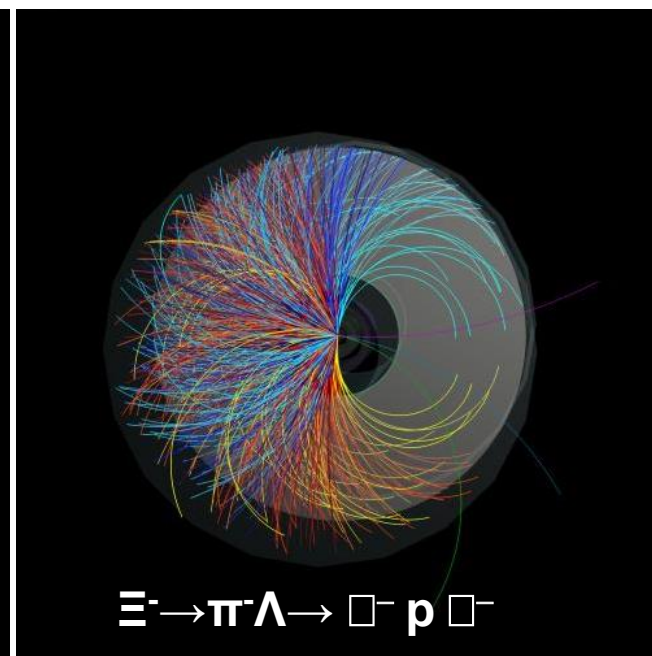
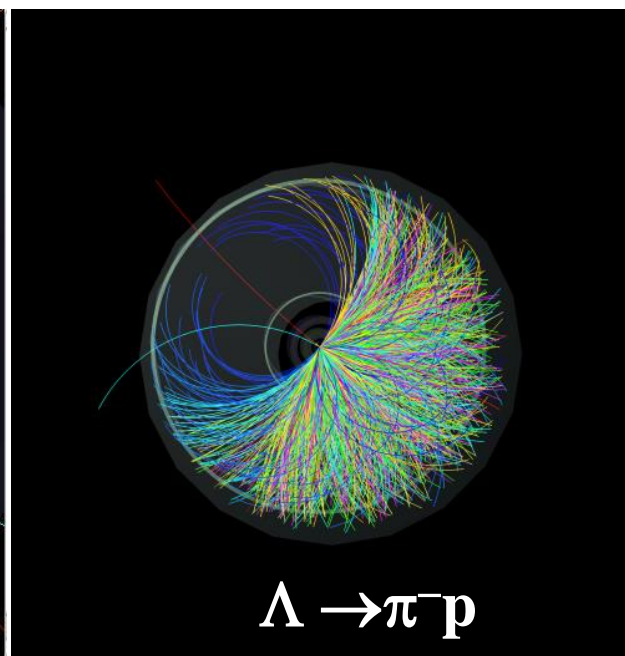
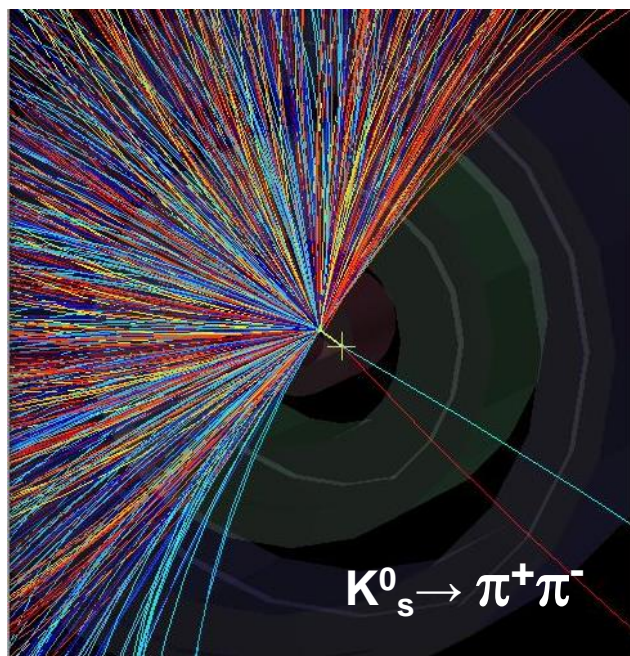




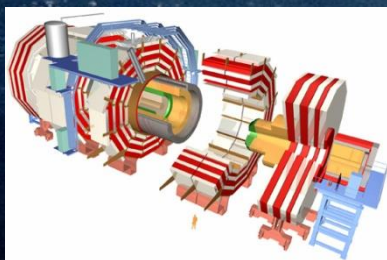
ALICE

# Αναζητώντας παράξενα σωματίδια στο ALICE

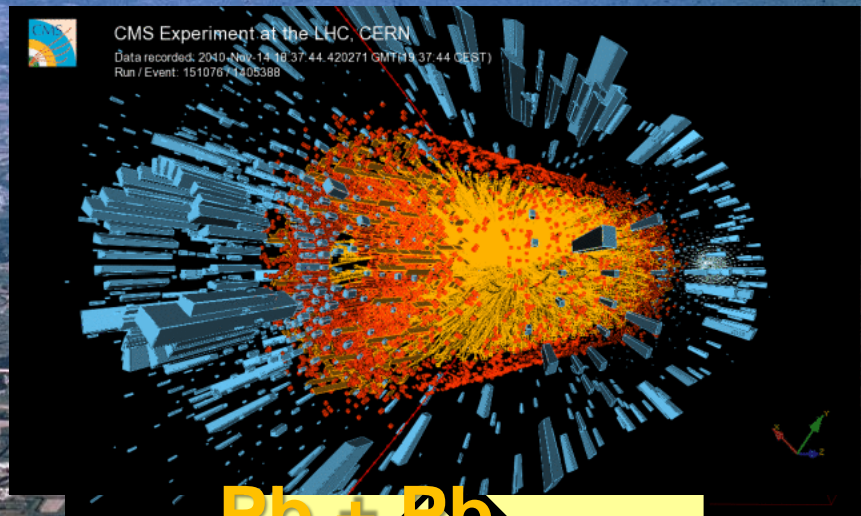


# Collider of 'Large Hadrons'

Design Energy:  
14 TeV (pp)  
1150 TeV (PbPb)



CMS



Pb + Pb



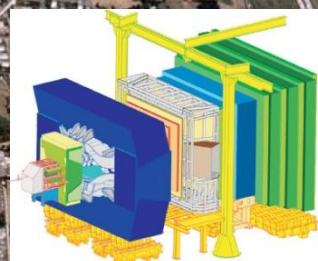
LHCb



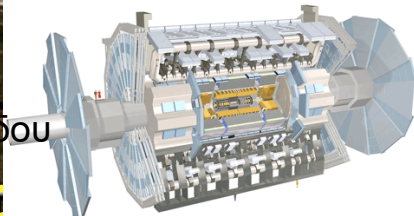
ALICE



ATLAS



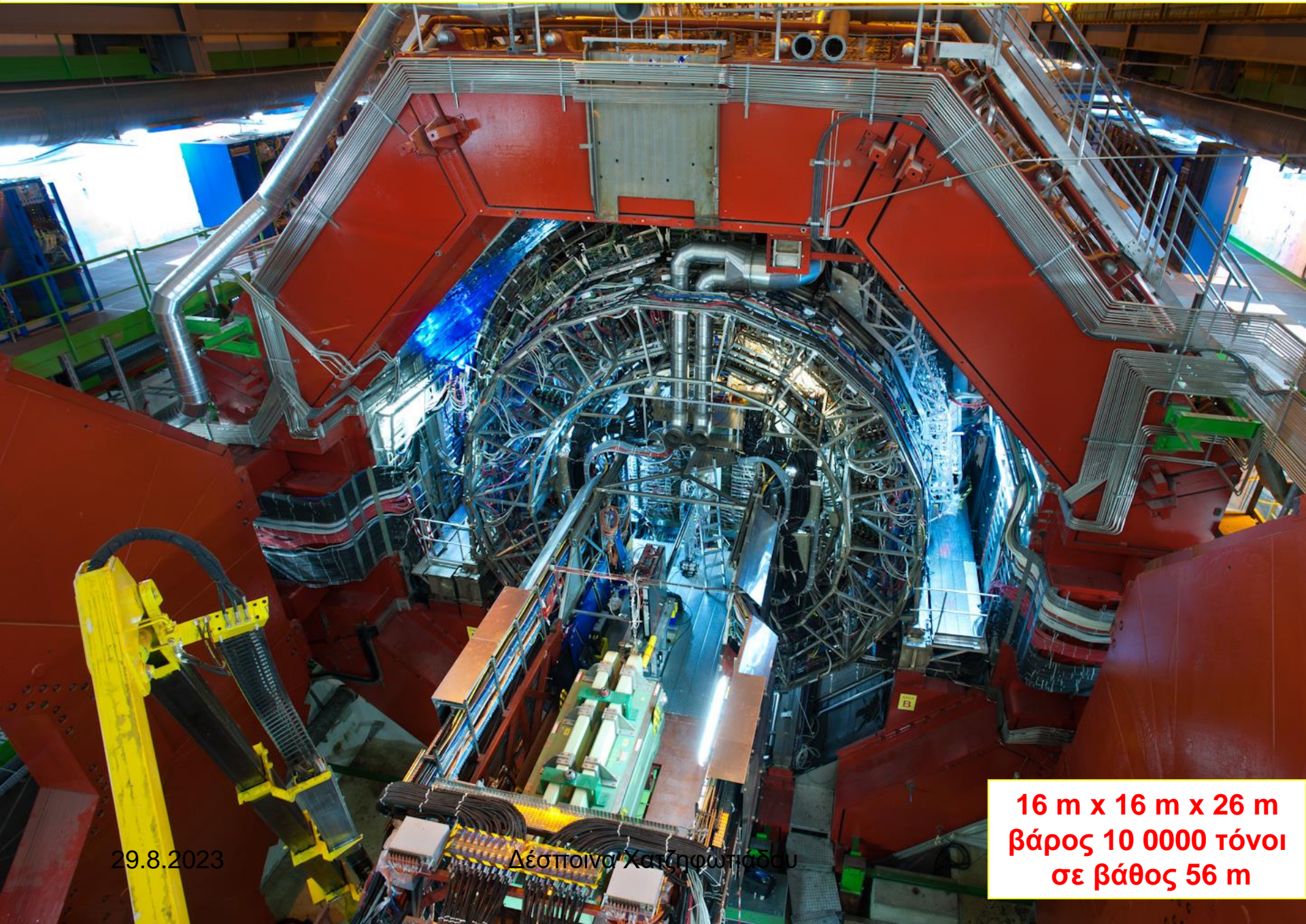
Δέσποινα Χατζηφωτιάδου



iments, all participat

am (LHCb in pA)

# ALICE : A Large Ion Collider Experiment

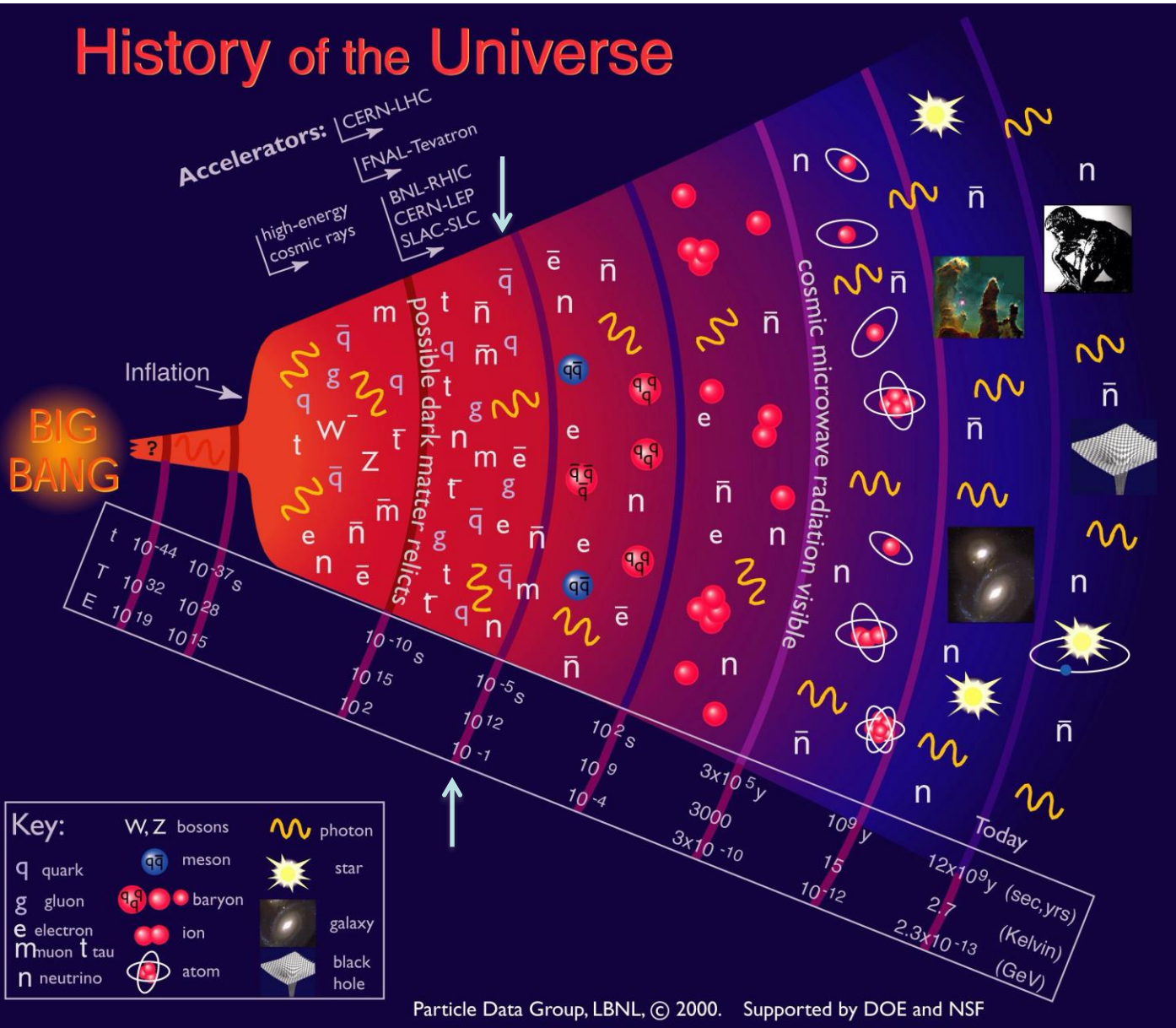


**16 m x 16 m x 26 m**  
**βάρος 10 000 τόνοι**  
**σε βάθος 56 m**

29.8.2023

Δέσποινα Χατζηρωτιάδου

# History of the Universe



Εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου μετά τη γέννηση του σύμπαντος, όλη η ύλη αποτελείται από κουάρκ και γλουόνια που κινούνται ελεύθερα.

## Quark Gluon Plasm (QGP)

Καθώς το σύμπαν διαστέλεται και ψύχεται, τα κουάρκ και τα γλουόνια «φυλακίζονται» για πάντα μέσα στα αδρόνια, από τα οποία σήμερα παραμένουν μόνο πρωτόνια και νετρόνια

## Mini Big Bang

Συγκρούοντας πυρήνες μολύβδου με πολύ υψηλή ενέργεια αναδημιουργούμε τις συνθήκες πυκνότητας και θερμοκρασίας που υπήρχαν κλάσματα του δευτερολέπτου μετά το Big Bang

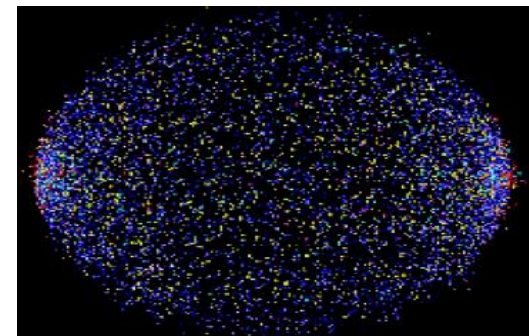
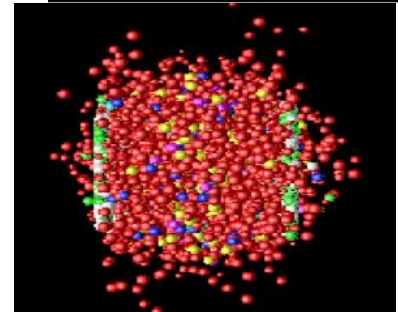
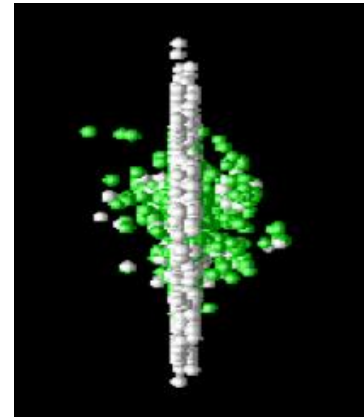
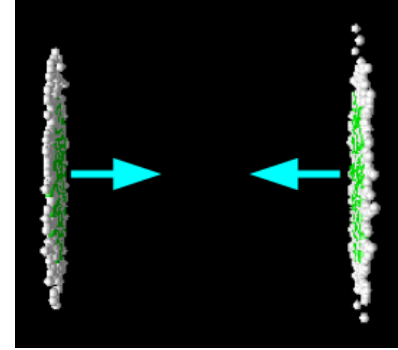
Δημιουργείται μια σταγόνα της πρωταρχικής κατάστασης της ύλης (Quark Gluon Plasma, QGP)

που ζει ελάχιστα

Μελετώντας τις ιδιότητές της

- Θα κατανοήσουμε καλύτερα τις διαδικασίες που συνέβησαν τα πρώτα κλάσματα του δευτερολέπτου στη ζωή του σύμπαντος

-Θα κατανοήσουμε καλύτερα την ισχυρή αλληλεπίδραση



Τι θα μάθουν τα παιδιά

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

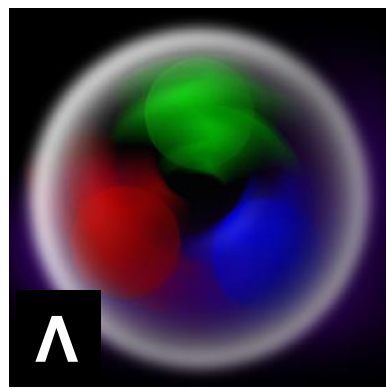
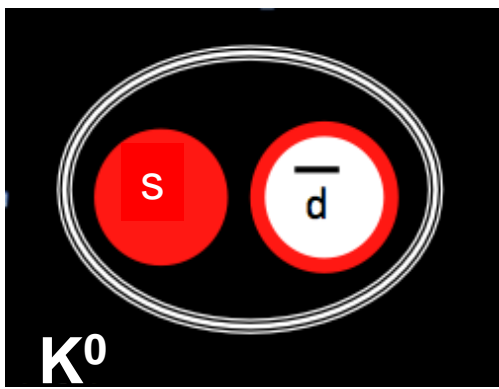
Συγκρούσεις μολύβδου – κεντρικές / περιφερειακές

Ενίσχυση της παραδοξότητας

# παράξενα σωματίδια

μεσόνιο

βαριόνιο



$\bar{d}s, ds$

$uds$

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)

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

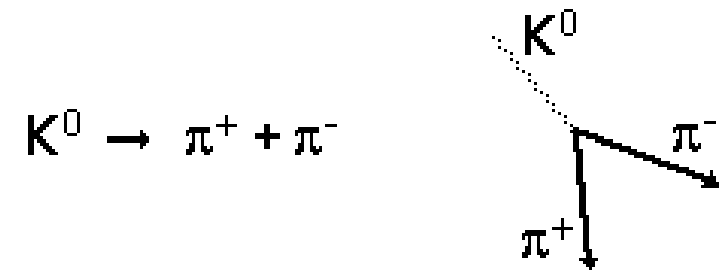
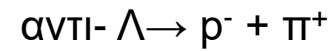
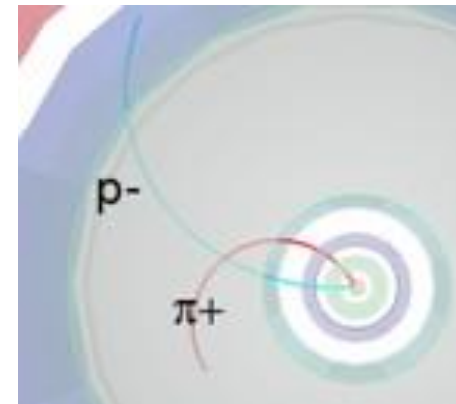
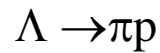
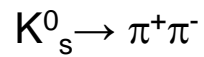
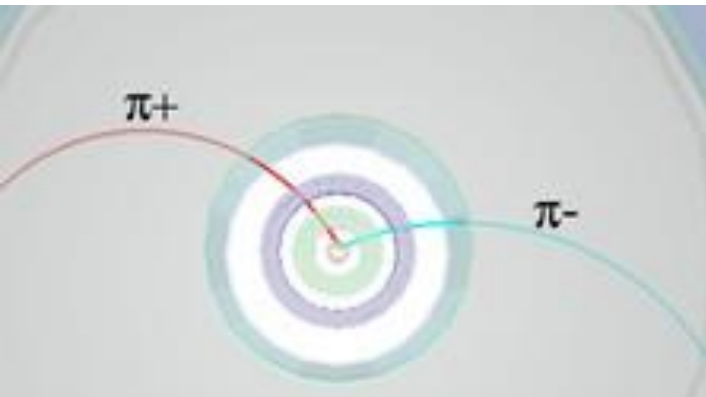
$$\Lambda \rightarrow \pi^- p \quad \tau = 2.6 \times 10^{-10} \text{ s}; \quad c\tau = 3 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} \times 2.6 \times 10^{-10} \text{ s} = 7.8 \text{ cm}$$

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

### 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  $\Delta S = 1$ )  $\tau = 10^{-8} \text{ s} - 10^{-10} \text{ s}$

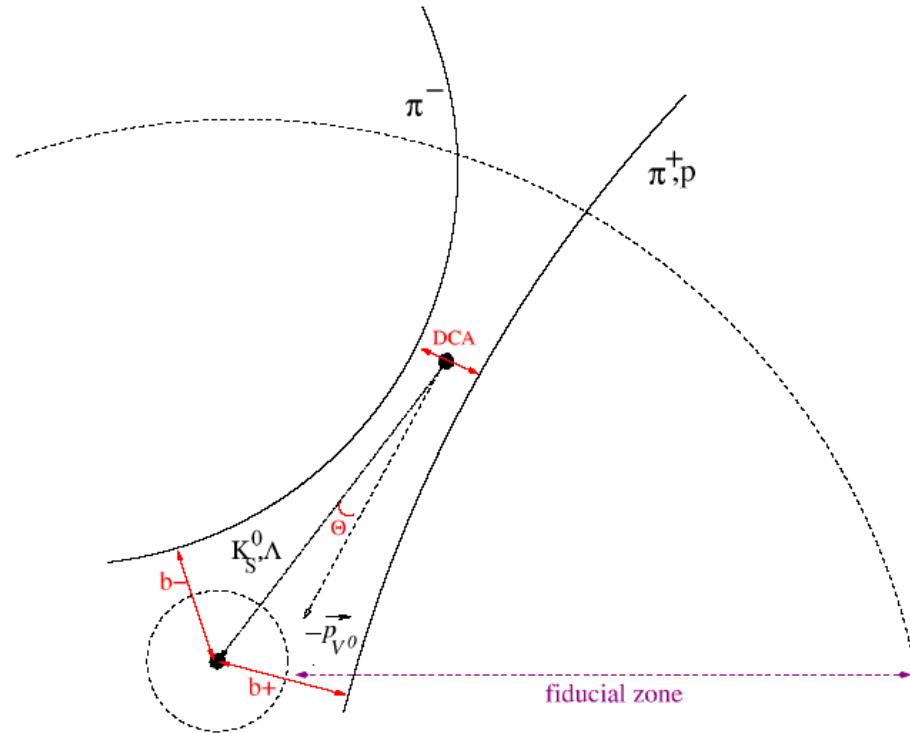




### Διάσπαση V0 :

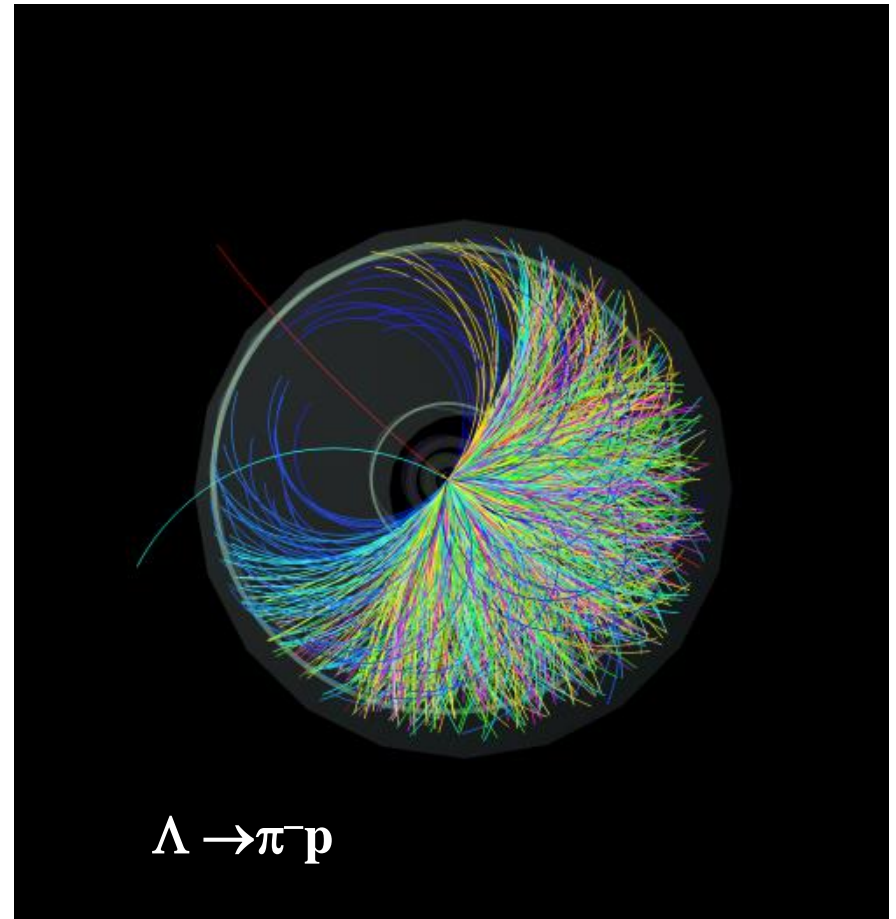
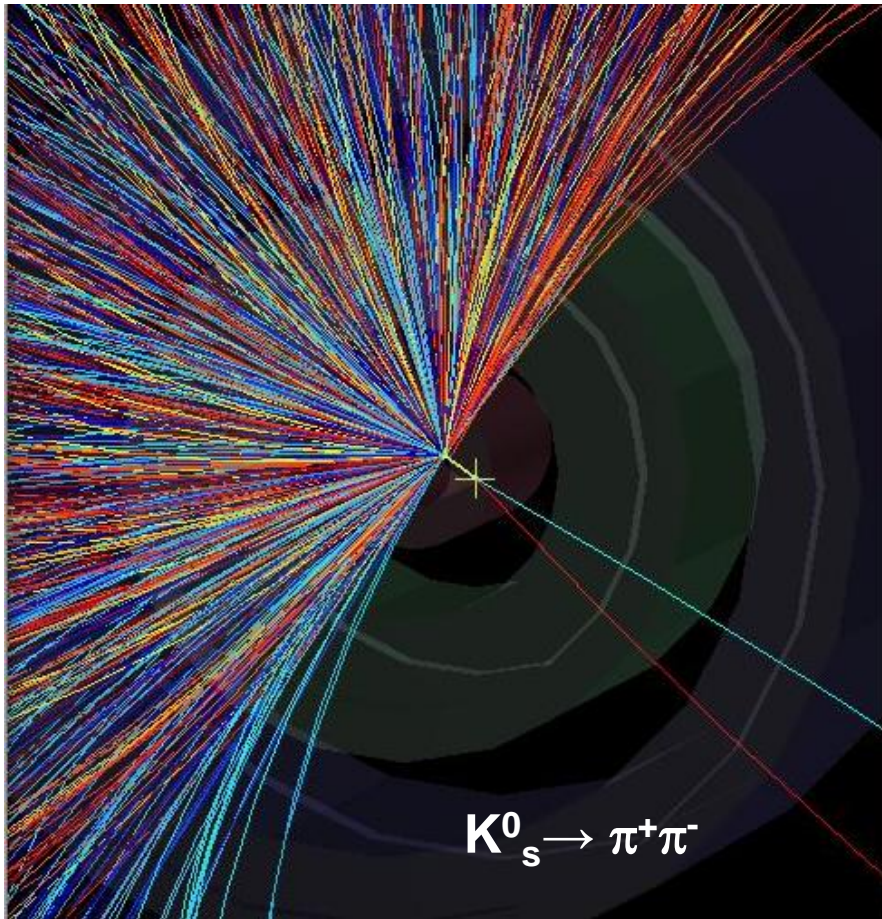
Ένα ουδέτερο σωματίο  
(που δεν αφήνει ίχνος στους ανιχνευτές)  
δίνει ξαφνικά δύο φορτισμένα σωματίια  
(δύο ίχνη που σχηματίζουν V)

# 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  $c=1$   $E^2 = p^2 + m^2$

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

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

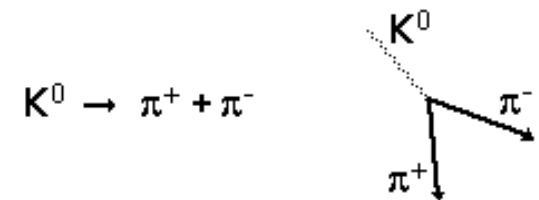
Βρίσκουμε τη μάζα του αρχικού σωματιδίου από τις μάζες και ορμές των προϊόντων της διάσπασης

Ακτίνα καμπυλότητας του ίχνους λόγω του (γνωστού) μαγνητικού πεδίου

→ Ορμή  $p_1 + p$

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

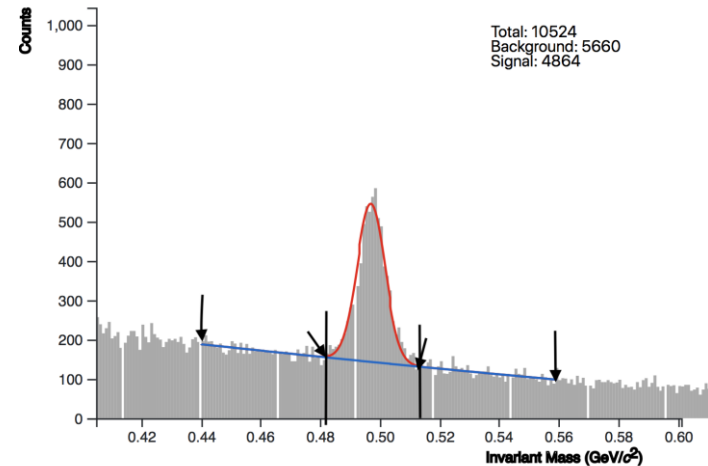
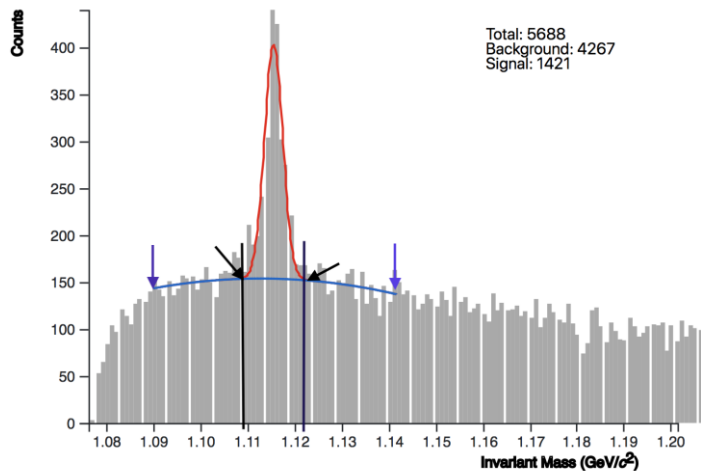
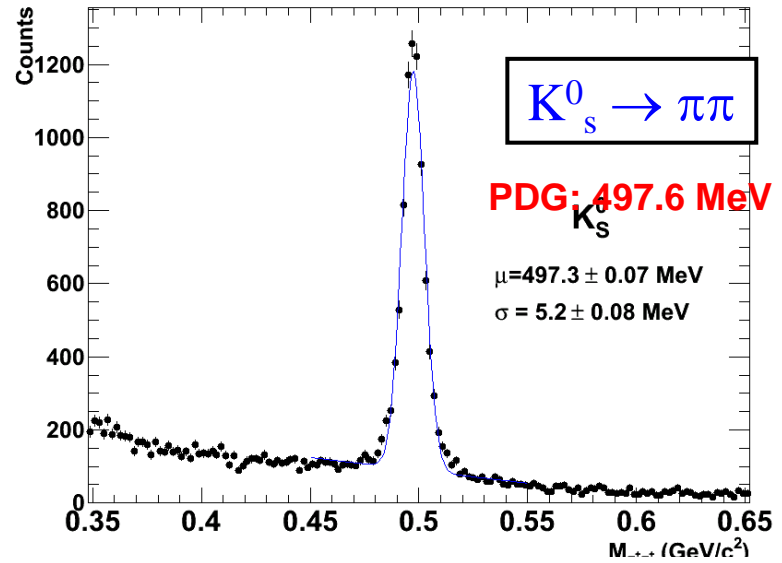
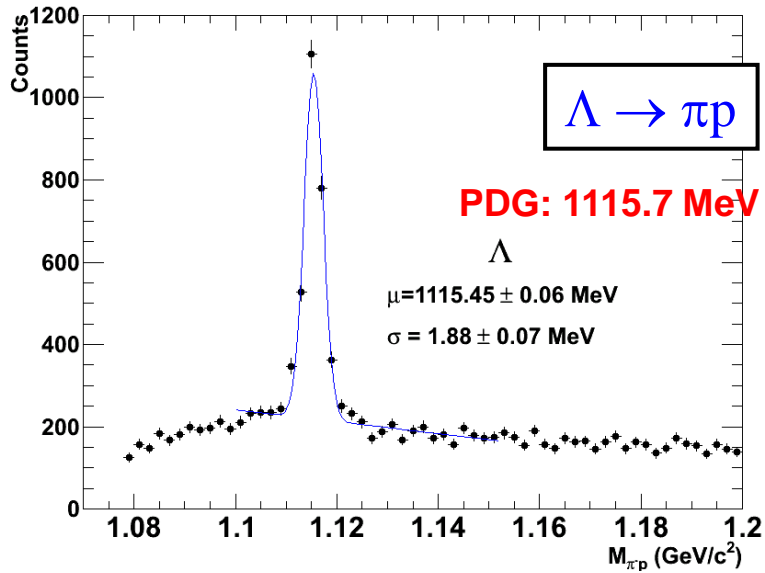
Ταυτοποίηση των σωματιδίων από ένα σύνολο ανιχνευτών → μάζες  $m_1, m_2$



# 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

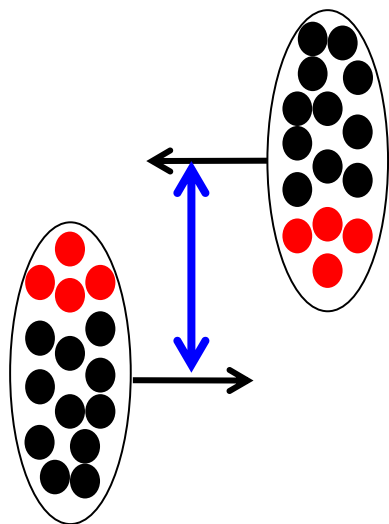
# Κατανομές αμετάβλητης μάζας



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

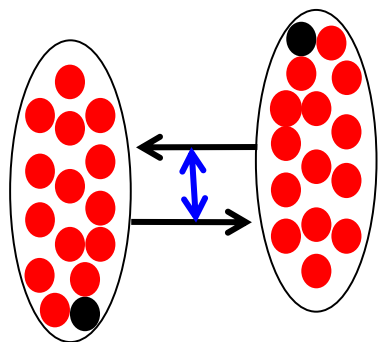
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

# Γεωμετρία της σύγκρουσης Pb-Pb



## Περιφερειακή σύγκρουση

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



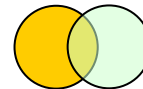
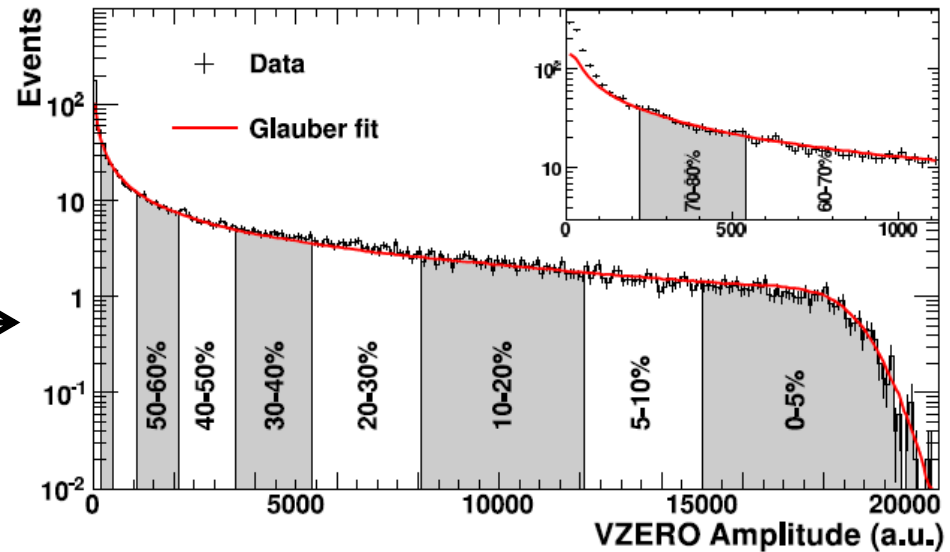
## Κεντρική σύγκρουση

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

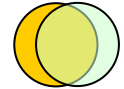
# Γεωμετρία της σύγκρουσης Pb-Pb

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

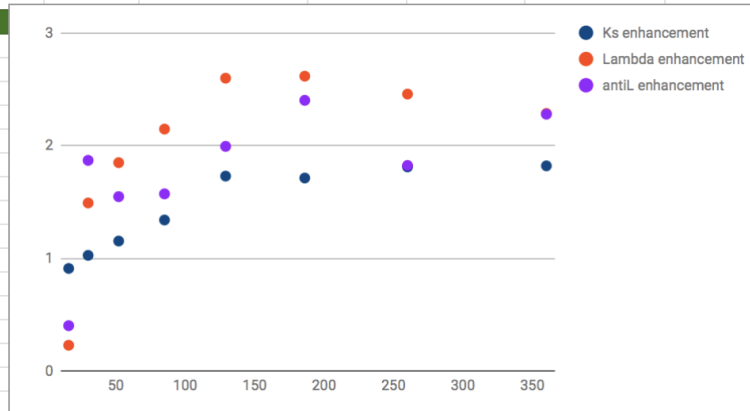
Strangeness enhancement: the particle yield normalised by the number of participating nucleons in the collision, and divided by the yield in proton-proton collisions\*

$K_s$ -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

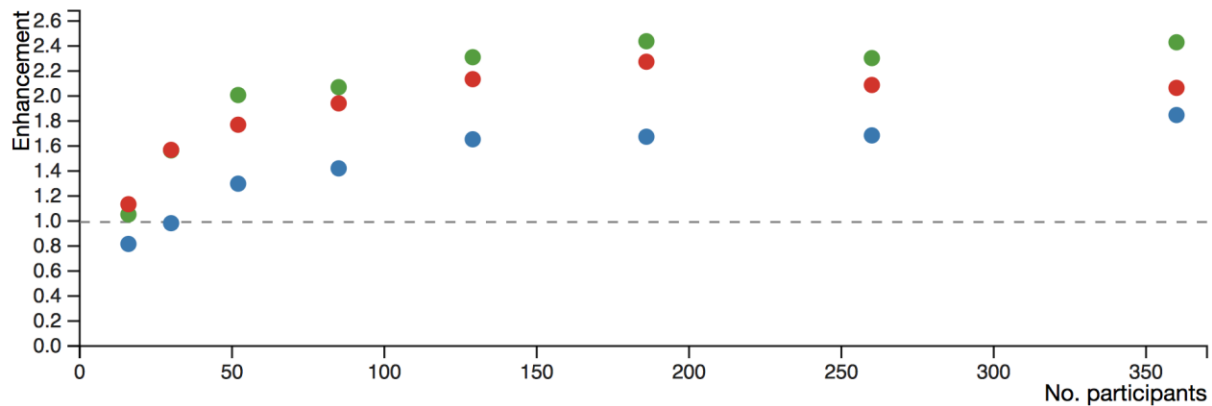
Analysis Note “Ks,  $\Lambda$  and anti $\Lambda$  production in pp collisions at 7 TeV”

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>1.589</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>

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)

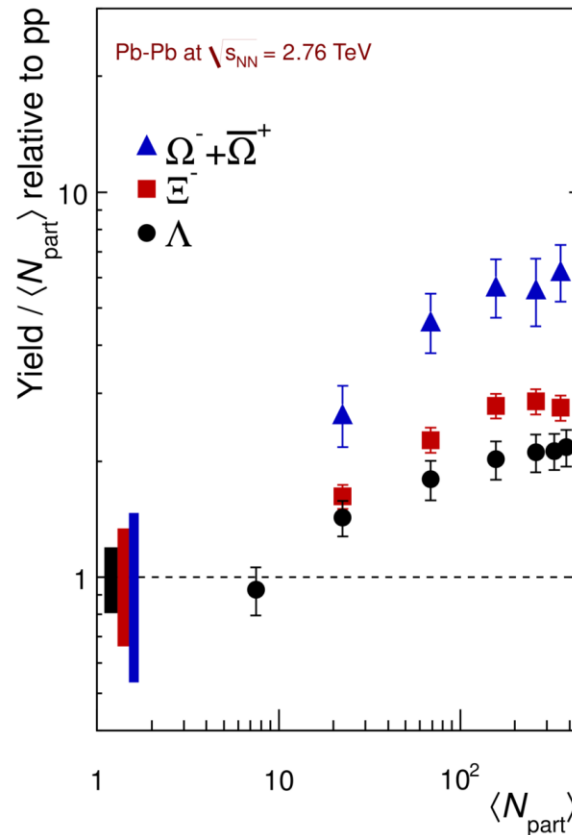
Ενίσχυση της  
παραδοξότητας

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

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

# 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

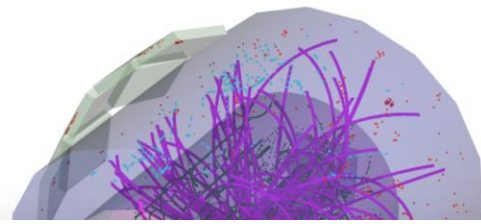


### Main Menu

- Home page
- Installation
- Instructions for the Institute
- Description of Exercises
- English
- .docx
- .pdf
- .docx (web edition)



## Welcome to ALICE International MasterClasses



<https://alice-masterclass.web.cern.ch>

<https://alice-web-masterclass.app.cern.ch/home>

παρουσίαση της άσκησης

σύνδεσμος για την εκτέλεση της άσκησης