

Οι Υπολογιστές στη Φυσική Υψηλών Ενέργειών (ΦΥΕ)

Ιωάννης
Αποστολάκης

CERN

V1.01

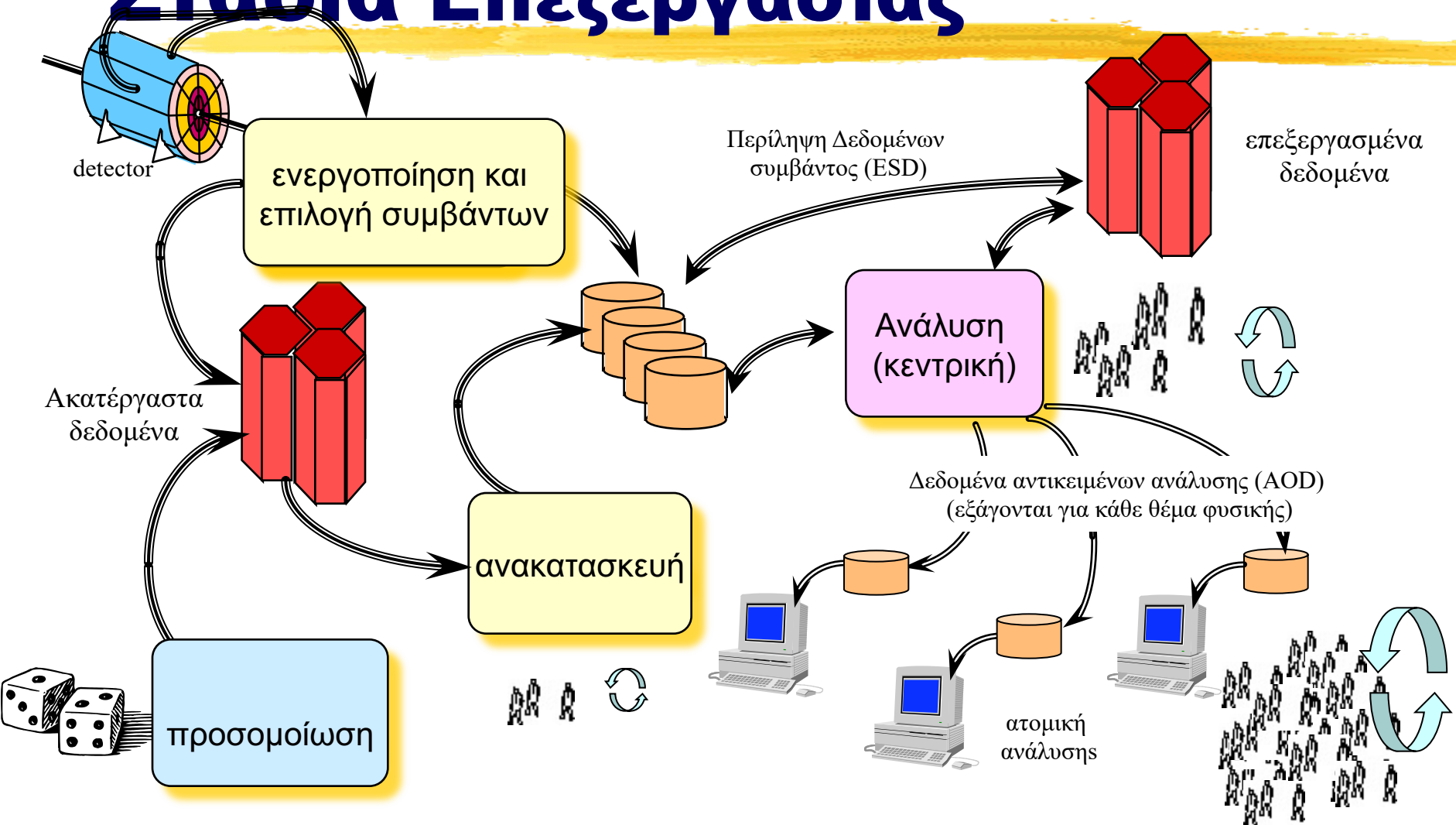
2024.05.07

John.Apostolakis@cern.ch

Πλano της ομιλιας

- Η χρήση των Υπολογιστών
- Ανακατασκευή (reconstruction)
 - Αμέση (online) ή με-καθυστέρηση (off-line)
- Προσομοίωση (simulation)
- Ανάλυση δεδομένων (data analysis)
- Το πλέγμα (GRID) – και μεγέθη
 - Υπολογ. ανάγκες, άλλες εφαρμογες

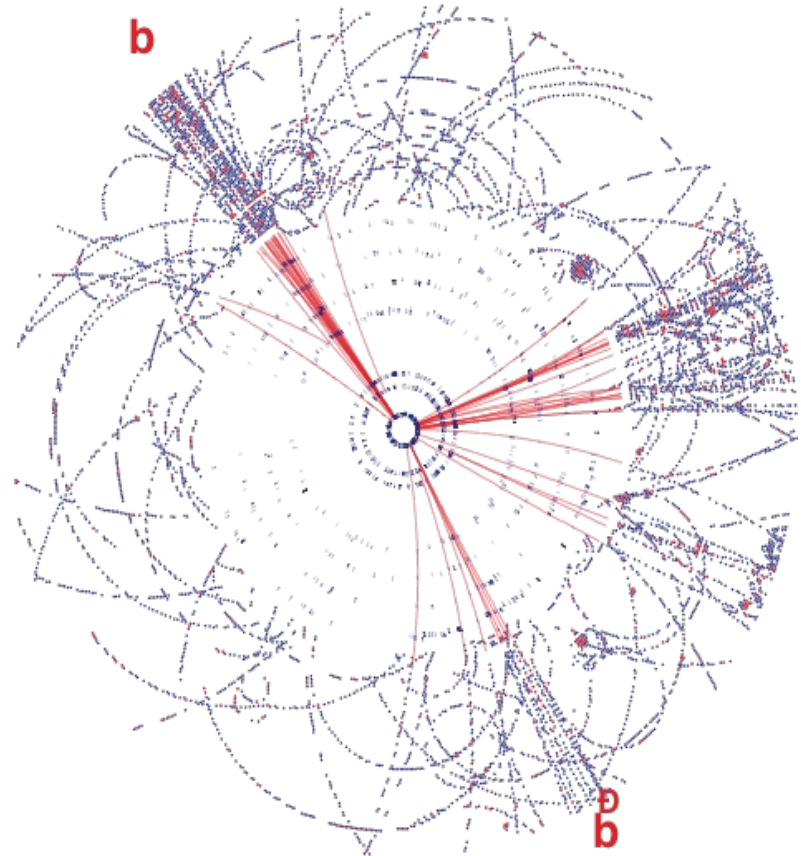
Στάδια Επεξεργασίας



Atlas : Physics Signatures and Event Rates

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

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



Χρήσεις Υπολογιστών στη ΦΥΕ

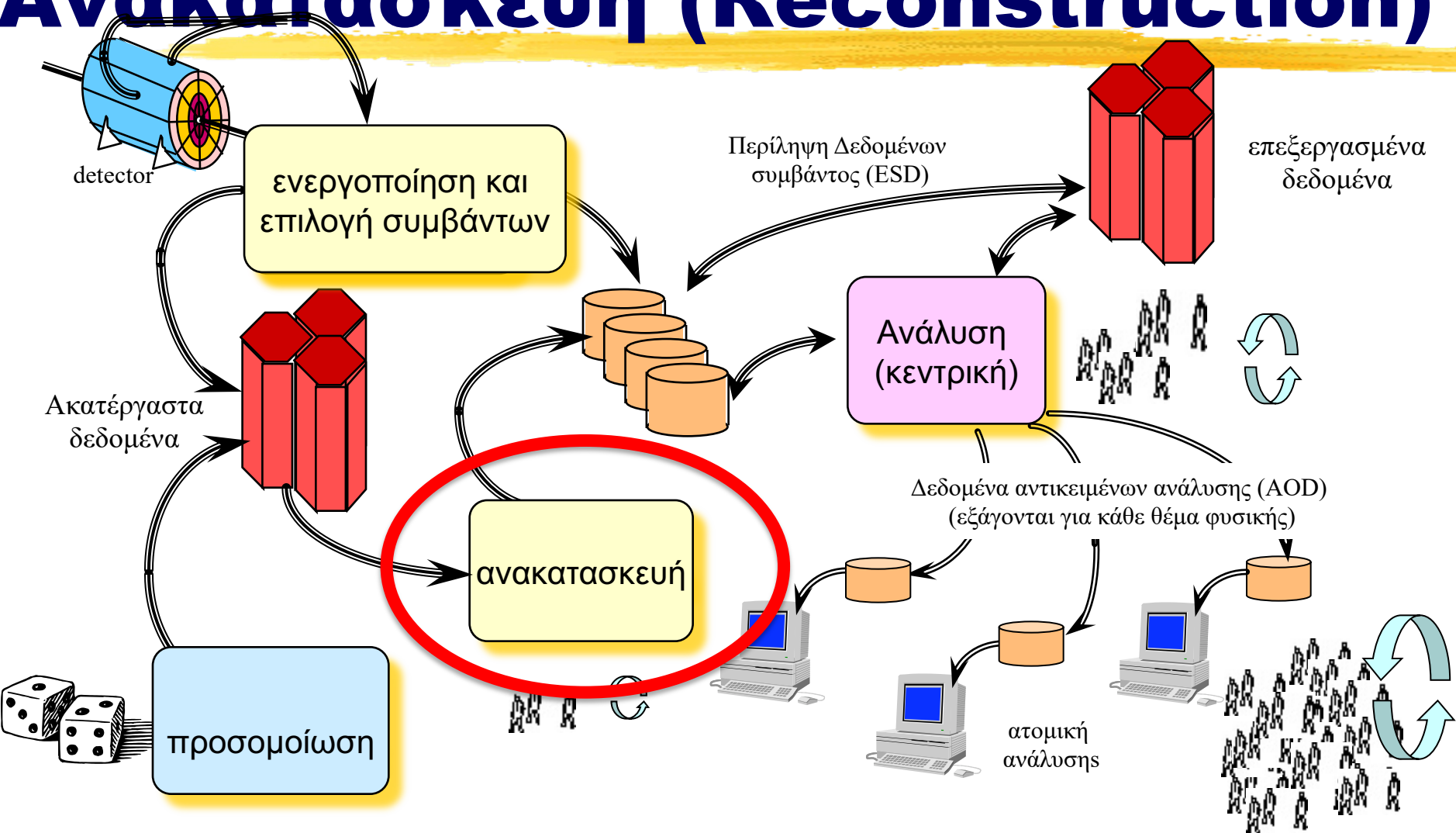
- Καταγραφή δεδομένων
 - Data Acquisition (DAQ)
 - Περιλαμβάνει την επιλογή συγκρούσεων
- Ανακατασκευή (reconstruction)
 - Αμέσως (online) ή αργότερα (off-line)
- Προσομοίωση (simulation)
- Ανάλυση δεδομένων (data analysis)

Ανακατασκευή



Μια γρήγορη εισαγωγή

Στάδια Επεξεργασίας – Ανακατασκευή (Reconstruction)



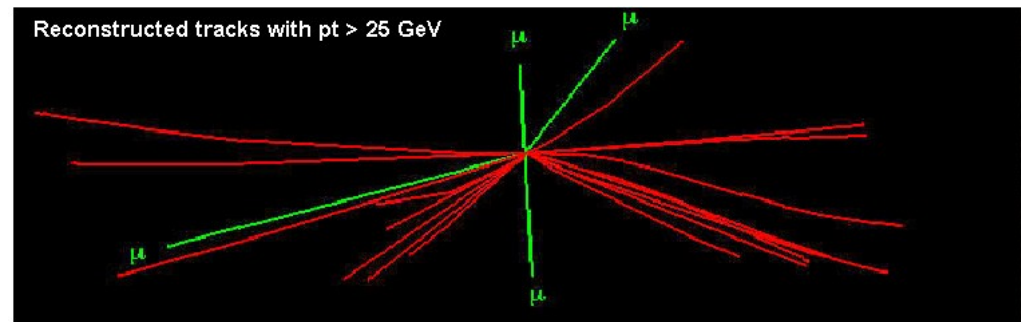
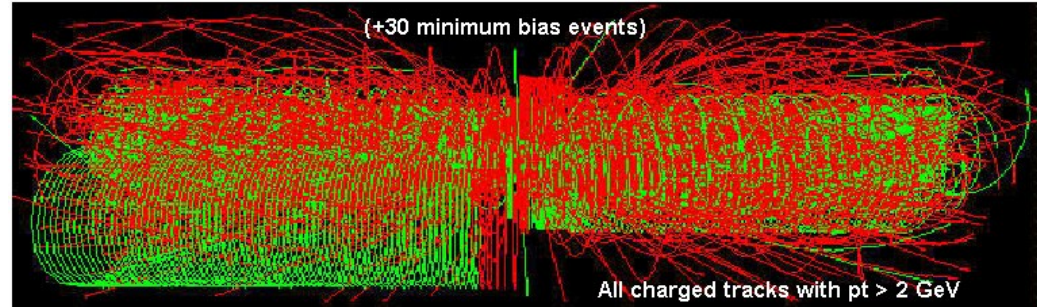
Η δυσκολία της Ανακατασκευής

Starting from
this event

Μ'αυτη την
αρχική εικόνα
(αριστερό ημισυ)

Looking for
this “signature”

Ψάχνουμε αυτή
την περιληπτική
εικόνα



→ **Selectivity: 1 in 10^{13}**

(Like looking for a needle in 20 million haystacks)

Οι σημερινοι ανιχνευτες

■ Πολλα τμηματα

■ Διαφορετικες αναγκες

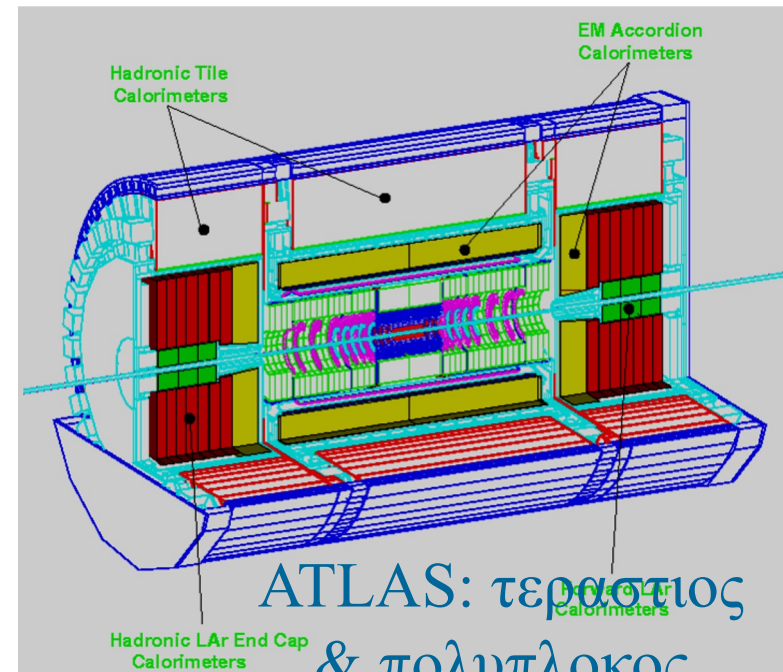
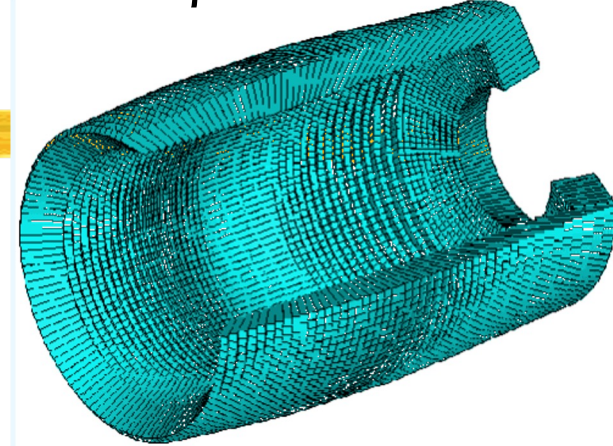
- Μετρηση θεσης (τρακερ - trackers)

- Μετρηση ενεργειας (καλοριμετρα η θερμιδομετρα)

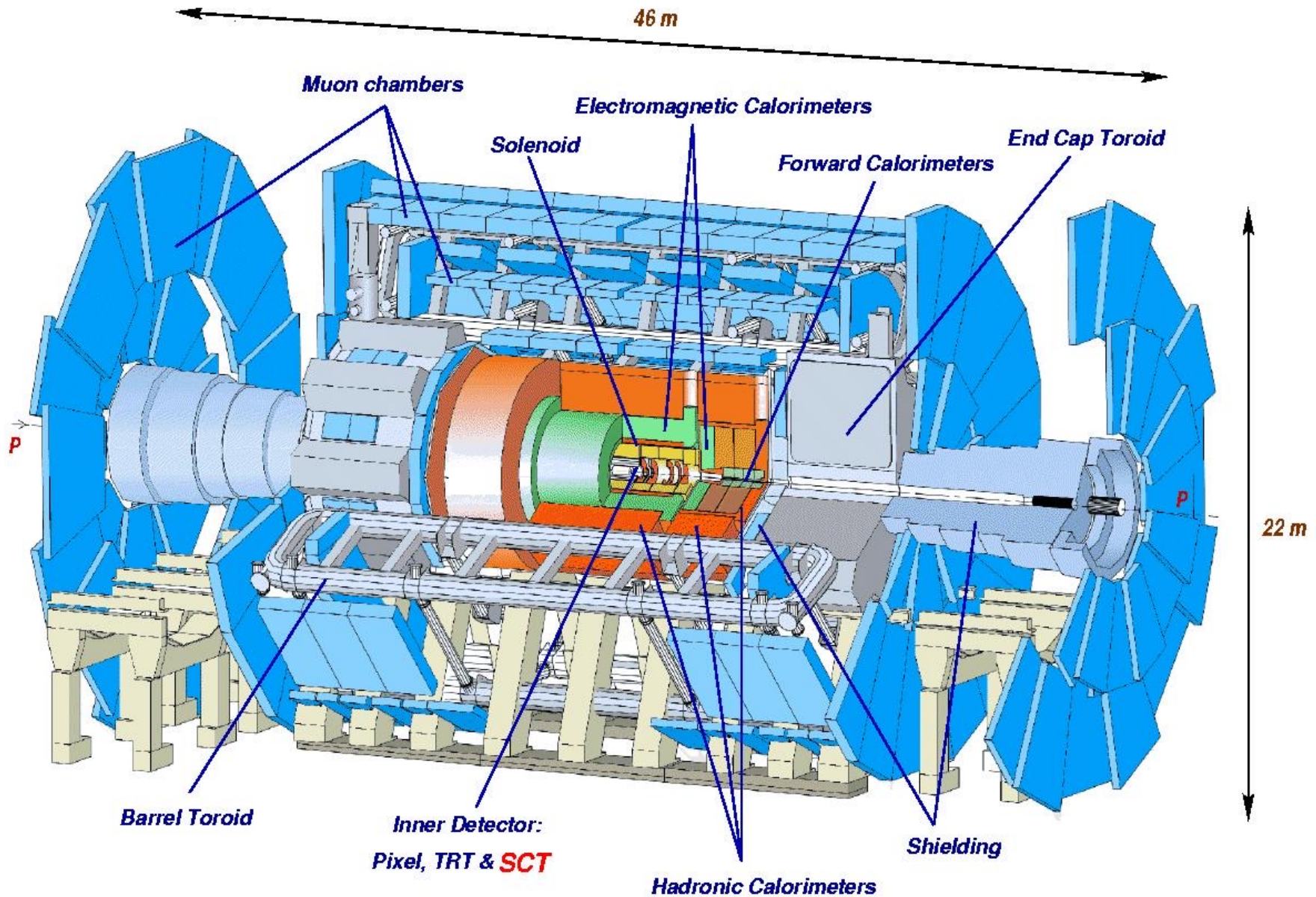
■ Λογω της πολυ-πλοκοτητας

- Ολλες οι μελετες χρειαζονται υπολογιστικα εργαλεια

Καλοριμετρο
κρυσταλλου

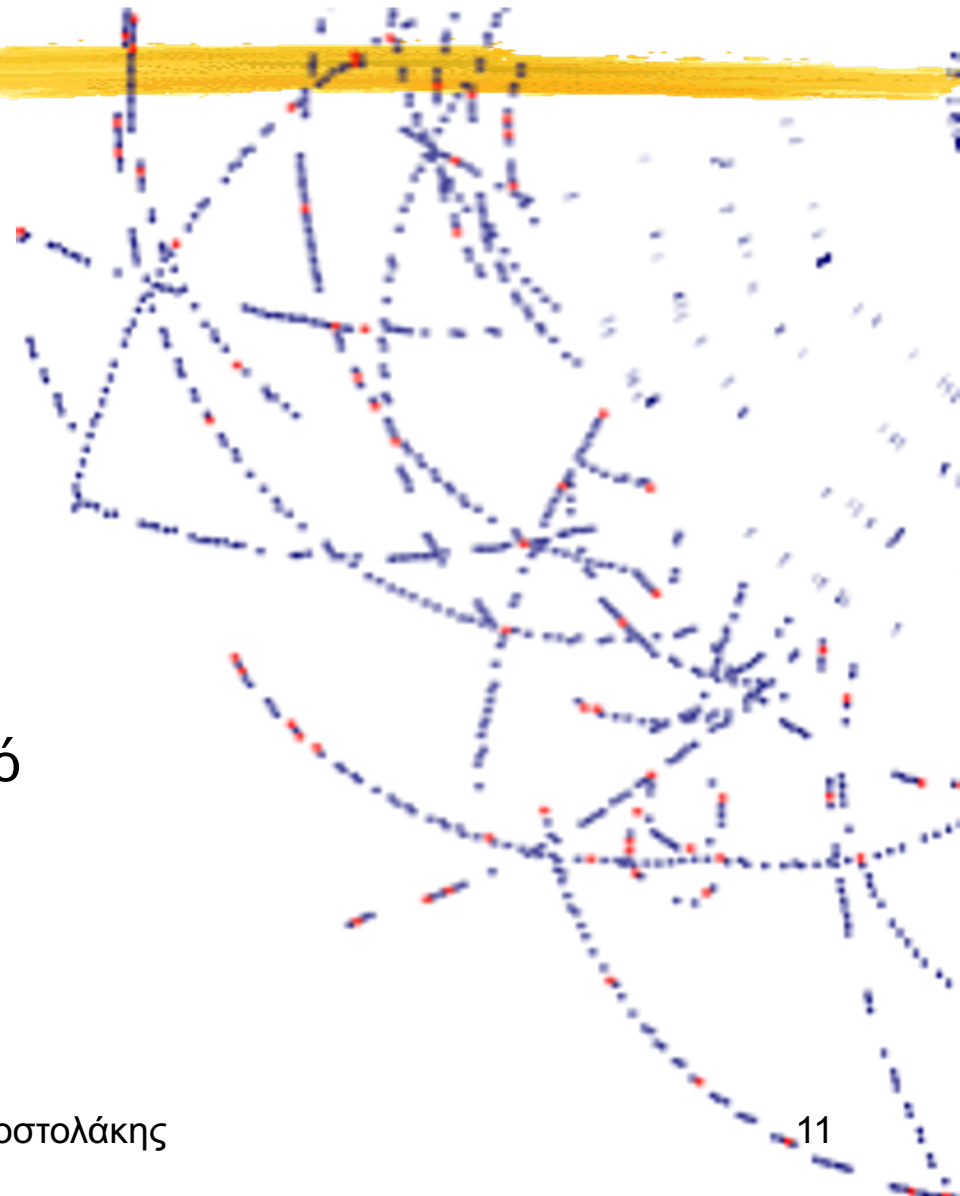


Οι ανιχνευτές του ΑΤΛΑΣ

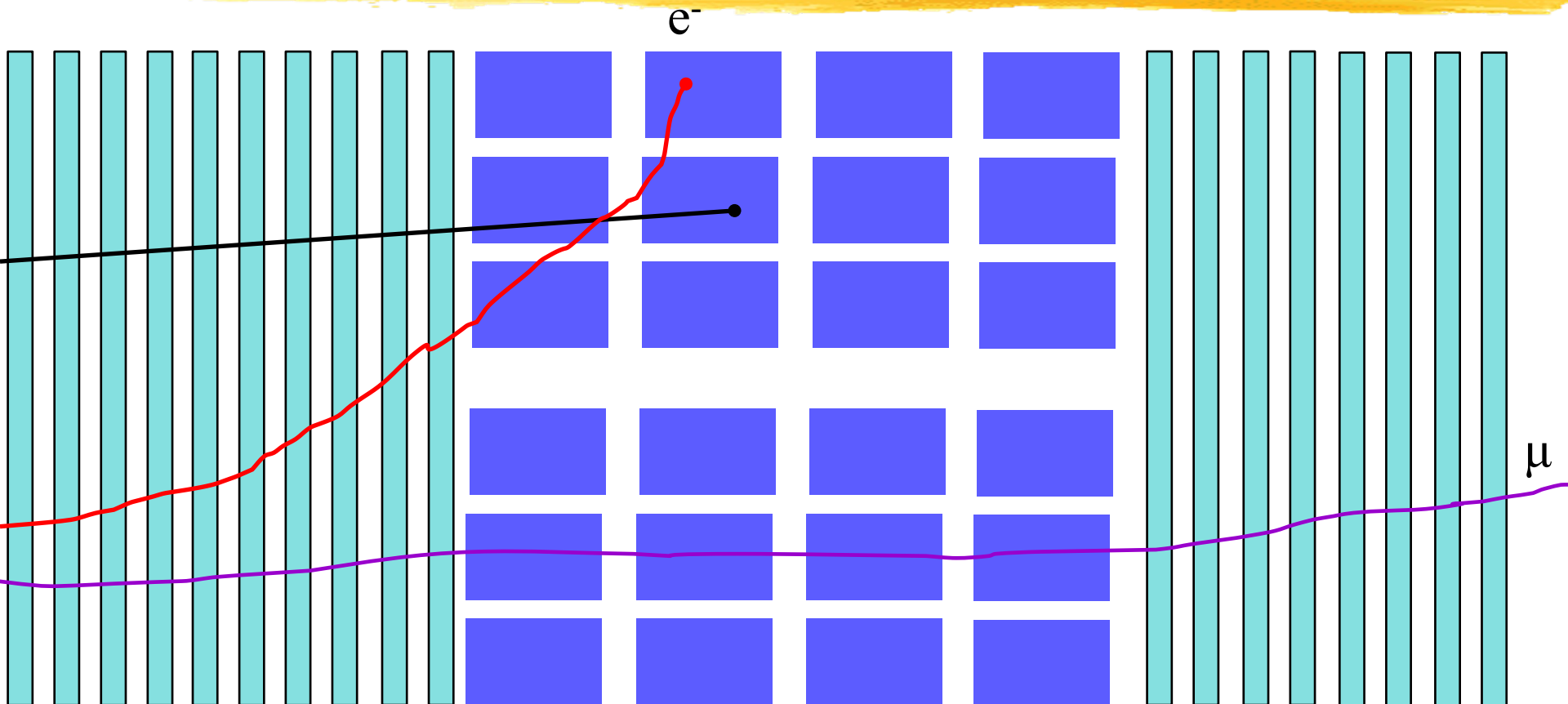


Τι είναι η ανακατασκευή?

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

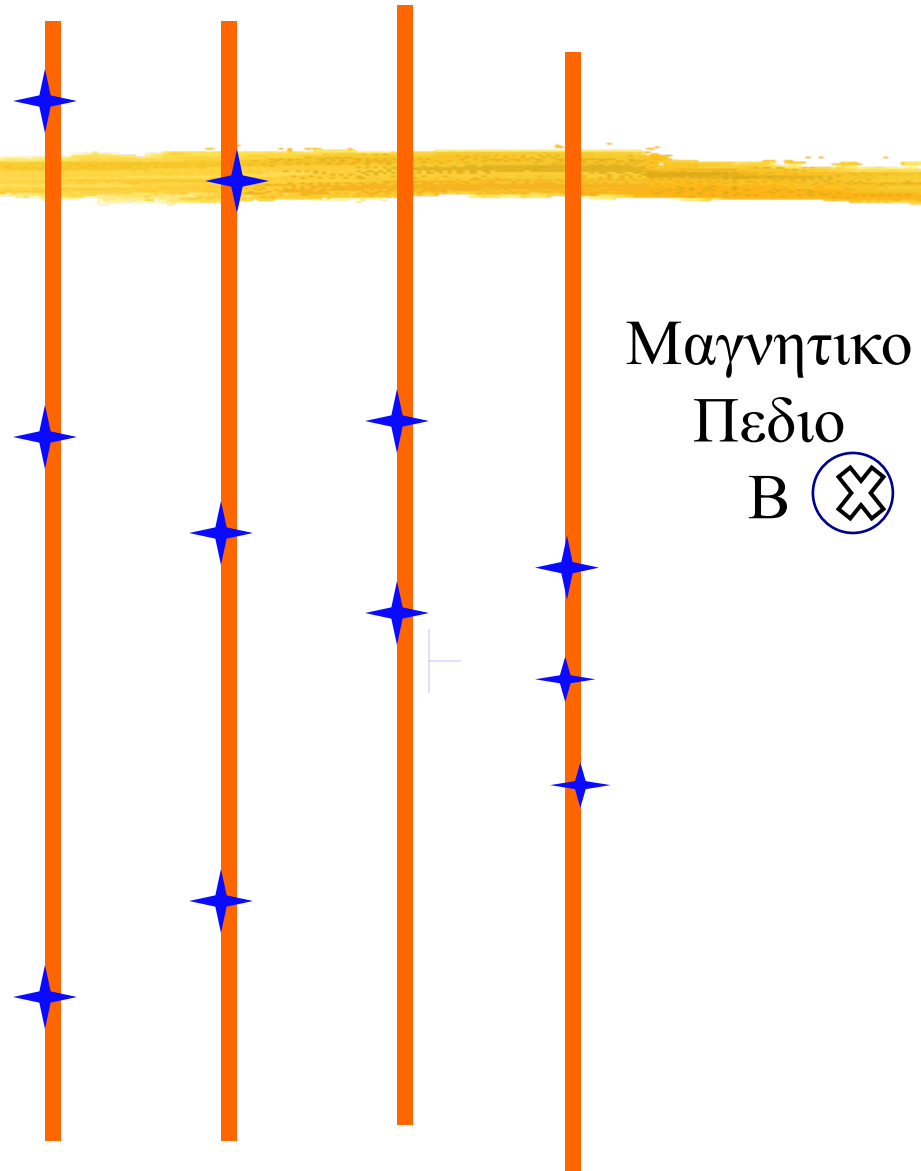


Απλουστευμένο πείραμα ΦΥΕ



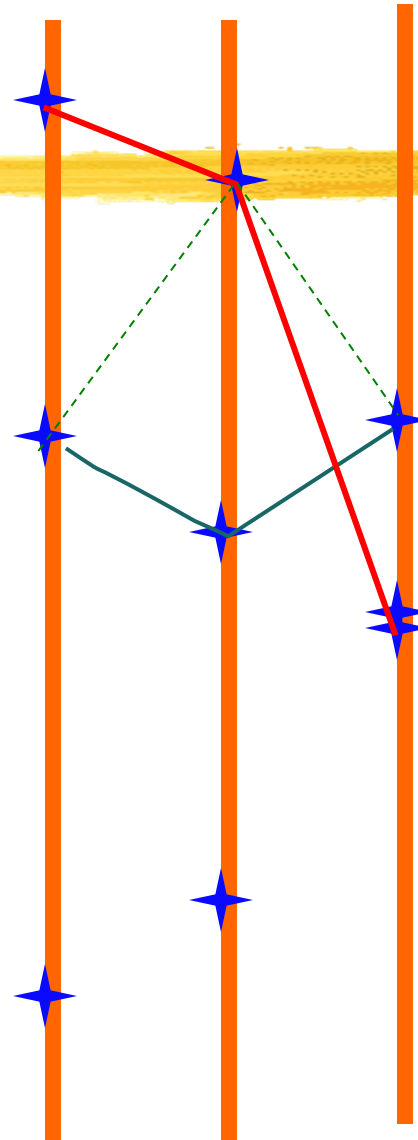
Ανακατασκευή στην πράξη

- Αρχίζει με τις θέσεις διάβασης των σωματιδίων



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
-



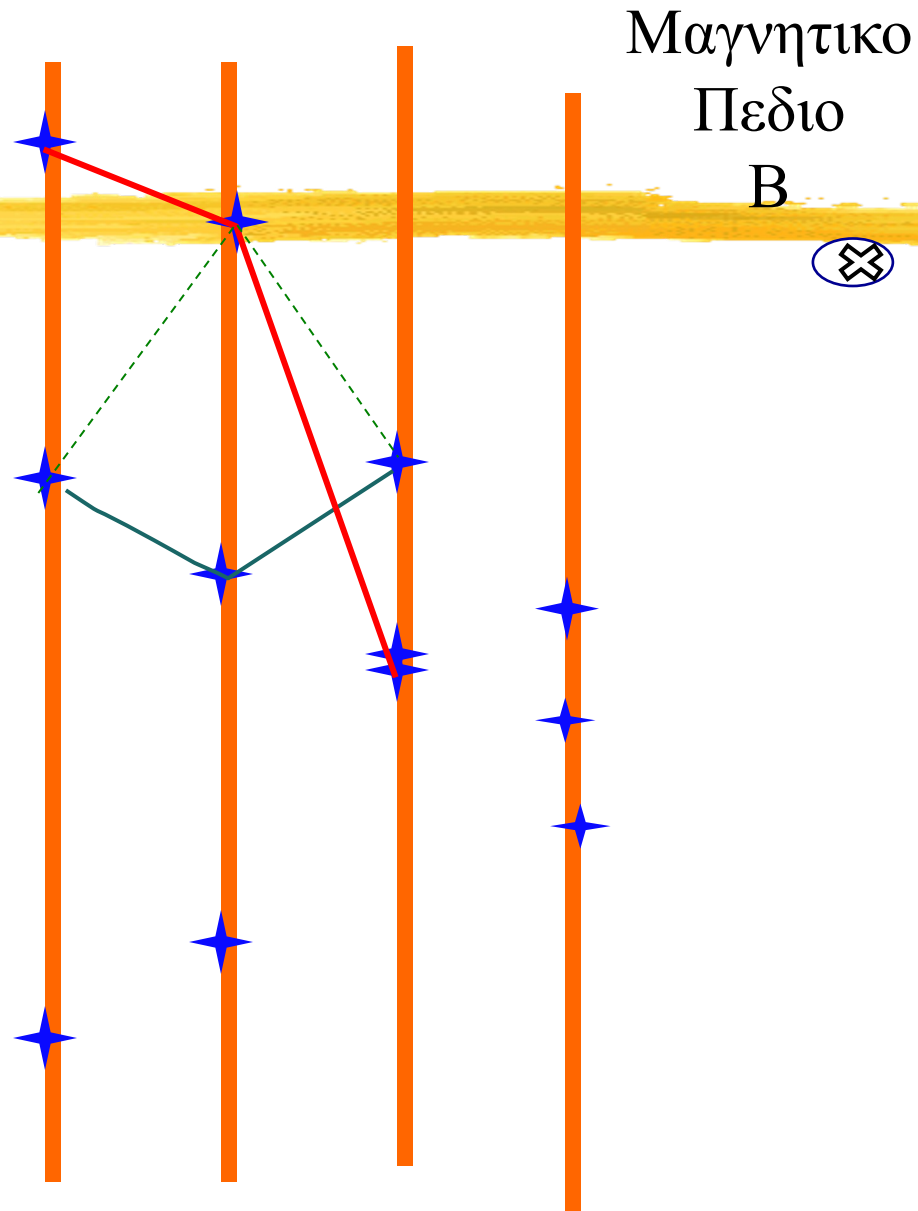
Μαγνητικό
Πεδίο
 B



Αλγοριθμ-ος/-οι
Φίλτρο Καλμαν
(Kalman filter)

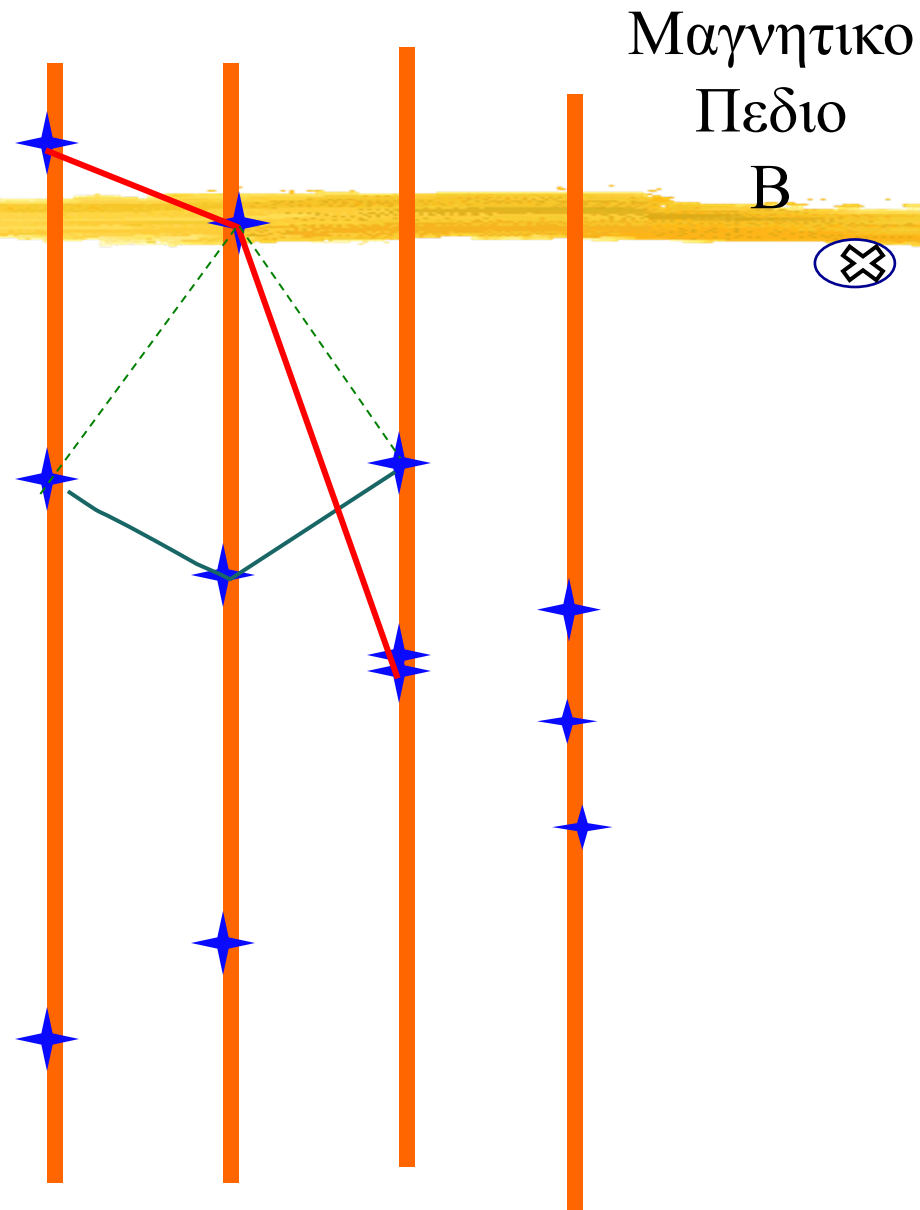
Ανακατασκευή στην πράξη

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



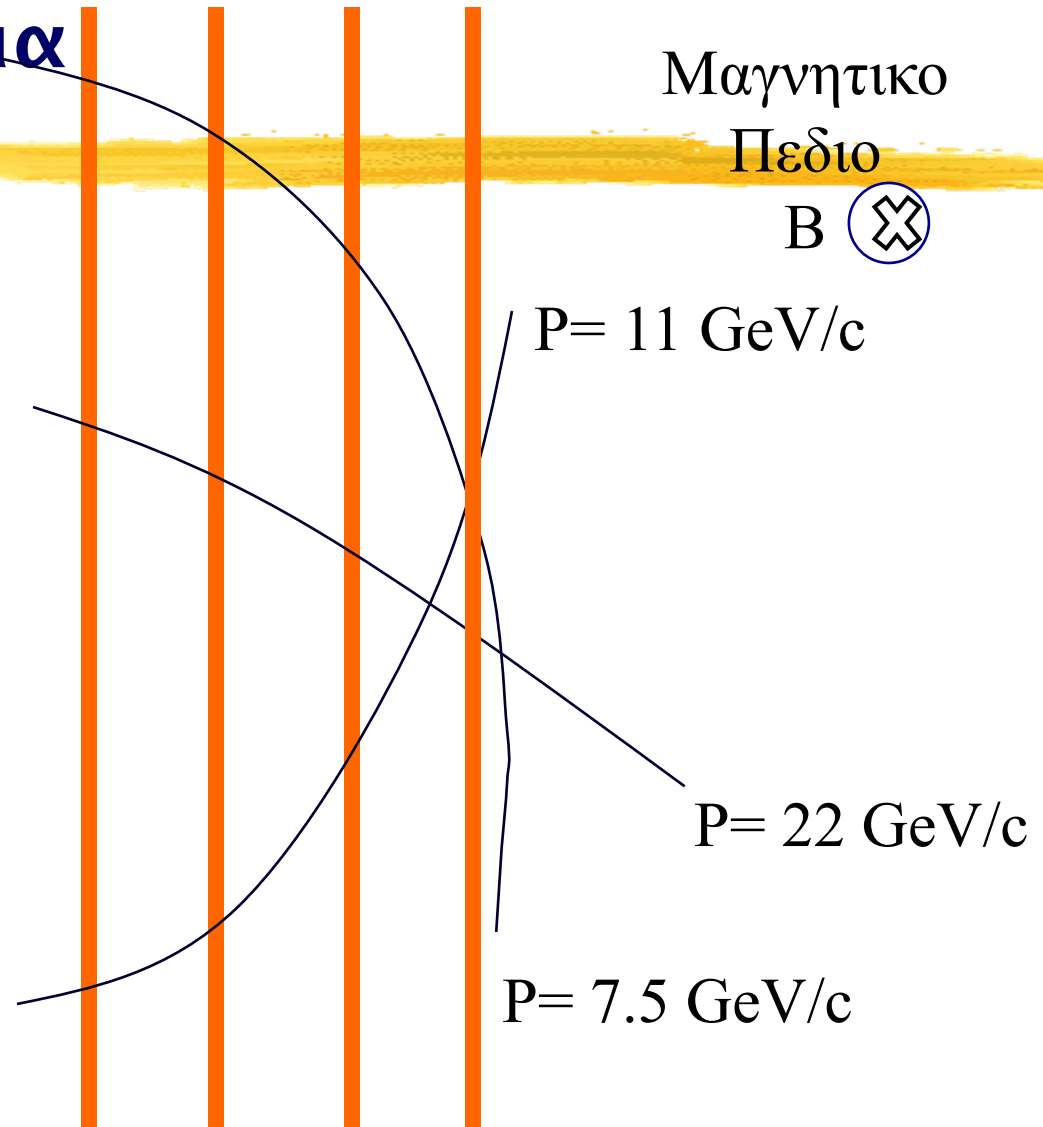
Ανακατασκευή στην πράξη

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



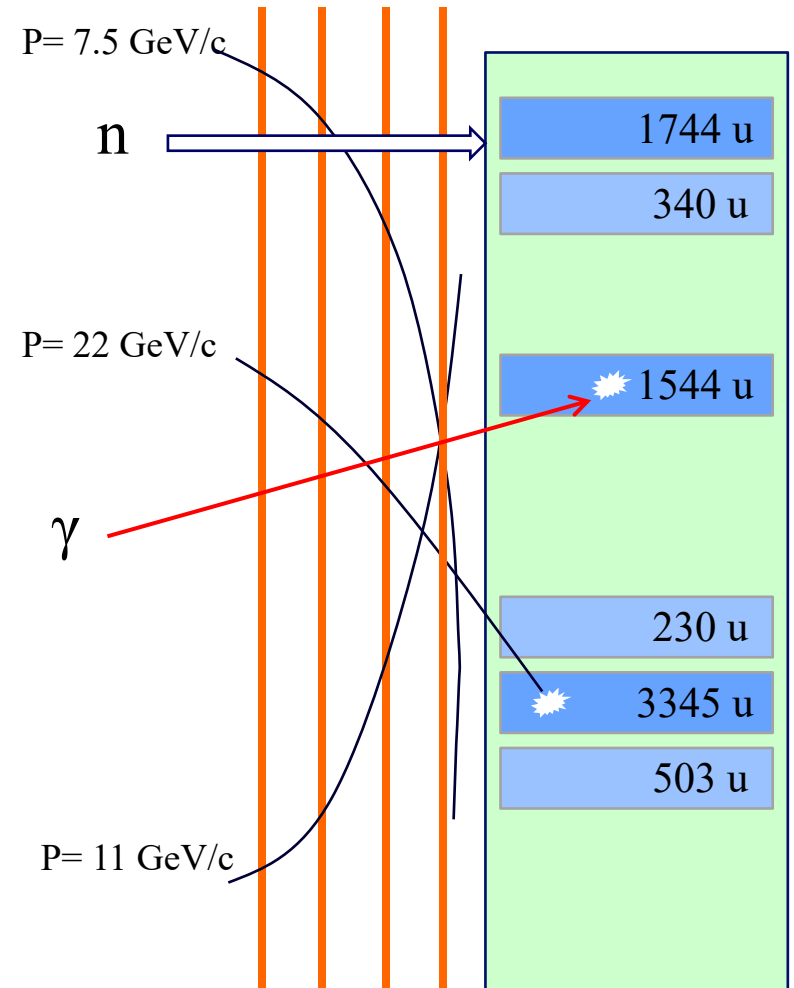
Ανακατασκευή: πρώτο αποτέλεσμα

- 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

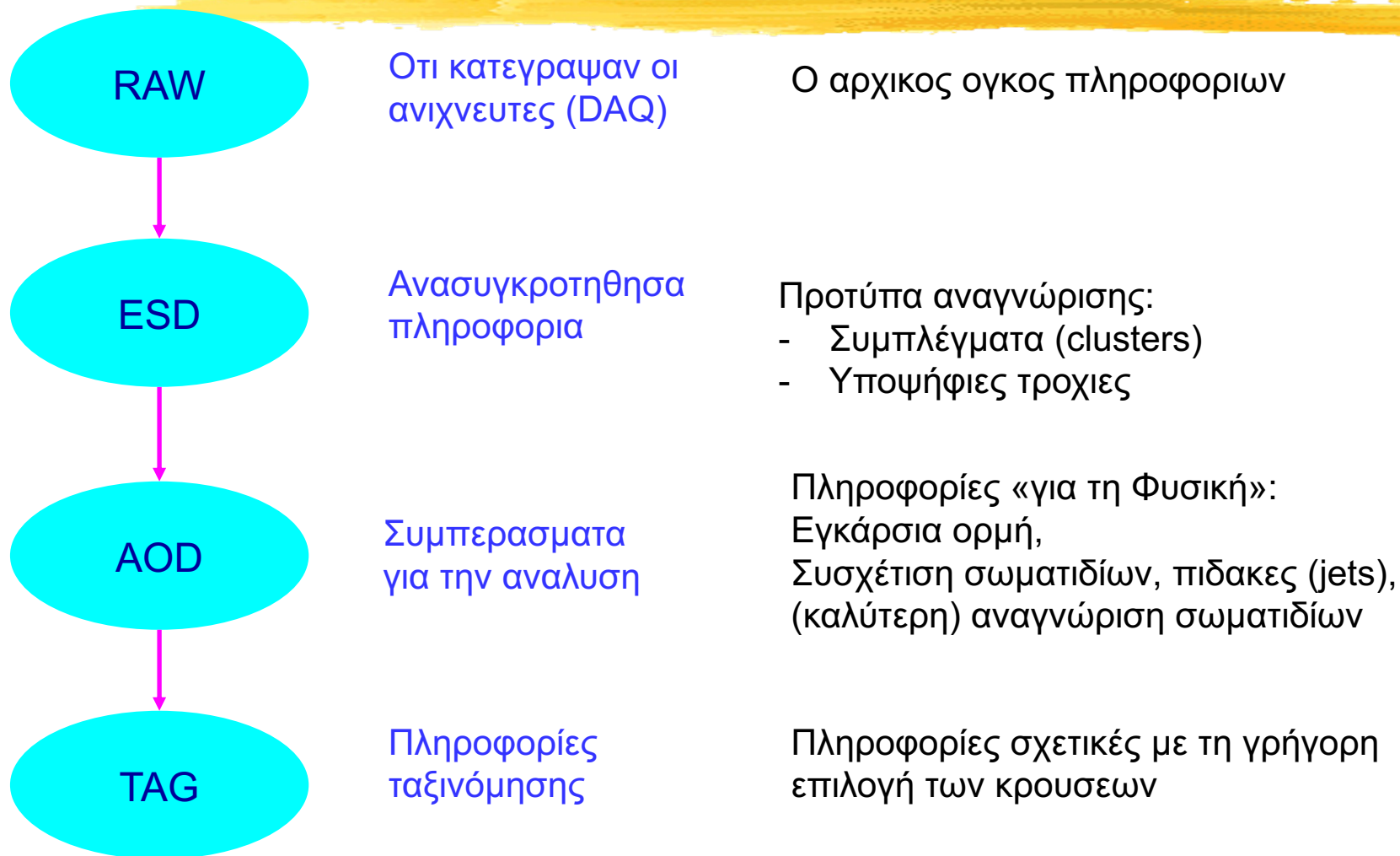


Από μερική προς 'ολική' ανακατασκευή

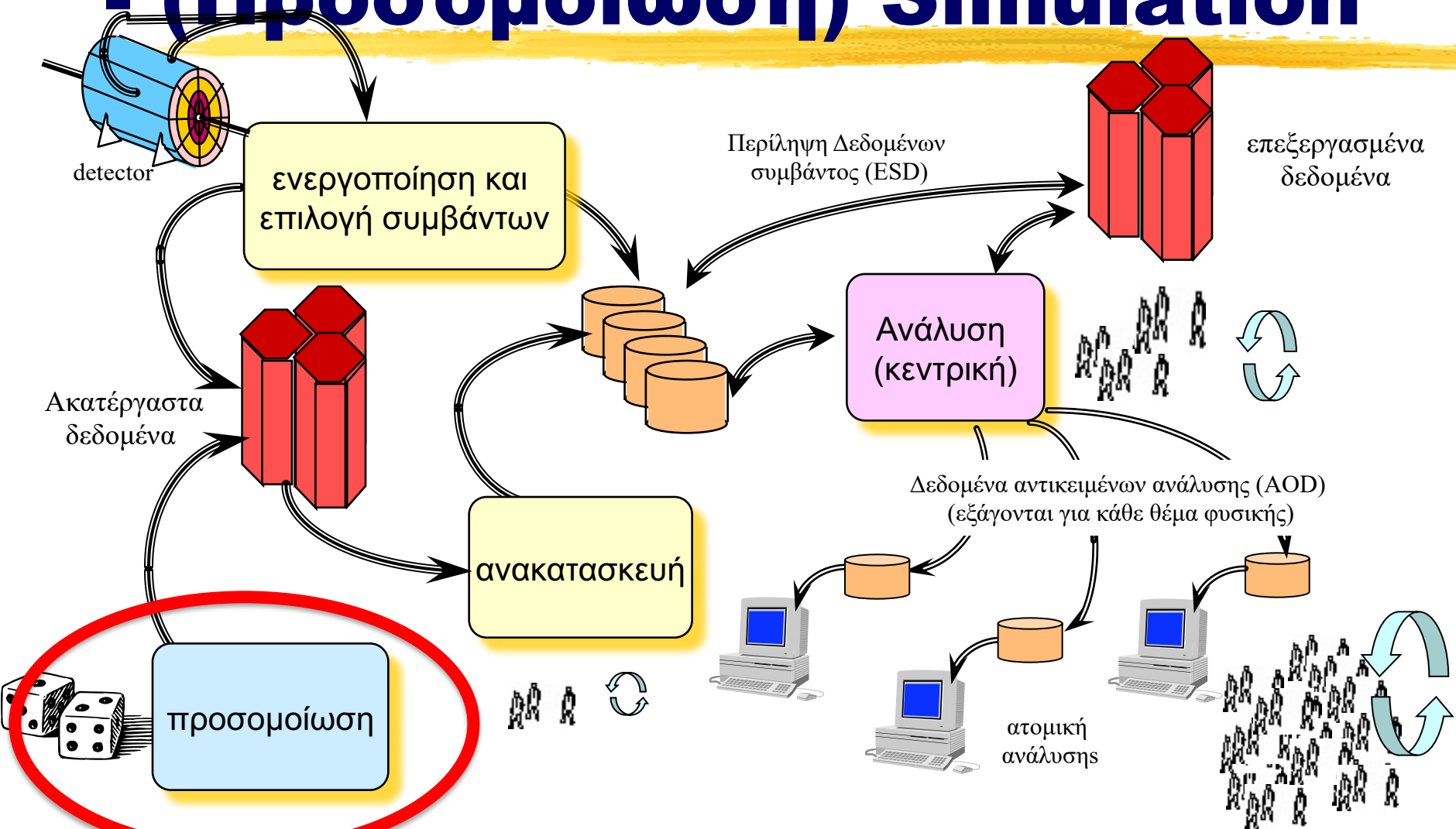
- Μετά από αυτά τα πρώτα ίχνη
- Προσθέτουμε ανιχνευτές
 - Ευαίσθητους, σε περισσότερα σωματίδια, άλλες αλληλεπιδράσεις
- Βγάζουμε πληροφορίες για τα άλλα σωματίδια (γ , π , K , ρ , n , ...)
- Συγκρότουμε «ολόκληρη» την εικόνα της κρούσης



Χρηση της ανακατασκευης



Στάδια Επεξεργασίας - (Προσομοίωση) Simulation



Προσομοίωση και Ανιχνευτές



Τι είναι η προσομοίωση
Γιατί υπάρχει
Πως γίνεται

Τι είναι η προσομοίωση?



Φυσικο συστήματος

Μοντέλο = εξισώσεις

Εξελιξη συστηματος

Βγαζω αποτελέσματα

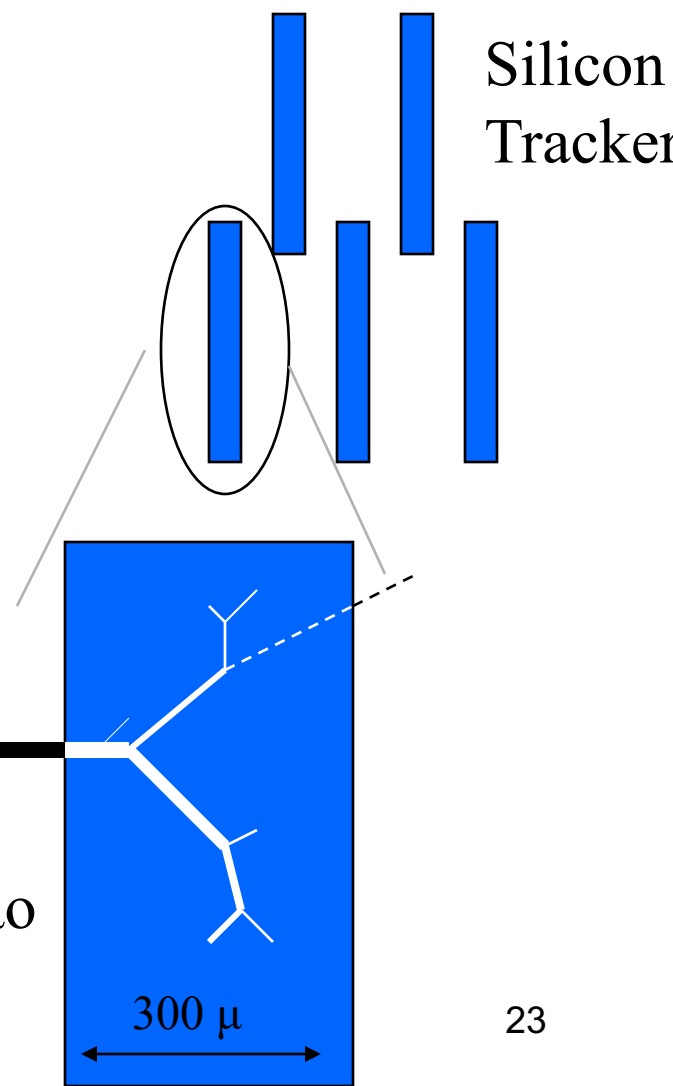


Τι είναι προσομοίση;

- Φτιαχνουμε μοντελα
 - Του ανιχνευτη
 - Γεωμετρια
 - Υλικα
 - Των αλληλεπιδρασεων
 - Καθε γνωστου τυπου
 - Ηλεκτρομαγνητικου
 - Υσχηρου πυρηνικου

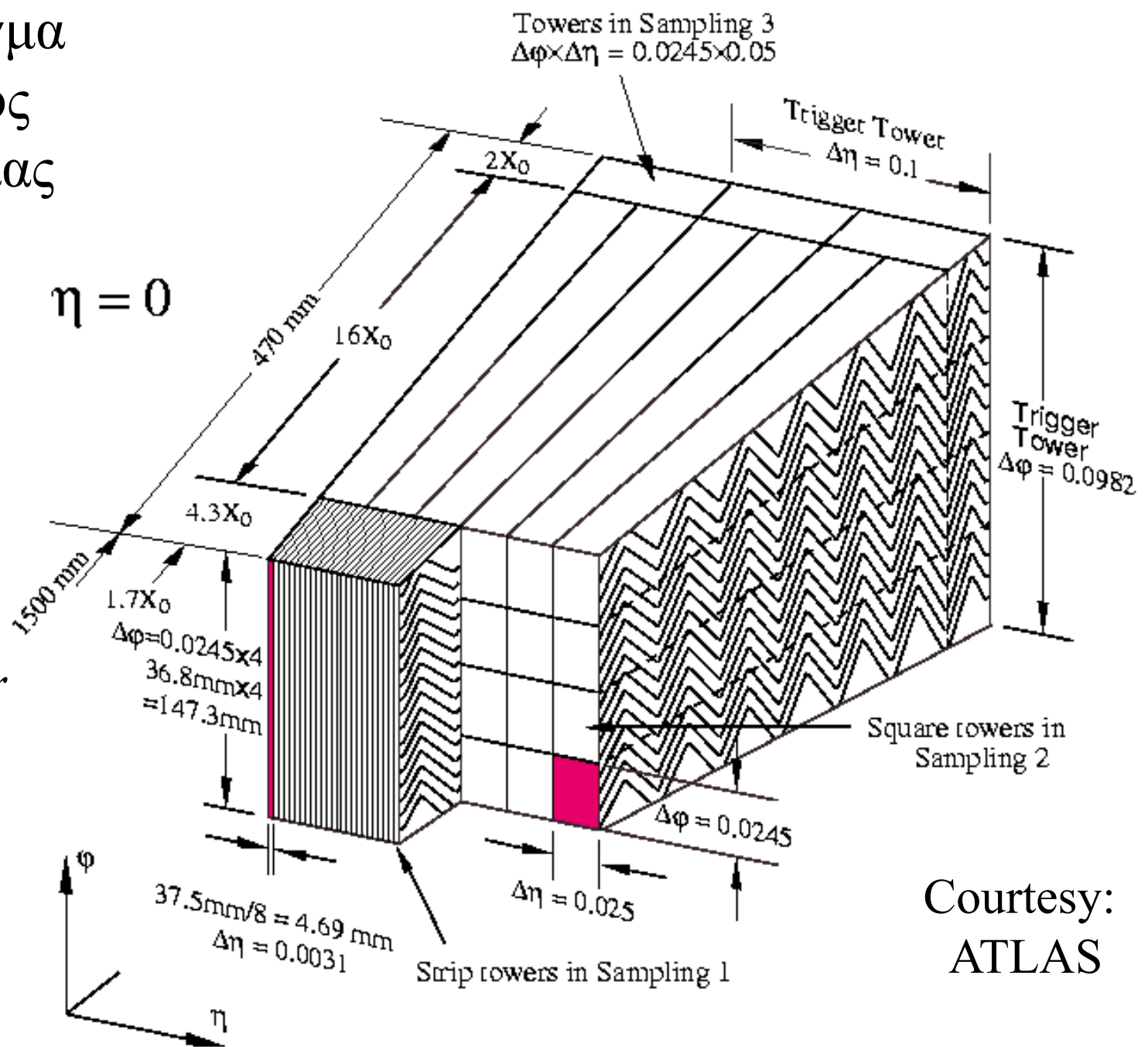
$$\sigma_{\text{συνολο}} = \sum \sigma_{\text{φαινομενου}}$$

2.5 MeV e⁻
ηλεκτρονιο

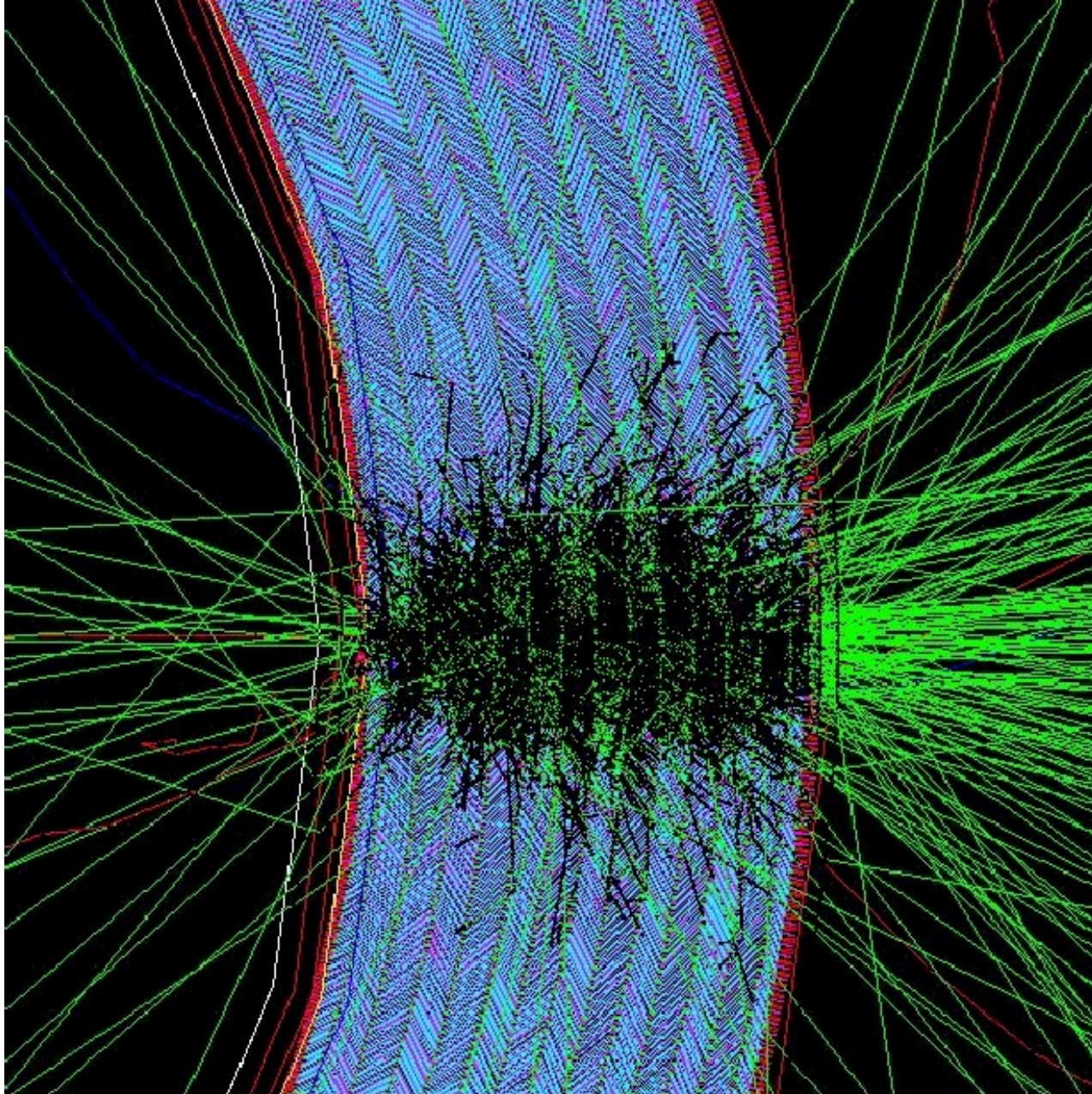


Παράδειγμα
ακριβούς
γεωμετρίας

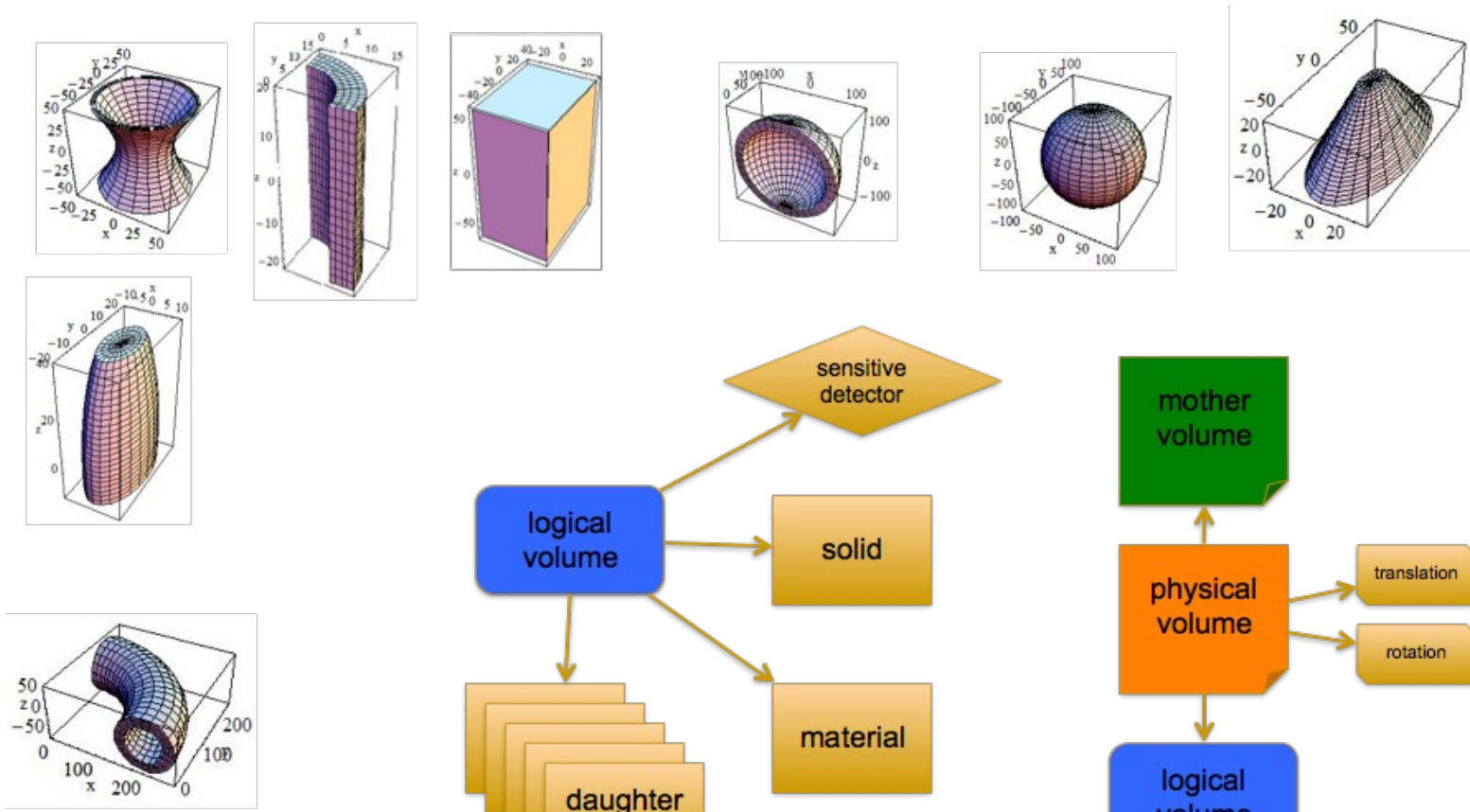
*ATLAS
Electro-
Magnetic
Calorimeter
Barrel*



Courtesy:
ATLAS



Geometry construction



Ενεργος διατομη (Cross-section)

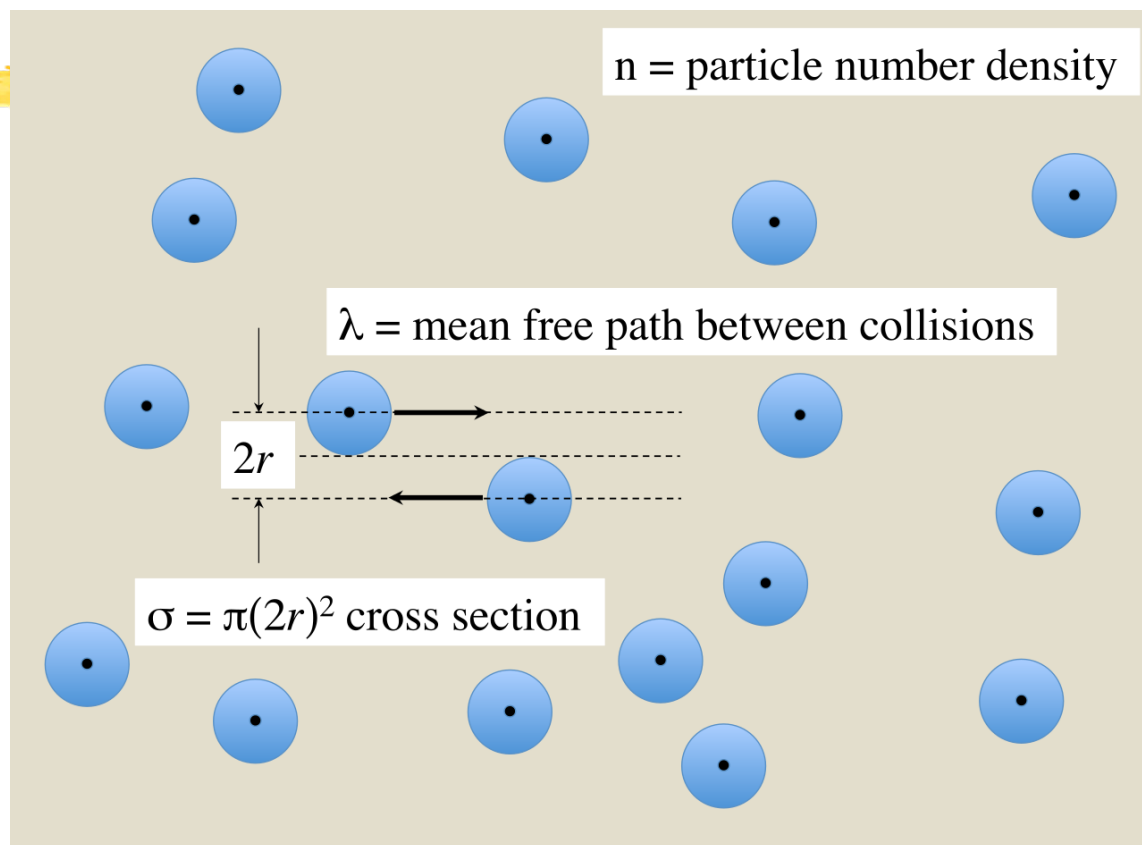
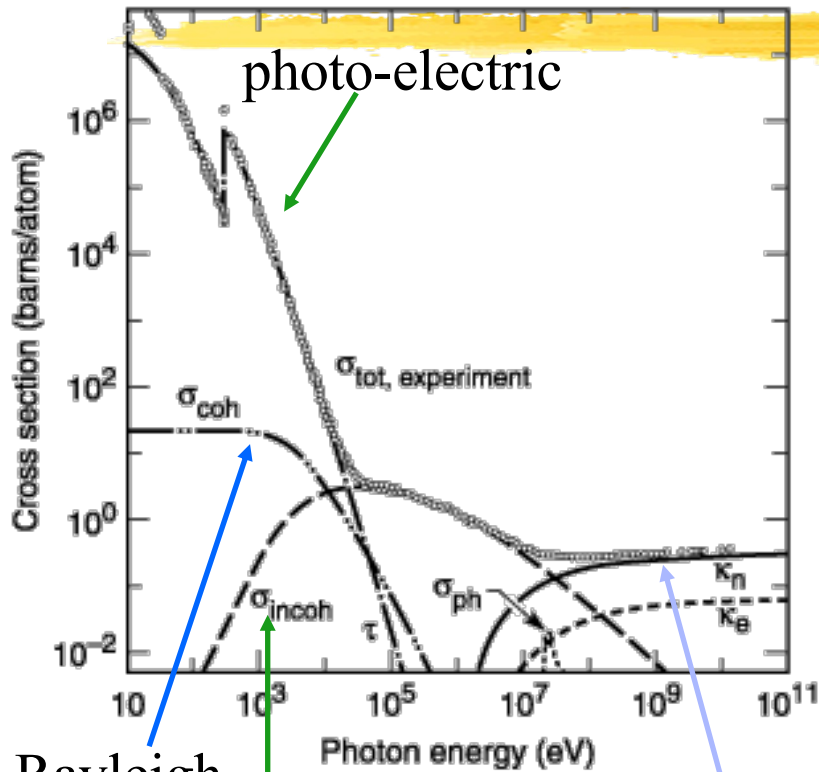


Figure 1. In a gas of particles of individual diameter $2r$, the cross section σ , for collisions is related to the particle number density n , and mean free path between collisions λ .

Ενεργος διατομη (Cross-section)

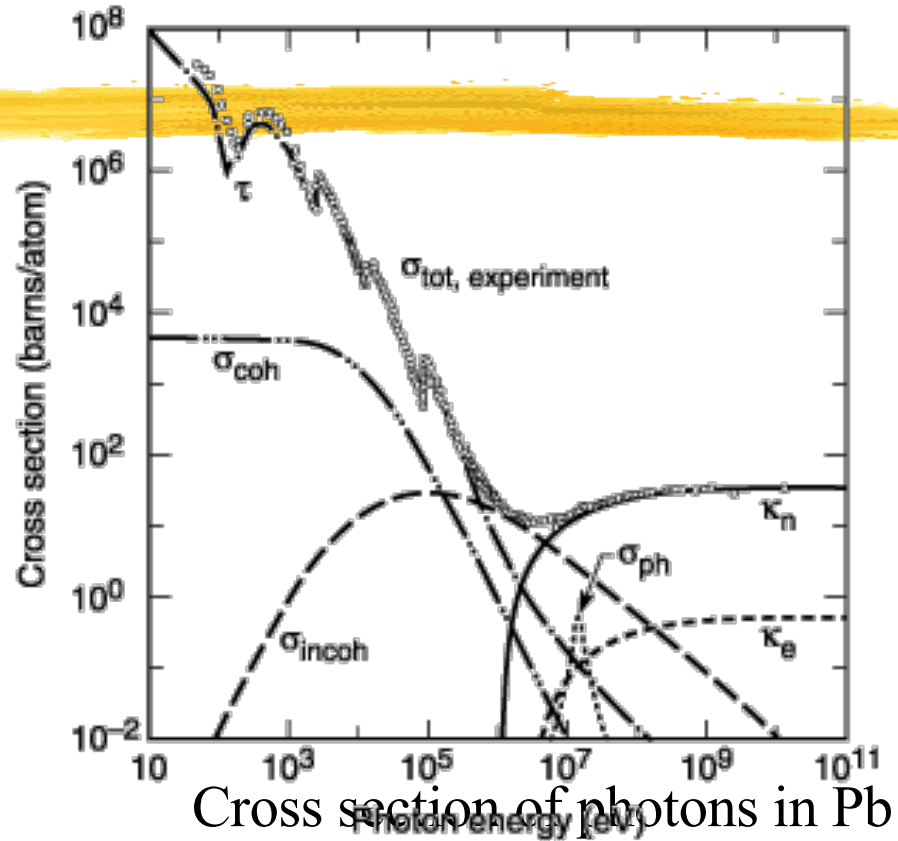


Rayleigh

Compton

gamma conversion

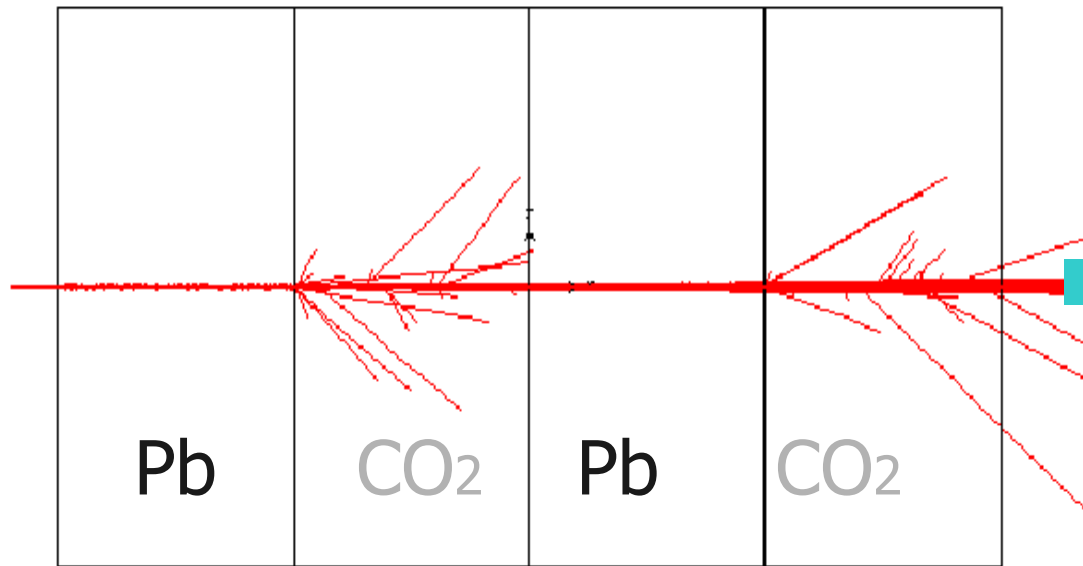
<https://pdg.lbl.gov/>



Cross section of photons in Pb
(Lead)

https://xdb.lbl.gov/Section3/Image_Sec3/Sec3135.gif

Ένα απλο παραδειγμα



GEANT 3

- Στο μολυβδο παραγονται πολλα δευτερευοντα σωματιδια
 - Τα περισοτερα μενουν κοντα,
 - Μερικα ξεφευγουν.
- Το διοξειδιο του ανθρακα, σαν αεριο, εχει μικρη πυκνοτητα
 - Οσα σωματιδια φτανουν η παραγωνται, πανε μακρια
 - Παραγονται λιγοτερα

Γιατι προσομοίωση ?



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

“Γρήγορη” Προσομοίωση - “Fast Simulation”

- Η πολλές αλληλεπιδράσεις στα καλορίμετρα παίρνουν πολύ χρόνο
 - 0.5-2 λεπτά ανά κρούση x 10^{10} κρούσεις (σήμερα) και $10^{11}+$ στο μέλλον
- Πειράματα ψάχνουν για πιο γρήγορες μεθόδους
- Παραμετροποίηση της εναπόθεσης ενέργειας με κατάλληλες συναρτησυναρτήσεις με παραμέτρους

$$f_i(z) = \frac{x^{\alpha_i-1} e^{-x}}{\Gamma(\alpha_i)}, \quad \text{with} \quad x = \beta_i z, \quad \text{Κατά μήκος}$$

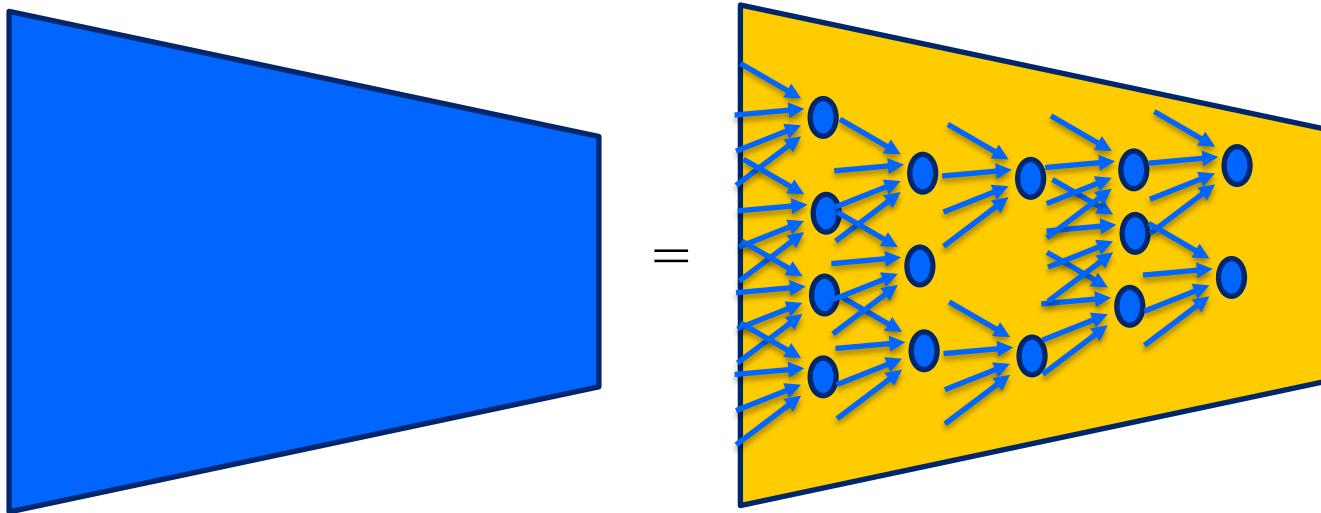
[‘GFLASH’ - G. Grindhammer et al 1989](#)

$$f(r) = \frac{2 r R_{50}^2}{(r^2 + R_{50}^2)^2}, \quad \text{Πλευρική συνάρτηση (στην ακτίνα)}$$

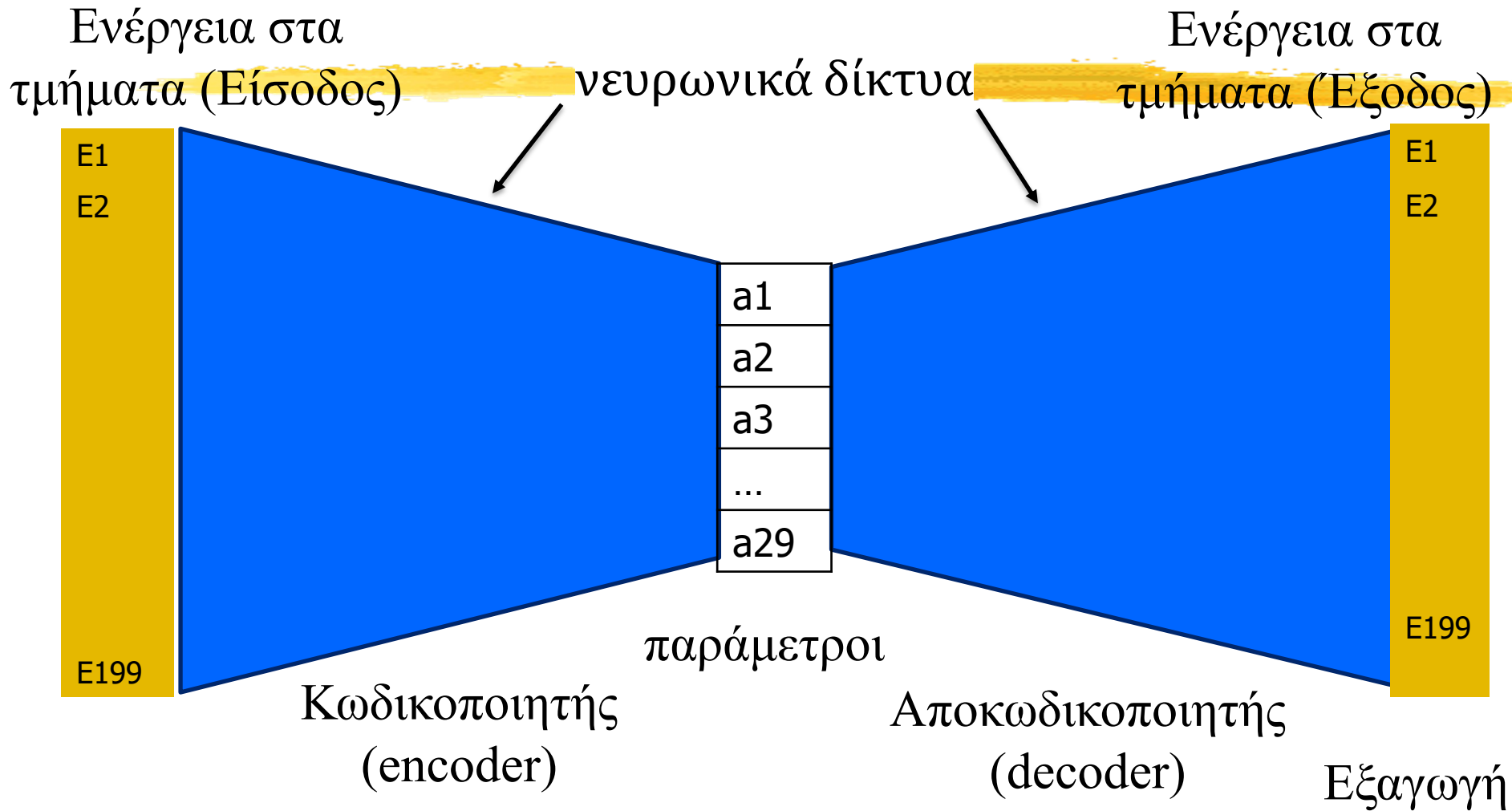
- Οι τιμές όλων των παραμέτρων πρέπει να βρεθούν για τον κάθε ανιχνευτή ξεχωριστά.

Καινούργιες τεχνικές – τεχνητή νοημοσύνη

- Χρησιμοποιήσουμε πολλά παραδείγματα τιμών από την 'ακριβή' προσομοίωση (full simulation) για να κατασκευάσουμε τεχνικά νευρωνικά δίκτυα
- Τα δίκτυα αυτά θα αναπαράγουν την κατανομές εναπόθεσης ενέργειας που της ακριβής προσομοίωσης



(Variational Auto Encoder)

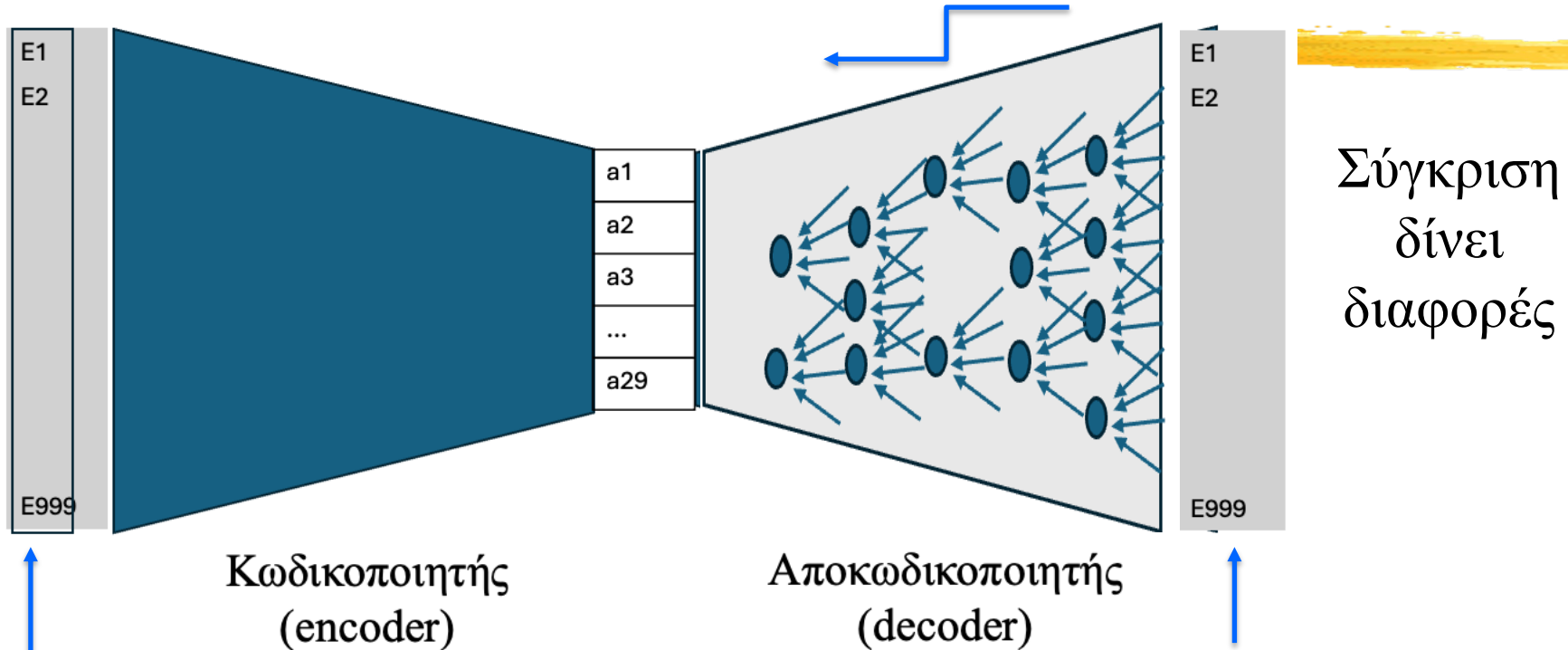


Εισαγωγή

[Εισαγωγή στους Αυτ. Κωδ.](#)

Μάθηση (Training)

Διορθώσεις των τιμών/βαρών

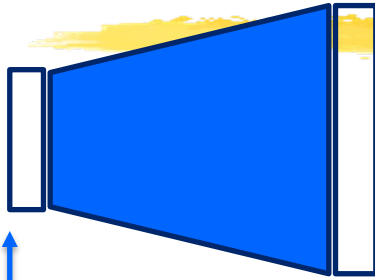


Κωδικοποιητής
(encoder)

Αποκωδικοποιητής
(decoder)

Χρησιμοποιούμε δεκάδες-εκατοντάδες **χιλιάδες** αποτελέσματα της προσομοίωσης. Συγκρίνουμε με το αναμενόμενο αποτέλεσμα και ‘διορθώνουμε’ τις παραμέτρους των νευρωνικών δικτύων, με (σχετικά) γρήγορη σύγκλιση αν η **αρχιτεκτονική** του δικτύου είναι καλή

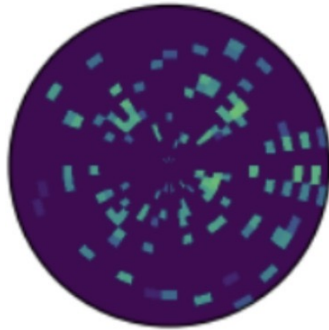
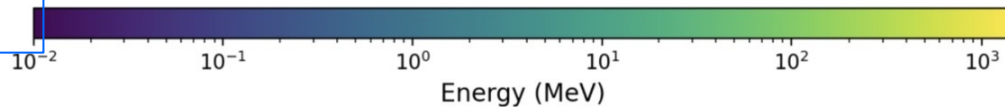
Αποκωδικοποιητής σαν γεννήτρια γεγονότων



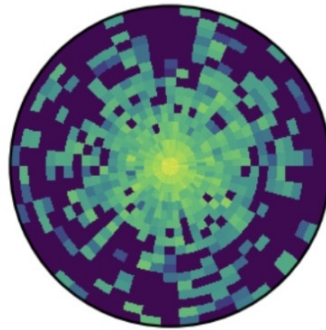
Χρησιμοποιούμε μόνο τον αποκωδικοποιητή για να παράγουμε καινούργιες τιμές των ενεργειών

Εισαγωγή τυχαίων τιμών 'θόρυβου' με γνωστή κατανομή πιθανοτήτων

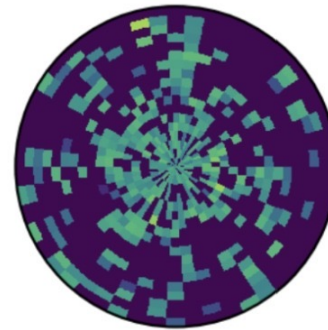
Εξαγωγή τιμών ενεργειών



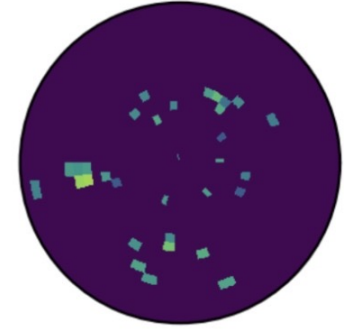
Layer 1



Layer 13



Layer 28

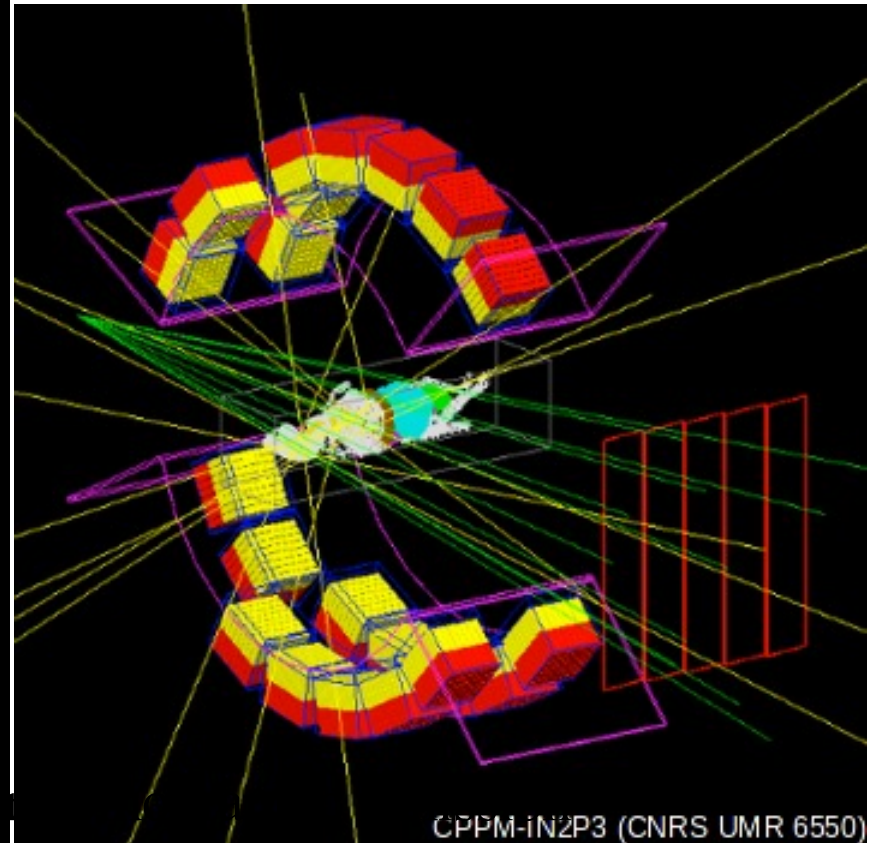
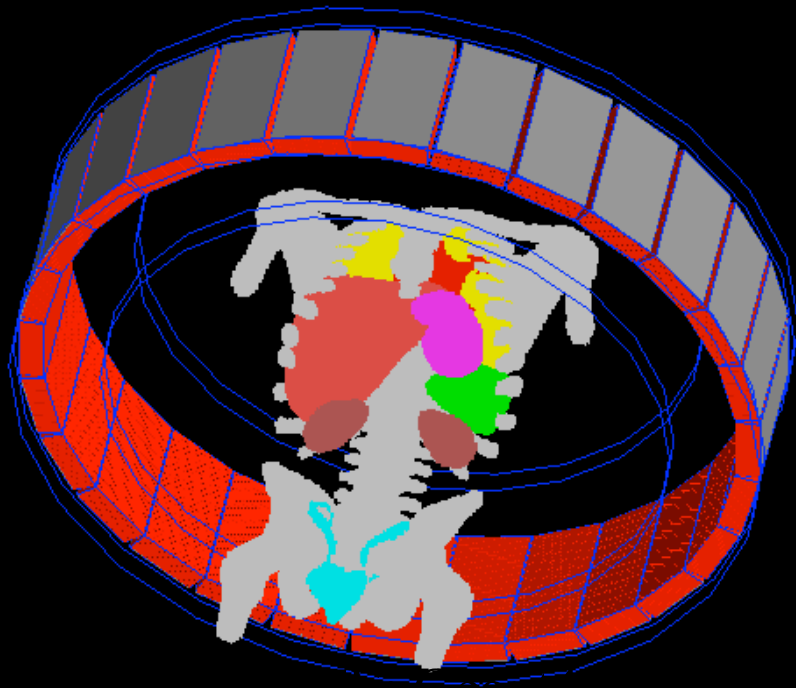


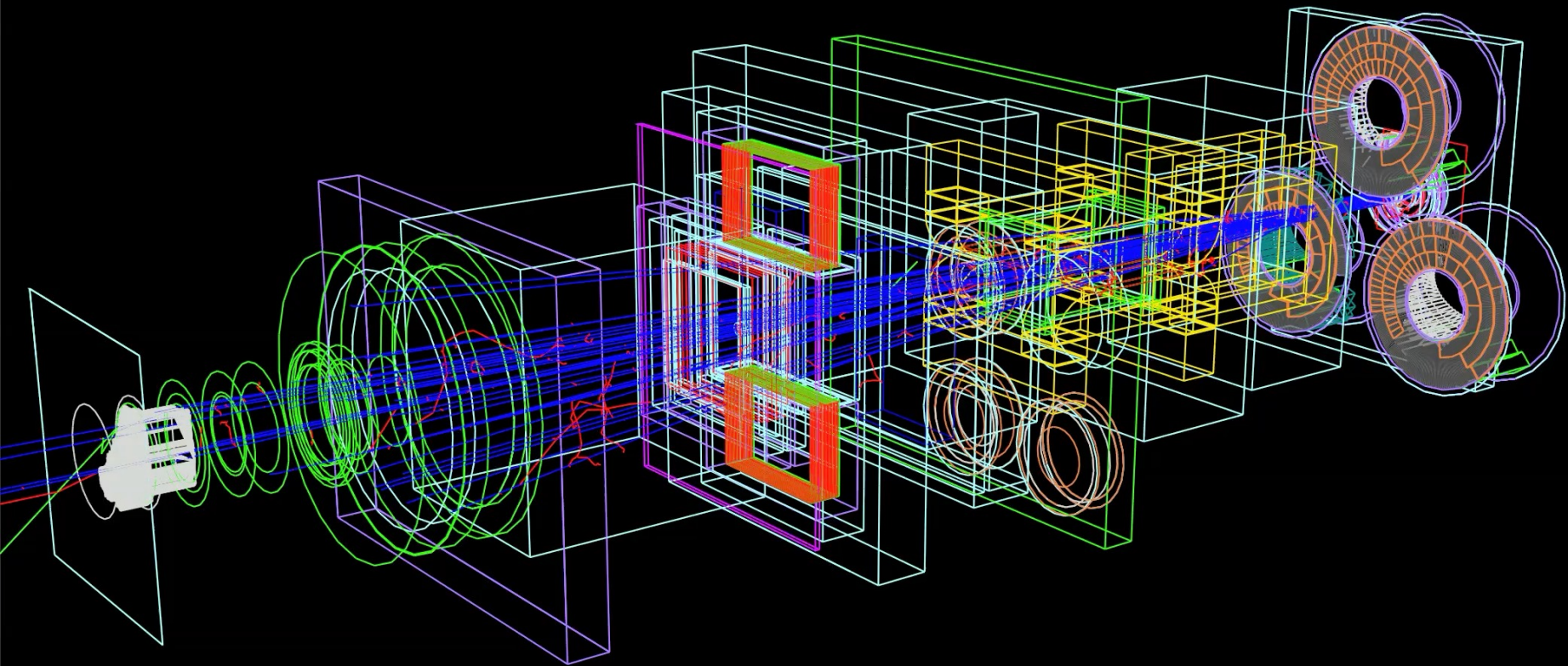
Layer 45

Άλλες χρήσεις προσομοίωσης

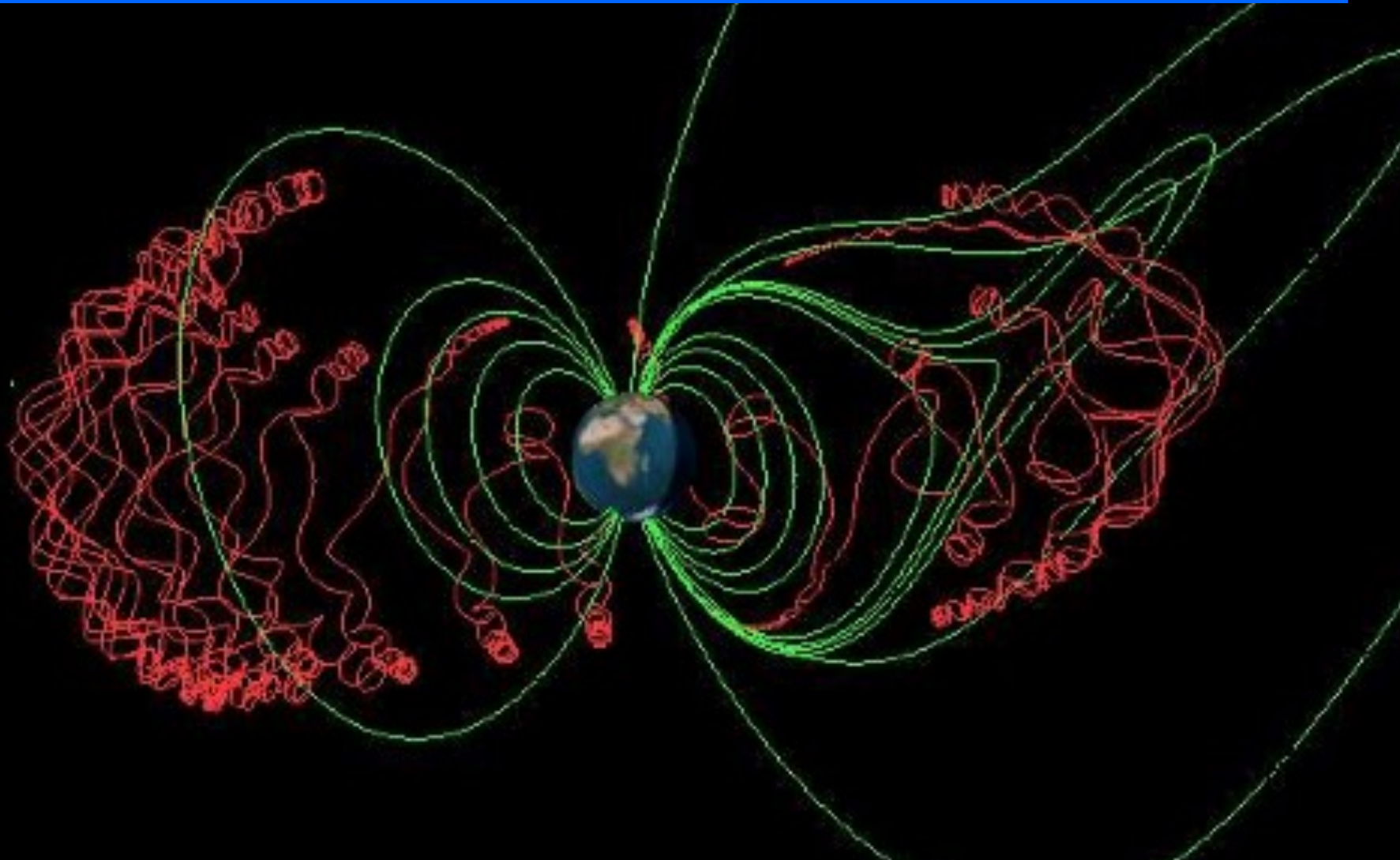
- Ιατρική
 - Για ιατρική διάγνωση
 - Ραδιο-ιατρική – θεραπεία με πρωτόνια
- Πλανήτη
 - Αλληλεπίδραση ηλεκτρονίων/πρωτονίων με ατμόσφαιρα και μαγνητικό πεδίο της Γης

Positron Emission Tomography (PET)





Trapped particles in Earth's Magnetic field



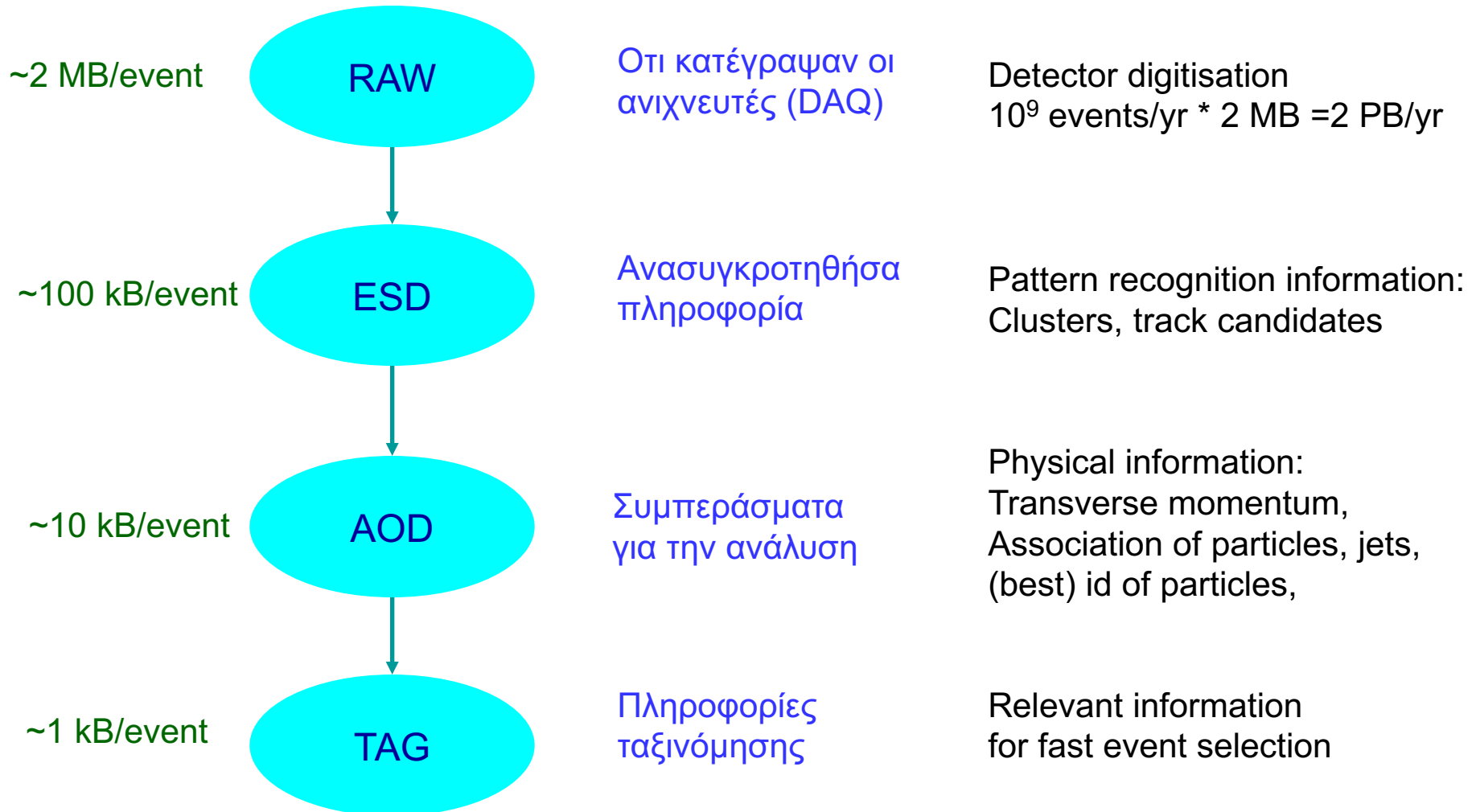
Ανάλυση δεδομένων



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) η που ? ... στο Πλέγμα (GRID)
- ❑ Hyratia: μικρό κομάτι 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)



Λειτουργικά συστήματα

- Linux σε σχεδόν όλους τους υπολογιστές
 - CERN Data center: 450,000 πυρήνες και 10,000 servers
 - Χαμηλότερο κόστος ανά υπολογιστική δύναμη
- Στά γραφεία / laptops
 - MacOS για προγραμματιστές – παρόμοιο Unix (σαν το Linux) + λογισμικά σαν το 'Office'
 - PC με Windows
 - PC/laptops με Linux

Γλώσσες προγραμματισμού

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

Οι φυσικοί προγραμματίζουν

- Ολη η ανάλυση μετρήσεων γίνεται με υπολογιστές
- Οι φυσικοί ΥΕ χρησιμοποιούν ειδικευμένα προγράμματα
 - Μερικοί γράφουν μεγάλες κομμάτια ή πολλές υπορουτίνες (methods) σε C++, ή άλλες γλώσσες πχ Python
 - Οι περισσότεροι γράφουν μικρές Python υπορουτίνες, για τις δικές τους ανάγκες
- Όλοι χρησιμοποιούν λογισμικά ‘εργαλεία’
 - για να δουν τις περιλήψεις των μετρήσεων