

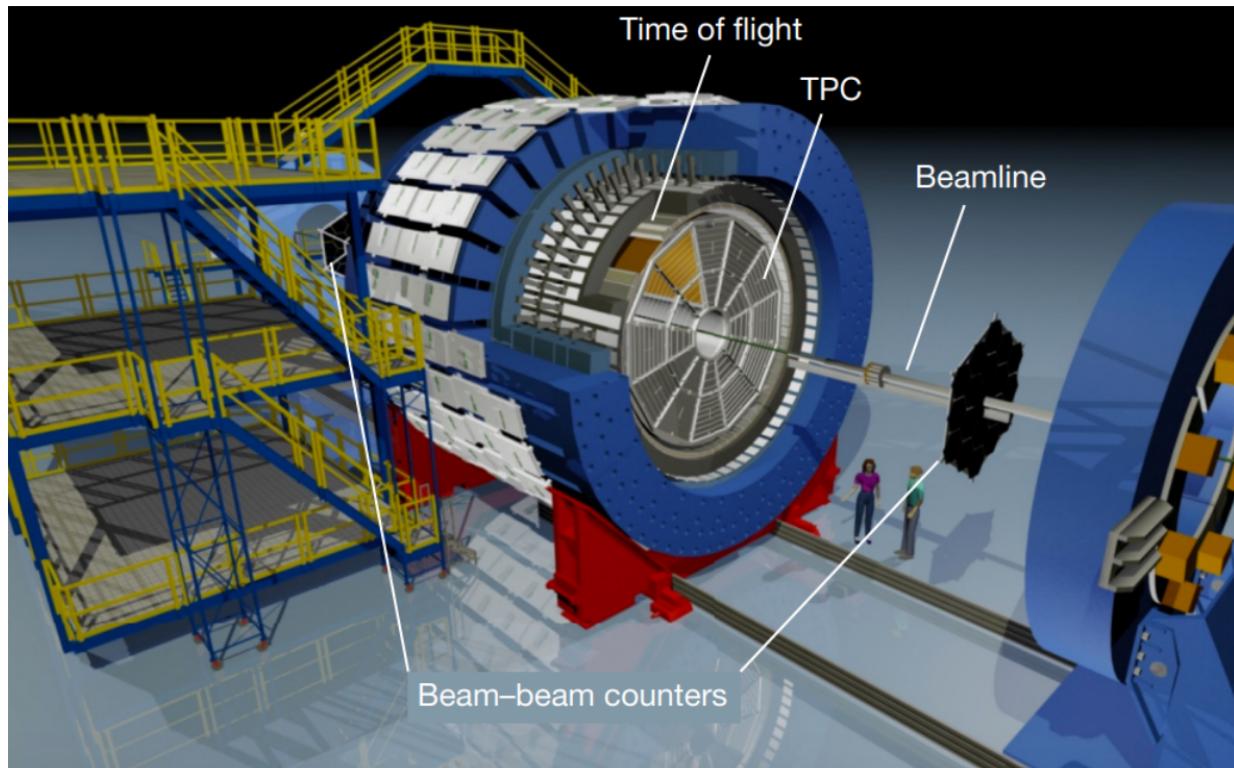
Το Πείραμα STAR

Θωμόπουλος Σπύρος

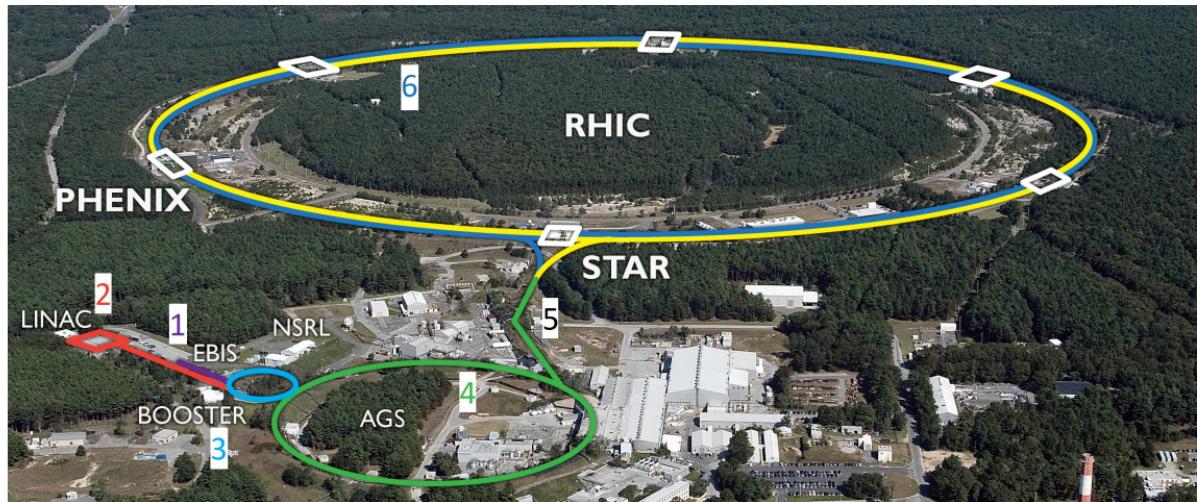
Τεχνολογία Ανιχνευτικών & Επιταχυντικών Διατάξεων
Σ.Ε.Μ.Φ.Ε.

January 8, 2023

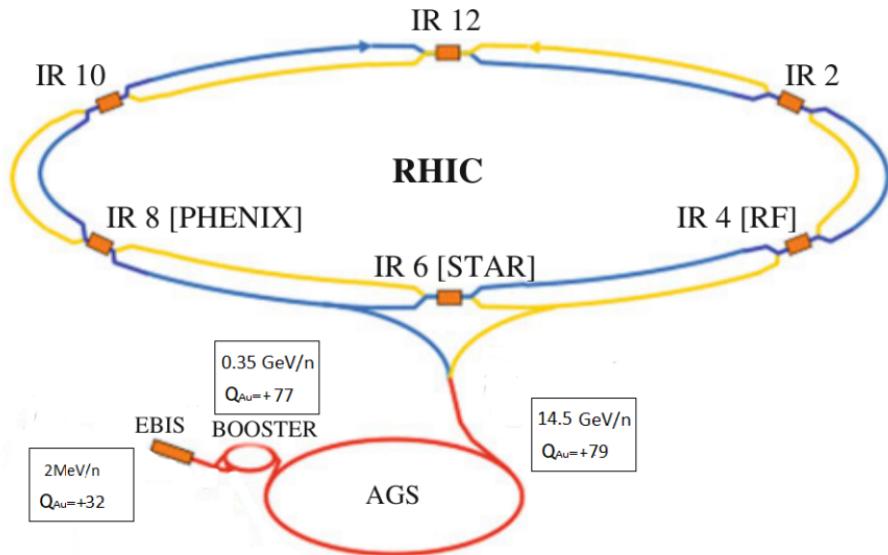
Tί είναι το STAR(SOLENOID TArCKER);



Επιτάχυνση

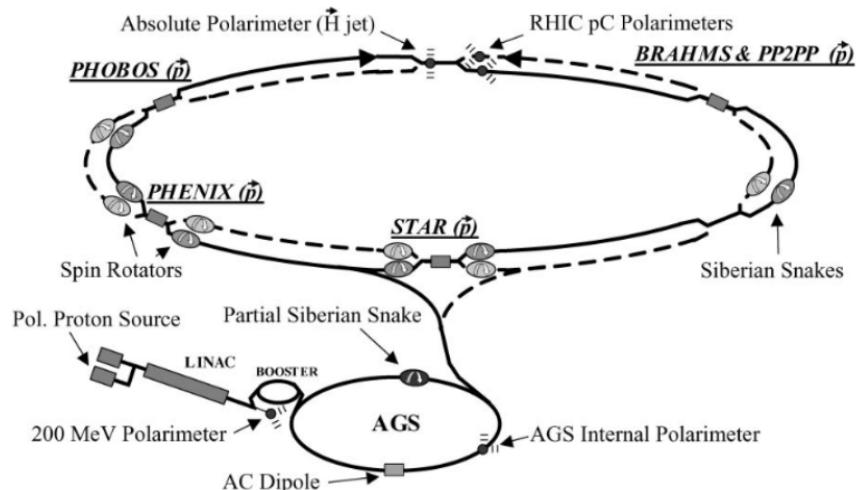


Επιτάχυνση Ιόντων



Στάδιο Ενέργεια Φορτίο Εξόδου	Πηγή Ιόντων	Booster	AGS	RHIC
	2MeV/n $+32$	0.35 GeV/n $+77$	14.5GeV/n $+79$	100GeV/n -

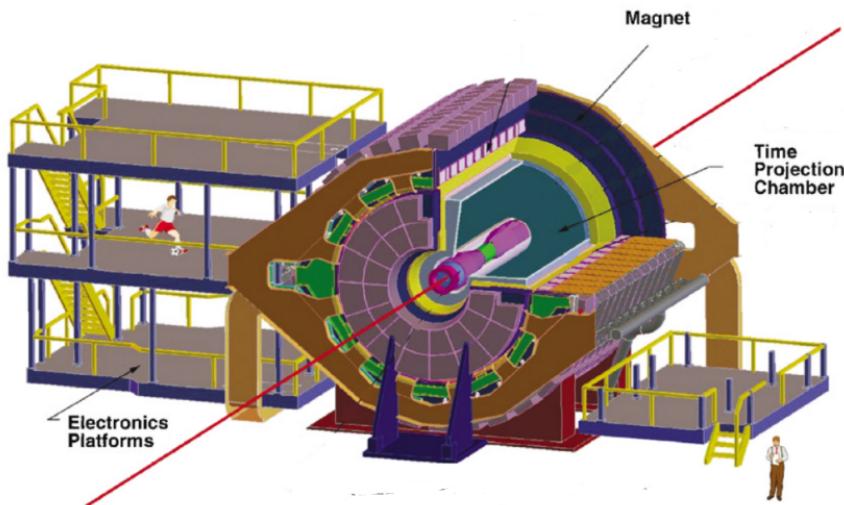
Επιτάχυνση Πρωτονίων



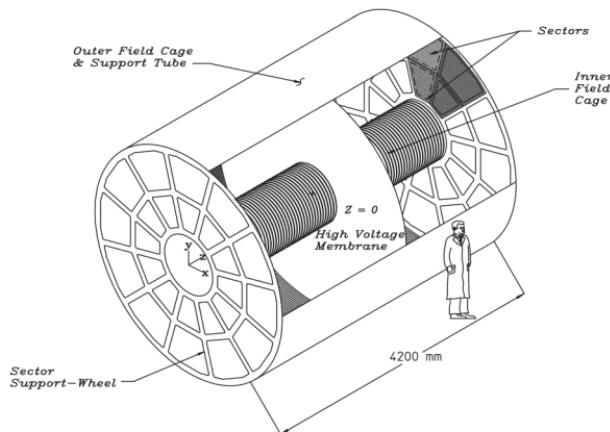
Στάδιο	Πηγή Ιόντων	LINAC	AGS	RHIC
Ενέργεια	2MeV	2.4GeV	24.3GeV	500GeV
Πόλωση Εξόδου	80-85%			50-60%

TIME PROJECTION CHAMBER (TPC)

- ★ Μήκος 4.2m & Ακτίνα 4m
- ★ Ανακατασκευή τροχιών φορτισμένων σωματιδίων ορμής
 $100\text{MeV}/c - 10\text{GeV}/c$
- ★ Μέτρηση ορμής φορτισμένων σωματιδίων ορμής
 $100\text{MeV}/c - 30\text{GeV}/c$
- ★



TPC - Γεωμετρικά Όρια



- ★ Γεωμένος Εσωτερικός & Εξωτερικός Κύλινδρος & Βάσεις σε Δυναμικό 0V
- ★ Μεμβράνη στο Κέντρο του Κυλίνδρου σε δυνομικό 28kV
- ★ Δημιουργία "Ομογενούς" Ηλεκτρικού Πεδίου για την ολίσθηση των δευτερογενών σωματιδίων προς τις βάσεις
- ★ Κατεύθυνση Πεδίου: Κεντρική Μεμβράνη → Βάσεις

TPC Γεωμετρικά Όρια: END CAPS

- ★ Αποτελείται από 12 όμοια μέρη
- ★ Δομική Μονάδα: MultiWire Proportional Chamber (MWPC)
- ★ Δομή MWPC(βάση προς θάλαμος):
 - Pads-Κάθιδοι

TPC Γεωμετρικά Όρια: END CAPS

- ★ Αποτελείται από 12 όμοια μέρη
- ★ Δομική Μονάδα: MultiWire Proportional Chamber (MWPC)
- ★ Δομή MWPC(βάση προς θάλαμος):
 - Pads-Κάθισδοι
 - Επίπεδο Συρμάτινων Ανόδων (Δημιουργία Διαφοράς Δυναμικού και λειτουργία στην Αναλογική Περιοχή)

TPC Γεωμετρικά Όρια: END CAPS

- ★ Αποτελείται από 12 όμοια μέρη
- ★ Δομική Μονάδα: MultiWire Proportional Chamber (MWPC)
- ★ Δομή MWPC(βάση προς θάλαμος):
 - Pads-Κάθιδοι
 - Επίπεδο Συρμάτινων Ανόδων (Δημιουργία Διαφοράς Δυναμικού και λειτουργία στην Αναλογική Περιοχή)
 - Πλέγμα Θωράκισης (Περιορισμός Αναλογικής Περιοχής)

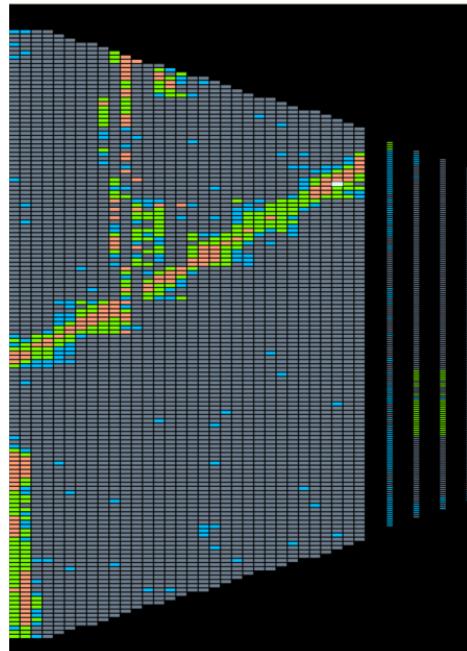
TPC Γεωμετρικά Όρια: END CAPS

- ★ Αποτελείται από 12 όμοια μέρη
- ★ Δομική Μονάδα: MultiWire Proportional Chamber (MWPC)
- ★ Δομή MWPC(βάση προς θάλαμος):
 - Pads-Κάθιδοι
 - Επίπεδο Συρμάτινων Ανόδων (Δημιουργία Διαφοράς Δυναμικού και λειτουργία στην Αναλογική Περιοχή)
 - Πλέγμα Θωράκισης (Περιορισμός Αναλογικής Περιοχής)
 - Gating Grid (Περιορισμός διαφυγής ιόντων & "Φιλτράρισμα" σωματιδίων που εισέρχονται στην αναλογική περιοχή)

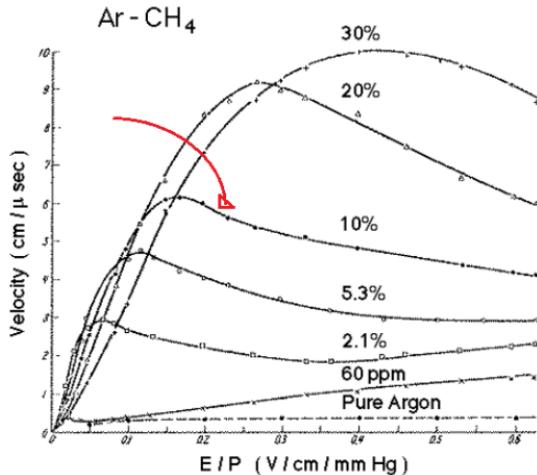
TPC Γεωμετρικά Όρια: END CAPS

- ★ Αποτελείται από 12 όμοια μέρη
- ★ Δομική Μονάδα: MultiWire Proportional Chamber (MWPC)
- ★ Δομή MWPC(βάση προς θάλαμος):
 - Pads-Κάθιδοι
 - Επίπεδο Συρμάτινων Ανόδων (Δημιουργία Διαφοράς Δυναμικού και λειτουργία στην Αναλογική Περιοχή)
 - Πλέγμα θωράκισης (Περιορισμός Αναλογικής Περιοχής)
 - Gating Grid (Περιορισμός διαφυγής ιόντων & "Φιλτράρισμα" σωματιδίων που εισέρχονται στην αναλογική περιοχή)
- ★ Στο κάθε μέρος υπάρχει διαφορετική διαρρύθμιση των pads
- ★ Εξωτερικό: Πυκνότερα pads για αύξηση της διαχριτικής ικανότητας dE/dx και διάχρισης σωματιδίων και ανακατασκευή τροχιάς
- ★ Εσωτερικό: Αραιότερα pads διότι λόγω αυξημένης πυκνότητας θέλουμε μόνο τον διάχριση μεταξύ δύο τροχιών

TPC

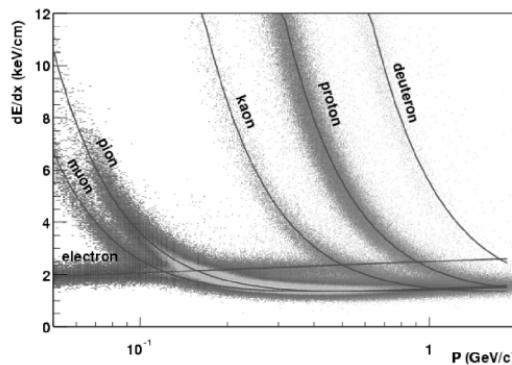
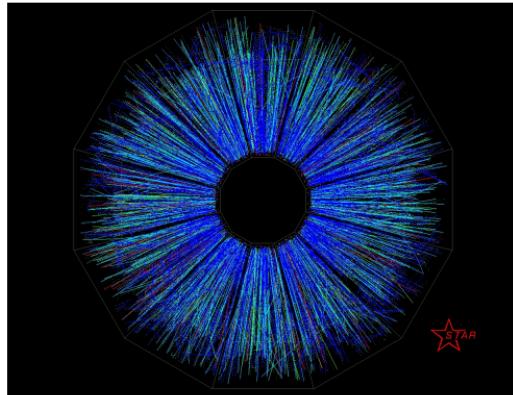


TPC - Μίγμα Αερίων



- ★ 50.000lt από 10% CH_4 - 90% Ar
- ★ Κριτήρια: Καθαρότητα & Ευκολία στην Διατήρησή της, ταχύτητα ολίσθησης, ασφάλεια, κόστος
- ★ Μείωση Ηλεκτραρνητικών Στοιχείων
→ $O_2 < 100ppm$ & $H_2O < 10ppm$
- ★ Επιλογή πεδίου ώστε η ταχύτητα ολίσθησης να μην είναι στο μέγιστο της καμπύλης

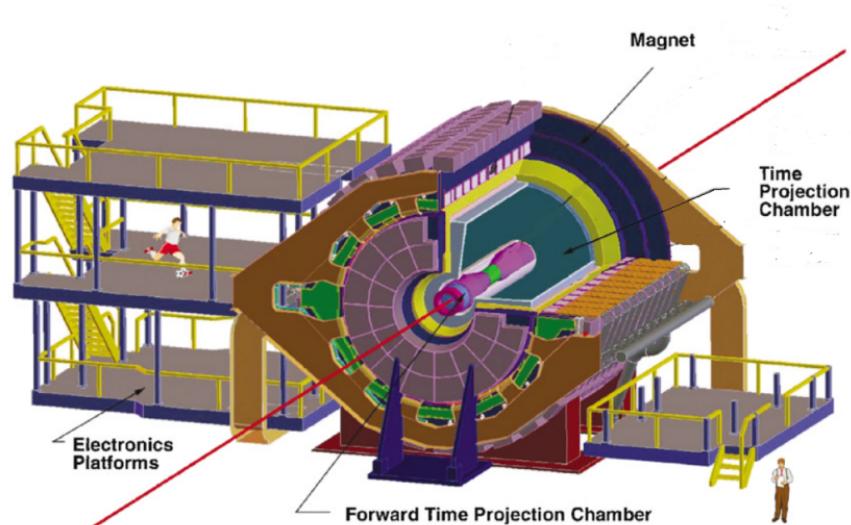
Επίδοση



- Περίπου το 30% των τροχιών των δευτερογενών σωματιδίων επικαλύπτεται
- Σε όσες επικαλύπτονται χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι για την για τον διαχωρισμό τους, ενώ ο προσδιορισμός του dE/dx είναι εφικτός
- Προσδιορισμός της θέσης στο επίπεδο της τροχιάς από τα pads που δίνουν σήμα
- Προσδιορισμός της θέσης κάθετα στο επίπεδο των end caps από τον χρόνο πτήσης

FORWARD TIME PROJECTION CHAMBER (FTPC)

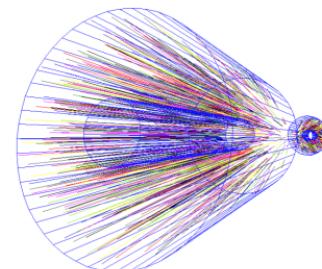
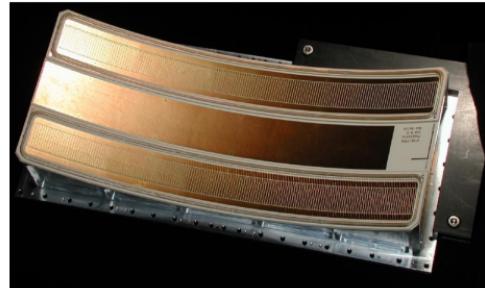
- ★ Δύο κυλινδρικοί TPC με αέριο σε ακτίνα $7.7\text{cm} < R_{FTPC} < 30.05\text{cm}$ και μήκος 1.2m
- ★ Καλύπτουν μεγάλες pseudorapidity $2.5 < |\eta| < 4.0$
- ★ Τδια αρχή λειτουργίας με τον TPC



FTPC

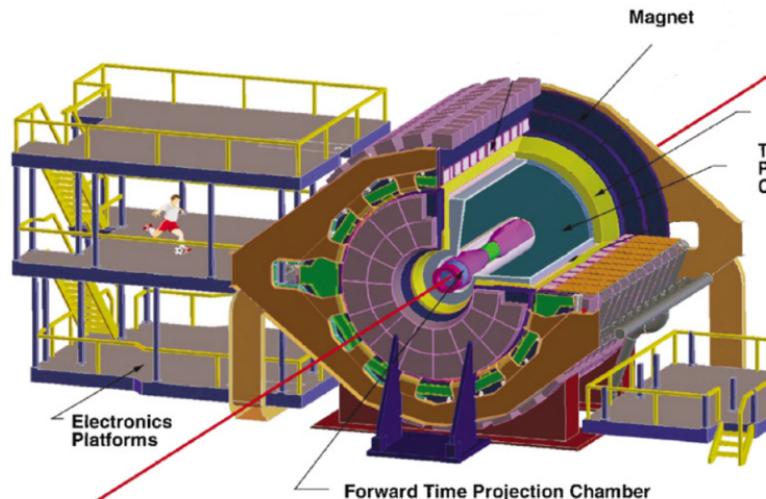
- * Διαφορά από TPC

- Το πεδίο είναι ακτινικό
- Άρα η ολίσθηση των δευτερογενών σωματιδίων είναι ακτινική
- Οι MWPC είναι στον εξωτερικό φλοιό και τα pads σε χαμπύλο σχήμα

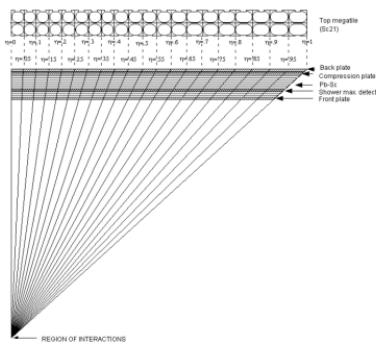
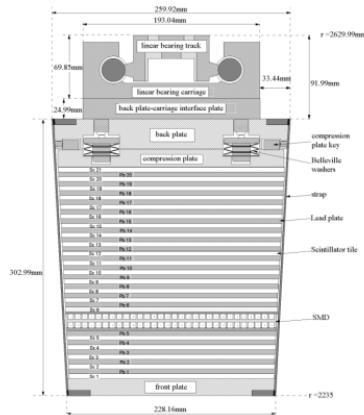


BARREL ELECTROMAGNETIC CALORIMETER (BEMC)

- ★ Για κάλυψη pseudorapidity $|\eta| < 1$ με συνολική επιφάνεια $60m^2$ για σωματίδια με υψηλή ορμή
- ★ Είναι τοποθετημένο εντός του μαγνητικού πεδίου του σωληνοειδούς
- ★ Αποτελείται από διαχριτά κομμάτια Scintillating Sampling Calorimeters με Μόλυβδο



BEMC



- ★ Το κάθε τμήμα σπινθηριστή συνδέεται με τους φωτοπολλαπλασιαστές μέσω μίας οπτικής ίνας
- ★ Οι φωτοπολλαπλασιαστές είναι εκτός του χώρου με το μαγνητικό πεδίο, λόγω έλλειψης χώρου άρα λειτουργούν και σε μηδενικό μαγνητικό πεδίο χωρίς να πρέπει να τους προφυλλάξουμε με επιπλέον υλικό
- ★ Σε βάθος $5.6X_0$ από την αρχή των στρωμάτων έχουμε το μέγιστο της ενέργειας καταιγισμού
- ★ Εκεί υπάρχει ένας αναλογικός ανιχνευτής αερίου ο οποίος βοηθά στην ταυτοποίηση των π^0, γ, e

Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Θεωρητικά

- * $\tau < 0$: Πριν την σύγκρουση όπου Κουάρκ και Γλουόνια υπάρχουν στα νουκλεόνια του πυρήνα
- * $0 < \tau < \tau_0$: Η αρχική κινητική ενέργεια εναποτίθεται στην περιοχή επικάλυψης των πυρήνων φτιάχνοντας μία κατάσταση που καλείται fireball.
Αν η αρχική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη δημιουργείται μία κατάσταση στην οποία τα κουάρκ και τα γλουόνια αποδεσμεύονται από τα νουκλεόνια και φτιάχνουν το Quark Gluon Plasma (QGP)

Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Θεωρητικά

- * $\tau < 0$: Πριν την σύγκρουση όπου Κουάρκ και Γλουόνια υπάρχουν στα νουκλεόνια του πυρήνα
- * $0 < \tau < \tau_0$: Η αρχική κινητική ενέργεια εναποτίθεται στην περιοχή επικάλυψης των πυρήνων φτιάχνοντας μία κατάσταση που καλείται fireball.
Αν η αρχική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη δημιουργείται μία κατάσταση στην οποία τα κουάρκ και τα γλουόνια αποδεσμεύονται από τα νουκλεόνια και φτιάχνουν το Quark Gluon Plasma (QGP)
- * $\tau_0 < \tau < \tau_f$: Οι συνεχείς συγκρούσεις μεταξύ των συστατικών της fireball οδηγούν το σύστημα με θερμική ισορροπία και σε διαστολή.
Όσο το σύστημα διαστέλλεται ταυτόχρονα κρυώνει μέχρι να φτάσει σε μία κρίσιμη θερμοκρασία T_c κάτω από την οποία αρχίζει η αδρονοποίηση, δηλαδή η επαναδημιουργία νέων αδρονίων που δεν είναι αποκλειστικά νετρόνια και πρωτόνια.

Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Θεωρητικά

- * $\tau < 0$: Πριν την σύγκρουση όπου Κουάρκ και Γλουόνια υπάρχουν στα νουκλεόνια του πυρήνα
- * $0 < \tau < \tau_0$: Η αρχική κινητική ενέργεια εναποτίθεται στην περιοχή επικάλυψης των πυρήνων φτιάχνοντας μία κατάσταση που καλείται fireball.
Αν η αρχική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη δημιουργείται μία κατάσταση στην οποία τα κουάρκ και τα γλουόνια αποδεσμεύονται από τα νουκλεόνια και φτιάχνουν το Quark Gluon Plasma (QGP)
- * $\tau_0 < \tau < \tau_f$: Οι συνεχείς συγκρούσεις μεταξύ των συστατικών της fireball οδηγούν το σύστημα με θερμική ισορροπία και σε διαστολή.
Όσο το σύστημα διαστέλλεται ταυτόχρονα κρυώνει μέχρι να φτάσει σε μία κρίσιμη θερμοκρασία T_c κάτω από την οποία αρχίζει η αδρονοποίηση, δηλαδή η επαναδημιουργία νέων αδρονίων που δεν είναι αποκλειστικά νετρόνια και πρωτόνια.
- * $\tau > \tau_f$: Εδώ επέρχεται και η λεγόμενη χημική ισορροπία, οι ανελαστικές συγκρούσεις παύουν (*chemical freeze-out*) και καθώς η θερμοκρασία συνεχίζει να μειώνεται η μέση ελεύθερη διαδρομή γίνεται μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του συστήματος και σταματούν οι ελαστικές συγκρούσεις (*kinetic freeze-out*).

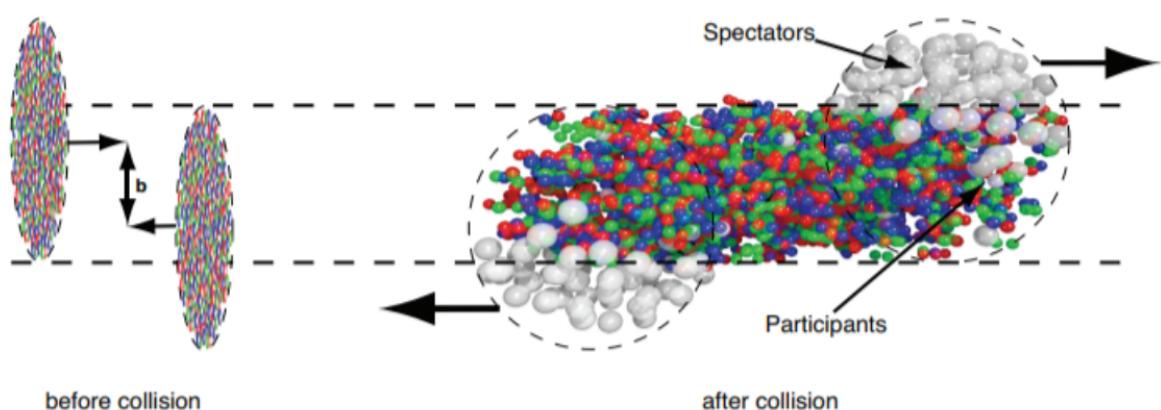
Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Θεωρητικά

- ★ $\tau < 0$: Πριν την σύγκρουση όπου Κουάρκ και Γλουόνια υπάρχουν στα νουκλεόνια του πυρήνα
- ★ $0 < \tau < \tau_0$: Η αρχική κινητική ενέργεια εναποτίθεται στην περιοχή επικάλυψης των πυρήνων φτιάχνοντας μία κατάσταση που καλείται fireball.
Αν η αρχική ενέργεια είναι αρκετά μεγάλη δημιουργείται μία κατάσταση στην οποία τα κουάρκ και τα γλουόνια αποδεσμεύονται από τα νουκλεόνια και φτιάχνουν το Quark Gluon Plasma (QGP)
- ★ $\tau_0 < \tau < \tau_f$: Οι συνεχείς συγκρούσεις μεταξύ των συστατικών της fireball οδηγούν το σύστημα με θερμική ισορροπία και σε διαστολή.
Όσο το σύστημα διαστέλλεται ταυτόχρονα κρυώνει μέχρι να φτάσει σε μία κρίσιμη θερμοκρασία T_c κάτω από την οποία αρχίζει η αδρονοποίηση, δηλαδή η επαναδημιουργία νέων αδρονίων που δεν είναι αποκλειστικά νετρόνια και πρωτόνια.
- ★ $\tau > \tau_f$: Εδώ επέρχεται και η λεγόμενη χημική ισορροπία, οι ανελαστικές συγκρούσεις παύουν (*chemical freeze-out*) και καθώς η θερμοκρασία συνεχίζει να μειώνεται η μέση ελεύθερη διαδρομή γίνεται μεγαλύτερη από τις διαστάσεις του συστήματος και σταματούν οι ελαστικές συγκρούσεις (*kinetic freeze-out*).
→ Η μετάβαση φάσης αναμένεται θεωρητικά να συμβαίνει σε θερμοκρασία $170 MeV \rightarrow 2 TK$

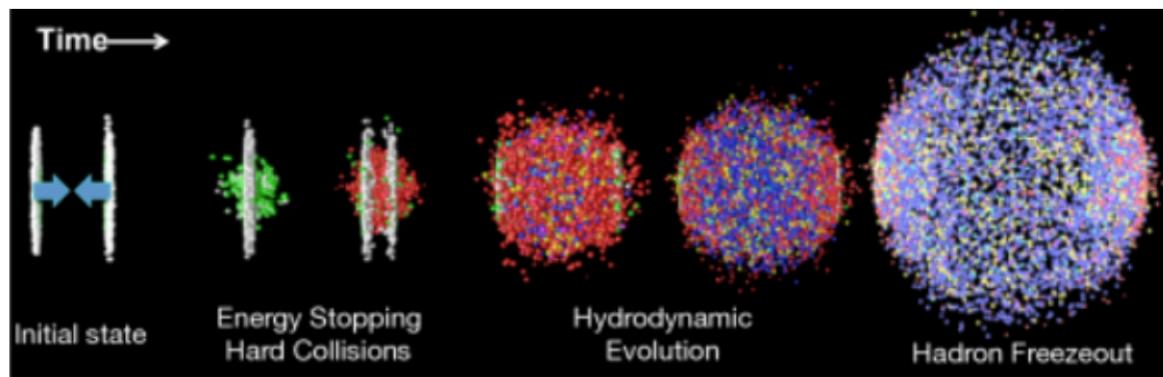
Συγχρούσεις Βαρέων Ιόντων

Θεωρητικά



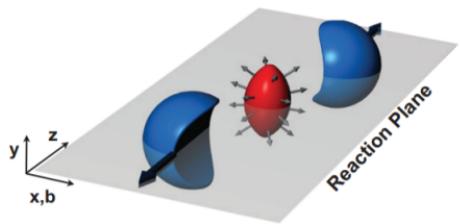
Συγχρούσεις Βαρέων Ιόντων

Θεωρητικά



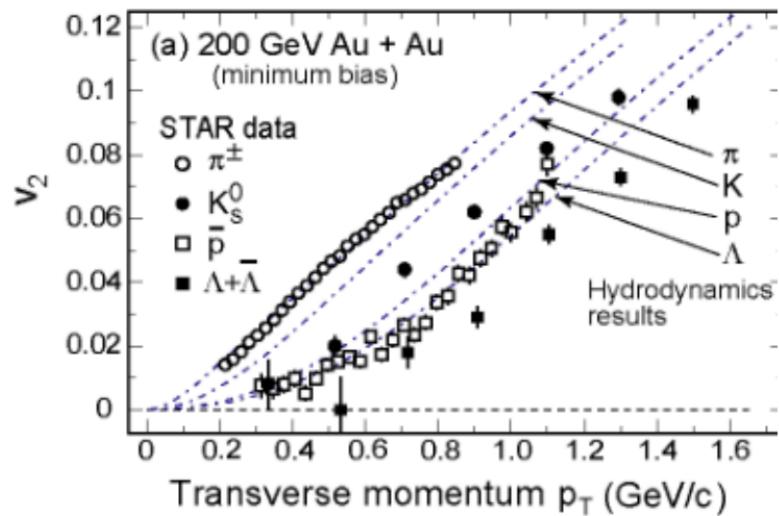
Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Πειραματικά, SOFT RANGE $p_T < 1.5 GeV/c$



- ★ Θεωρητικές ενδείξεις πως η ροή σωματιδίων με μικρές ορμές δεν είναι ισοτροπική.
Ποσοτικοποίηση μέσω του συντελεστή *elliptical flow, v₂*
- ★ Παρατηρήθηκε πως η ροή είναι συλλογκή και ανισοτροπική με διαφορετικό τρόπο για κάθε είδος παραγόμενων σωματιδίων

Συγχρούσεις Βαρέων Ιόντων
Πειραματικά, SOFT RANGE $p_T < 1.5 \text{ GeV}/c$



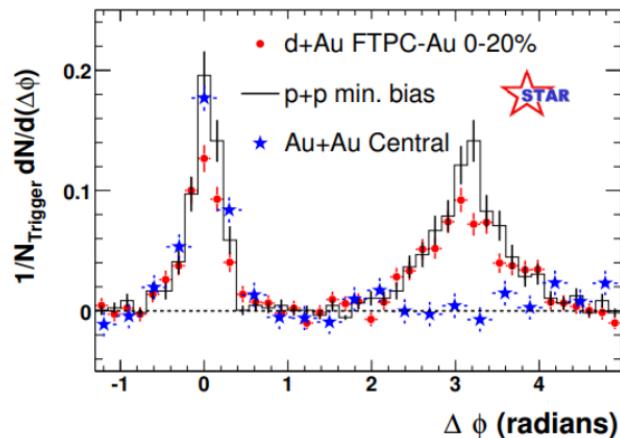
Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

JET QUENCHING

- ★ Οι συγκρούσεις των παρτονίων οδηγούν σε κουάρκ και γλουόνια μεγαλύτερων ορμών δημιουργούν δύο αντιδιαμετρικά jets σε αρχικά στάδια της σύγκρουσης, πριν την δημιουργία του QGP
- ★ Αν τα jets δημιουργηθούν ωριβώς πριν το QGP, τότε το ένα θα διέλθει μεσα απ' το QGP. Αυτό, ενδέχεται να χάσει αρκετή ενέργεια ώστε να μην μπορέσουν να δημιουργηθούν τα ανιχνεύσιμα αδρόνια

Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων JET QUENCHING

- ★ Οι συγκρούσεις των παρτονίων οδηγούν σε κουάρκ και γλουόνια μεγαλύτερων ορμών δημιουργούν δύο αντιδιαμετρικά jets σε αρχικά στάδια της σύγκρουσης, πριν την δημιουργία του QGP
- ★ Αν τα jets δημιουργηθούν ωχριβώς πριν το QGP, τότε το ένα θα διέλθει μεσα απ' το QGP. Αυτό, ενδέχεται να χάσει αρκετή ενέργεια ώστε να μην μπορέσουν να δημιουργηθούν τα ανιχνεύσιμα αδρόνια



Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

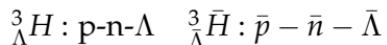
Παραγωγή (ANTI)-HYPERTRITON



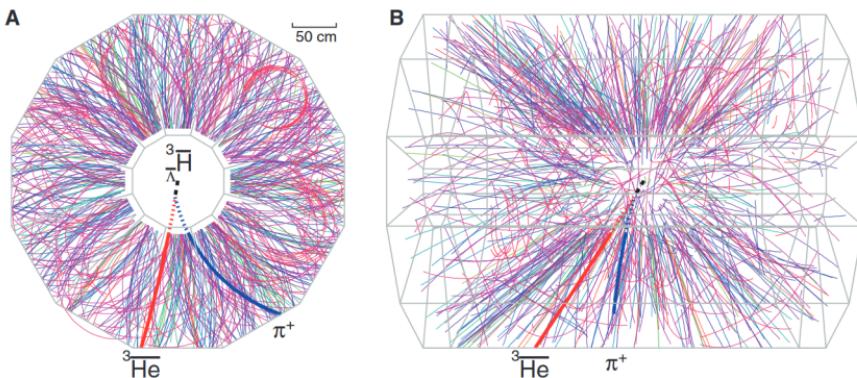
- ★ Οι παραπάνω πυρήνες είναι εξαιρετικά αστυθείς
- ★ Ανιχνεύονται τα παράγωγα των διασπάσεών τους , π.χ. $^3_{\Lambda}\bar{H} \rightarrow \bar{He} + \pi^+$

Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Παραγωγή (ANTI)-HYPERTRITON



- ★ Οι παραπάνω πυρήνες είναι εξαιρετικά αστυθείς
- ★ Ανιχνεύονται τα παράγωγα των διασπάσεών τους, π.χ. ${}^3_{\Lambda}\bar{H} \rightarrow {}^3_{\Lambda}\bar{He} + \pi^+$



Συγκρούσεις Βαρέων Ιόντων

Παραγωγή (ANTI)-HYPERTRITON

- ★ Μέτρηση μάζας πυρήνα - αντιπυρήνα & συμφωνία στα όρια του σφάλματος (αναμενόμενο)
 - $m(^3_\Lambda H) = 2.989 \pm 0.001 \pm 0.002 GeV/c^2$
 - $m(^3_{\bar{\Lambda}} \bar{H}) = 2.991 \pm 0.001 \pm 0.002 GeV/c^2$
- ★ Μέτρηση χρόνου ζωής $\tau = 182 \pm 27 ps$ σε συμφωνία για τους δύο πυρήνες
- ★ Θεωρώντας πως η Ενέργεια Σύνδεσης είναι ίδια για τους δύο πυρήνες $B_\Lambda = 0.41 \pm 0.12 \pm 0.11 MeV$

Συγχρούσεις Βαρέων Ιόντων
Παραγωγή (ANTI)-HYPERTRITON

