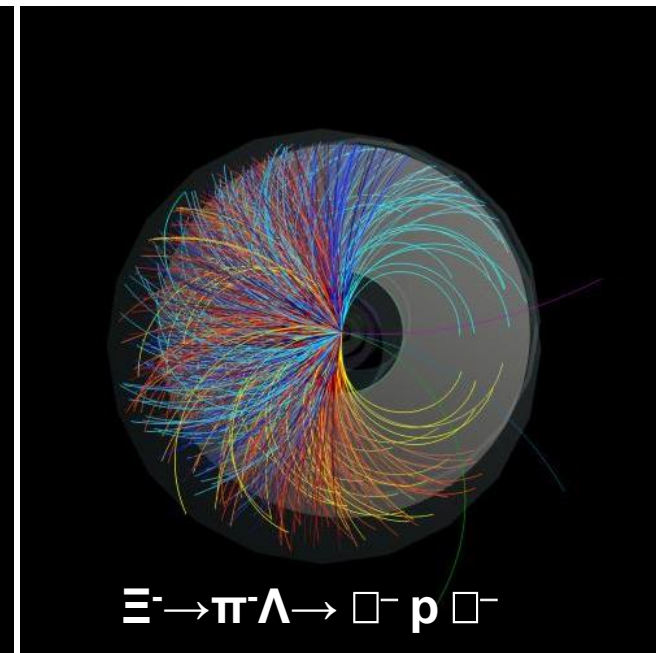
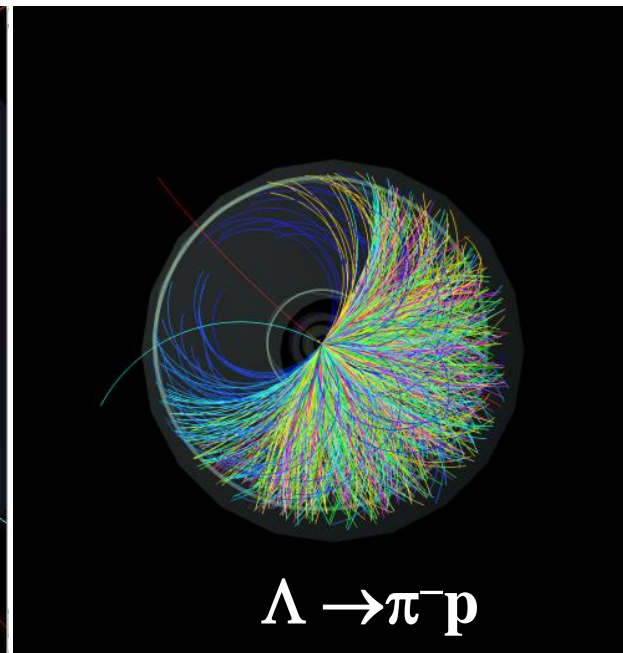
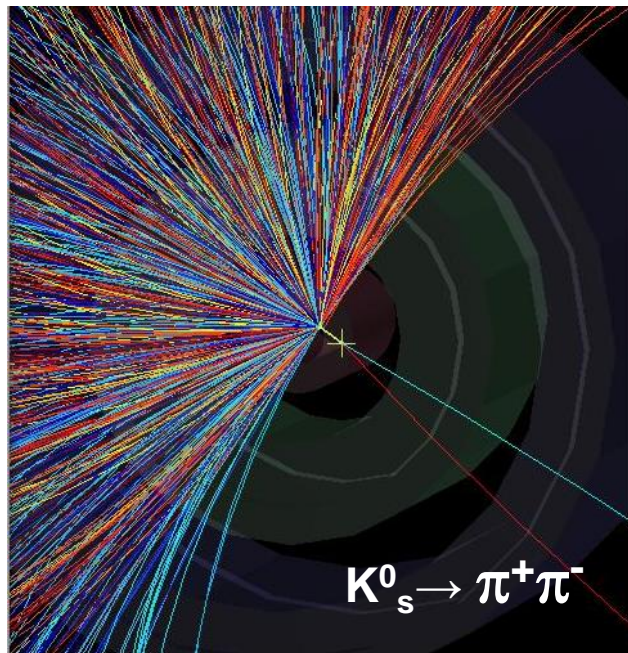


# Αναζητώντας παράξενα σωματίδια στο ALICE



Τι θα μάθετε σήμερα

Τι είναι παράξενα σωματίδια

Πώς τα ταυτοποιούμε

Πώς υπολογίζεται η (αμετάβλητη) μάζα ενός σωματιδίου από τα προϊόντα της διάσπασής του

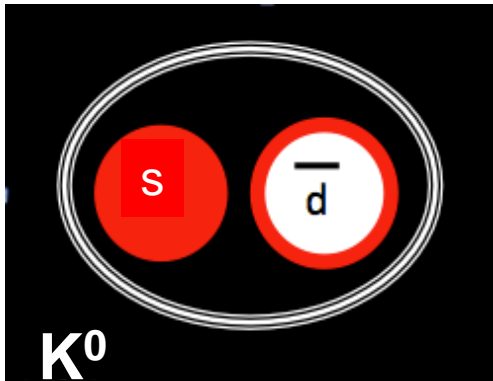
Πώς υπολογίζουμε τον πραγματικό αριθμό σωματιδίων σε μια κατανομή μάζας

Συγκρούσεις μολύβδου – κεντρικές / περιφερειακές

Ενίσχυση της παραδοξότητας

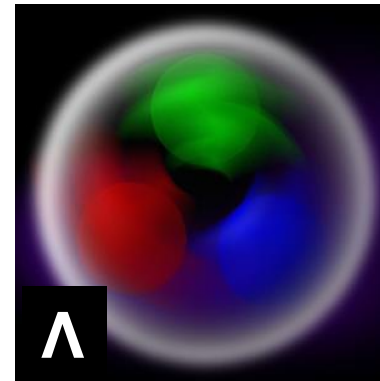
# παράξενα σωματίδια

μεσόνιο



$\bar{d}s, ds$

βαριόνιο



$uds$

αδρόνια που περιέχουν  
τουλάχιστον ένα παράξενο  
κουάρκ (s)

	Quarks		Leptons	
Generation 3	t Top	b Bottom	$\tau$ Tau	$\nu_\tau$ Tau-neutrino
Generation 2	c Charm	s Strange	$\mu$ Muon	$\nu_\mu$ Muon-neutrino
Generation 1	u Up	d Down	e Electron	$\nu_e$ Electron-neutrino

Θα αναζητήσουμε ουδέτερα παράξενα σωματίδια\* που ταξιδεύουν λίγα mm ή cm από το σημείο που παράγονται προτού διασπαστούν

\*παράξενα σωματίδια : σωματίδια που περιέχουν παράξενα κουάρκ (s)

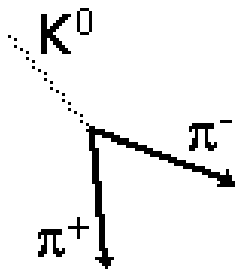
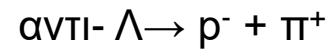
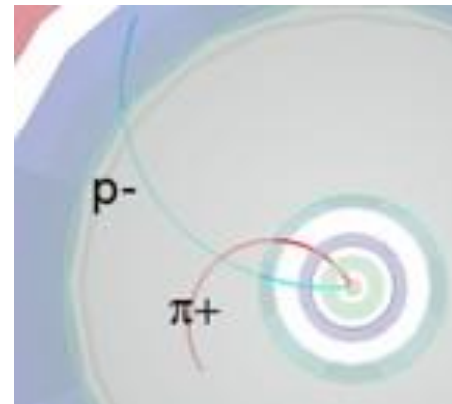
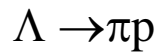
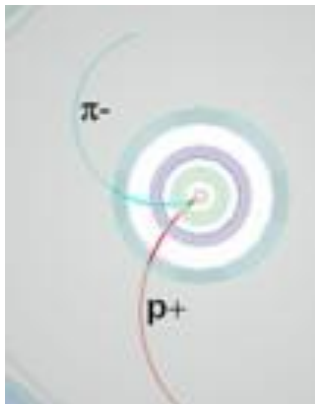
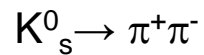
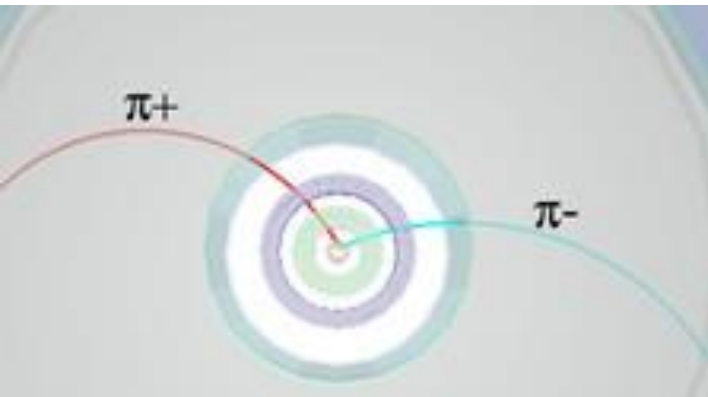
$$K_s^0 \rightarrow \pi^+ \pi^- \quad \tau = 8.9 \times 10^{-11} \text{ s}; \quad c\tau = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} \times 8.9 \times 10^{-11} \text{ s} = 2.67 \text{ cm}$$

$$\Lambda \rightarrow \pi^- p \quad \tau = 2.6 \times 10^{-10} \text{ s}; \quad c\tau = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} \times 2.6 \times 10^{-10} \text{ s} = 7.8 \text{ cm}$$

$$\bar{\Lambda} \rightarrow \pi^+ \bar{p}$$

### Ασθενείς διασπάσεις

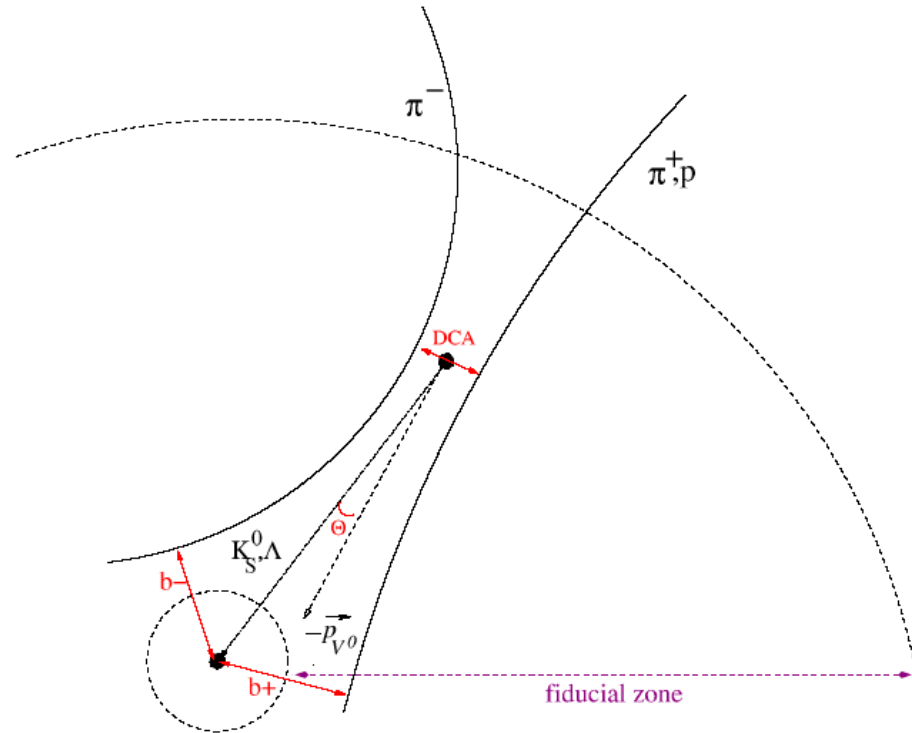
Η παραξενιά διατηρείται στις ισχυρές διασπάσεις  $\Delta S = 0$   $\tau = 10^{-23}$   
Στις ασθενείς διασπάσεις  $\Delta S = 0$  ή  $\Delta S = 1$  (εδώ  $\Delta S = 1$ )  $\tau = 10^{-8} \text{ s} - 10^{-10} \text{ s}$



### Διάσπαση V0 :

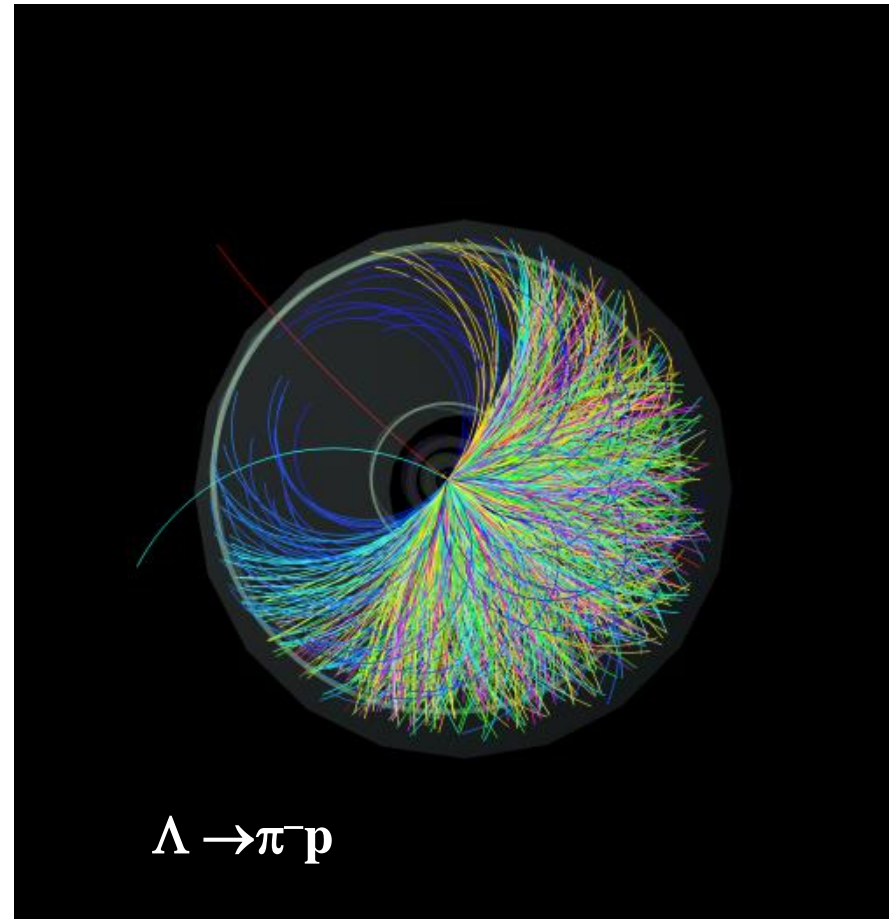
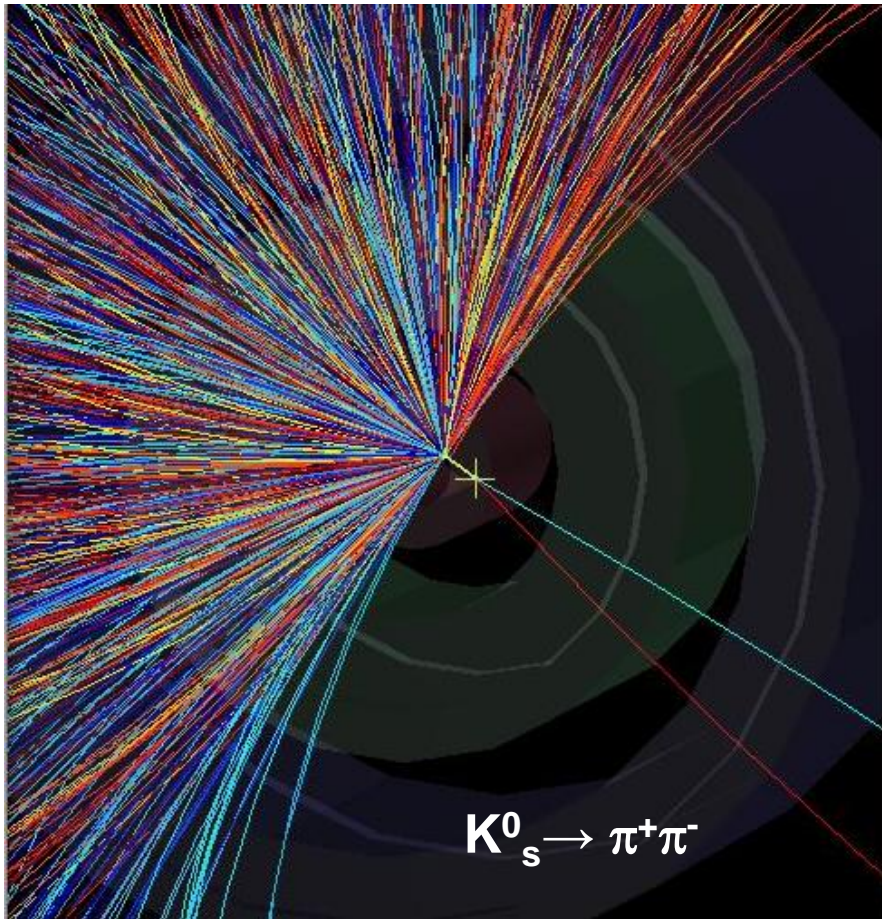
Ένα ουδέτερο σωματίο  
(που δεν αφήνει ίχνος στους ανιχνευτές)  
δίνει ξαφνικά δύο φορτισμένα σωματίια  
(δύο ίχνη που σχηματίζουν V)

# Πώς βρίσκουμε τα $V0$



Αναζητούμε δύο ίχνη με αντίθετα φορτία που προέρχονται από το ίδιο σημείο, που δεν είναι το σημείο της αλληλεπίδρασης.

# Πώς βρίσκουμε τα $V^0$



Αναζητούμε δύο ίχνη με αντίθετα φορτία που προέρχονται από το ίδιο σημείο, που δεν είναι το σημείο της αλληλεπίδρασης.

# Πώς ταυτοποιούμε τα V0

Υπολογίζουμε την (αμετάβλητη) μάζα

Διατήρηση ενέργειας  $E = E_1 + E_2$

Διατήρηση ορμής  $\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2$

Ολική ενέργεια κινούμενου σωματιδίου  $E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$

Θεωρώντας  $c=1$   $E^2 = p^2 + m^2$

$$E_1^2 = p_1^2 + m_1^2 \quad E_2^2 = p_2^2 + m_2^2$$

$$\begin{aligned} m^2 &= E^2 - p^2 = (E_1 + E_2)^2 - (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2 \\ &= m_1^2 + m_2^2 + 2E_1 E_2 - 2\mathbf{p}_1 \cdot \mathbf{p}_2 \end{aligned}$$

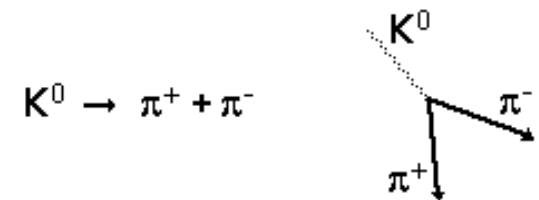
Βρίσκουμε τη μάζα του αρχικού σωματιδίου από τις μάζες και ορμές των προϊόντων της διάσπασης

Ακτίνα καμπυλότητας του ίχνους λόγω του (γνωστού) μαγνητικού πεδίου

➡ Ορμή  $p_1 + p$

$$P = Q \cdot B \cdot R$$

Ταυτοποίηση των σωματιδίων από ένα σύνολο ανιχνευτών ➡ μάζες  $m_1, m_2$

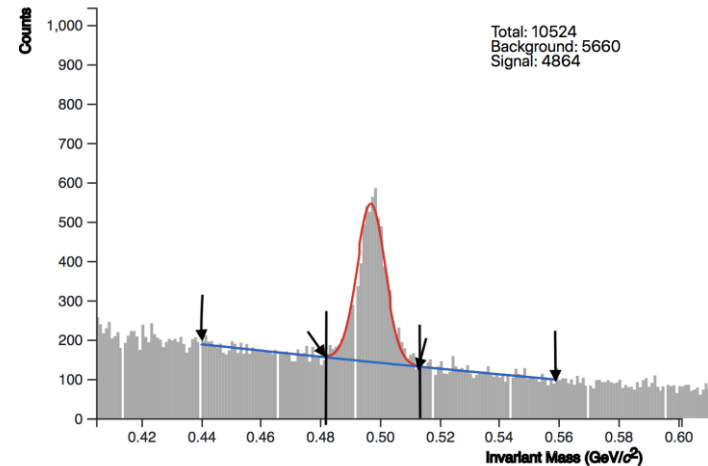
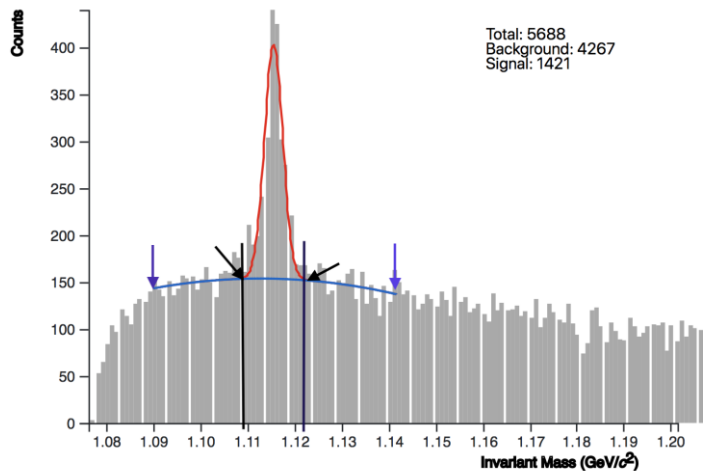
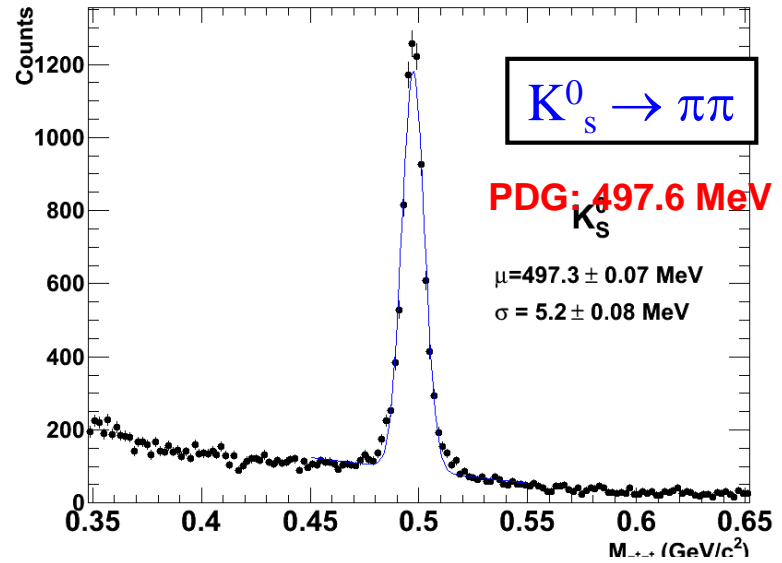
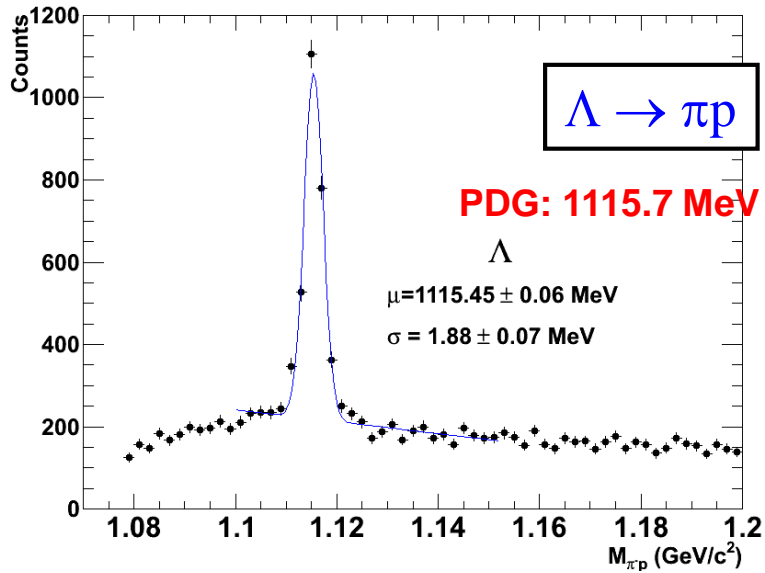




# Πορεία των μετρήσεων

- Ανάλυση μικρού αριθμού γεγονότων (ένα-ένα) για να βρούμε  $K$ ,  $\Lambda$ , αντι- $\Lambda$  σ'ένα δείγμα από συγκρούσεις πρωτονίων.
- Ανάλυση μεγάλου αριθμού γεγονότων για να βρούμε τον αριθμό των  $K$ ,  $\Lambda$ , αντι- $\Lambda$  σε γεγονότα από συγκρούσεις πυρήνων μολύβδου.
- Υπολογισμός του αριθμού των σωματιδίων  $K$ ,  $\Lambda$ , αντι- $\Lambda$  ανά αλληλεπίδραση
- Υπολογισμός του παράγοντα ενίσχυσης της παραδοξότητας

# Κατανομές αμετάβλητης μάζας



Υπόστρωμα: πολυώνυμο δευτέρου βαθμού  $f(x) = ax^2+bx+c$   
 Κορυφή (αντιστοιχεί σε K, Λ,...) : Gaussian distribution

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Signal : Αριθμος σωματιδίων που μετρήσατε ( $N_{\text{measured}}$ )

Efficiency = Αριθμος σωματιδίων που μετρήσατε / Αριθμος σωματιδίων που δημιουργήθηκαν =>  
Αριθμος σωματιδίων που δημιουργήθηκαν = Αριθμος σωματιδίων που μετρήσατε / efficiency

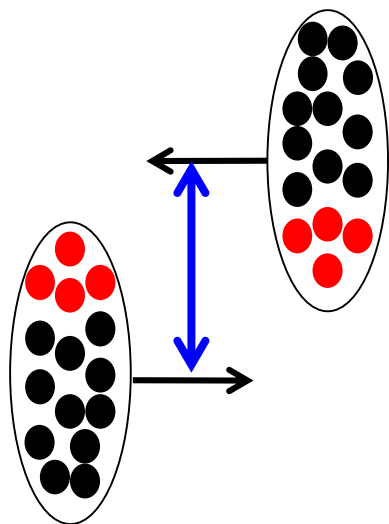
Αριθμος σωματιδίων ανά αλληλεπίδραση = Αριθμος σωματιδίων που δημιουργήθηκαν /  $N_{\text{events}}$   
(yield)

Ενίσχυση της  
παραδοξότητας

$$\frac{\text{Αριθμος των σωματιδίων ενός τύπου ανά αλληλεπίδραση PbPb} / \langle N_{\text{part}} \rangle}{\text{Αριθμος των σωματιδίων του ίδιου τύπου ανά αλληλεπίδραση pp} / 2}$$

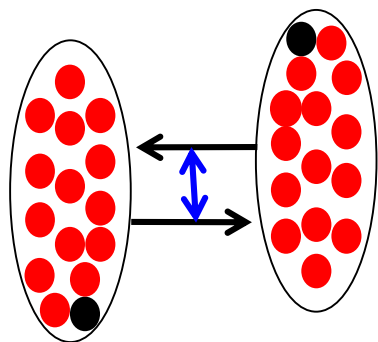
$N_{\text{part}}$  Number of participants : αριθμός των νουκλεονίων (πρωτονίων και νετρονίων)  
Που συμμετείχαν στην αλληλεπίδραση

# Γεωμετρία της σύγκρουσης Pb-Pb



## Περιφερειακή σύγκρουση

- Μεγάλη απόσταση ανάμεσα στα κέντρα των πυρήνων
- Μικρός αριθμός νουκλεονίων που συμμετέχουν → παράγονται λίγα φορτισμένα σωματρία (μικρή πολλαπλότητα)



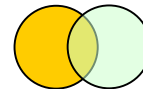
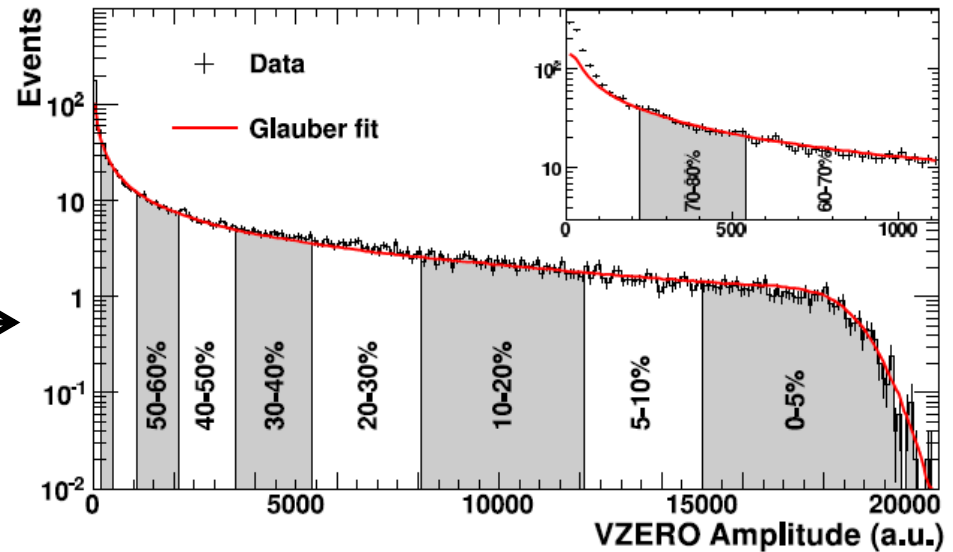
## Κεντρική σύγκρουση

- Μικρή απόσταση ανάμεσα στα κέντρα των πυρήνων
- Μεγάλος αριθμός νουκλεονίων που συμμετέχουν → παράγονται πολλά φορτισμένα σωματρία (μεγάλη πολλαπλότητα)

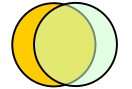
# Γεωμετρία της σύγκρουσης Pb-Pb

Κατανομή πλάτους σήματος σε πλαστικούς σπινθηριστές V0 περιγράφεται με ένα απλό μοντέλο (Glauber, **κόκκινη γραμμή**).

Centrality	$dN_{ch}/d\eta$	$\langle N_{part} \rangle$	$(dN_{ch}/d\eta)/(\langle N_{part} \rangle/2)$
0%-5%	$1601 \pm 60$	$382.8 \pm 3.1$	$8.4 \pm 0.3$
5%-10%	$1294 \pm 49$	$329.7 \pm 4.6$	$7.9 \pm 0.3$
10%-20%	$966 \pm 37$	$260.5 \pm 4.4$	$7.4 \pm 0.3$
20%-30%	$649 \pm 23$	$186.4 \pm 3.9$	$7.0 \pm 0.3$
30%-40%	$426 \pm 15$	$128.9 \pm 3.3$	$6.6 \pm 0.3$
40%-50%	$261 \pm 9$	$85.0 \pm 2.6$	$6.1 \pm 0.3$
50%-60%	$149 \pm 6$	$52.8 \pm 2.0$	$5.7 \pm 0.3$
60%-70%	$76 \pm 4$	$30.0 \pm 1.3$	$5.1 \pm 0.3$
70%-80%	$35 \pm 2$	$15.8 \pm 0.6$	$4.4 \pm 0.4$



ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΕΣ



ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ

centrality	<Npart>	Nevents	NKs	efficiency Ks	yield Ks	Ks enhancem
0-10	360	213	4816	0.26	86.963	1.933
10-20	260	290	4638	0.26	61.512	1.893
20-30	186	302	3750	0.29	42.818	1.842
30-40	129	310	2610	0.29	29.032	1.800
40-50	85	302	1493	0.29	17.047	1.604
50-60	52	300	777	0.29	8.931	1.374
60-70	30	315	409	0.35	3.710	0.989
70-80	16	350	149	0.26	1.637	0.819

↑
↑
↑
↑
↑
↑
↑

known
given
measured
given
calculated

**Efficiency** =  $N_{\text{particles}}(\text{measured}) / N_{\text{particles}}(\text{produced})^*$

\*assumption on efficiency values : to match yields in Analysis Note

Measurement of Ks and  $\Lambda$  spectra and yields in Pb–Pb collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=2.76$  TeV with the ALICE experiment

**Yield** : number of particles produced per interaction

**Yield** =  $N_{\text{particles}}(\text{produced}) / N_{\text{events}} = N_{\text{particles}}(\text{measured}) / (\text{efficiency} \times N_{\text{events}})$

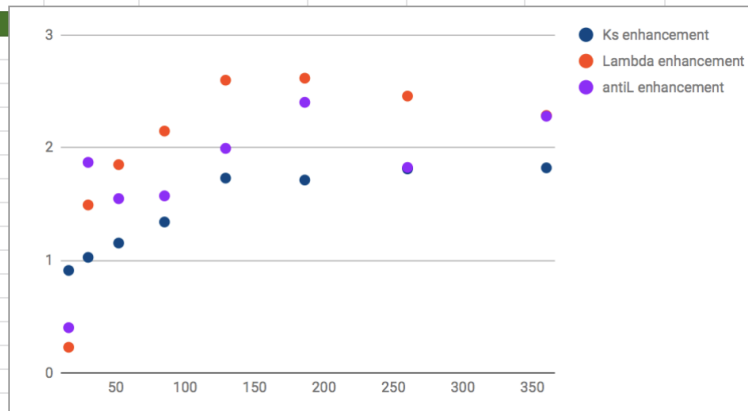
**Strangeness enhancement**: the particle yield normalised by the number of participating nucleons in the collision, and divided by the yield in proton-proton collisions\*

$K_s$ -Yield (pp) = 0.25 /interaction ;  $\Lambda$ -Yield(pp) = 0.0617 /interaction ;  $\langle N_{\text{part}} \rangle = 2$  for pp

\*pp yields at 2.76 TeV from interpolation between 900 GeV and 7 TeV

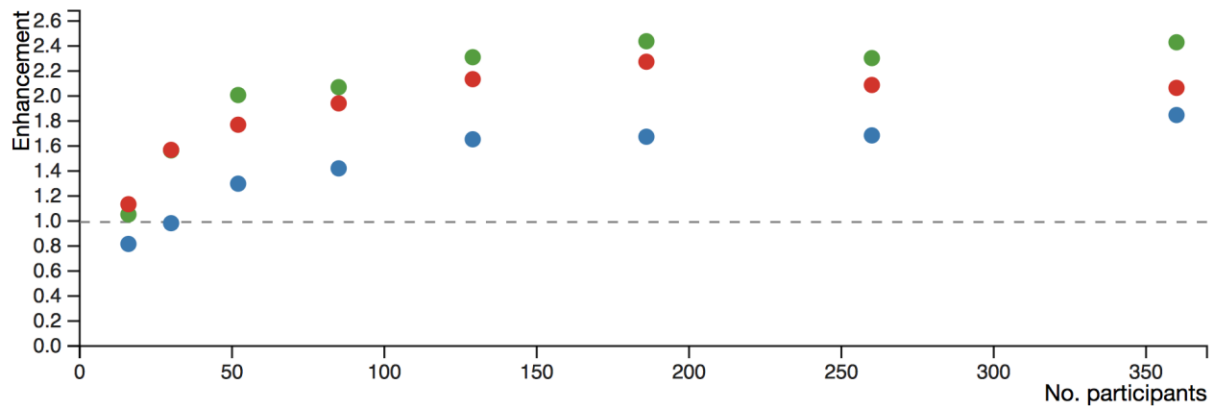
Analysis Note “Ks,  $\Lambda$  and anti $\Lambda$  production in pp collisions at 7 TeV”

centrali	<Npart	Nevent	NKs	efficien	yield Ks	Ks enhancemer	Nlambd	efficiency	Yield Lambd	Lambda enhancemen	Nantilambd	effic anti	yield antiLan	antiL enhancemen
0-10	360	213	4538.00	0.26	81.942939	1.820954215	1081.00	0.2	25.37558685	2.28485385	1078.00	0.2	25.30516432	2.278512905
10-20	260	290	4439.00	0.26	58.872679	1.811467048	1200.00	0.21	19.7044335	2.456605597	891.00	0.21	14.63054187	1.824029656
20-30	186	302	3488.00	0.29	39.826444	1.71296535	997.00	0.22	15.00602047	2.615154924	915.50	0.22	13.77934979	2.401378468
30-40	129	310	2508.00	0.29	27.897664	1.730087694	705.00	0.22	10.3372434	2.597525763	541.00	0.22	7.93255132	1.993278635
40-50	85	302	1248.00	0.29	14.249828	1.341160351	374.00	0.22	5.629139073	2.146682838	274.00	0.22	4.124021674	1.57270347
50-60	52	300	653.00	0.29	7.5057471	1.154730327	178.00	0.2	2.966666667	1.849312222	149.00	0.2	2.483333333	1.548019781
60-70	30	315	425.00	0.35	3.8548752	1.027966742	87.00	0.2	1.380952381	1.492114944	109.00	0.2	1.73015873	1.869431367
70-80	16	350	166.00	0.26	1.8241758	0.9120879121	8.00	0.2	0.1142857143	0.2315350776	14.00	0.2	0.2	0.4051863857



Add 1000 more rows at bottom.

Plot



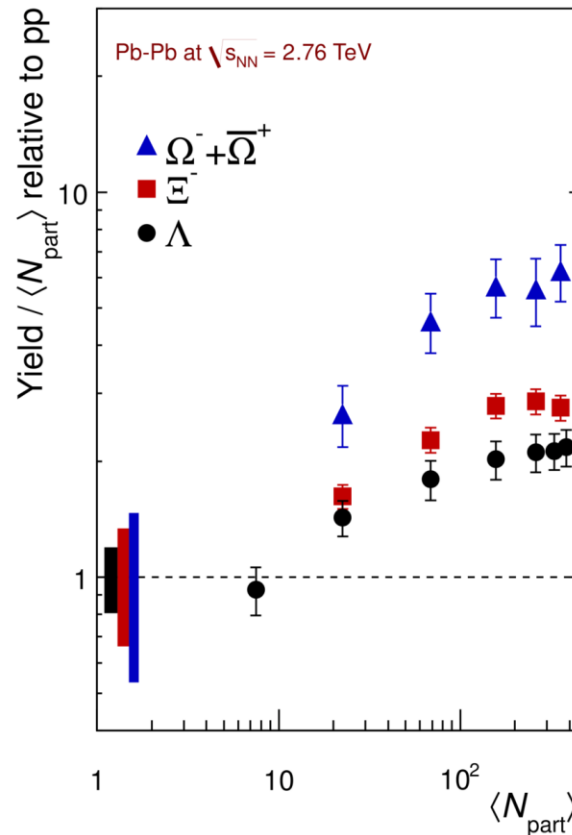
### Results

Centrality	No. participants	No. events	No. K	Efficiency K	Yield K	Enhancement K ●	No. L	Efficiency L	Yield L	Enhancement L ●	No. AL	Efficiency AL	Yield AL	Enhancement AL ●
0 - 10%	360	213	4,605.0	0.260	83.153	<b>1.848</b>	1,149.6	0.200	26.985	<b>2.430</b>	977.0	0.200	22.934	<b>2.065</b>
10 - 20%	260	290	4,129.0	0.260	54.761	<b>1.685</b>	1,125.1	0.210	18.475	<b>2.303</b>	1,020.0	0.210	16.749	<b>2.088</b>
20 - 30%	186	302	3,409.1	0.290	38.926	<b>1.674</b>	929.6	0.220	13.991	<b>2.438</b>	867.0	0.220	13.049	<b>2.274</b>
30 - 40%	129	310	2,397.5	0.290	26.669	<b>1.654</b>	627.1	0.220	9.195	<b>2.311</b>	579.4	0.220	8.496	<b>2.135</b>
40 - 50%	85	302	1,322.4	0.290	15.099	<b>1.421</b>	360.8	0.220	5.430	<b>2.071</b>	338.2	0.220	5.090	<b>1.941</b>
50 - 60%	52	300	734.5	0.290	8.443	<b>1.299</b>	193.3	0.200	3.221	<b>2.008</b>	170.4	0.200	2.840	<b>1.770</b>
60 - 70%	30	315	406.3	0.350	3.685	<b>0.983</b>	91.3	0.200	1.448	<b>1.585</b>	91.5	0.200	1.452	<b>1.569</b>
70 - 80%	16	350	148.6	0.260	1.633	<b>0.817</b>	36.4	0.200	0.520	<b>1.053</b>	39.2	0.200	0.560	<b>1.135</b>



# Ενίσχυση της παραδοξότητας (Strangeness enhancement)

Ενα από τα πρώτα σήματα για το πλάσμα κουάρκ και γλουονίων



ALI-DER-80680

Αριθμος των σωματιδίων ενός τύπου ανά αλληλεπίδραση PbPb/ $\langle N_{part} \rangle$

Αριθμος των σωματιδίων του ίδιου τύπου ανά αλληλεπίδραση pp/2

# Πορεία των μετρήσεων

- Ανάλυση μικρού αριθμού γεγονότων (ένα-ένα) για να βρούμε  $K$ ,  $\Lambda$ , αντι- $\Lambda$  σ'ένα δείγμα από συγκρούσεις πρωτονίων.
- Ανάλυση μεγάλου αριθμού γεγονότων για να βρούμε τον αριθμό των  $K$ ,  $\Lambda$ , αντι- $\Lambda$  σε γεγονότα από συγκρούσεις πυρήνων μολύβδου.
- Υπολογισμός του αριθμού των σωματιδίων  $K$ ,  $\Lambda$ , αντι- $\Lambda$  ανά αλληλεπίδραση
- Υπολογισμός του παράγοντα ενίσχυσης της παραδοξότητας



## Main Menu

[Home page](#)[Installation](#)[Instructions for the Institute](#)[Description of Exercises](#)[English](#)[.docx](#)[.pdf](#)[.docx \(web edition\)](#)

# Welcome to ALICE International MasterClasses

