



# Οι Υπολογιστές στη Φυσική Υψηλών Ενέργειών (ΦΥΕ)

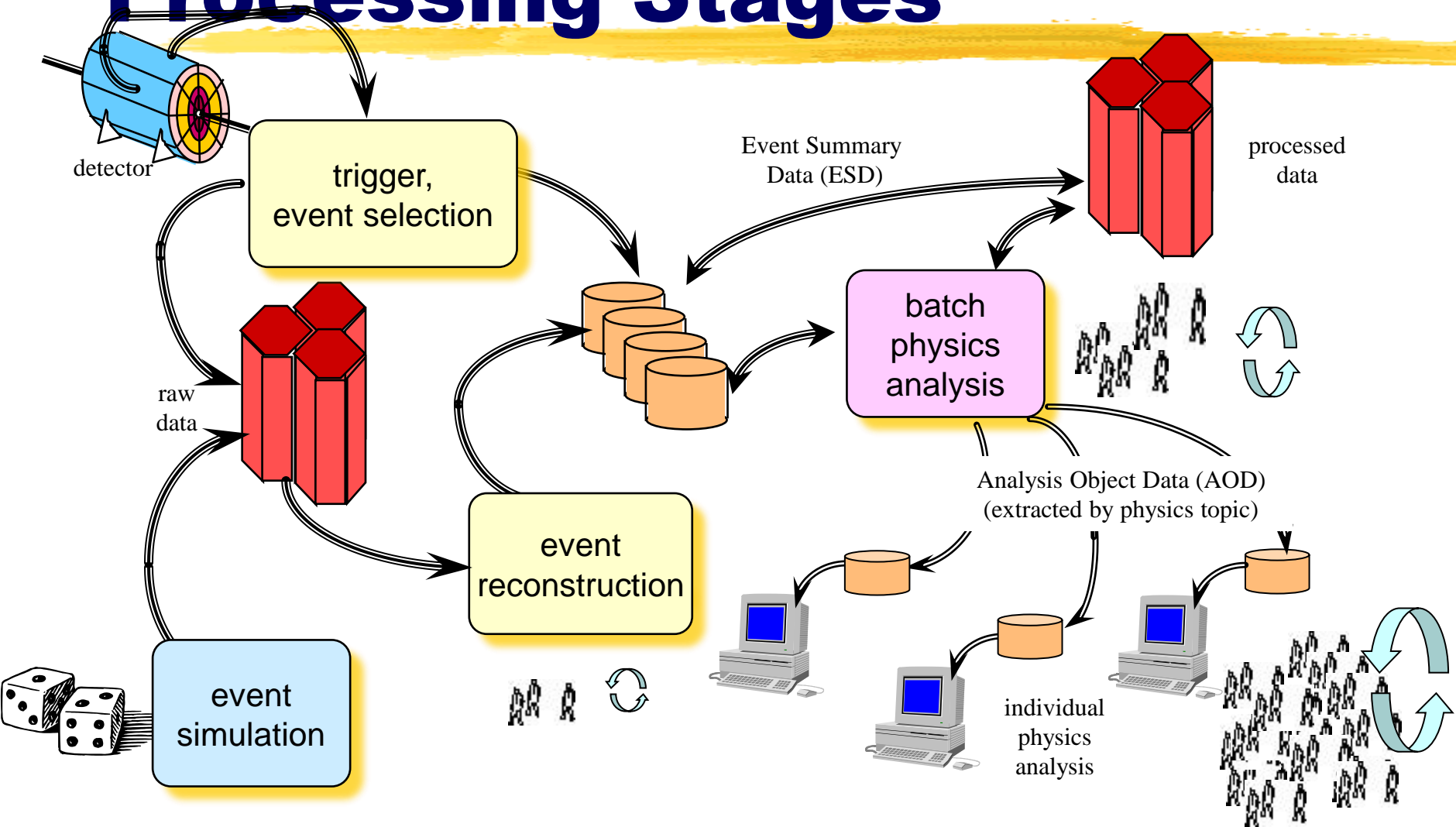
Γιάννης/John Αποστολάκης  
**CERN**

**[John.Apostolakis@cern.ch](mailto:John.Apostolakis@cern.ch)**

# Πλάνο της ομιλίας

- z Η χρήση των Υπολογιστών
- z Ανακατασκευή (reconstruction)
  - γ Άμεσα (online) ή αργότερα (off-line)
- z Προσομοίωση (simulation)
- z Ανάλυση δεδομένων (data analysis)
- z Το πλέγμα (GRID) – και μεγέθη
  - γ Υπολογιστικές ανάγκες, άλλες εφαρμογές

# Processing Stages

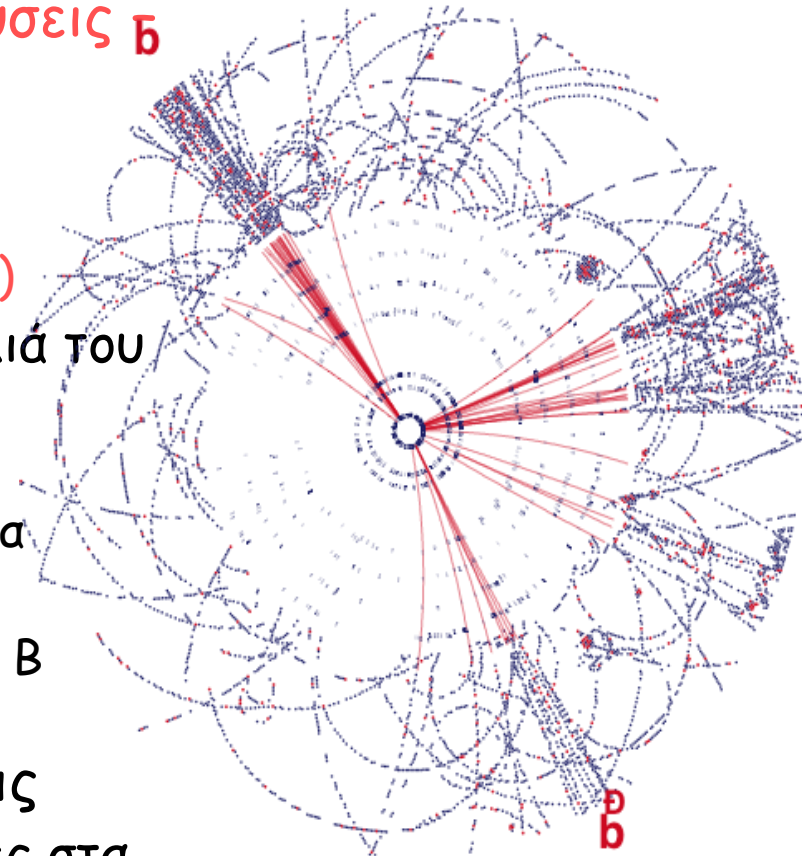


# Αποτυπώματα Φυσικής / Ρυθμός Συγκρούσεων

στον ανιχνευτή του ATLAS

- ❑ Οι δέσμες διασταυρώνονται 30-40 MHz
  - Κάθε 25ns αλλά με αρκετά κενά - πχ 31MHz (2013)
- ❑  $\sigma_{inelastic} = 81 \text{ mb}$
- ❑ Σε κάθε πέρασμα πολλαπλές συγκρούσεις  $\bar{b}$  η μέση τιμή αυξάνει
  - από 13 το 2015 σε 36 το 2018 (Run 2)
  - σε 65 το 2023, και
  - στο HL-LHC θα είναι 140-200 (από 2029)
- ❑ Διαφορετικοί στόχοι, ο καθένας με τη δικιά του «υπογραφή» - σωματίδια
  - Το Χιγγς (Higgs) μεσόνιο
  - Της σκοτεινή ύλης: Υπερσυμμετρία, αξιόνια
  - Εξωτικά: μαγνητικά μονόπολα, κουίρκς,
  - Παραβίαση συμμετρίας ύλης/αντιύλης στα B μεσόνια
- ❑ Κάθε κανάλι χρειάζεται προσομοιώσεις
- ❑ Τα ενδιαφέροντα γεγονότα είναι καρφίτσες στα άχυρα σε χωριό γεμάτο στάβλους (~1 σε  $10^5-10^9$ )

ATLAS Barrel Inner Detector  
 $H \rightarrow b\bar{b}$



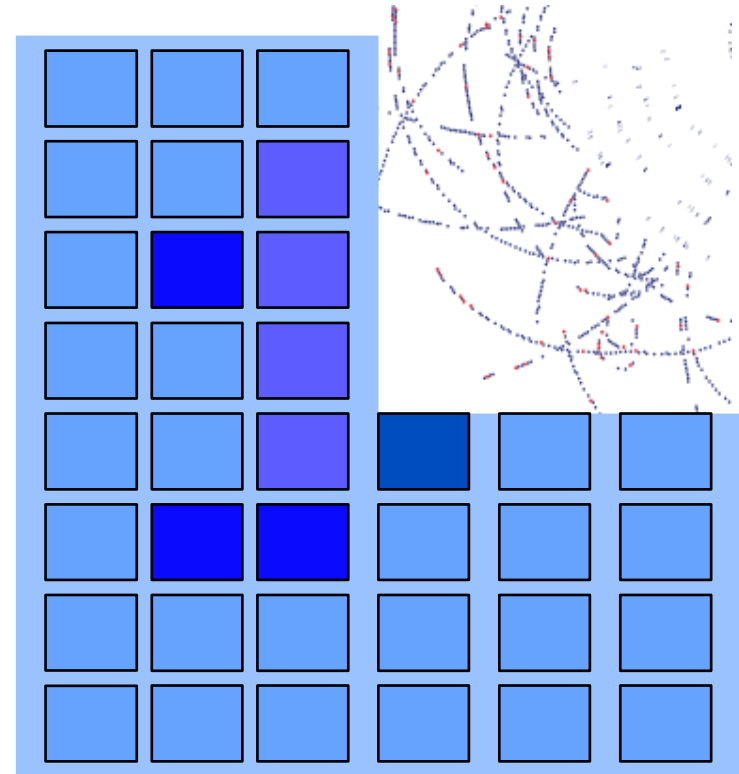
# Χρήσεις μέσα στο πείραμα



- z Καταγραφή δεδομένων
  - γ Data Acquisition (DAQ)
  - γ Περιλαμβάνει την επιλογή συγκρούσεων
- z Ανακατασκευή (reconstruction)
  - γ Άμεσα (online) – στους υπολογιστές δίπλα στο πείραμα
  - γ αργότερα (off-line) – συνήθως αλλού

# Απόκτηση Δεδομένων = Data Acquisition (DAQ)

- ❑ Μετατροπή αναλογικών ηλεκτρονικών σημάτων σε ψηφιακά δεδομένα
- ❑ Έναρξη (Trigger) - απόφαση για εγγραφή –
  - ❑ Βρίσκουμε ενδιαφέρουσα σύγκρουση
  - ❑ Αξιολογήση – πληρούν τα κριτήρια επιλογής ;

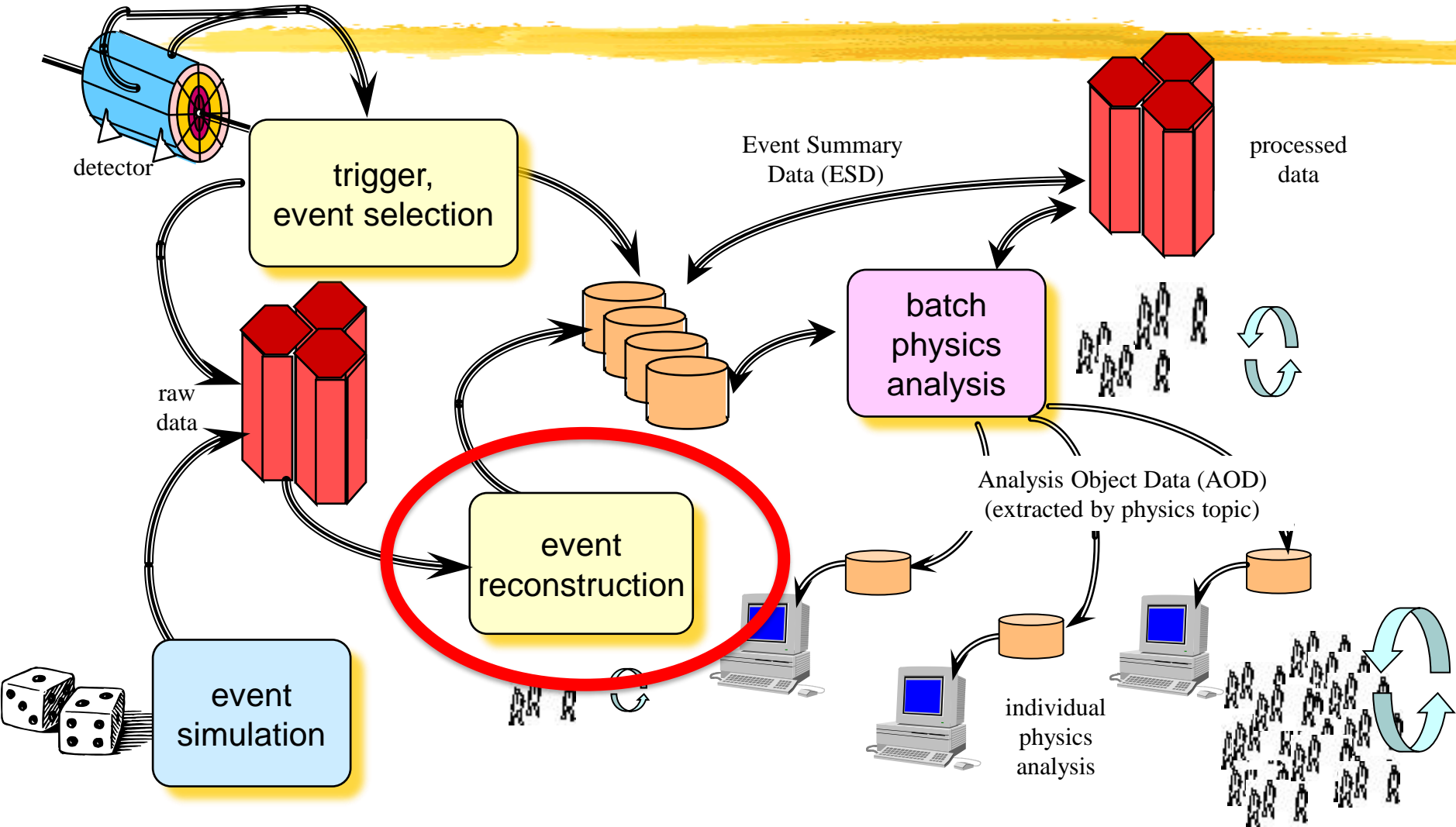


# **Ανακατασκευή**



**Μία γρήγορη εισαγωγή**

# Στάδια Επεξεργασίας – Ανακατασκευή (Reconstruction)





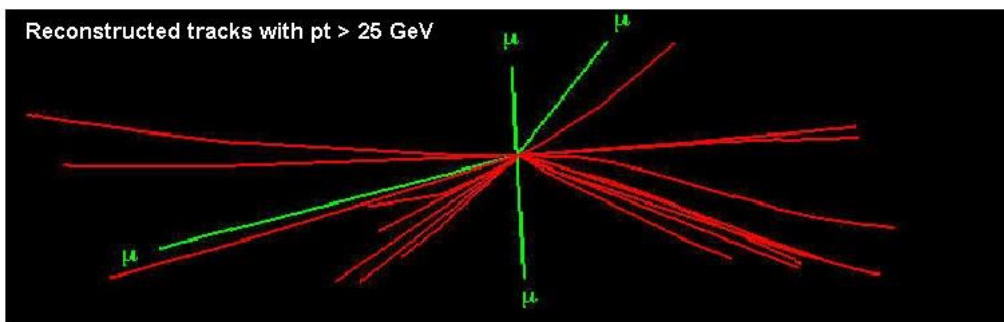
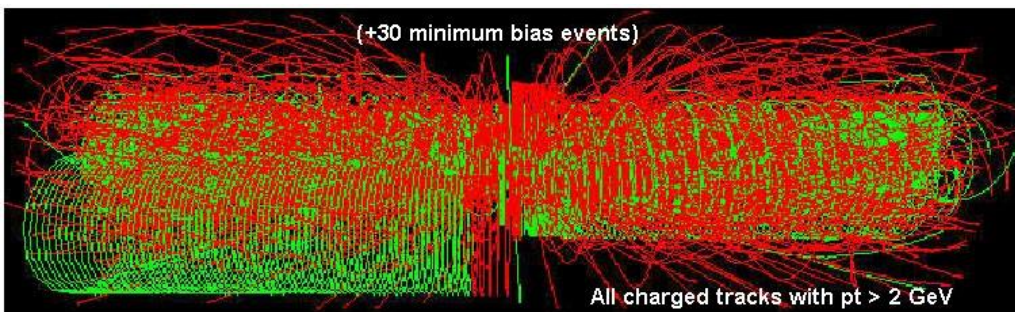
# Η δυσκολία της Ανακατασκευής

Starting from  
this event

Με αυτή την  
αρχική εικόνα  
(αριστερό ήμισυ)

Looking for  
this “signature”

Ψάχνουμε αυτή  
την περιληπτική  
εικόνα



→ **Selectivity: 1 in  $10^{13}$**

(Like looking for a needle in 20 million haystacks)

# Οι σημερινοί ανιχνευτές

## z Πολλά τμήματα

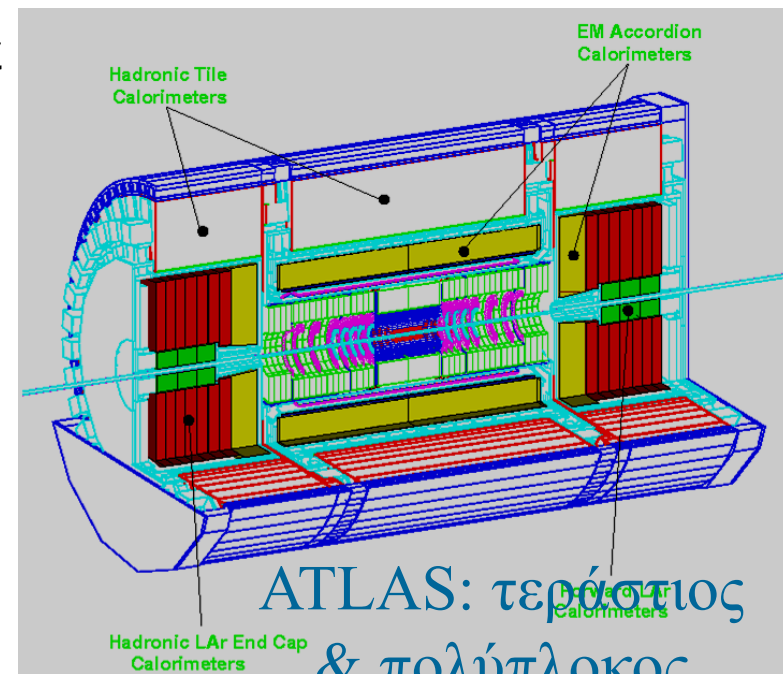
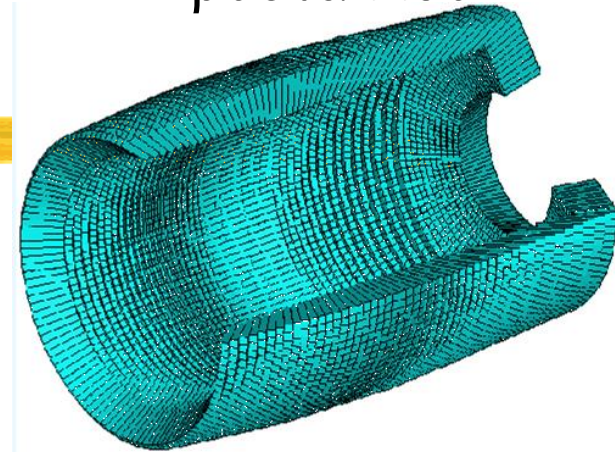
### γ Διαφορετικές ανάγκες

- x Μέτρηση θέσης (trackers)
- x Μέτρηση ενέργειας (καλορίμετρα ή θερμιδόμετρα)

## z Λόγω της πολυπλοκότητας

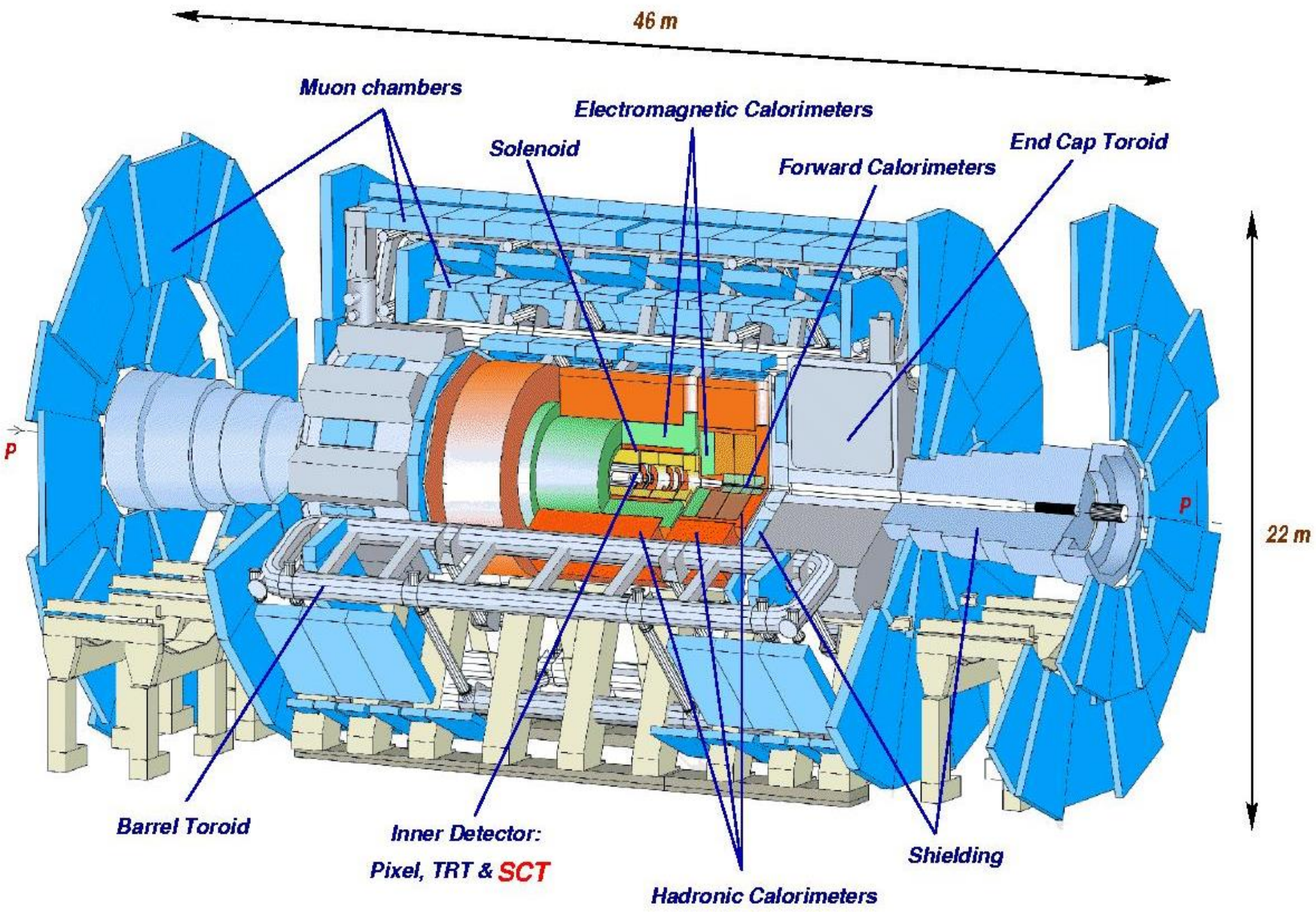
- γ Όλες οι μελέτες χρειάζονται υπολογιστικά εργαλεία

Καλορίμετρο  
κρυστάλλου



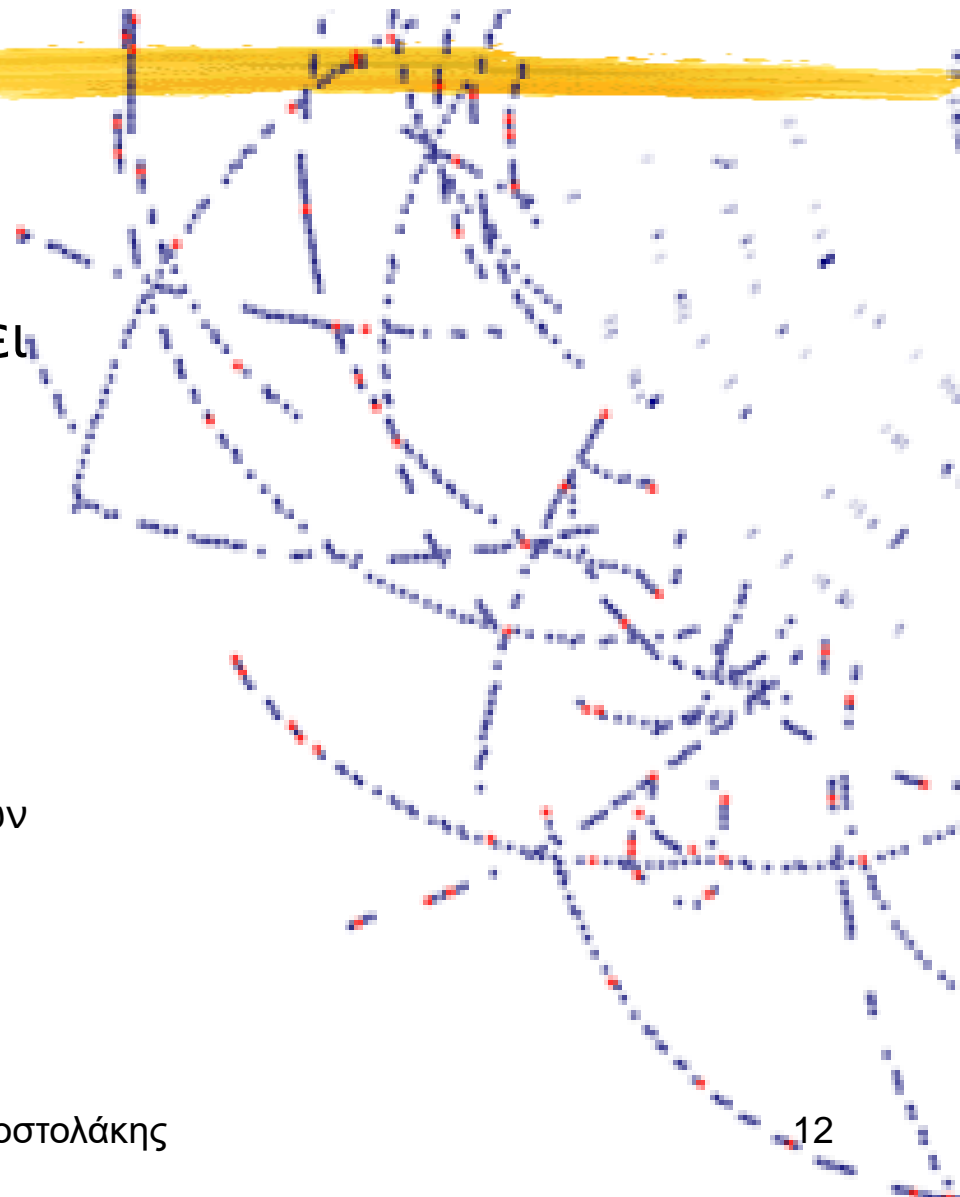
ATLAS: τεράστιος  
& πολύπλοκος

# Οι υποανιχνευτές του ΑΤΛΑΣ

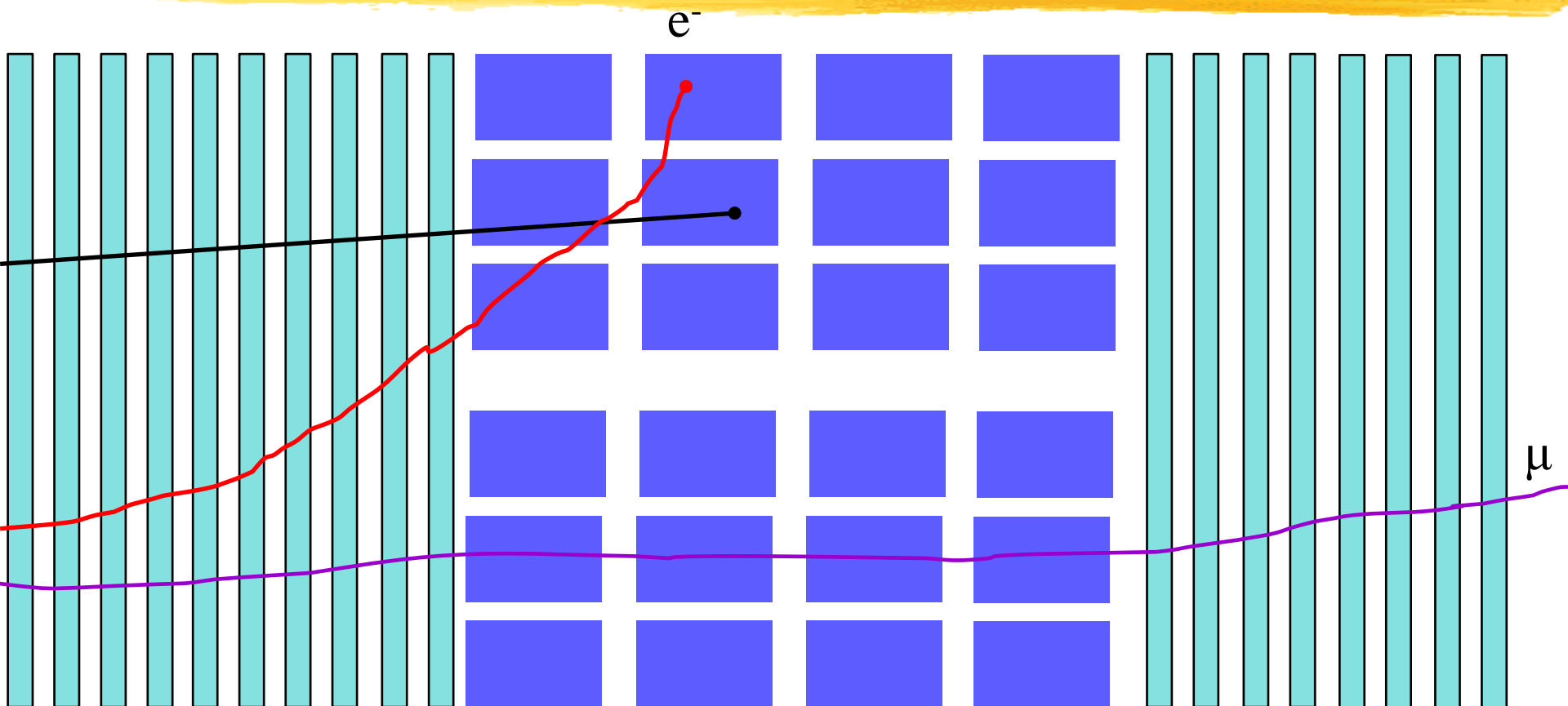


# Τι είναι η ανακατασκευή?

- z Οι μετρήσεις είναι σαν ένας γρίφος
  - γ Τι τροχιές τις προκάλεσαν?
- z Κάθε μέτρηση θέσης βοηθάει
  - γ Υπάρχουν όμως 100-άδες ως χιλιάδες μετρήσεις
- z Η ανακατασκευή πρέπει να βρει τη λύση!
  - γ Ξέροντας καλά το μαγνητικό πεδίο
    - x Βρίσκουμε ποιες μετρήσεις ανήκουν σε ποιες τροχιές

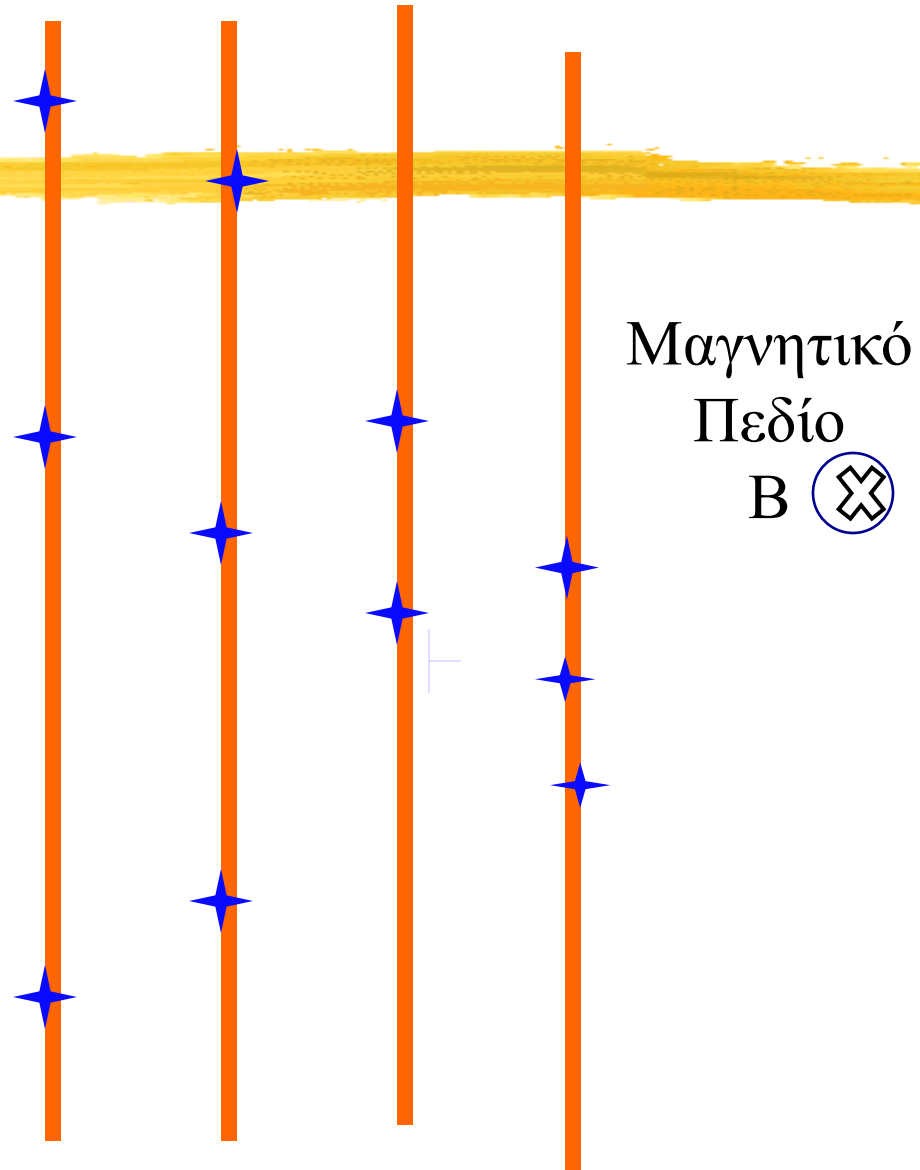


# Απλουστευμένο πείραμα ΦΥΕ



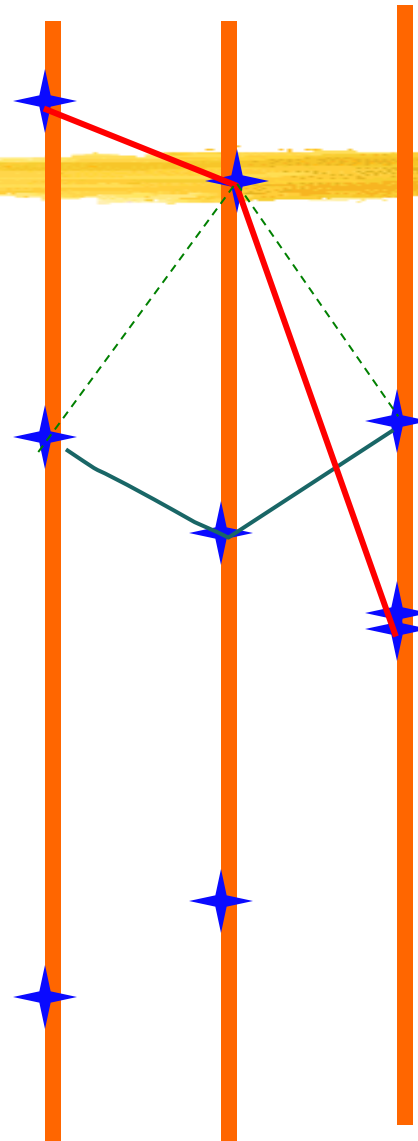
# Ανακατασκευή στην πράξη

- Αρχίζει με τις θέσεις διάβασης των σωματιδίων



# Ανακατασκευή στην πράξη

- Αρχίζει με τις θέσεις διάβασης των σωματιδίων
- Δοκιμάζονται διάφοροι συνδυασμοί
  - και υπολογίζεται η διαφορά μέτρησης-πρόβλεψης
  - Και έτσι η πιθανότητα του κάθε συνδυασμού



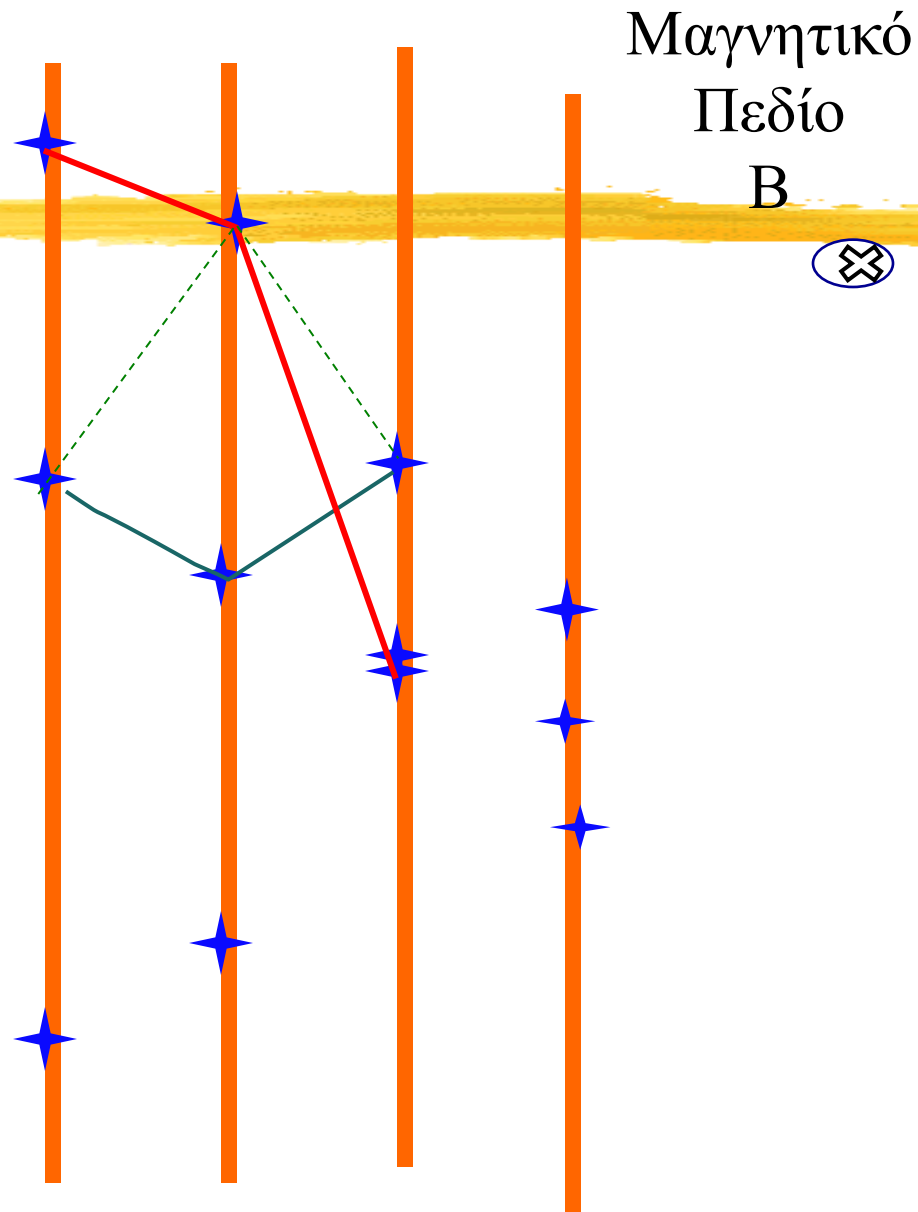
Μαγνητικό  
Πεδίο  
B



Αλγόριθμος/-οι  
Φίλτρο Κάλμαν  
(Kalman filter)

# Ανακατασκευή στην πράξη

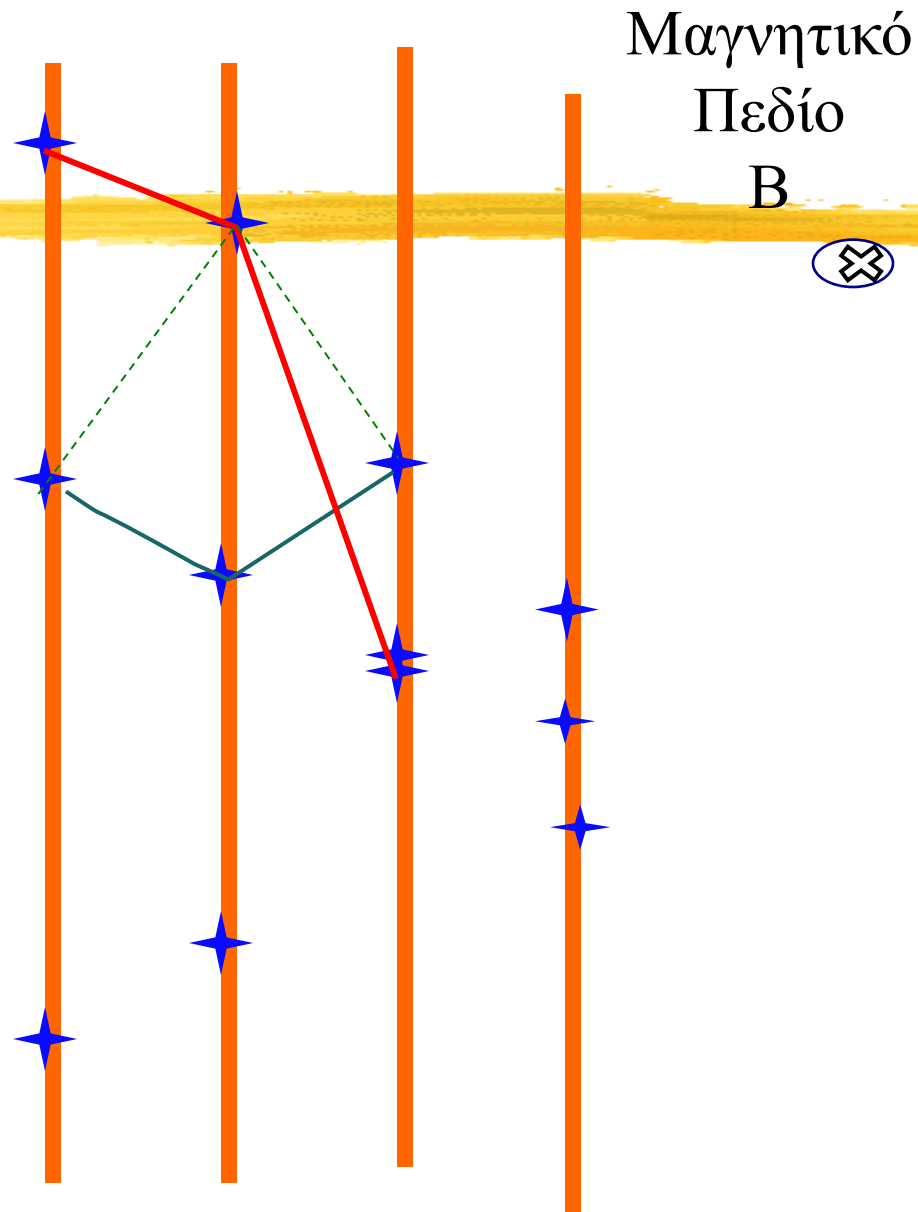
- Αρχίζει με τις θέσεις διάβασης των σωματιδίων
- Δοκιμάζονται διάφοροι συνδυασμοί
  - και υπολογίζεται η διαφορά μέτρησης-πρόβλεψης
  - Και έτσι η πιθανότητα του κάθε συνδυασμού





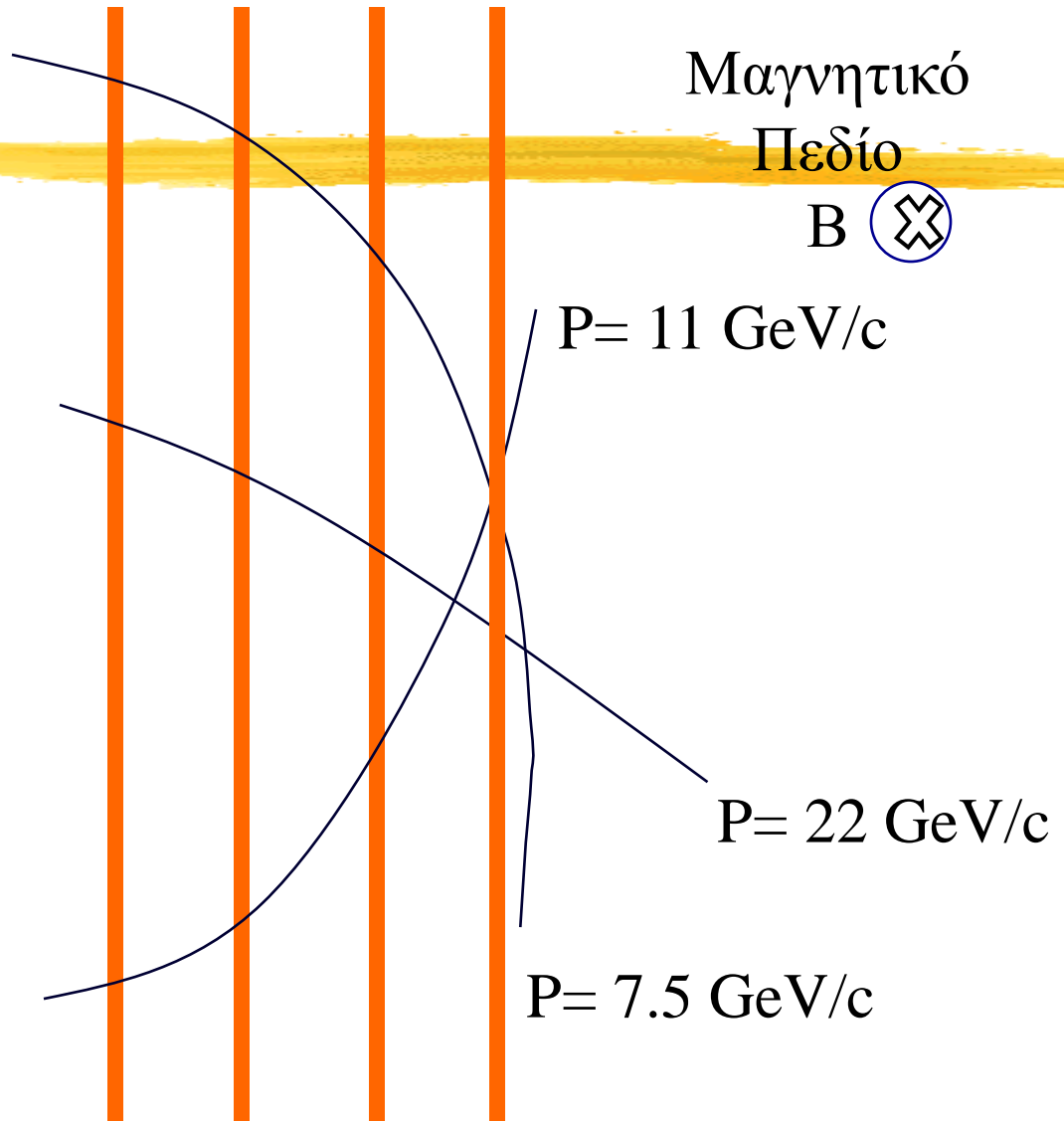
# Ανακατασκευή στην πράξη

- Αρχίζει με τις θέσεις διάβασης των σωματιδίων
- Δοκιμάζονται διάφοροι συνδυασμοί
  - και υπολογίζεται η διαφορά μέτρησης-πρόβλεψης
  - Και έτσι η πιθανότητα του κάθε συνδυασμού



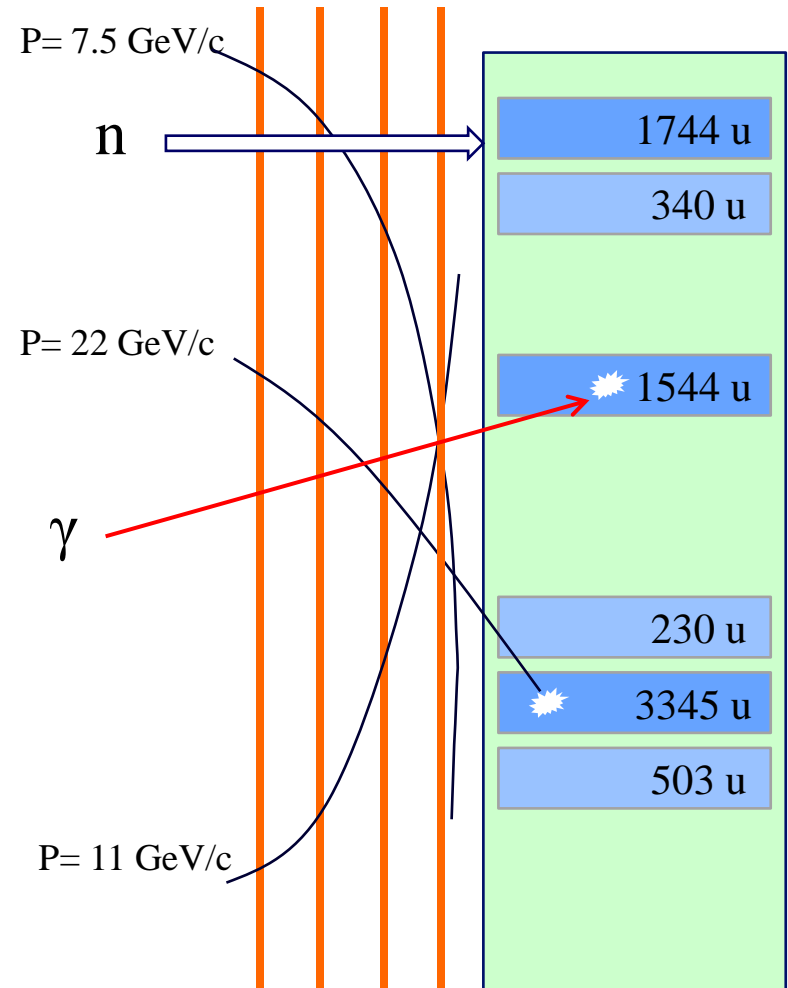
# Ανακατασκευή: πρώτο αποτέλεσμα

- Αρχίζει με τις θέσεις διάβασης των σωματιδίων
- Δοκιμάζονται διάφοροι συνδυασμοί
  - και υπολογίζεται η διαφορά μέτρησης-πρόβλεψης
  - Και έτσι η πιθανότητα του κάθε συνδυασμού
- Τελικά έχουν βρεθεί όλες οι τροχιές
  - ή «στα γρήγορα» αυτές με μεγάλη ορμή- οι κύριες τροχιές

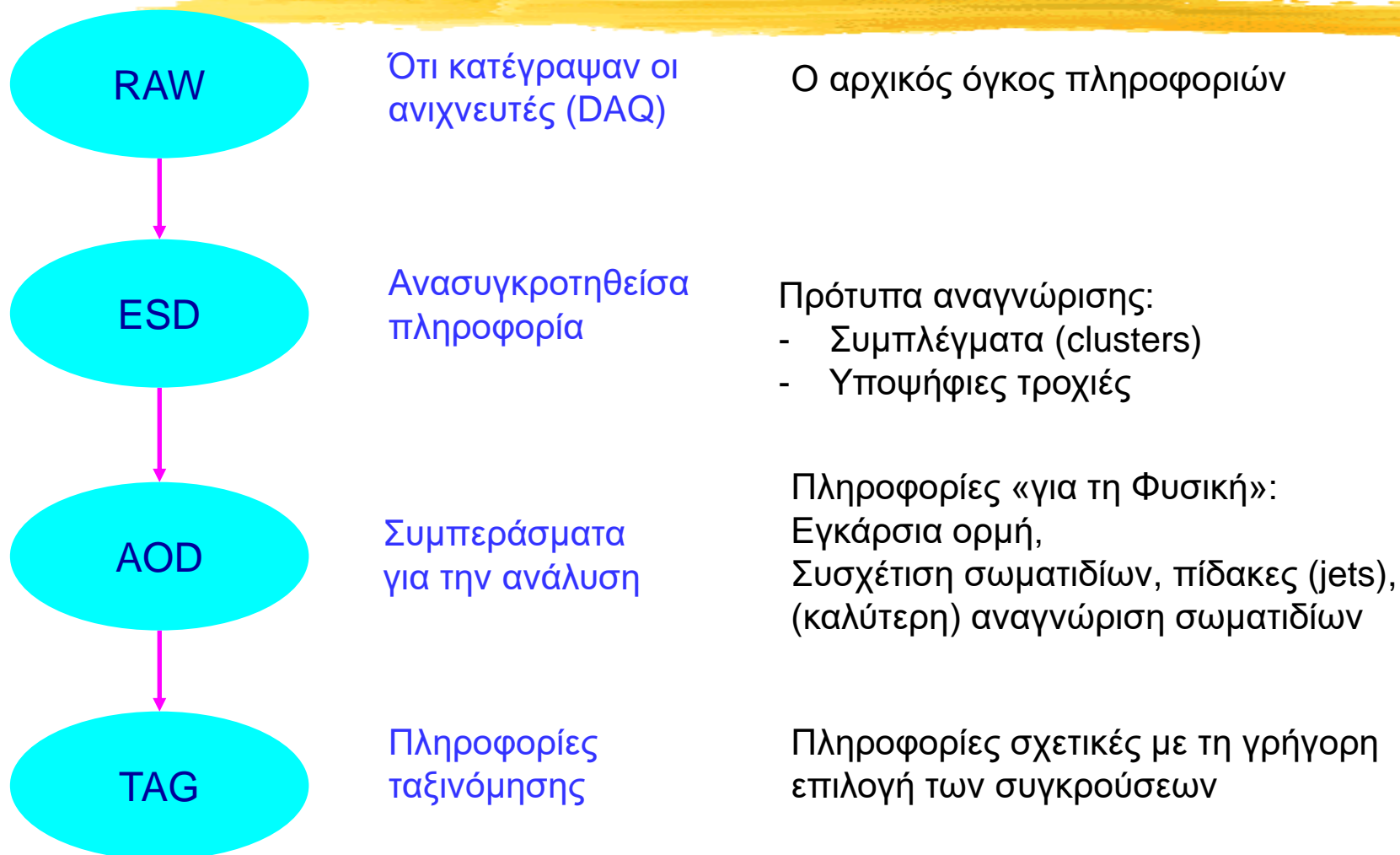


# Από μερική προς 'ολική' ανακατασκευή

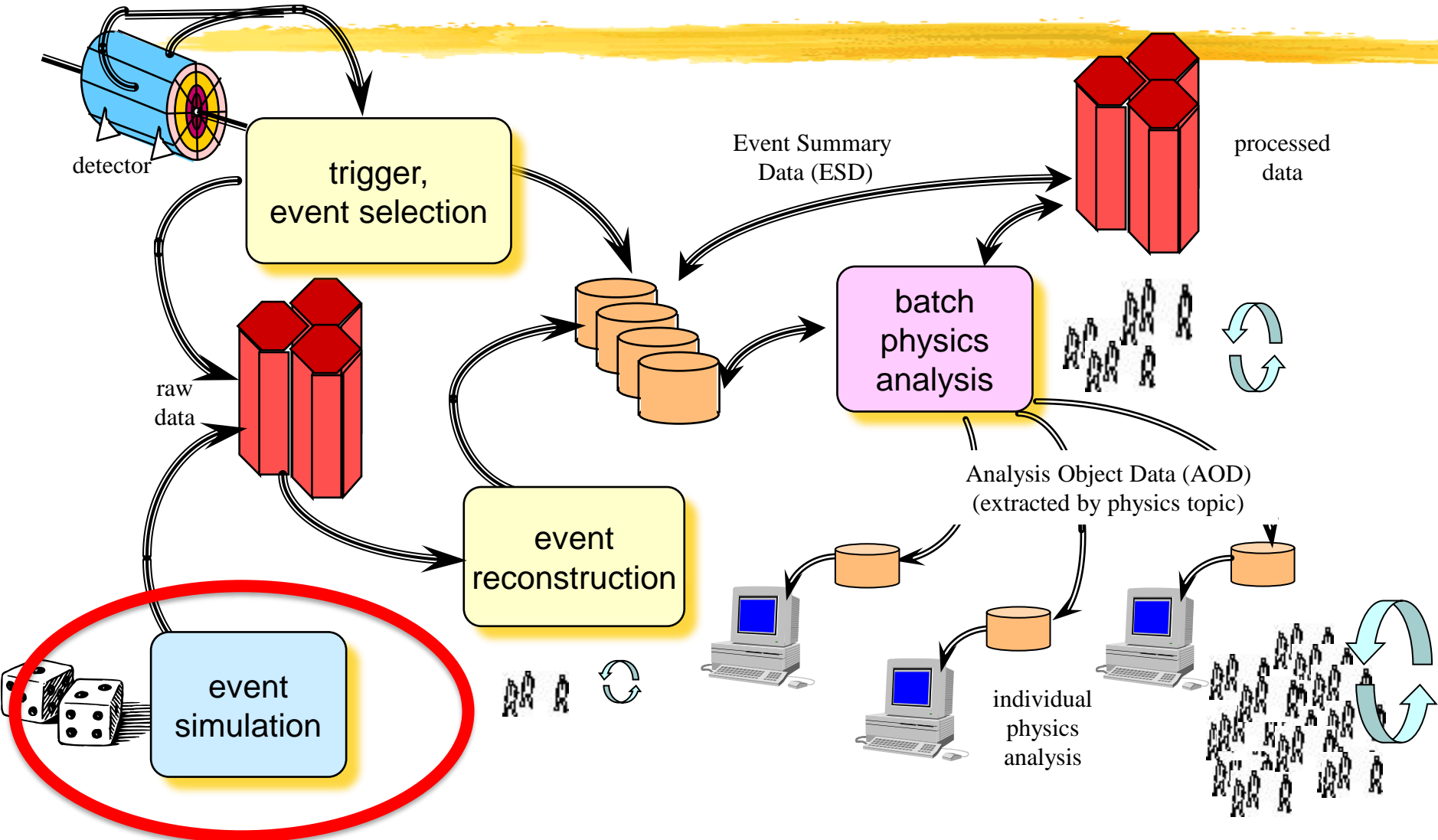
- z Μετά από αυτά τα πρώτα ίχνη
- z Προσθέτουμε ανιχνευτές
  - y Ευαίσθητους, σε περισσότερα σωματίδια, άλλες αλληλεπιδράσεις
- z Βγάζουμε πληροφορίες για τα άλλα σωματίδια ( $\gamma$ ,  $\pi$ ,  $K$ ,  $\rho$ ,  $n$ , ... )
- z Συγκροτούμε «ολόκληρη» την εικόνα της σύγκρουσης



# Χρήση της ανακατασκευής



# Στάδια Επεξεργασίας- (Προσομοίωση) Simulation



# Προσομοίωση και Ανιχνευτές



Τι είναι η προσομοίωση  
Γιατί υπάρχει  
Πώς γίνεται

# Τι είναι η προσομοίωση?



Φυσικο συστήματος

Μοντέλο = εξισώσεις

Εξελιξη συστηματος

Βγαζω αποτελέσματα



# ΓΙΑΤΙ ΚΑΝΟΥΜΕ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ?

- Ένα smartphone η μια εφαρμογή
- Ένα αυτοκίνητο
- Βηματοδότη
- Κυκλοφορίας πόλης
- Air «ΝΤΟΥΣ»
- Ηλεκτρονικά σε δορυφορο
- Ιατρικό ανιχνευτή
- ακτινοβολία



# Τι είναι προσομοίωση;

z Φτιάχνουμε μοντέλα

γ Του ανιχνευτή

x Γεωμετρία

x Υλικά

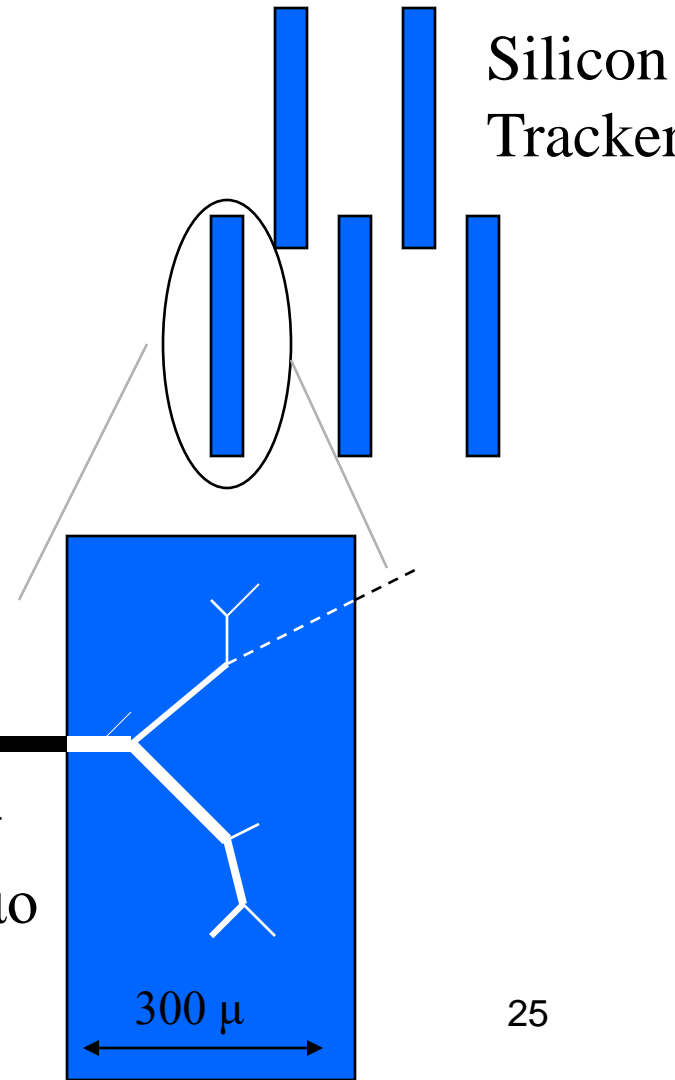
γ Των αλληλεπιδράσεων

x Κάθε γνωστού τύπου

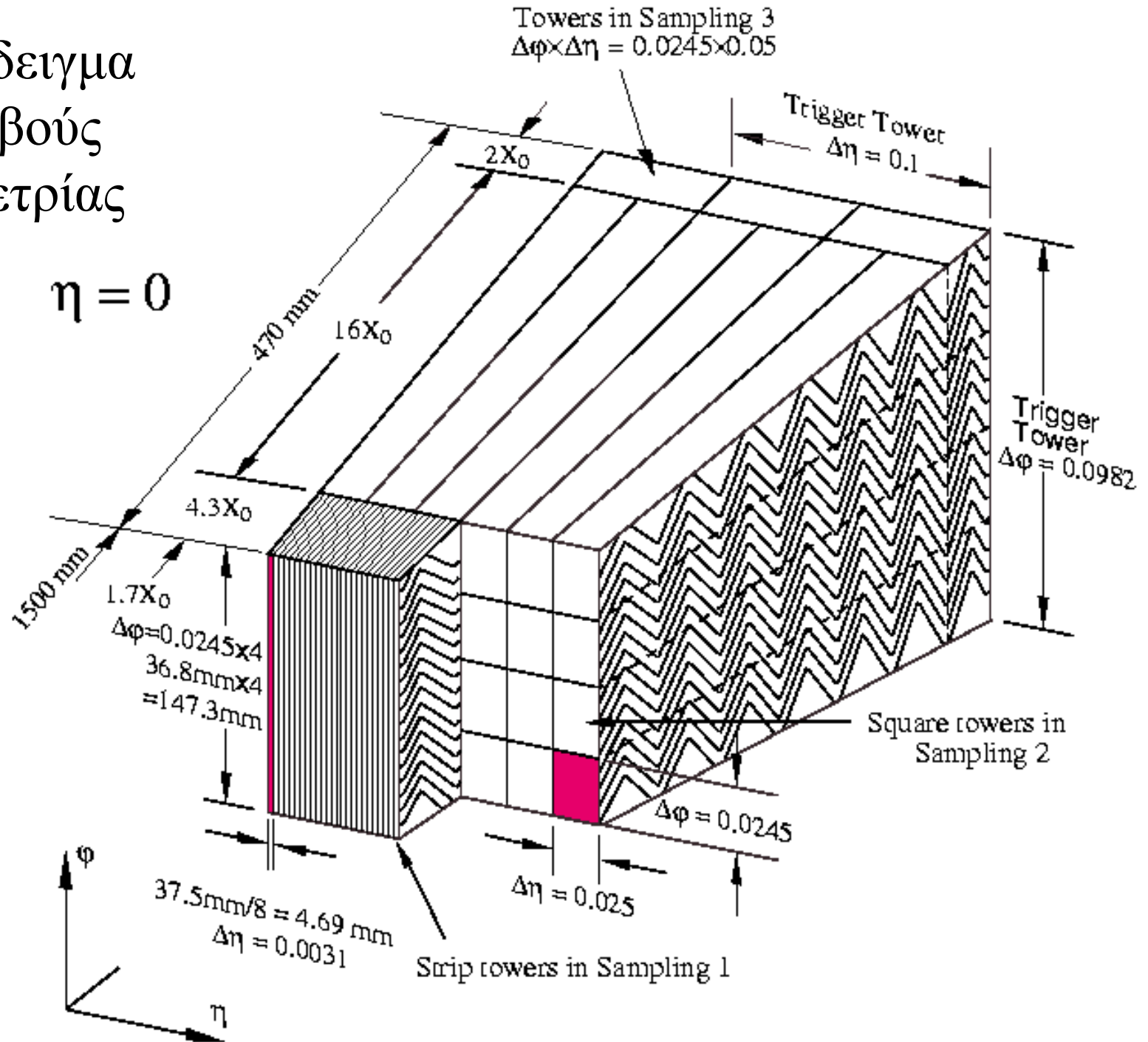
- Ηλεκτρομαγνητικού
- Ισχυρού πυρηνικού

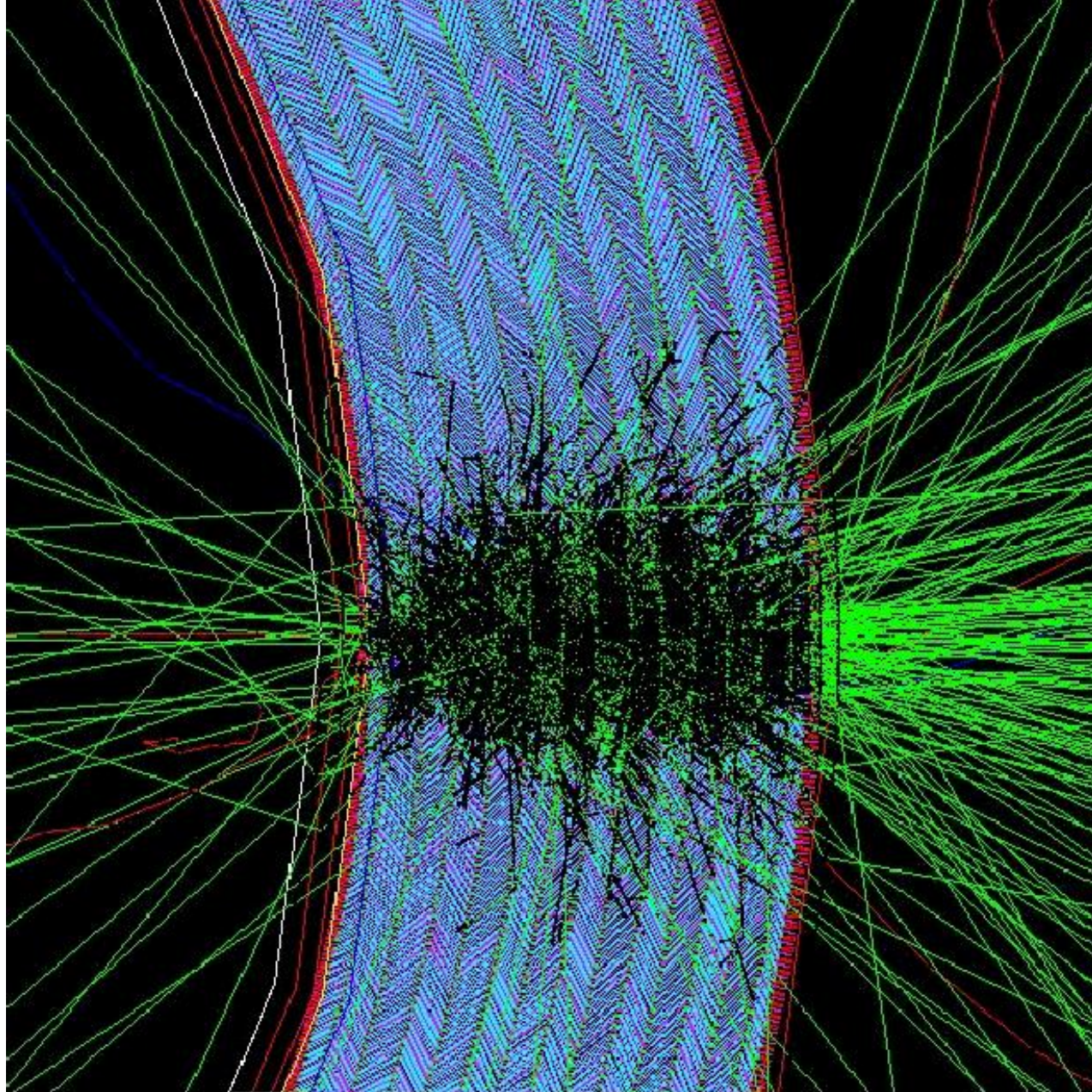
$$\sigma_{\text{σύνολο}} = \sum \sigma_{\text{φαινομένου}}$$

2.5 MeV  $e^-$   
ηλεκτρόνιο

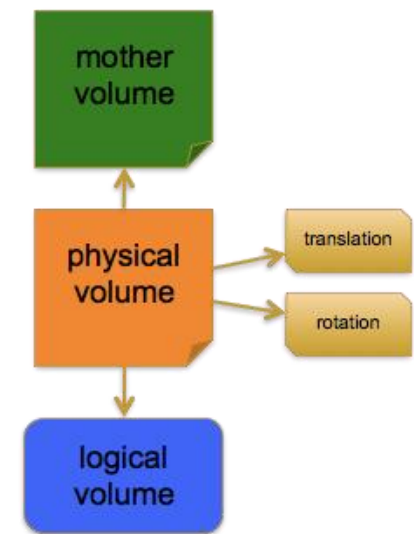
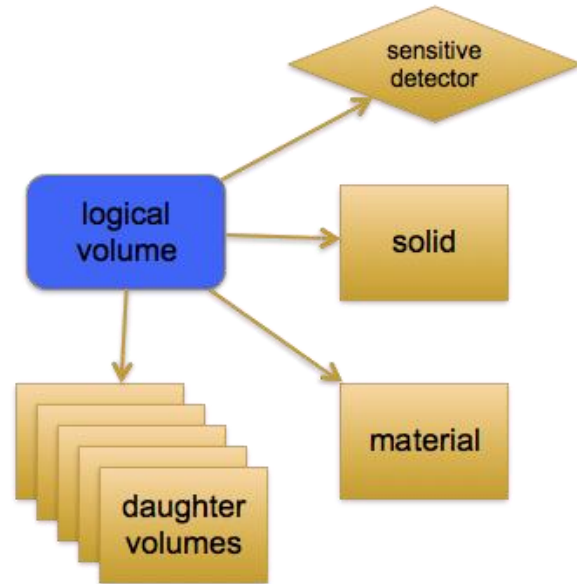
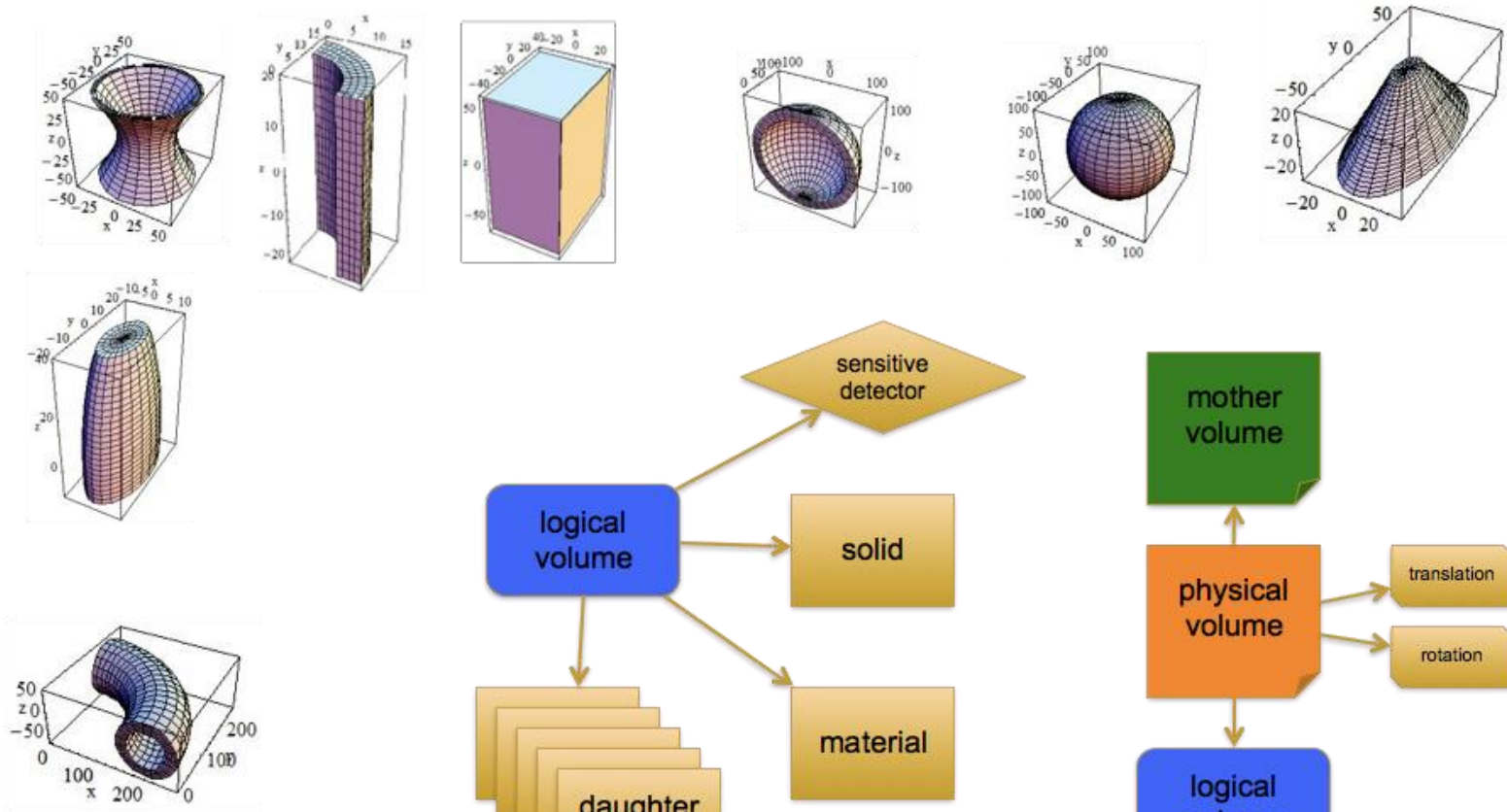


# Παράδειγμα ακριβούς γεωμετρίας





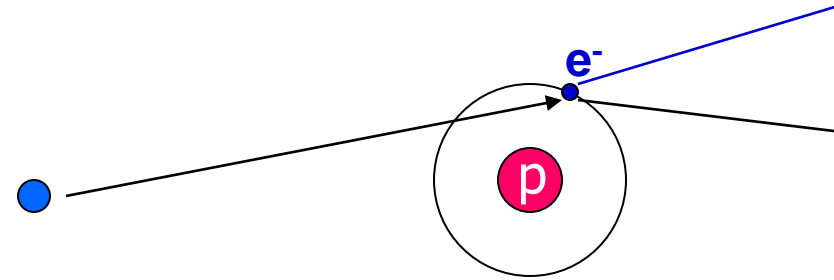
# Geometry construction



# Βασικές Αλληλεπιδράσεις

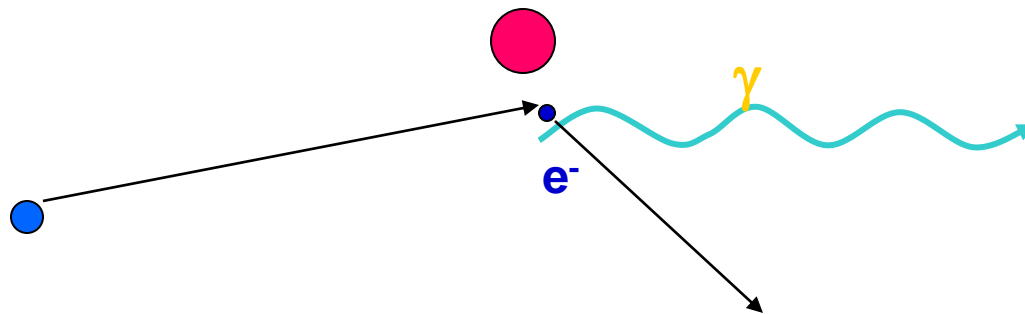
- z Οι διάφορες αλληλεπιδράσεις του σωματιδίου με το υλικό (τμήμα του ανιχνευτή ή άλλο)
- γ παραγωγή δευτερεύοντος σωματιδίου

x Ιονισμός

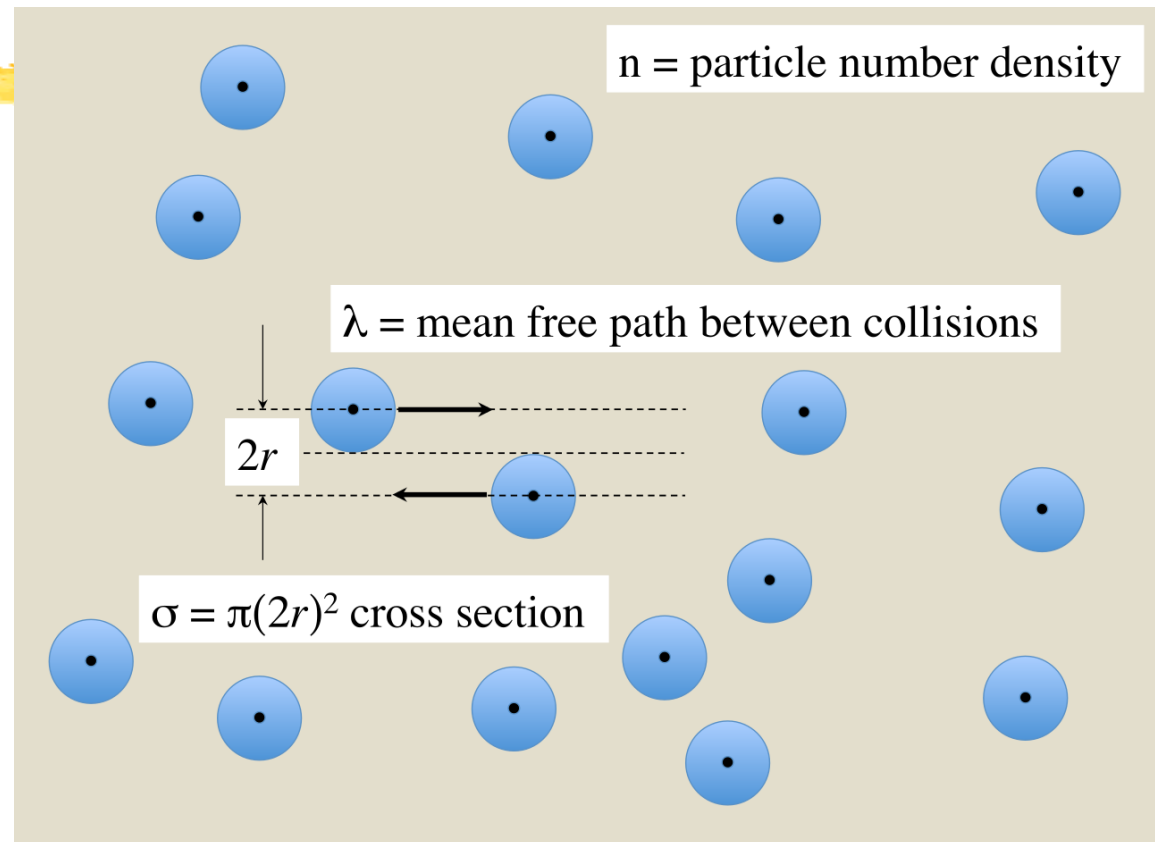


x Ακτινοβολία πέδησης

x (Bremsstrahlung)

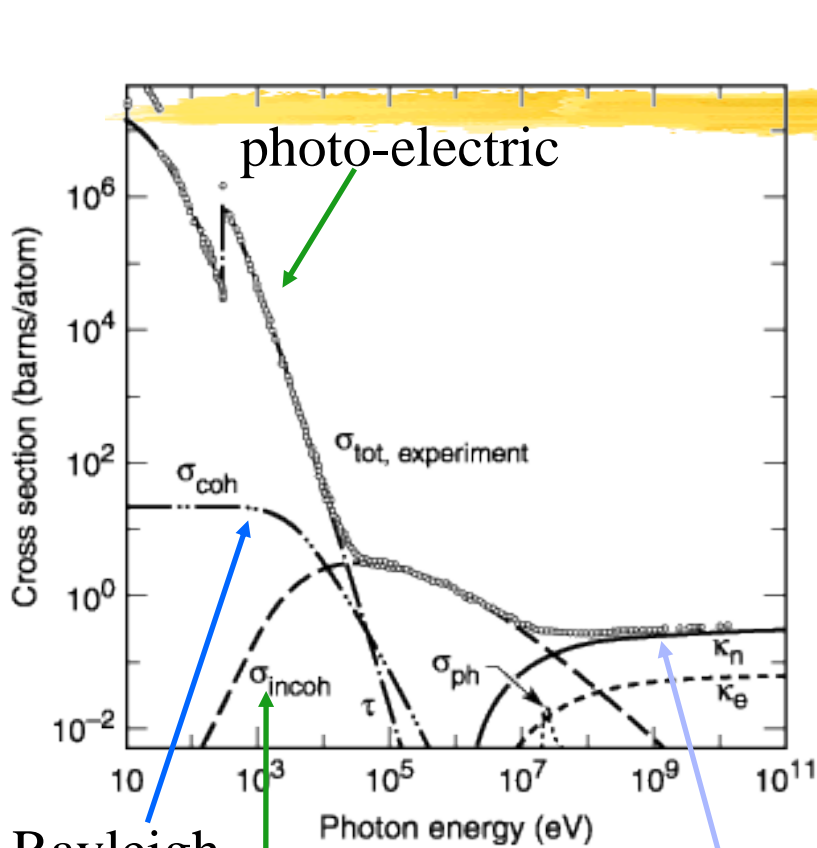


# Ενεργός διατομή (Cross-section)



**Figure 1.** In a gas of particles of individual diameter  $2r$ , the cross section  $\sigma$ , for collisions is related to the particle number density  $n$ , and mean free path between collisions  $\lambda$ .

# Ενεργός διατομή (Cross-section)

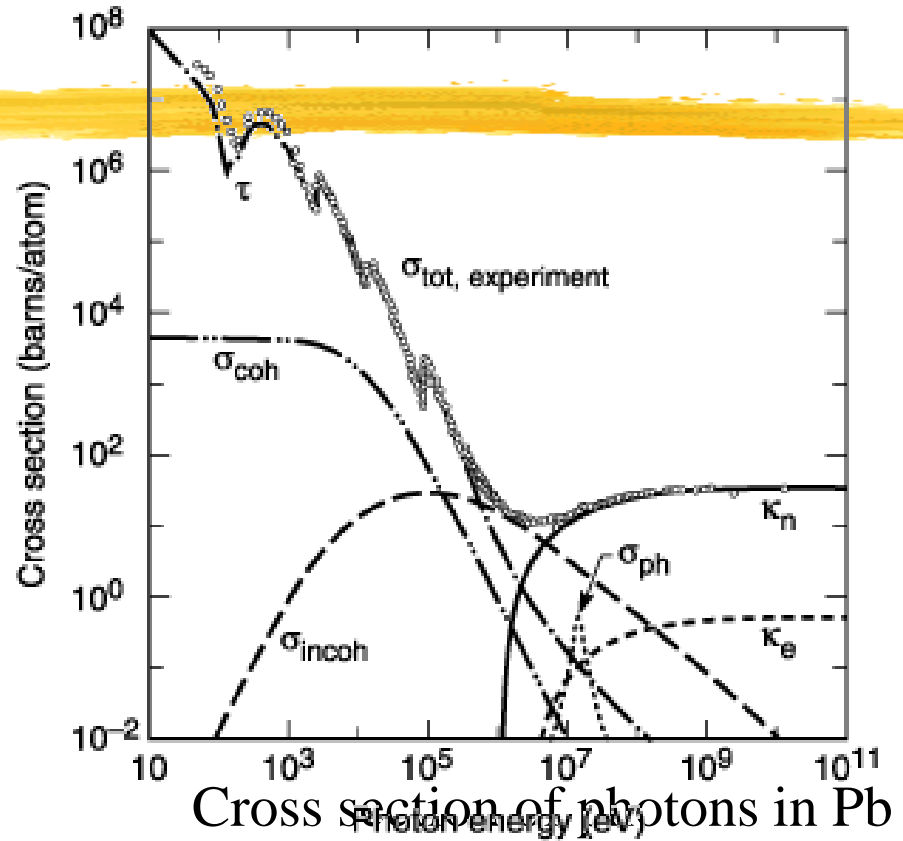


Rayleigh

Compton

gamma conversion

<https://pdg.lbl.gov/>



Cross section of photons in Pb  
(Lead)

[https://xdb.lbl.gov/Section3/Image\\_Sec3/Sec3135.gif](https://xdb.lbl.gov/Section3/Image_Sec3/Sec3135.gif)

# Σκεδάσεις ηλεκτρονίων

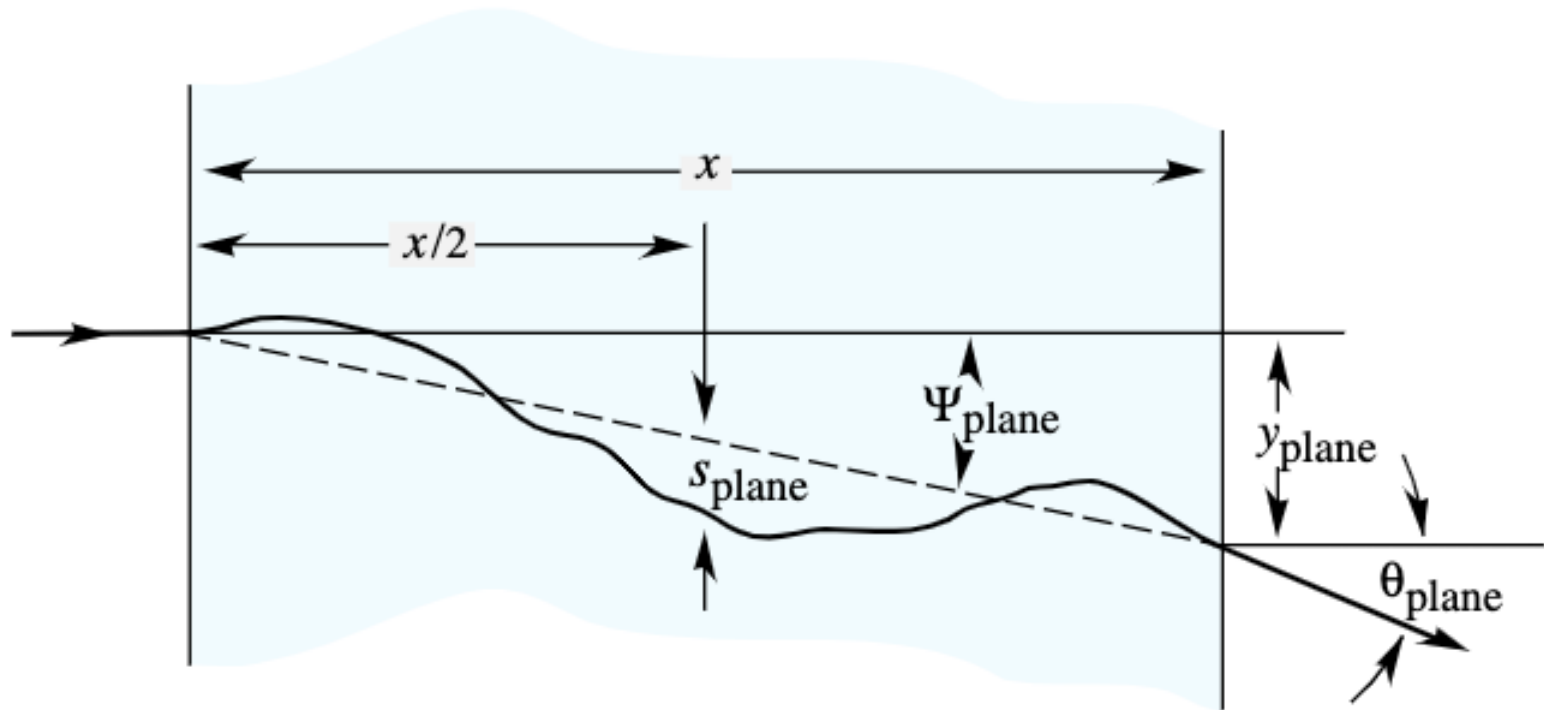
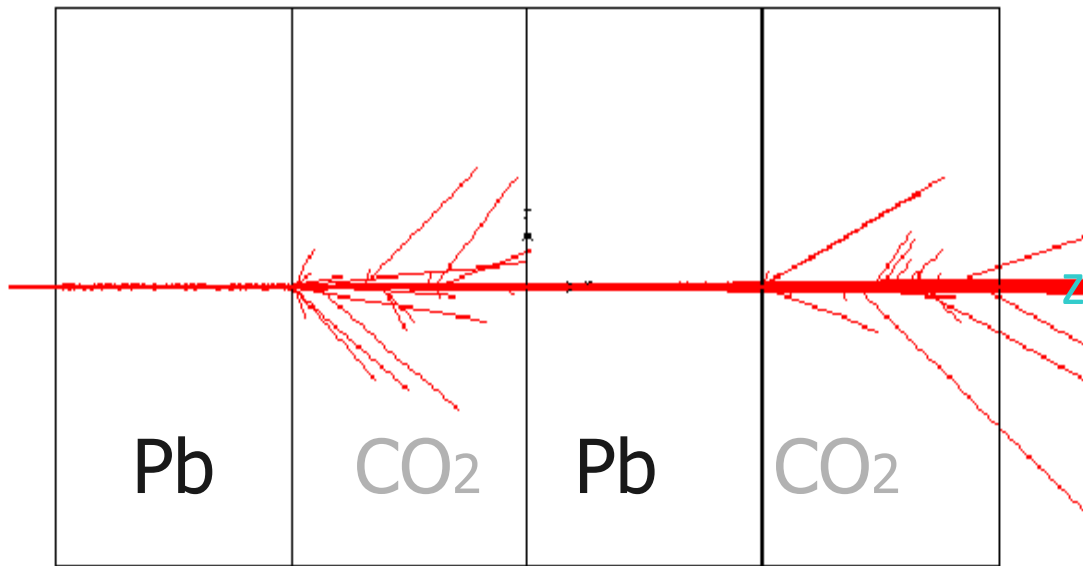


Figure 34.10: Quantities used to describe multiple Coulomb scattering. The particle is incident in the plane of the figure.

From “Passage of particle through matter” - <https://pdg.lbl.gov/>



# Ένα απλό παράδειγμα



## GEANT 3

- z Στον μόλυβδο παράγονται πολλά δευτερεύοντα σωματίδια
  - γ Τα περισσότερα μένουν κοντά,
  - γ Μερικά ξεφεύγουν.
- Το διοξείδιο του άνθρακα, ως αέριο, έχει μικρή πυκνότητα
  - γ Όσα σωματίδια φτάνουν ή παράγονται, πάνε μακριά
  - γ Παράγονται λιγότερα

# Γιατί προσομοίωση ?



- z Για να σχεδιάσουμε τους ανιχνευτές
- z Για να ετοιμάσουμε τις μεθόδους ανακατασκευής
- z Για να καταλάβουμε τα αποτελέσματα του ανιχνευτή

# Άλλες χρήσεις προσομοίωσης

## z Ιατρική

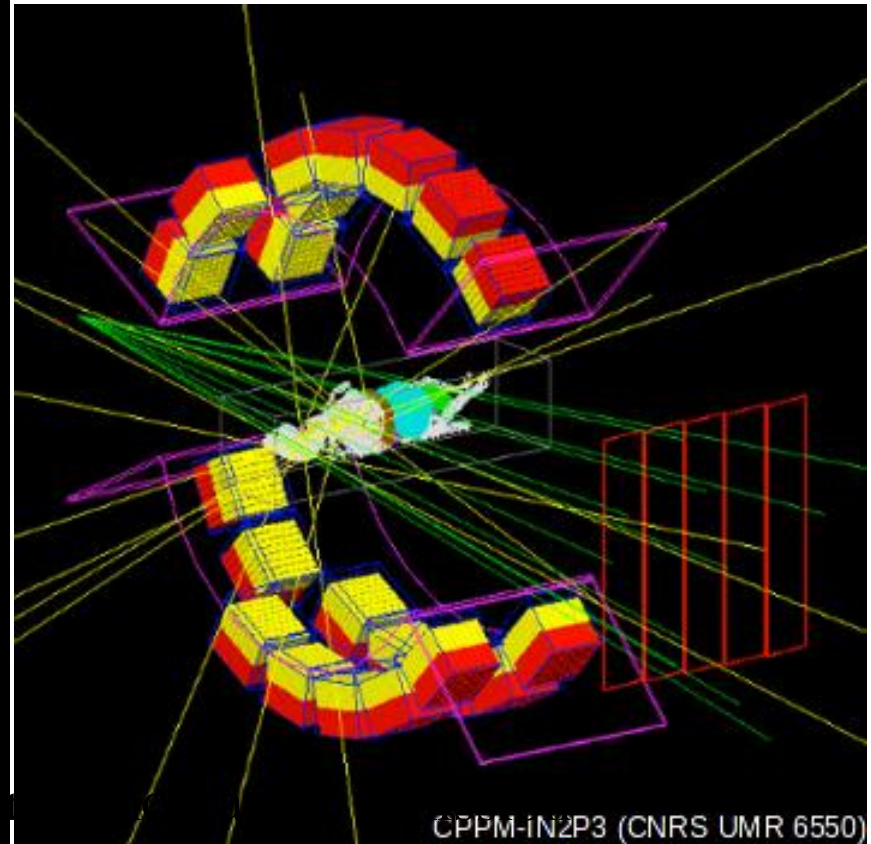
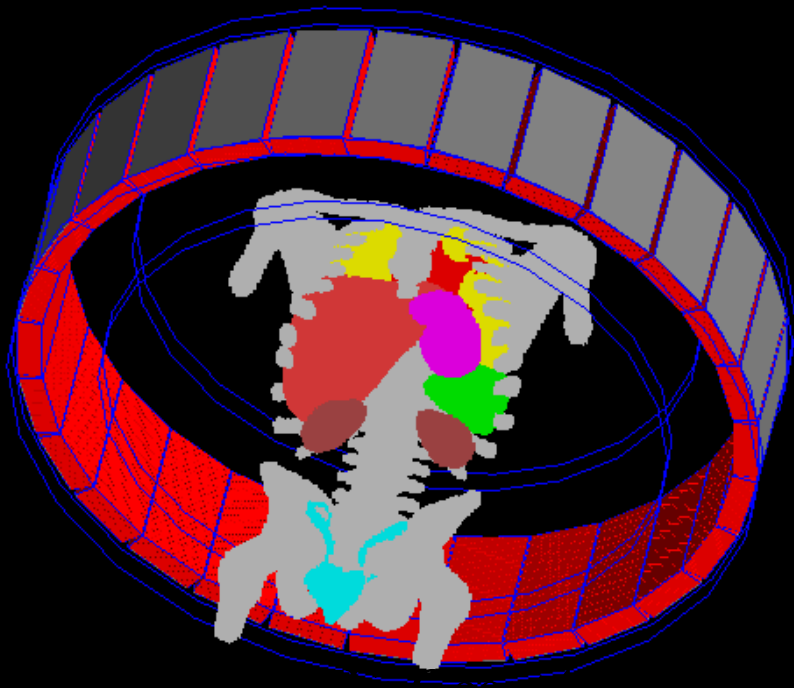
- γ Για ιατρική διάγνωση

- γ Ραδιο-ιατρική – θεραπεία με πρωτόνια

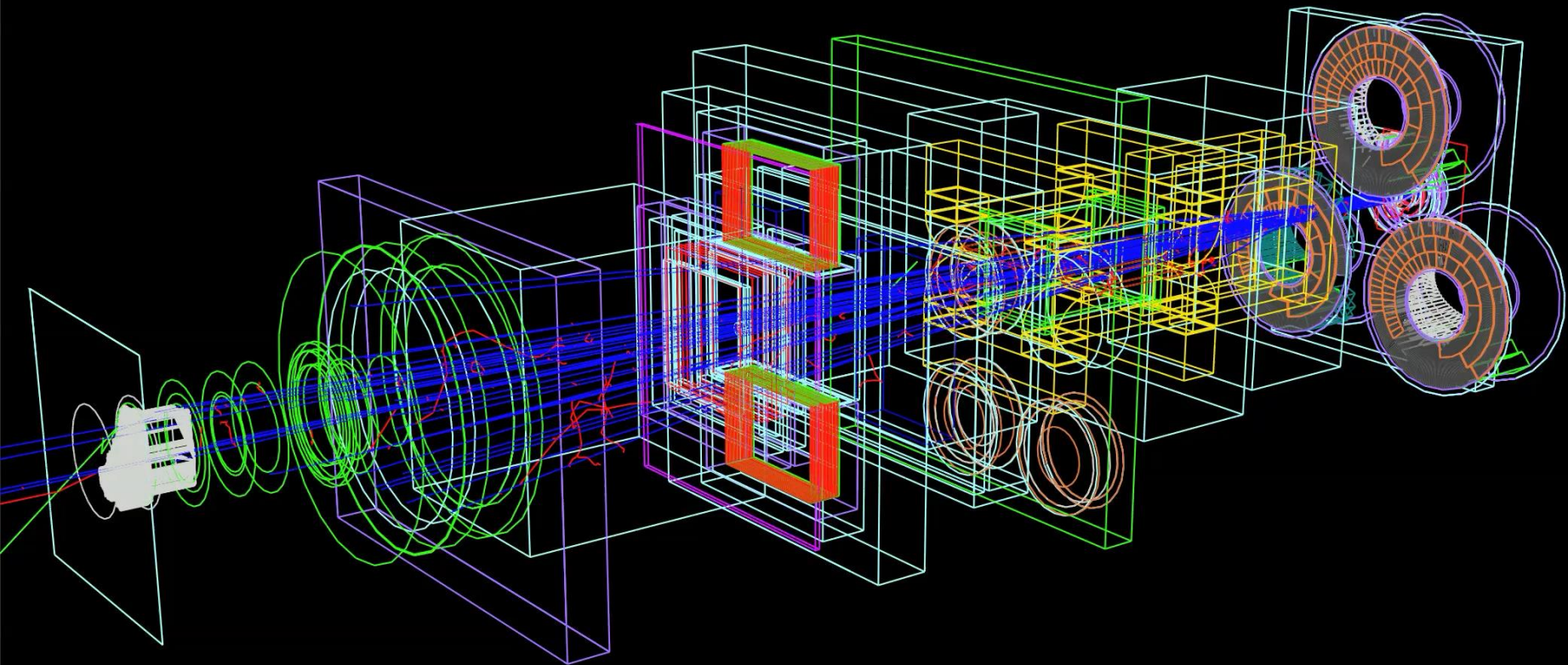
## z Πλανήτη

- γ Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων/πρωτονίων με ατμόσφαιρα και μαγνητικό πεδίο της Γης

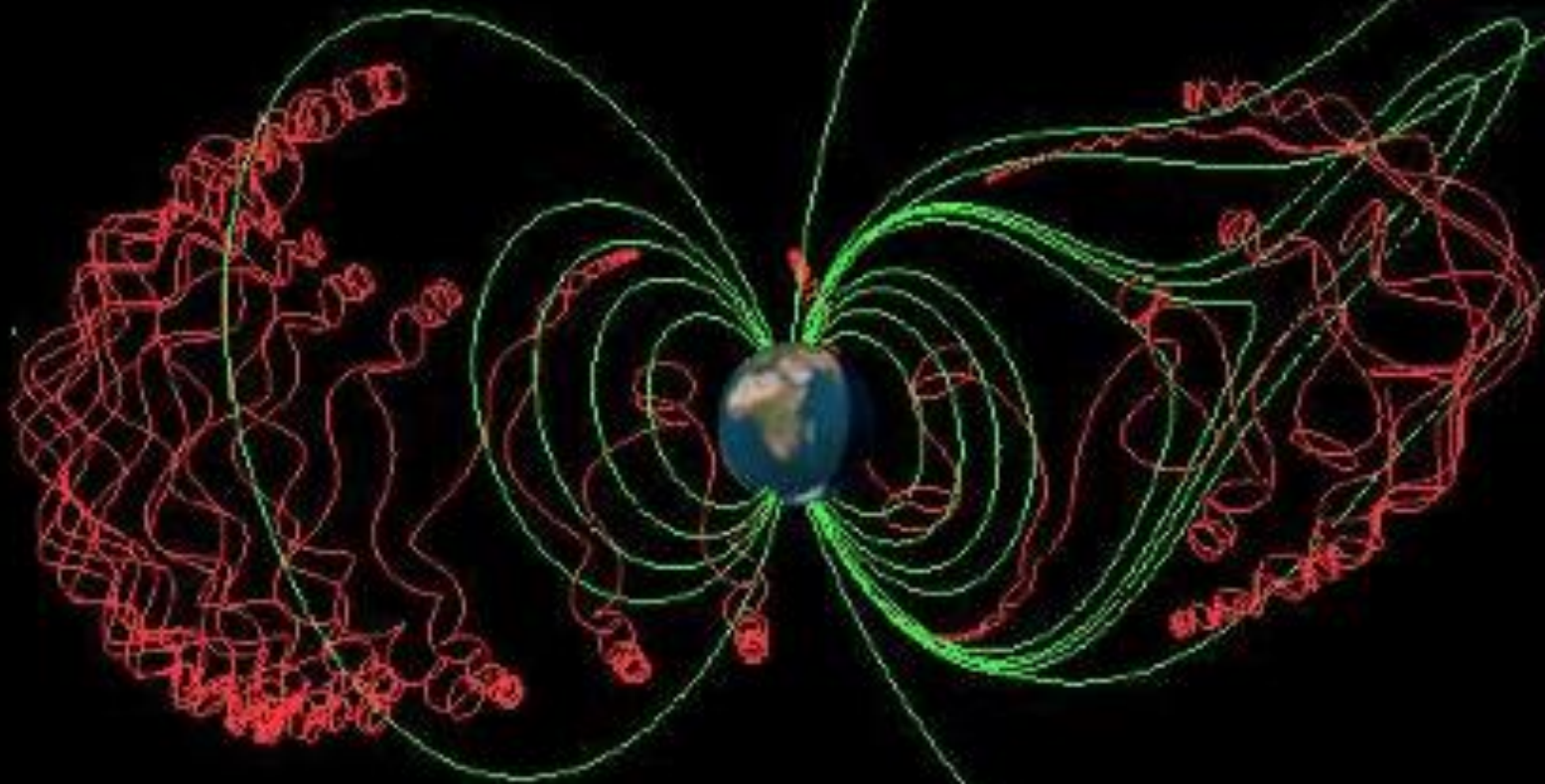
# Positron Emission Tomography (PET)



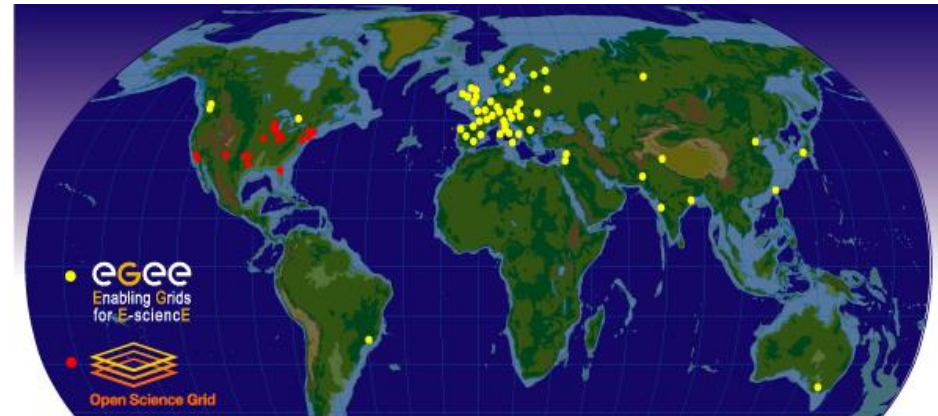
CPPM-IN2P3 (CNRS UMR 6550)



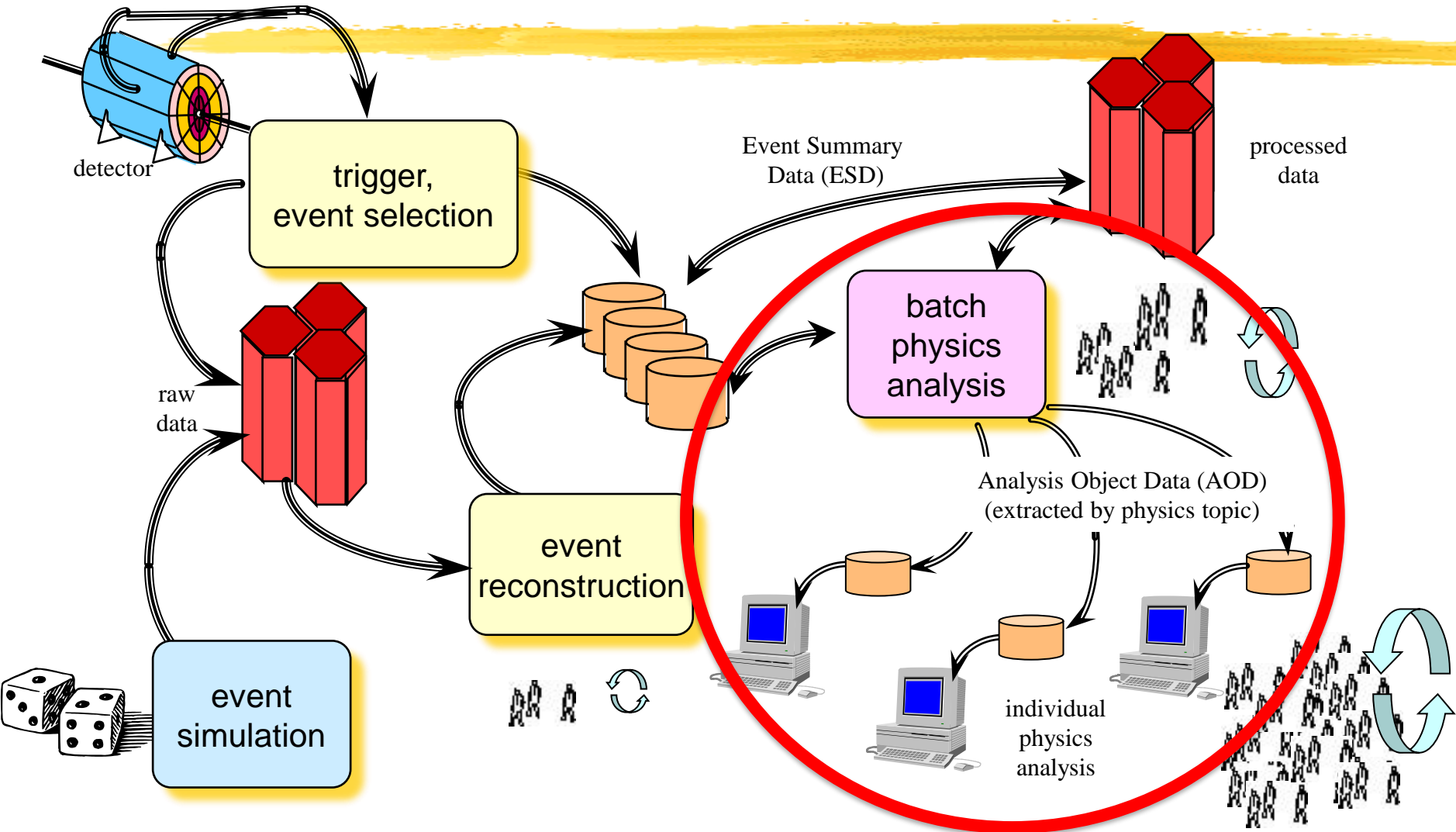
Trapped particles in Earth's Magnetic field



# Ανάλυση δεδομένων



# Στάδια Επεξεργασίας Ανάλυση Δεδομένων - Analysis

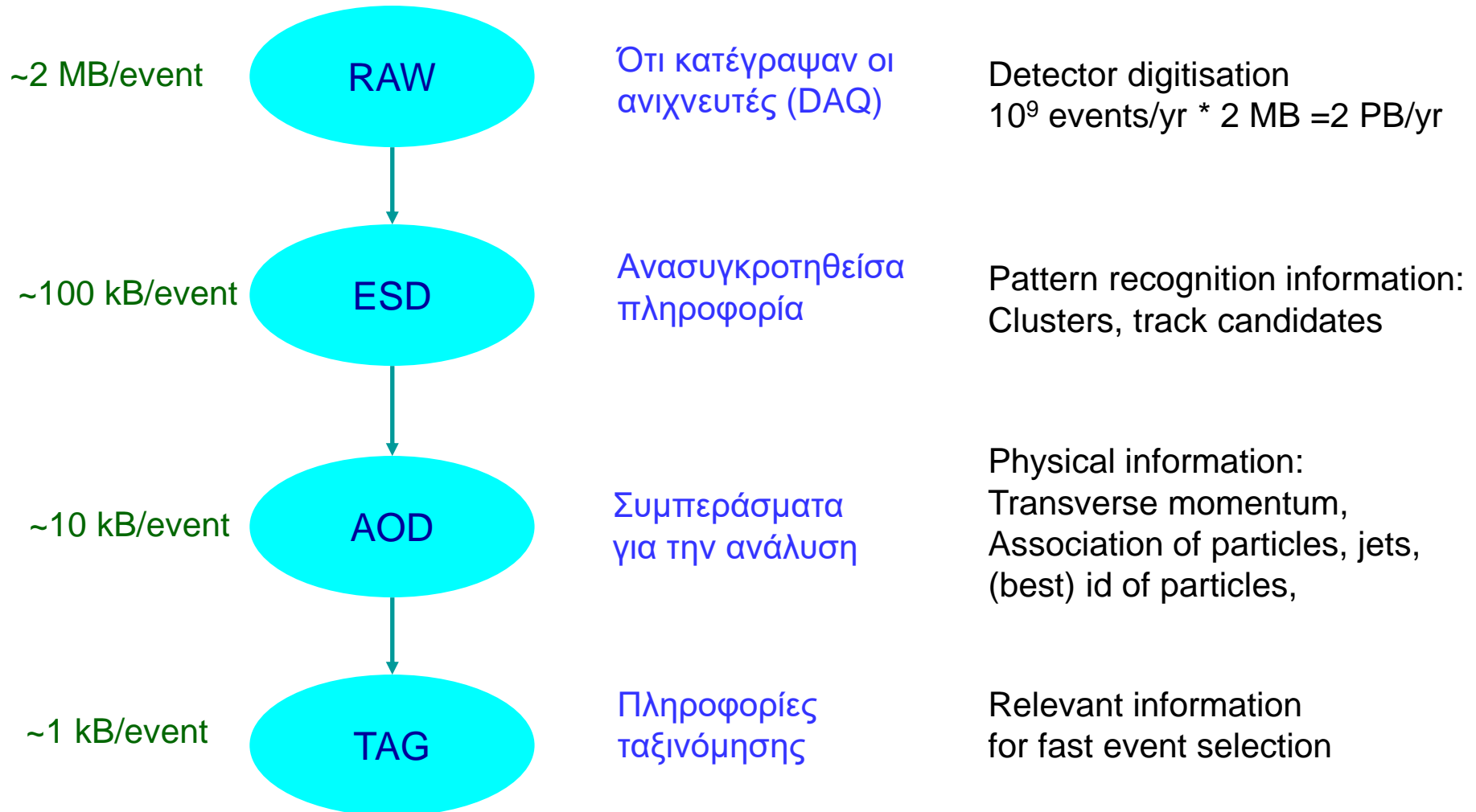




# Ανάλυση:

- ❑ Έπειτα από την ανακατασκευή
- ❑ Χρησιμοποιεί τα 'δεδομένα' (Data) προϊόντα της ανακατασκευής
  - Ιεραρχία 'δεδομένων' από Ολικά (RAW), ως συνοπτικά/συμπερασματικά (AOD)
- ❑ Οι ομάδες ενός πειράματος χρησιμοποιούν τα δεδομένα
  - Στο CERN (δύσκολο) ή πού ? ... στο Πλέγμα (GRID)
- ❑ Hyratia: μικρό κομμάτι ανάλυσης πειράματος στο σχολείο
  - [Εισαγωγή](#), Κοσμός/[Portal](#) Εφαρμογή - Δ.Φασουλιώτης (Εθν.Καπ. Παν. Αθήνας), Α. Αλεξόπουλος(CERN)
  - <http://hyratia.iasa.gr/en/index.html>
  - <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=257353#2013-07-08>

# Ιεραρχία Δεδομένων (Data)





# Distribution of Computing Services

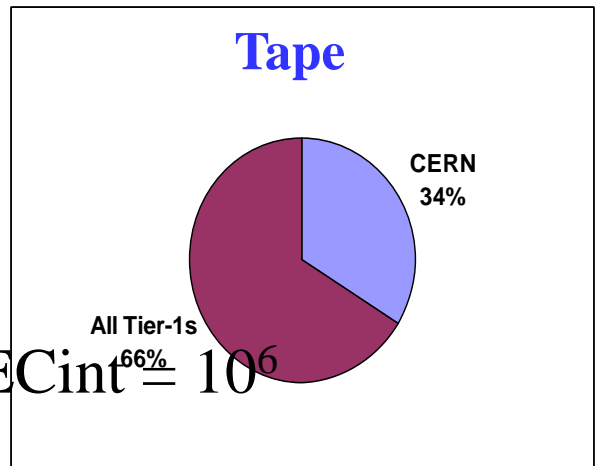
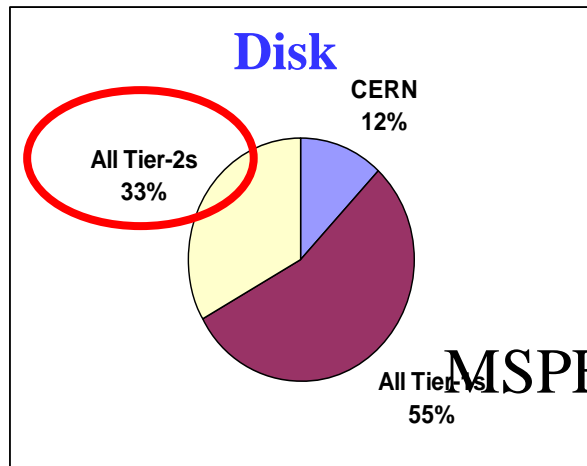
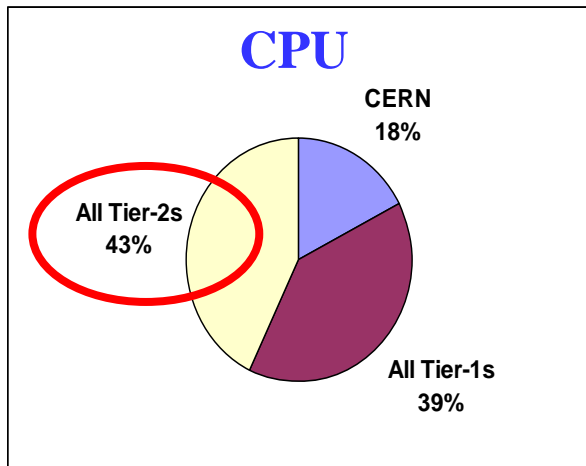
Τα νέα δεδομένα θα αυξάνονται 15 PetaBytes κάθε χρόνο – με δύο αντίγραφα

Περίπου 100,000 'πυρήνες' cores

## Summary of Con

All experiments - 2008  
From LCG TDR - June 2008

	CERN	All Tier-1s	All Tier-2s	Total
CPU (MSPECint2000s)	25	56	61	142
Disk (PetaBytes)	7	31	19	57
Tape (PetaBytes)	18	35		53



Μεγάλο ποσοστό των υπολογιστών και δίσκων σε 120 υπολογιστικά κέντρα

MSPECint = 106



# Λύση : το Πλέγμα (Grid)

- Χρησιμοποιούμε το Πλέγμα για να ενώσουμε τους υπολογιστικούς πόρους των ινστιτούτων ανά τον κόσμο

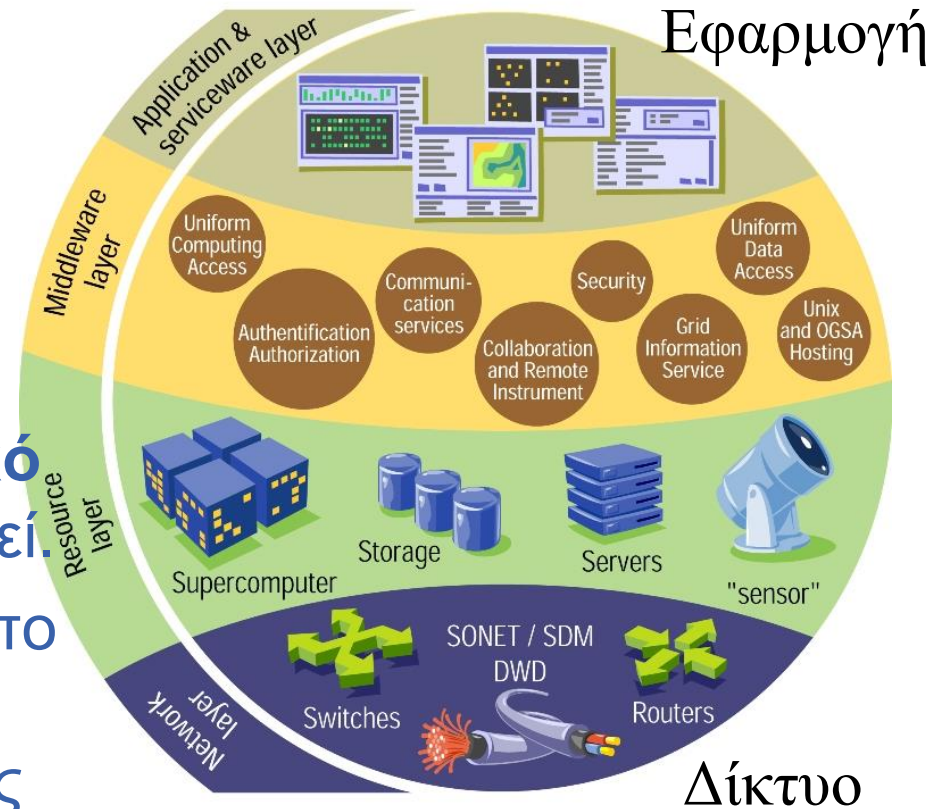
Το World Wide Web παρέχει απλή πρόσβαση σε πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε πολλά εκατομμύρια διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες

The **Grid** είναι μια υποδομή που παρέχει αδιάλειπτη πρόσβαση σε υπολογιστική ισχύ και χωρητικότητα αποθήκευσης δεδομένων καταναεμημένη σε όλη την υφήλιο

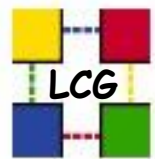
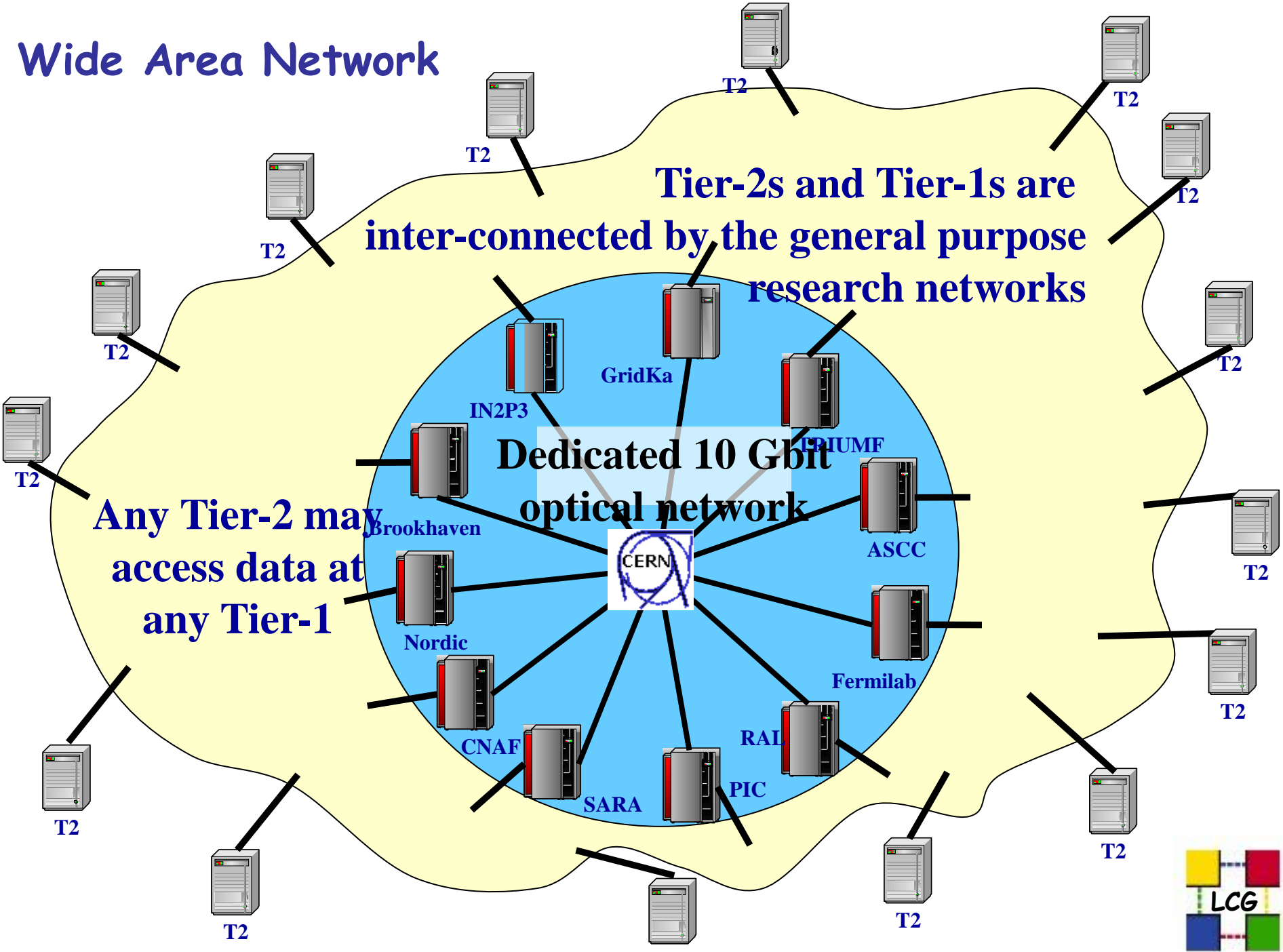


# Πώς δουλεύει το Πλέγμα (Grid)

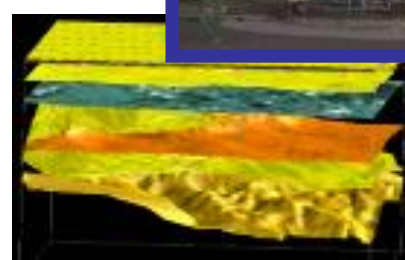
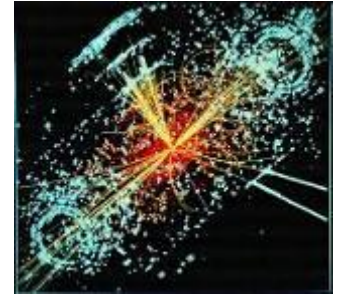
- Βασίζεται σε εξειδικευμένο λογισμικό, το λεγόμενο **μεσο-λογισμικό** (middleware).
- Η ιδέα του Middleware είναι να βρει αυτόματα τα **στοιχεία** που χρειάζονται ο/η ερευνητής/ερευνήτρια, και το **υπολογιστικό δυναμικό** για να τα επεξεργαστεί.
- Middleware εξισορροπεί το φόρτο σε διάφορους πόρους και εγκαταστάσεις. Χειρίζεται επίσης **ασφάλεια**, λογιστική, επιτήρηση και πολλά άλλα.



# Wide Area Network



- Δεκάδες εφαρμογές σε διάφορους τομείς
  - Φυσική Υψηλών Ενεργειών (Pilot domain)
    - Πειράματα LHC, DESY, Fermilab
  - Βιοϊατρική (Pilot domain)
    - Βιοπληροφορική (Bioinformatics)
    - Ιατρική απεικόνιση (Medical imaging)
  - Γεωεπιστήμες
    - Γεω-επισκόπηση
    - Φυσική Στερεάς Γης (Solid Earth Physics)
    - Υδρολογία, Κλίμα
  - Υπολογιστική Χημεία
  - Τήξη (Fusion)
  - Αστρονομία
    - Κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων
    - ακτίνων-γ
  - Γεωφυσική
  - Βιομηχανικές εφαρμογές



# Λειτουργικά συστήματα

- z Linux σε σχεδόν όλους τους υπολογιστές
  - γ CERN Data center: 450.000 πυρήνες και 10.000 servers
  - γ Χαμηλότερο κόστος ανά υπολογιστική δύναμη
- z Στα γραφεία / laptops
  - γ MacOS για προγραμματιστές – παρόμοιο Unix (σαν το Linux) + λογισμικά σαν το 'Office'
  - γ PC με Windows
  - γ PC/laptops με Linux



# Γλώσσες προγραμματισμού

- z C++ για τα κύρια τμήματα
  - γ Τα πιο πολύπλοκα, όσα κάνουν πολύ δουλειά
- z Python – για ελαφριές 'δουλειές' ή ειδικές
  - γ κώδικα που ενώνει, καθοδηγεί, επιλέγει
  - γ ανάλυση δεδομένων, βαθιά μηχανική μάθηση
- z Java – αυτοματισμούς, JavaScript - ιστό
- z CUDA – για προγραμματισμό GPU
- z Julia - πειραματικές χρήσεις

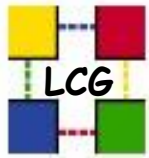
# Οι φυσικοί προγραμματίζουν

- z Όλη η ανάλυση μετρήσεων γίνεται με υπολογιστές
- z Οι φυσικοί ΥΕ χρησιμοποιούν εξειδικευμένα προγράμματα
  - y Μερικοί γράφουν μεγάλα κομμάτια ή πολλές υπορουτίνες (methods) σε C++, ή άλλες γλώσσες πχ Python
  - y Οι περισσότεροι γράφουν μικρές Python υπορουτίνες, για τις δικές τους ανάγκες
- z Όλοι χρησιμοποιούν λογισμικά 'εργαλεία'
  - y για να δουν τις περιλήψεις των μετρήσεων

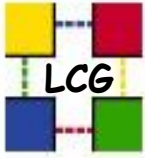


# ΤΕΛΟΣ

Ευχαριστώ συναδελφους για συνεισφορές και διορθώσεις  
John Harvey, Witek Pokorski, Rachel Avramidou, Λένα Παυλίδου

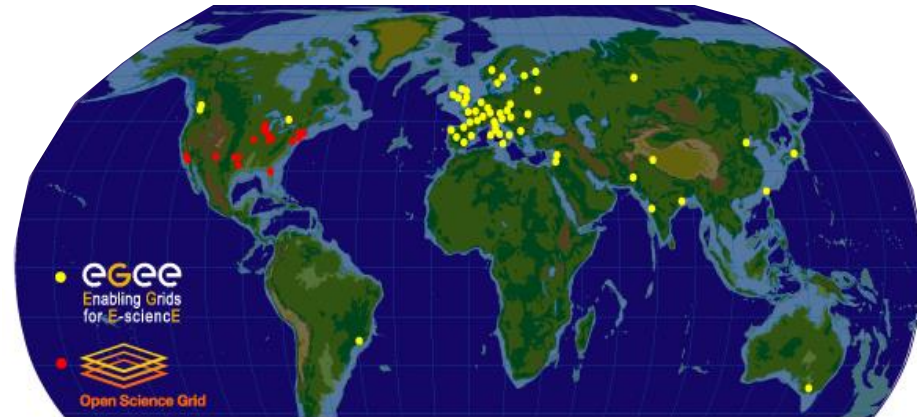


# Backup



# The Worldwide LHC Computing Grid

- The LHC physics data analysis service distributed across the world
  - CERN, 11 large *Tier-1* centres,  
~ 140 active *Tier-2* centres
- Status in May 2007
  - Established the 10 Gigabit/sec optical network that interlinks CERN and the *Tier-1* centres
  - Demonstrated data distribution from CERN to the *Tier-1* centres at 1.3 GByte/sec - the rate that will be needed in 2008
  - ATLAS and CMS can each transfer 1 PetaByte of data per month between their computing centres
  - Running ~2 million jobs each month across the grid
  - The distributed grid operation, set up during 2005, has reached maturity, with responsibility shared across 7 sites in Europe, the US and Asia
  - End-user analysis tools enabling “real physicists” to profit from this worldwide data-intensive computing environment



# **Backup**

A thick, horizontal yellow brushstroke with a textured, painterly appearance, extending across the width of the slide.

**More on simulation**



From:  
Cosmus  
Project,

AIRES  
Project,

Sergio  
Sciutto

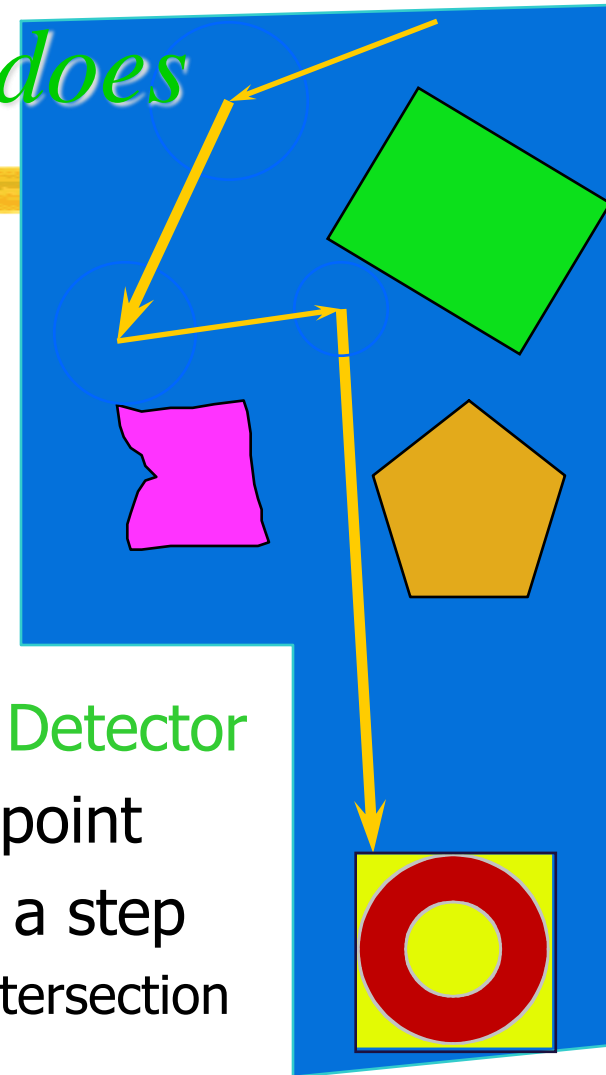
# Geant4 geometry: what it does

## Describes a Detector

- z Hierarchy of volumes
- z Many volumes repeat
  - y Volume & sub-tree
- z Up to millions of volumes for LHC era
- z Import detectors from CAD systems

## Navigates in Detector

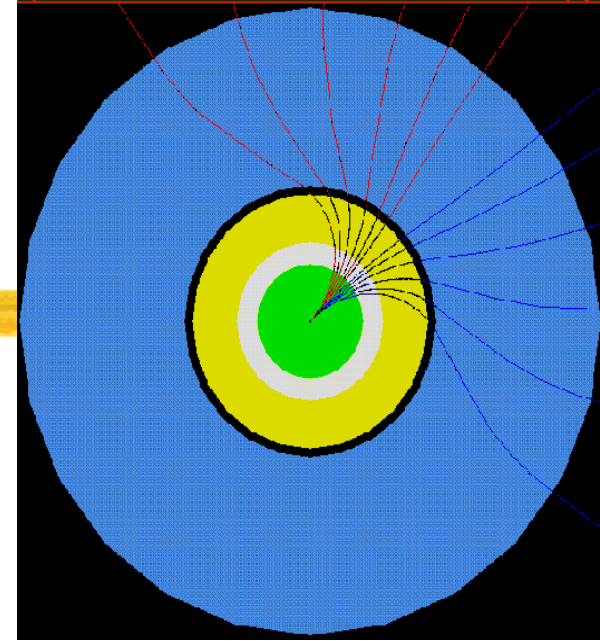
- z Locates a point
- z Computes a step
  - y Linear intersection





# Propagating in a field

Charged particles follow paths that approximate their curved trajectories in an electromagnetic field.



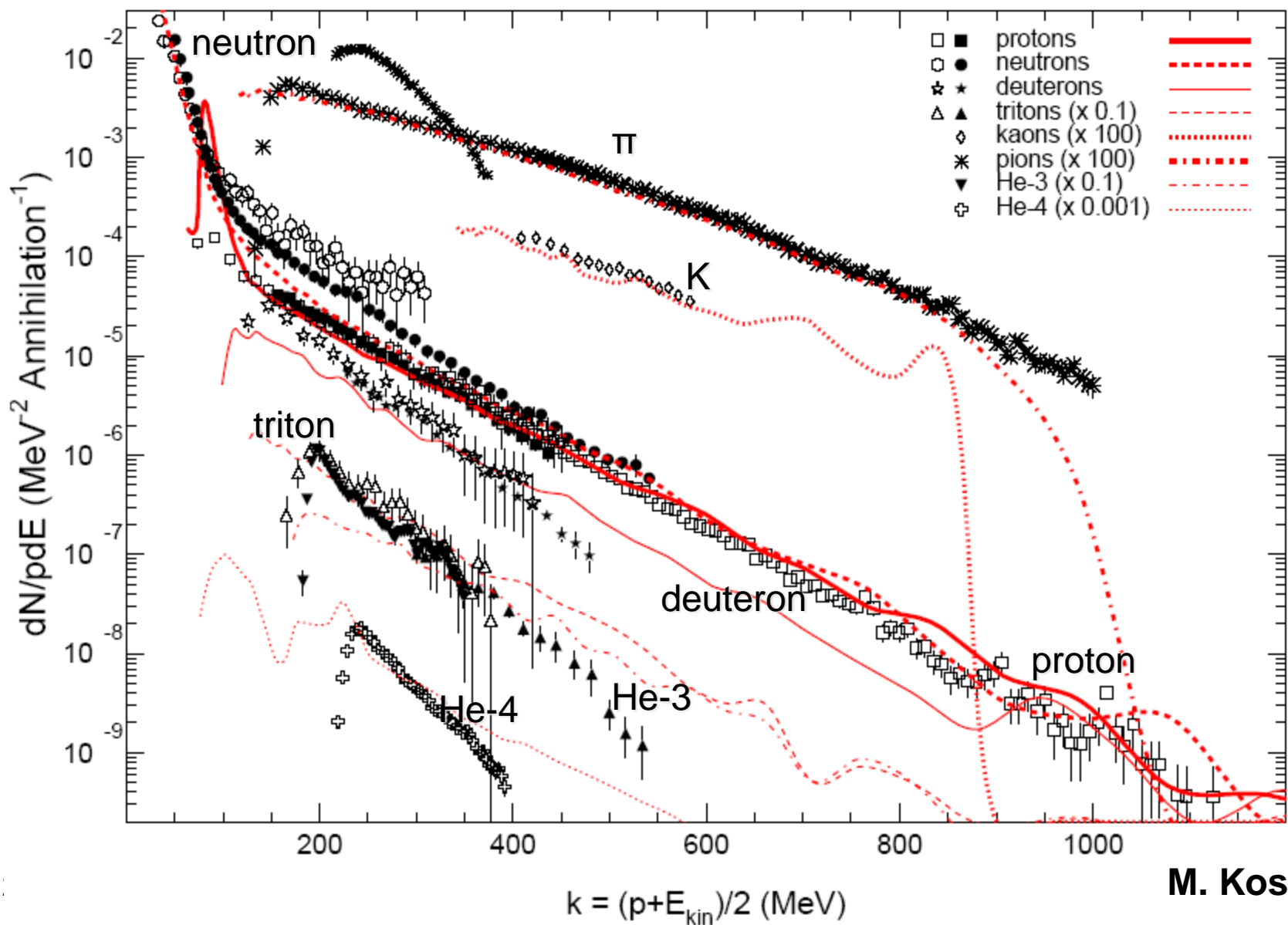
- z It is possible to tailor
  - y the accuracy of the splitting of the curve into linear segments,
  - y the accuracy in intersecting each volume boundaries.
- z These can be set now to different values for a single volume or for a hierarchy.

# Electromagnetic physics

- z Gammas:
  - y Gamma-conversion, Compton scattering, Photo-electric effect
- z Leptons( $e$ ,  $\mu$ ), charged hadrons, ions
  - y Energy loss (Ionisation, Bremsstrahlung) or PAI model energy loss, Multiple scattering, Transition radiation, Synchrotron radiation,
- z Photons:
  - y Cerenkov, Rayleigh, Reflection, Refraction, Absorption, Scintillation
- z High energy muons and lepton-hadron interactions
- z Alternative implementation (“low energy”)
  - y for applications that need to go below 1 KeV

# Antiproton annihilation - CHIPS Model

Antiproton annihilation on  $^{238}\text{U}$  nucleus



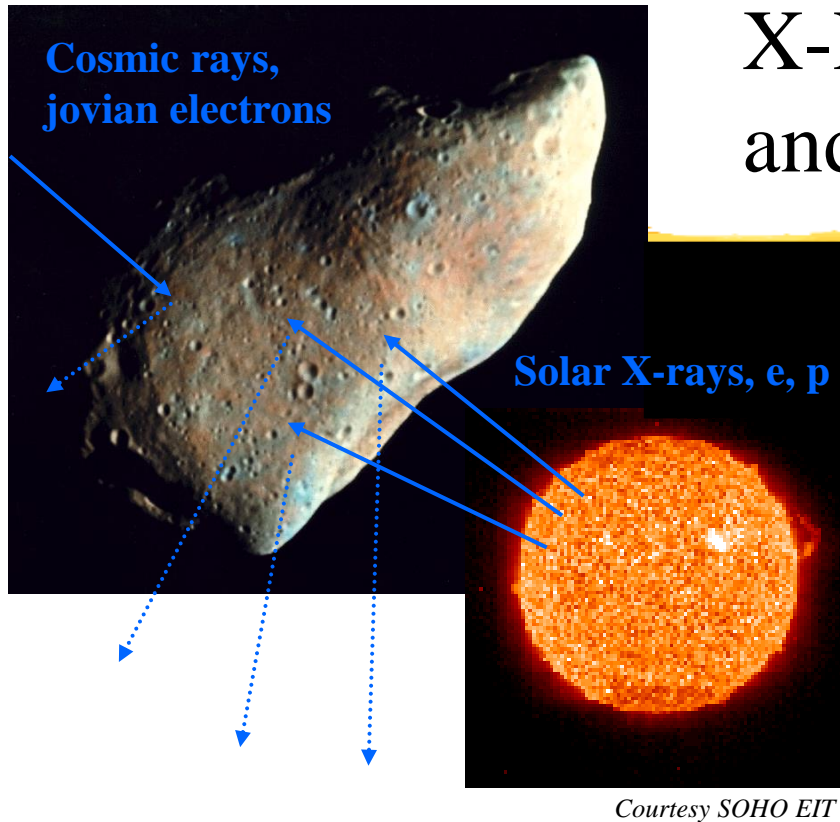
M. Kossov

# Simulation ‘packages’

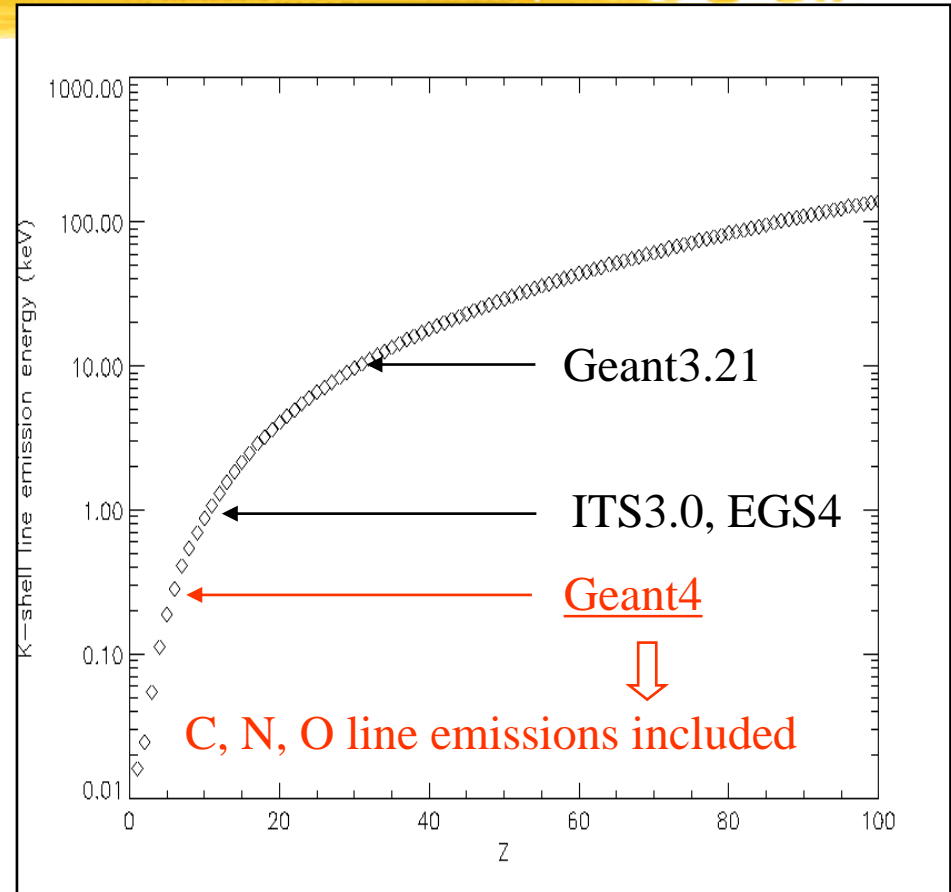


- z Provides the means to simulate
  - y the **physical processes** and
  - y **detector response** of an experiment.
- z As was realised by many in the past,
  - y **most of the parts** needed can be **common** between experiments (eg physics, geometry blocks) .
- z So it makes eminent sense to create and use a **general purpose package**
  - y That includes the common parts,
  - y And enables an experiment to describe those parts with are specific to it.

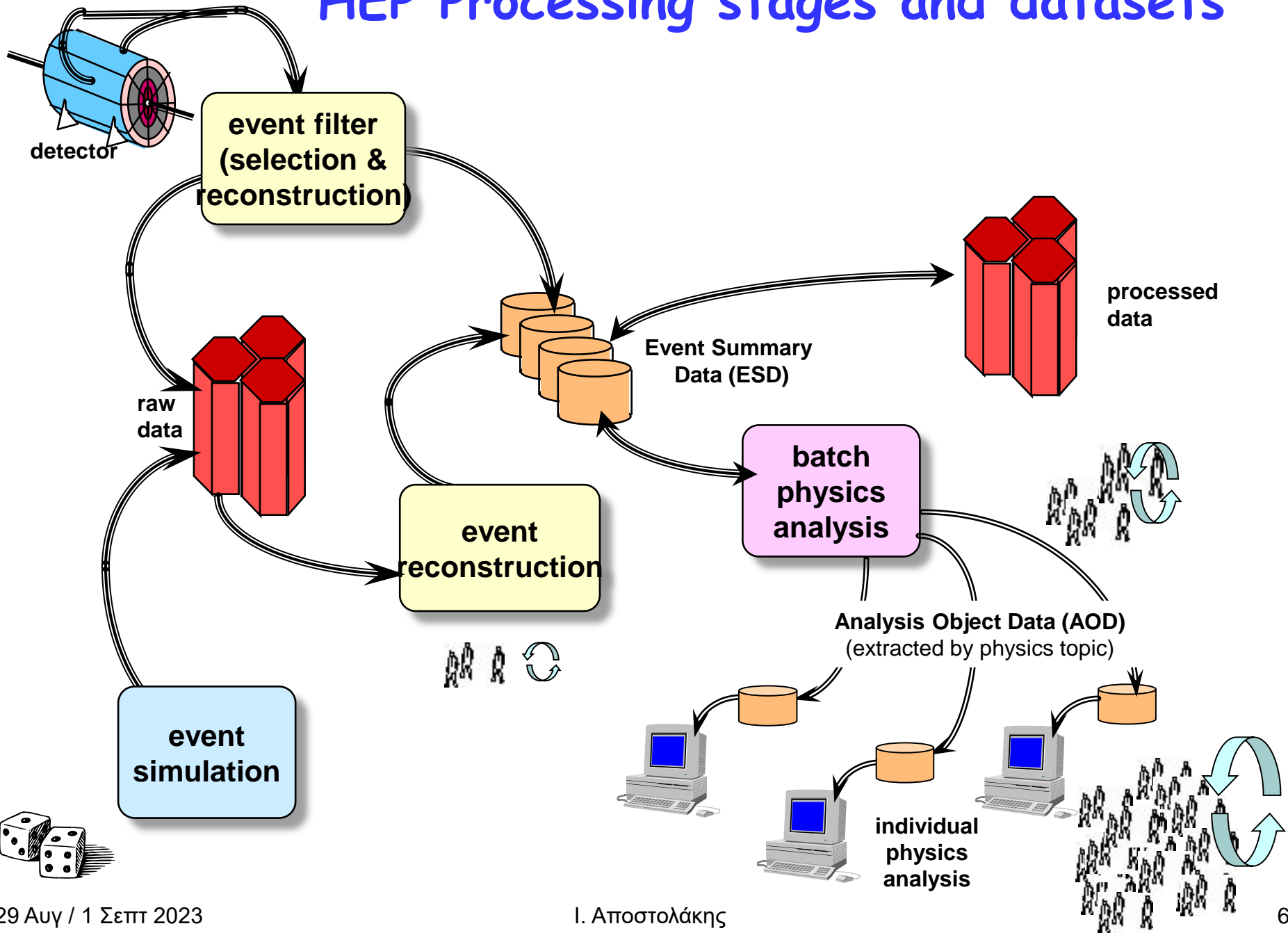
# X-Ray Surveys of Asteroids and Moons



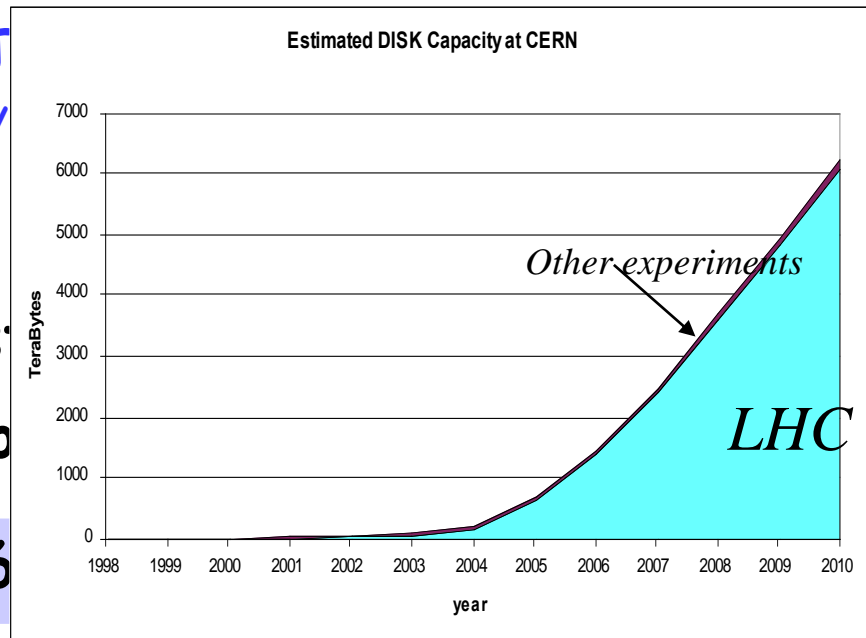
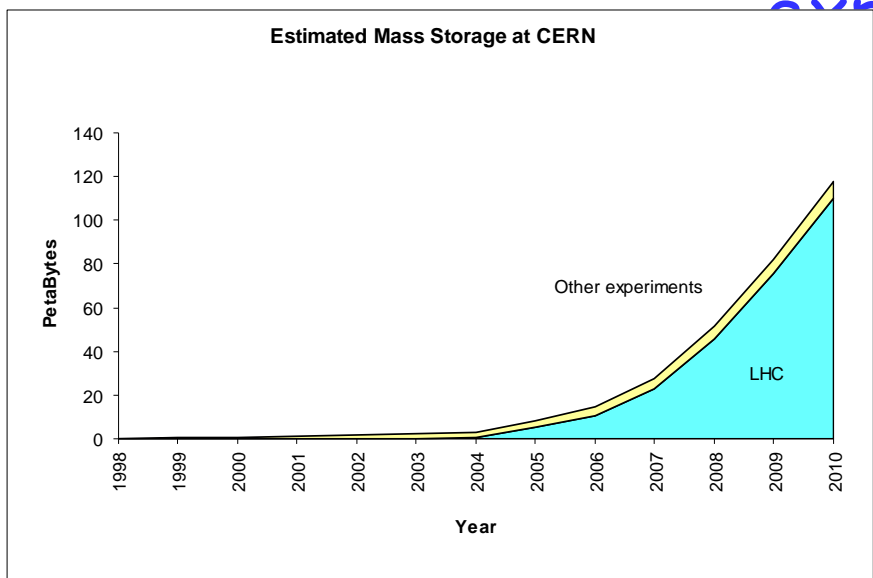
Induced X-ray line emission:  
indicator of target composition  
(~100  $\mu\text{m}$  surface layer)



# HEP Processing stages and datasets



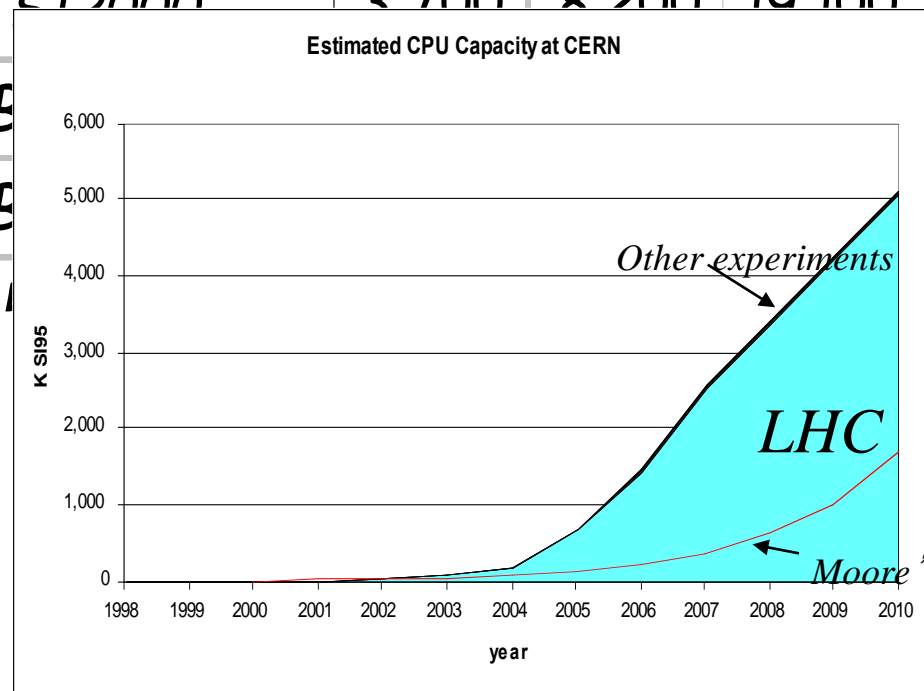
# CERN Centre Capacity Requirements for all



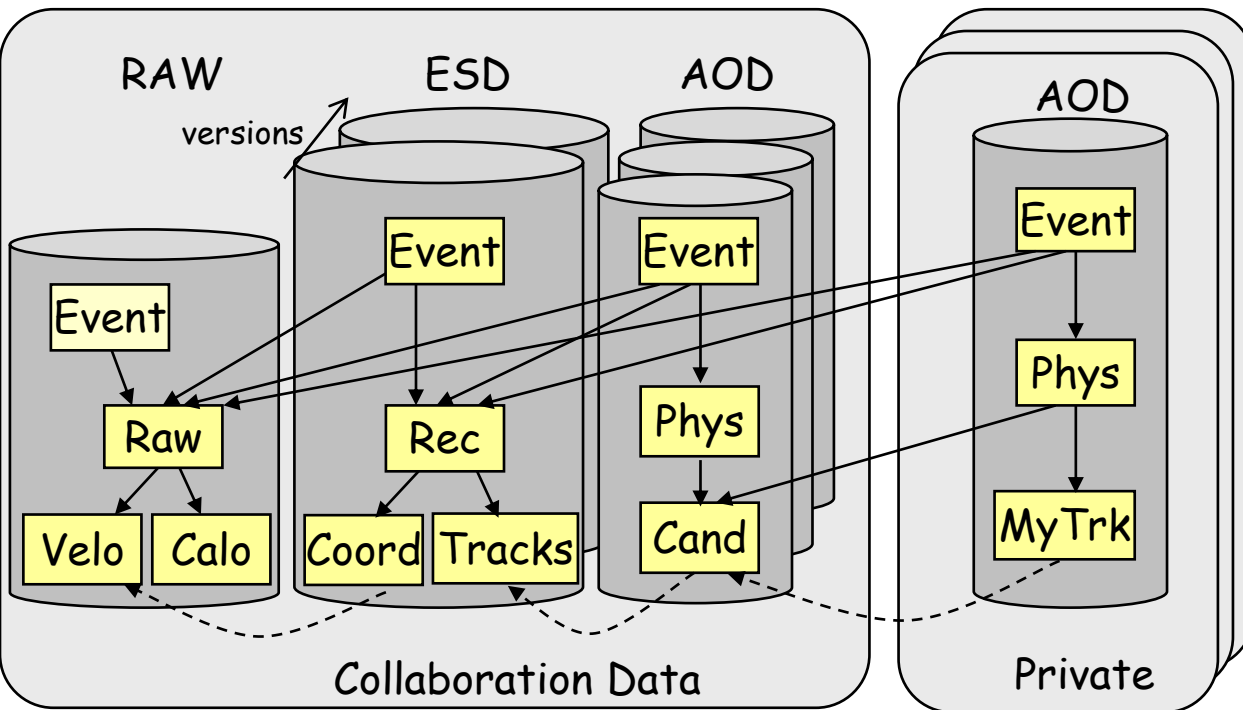
processing	K ST2000
disk	PE
tape media	PE
tape I/O	GI

3 700	8 200	10 100
-------	-------	--------

25,000	34,000
5.0	6.7
36	48
39	39



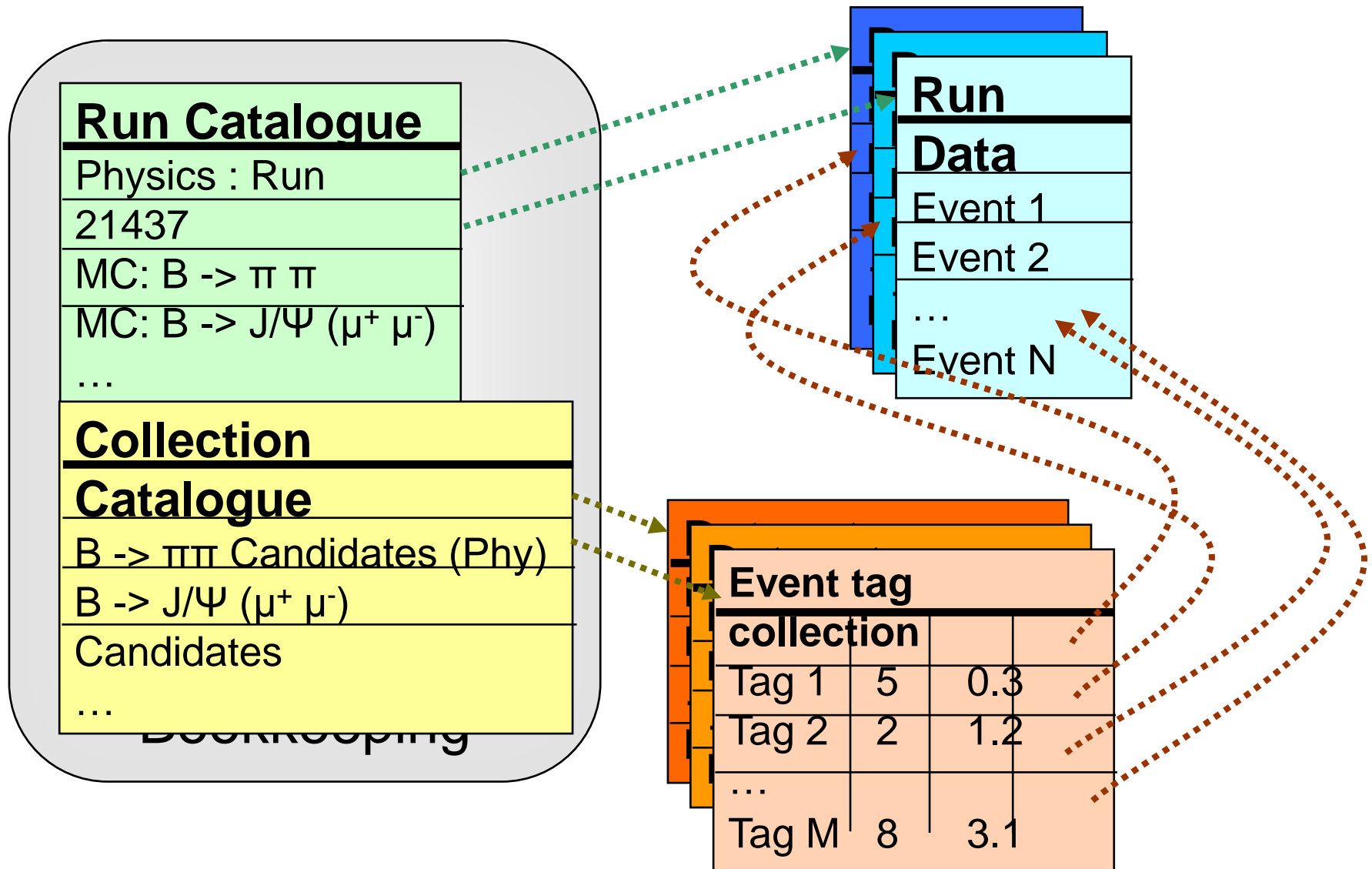
# Event Data



- ❑ Complex data models
  - ~500 structure types
- ❑ References to describe relationships between event objects
  - unidirectional
- ❑ Need to support transparent navigation
- ❑ Need ultimate resolution on selected events
  - need to run specialised algorithms
  - work interactively
- ❑ Not affordable if uncontrolled

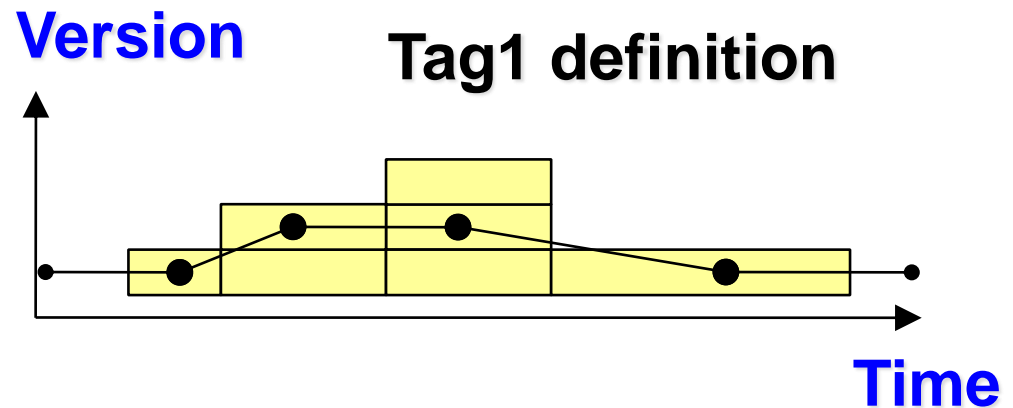
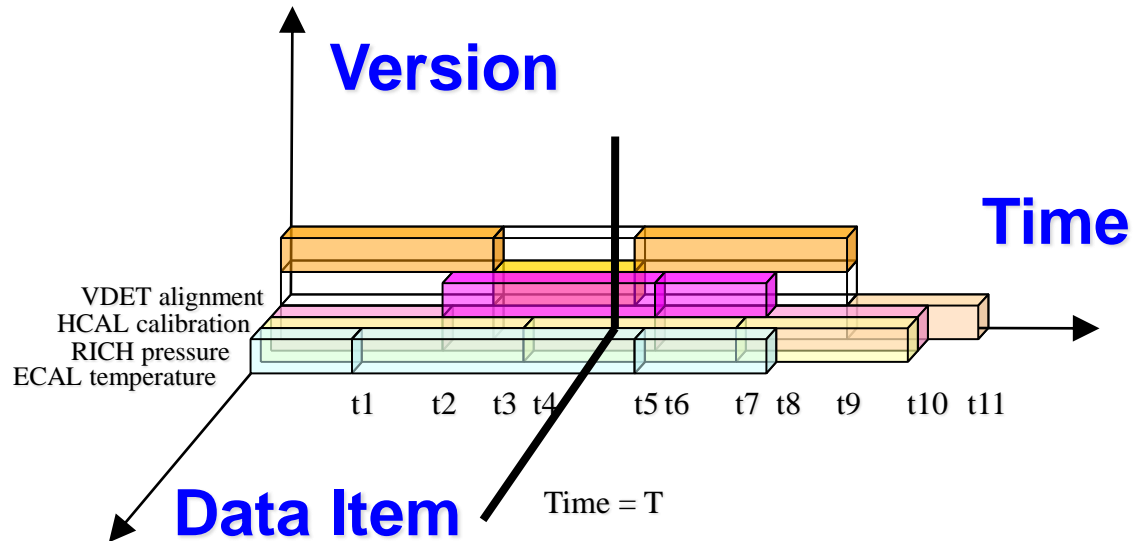


# HEP Metadata - Event Collections

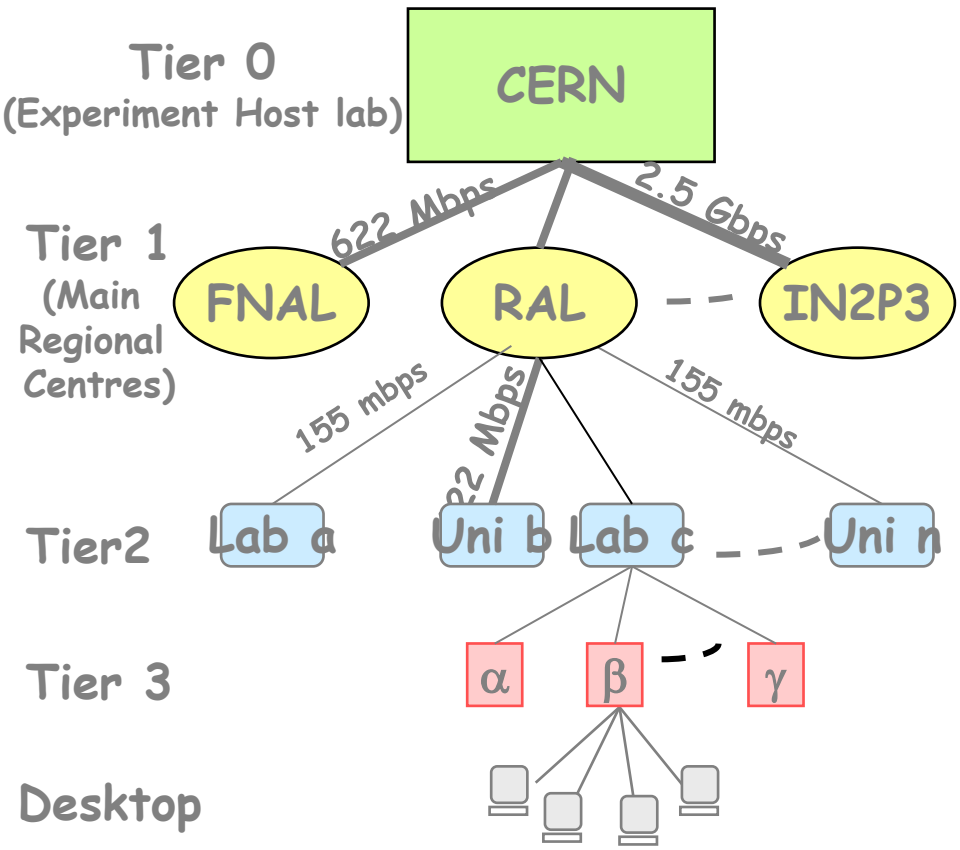


# Detector Conditions Data

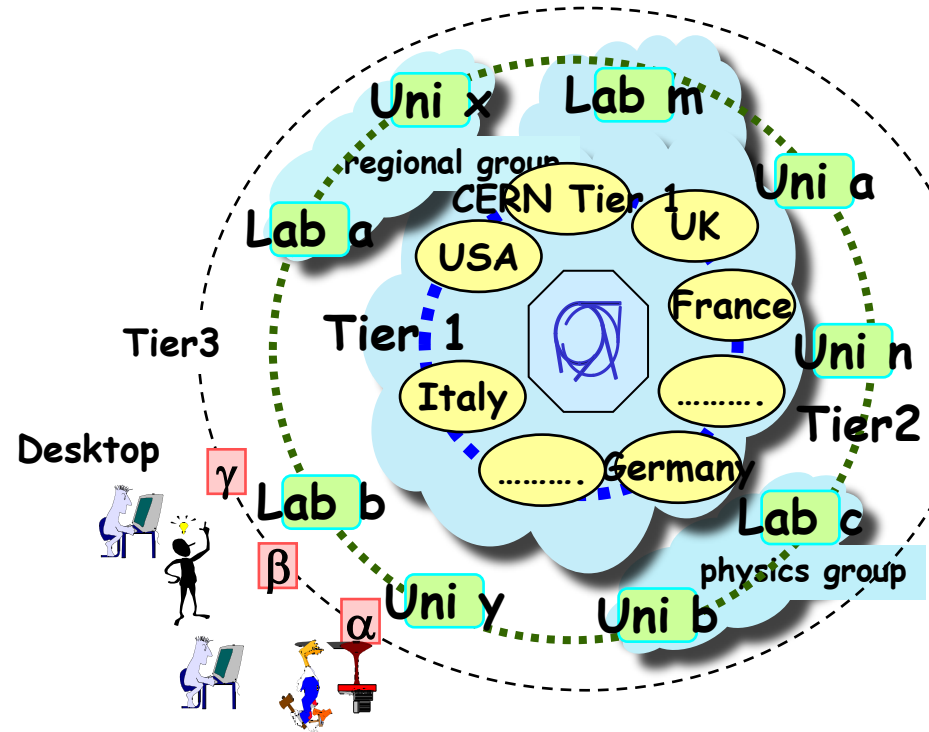
- ❑ Reflects changes in state of the detector with time
- ❑ Event Data cannot be reconstructed or analyzed without it
- ❑ Versioning
- ❑ Tagging
- ❑ Ability to extract slices of data required to run with job
- ❑ Long life-time



# A Multi-Tier Computing Model



Manager View

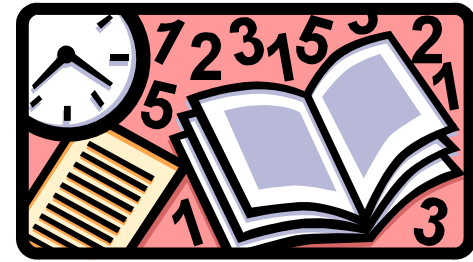


User View

# Distributed Analysis - the real challenge

- ❑ Analysis will be performed with a mix of “official” experiment software and private user code
  - How can we make sure that the user code can execute and provide a correct result wherever it “lands”?
- ❑ Input datasets not necessarily known a-priori
- ❑ Possibly very sparse data access pattern when only a very few events match the query
- ❑ Large number of people submitting jobs concurrently and in an uncoordinated fashion resulting into a chaotic workload
- ❑ Wide range of user expertise
- ❑ Need for interactivity - requirements on system response time rather than throughput
- ❑ Ability to “suspend” an interactive session and resume it later, in a different location
- ❑ Need a continuous dialogue between developers and users

# One area: Tracking



- z What a simulation code needs to do for each step of particle:
  - y Determine the **step length**
    - x Corresponding to the applicable physics processes
    - x Checking if it crosses a geometrical boundary
  - y Model the **final state** of the track,
    - x Advancing it, potentially in an EM field,
    - x Applying the actions of the physics processes,
      - which can create **secondary** particles.
  - y **Deposit** energy in current position ( ‘hit’ ).

# Actions during a Step

## z During each step

- y Each physics process is given the opportunity to limit the step,
  - x as is the geometry module (at a boundary), and
  - x leading to the decision on this step's length.
- y Physics processes are allowed to apply their effect
  - x If they occur along a step ('continuous')
  - x If they caused the 'hard' event that limited the step ('discreet').

# Actions during a Step (cont)

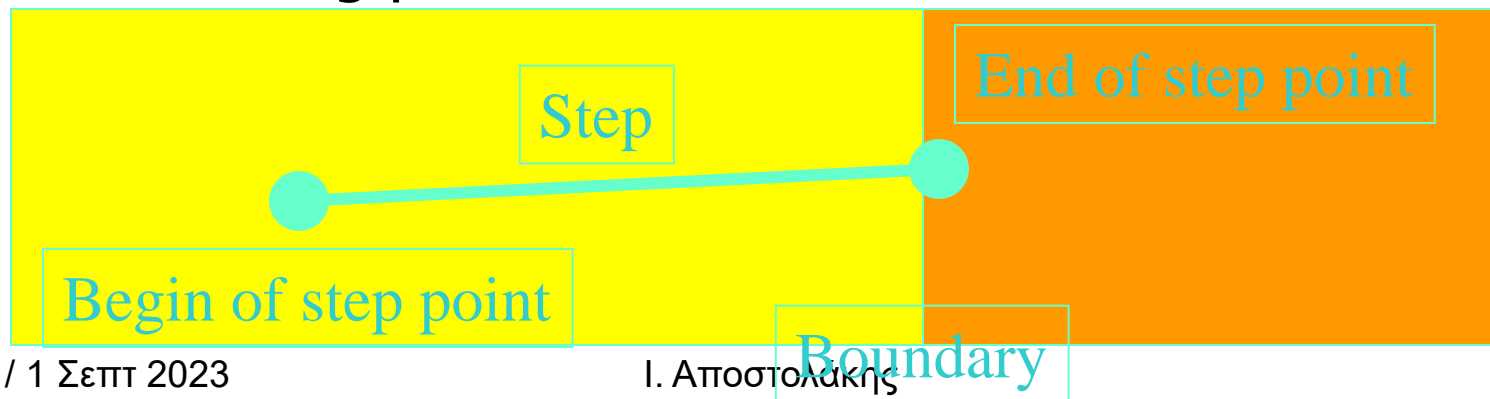
- z During a step (continued)
  - y An (optional) user-written 'action' is called,
    - x Which can be used eg to create histograms or tallies.
  - y If the current volume contains a sensitive detector, that is addressed, allowing it eg
    - x to record the energy deposited,
    - x to record the exact positionin general to create a 'hit' that store all information that is relevant for that detector .

# Actions during a Step (cont)

## z During a step (continued)

- y A parametrisation can be triggered (Geant4)
  - x Taking over from 'detailed' simulation
  - x Generating directly several hits

This application-specific operates instead of 'normal' physics processes until it returns control and/or resulting particles for further 'detailed' simulation.





# GEANT 4



- z Detector simulation **tool-kit** for HEP
  - y offers alternatives, allows for tailoring
- z Software Engineering and OO technology
  - y provide the method for building, maintaining it.
- z **Requirements** from:
  - y LHC
  - y heavy ions, CP violation, cosmic rays
  - y medical and space science applications
- z **World-wide collaboration**