Υπολογιστική Φυσική Στοιχειωδών Σωματιδίων

4ο Εξάμηνο 2004-2005

Διακριτική ικανότητα ανιχνευτή-Υπόβαθρο-Υπολογισμός του ‘σήματος’

Διδάσκοντες : Χαρά Πετρίδου

Δημήτριος Σαμψωνίδης

Περιεχόμενα

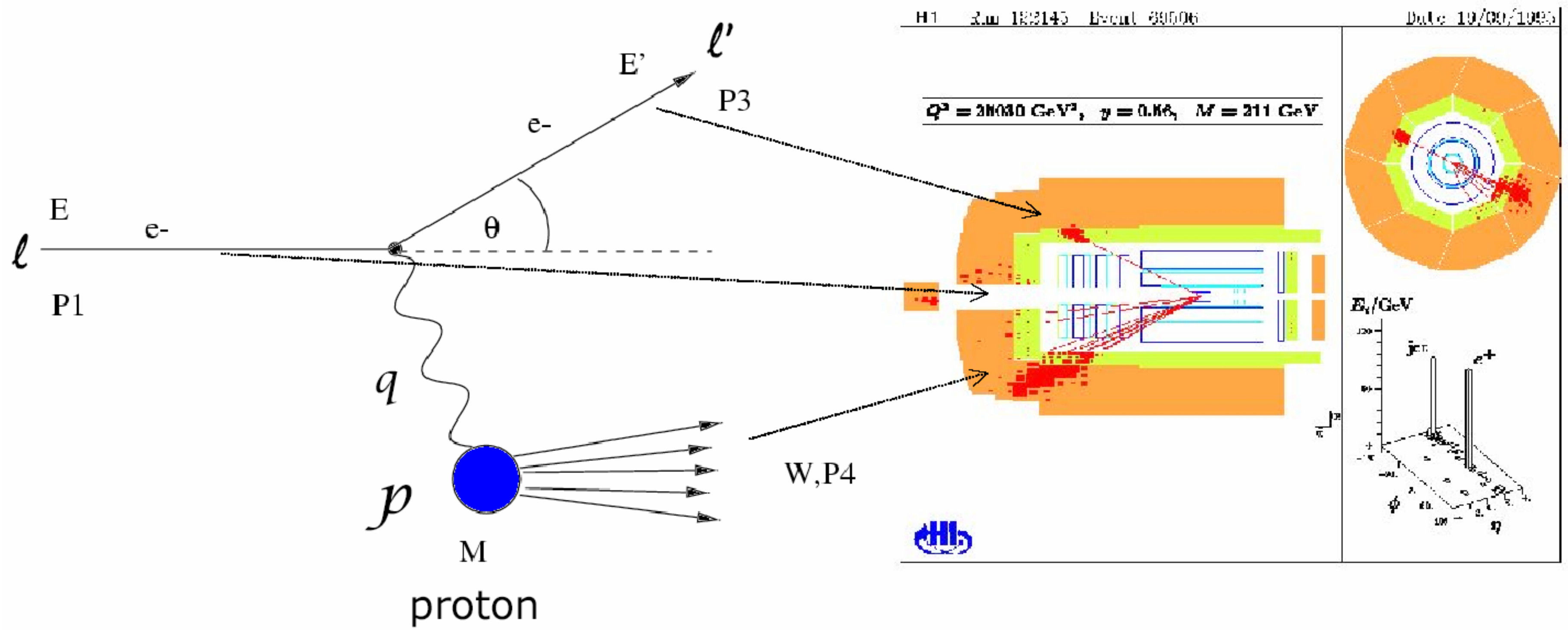
- Οι ανιχνευτές μας ΔΕΝ είναι τέλειοι : πρέπει να πάρουμε υπ'όψη
  - Την διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή
  - Τον τρόπο επιλογής των γεγονότων (selection critiria)
  - Την απόδοση στην επιλογή των γεγονότων και την "καθαρότητα" των γεγονότων (efficiency vs purity)
  - Την συμβολή των διαφόρων πηγών υποβάθρου (backgrounds)

Ορισμοί

- Διακριτική ικανότητα: το πλάτος της κατανομής (reconstructed/generated)
- Purity : το κλάσμα των γεγονότων σήματος σε ένα bin προς αυτά που μετρήσαμε σ'αυτό το bin. P=Ns/Nr
- Απόδοση : ε=Ns/Ng : Ο αριθμός των γεγονότων σήματος που μετρήσαμε πρός τον συνολικο αριθμό που δημιουργήσαμε με προσομοίωση (generated)
- Stability : Ns/Ngr :Το πλήθος των γεγονότων σήματος w.r.t. bin migrations

Διακριτική ικανότητα

- Στη βαθειά ανελαστική σκέδαση π.χ. HERA, μετρούμε ποσότητες κινηματικής και συγκρίνουμε με MC



Διακριτική ικανότητα

$$Q^2 = -q^2 = -(l - l')^2 \qquad x = \frac{Q^2}{2p \cdot q} \qquad y = \frac{p \cdot q}{p \cdot l}$$

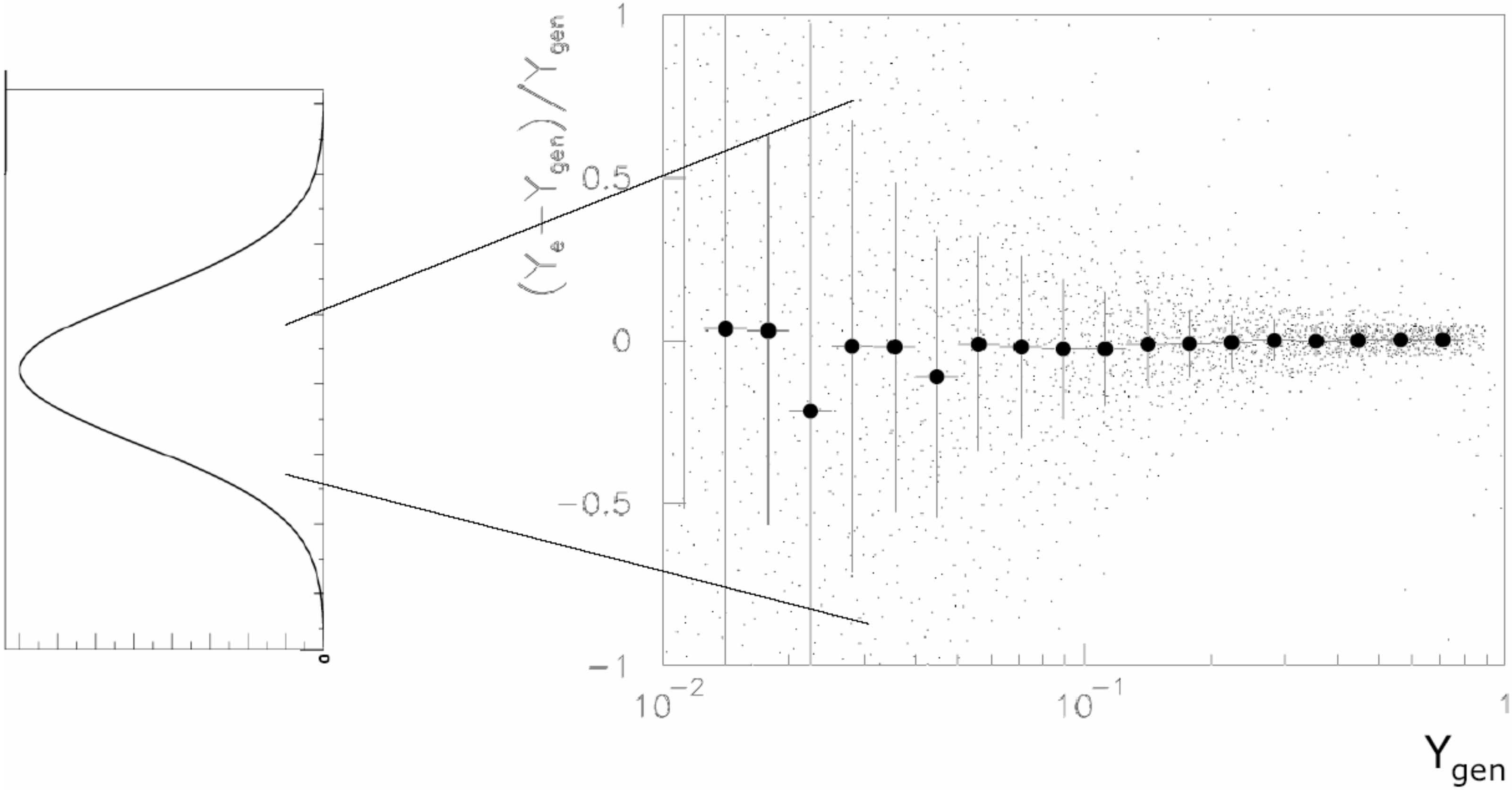
$$0 < x < 1 \qquad 0 < y < 1 \qquad s = (p + l)^2 = 2p \cdot l \qquad Q^2 = sxy$$

- Έστω η ποσότητα y για το σκεδαζόμενο ηλεκτρόνιο

$$y_e = 1 - \frac{E_e^{'}}{2E_e}\left(1 - \cos\theta_e\right) \qquad Q_e^2 = 2E_e E_e^{'}\left(1 + \cos\theta_e\right)$$

- Την υπολογίζουμε πειραματικά για γωνία σκέδασης θ και συγκρίνουμε με το Monte Carlo

Διακριτική ικανότητα

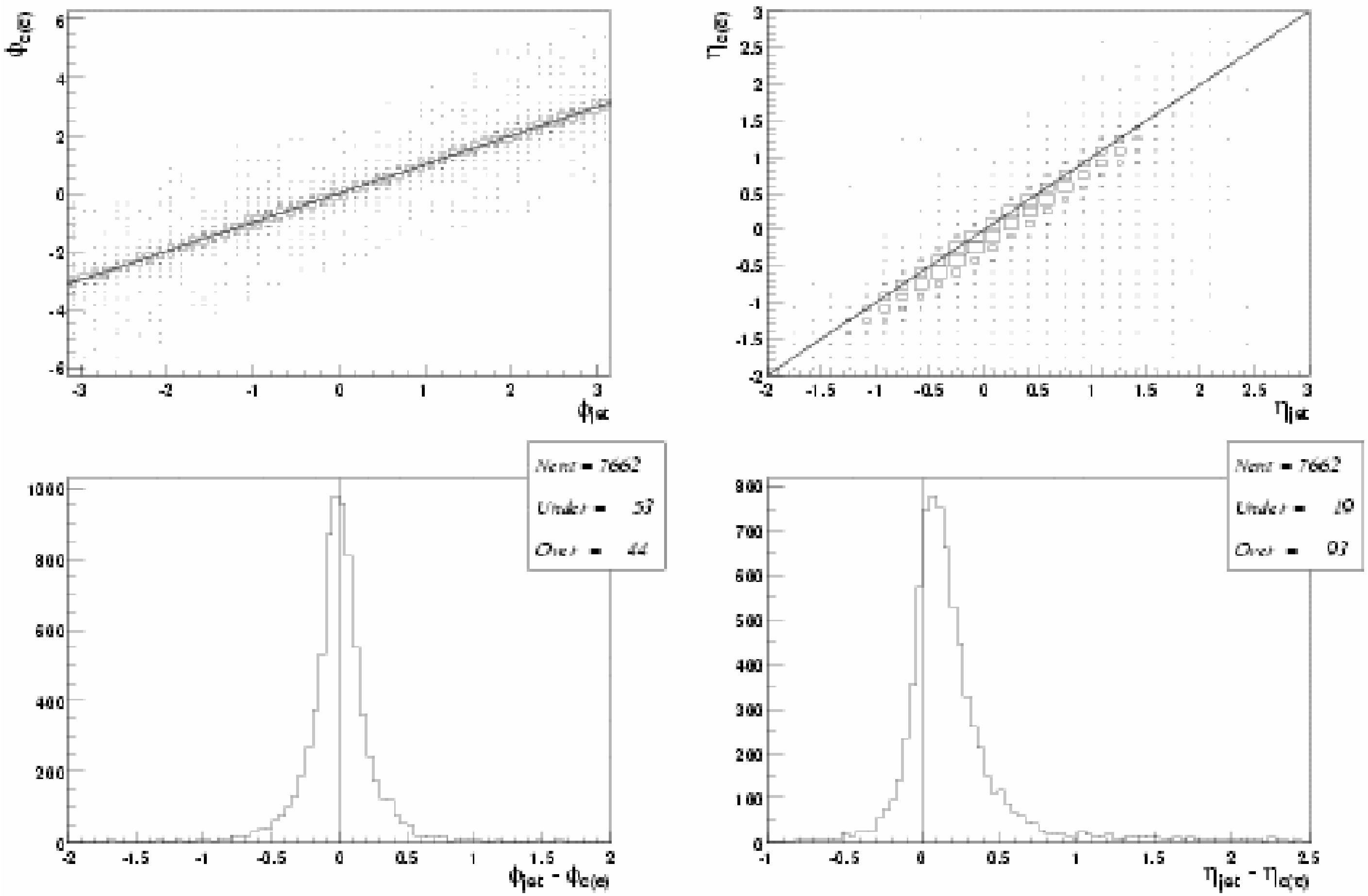


computed with Monte Carlo simulation.

For fixed angle :

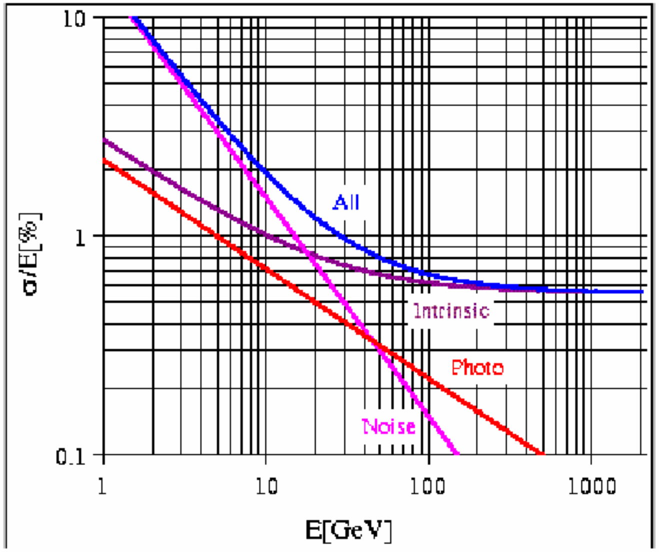
$$\frac{\delta y_e}{y_e} = \frac{1 - y_e}{y_e}\frac{\delta E'_e}{E'_e}$$

Διακριτική ικανότητα



- Σύγκριση φ και η των *q* (*q-bar*) *generated*, με τα φ και η των ανακατασκευασμένων jets

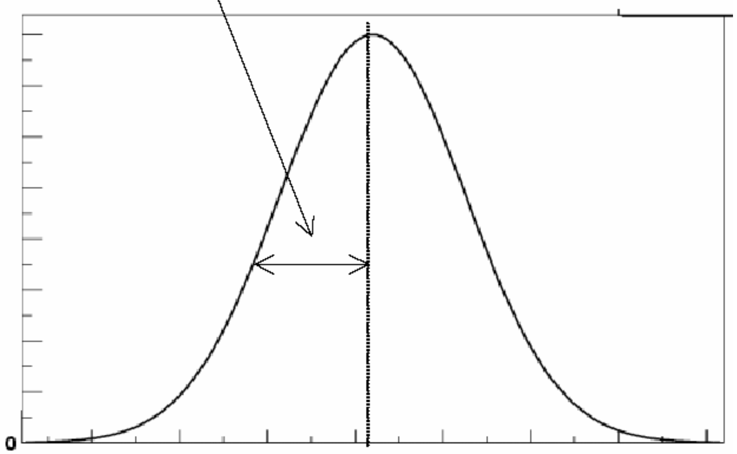
Διακριτική ικανότητα στο καλορίμετρο



from Monte Carlo Simulation
for every energy point,
or via test beams

Energy resolution

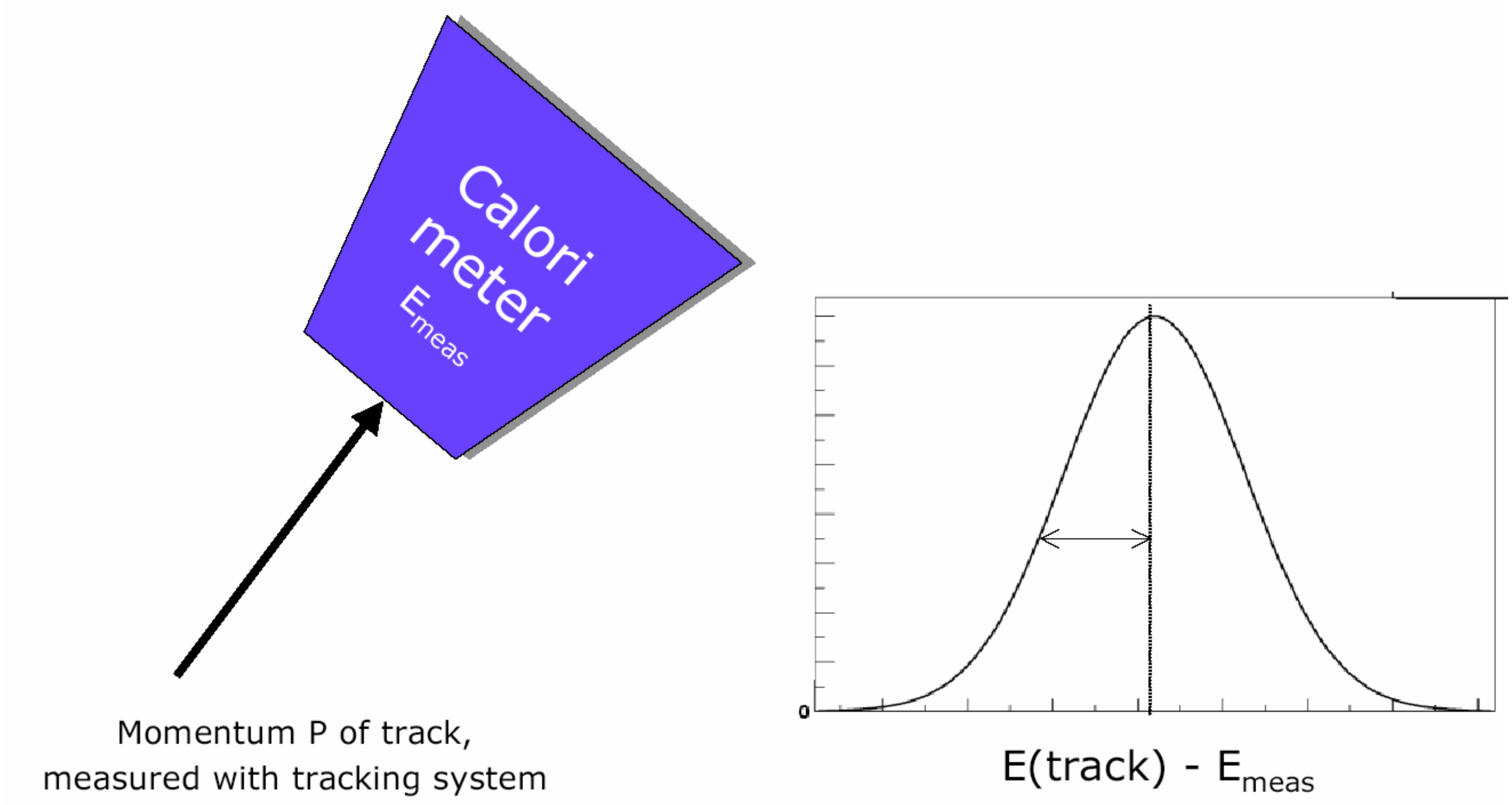
$$\frac{\sigma_E}{E} = \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus \frac{b}{E} \oplus c$$



E_{true} - E_{meas}

Διακριτική ικανότητα στο καλορίμετρο

- Αντί MC, σύγκριση της ορμής σωματιδίου με την ενέργεια στο καλορίμετρο



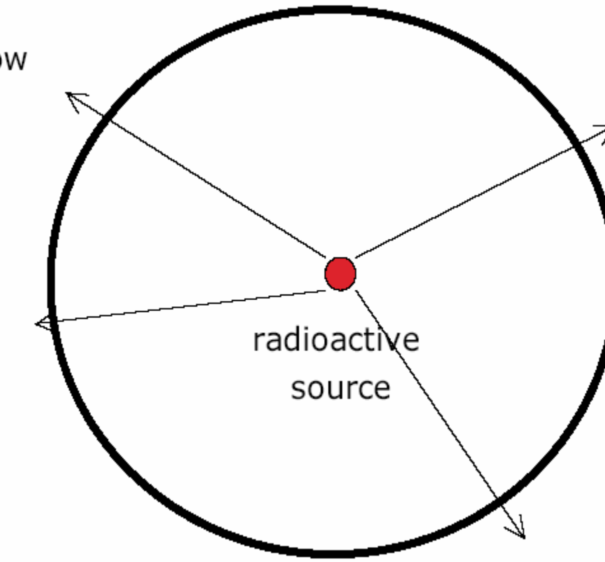
Acceptance

- Ο ανιχνευτής μας είναι σχεδόν αδύνατον να έχει γεωμετρία 4π. Υπολογίζουμε την ενεργό του επιφάνεια

we measure

we want to know

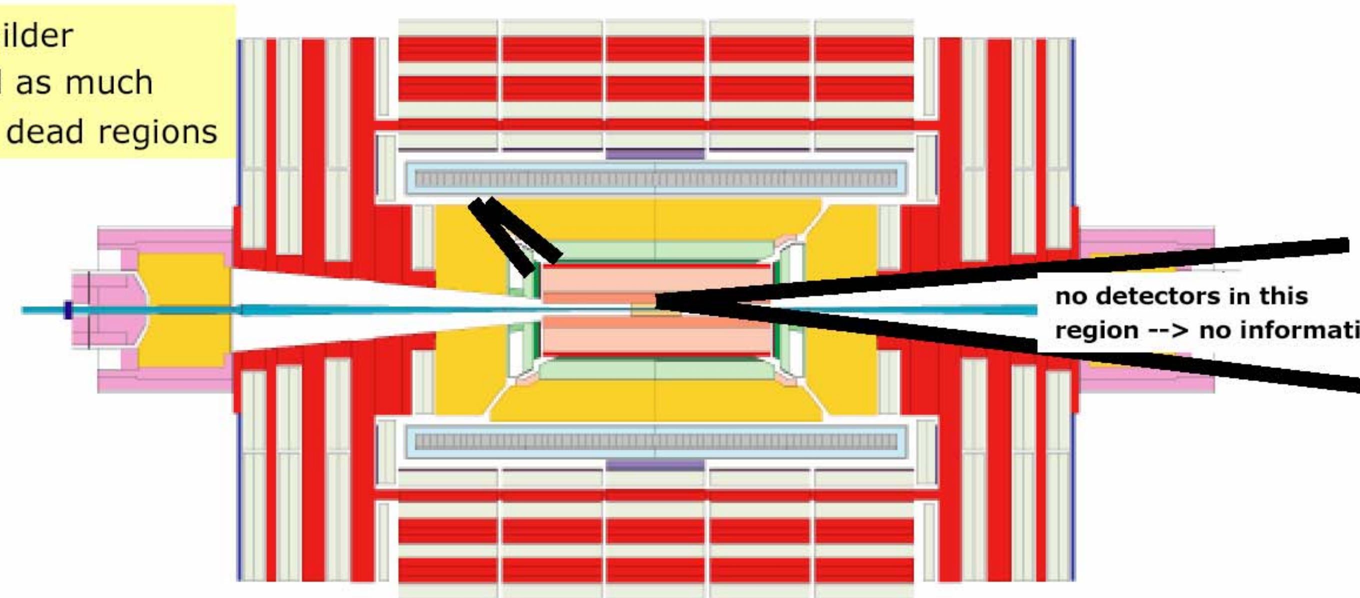
$$N_{\text{measured}} = \underbrace{\frac{\text{sensitive area}}{\text{total area}}}_{\text{acceptance}} N_{\text{decay}}$$



- Παρόμοια χρειάζεται να υπολογίσουμε και τον νεκρό του χρόνο με προσομοίωση

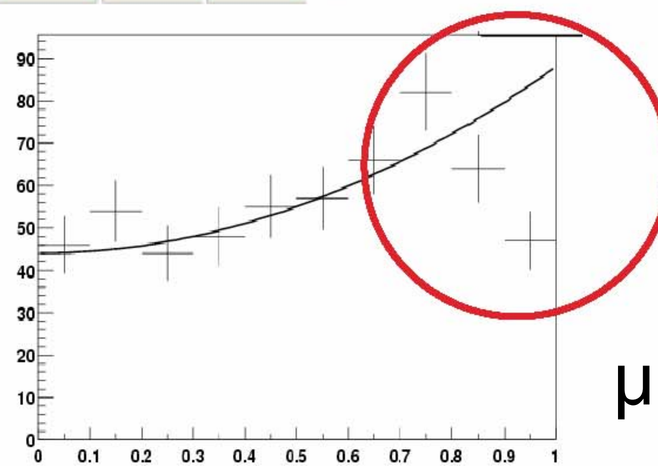
Acceptance

detector builder
try to avoid as much
as possible dead regions



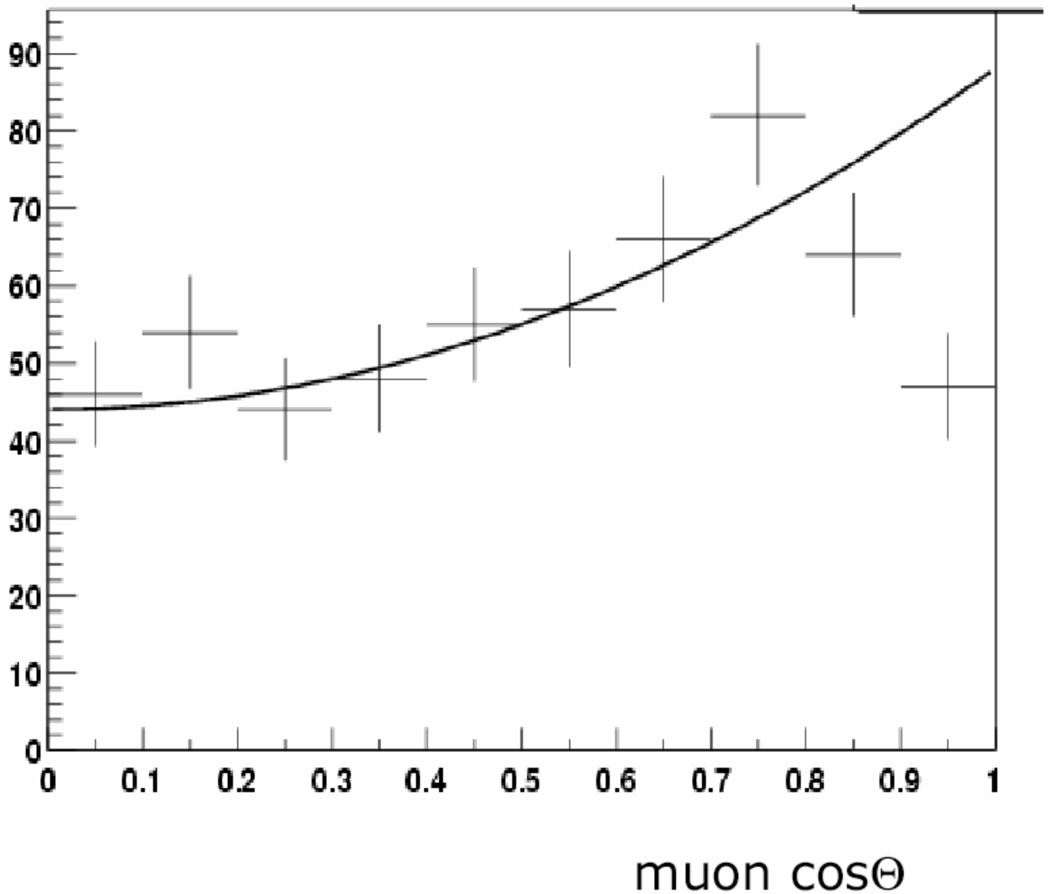
example of a consequence:

Here a detailed MC simulation
is needed to find the acceptance
correction factor



μ cosθ

Detector acceptance corrections



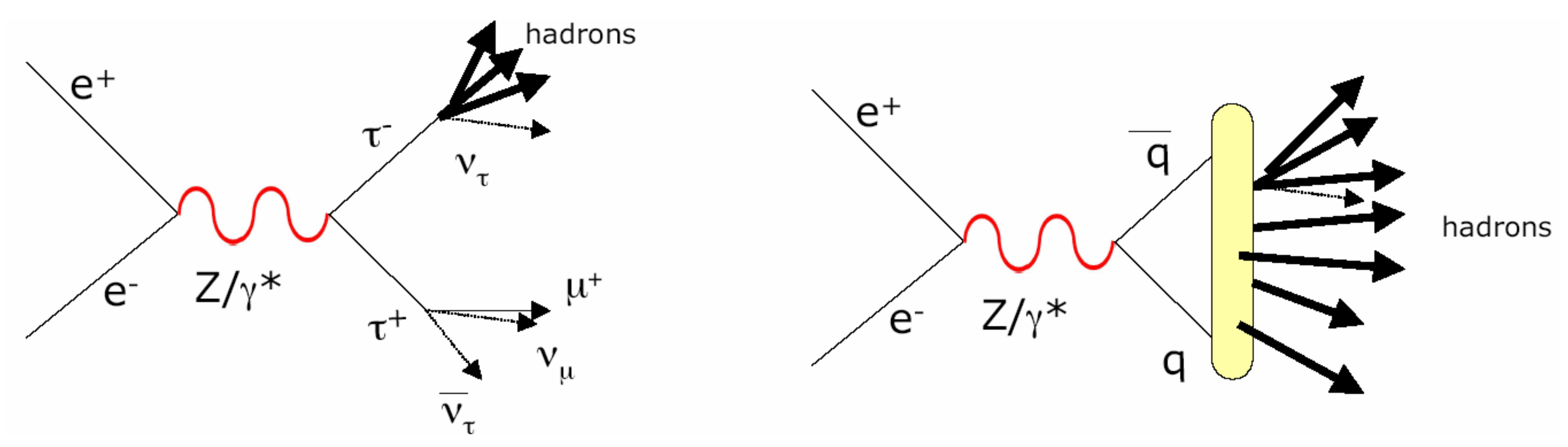
$$N_{obs}(i)=C(i) * N_{true}(i)$$

$$\frac{N_{meas\text{-}MC}(i)}{N_{gen\text{-}MC}(i)}$$

from Monte Carlo simulation

Η επιλογή των γεγονότων

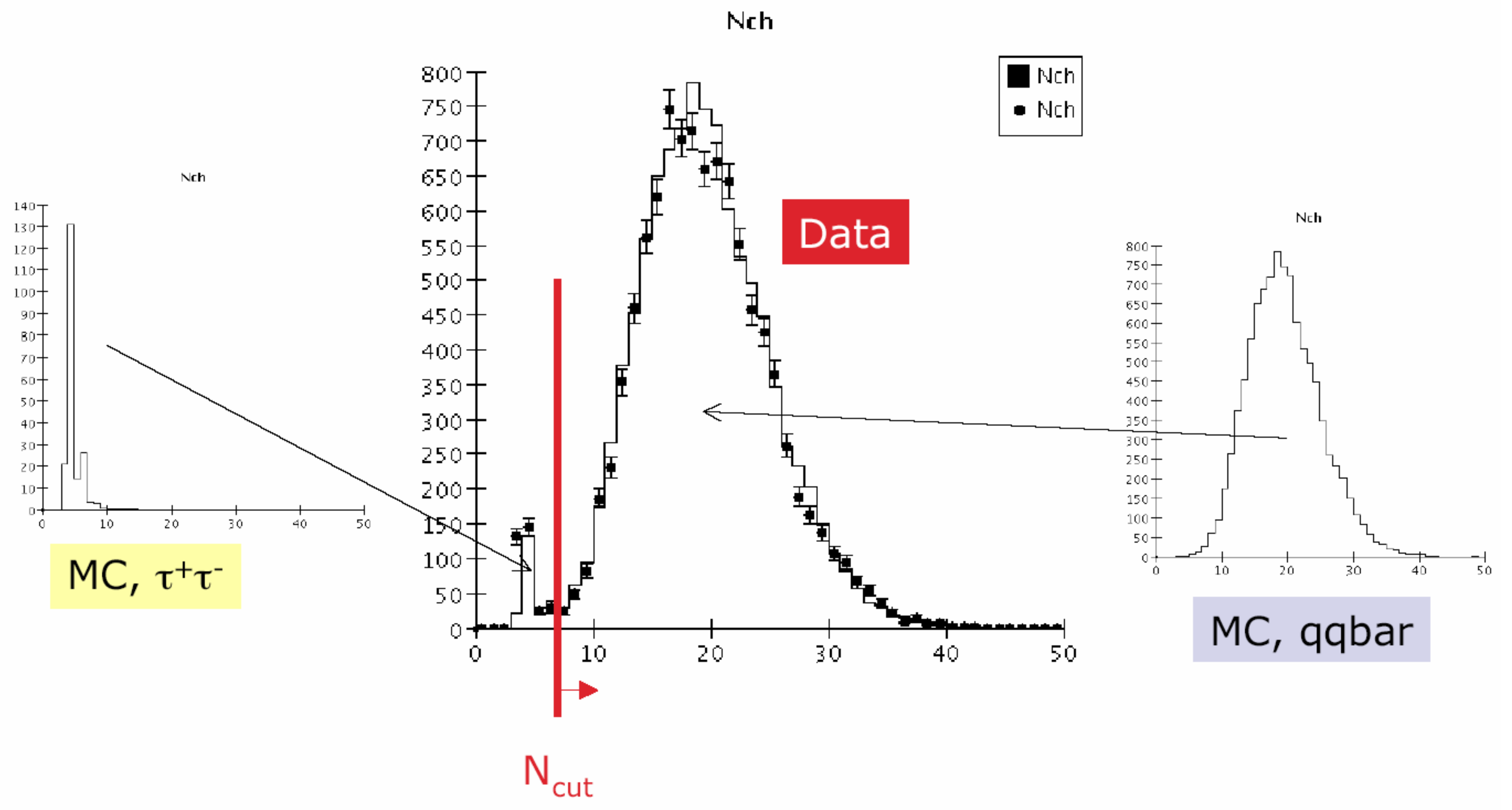
- Τα δεδομένα ενός πειράματος έχουν γεγονότα απο διαφορετικές αλληλεπιδράσεις
- Για να μελετήσουμε μία, πρέπει να επιλέξουμε τον αντιστοιχο τύπο γεγονότων
- π.χ. : Z decays at LEP, with hadrons in final state έστω οτι επιλέγουμε Z->qq-bar



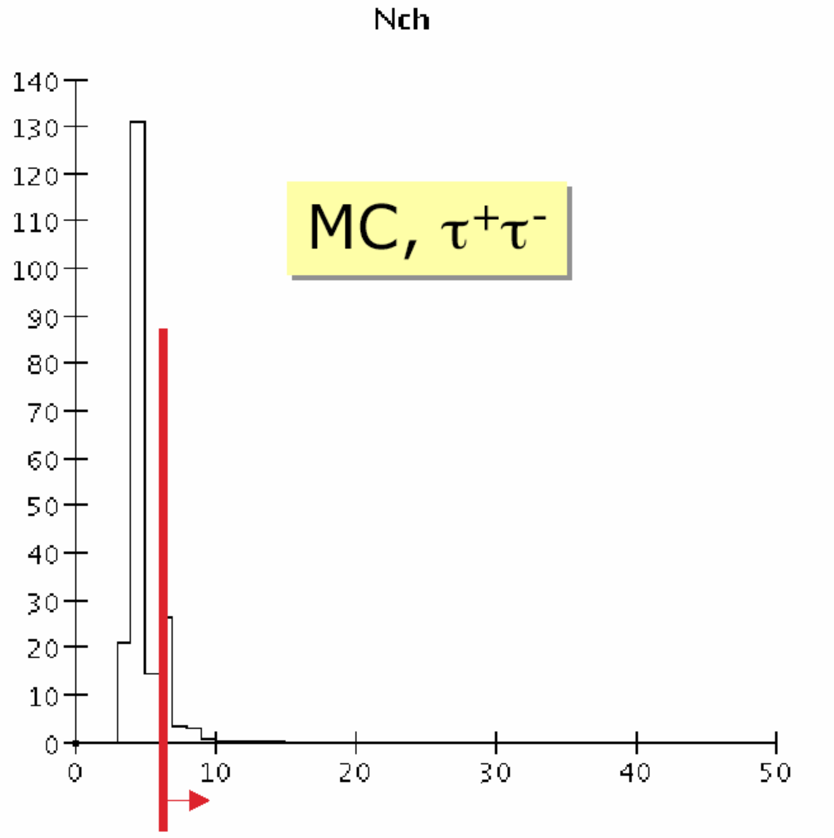
Η στρατηγική

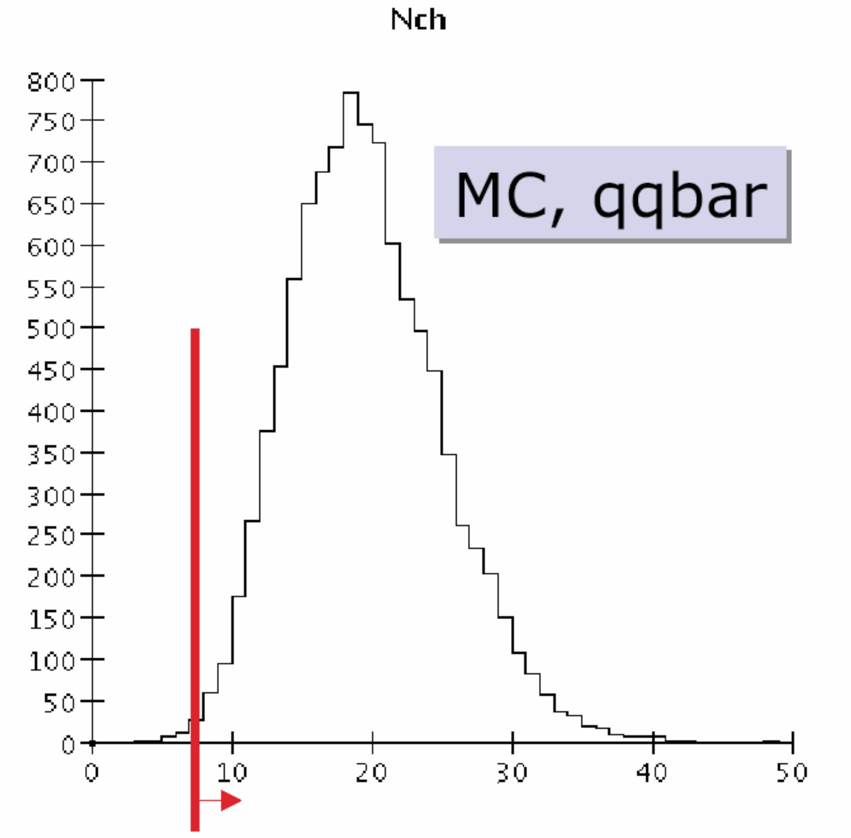
- Επιλέγουμε μεταβλητές που βοηθούν να ξεχωρίσουμε τις διάφορες αλληλεπιδράσεις
- Π.χ. Στο προηγούμενο παράδειγμα το πλήθος των φορτισμένων σωματιδίων
- Χρησιμοποιούμε MC για να μελετήσουμε την μεταβλητή και να ορίσουμε cut Ncut
- Επιλέγουμε γεγονότα με Nch>Ncut ώστε το δείγμα να εμπλουτιστεί σε Z->qq-bar και να αποκλείσουμε διασπάσεις από ταυ

Η στρατηγική



Η στρατηγική





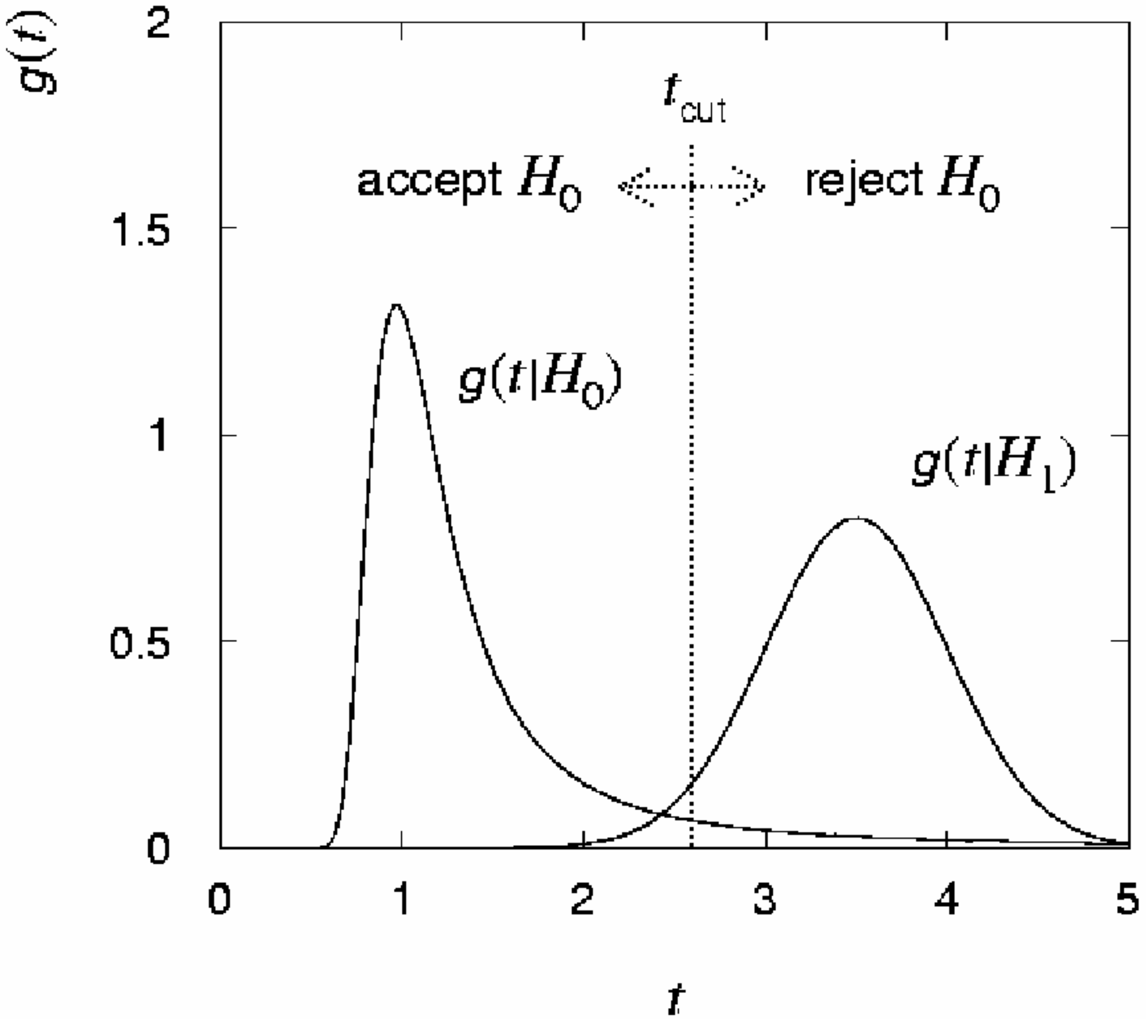
N_{cut} ⇒Very small efficiency

⇒Very small background

N_{cut} ⇒High efficiency

⇒High signal statistics

Η στρατηγική



How to distinguish a certain hypothesis H_0 from another H_1 ?

Study relevant distributions g(t) …

Οι συνέπειες

- Θα απορρίψουμε μερικά “καλά” γεγονότα
- Θα συμπεριλάβουμε μερικά “κακά” γεγονότα

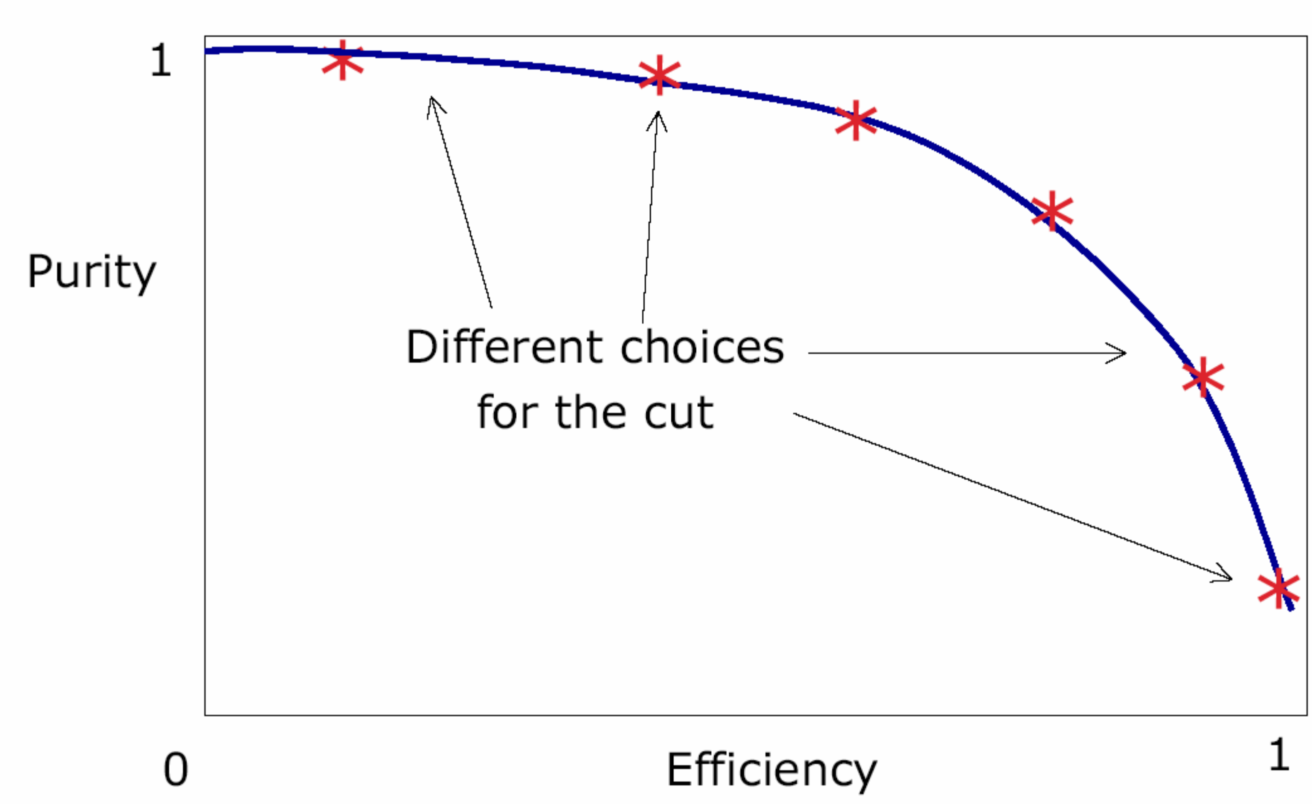
$$\text{Efficiency } \varepsilon = \frac{\text{N(“good” MC evts, which are selected)}}{\text{N(all produced “good” MC evts)}} \qquad 0<\varepsilon<1$$

Background B= N(sel. MC evts, which are not “good”)

all numbers typically obtained
from Monte Carlo simulation

$$\text{Purity } P = \frac{\text{N(sel. MC evts, wich are “good”)}}{\text{N(all selected MC evts)}} \qquad 0<P<1$$

Τυπικά αποτελέσματα από MC



- Ποιό σημείο θα επιλέξουμε ? εξαρτάται από την ανάλυση....

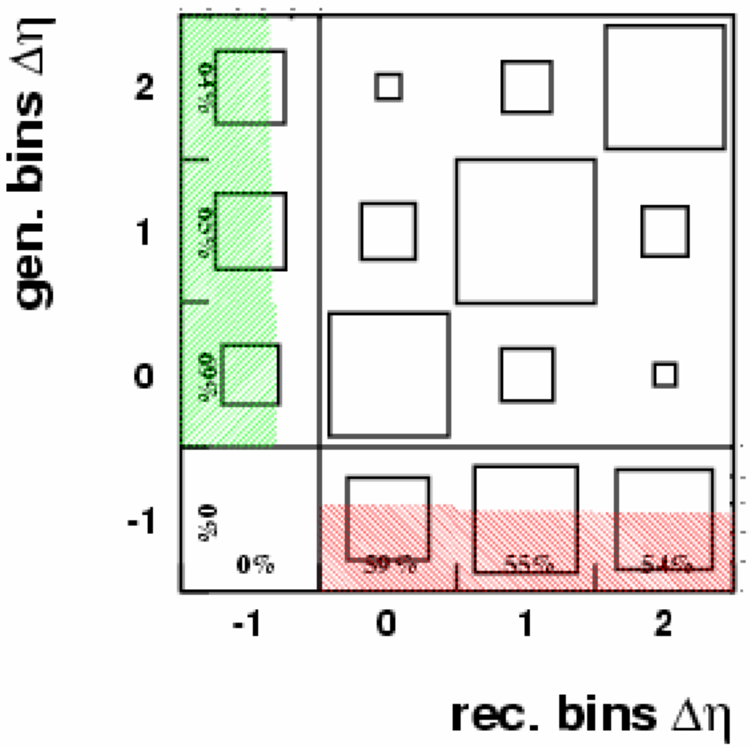
Παράδειγμα purity και stability

Migration matrix for
H1 charm jet reconstruction

x: reconstructed on detector level
y: vs generated hadron

to study for each bin:
- purity P (plotted on x-axis)
- stability S (plotted on y-axis)
  (bin −1 includes overflows)

Binning and cuts such that:
- P > 50% for each bin
- S > 50% for each bin



Μέτρηση της ενεργού διατομής

- Μετά την επιλογή γεγονότων θα υπολογίσουμε την ενεργό διατομή για Z-> qq-bar->hadrons

$$N_{sel} = \sigma(\mathrm{signal}) * L_{int} * \varepsilon + N_{bckg}$$

cross section we want to measure

selection efficiency

integrated luminosity

Μέτρηση της ενεργού διατομής επιλογή των 'Cuts'

- Το επιθυμητό είναι ελάχιστο σφάλμα στην ενεργό διατομή

 => strong cut -> high purity-> low efficiency-> μικρό αριθμό γεγονότων -> μεγάλο σφάλμα

 => loose cut -> low purity-> high efficiency ->μεγάλο αριθμό γεγονότων ΑΛΛΑ και large backgrounds Το πιο πιθανό : large systematic uncertainties (from limited theoretical knowledge of background distributions)

Systematic Uncertainties

- Δεν έχουν στατιστική φύση
- Πρόκειται για ‘biases’ στην μέθοδο ανάλυσης
- Παράδειγμα: χρησιμοποιούμε το Nbckg από MC. Το MC έχει ‘λάθος’ υπολογισμό στην ενεργό διατομή του υποβάθρου:

$$Nbckg(MC)=Nbckg(true) + \Delta$$

$$\sigma = (Nsel - Nbckg(true)-\Delta) / (\varepsilon * Lint)$$

Και άρα η μέτρηση θα είναι συσηματικά μικρότερη κατά :

$$\Delta / (\varepsilon*Lint)$$

Αυτό δεν αλλαζει αν αυξηθεί η στατιστική μας

Systematic Uncertainties

- Τα συστηματικά σφάλματα προέρχονται επίσης απο Monte Carlo estimates of purity and efficiency

$$\Delta\sigma = \Delta\left(\frac{1}{L_{\text{int}}}\right) \oplus \Delta\left(N_{\text{sel}}\right) \oplus \Delta\left(N_{\text{bckg}}\right) \oplus \Delta\left(\frac{1}{\varepsilon}\right)$$

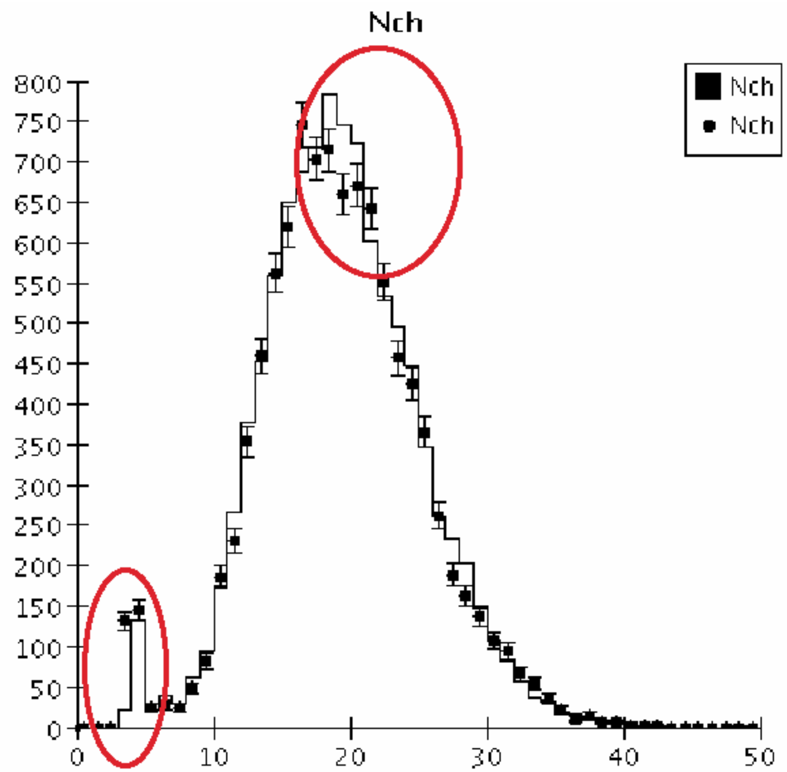
systematic uncertainties,
as well as statistical uncertainty, because
of finite MC statistics

uncertainties estimated by

using different MC generators for the same process
by careful comparison data - MC simulation
by varying cuts

Cut variations

- Αν το *Monte Carlo* είναι 'τέλειο' το αποτέλεσμα ΔΕΝ θα πρέπει να αλλαζει αν αλλαξουμε τα cuts



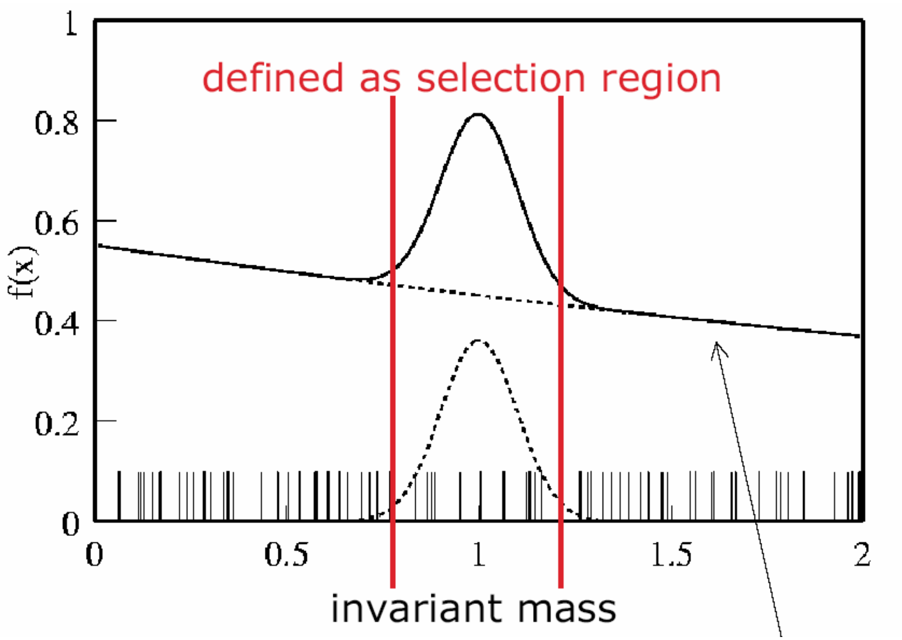
But if some region of a distribution badly described, and you use this distribution for placing a selection cut : cut variations will lead to different results

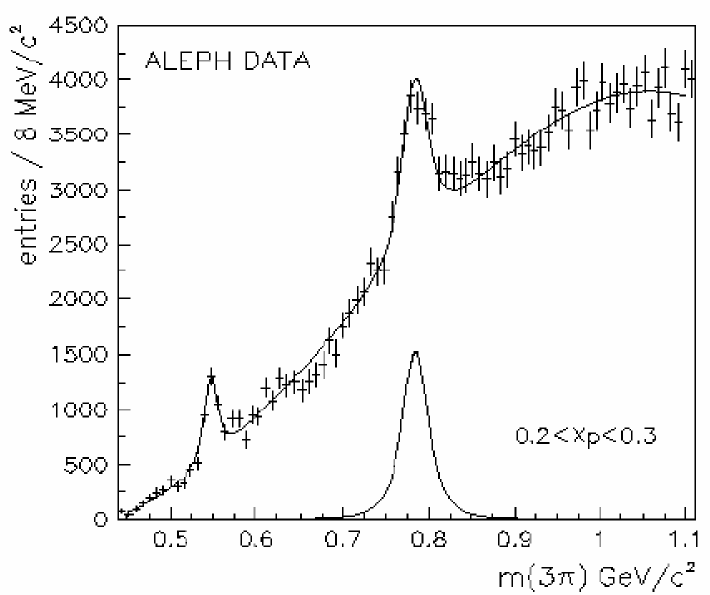
Τύποι μεταβλητών για την Επιλογή των γεγονότων

- Συνήθως χρησιμοποιούμε πάνω από μια μεταβλητή για να επιλέξουμε τα γεγονότα
- Κάποιες μέθοδοι χρησιμοποιούν συνδυασμό μεταβλητών/cuts
  - Likelihood methods
  - Neural networks …

Search for resonances

- Use invariant mass
- Define selection region
- Compute efficiency = N (true resonance decays, which are selected) / N (all true resonance decays)
- Compute background : Possible to estimate from side bands (No MC needed)





Search for New Particles

- Choose selection variables which enhance the signal w.r.t. background
- Combine a set of variables into a single estimator
- Στρατηγική: choose cuts to obtain BEST expected limit for the hypothesis: 'background only' OR :

  BEST Signal to Background ratio (signal significance)

Search for New Particles