

# Οι Υπολογιστές στη Φυσική Υψηλών Ενέργειων

I. Αποστολακης  
**CERN**

V0.95

**John.Apostolakis@cern.ch**

# Πλano της ομιλιας

## ⌘ Η χρηση των Υπολογιστων

- ☑ Ανακατασκευη (reconstruction)

  - ☒ Αμεσως (online) ή αργοτερα (off-line)

- ☑ Προσομοιωση (simulation)

- ☑ Αναλυση δεδομενων (data analysis)

## ⌘ Μεγεθη και το GRID

- ☑ Υπολογιστικες αναγκες και ... GRID

## ⌘ Ομοιωτητες με αλλες “εφαρμογες”

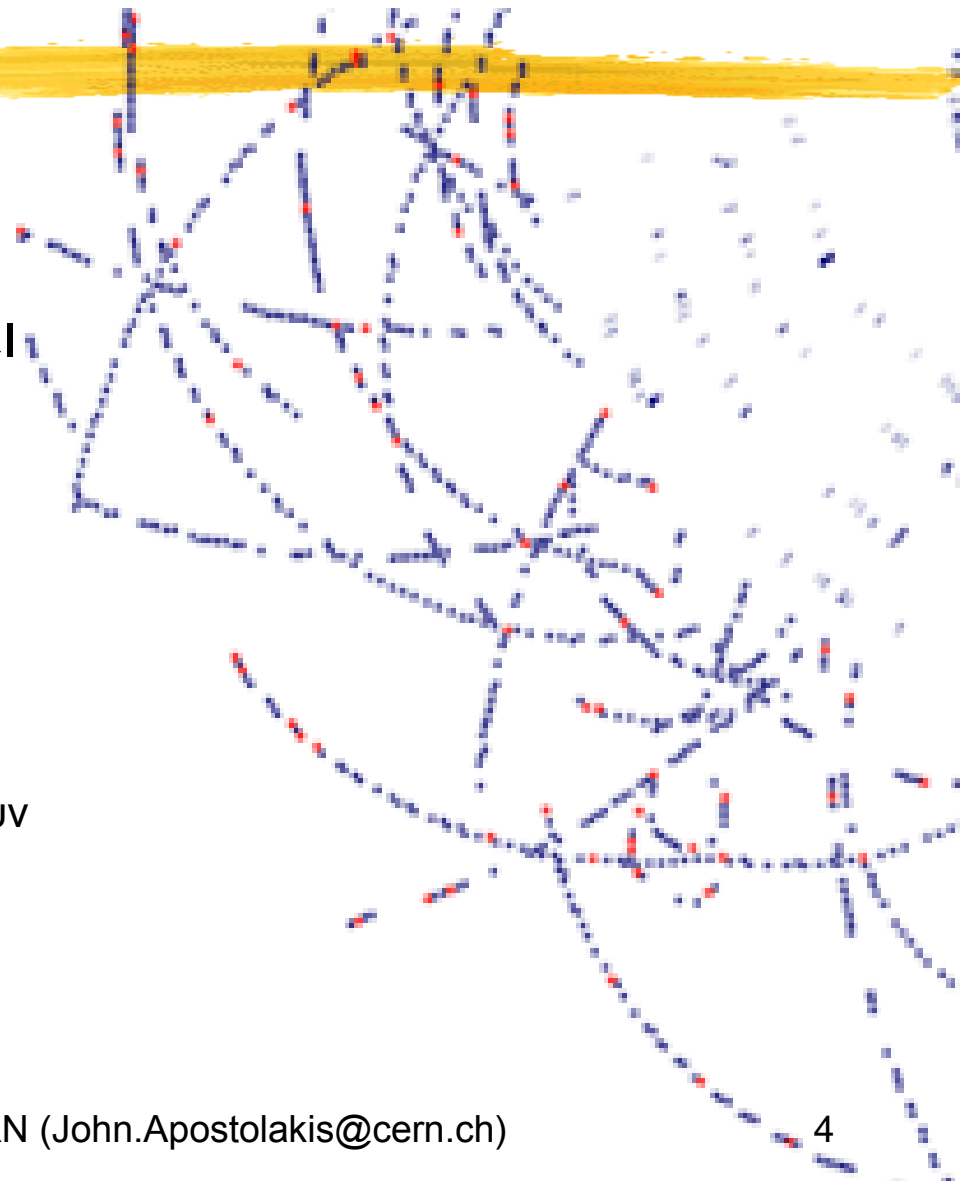
# **Ανακατασκευή**



**Μια γρήγορη εισαγωγή**

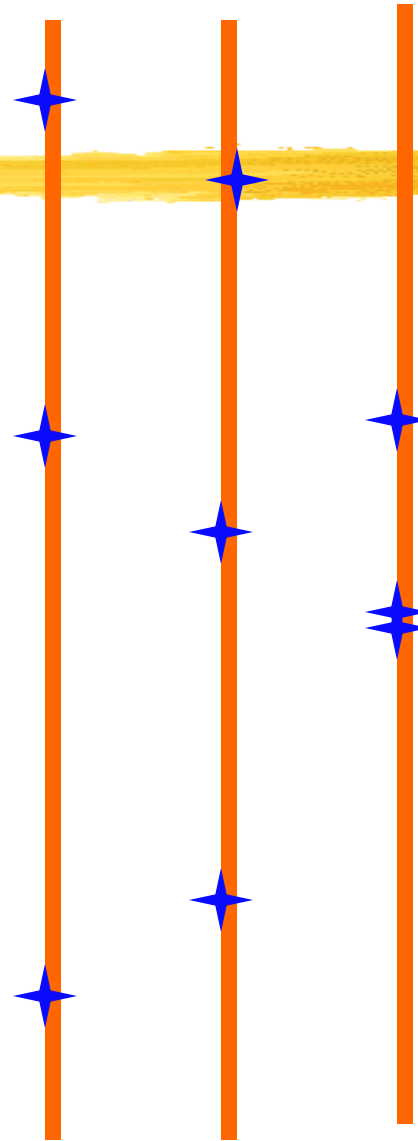
# Τι είναι η ανακατασκευή?

- ⌘ Οι μετρήσεις είναι σαν ένας γρίφος
  - ☑ Τι τροχιές τις προκάλεσαν?
- ⌘ Καθε μετρηση θεσης βοηθαι
  - ☑ Υπαρχουν ομως 100-αδες ως χιλιαδες μετρησεις
- ⌘ Η ανακατασκευη πρεππει να βρει τη **λυση!**
  - ☑ Ξεροντας καλα το μαγνητικο πεδιο
    - ☒ Βρισκουμε ποιες μετρησεις ανοικουν σε ποιες τροχιες



# Ανακατασκευή στην πράξη

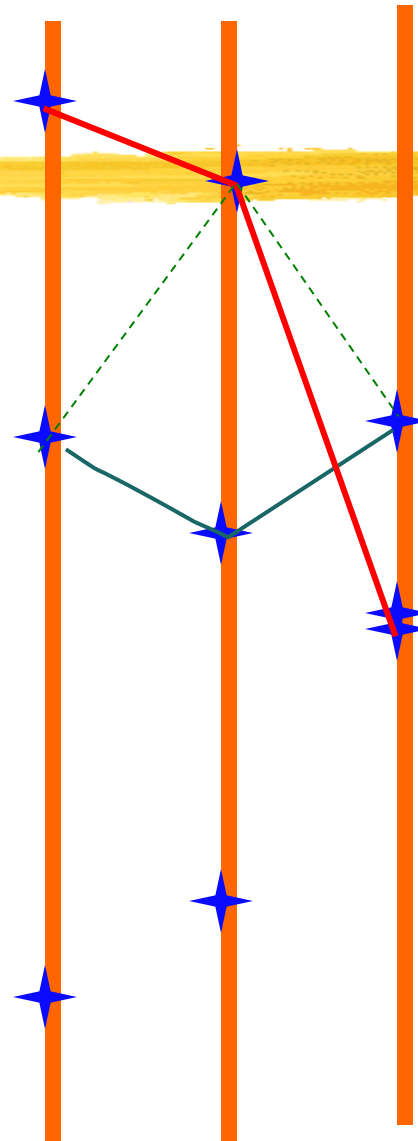
- Αρχίζει με τις θέσεις διαβάσης των σωματιδίων



Μαγνητικό  
Πεδίο  
B  $\otimes$

# Ανακατασκευή στην πράξη

- Αρχίζει με τις θέσεις διαβάσης των σωματιδίων
- Δωκιμάζονται διαφοροί συνδιασμοί
  - και υπολογίζεται η διαφορά μετρήσης-προβλεψής
  - Και έτσι πιθανότητα του καθε συνδιασμου
- 



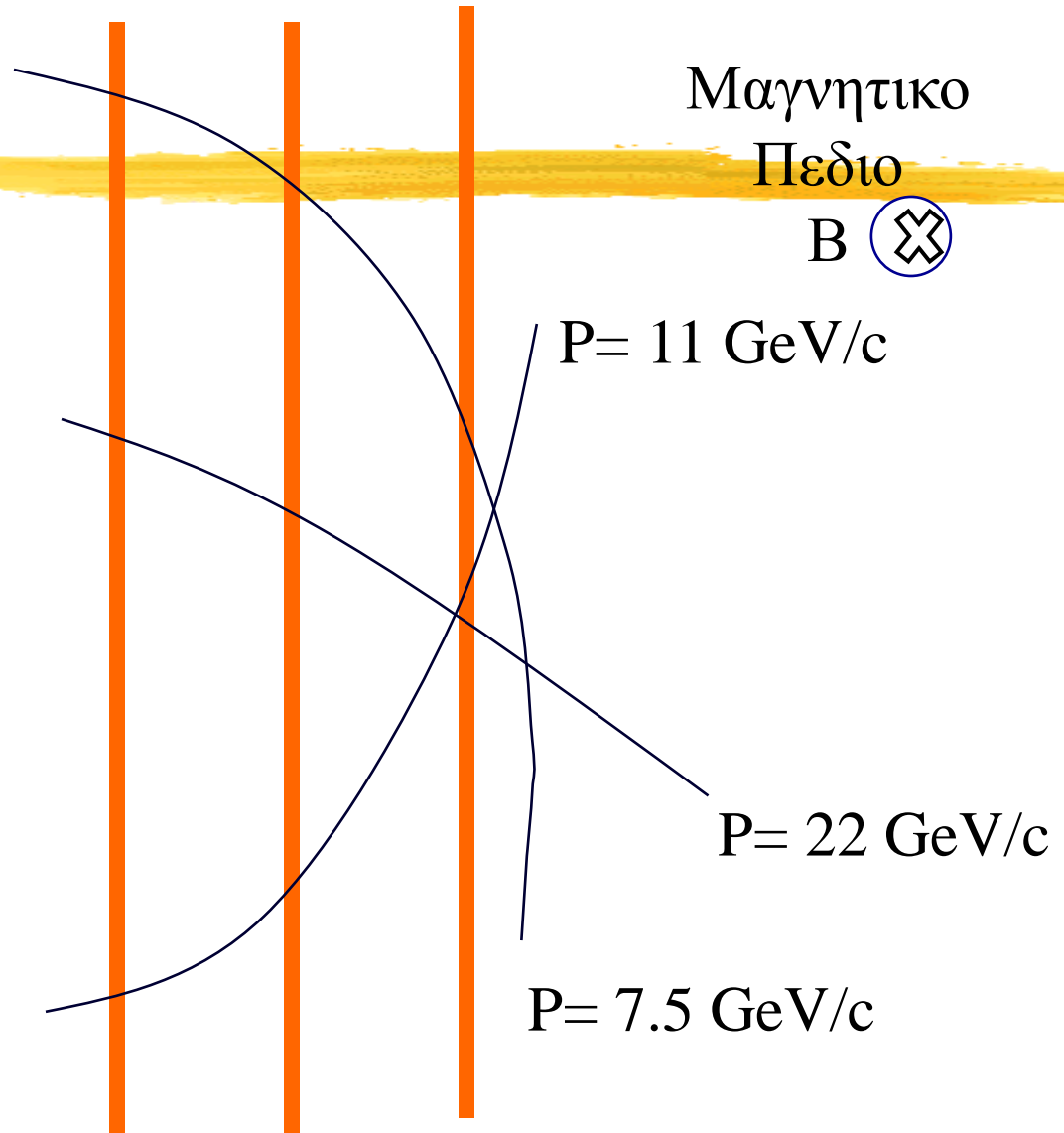
Μαγνητικό  
Πεδίο  
B



Αλγοριθμοί  
Φίλτρο Καλμαν  
(Kalman filter)

# Ανακατασκευή: αποτέλεσμα

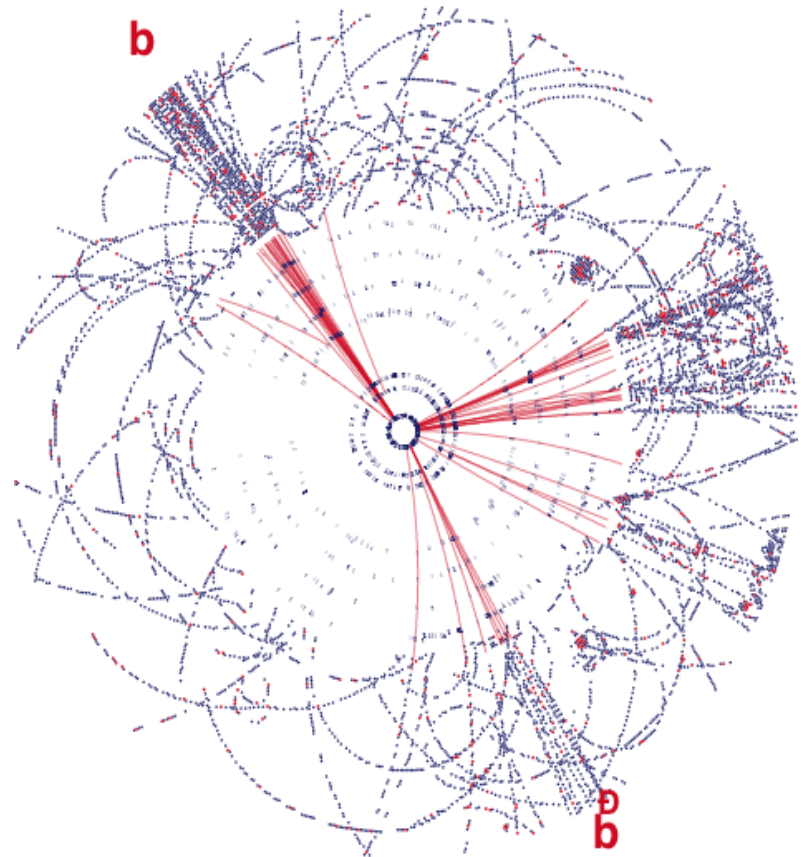
- Αρχίζει με τις θέσεις διαβάσης των σωματιδίων
- Δωκιμαζονται διαφοροι συνδιασμοι
  - και υπολογιζεται η διαφορα μετρησης-προβλεψης
  - Και ετσι πιθανοτητα του καθε συνδιασμου
- Τελικα εχουν βρεθει ολες οι τροχιες
  - ή «στα γρηγορα» αυτες με μεγαλη ορμη- οι κυριες τροχιες



# Atlas : Physics Signatures and Event Rates

- ❑ Οι δεσμες θα διασταυρονονται με ρυθμο 40 MHz
- ❑  $\sigma_{inelastic} = 80 \text{ mb}$ 
  - Σε καθε περασμα πολλες συγκρουσεις (μεση τιμη  $\sim 25$ )
  - $10^9$  συγκρουσεις το δευτερολεπτο
- ❑ Διαφορετικοι στοχοι, ο καθενας με τη δικια του «υπογραφη»
  - Το Χιγκς (Higgs) μεσονιο
  - Υπερσυμμετρια (Supersymmetry)
  - Το αγνωστο
  - Οι συμμετριες στα B μεσονια
- ❑ Τα ενδιαφεροντα συμβαντα ειναι καρφιτσες στα αχυρα σε ενα χωριο γιοματο σταβλους ( $\sim 1$  in  $10^5 - 10^9$ )

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





# Προσομοίωση και Ανιχνευτές



Τι είναι η προσομοίωση

Γιατί υπάρχει

Πώς γίνεται

# Οι σημερινοι ανιχνευτες

## ⌘ Πολλα τμηματα

- ☒ Διαφορετικες αναγκες

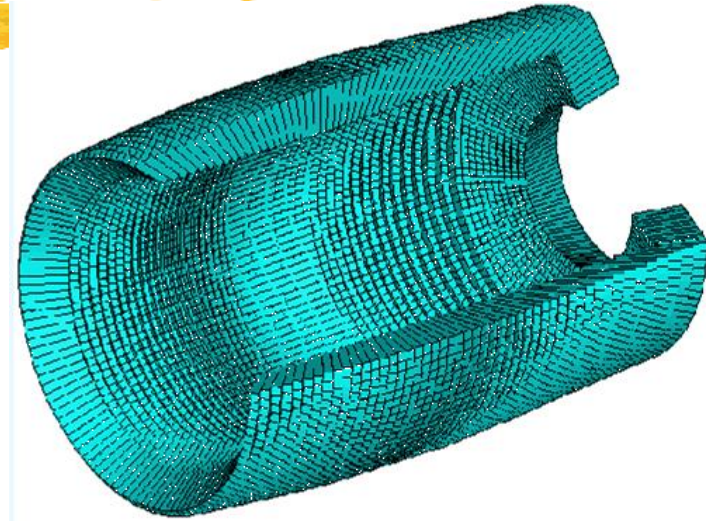
  - ☒ Μετρηση θεσης (τρακερ - trackers)

  - ☒ Μετρηση ενεργειας (θερμιδομετρα)

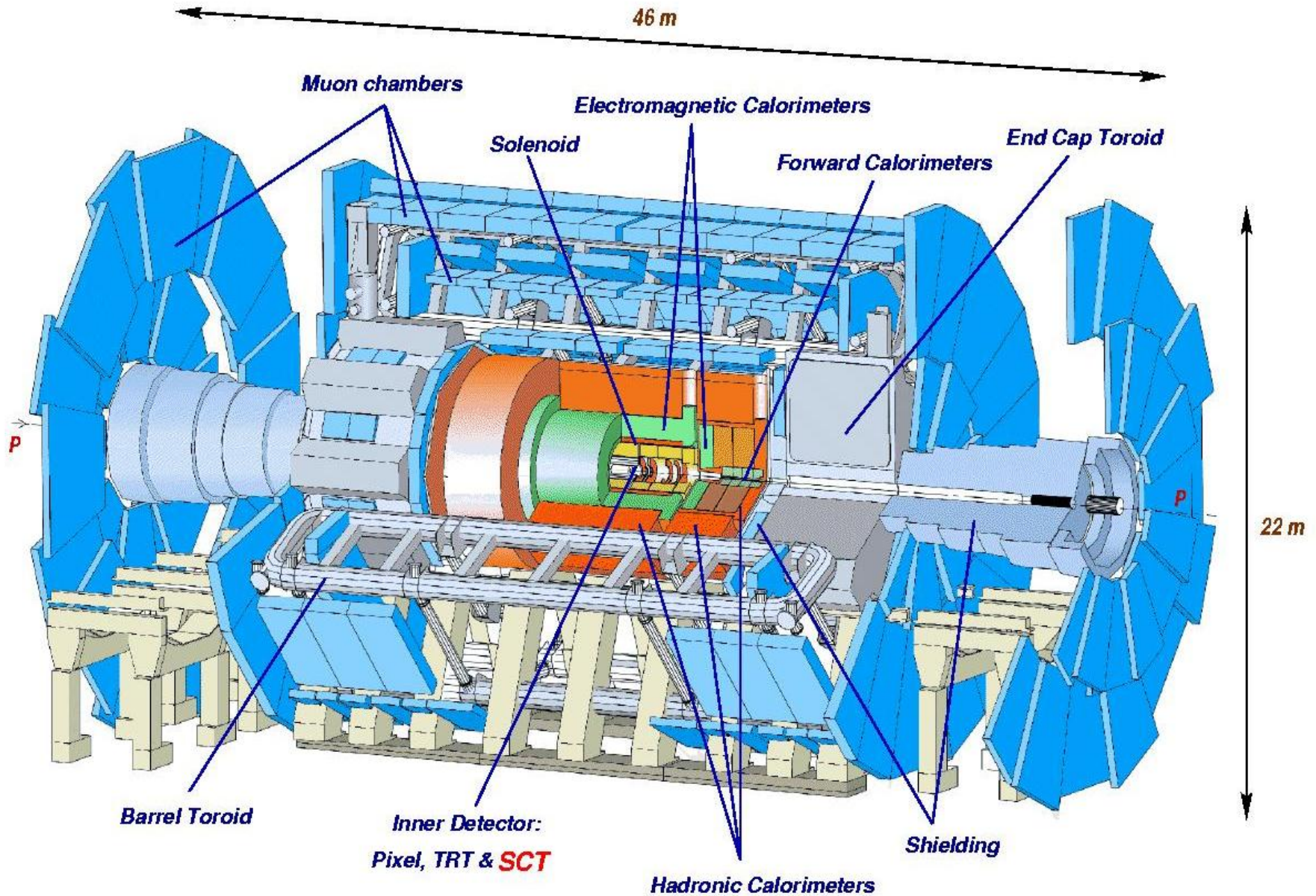
## ⌘ Λογω της πολυ-πλοκοτητας

- ☒ οι πιο πολλες μελετες

  - χρειαζονται πολλα υπολογιστικα εργαλεια



# Οι ανιχνευτές του ΑΤΛΑΣ



# Τι είναι προσομοίωση?

⌘ Φτιαχνουμε μοντελα

☑ Του ανιχνευτη

☒ Γεωμετρια

☒ Υλικα

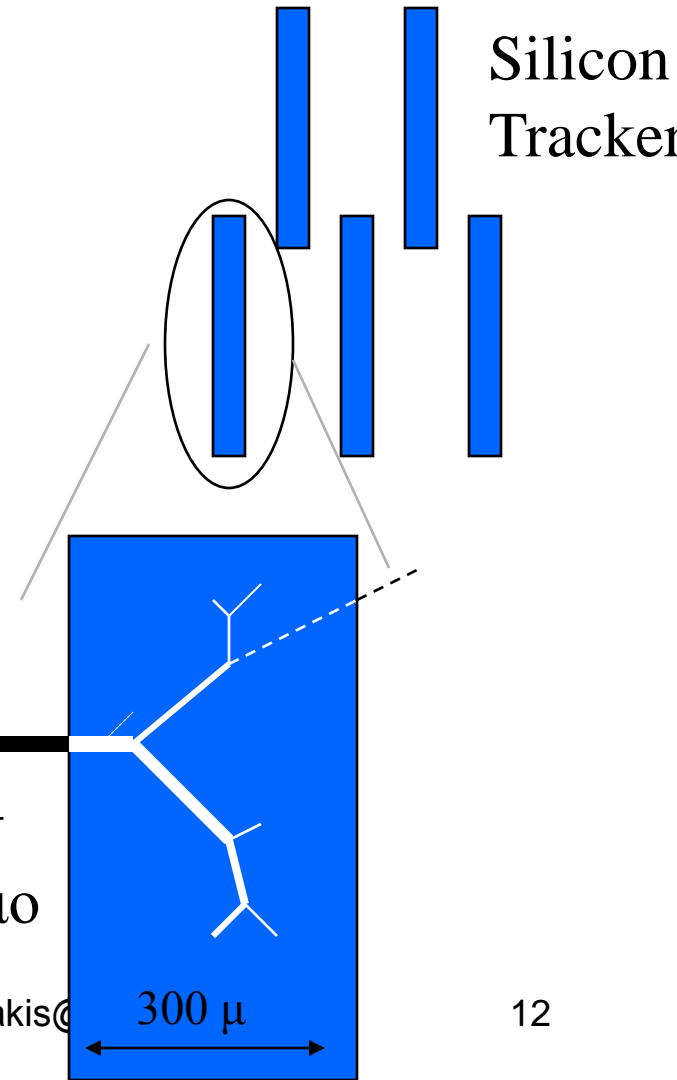
☑ Των αλληλεπιδρασεων

☒ Καθε γνωστου τυπου

- Ηλεκτρομαγνητικου
- Υσχηρου πυρηνικου

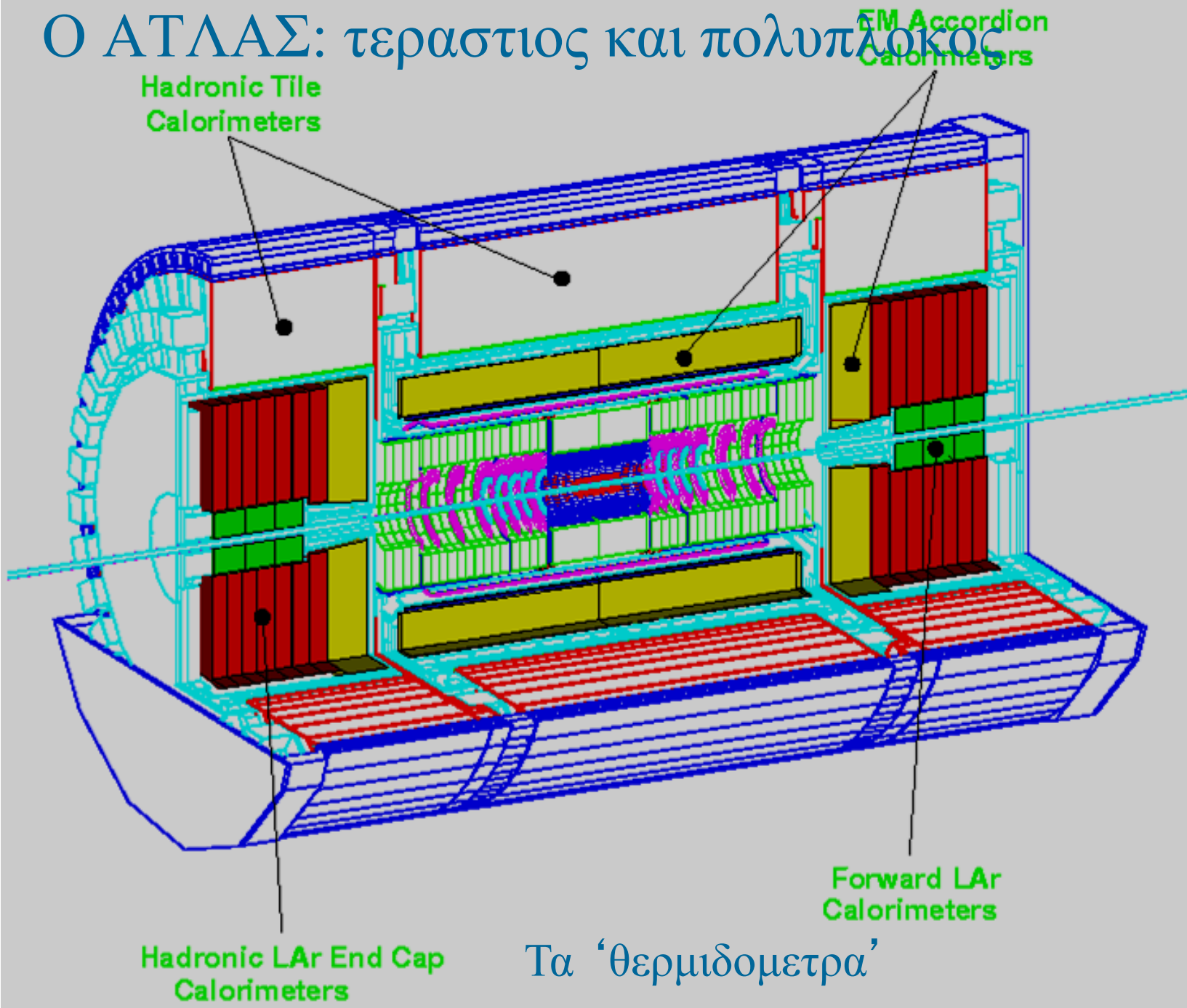
$$\sigma_{\text{συνολο}} = \sum \sigma_{\text{φαινομενου}}$$

2.5 MeV e<sup>-</sup>  
ηλεκτρονιο





# Ο ΑΤΛΑΣ: τεραστιος και πολυπλοκος



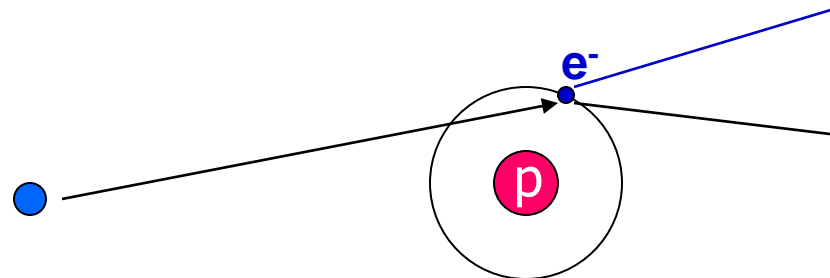
Τα 'θερμιδομετρα'

# Βασικές Αλληλεπιδρασεις

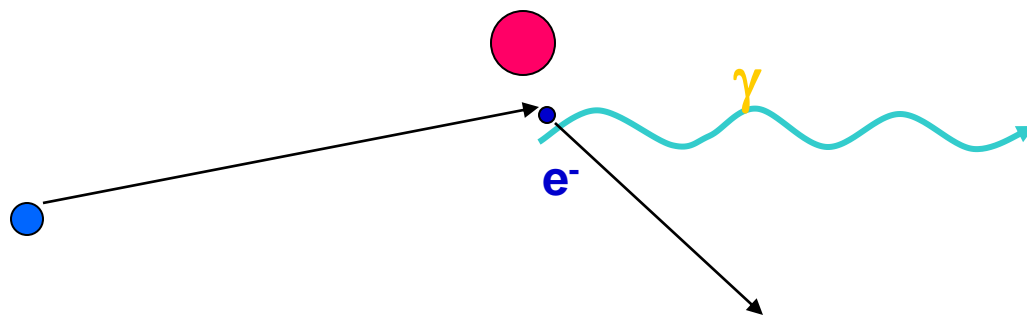
⌘ Οι διαφορες αλληλεπίδρασης του σωματιδίου με το υλικό (τμήμα του ανιχνευτή η αλλο)

☑ παραγωγή δευτερευοντος σωματιδιου

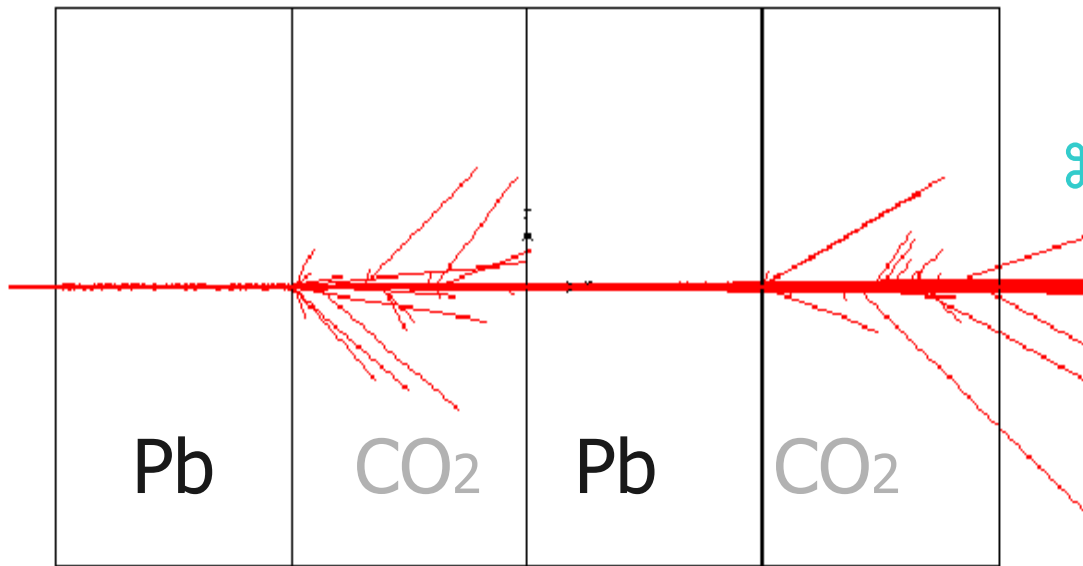
☒ Ιοντισμός



☒ Bremsstrahlung

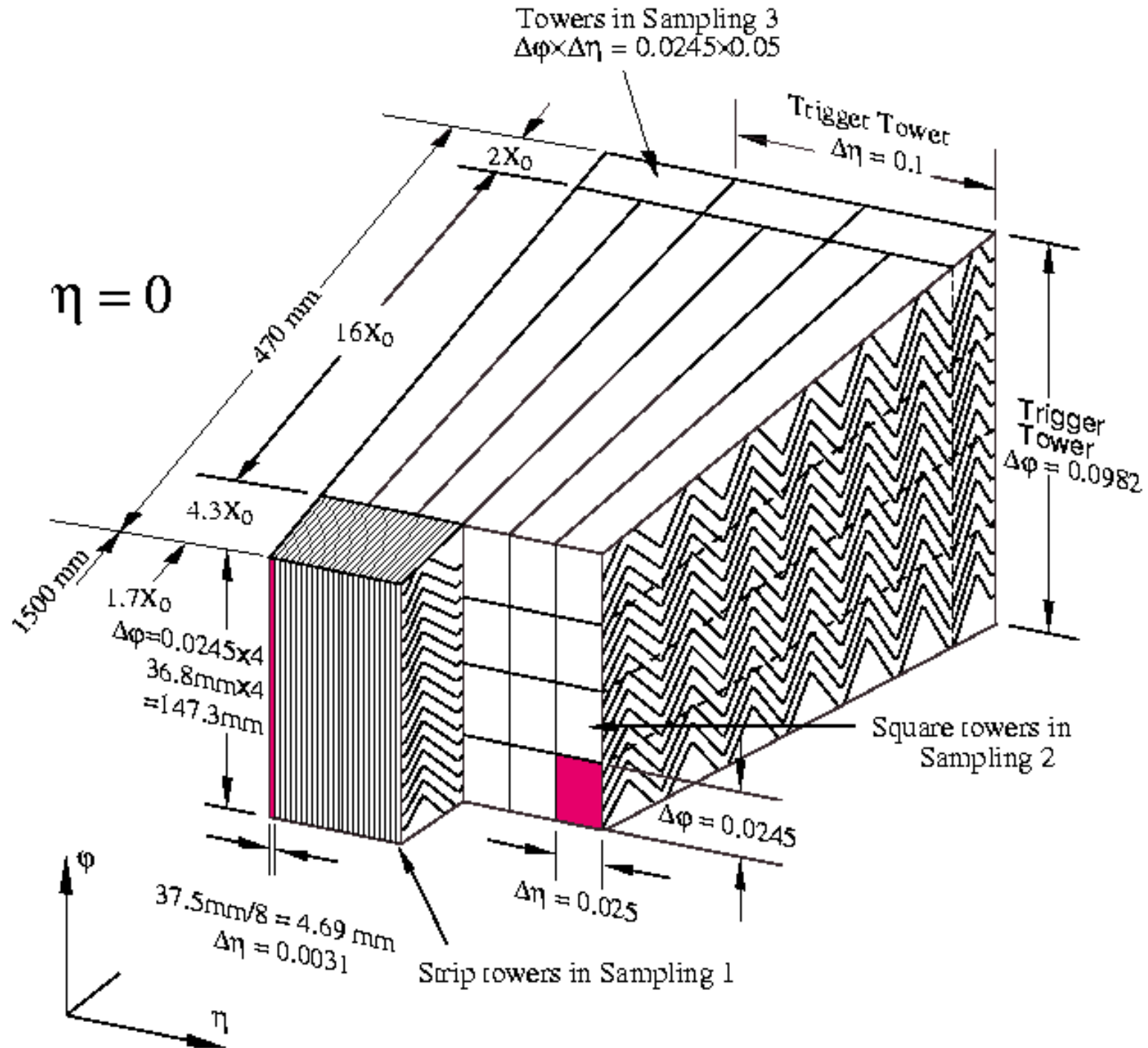


# Ενα απλο παραδειγμα

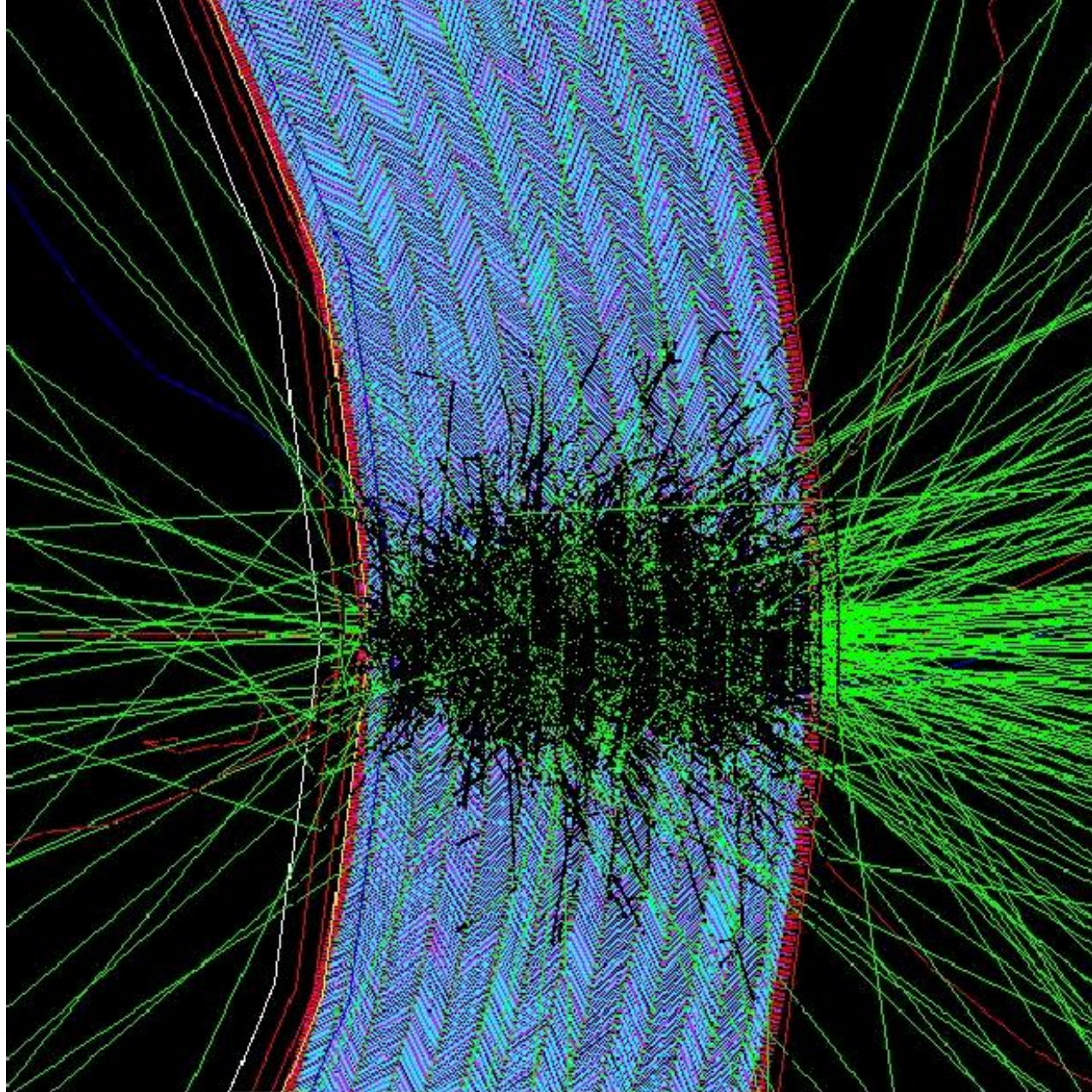


- ⌘ Στο μολυβδο παραγονται πιο πολλα δευτερευοντα σωματιδια,
  - ☒ αλλα δεν πανε μακρια
- ⌘ Το διοξειδιο του ανθρακα, σαν αεριο, εχει μικρη πυκνοτητα
  - ☒ Οσα σωματιδια φτανουν η παραγωνται, πανε μακρια
  - ☒ Παραγονται λιγοτερα

## GEANT 3







# Γιατι προσομοιωση ?



⌘ Για να σχεδιασουμε  
τους ανιχνευτες

⌘ Για να ετοιμασουμε  
τις μεθοδους  
ανακατασκευης

⌘ Για να καταλαβου-με  
τον ανιχνευτη

# Υπαρχει απλη λυση ?

⌘ Αρκει η μεση τιμη της αποθεσης ενεργειας (π.χ.)  
?

☑ Για μερικες απλες ερευνες, Ναι

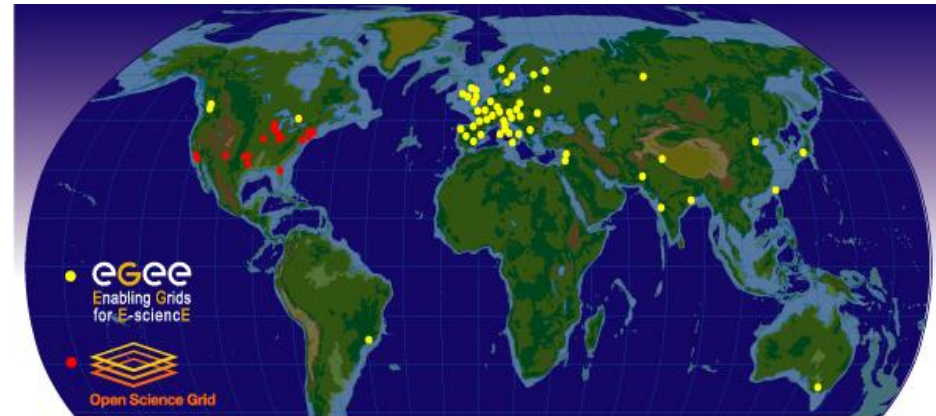
☑ Για πολλες (τις περισσοτερες) χρειαζεται ολη η εικονα

☒ Υπαρχει κατανομή τιμων

- Που δεν ειναι παντα συμμετρικη η απλη
- Οι ουρες των κατανομων μπορουν να παιξουν μεγαλο ρολο

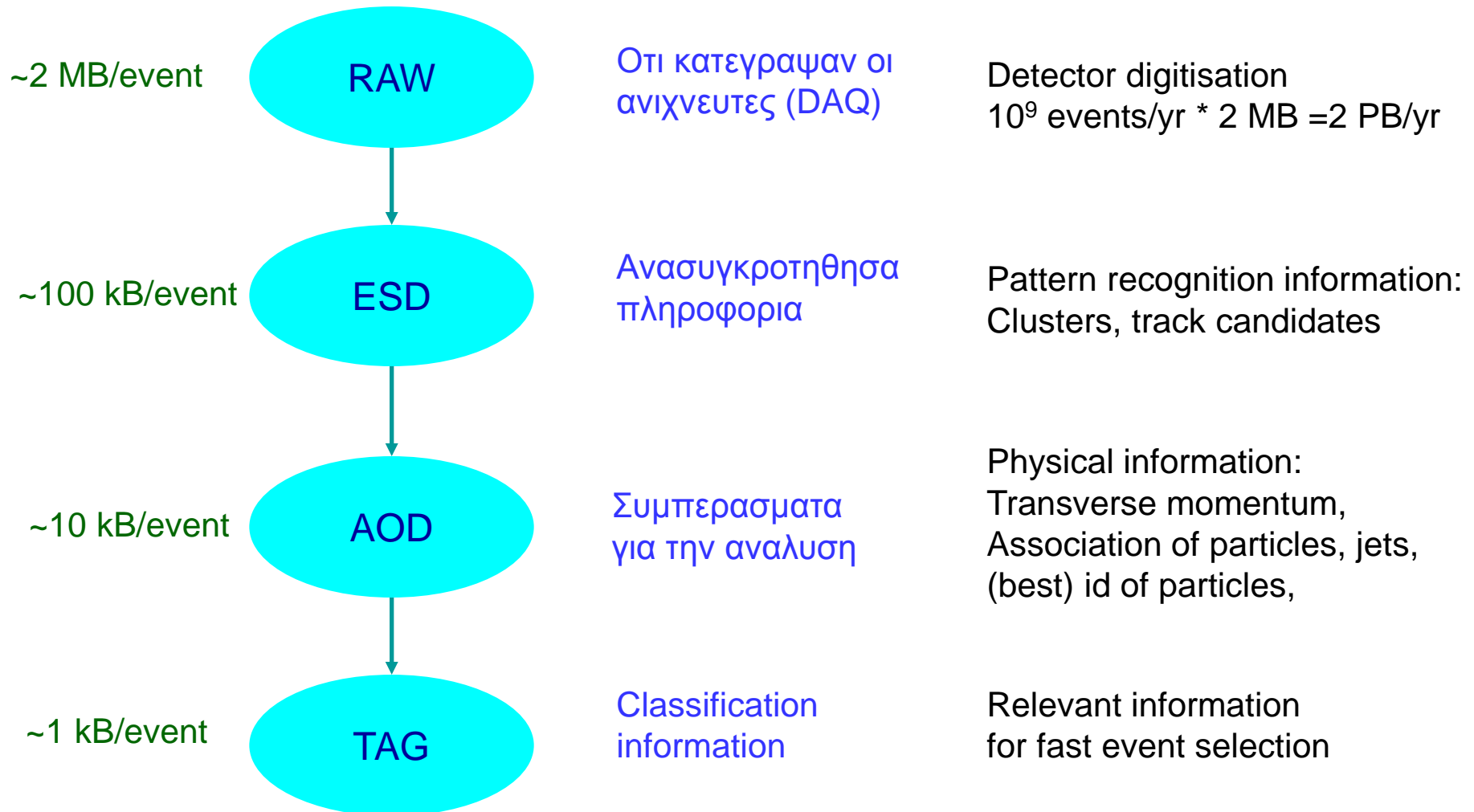
⌘ Με ποιο σφαλμα ξερετε την ταδε ενεργεια?

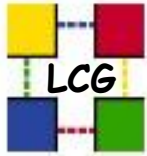
# Αναλυση δεδομενων





# Ιεραρχία Δεδομένων (Data)





# Distribution of Computing Services

## Summary of Con

All experiments - 2008

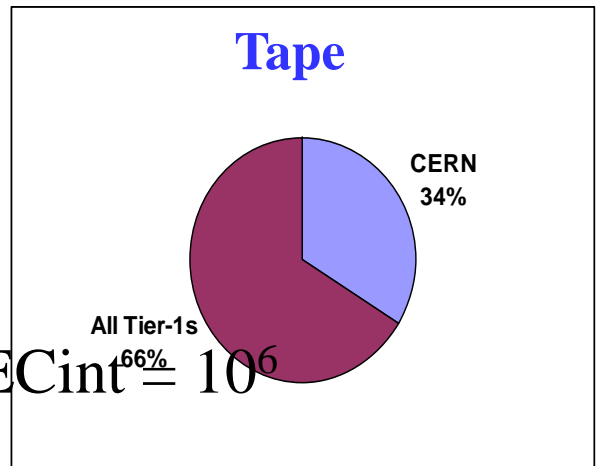
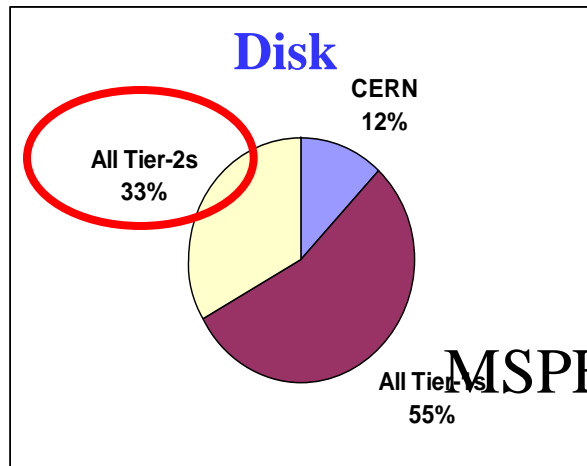
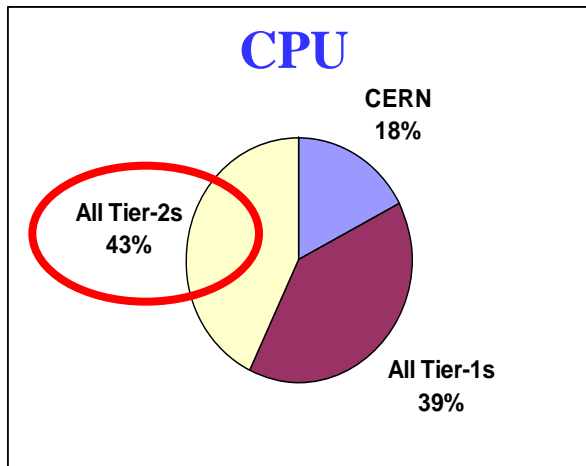
From LCG TDR - June 2008

Τα νέα δεδομένα θα  
μεγαλώνουν 15 PetaBytes

καθε χρόνο – με δυο αντιγραφα

Περίπου 100,000  
'πυρήνες' cores

	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



MSPECint = 106

Μεγαλο ποσοστο των υπολογιστων και  
δισκων ειναι διαδεδομενα

σε 120 υπολογιστικα κεντρα



# Λυση : το Πλεγμα (Grid)

- Χρησιμοποιούμε το Πλεγμα να ενώσουμε τους υπολογιστικούς πόρους των ινστιτουτων ανά τον κόσμο

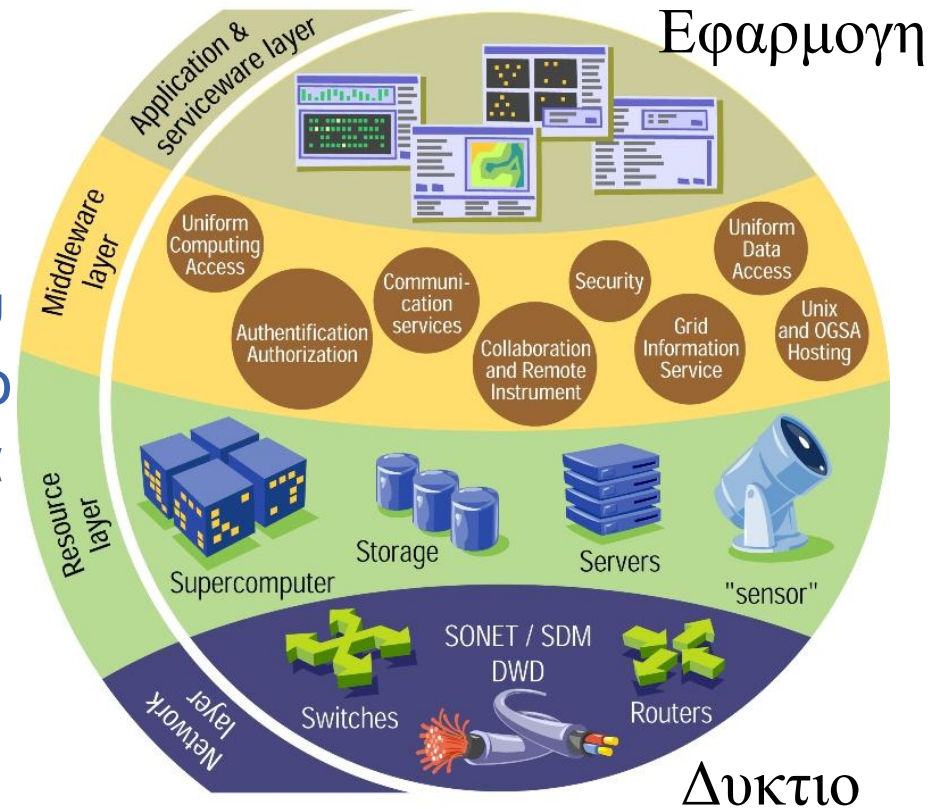
Το World Wide Web παρέχει απλη πρόσβαση σε πληροφορίες που είναι αποθηκευμένες σε πολλά εκατομμύρια διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες

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



# Πως δουλεει το Πλεγμα (Grid)

- Βασίζεται σε ειδικευμενο λογισμικο, το λεγομενο **μεσο-λογισμικο** (middleware).
- Η ιδεα του Middleware ειναι να βρει αυτοματα τα **στοιχεια** που χρειαζεται ο/η ερευνητης, και το **υπολογιστικο δυναμικο** να τα επεξεργαστει.
- Middleware εξισοροπει το φορτιο σε διαφορους πορους και εγκαταστασεις. Χειριζεται επισης **ασφαλεια**, λογιστικη, επιτηρηση και πολλα αλλα.

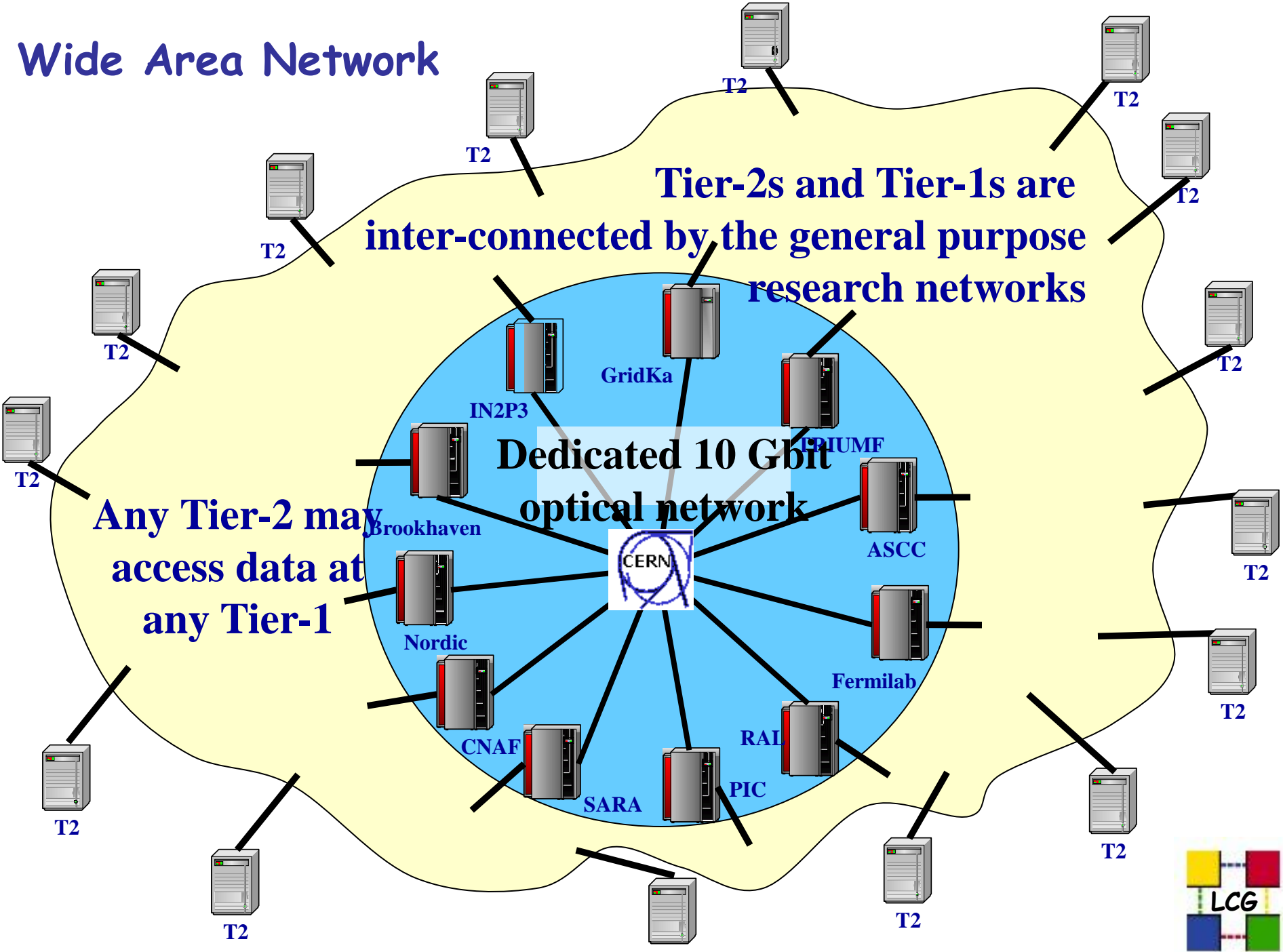




- Περισσότερες απο 20 εφαρμογες σε 7 τομείς
  - Φυσικη Υψηλων Ενεργειων (Pilot domain)
    - 4 LHC experiments, DESY, Fermilab
  - Βιοϊατρικη (Pilot domain)
    - Βιοπληροφορικη (Bioinformatics)
    - Ιατρικη απεικόνιση (Medical imaging)
  - Γεωεπιστημες
    - Γεω-επισκόπηση
    - Φυσικη Στερεας Γης? (Solid Earth Physics)
    - Υδρολογία
    - Κλίμα
  - Υπολογιστικη Χημεία
  - Fusion
  - Αστρονομία
    - Cosmic microwave background
    - Gamma ray astronomy
  - Γεωφυσικη
    - Industrial applications

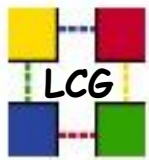


# Wide Area Network



# Οι φυσικοί προγραμματίζουν

- ⌘ Όλη η ανάλυση μετρήσεων γίνεται με υπολογιστές
- ⌘ Οι φυσικοί ΥΕ χρησιμοποιούν ειδικευμένα προγράμματα
  - ☑ Μερικοί γράφουν μεγάλες ρουτίνες (routines/Fortran, methods/C++)
  - ☑ Οι πιο πολλοί κάνουν μικρές ρουτίνες, για τις δικές τους ανάγκες
- ⌘ Όλοι θα χρησιμοποιούσα τα ‘εργαλεία’ να δουν τις περιληψεις των μετρήσεων



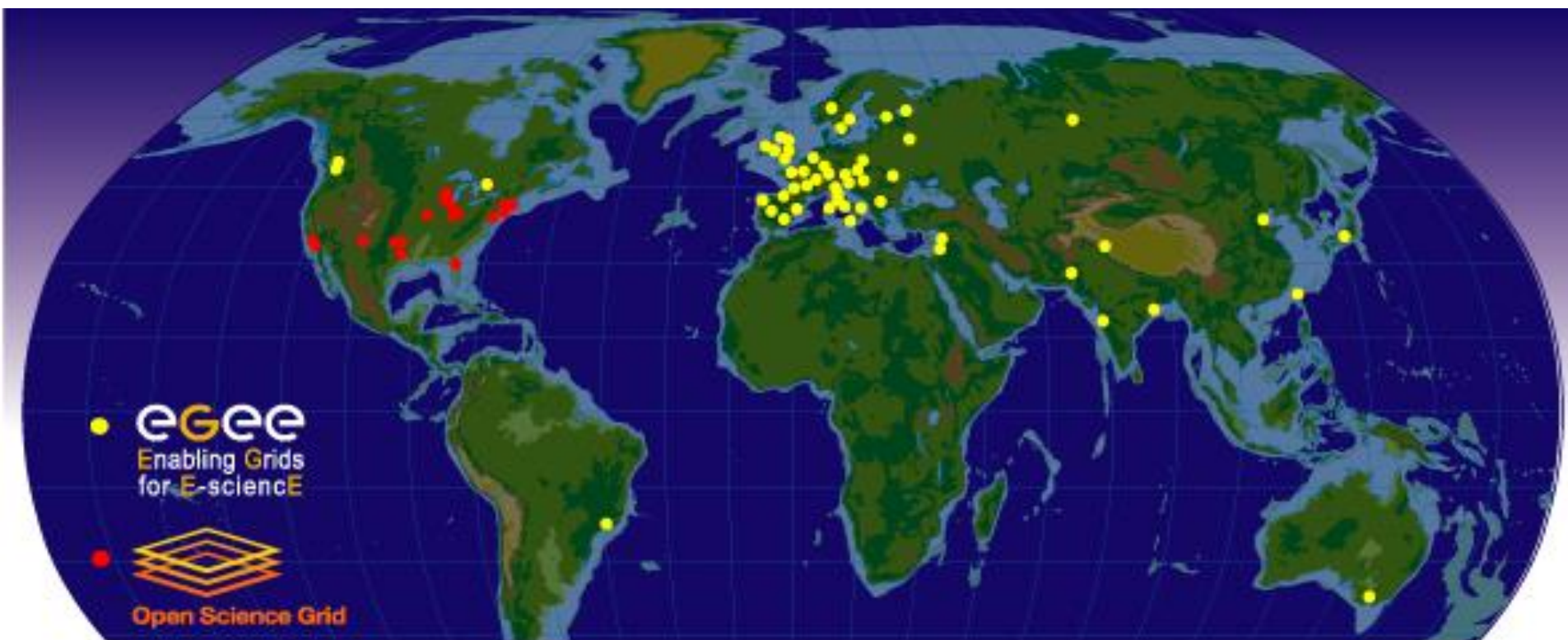
# Backup



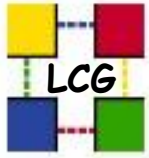
# LCG depends on two major science grid infrastructures ...

**EGEE** - Enabling Grids for E-Science

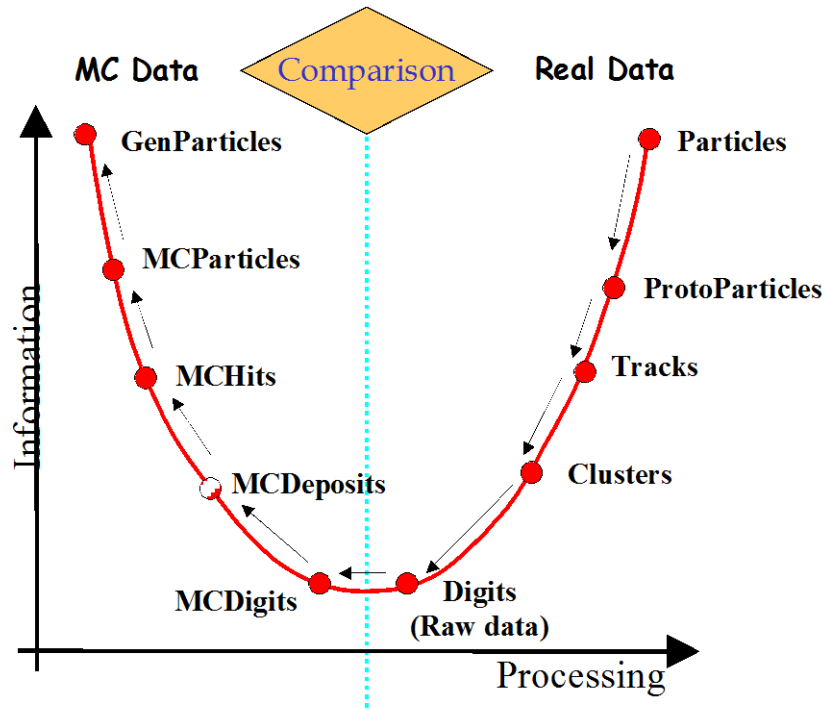
**OSG** - US Open Science Grid



*A map of the worldwide LCG infrastructure operated by EGEE and OSG.*



# Data Organisation



# **Backup**

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

**More on simulation**

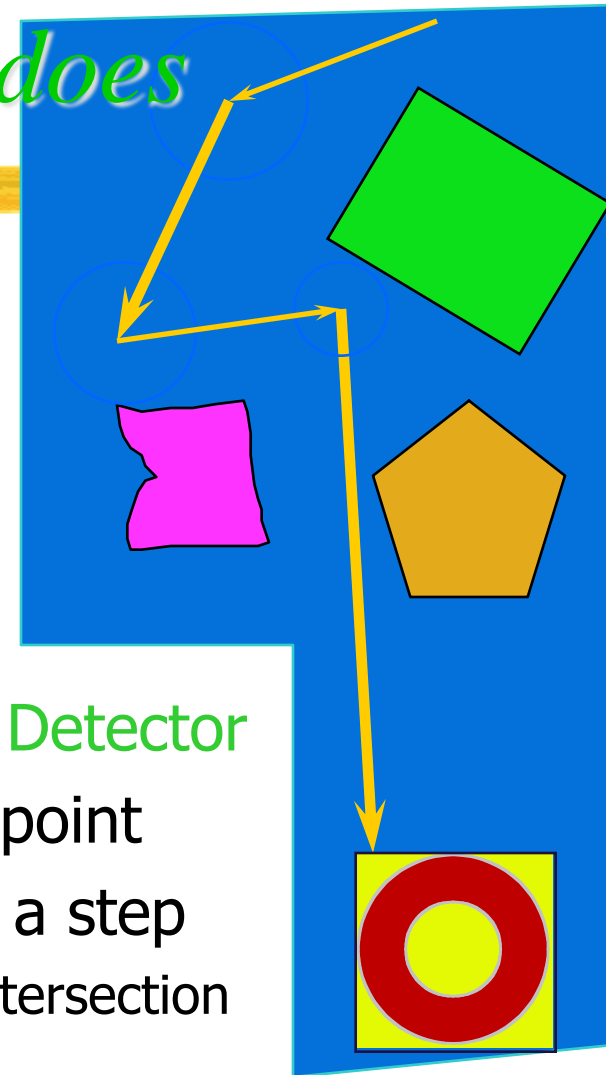
# Geant4 geometry: what it does

## Describes a Detector

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

## Navigates in Detector

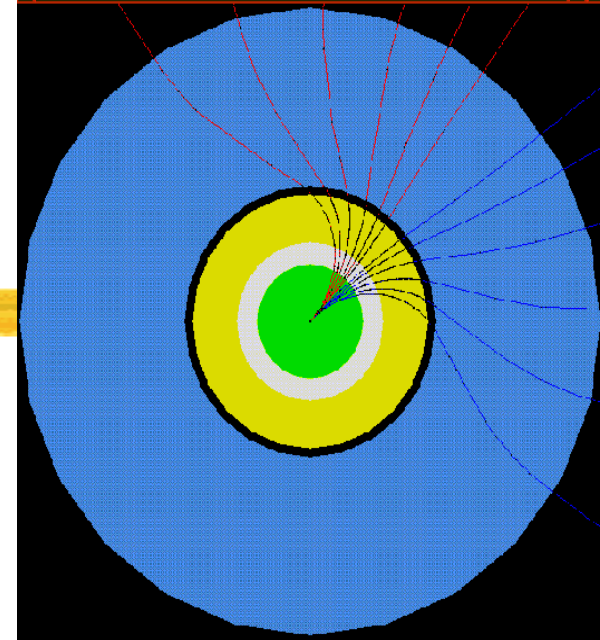
- ⌘ Locates a point
- ⌘ Computes a step
  - ☑ Linear intersection





# Propagating in a field

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



⌘ It is possible to tailor

- ⊞ the accuracy of the splitting of the curve into linear segments,
- ⊞ the accuracy in intersecting each volume boundaries.

⌘ These can be set now to different values for a single volume or for a hierarchy.

# Electromagnetic physics

## ⌘ Gammas:

- ☒ Gamma-conversion, Compton scattering, Photo-electric effect

## ⌘ Leptons( $e$ , $\mu$ ), charged hadrons, ions

- ☒ Energy loss (Ionisation, Bremsstrahlung) or PAI model energy loss, Multiple scattering, Transition radiation, Synchrotron radiation,

## ⌘ Photons:

- ☒ Cerenkov, Rayleigh, Reflection, Refraction, Absorption, Scintillation

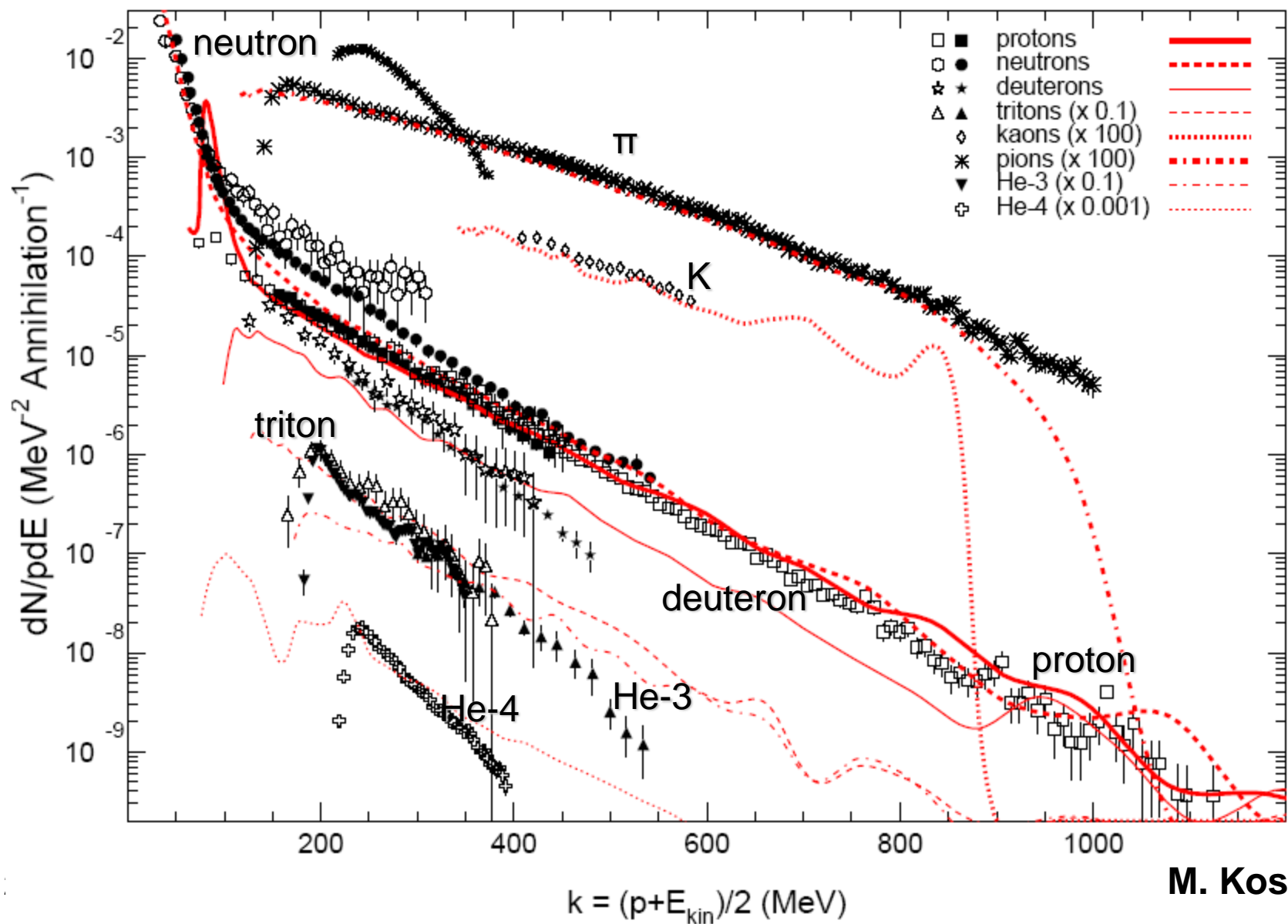
## ⌘ High energy muons and lepton-hadron interactions

## ⌘ Alternative implementation (“low energy”)

- ☒ for applications that need to go below 1 KeV

# Antiproton annihilation - CHIPS Model

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

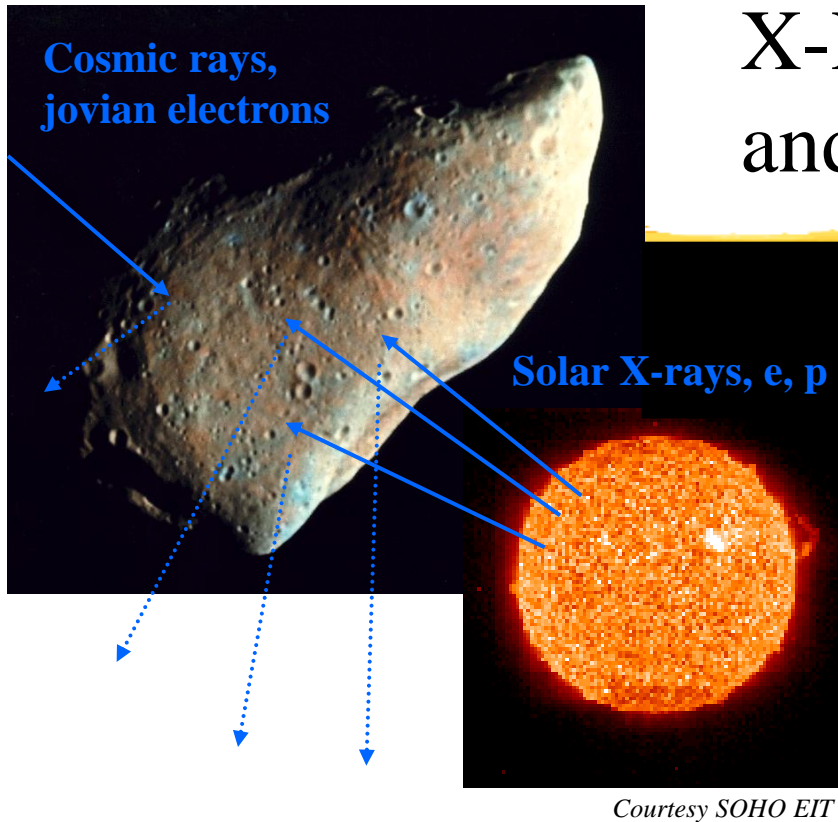


# Simulation ‘packages’

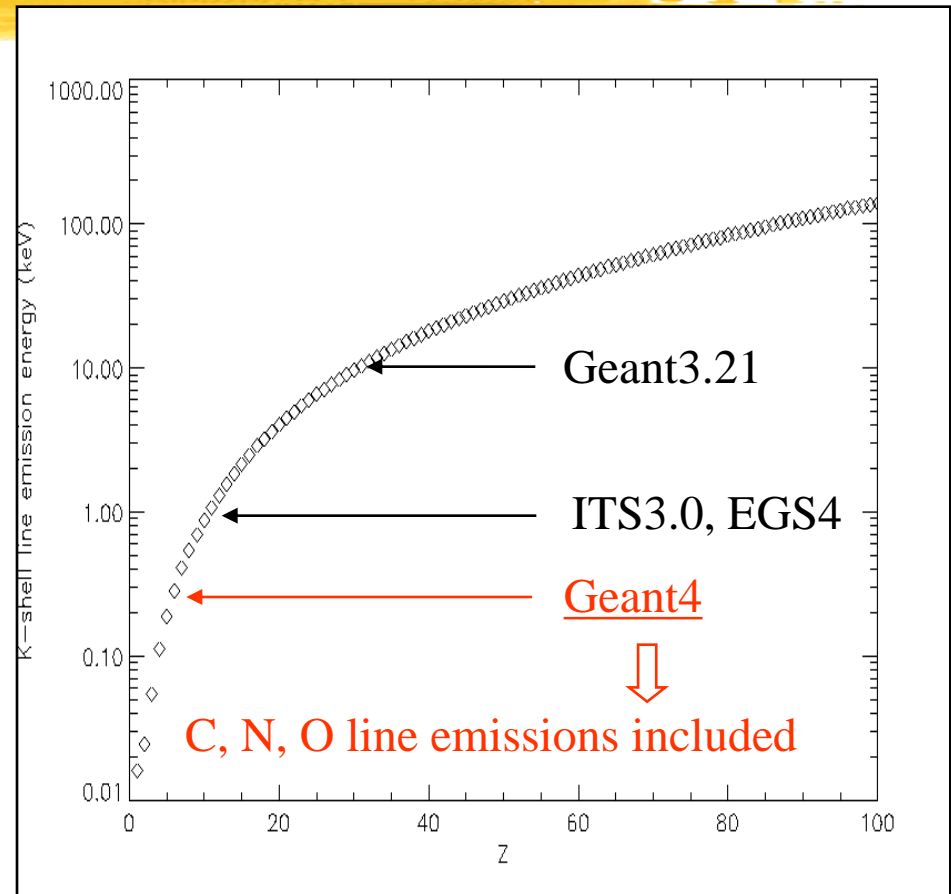


- ⌘ Provides the means to simulate
  - ☑ the **physical processes** and
  - ☑ **detector response** of an experiment.
- ⌘ As was realised by many in the past,
  - ☑ **most of the parts** needed can be **common** between experiments (eg physics, geometry blocks) .
- ⌘ So it makes eminent sense to create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

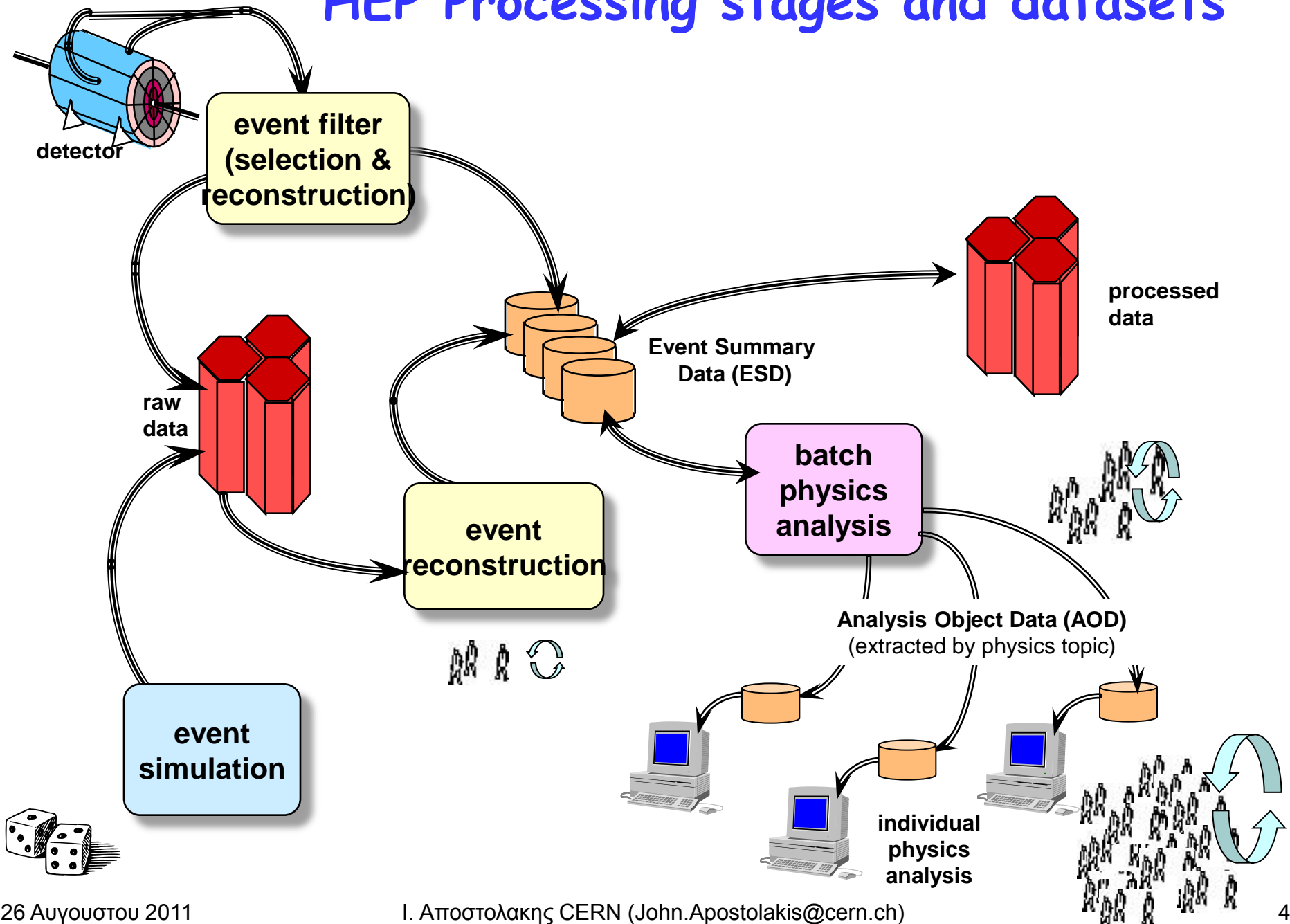
# X-Ray Surveys of Asteroids and Moons



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

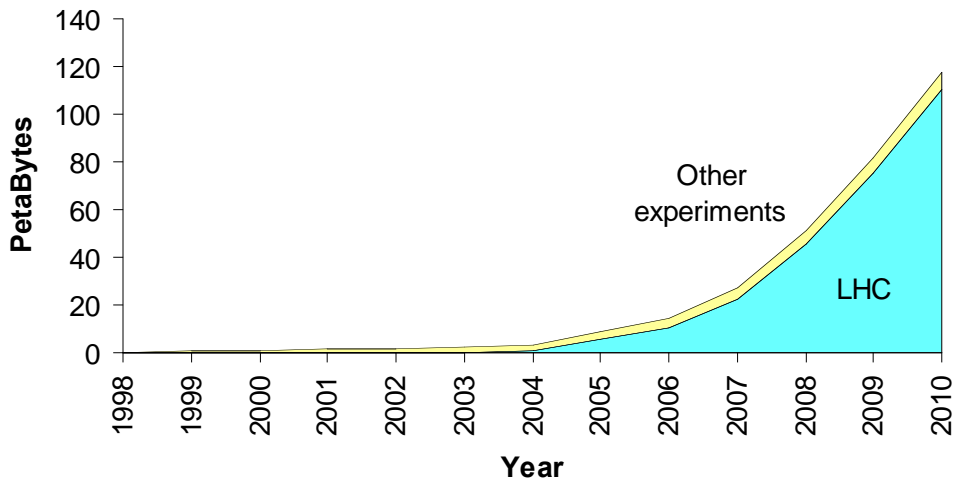


# HEP Processing stages and datasets

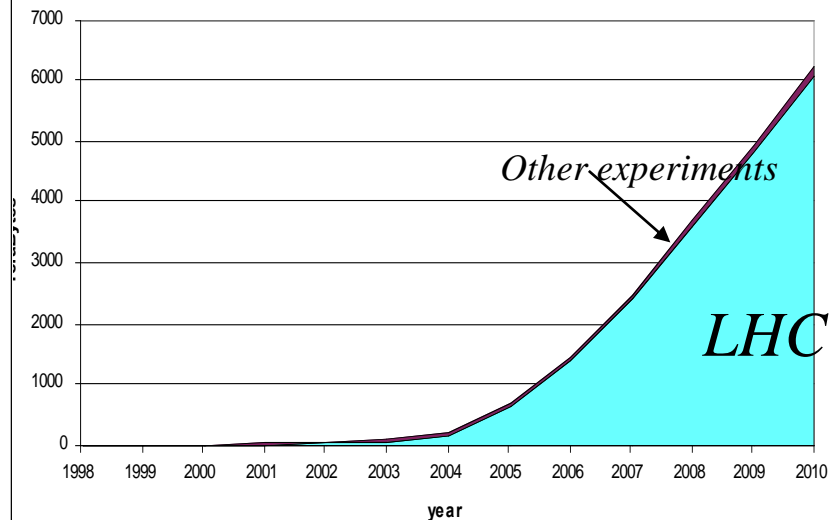


# CERN Centre Capacity Requirements for all

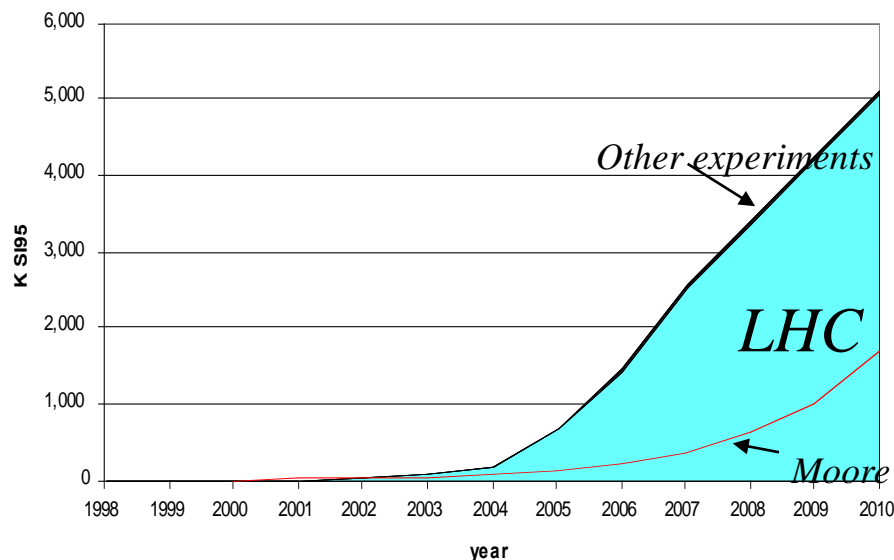
Estimated Mass Storage at CERN



Estimated DISK Capacity at CERN



Estimated CPU Capacity at CERN



processing

K S195

3 700

8 200

19 100

25,000

34,000

disk

PE

5.0

6.7

tape media

PE

36

48

tape I/O

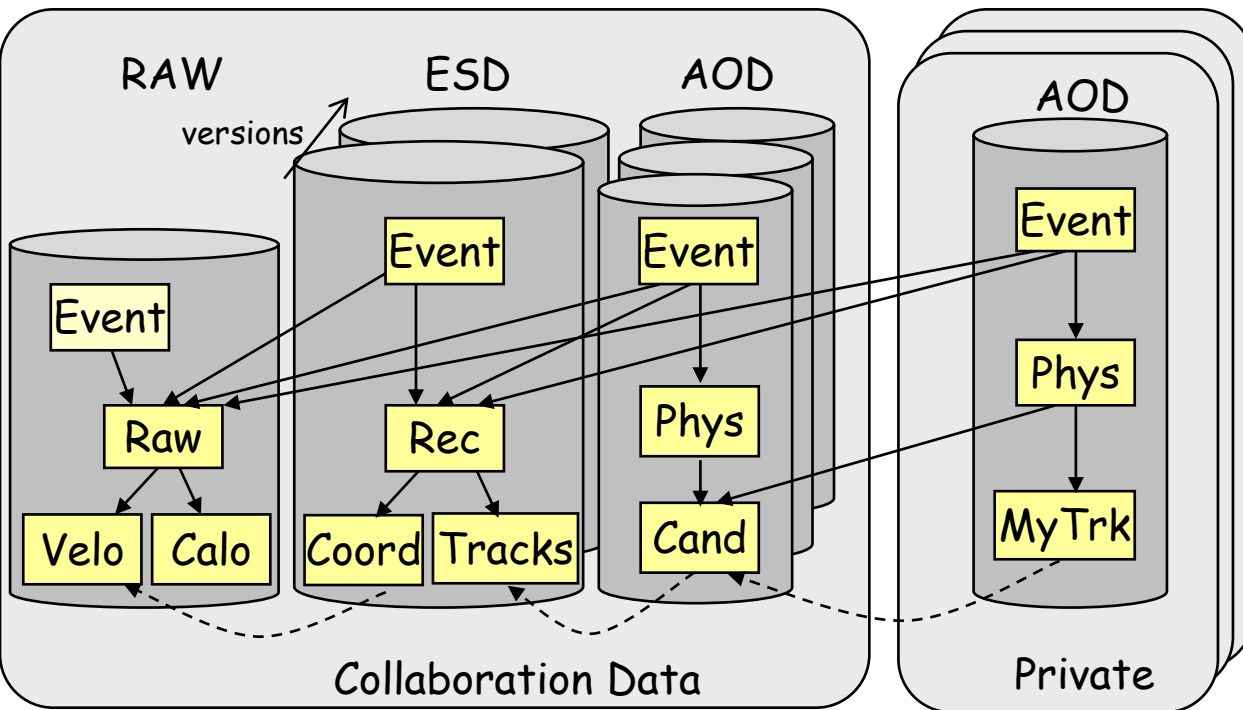
G

39

39

Moore's law

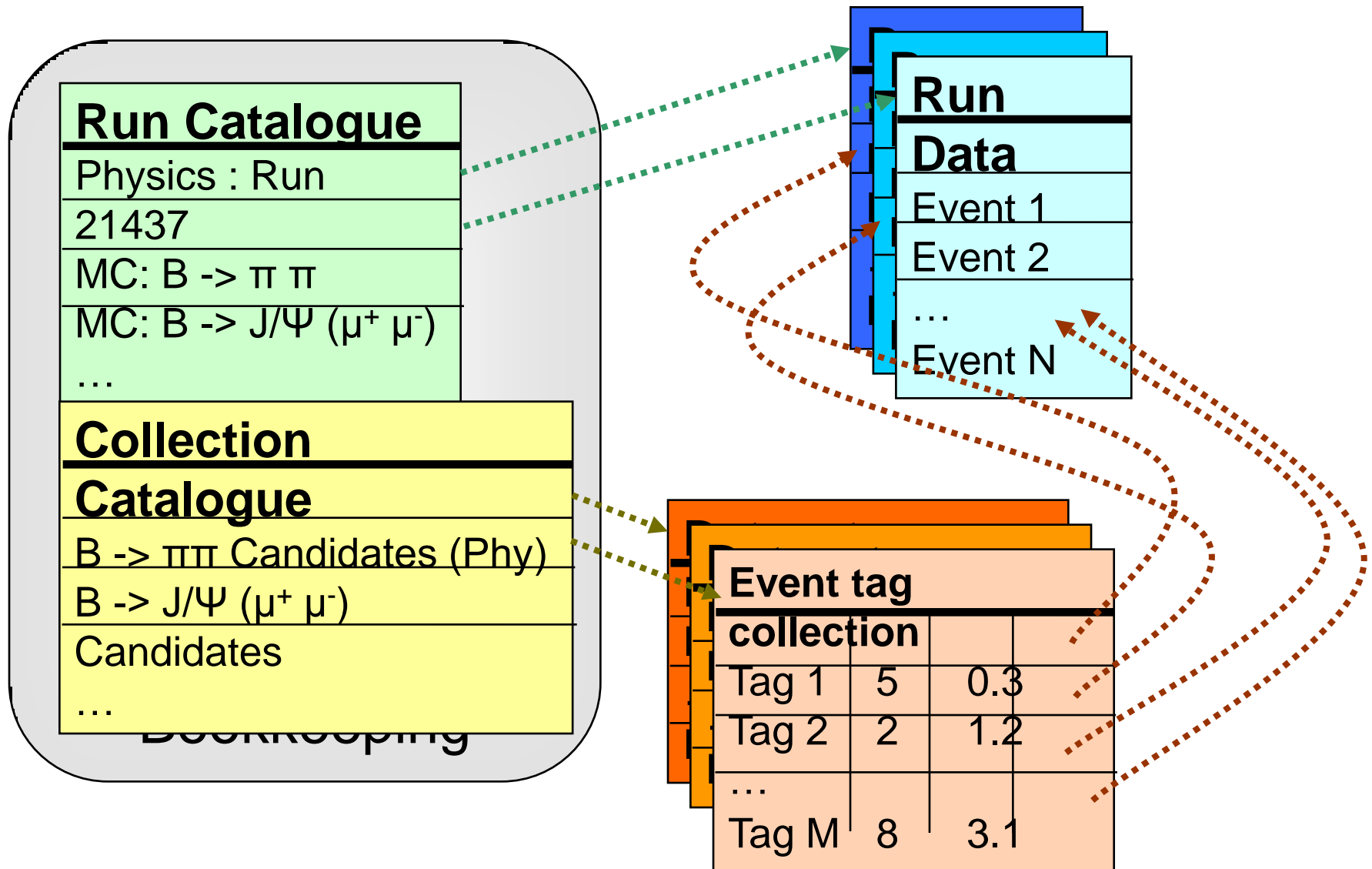
# Event Data



- ❑ 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

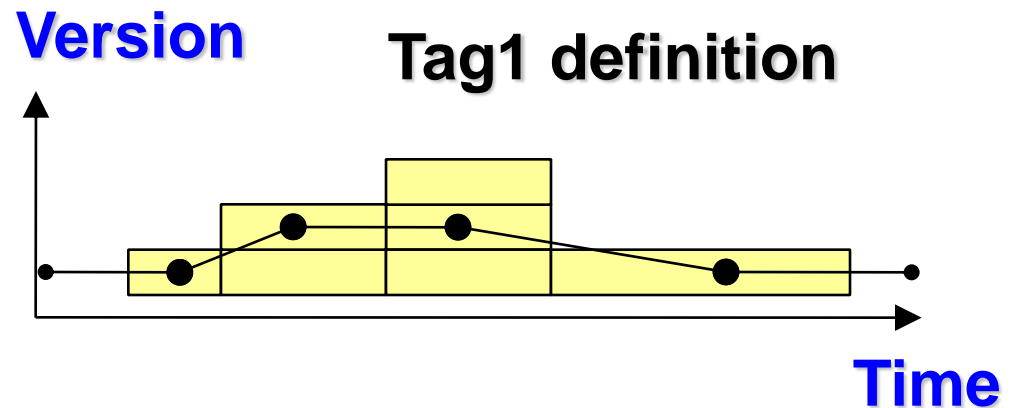
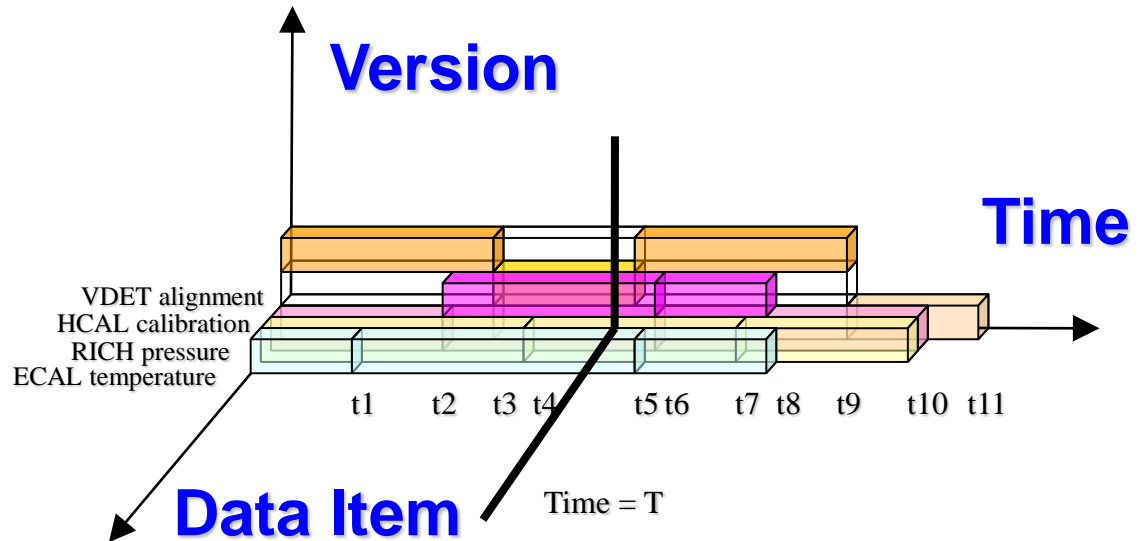


# HEP Metadata - Event Collections

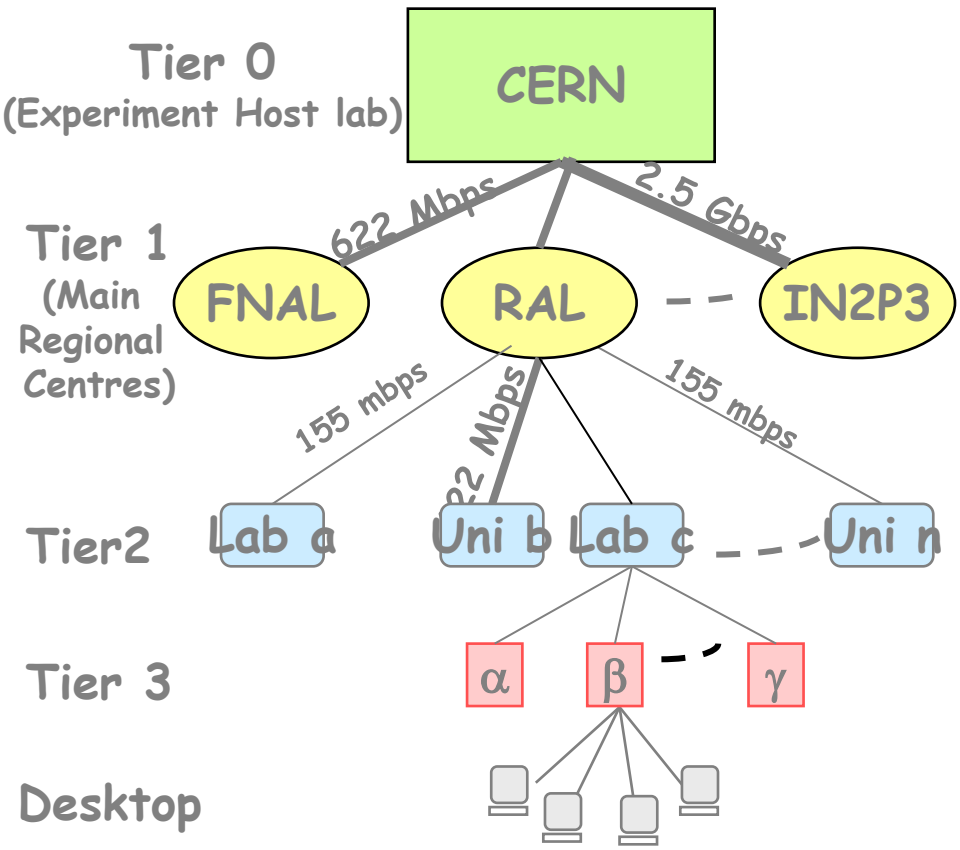


# Detector Conditions Data

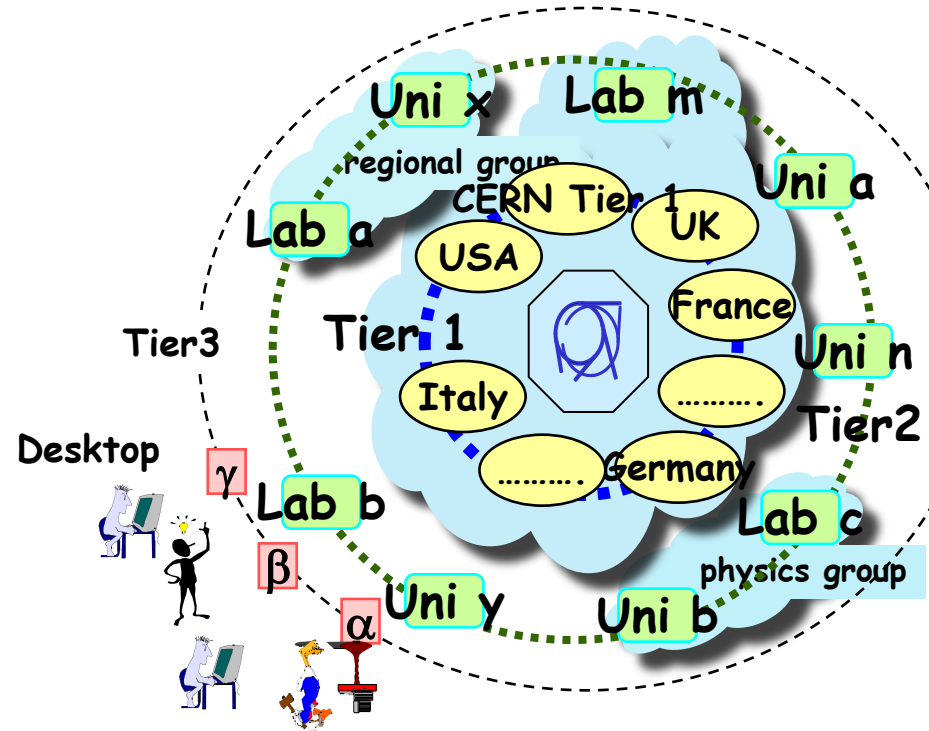
- ❑ Reflects changes in state of the detector with time
- ❑ Event Data cannot be reconstructed or analyzed without it
- ❑ Versioning
- ❑ Tagging
- ❑ Ability to extract slices of data required to run with job
- ❑ Long life-time



# A Multi-Tier Computing Model



Manager View



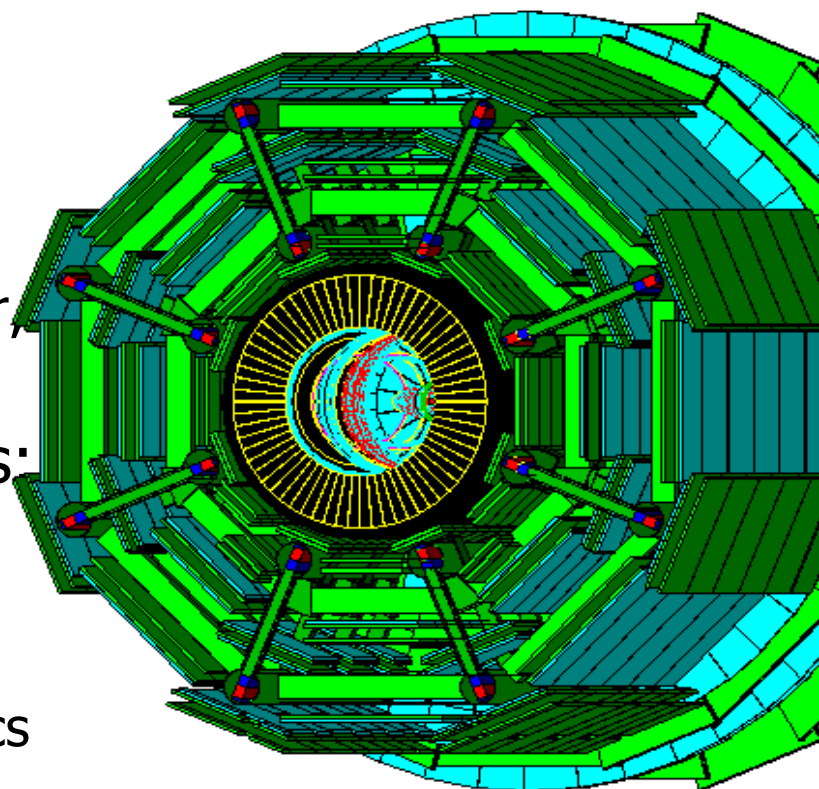
User View

# Distributed Analysis - the real challenge

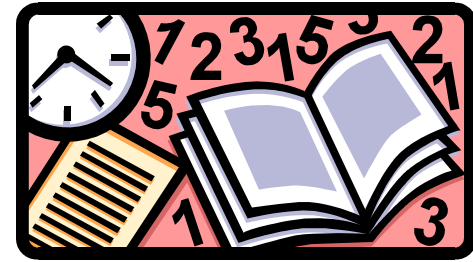
- ❑ Analysis will be performed with a mix of "official" experiment software and private user code
  - How can we make sure that the user code can execute and provide a correct result wherever it "lands"?
- ❑ Input datasets not necessarily known a-priori
- ❑ Possibly very sparse data access pattern when 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

# Visualization

- ⌘ Much functionality is implemented
- ⌘ Several drivers:
  - ☑ OpenGL, **VRML**, Open Inventor, Opacs, **DAWN renderer (G4)**
- ⌘ Also choice of User Interfaces:
  - ☑ Terminal (text) or
  - ☑ GUI: Momo (G4), OPACS
  - ☑ Editors for geometry, EM physics code generation



# One area: Tracking



⌘ What a simulation code needs to do for each step of particle:

- ☑ Determine the **step length**
  - ☒ Corresponding to the applicable physics processes
  - ☒ Checking if it crosses a geometrical boundary
- ☑ Model the **final state** of the track,
  - ☒ Advancing it, potentially in an EM field,
  - ☒ Applying the actions of the physics processes,
    - which can create **secondary** particles.
- ☑ **Deposit** energy in current position ( ‘hit’ ).

# Actions during a Step

## ⌘ During each step

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



# Actions during a Step (cont)

## ⌘ During a step (continued)

- ☑ An (optional) user-written 'action' is called,

- ☒ Which can be used eg to create histograms or tallies.

- ☑ If the current volume contains a sensitive detector, that is addressed, allowing it eg

- ☒ to record the energy deposited,

- ☒ to record the exact position

in general to create a 'hit' that store all information that is relevant for that detector .

# Actions during a Step (cont)

## ⌘ During a step (continued)

- ⊞ A parametrisation can be triggered (Geant4)
  - ⊞ Taking over from 'detailed' simulation
  - ⊞ 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.

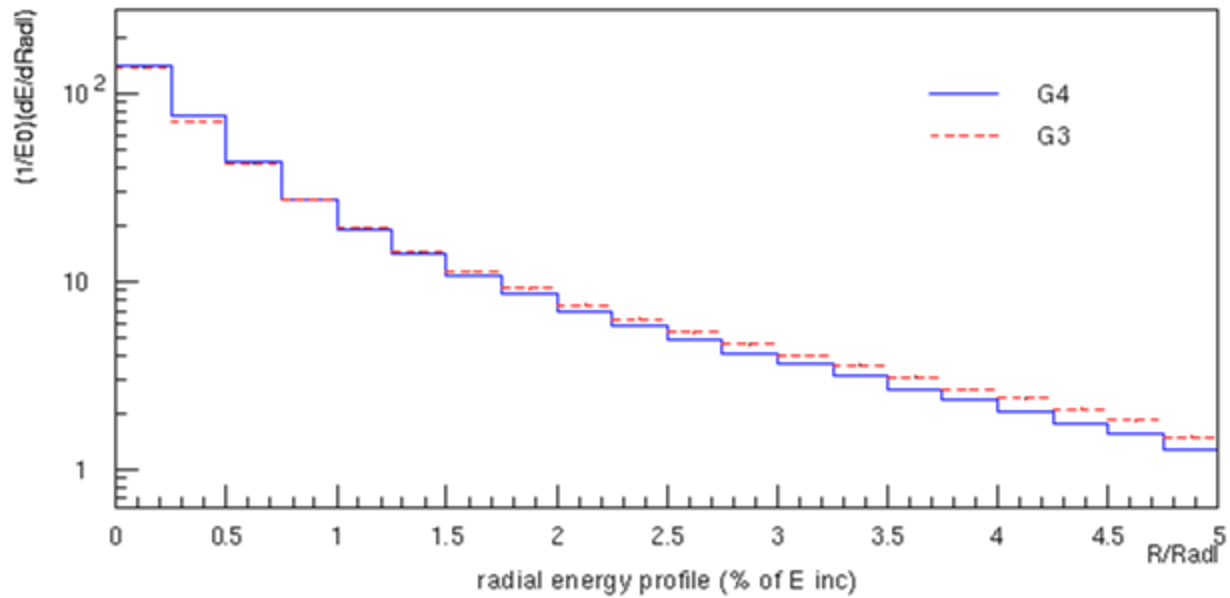
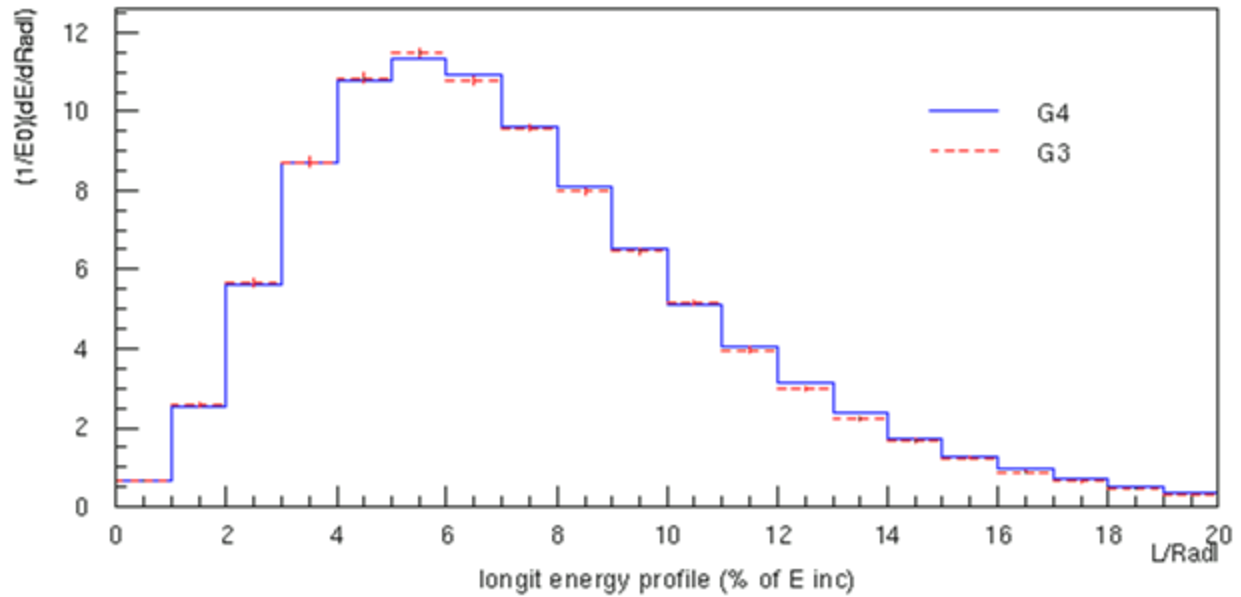


# GEANT 4



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

PbWO4 e- 5 GeV G4-G3 comparison



# Multiple scattering model

- ⌘ A new model for multiple scattering based on the Lewis theory is implemented
  - ☑ since public  $\beta$  release in 1998.
- ⌘ It randomizes momentum direction and displacement of a track.
  - ☑ Step length, time of flight, and energy loss along the step are affected, and
  - ☑ It does not constrain the step length.