θερμοκρασια)



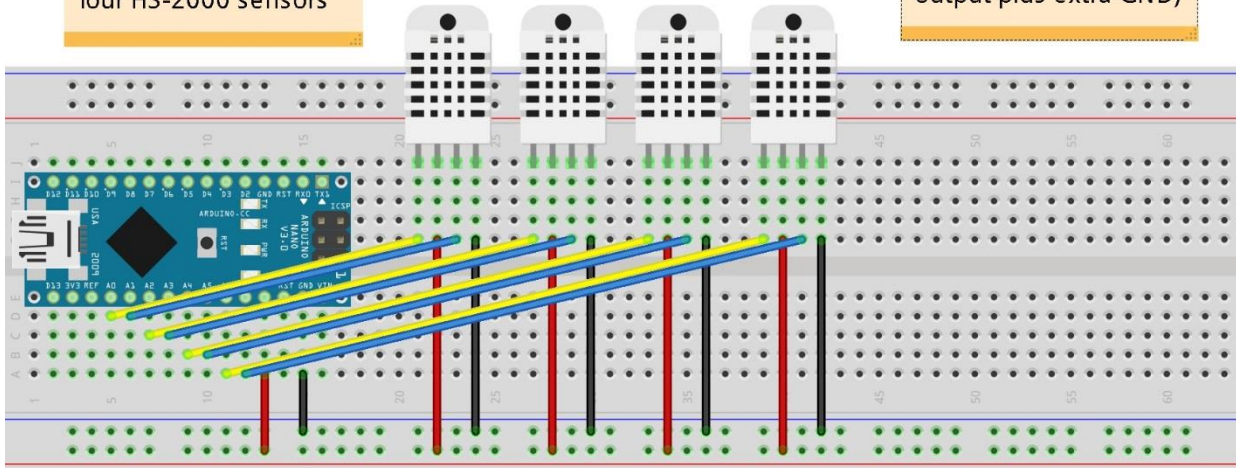
Κοστος ~150,000 ευρω

Προστασια του ανιχνευτη τροχιων απο προβλημα υγρασιας η μαλλον σημειου δροσου

Each sensor requires two separate Arduino Analog Inputs to be read out (T - yellow and RH - blue wires). The Arduino Nano has eight Analog Inputs, A0 to A7, so we can read four HS-2000 sensors

In a cabled system, we would need at least two lines for powering the sensors (VCC and GND) plus two lines per sensor for the two analog outputs, better yet four lines (analog output plus extra GND)

Κοστος ~30 ευρώ

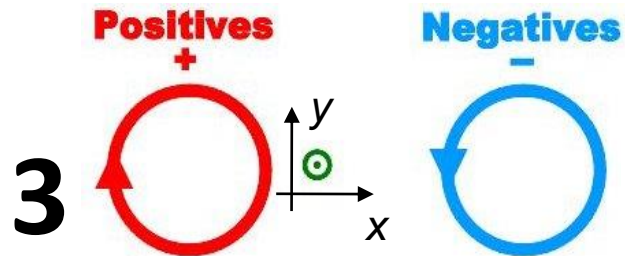
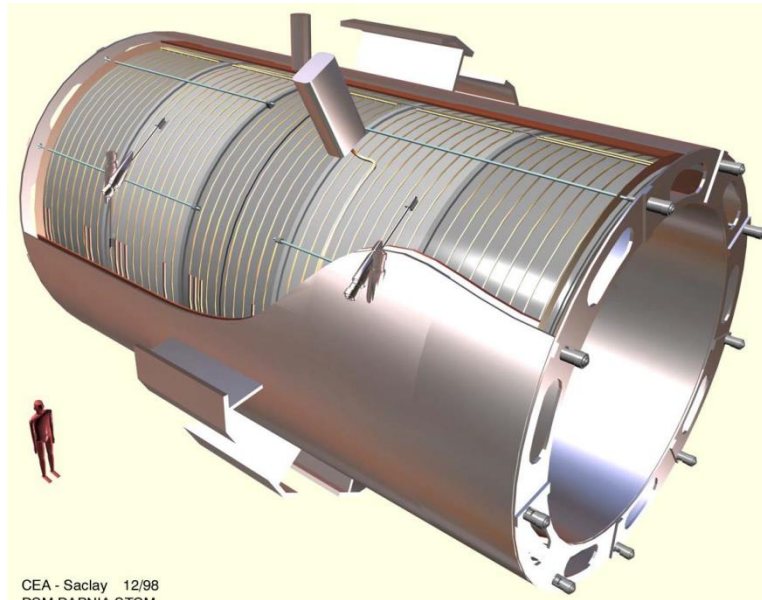


HS-2000 Temp and RH Analog Output sensor

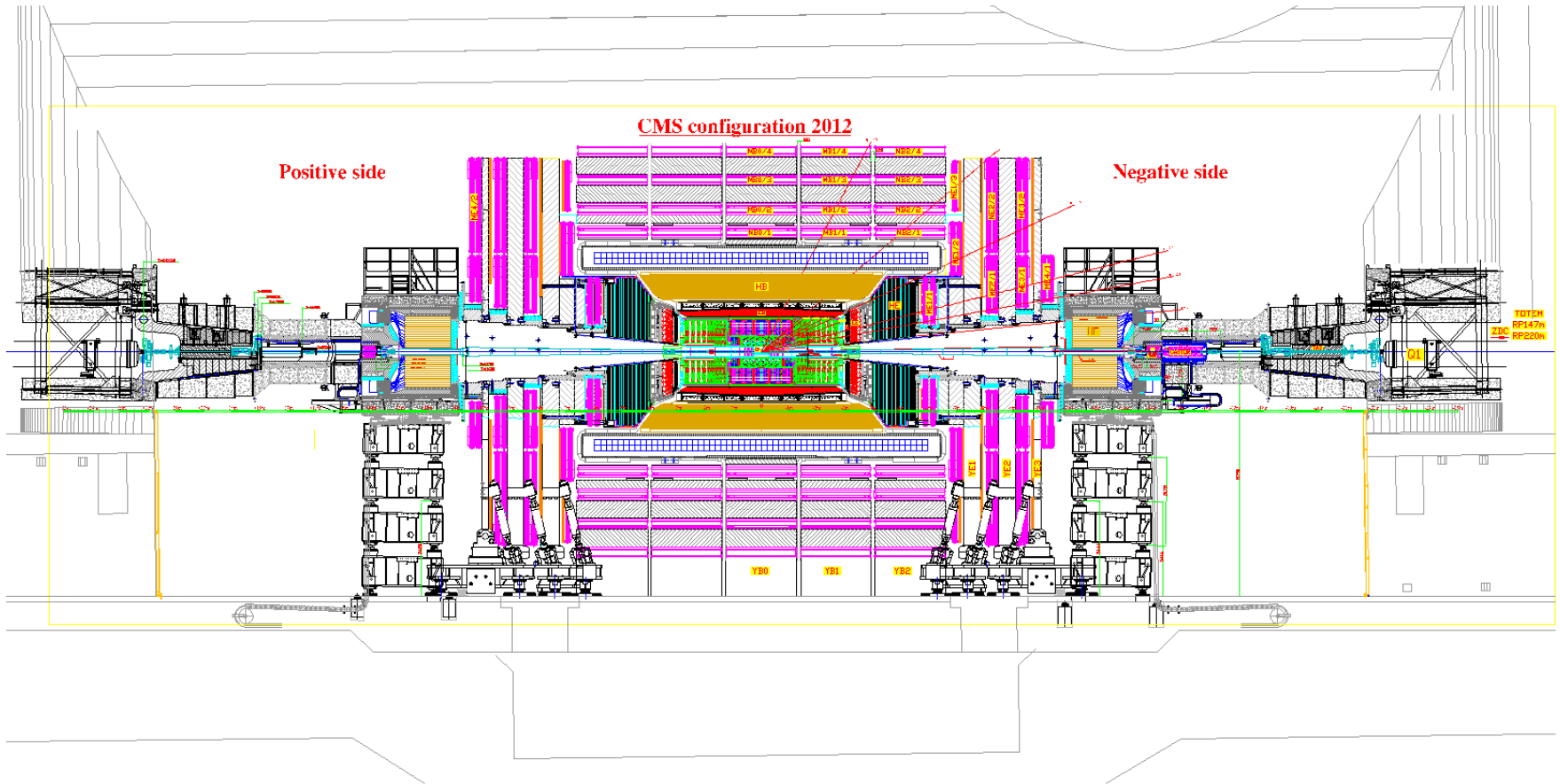
Tout VCC RHout GND

# Αλλα και ο μαγνητης...

CMS

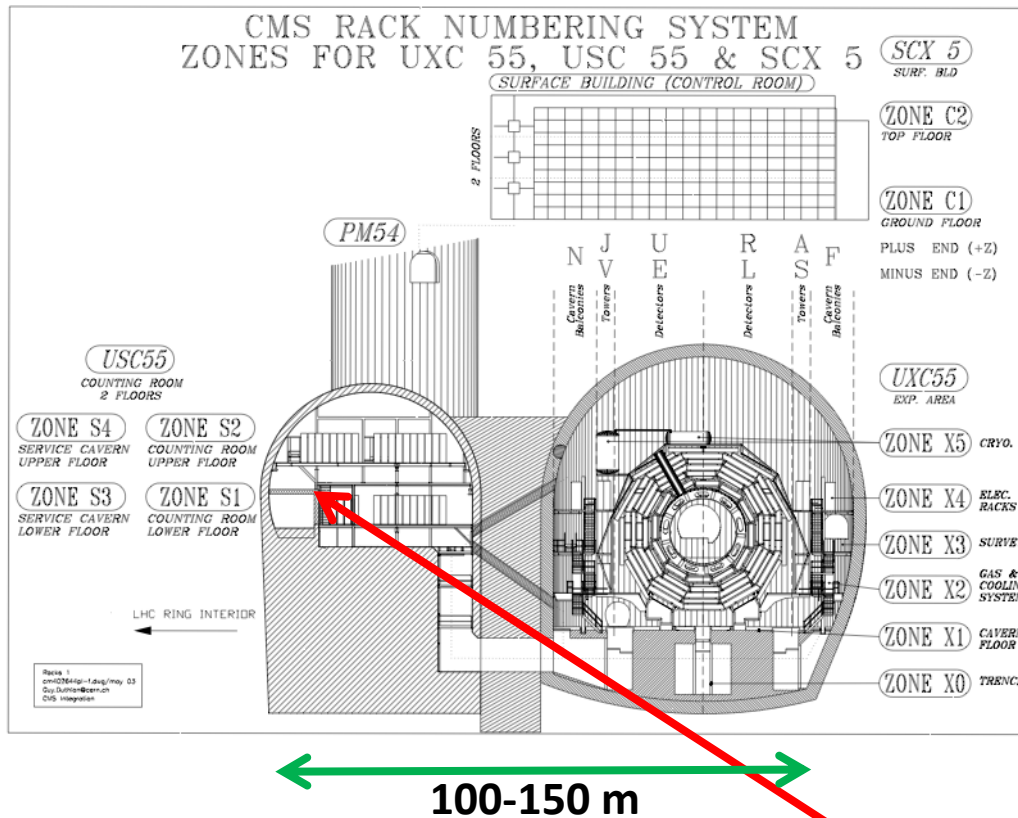


**3.8T, 20kA, -268<sup>0</sup>K**



Μια ιδέα του πως είναι η διαρρυθμιση του χωρου (2012)...

# Οι δυο ζωνες του πειραματος: “USC” και “UXC”

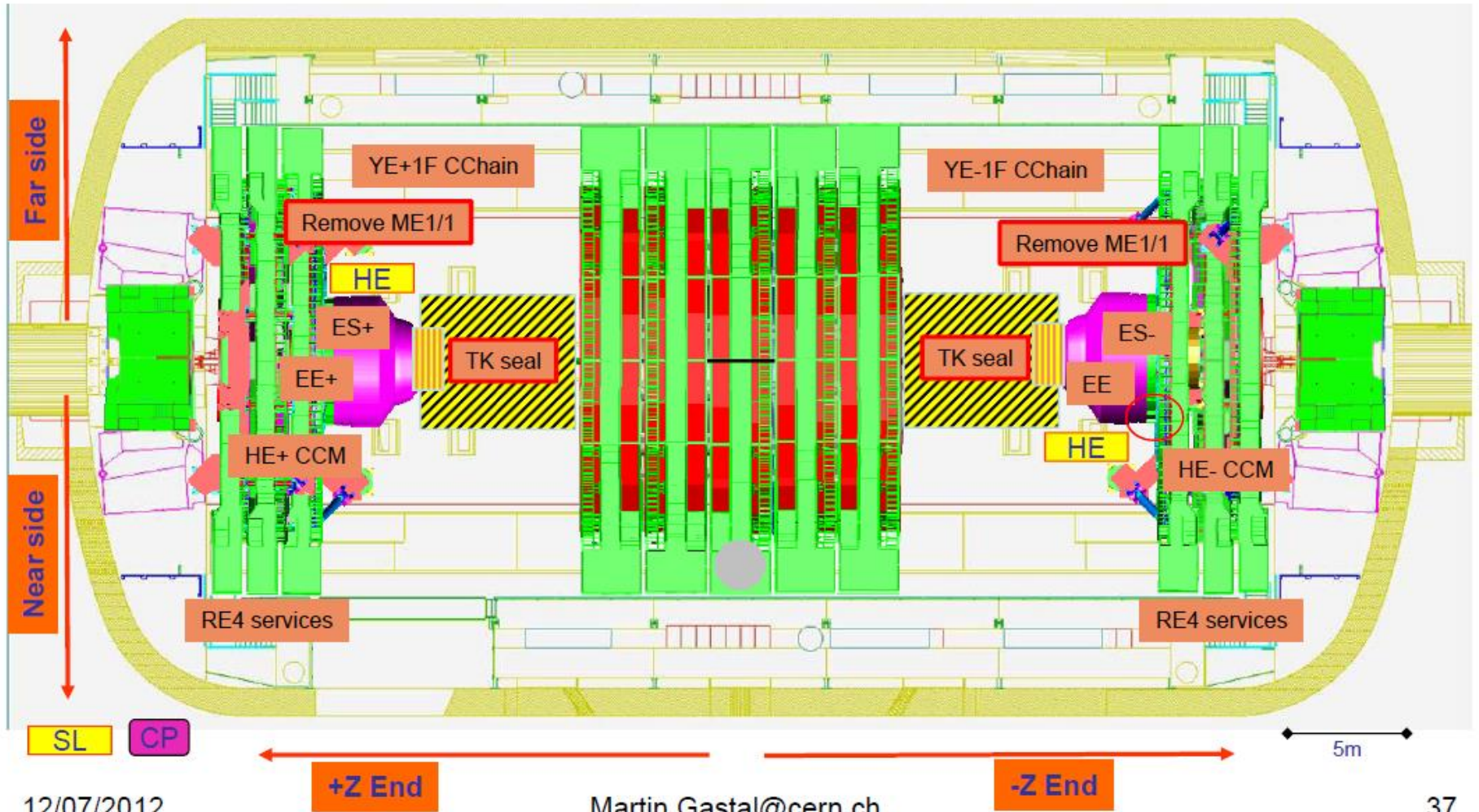


Ηλεκτρονικά, ηλεκτρικά, ο,τι δεν είναι radiation tolerant  
(!!!)...και magnetic field compatible!!!



CAUTION  PRUDENCE  
RADIOACTIVE MATERIAL





Μια “τυπικη εικονα” μιας μερας δουλειας στον ανιχνευτη

