

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΕΡΓ. ΑΤΟΜ. & ΠΥΡΗΝΙΚΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΤ. ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ
ΤΗΛ. 991432
TELEX 412181 THES, GR.
540 06 ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Θεσσαλονίκη 14-10-87

Προς
τον καθηγ. Β. Ξανθόπουλο
Τμήμα Φυσικής
Παν/μιο Κρήτης

Αγαπητέ Βασίλη

Συνέχεια της τηλεφωνικής συζητήσεως που είχαμε την 13-Χ-87 αναφορικά με την δυνατότητα να δώσεις ομιλία στο Γενικό Σεμινάριο του Τμήματος μας, έρχομαι και γραπτώς να σου πω ότι η επιτροπή του Σεμιναρίου συνήλθε, μετέφερα τα συζητηθέντα και θα μιλήσεις την

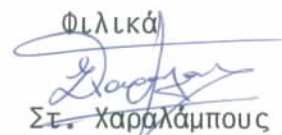
Τετάρτη 4 Νοέμβρη από 12³⁰ έως 14⁰⁰

με θέμα:

Η Φυσική των μελανών οπών

Συνημμένα θα βρεις ένα γενικό γράμμα που στέλνουμε στους ομιλητές για να κατατοπιστείς για τους σκοπούς του Σεμιναρίου, το ακροατήριο κ.λ.π. Σε παρακαλώ να μου στείλεις: α) Ένα είδος Abstract, τους άξονες της ομιλίας σου το οποίο θα το γνωρίσουμε στους ακροατές και β) ένα σύντομο βιογραφικό.

Αγαπητέ Βασίλη σε περιμένουμε. Παρακαλώ δέξου τους πιο φιλικούς μου χαιρετισμούς.

Φιλικά

Στ. Χαράλαμπος

Αγαπητέ συνάδελφε , κ. Ξανθόπουλος .

Το Τμήμα Φυσικής του ΑΠΘ μας ανέθεσε (Λ.Βλάχο, Ν.Φλεβάρη, Στ.Χαραλάμπους) τη διοργάνωση του Γενικού Σεμιναρίου Φυσικής (ΓΣΦ). Θα θέλαμε να σας ενημερώσουμε για τους σκοπούς και τον επιδιωκόμενο χαρακτήρα του ΓΣΦ και να σας ζητήσουμε να είστε ένας από τους ομιλητές.

Οι διαλέξεις στα πλαίσια του ΓΣΦ θα είναι των εξής κατηγοριών.

1. Επιμορφωτικές: Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει θέματα που καλύπτουν συγκεκριμένα πεδία Φυσικής γενικού ενδιαφέροντος. Το πνεύμα αυτών των ομιλιών πρέπει να είναι κατανοητό από τους μη "ειδικούς", στο αντίστοιχο πεδίο, ενώ ταυτόχρονα θα παρέχεται η σύγχρονη γνώση της Φυσικής που συνδέεται με το θέμα:

2. Ενημερωτικές σε θέματα Έρευνας: Διαλέξεις πάνω σε ερευνητικά θέματα που βρίσκονται σε εξέλιξη στην Ελλάδα. Η βαρύτητα της διάλεξης θα πρέπει να βρίσκεται στην ανάπτυξη της ερευνητικής δουλειάς ενός χώρου.

3. Ενημερωτικές σε θέματα Οργάνωσης και Χρηματοδότησης Έρευνας: Προσκαλούνται για διαλέξεις Διευθυντές Τομέων, Εργαστηρίων Ερευνητικών Ιδρυμάτων, ή Ινστιτούτων και Χρηματοδοτικών Φορέων. Σκοπός των σεμιναρίων αυτών είναι η ενημέρωση του Τμήματος στις ερευνητικές κατευθύνσεις στη χώρα μας και στις δυνατότητες χρηματοδότησης ερευνητικών προγραμμάτων.

Το ακροατήριο θα απαρτίζεται από:

1. Μέλη του Διδακτικού και Ερευνητικού Προσωπικού του Τμήματος.
2. Υποψήφιους διδάκτορες και μεταπτυχιακούς φοιτητές.
3. Τελειόφοιτους φοιτητές του Τμήματος Φυσικής.


Πιστεύουμε ότι οι στόχοι του ΓΣΦ θα εκπληρωθούν καλύτερα αν στην διάλεξη σας στο θέμα: -... // Η Φυσική των Μελανιών ... // ... // περιλαμβάνεται και μια γενική εισαγωγή.

Το ΓΣΦ γίνεται την πρώτη Τετάρτη κάθε μήνα στις 12.30 μ.μ. Προηγείται ημίωρη συνάντηση-συζήτηση των συμμετεχόντων με καφέ-τσάι κ.λ.π.

Το ΓΣΦ θα καλύψει τα έξοδα κίνησης και διήμερης παραμονής σας στη Θεσ/νίκη. Πιστεύουμε ότι θα ήταν εποικοδομητικό στα πλαίσια της επαφής αντιστοίχων Τομέων των Παν/μιων μας να παραμείνετε στη Θεσ/νίκη (τουλάχιστον) μια μέρα.

Έχουμε την δυνατότητα μαγνητοσκόπησης της ομιλίας σας, στα πλαίσια δημιουργίας σχετικής ταινιοθήκης. Ειδοποιείστε μας εάν έχετε αντίρρηση.

Για τον καλύτερο προγραμματισμό του ΓΣΦ θα σας παρακαλούσαμε να μας γνωστοποιήσετε την απάντησή σας το συντομότερο δυνατό.

Με τιμή

Ο Πρόεδρος της Επιτροπής ΓΣΦ
Στ. Χαραλάμπους

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΦΥΣΙΚΟ ΤΜΗΜΑ
714 09 ΗΡΑΚΛΕΙΟ - ΚΡΗΤΗΣ
Τηλ. (081) 236.589, 235.014
Telex 262728

Ηράκλειο 22-10-1987

Προς
Καθηγ. Στέφανο Χαραλάμπους
Εργαστήριο Ατομικής και
Πυρηνικής Φυσικής,
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

Αγαπητέ κ. Χαραλάμπους

Σας ευχαριστώ για την πρόσκληση να δώσω Γενικό σεμινάριο στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Εσωκλείω περίληψη της ομιλίας μου και σύντομο βιογραφικό. Φυσικά δεν έχω καμιά αντίρρηση για τη μαγνητοσκοπήση της ομιλίας μου.

Θα έλθω στη Θεσσαλονίκη Τρίτη βράδυ (απ'ευθείας από Ηράκλειο) και Τετάρτη και Πέμπτη θα είμαι στο Πανεπιστήμιο. Δεν χρειάζεται να κάνετε τίποτα για ξενοδοχείο.

Σας χαιρετώ,

Φιλικά



Βασίλης Ξανθόπουλος

Η Φυσική των μελανών οπών

Μετά απο μια σύντομη αναφορά στην αναγκαιότητα της ύπαρξης των μελανών οπών, θα επιχειρήσουμε την περιγραφή και κατανόηση των ιδιοτήτων τους, με τη βοήθεια διαγραμμάτων. Θα εξηγήσουμε μερικά απο τα "παράδοξα" που συμβαίνουν στη χειτονια τους όπως, π.χ., την εναλλαγή του χώρου και του χρόνου μέσα στην μελανή οπή, το αν χρειάζεται κανείς πεπερασμένο ή άπειρο χρόνο για να περάσει τον ορίζοντα, και την πλήρη εξαθένιση των σωματιών που εκπέμπονται προς τα έξω. Απο φυσικές διεργασίες θα συζητήσουμε την εξαγωγή ενέργειας (Penrose process) και τη σκέδαση βαρυτικών και ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων απο μελανές οπές, το φαινόμενο της υπερακτινοβολίας (superradiance), την κβαντική εκπομπή σωματιδίων (φαινόμενο Hawking) και τη θερμοδυναμική των μελανών οπών.

Βασίλης Ξανθόπουλος

Γεννημένος στη Δράμα το 1951, είναι πτυχιούχος Μαθηματικός του Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (1973) και κάτοχος πτυχίου Masters (M.S., 1976) και διδακτορικού (Ph.D., 1978) Φυσικής του Πανεπιστημίου του Chicago. Δίδαξε και έκανε έρευνα στα Πανεπιστήμια Montana, Syracuse, Harvard, Chicago, Θεσσαλονίκης, και στο Ινστιτούτο Max-Planck. Από το 1982 διδάσκει στο Φυσικό Τμήμα του Πανεπιστημίου Κρήτης (έκτακτος καθηγητής - 1982, Αναπληρωτής Καθηγητής - 1983, Καθηγητής - 1987).

Ερευνητικά ασχολείται με θέματα Γενικής Θεωρίας Σχετικότητας και Μαθηματικής Φυσικής, στα οποία έχει δημοσιεύσει πάνω από 45 πρωτότυπες ερευνητικές εργασίες σε διεθνή περιοδικά. Τελευταία ασχολείται με τη θεωρητική μελέτη της σύγκρουσης βαρυτικών, ηλεκτρομαγνητικών και υδροδυναμικών κυμάτων, και με την περιγραφή κοσμικών χορδών, στη θεωρία της Σχετικότητας.

Ηράκλειο 10/11/87

Καθ. Υπέγραφο Χαράδαφους
Φυσικό Τμήμα
Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

κ. Χαράδαφους.

Θέλω να σας διαμαρτυρηθώ για την πρόκληση της επιτροπής να δώσω το Γενικό βεβαιωτικό του Φυσικού Τμήματος. Σας διαβεβαιώνω ότι η γρήνη που εξέγραβα την Τετάρτη το περασμένο, στην αρχή της οκτίας μου, δεν άλλαξε καθόλου μέχρι την Παρασκευή το βράδυ, όταν συνειδητήσαμε για μετανέες οπές με τον τελευταίο φορτωτή που πήρατε από το Αεροδρόμιο: Γιατί ένα ήταν για να πάρω τον ενθάρσια "Επιστολή".

Εσυνάψω το κείμενο του βεβαιωτικού μου.

Εύχομαι Υγεία + Χαρά,

Βασίλης Ξαπόπουλος

Η Φυσική των Μεταών Όσων.

- Είναι περσιό να τούσου νόσο χαρούτσος είσαι που βρίσκουσαι στα ναθά μου τμήματα. Και ευχαριστώ τα μέλη της επιτροπής που είχαν αλληλίες ιδία.
- Όταν του τελευταίου σου κείμεν ο κ. Χαπαδάφης για την οφιδία σου, πριν από τρεις εβδομάδες, στις 13 Οκτωβρίου, δεν του άφησε ναττιε ελευθέρια. Δεν του άφησε τη δυνατότητα να αρνηθώ - ούτε φυσικά να διααρνήθω. Δεν ρωτήθηκε για το νόση - αλλά δεν υπήρχε να κανένα πρόβλημα με τη συστηματική ηρεσότητα. Και για τον τίτλο ή το περιεχόμενο της οφιδίας του δεν ρωτήθηκε, οι οποίοι ήταν κίτρινος υποδορισμένο - ε' από το θέμα λιδανών να είχα κάποιες ασημεριώδεις: Δεν είναι νέον ο καθός-καθός Βρέιτς που ξέρουμε, που αρχοείσαι με Black Holes, τα τελευταία 3 1/2 χρόνια κυρίως ασχολούσαι με τις συμπλοκές βαρυμικών κεντροβαρμητικών, και υδροστατικών κινήτων σε θεωρία της σχετικότητας, αλλά, όπως είπαμε, ούτε να ^{συνειδησίως} ~~να~~ θέματα που είχε ελευθέρια, ο κ. Χαπαδάφης τον το όρισε, "Η Φυσική των Μεταών Όσων". Κι αν κατάλαβα μετά, δεν έχω ούτε να το διακρίνω να τις λέω Black Holes ή Μαύρες Τρύπες, είναι Μεταών Όσων.
- Το πρώτο πρόβλημα λοιπόν της συστηματικής οφιδίας είναι ότι οι άνθρωποι επισημασμένοι. Ελευθέριοι άνθρωποι, φυσικά, αναδίδω καλύτερα, "εγώ όπως να προσπαθώ my best. Αρ, παρά τούτο, δεν θένετε ενόδια ικανοποιημένοι από τη "Φυσική των Μαύρων Τρυπών" - ή συγχωρείται, των "μεταών όσων", θα φταίει ... η επισημασμένη, που για μένα ήταν για ποδύ-ποδύ ευχάριστη επισημασμένη.

(I) Γιατί Μεταβεί Onet? Να προσέξω να να δώσω επιγραφή του ανάρτησης: Έως Μεταβεί onet λέτε ΝΑΙ για τα αστέρια οφθαλμών.

Αρχίω από υποδοχικό που οι περισσότεροι έχετε ξανακούσει:

Σφαιρική μάζα M , ακτίνα R , ταχύτητα διαφυγής $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{GM}{R}$.

Πόση ακτίνα ώστε ταχύτητα $v=c$ = ταχύτητα του φωτός?

$R_s = \frac{2GM}{c^2}$, ακτίνα Schwarzschild, γραμμική ως προς μάζα.

Παρατηρητικά δεδομένα: (i) Το φως-φύση υφίσταται την επίδραση του πεδίου βαρύτητας (bending, μακρύνωμα κύματος Ένστα από τον Ήλιο, 1.6") (ii) Τίποτα δεν υφίσταται πιο γρήγορα από το φως, βάσει ειδικής θεωρίας σχετικότητας.

Συμπέρασμα. Αν κάποιος σωμα συμπεριωθεί μέσα στην ακτίνα Schwarzschild του, τίποτα δεν θα μπορεί να φύγει, θα γίνει μαύρη τρύπα. Για $M = 1 M_{\odot}$, $R = 3 \text{ km}$.

• Σχηματίζονται τέτοιες καταστάσεις στη φύση? ΝΑΙ όταν πεθαίνουν μεγάλα αστέρια. Λίγη απροσυσπύ,

Σ' ένα αστέρι, σαν τον Ήλιο υπάρχει πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας στη βαρύτητα, που θέλει να το συμπιωνθεί, και την θερμική πίεση, που την εξουδετερώνει. Γι' αυτό αυνανόβει ο Ήλιος, για να γίνει ευκρίνως, μη όχι για να ζήσει ο ίδιος. Παράγει ενέργεια με ρυθμό 10^{33} erg/sec , μετατρέποντας $H \rightarrow He$. Συνολικά είναι μεγάλο και δε μπορεί να κρατήσει 10^{10} χρόνια, στέλνει και ένα κ νύχια του Γαλαξία. Πρόκειται με μεγάλο αστέρι, $M = 10 M_{\odot}$, και υπάρχουν πολλά τέτοια, ακτινοβολούν 10^9 φορές έντονα ενώ έχουν μάζα 10^{11} φορές περισσότερο από τον Ήλιο, δίνουν 1000 φορές λιγότερο, ή είναι 10.000.000 χρόνια, πολύ μικρότερο της ηλικίας του γαλαξία, άρα διαρωτότητα τι γίνεται όταν πεθαίνουν?

→ Δεν υπάρχει θερμική πίεση να εξουδετερώνει τη βαρύτητα, συμπιωνόμαστε, πυκνότητα αυξάνει, όταν $\rho \sim 10^6 \text{ g/cm}^3$ ήδη υπάρχουν ιονισμένοι, τα ηλεκτρόνια καταλαμβάνουν όλο τις επιτρεπτές

Ενέργειες στάθμες μέχρις ενός εινέδου, επειδή έχω spin 1/2 (επιπλέον)
Εξισορροπία πίεση (που δεν ανατρέπει δανάμ ενέργειας), των πίεση των
εγκυβιστέμων νευτρονίων και ισορροπία των Πρωτοί Μάλοι.

Μάζα Ηθου, διαστάσεις Γης, και ο μηχανισμός δουλεύει πόσον
εξόσον $M < 1.4 M_{\odot} \rightarrow$ πρώτη μορφή αστεριών νεφθάρων.

\rightarrow Αν $M > 1.4 M_{\odot}$, η βαρύτητα νικά τα νευτρονια, και όταν
 $\rho \sim 10^{12} - 10^{14} \text{ gr/cm}^3$ τα βάσει τέρα στον πυρήνα, πτε \rightarrow η,
δημιουργείται αστέρας νετρονίων, Μάζα 2-3 M_{\odot} , $R \sim 10-20 \text{ km}$,
Η πίεση των εγκυβιστέμων νετρονίων εξουδετερώνει τη βαρύ-
τητα, ο μηχανισμός δουλεύει ενόσο $M < 2.5 M_{\odot}$, και δίνει
τη δεύτερη κατηγορία αστεριών νεφθάρων \rightarrow Αστέρας Νετρονίων.

\rightarrow Αν $M > 2.5-3 M_{\odot}$, δεν υπάρχει μηχανισμός να εξουδετερωθεί τη
βαρύτητα, συρρίνωμα συνεχίζεται και για $R < R_s$, η επιφάνεια
του "κότρα" περνά τέρα από την αυτίνα Schwarzschild - τον ορι-
ζοντα γεγονότων - , τίποτα δεν μπορεί να φύγει \rightarrow σχηματίζουμε
μία τεράστια σού.

\rightarrow Δεν ορατιάζονται τι θα γίνει η μάζα που πέρασε, που θα μετα-
δίδει, μεταφερόμενη ή άλλη ονυκότητα, δεν ξέρουμε και
πολλά. Πόσον πίεση είναι Μάλη Τρύνα εξόσον πέρασε
τέρα από την αυτίνα Schwarzschild.

\rightarrow Δεν εξαφανίζεται τελείως για το εξωτερικό περιβάλλον, εξακολου-
θούσα βαρύτητα όπως και τα άλλα αστράτα ίδιας μάζας, Παράδειγμα,
αν ο Ήλιος γίνει τάλπη τρύνα σίτηρα το βράδυ.

\rightarrow Η ονυκότητα, για Ήλιο $\rho \sim 10^{16} \text{ gr/cm}^3$
Αλλά $R \sim M \rightarrow \rho \sim \frac{1}{M^2}$, για μεγάλες μάζες η ονυκότητα
μπορεί να είναι μικρή τη στιγμή που περνά τέρα στον οριζοντα.

Π.χ. Μάλη Τρύνα στο κέντρο γαλαξιών, Μ87, διυός ρ ,
 $M \sim 3 \times 10^9 M_{\odot} \Rightarrow \rho \sim 10^{-3} \text{ gr/cm}^3 =$ ονυκότητα του
ατμοσφαιρικού αέρα.

→ Πρώτο συμπέρασμα: Στις Μεταφυσικές αυτές λέτε ναι, δεν χρειάζεται να
 να δεχόμαστε την ορθότητα της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας.
 Δεχόμαστε μόνο ότι το βαρυτικό πεδίο επηρεάζει την υψύτητα
 του φωτός και ότι n & c είναι το παραδοσιακό νόμο όμοιο ταχύτητας.
 Δεν τις βλέπουμε (αν δούτε να είχατε σίγουροι ότι δεν είναι
 μαθηματικά), τις παρατηρούμε έμμεσα, και έχουμε αρκετά καλώς
 υποψηφίους - Δεδομένα ελεγχτικά ο' από το δέλεο.

⇒ (II) Για μια σωστή περιγραφή των Μεταφυσικών οφείλουμε να Γενική Θεω-
 ρία της Σχετικότητας, αρχίζει το ταχύτητα σφινδέρκο.

→ Σχετικότητα: Κλασική (σε αυθόρμητη ή κβαντική) Θεωρία, όπου
 των δυνατήτων, αλλά η βαρύτητα παίζει ξεχωριστό ρόλο.

- Βασικές παραδοχές: (i) c είναι η ίδια, ομοίως και ανεξάρτητη.
 (ii) Η υψύτητα του φωτός δεν επηρεάζεται από την υψύτητα
 κατάσταση της οψής (Ευκλείδεια) ή του παρατηρητή (δύο διαφορετ. φως).
 • Όσοι βλέπουν τον ίδιο νόμο, αλλά και οι επιταχυνόμενοι
 παρατηρητές.

Συμπέρασμα: Να περιγράψετε τις υψύσεις στον τετραδιάστατο
 χώρο-χρόνο. Παραδείγματα, Σπρινγκ στην Ανδρομέδα, 2.000.000 π.π.χ.,
 SuperNova στην Μαγδαλένη, 170.000 χρόνια π.π.χ., Γαλαξία.

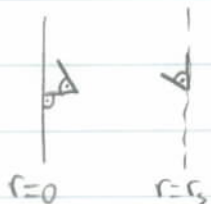
Ιδέα: Η βαρύτητα περιγράφεται με την παραμόρφωση του
 χώρου-χρόνου, την μακρύνωση του χώρου-χρόνου.

Παραδείγματα: Χώρο-χρόνος, όλα τα γεγονότα, παλαιά και παλαιότερα,
 όλη η ιστορία του σύμπαντος.

- Ακίνητος παρατηρητής → υψύτητα γραμμής.
- Κινούμενος, επιταχυνόμενος, περιπεφωμένος παρατηρητής.
- Ακίνητος παρατηρητής μετά βδύλα με ταχύτητα v .
- Κινούμενος παρατηρητής -||- -||- -||-,
 διαφορετική υψύτητα γραμμής.
- Φωτόξενον φωτός, υψύτητα ανεξάρτητη της υψύτης -

Τιμής κατάστασης του παρατηρητή, έχει νόημα ο κώδικας φωτός σε κάθε σημείο του χωρόχρονου, η απόφαση και ο κώδικας φωτός του παρατηρητή. Ανεξάρτητοι του παρατηρητή.

- Διατέγοντε φορές, $\pm 45^\circ$ οριζωντά-δεξιά, όπως και των άλλων ασυνέπεια.
- Παρατηρούμε ταχύτητες $v < c \Leftrightarrow$ όλες οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται μέσα στον κώδικα φωτός, παρατηρών και πέδον.
- Διαφορά ειδούς και γενικής σχετικότητας, υπάρχει βαρυτικό πεδίο, οι κώδικες φωτός παραμορφώνονται.
- Ένα παράδειγμα, το διάγραμμα χωρόχρονου της μετανις ονής, (όχι κίνηση προς τα πίσω).



Υπάρχει μια γάλα στο $r=0$ που είναι τα πάντα, αυτόν και το φως.

Πρόσκει, η διαχωριστική γραμμή, υπάρχει-δεν υπάρχει ελπίδα

Φυσικά για να διαλύσεις χρειάζεσαι ρουκέτες. Αλλά μέσα στην μετανις ονής, ούτε και με τους ισχυρότερους πυραύλους δεν μπορείς να διαλύσεις.

- Τι υπάρχει μέσα στη μαύρη τρύπα. Ήδη δεν μπορεί να διατηρηθεί ποσότητα, ύλη, κενό, κενό, ---, ακτινοβολία, άπειρη μακροσύνη, άπειρη πυκνότητα.
- Επειδή δεν ερησιονόμαστε τη θεωρία της σχετικότητας, καταρρέει, δεν ισχύει. Χρειάζεται κβαντική βαρύτητα. Πρόσκει, η Μαύρη τρύπα δεν είναι η απειρία, αλλά μια περιοχή του χωρόχρονου αν' όντος δεν μπορούμε να βρούμε, και επειδή η θεωρία της σχετικότητας δεν έχει προβλέψα.

- Ιδιότητες, ο χώρος και ο χρόνος αλλάζουν πόσο περισσότερο μέσω στην Μεταμόρφωση. Δεν μπορούσαμε να σταθούμε εν χρόνω, τώρα δεν μπορούμε να σταθούμε εν χωρῳ.
- Το διάγραμμα με τον ταχύτητά και τον φοβησιόφι :
 Ο χρόνος προχωρεί με αργότερο ρυθμό κοντά σε ισχυρά βαρυτικά πεδία, ο χρόνος επιβραδύνεται κοντά σε ισχυρά βαρυτικά πεδία. Ο χρόνος σταματά στον ορίζοντα, οι από εἶν βλέπουμε ότι χρειάζεται άλλο χρόνο για να περάσει πέρα.
- Κέρδισε την αιωνιότητα σου ζωές των άλλων, όχι όπως και στη δική του.
- Συνέπεια γωνία συχνότητας ν , ο χρόνος καθυστερεί, τα γωνία γάτων μετατοπισμένα προς το ερυθρό, ενέργειά τους $h\nu$ ελαττώνεται. και σαν $h\nu_1 + V_1 = h\nu_2 + V_2$, οι κερδώνων ενέργεια στο πεδίο βαρύτητας. $\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2$
- $\nu \cdot T$ διατηρείται, ανηρος βαθός καθυστέρησης, ο ορίζοντας είναι η επιφάνεια άνηρος μετατόνισης προς το ερυθρό.
- Πόσοι, πραγματικοί, δεν δίκονα την ύπαρξη των Black Holes, για να υπάρχει πρέπει να το βλέπω να συρρικνώνεται. Της παίρνει άλλο χρόνο να συρρικνωθεί, άρα, ουσιαστικά δεν υπάρχει.

Απόδειξη: και η πυκνότητα των φωτονίων πέφτει, και η ενέργειά τους εξαλείφει \Rightarrow η ενέργεια πέφτει ενδεχόμενα με χρόνο ζωής milliseconds, $\tau \sim 10^{-5} \left(\frac{M}{M_\odot}\right)$, σε χρόνο $10^{-3} \left(\frac{M}{M_\odot}\right)$, έχει πέσει σαν e^{-100} , δεν φαίνεται τίποτα. και με τον δικό τους ορισμό πρέπει να ξεχάσουν ότι οι black holes συρρικνώνονται.

→ Ας πούμε λίγο πιο βαθιά om Σχετικότητα, ειδικά από διαφάνεια δικότ2 και ματιά διαφορική εἴδωom.

Συμπερασματικά, η κατάσταση είναι παραδοξολογική: Η γενικότερη Black Hole είναι πάρα πολύ απλή, η εἰσώdeis δύναμη, κβαντική κορυφή, ούτε διαφο-
σεις, ούτε Bessel, ούτε Legendre, μέχρι κβαντική και συνθήκες.

• 1963 ανακάλυψε Ken Kerr (1917 Schwarzschild), δίωστε την φέρει, και ειδικά δεστέριον.

• Έχει μόνο δύο παραμέτρους, ολική μάζα + ολική στροφοπή (και ολικό φορτίο η φορτισμένη). Όλες οι άλλες παράμετροι της αρχικής κατανομής - κατανομή μάζας - κατανομή στροφομής, κίνηση από υπερκρίσιες ακτινοβολούνται πριν από το σχηματισμό της Μεταλλικής ουσίας.

→ Οι πρώτες τρύπες είναι τα πιο απλά αντικείμενα της κοσμολογίας φυσικής, αλλά και σύγχρονης κβαντικής γενικής. Είναι η βάση των προβλέψεων των δύο σωμάτων om Μεταλλική θεωρία, και τον στόχο τον Η om κβαντομηχανική Schrödinger. Μόνο που οι black holes είναι σύγχρονη και οι γενικότερες λύσεις που χρειάζονται.

→ Μεταλλικές φυσικές διεργασίες.

- (i) Όλες να μελετήσουμε πως μεδάζονται μύματα που προκύπτουν om κβαντική φύση. (i) Διαταραχές, ενώdeis της κβαντικής
- (ii) σύγχρονη φυσική πρόβλεψη.

Όνομα, ουσία διαφορικών εἰσώdeis, φέρει παραγωγή, φυσική γραμμική. Schwarzschild, 10 εἰσώdeis και στροφομή, Kerr, 76 εἰσώdeis, 50 αγωγιμότητα.

Και φορτίο, Reissner - Nordstrom, μόνο των περιήσεων που αρχικά είναι ελαφρώς υπερκρίσιμη, 18 εἰσώdeis.

Τι βγαίνει. Τα ονόματα κβαντική. Όπως και om κβαντομηχανική, φέρει μεδάζονται από κβαντική διαφάνεια.

Έτσι οι πρώτες τρεις υπερκυματικές είναι η ημιβάθμια από άπειρα. Short range, πέγγων $\sim \frac{1}{r^2}$.

Πραγματικά όταν συγκρίνουμε υπερκυματικές, ημιβάθμια για την Kerr.

- Φυσικά, χωρίζουμε την διαταραχή σε normal modes και ψάχνουμε για κάθε mode χωριστά.

- Quasi-normal modes, όταν δεν υπάρχει καθόλου ελαφρύ κτύπο, πόσον $\epsilon \rightarrow 0$, το τελικό κτύπο γίνεται ως τελικός όρος.

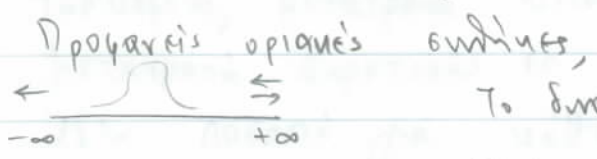
⊗ Τι περιμέναμε, ένα κομμάτι, η ομοιομορφία να πέσει μέσα σε κάποια τρύπα και ένα να σφαιραστεί. Παρόμοιο πρόβλημα από κβαντομηχανική, είπαμε από όλη, ένα κομμάτι κινείται (\Leftrightarrow μεταβάλλεται) κι ένα διαδίδεται



πέφτει σε κάποια τρύπα. Μετακινείται κινείται δίπλα

ακριβώς την ίδια κίνηση. Μπορούμε να την κάνουμε για οτιδήποτε spin s, από ενδιαφέρον και πιο εύκολο για λυγμένα πεδία. Τα άλλα κινούνται διαδίδονται; Εμπειρικά πεδία, το βαρυτικό είναι self-coupled.

→ Μαθηματικός φορμαλισμός, αλλάζει το frame $r \rightarrow r_*$
 $r_* \rightarrow r$ όταν $r \rightarrow \infty$, $r_* \rightarrow -\infty$ όταν $r \rightarrow 2M$, τον ορίζοντα.



Προφανώς ορισμένες συνθήκες, Το διακρίνω είναι ανεπαρκές και πέγγων σαν $\frac{1}{r^2} \Rightarrow$ ανεπαρκώς σφαιρικές κινήσεις και διάδοσης.

• Dragging of inertial frames: Παρατηρητής σε ανεπαρκές απόσταση, αισθάνεται αινιγμά, τα όργανά του δεν δείχνουν καμία επιτάχυνση. Ο του άξονα του βλέπει να κινείται κι κάποια γωνιακή ταχύτητα. Η black hole παρασέρνει και τους inertial frames.

• Διακρίνω, πέγγων $\sim \frac{1}{r^2}$ για $r \rightarrow +\infty$, ενδιαφέρον για $r \rightarrow 2M \Leftrightarrow r_* \rightarrow -\infty$. Short range, το αλφίνο τους ορατήματα • ανεπαρκές.

- Δύο καταπολεπές διαταραχών, η πρώτη parity και δεύτερη parity, έχουν τη συμμετρία $\varphi \rightarrow -\varphi$ και δεν έχουν, ή, τέσσερις επιπτώσεις, ποσότητες που είναι μηδέν ή μη μηδενικές στο background. Δύο διακριτά, v^+ , v^- , και οι δύο καταπολεπές είναι ακριβώς τους ίδιους συνεισφορές ενέργειας και διάδοσης σε κάθε normal mode. Γιατί αυτό? Μια άφιξη από συνεισφορές των διαταραχών, $\int v dr$, $\int v^2 dr$, $\int (2v^3 + v_x^2) dr$, ... ακριβώς τα ίδια όμοια και στην Korteweg-DeVries equation των σολιτών, $u_t - 6uu_x + \frac{1}{3}u_{xxx} = 0 \xrightarrow{+\infty}$ άπειρες διακριτές ποσότητες, τα ολοκληρώματα $\int_{-\infty}^{+\infty} u dx$, $\int_{-\infty}^{+\infty} u^2 dx$, $\int_{-\infty}^{+\infty} (2u^3 + u_x^2) dx$, ...

- Quasi-normal modes: Μικροί χαρακτηριστικοί αριθμοί, αντίθετοι από εικαστικά χαρακτηριστικά διαταραχής, είναι από χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής, Ορισμένες συνεισφορές: Μόνο ingoing κύματα σε ορίζοντα, είναι ανακλώμενα κύματα σε άλλο.
- Φορτισμένη, μετατροπή ηλεκτρομαγνητικής σε βαρυτική και μετατροπή βαρυτικής σε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, ίδια ποσότητα για κάθε normal mode. Χρησιμοποιούμε ηλεκτρομαγνητικές ανίχνευση για να δοθεί έμφαση τα κύματα βαρύτητας, δύσκολως δεν είναι παρατηρητέοι.
- Superradiance: Όταν η πέλονη οπτική κερρ, παρόμοια συμπεριφορά για τη μέση ενέργεια, μέση από κάποια διακριτά που στην περίπτωση αυτή είναι κυκλικά. Από υδροδυναμική, σε τέτοια μέση η οπτική ιδιότητα δεν διατηρείται, $T + R \neq 1$ Υπάρχουν και ορισμένα modes, ℓ, m, l , κατώτερη σφαιρική συχνότητα, ως $R - T = 1$, αραφούν ενέργεια από τη μέση οπτική.

Φαινόμενο υπερακτινοβολίας, superradiance. Θεωρητικά αφαιρείται
 κινητική ενέργεια. Για $0 < \omega < \omega_0$
 βόδνεται, $T < 0 \Rightarrow$ υπερακτινοβολία.

- Το φαινόμενο αυτό έχει και σωματιδιακό αντίστοιχο, αναφέρεται σαν η Penrose Process. Στις περιστρεφόμενες μετάνες οπές (kerr) γύρω και έξω από τον ορίζοντα υπάρχει μια περιοχή του χώρου, η ergosphere, όπου σωματίδια μπορούν να κινούνται και με αρνητική ενέργεια (όπως μετριέται από το άπειρο). Μάλιστα είναι σκόζα, αρνητική ενέργεια, βγάζει με μεγαλύτερη.
- Αφαιρείται κινητική μόνο ενέργεια, σιγά-σιγά η ergosphere εξαφανίζεται.
- Τυχαίες διασπάσεις, ελάχιστη ομοιογένεια για κίνηση με αρνητική ενέργεια, όχι φυσικός μηχανισμός.

→ Θερμοδυναμική μετάνων οπών:

- Η επιφάνεια του ορίζοντα μεγαλώνει πάντα, σαν εντροπία.
- Μάθα λέγεται στη μετάνη οπής \Rightarrow εντροπία θα αυξηθεί, με βώσους β. ήφο θερμοδυναμικής, μεταβολές υδατικού φαινομένου ενδοφύτου, $\dot{S} = \dot{S} + \frac{\kappa \pi c^3}{2G\hbar} A$ δεν εξαφανίζεται.

Συνδυασμός σχετικότητας, θερμοδυναμικής, και κβαντικής

$$- dE = T dS, \quad E = \text{Ενέργεια-μάζα}, \quad S = \text{εντροπία-ορίζοντας} \Rightarrow$$

$$\dot{S} = \frac{\kappa \pi c^3}{2G\hbar} A, \quad \text{βρίσκουμε θερμοκρασία}$$

$$T = \frac{\hbar c^3}{16\pi^2 kG} \cdot \frac{1}{M} = \frac{6 \times 10^{-8}}{(M/M_{\odot})} \text{ K}$$

Όσο πιο μικρότερο, τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασία.

→ Φαινόμενο Hawking: Δεν υπάρχει κβαντική θεωρία βαρύτητας, μελετάμε τη συμπεριφορά κβαντισμένων πεδίων στον κεντρικό χώρο μιας μελανής οπής, π.χ. Schwarzschild.

→ Ακτινοβολούν σωματίδια, με μεταβολή μάζας σφαιρικού, και θερμοκρασία που δίνεται από την προηγούμενη ανάλυση!! (1974).

Ευθαρσά, $T \sim \frac{1}{M}$ είναι η θερμοκρασία της μαύρης τρύπας.

- Έρχομαι από μικρές μάζες τρύπες.
- Όσο αυξάνεται, τόσο η θερμοκρασία αυξάνεται, ακτινοβολούν πιο εύκολα. Εξαρτώνται κυρίως από το μέγεθος.

Μια άλλη ζώνη $T_{\text{ολ}} = 10^{66} \left(\frac{M}{M_{\odot}}\right)^3$ χρόνια

- Ενδιαφέρον για $M = 10^{15}$ gr, ένας λόγος, $R_S = 1 \text{ fermi} = 10^{-13}$ cm. Ημίδια όσον και η του σφαιρικού.

$T \sim 10^{11}$ οκ, ενέργεια κυρίως σε $\epsilon \sim 10$ MeV

Αρνητική ειδική θερμοκρασία.

Αν έχουμε δει το φάσμα τους αλλά και ούρα ηπει-μέταμε να το δούμε.

Ενότητα: (i) Να πάρουμε στα ευθαρσά τις μάζες τρύπες

(ii) Δεν κινδυνεύουμε.

Ερωτήσεις →

(iii) Με βάση μετρήσεις οπών, μέσα σε ολόκληρα της θύλακας της σχετικότητας είναι μια πραγματική ζήτηση να, αν και απαντά πολύ υστερό και δείτε, αξίζει να τη ζήσετε και εσείς.

(iv) Black holes ^{neutro}, ιδίως για επικοινωνία τριών διαφορετικών υφών της φυσικής, σχετικότητας, θερμοκρασίας, και κβαντομηχανική.

Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΜΕΛΑΝΩΝ ΟΠΩΝ

- Γιατί Μαύρες Τρύπες?
- Περίληψη βιβλίου Στωριόπουλου σχετικά με τη Σχετικότητα.
- Ο χωροχρόνος
- Ιδιότητες: Ταξίδι σε μαύρη τρύπα.
 - Εναλλαγή χώρου - χρόνου
 - Το σταμάτημα του χρόνου
 - Επικοινωνία με τον έξω κόσμο.
 - Άλλο Red Shift.
- Ξέρουμε όλες τις Μελανές Οπές.
- Φυσικές διεργασίες:
 - Σκέδαση βαρυτιμών + ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων
 - Υπερακτινοβολία
 - Εξαρτημένη ενέργεια (Penrose Process)
 - Θερμοδυναμική
 - Φαινόμενο Hawking.

Στις μαύρες τρύπες

ΛΕΜΕ ΝΑΙ

γιατί

ΤΑ ΑΣΤΕΡΙΑ ΠΕΘΑΙΝΟΥΝ.

Σφαιρική βάση, $\frac{1}{2} m v^2 = \frac{G m M}{R}$

$v = c$

$$R_s = \frac{2GM}{c^2}$$

Αυτίνα Schwarzschild.

Πείραμα: (i) Φωτόνια υφίσταται την

επίδραση του πεδίου βαρύτητας

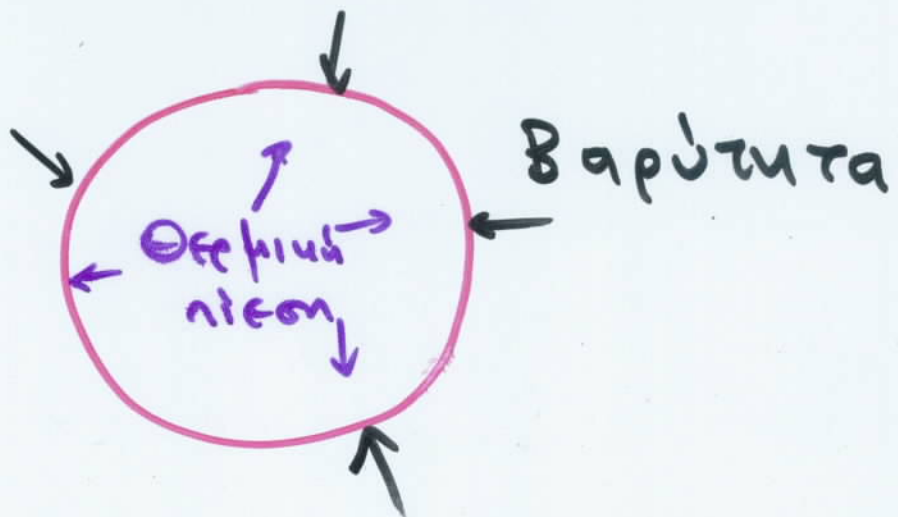
(ii) c πάνω όριο ταχύτητας.



ΜΑΥΡΕΣ ΤΡΥΠΕΣ.

$R_s = 3 \text{ km}$ για τον Ήλιο

Ηλιος :



10^{33} erg/sec , 10^{10} χρόνια.

Ο Ήλιος αυτινοβολεί για να ζήσει!!

Μεγάλη Αστέρια:

10 M_{\odot} ,

Αυτινοβολούν 10^4 φορές εντονότερα

Ζούνε 1000 φορές λιγότερο

Ζούνε Μόνον 10.000.000 χρόνια.

(1) Λευκός Νάνος.

$\rho \sim 10^6 \text{ gr/cm}^3$ - διαστάσεις Γης
ισοτιθέμεν ύψην

Πίεση νετρονίων νηᾱ βαρύτητα
αν $M < 1.4 M_{\odot}$

(2) Αστέρων Νετρονίων.

$\rho \sim 10^{12} - 10^{14} \text{ gr/cm}^3$, $R \sim 10 - 20 \text{ km}$,
νετρόνια

Πίεση νετρονίων νηᾱ βαρύτητα
αν $1.4 < M < 2.5 - 3 M_{\odot}$

(3) Μαύρη Τρύπα. Για $M > 3 M_{\odot}$

(i) Α σφί̄ βαρύτητα.

(ii) $\rho \sim \frac{M}{M^3} = \frac{1}{M^2}$

10^{16} gr/cm^3
ασφί̄

10^{-3} gr/cm^3
γαλαξία.

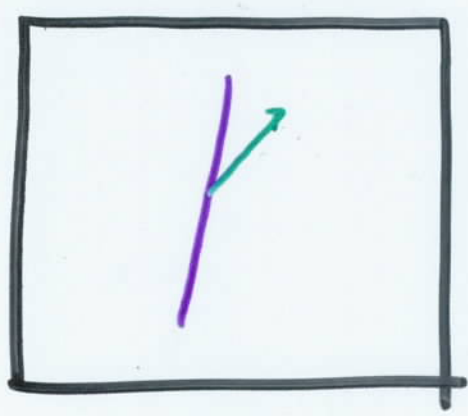
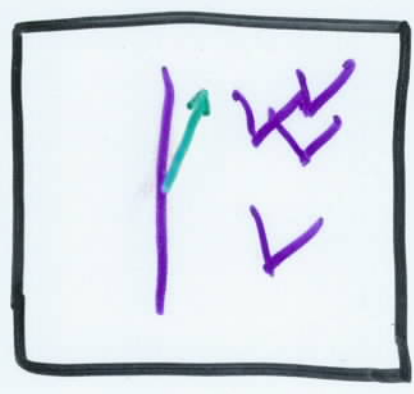
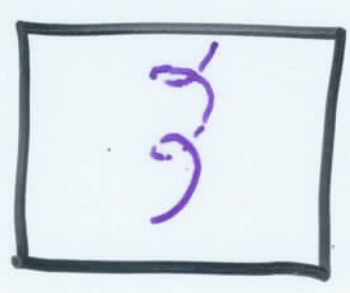
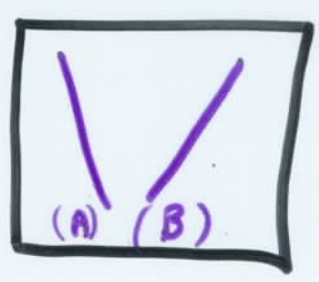
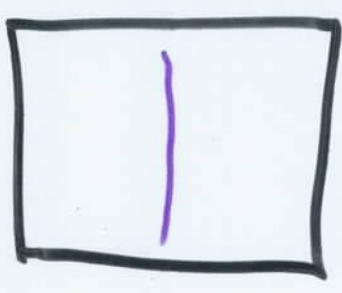
ΘΕΩΡΙΑ ΣΧΕΤΙΚΟΤΗΤΑΣ.

- c σταθερά, ανεξάρτητη κινήσεως κατά τους ηθεις - παρατηρητή,
- c πάνω όριο ταχυτήτων στη φύση.

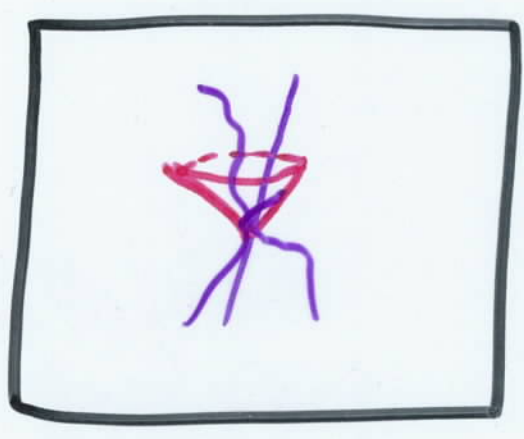
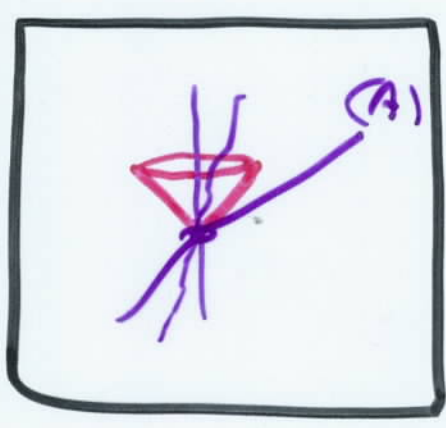
Συμβουλή: Περιγράφετε τα φαινόματα στο χωρόχρονο.

Ιδέα: Βαρύτητα περιγράφεται από παραμόρφωση, μακρύνωση χωρόχρονου.

Χωρόχρονος



Βλῆτα
ταχύτητα
 v_0



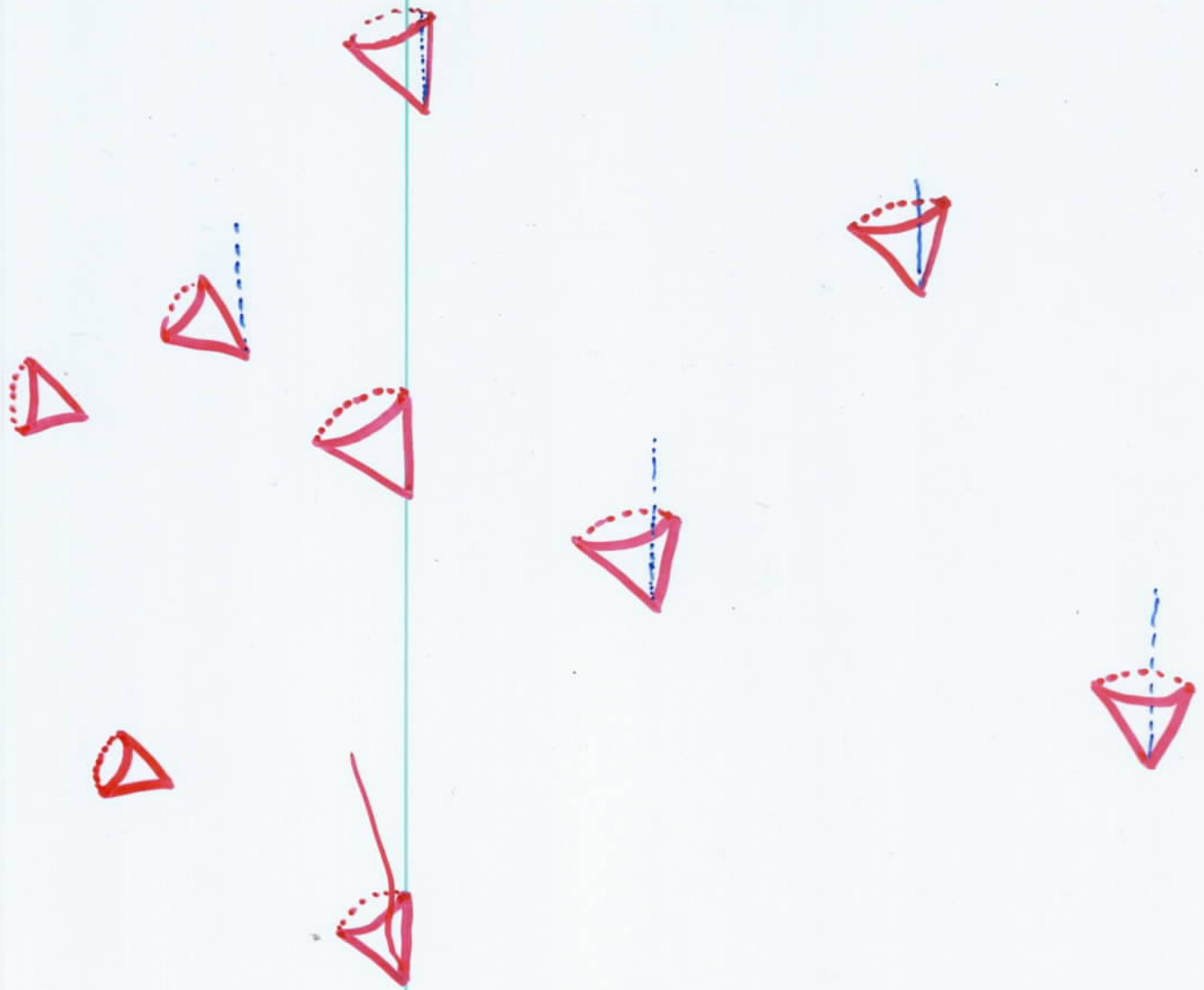
φως

Κῶνι φως.

$\pm 45^\circ$.

Επηρεάζονται από κῆλο διαχύτητας.

Κινήσεις μέσα στον κῶνο φως.

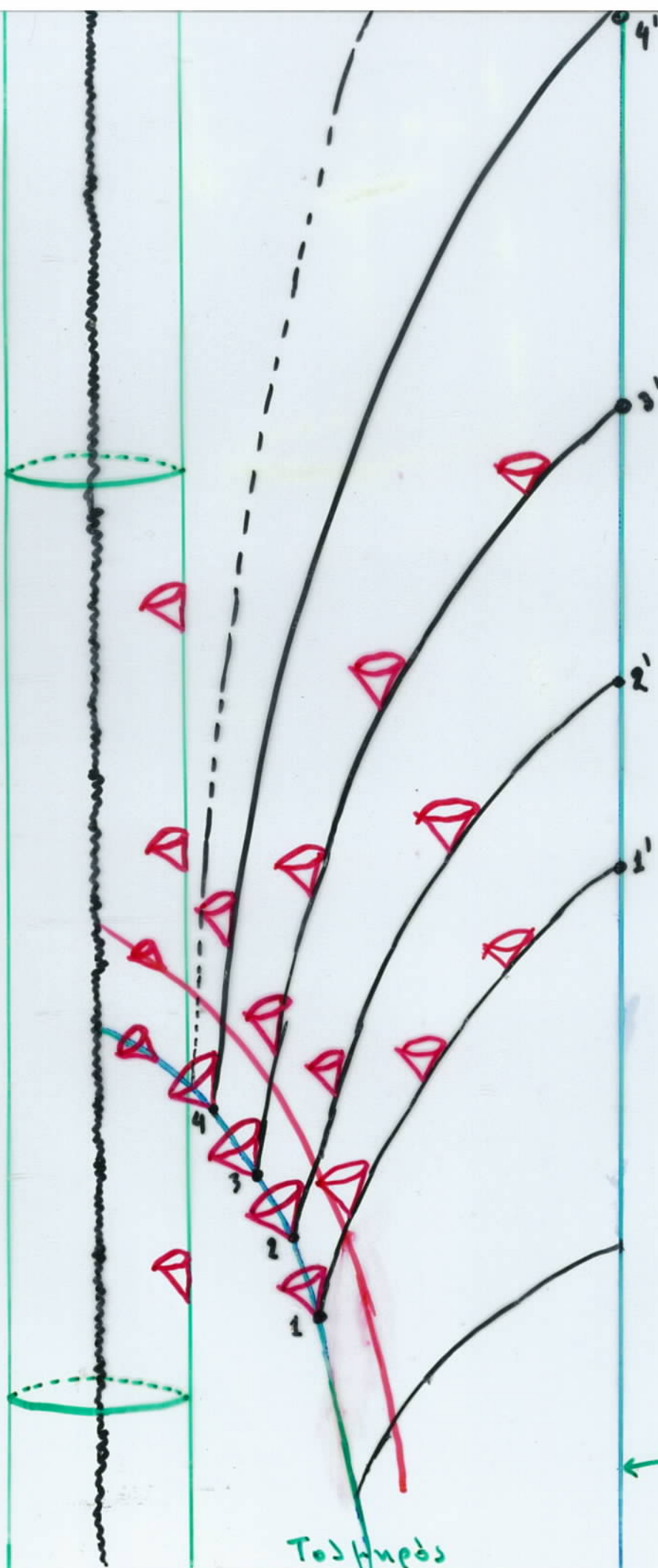


R_s

← Ορίζοντας
 τις μέγιστες
 ζώνες.

↑ χρόνος

→ χώρος

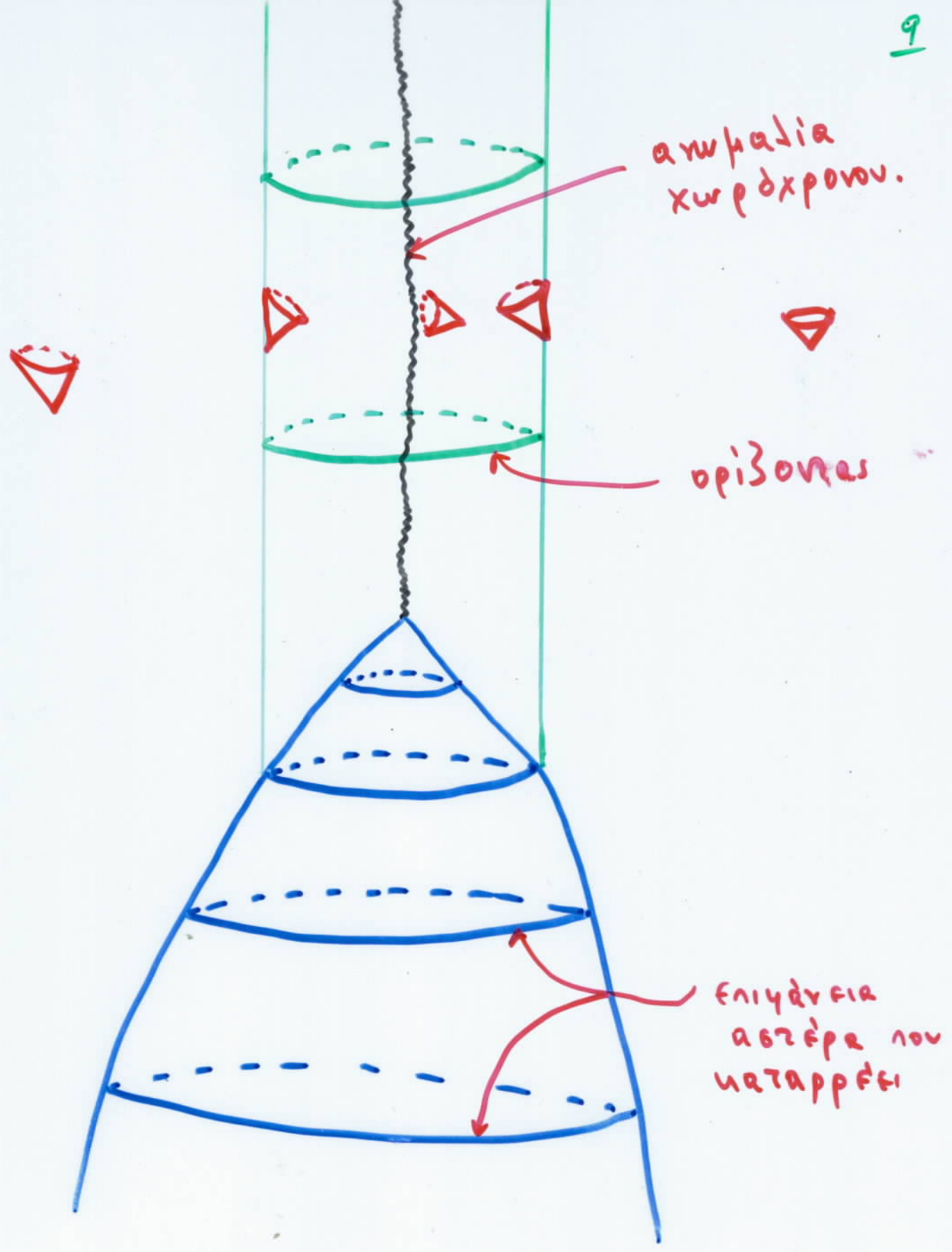


χρὸνος
↑

χώρος
→

← φοβιταίριον

Το εἶναι



αυχλία
χωρικού.

οριζόντιες

Επιφάνεια
αστέρων του
Χατάρπφ

Kerr Melalui θ mi:

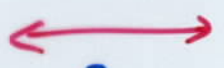
$$ds^2 = \frac{(r^2 - 2mr + a^2 \cos^2 \theta)}{\rho^2} dt^2 - \frac{\Sigma^2 \sin^2 \theta}{\rho^2} d\varphi^2 +$$

$$+ \frac{4amr \sin^2 \theta}{\rho^2} dt d\varphi - \frac{\rho^2}{\Delta} (dr^2 + \Delta d\theta^2).$$

$$\Delta = r^2 - 2mr + a^2$$

$$\rho^2 = r^2 + a^2 \cos^2 \theta$$

$$\Sigma^2 = (r^2 + a^2)^2 - a^2 \Delta \sin^2 \theta$$



Σκεδάζεις Βαρυτιών + Ηλεκτρομαγνητιών υφάτων.

- Ενδιαφέρον φυσικό πρόβλημα
- Ευστάθεια Melanis Ονής.

Μαθηματικά: Ποιά τμήματα συνήθως Διαφοριών ϵ Σ ϵ ω ϵ ω .

Schwarzschild	:	10	Nai
Reissner - Nordström	:	18	Nai
Kerr	:	76	Nai
Kerr - Newman	:	84	??????

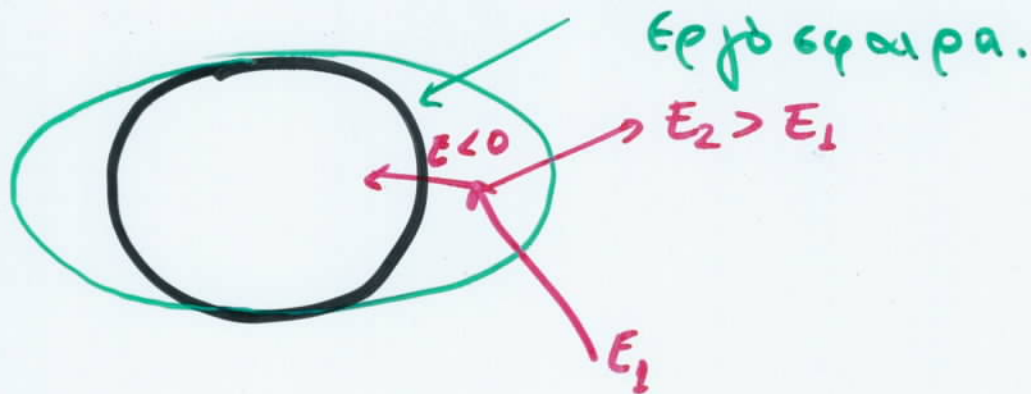
- Περιμένουμε ανάστρο + διάδοση.
- Οι μαύρες τρύπες σαν να περιβάλλονται από δυναμικά.



- Μετατροπή βαρυτιών - ηλεκτρομαγνητιών υφάτων.

Penrose Process.


- Σωματιδιακό αντίστροφο υπεραιτιοβόδιας.



- Μόνον για περιστρεφόμενη κελιάση.
- Αφαιρείται χημική ενέργεια.
- Η εργόσφαιρα βιγιά-βιγιά εξαφανίζεται.
- Τυχαιες διασπάσεις → ελάχιστη πιθανότητα.

Θερμodynamική Μετάνων Ονών

- Η επιφάνεια του οριζοντα (Η βάση) δεν συμπιέται.

-  Εντροπία "χρήσιμης" μάζας εξατμώνεται.

- Γενικευμένος Νόμος

$$\tilde{S} = S + \frac{\pi k c^3}{2 G h} A$$

- $dE = T dS \Rightarrow$

Θερμοκρασία

$$T = \frac{hc^3}{16\pi^2 k G} \cdot \frac{1}{M} = \frac{6 \times 10^{-8}}{M/M_{\odot}} \text{ } ^{\circ}\text{K}$$

- Μικρότερη μάζα τρύπα \Leftrightarrow μεγαλύτερη Θερμοκρασία.

Φαινόμενο Hawking.

- Μελέτη κβαντικών λείων στον υπερ-δωρεό χώρο-χρονο μετάνισ ονής Schwarzschild.

- Αυτινοβολεί σαν μέλαν σώμα

$$T = \frac{hc^3}{16\pi^2 k G} \frac{1}{M} = \frac{6 \times 10^{-8}}{(M/M_0)} \text{ } ^\circ\text{K}$$

- Παίρνουμε στα βάρια τη θερμοκρασία.

- Αρνητική ειδική θερμότητα.

- Συνολική ζωή $T_{\text{ολ}} = 10^{66} \left(\frac{M}{M_0}\right)^3$ χρόνια

- Μικρές: $M = 10^{15}$ gr,

$$R_s = 1 \text{ fermi}, \quad T_{\text{θερμ.}} = 10^{11} \text{ } ^\circ\text{K}.$$

$$T_{\text{ζωή}} = 10^{10} \text{ χρόνια.}$$