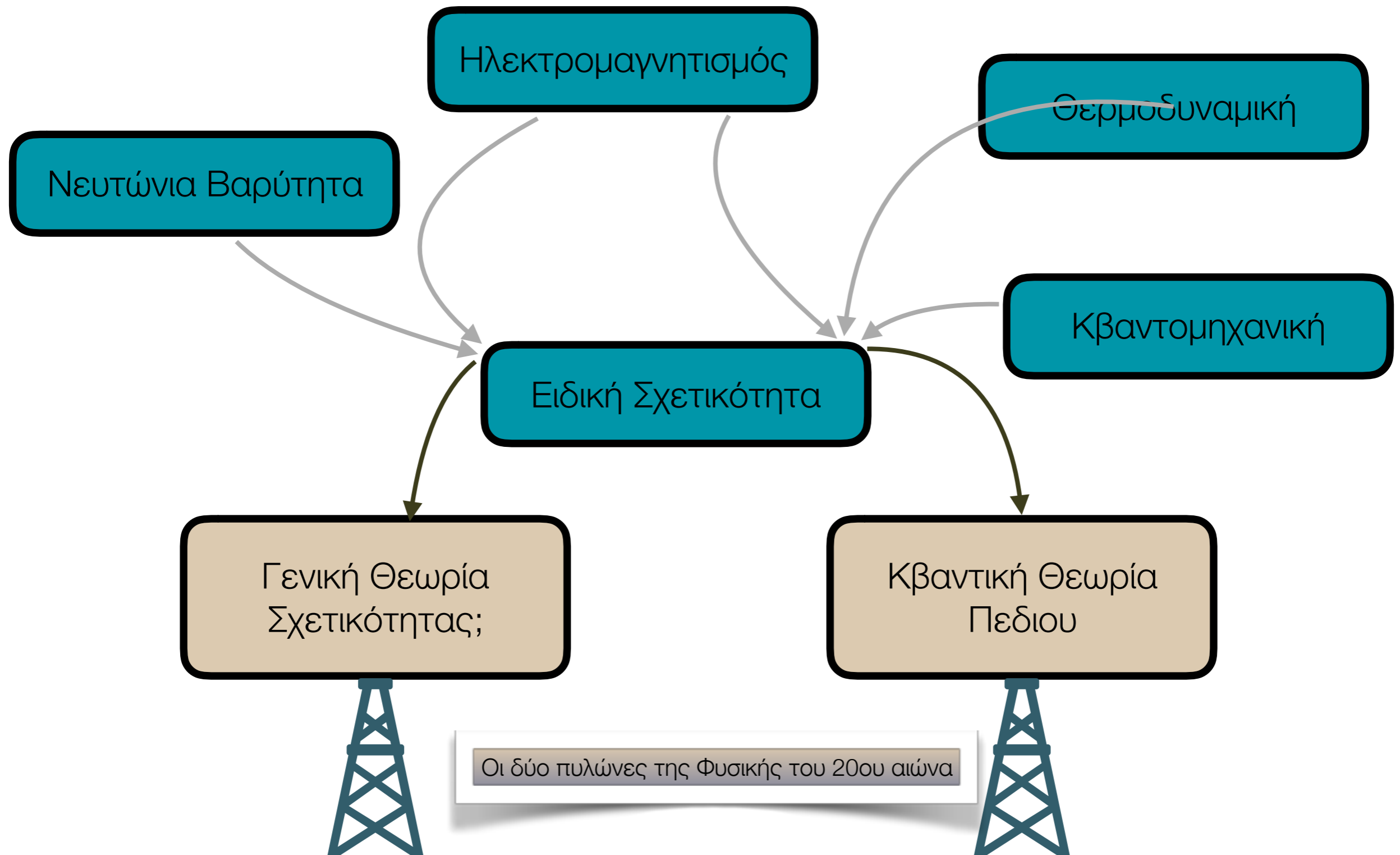


Είναι η Θεωρία Χορδών η Θεωρία των Πάντων;

Τάσος Πέτκου

Καθηγητής Θεωρητικής Φυσικής ΑΠΘ

Η Φυσική του 20ου αιώνα



Κλασική Φυσική - μέχρι το τέλος του 19ου αιώνα

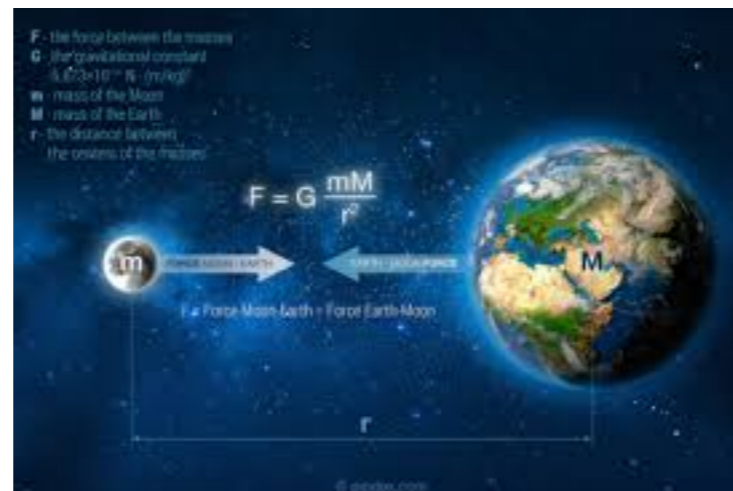
Ηλεκτρομαγνητισμός



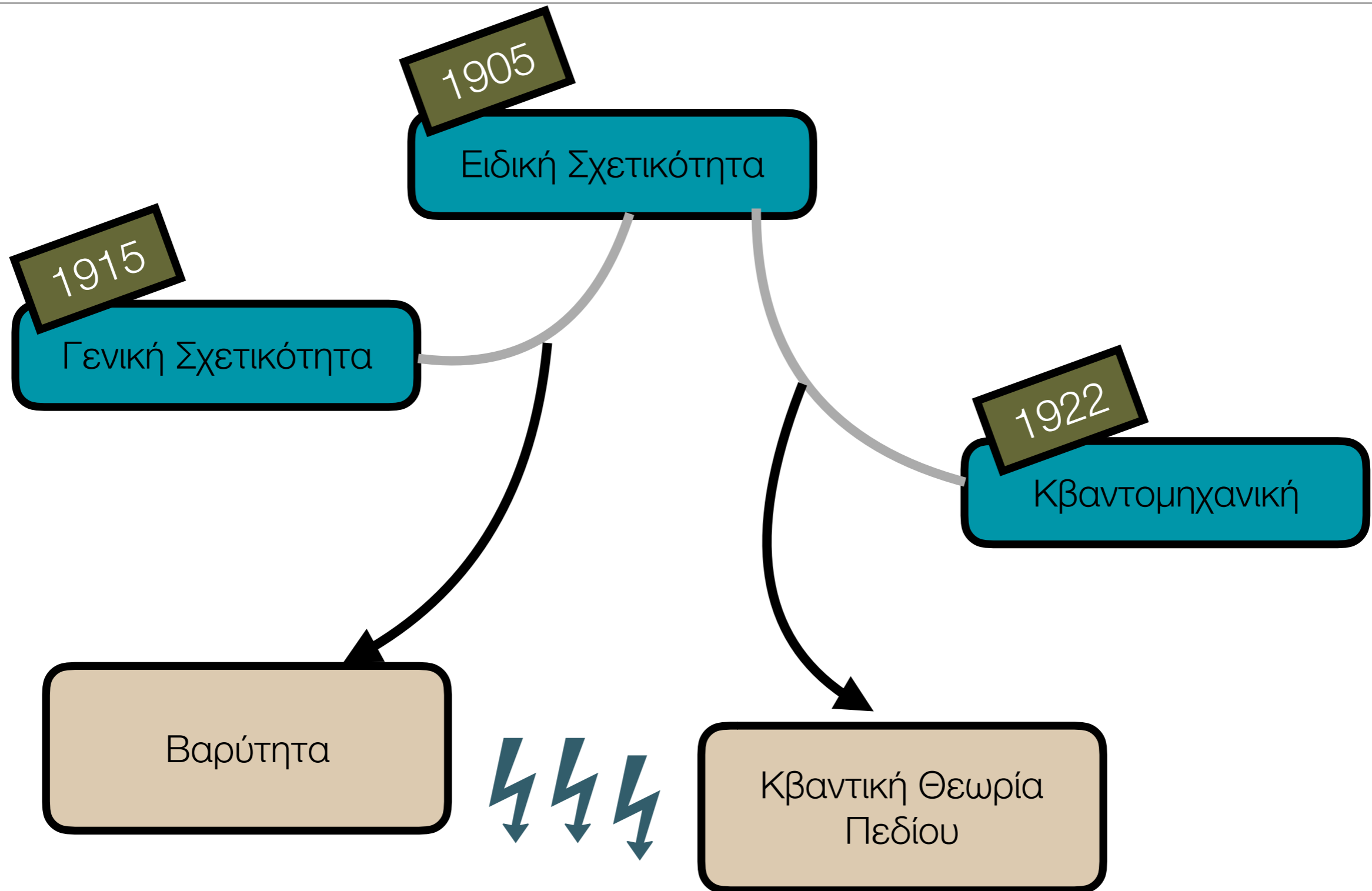
Θερμοδυναμική



Νευτώνια Βαρύτητα

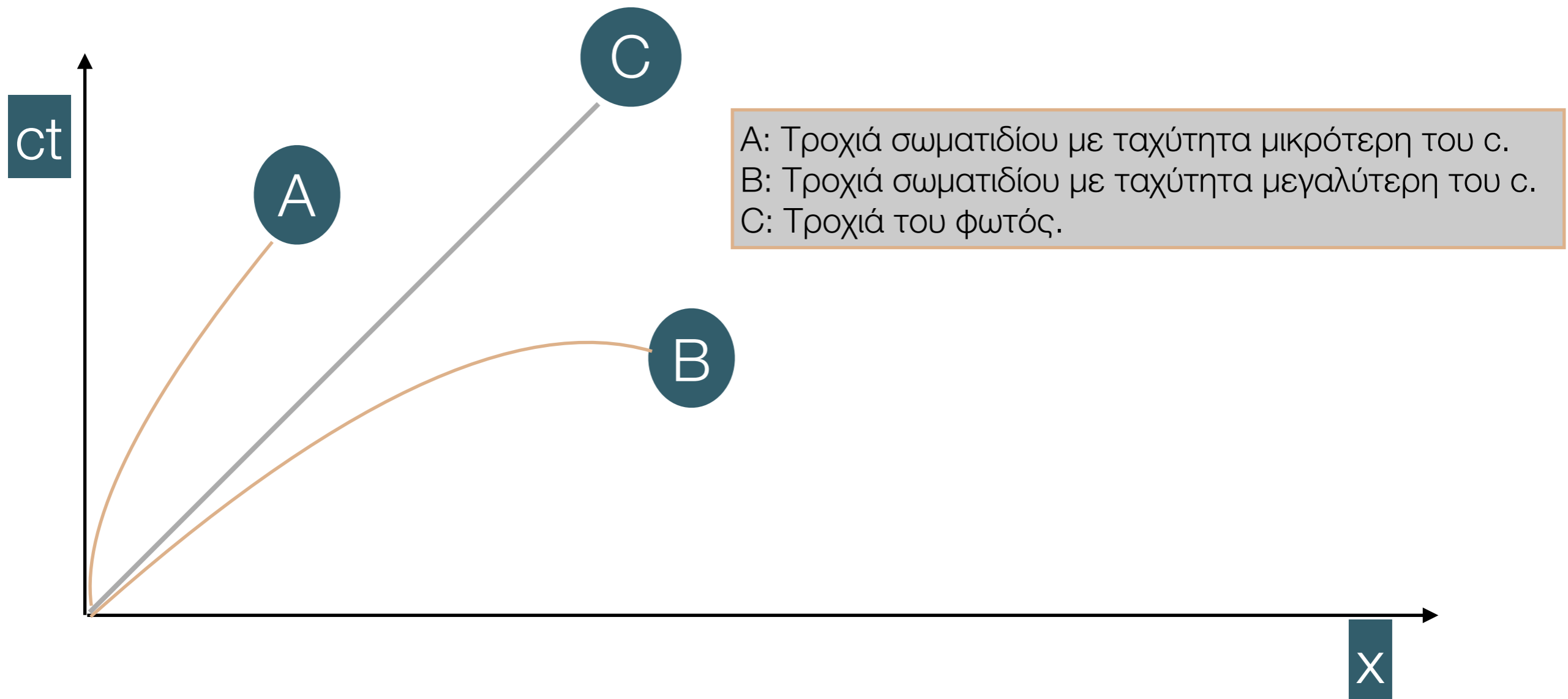


Οι δύο επαναστάσεις της Φυσικής του 20ου αιώνα



Ειδική Σχετικότητα

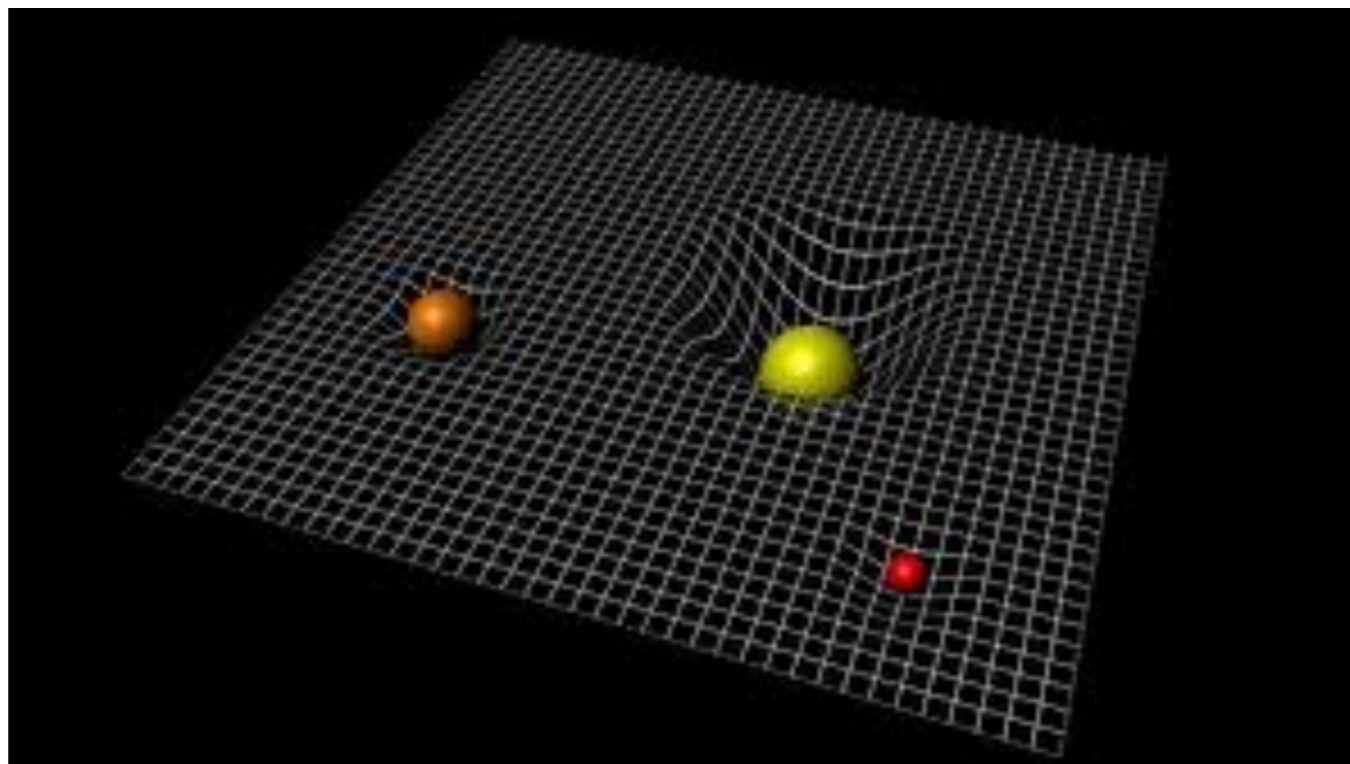
Ο χώρος και ο χρόνος συνδέονται και συνθέτουν το χωροχρονικό συνεχές (**4-διάστατος χωρόχρονος**).



Γενική Σχετικότητα - Βαρύτητα

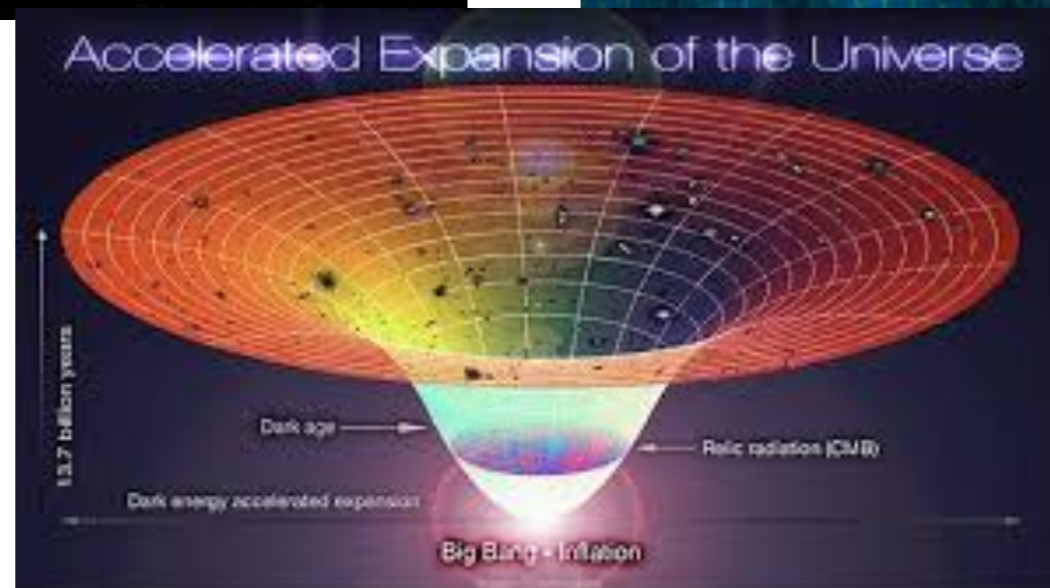
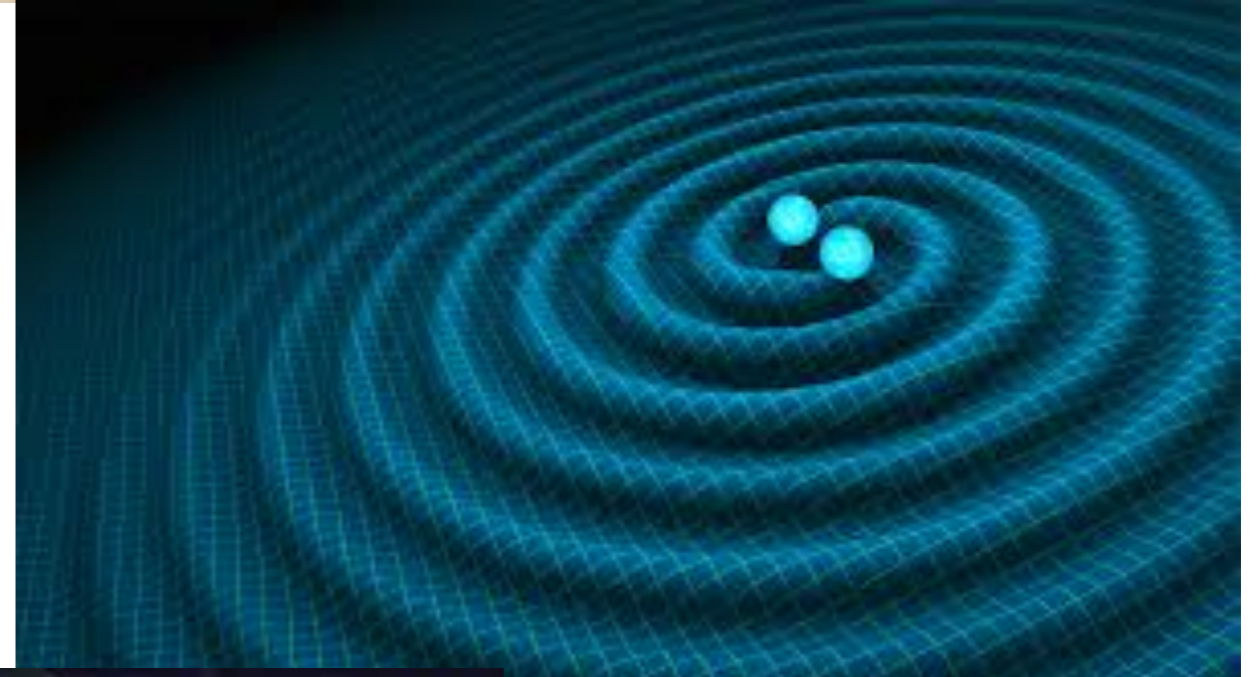
Η **βαρύτητα** ισοδυναμεί με την ύπαρξη **καμπυλότητας** στον χωρόχρονο.

Τα ελεύθερα σωματίδια κινούνται πάνω στις συντομότερες τροχιές, τις **γεωδαισιακές**. Είναι ευθείες όταν ο χώρος είναι επίπεδος, και καμπύλες όταν υπάρχει καμπυλότητα = βαρύτητα.



Γενική Σχετικότητα - Βαρύτητα

Η γεωμετρία του χωρόχρονου αντιστοιχεί σε βαρυτικά φαινόμενα: **μελανές οπές, βαρυτικά κύματα, κοσμολογική διαστολή....**



Κβαντομηχανική

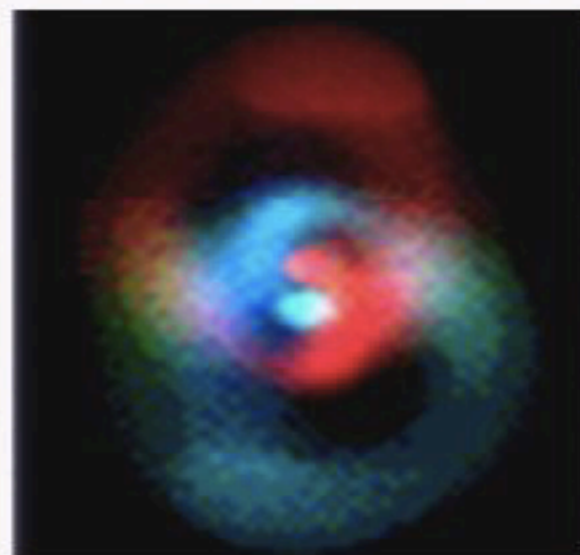
Σε πολύ μικρές κλίμακες, τα σωμάτια έχουν κυματικές ιδιότητες

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p}$$

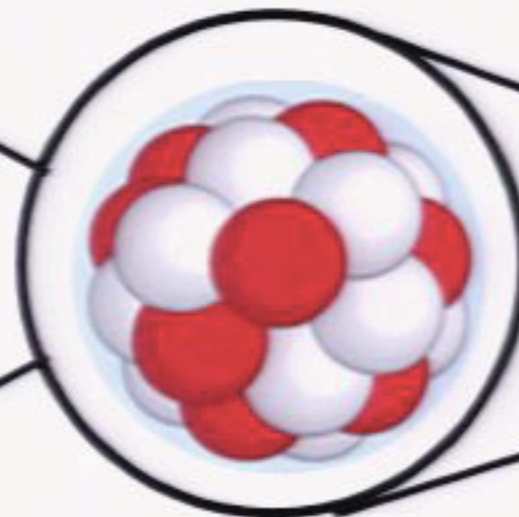
$$\lambda = \begin{cases} 4 \times 10^{-30} \text{ m} \\ 3 \times 10^{-10} \text{ m} \sim 3\text{\AA} \end{cases}$$

Κόκκος άμμου

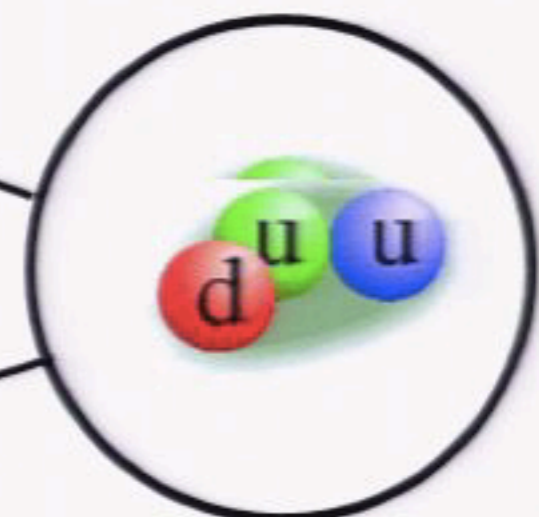
Ηλεκτρόνιο



10^{-10} m



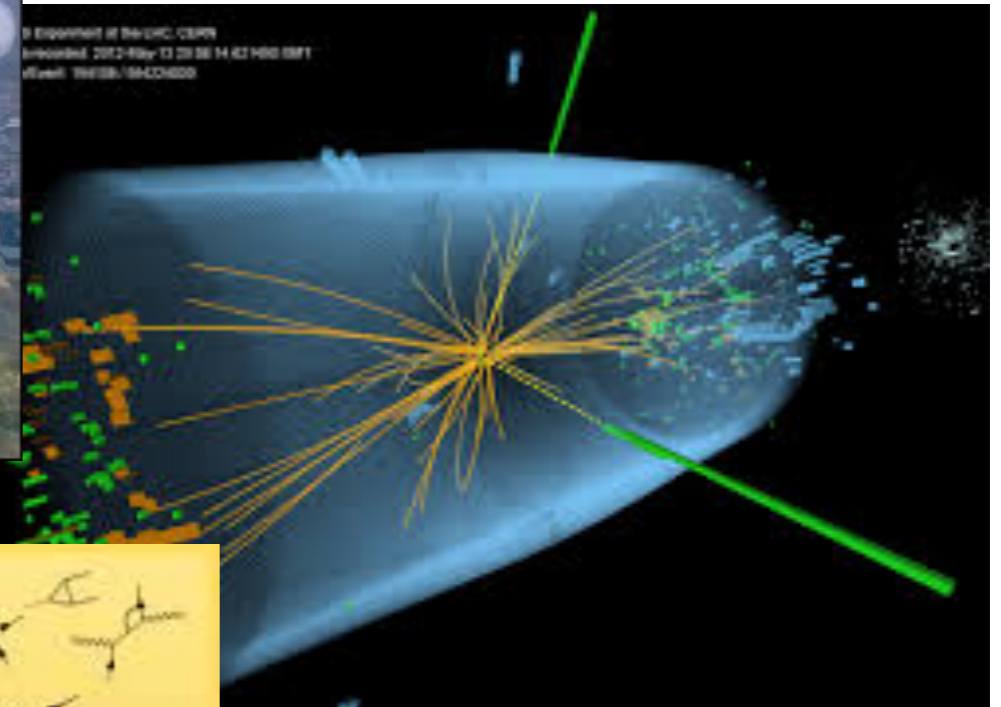
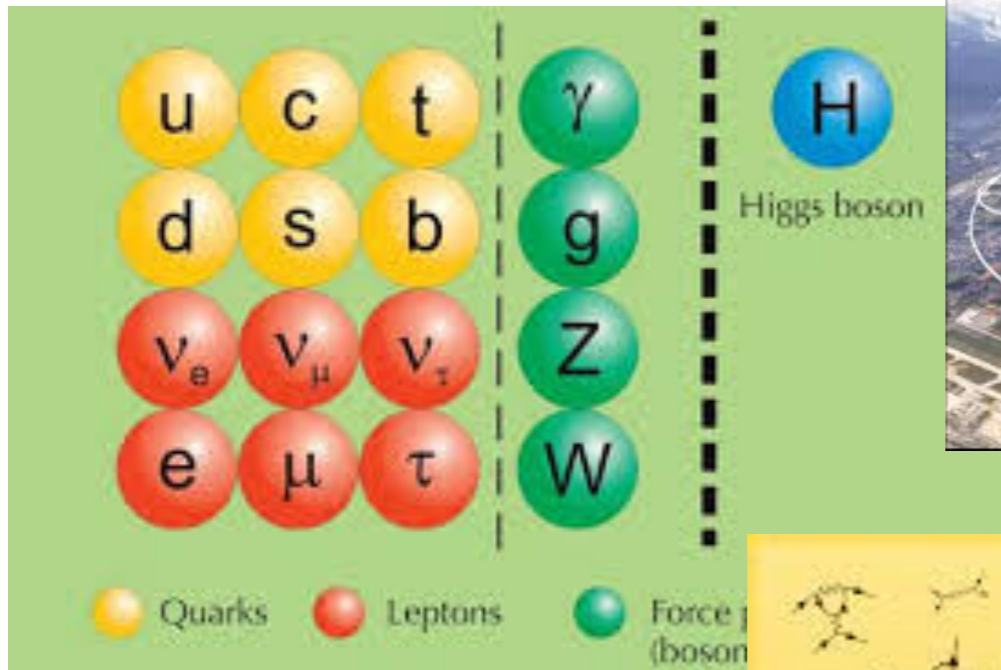
10^{-14} m



10^{-15} m

Κβαντική Θεωρία Πεδίου

Ο συνδυασμός Κβαντομηχανικής και Ειδικής Σχετικότητας δίνει την Κβαντική Θεωρία Πεδίου η οποία περιγράφει την φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων



Θεωρία Χορδών - Η Βασική Ιδέα

Σε πολύ μικρότερες αποστάσεις, όλα τα στοιχειώδη σωματίδια είναι οι κβαντικές ταλαντώσεις μιας χορδής.



$$\ell_s \sim 10^{-35} m$$

Θεωρία Χορδών - Η Βασική Ιδέα

Οι αλληλεπιδράσεις των στοιχειωδών σωματιδίων αντιστοιχούν σε ενώσεις και σπασίματα της χωροχρονικής επιφάνειας της χορδής.

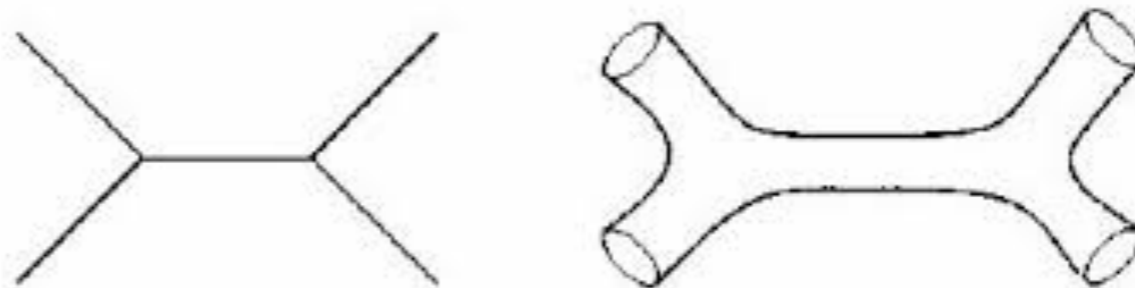
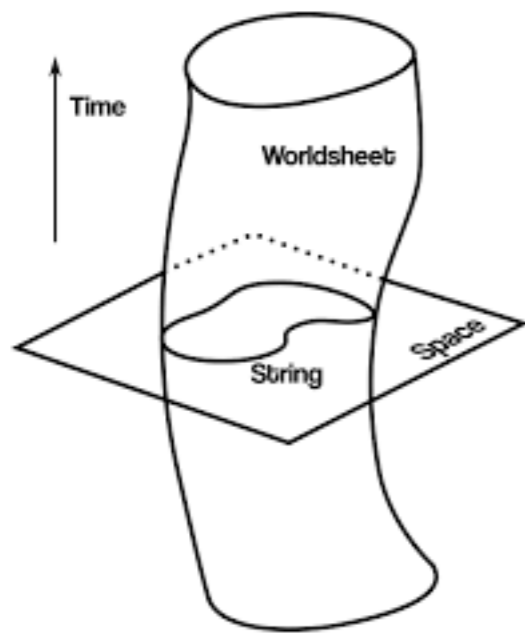
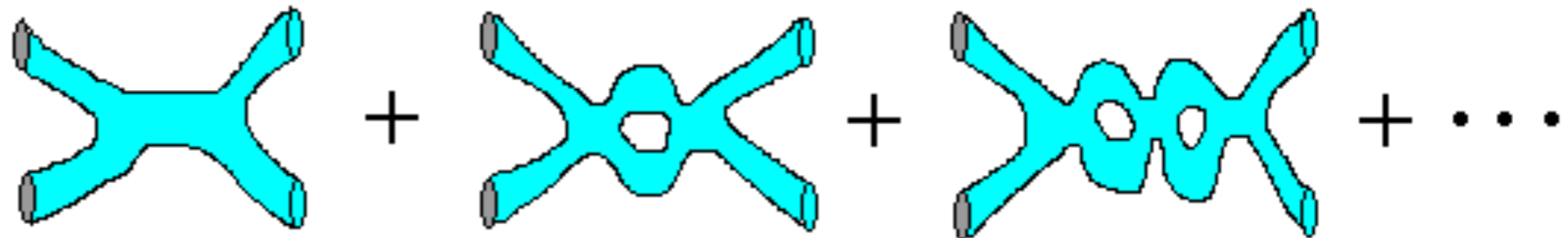
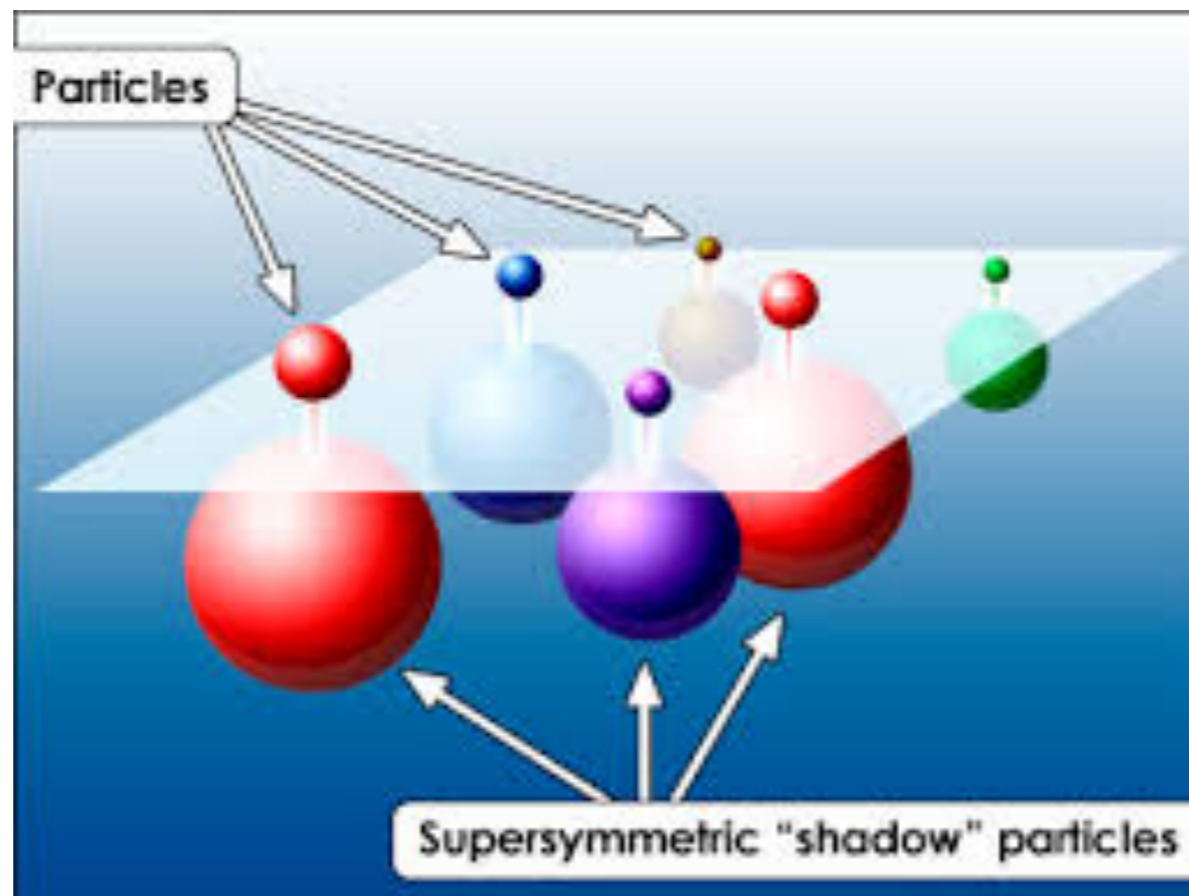


Fig.3: Particle scattering processes (left), string scattering processes (right).



Θεωρία Χορδών - Βασικές συνέπειες

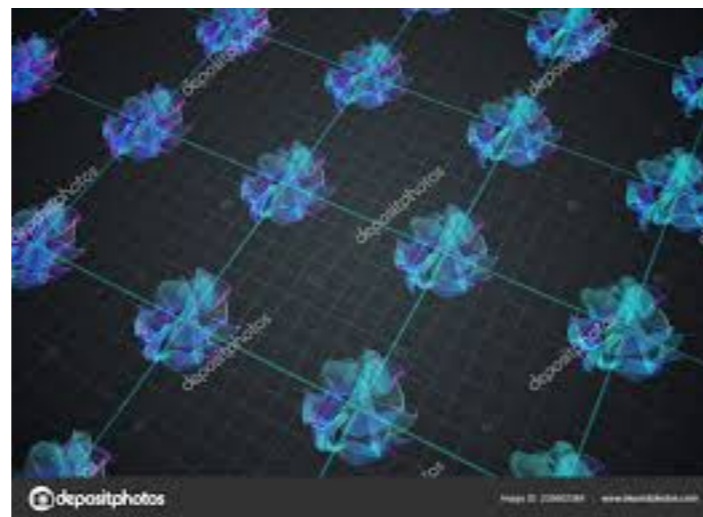
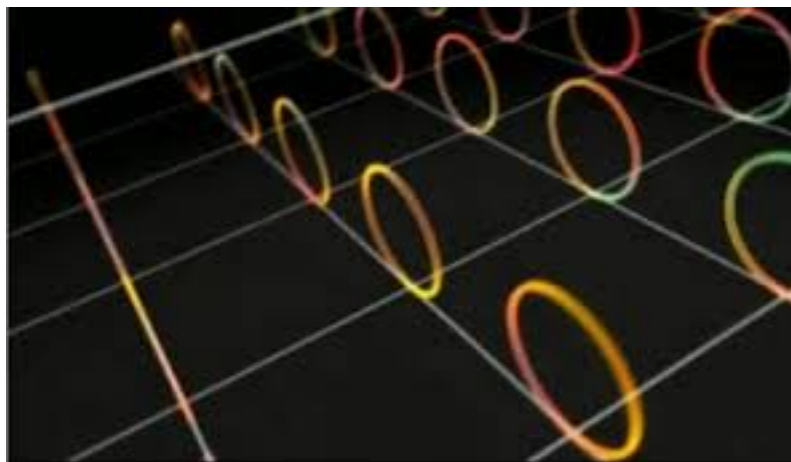
1) **Υπερσυμμετρία:** Είναι η συμμετρία των κβαντικών καταστάσεων με ίδιο αριθμό φερμιονίων και μποζονίων. Έχει σαν συνέπεια την **πρόβλεψη** υπερσυμμετρικών συντρόφων, με πολύ μεγαλύτερη μάζα, για κάθε γνωστό στοιχειώδες σωματίο. **Η Θεωρία Χορδών είναι συνεπής μόνο ότι υπάρχει Υπερσυμμετρία.**



Θεωρία Χορδών - Βασικές συνέπειες

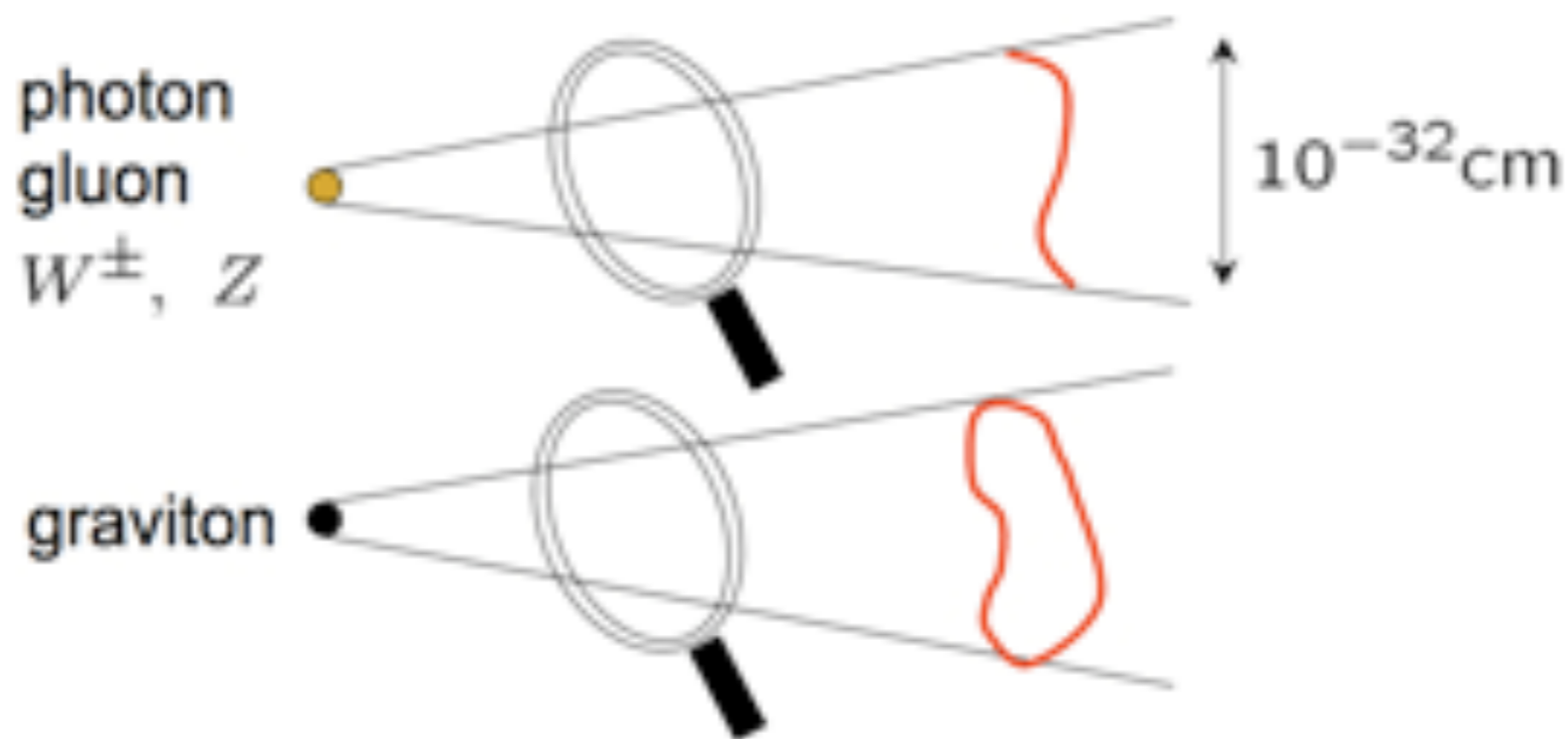
2) **Επιπλέον χωροχρονικές διαστάσεις:** Η Θεωρία Χορδών μπορεί να υπάρξει σαν συνεπής κβαντική θεωρία σε **10 χωροχρονικές διαστάσεις**.

Οι επιπλέον 6 διαστάσεις είναι **συμπαγοποιημένες** και είναι **μικρότερες από το μήκος της στοιχειώδους χορδής** ώστε να μην έχουν παρατηρηθεί ως τώρα.



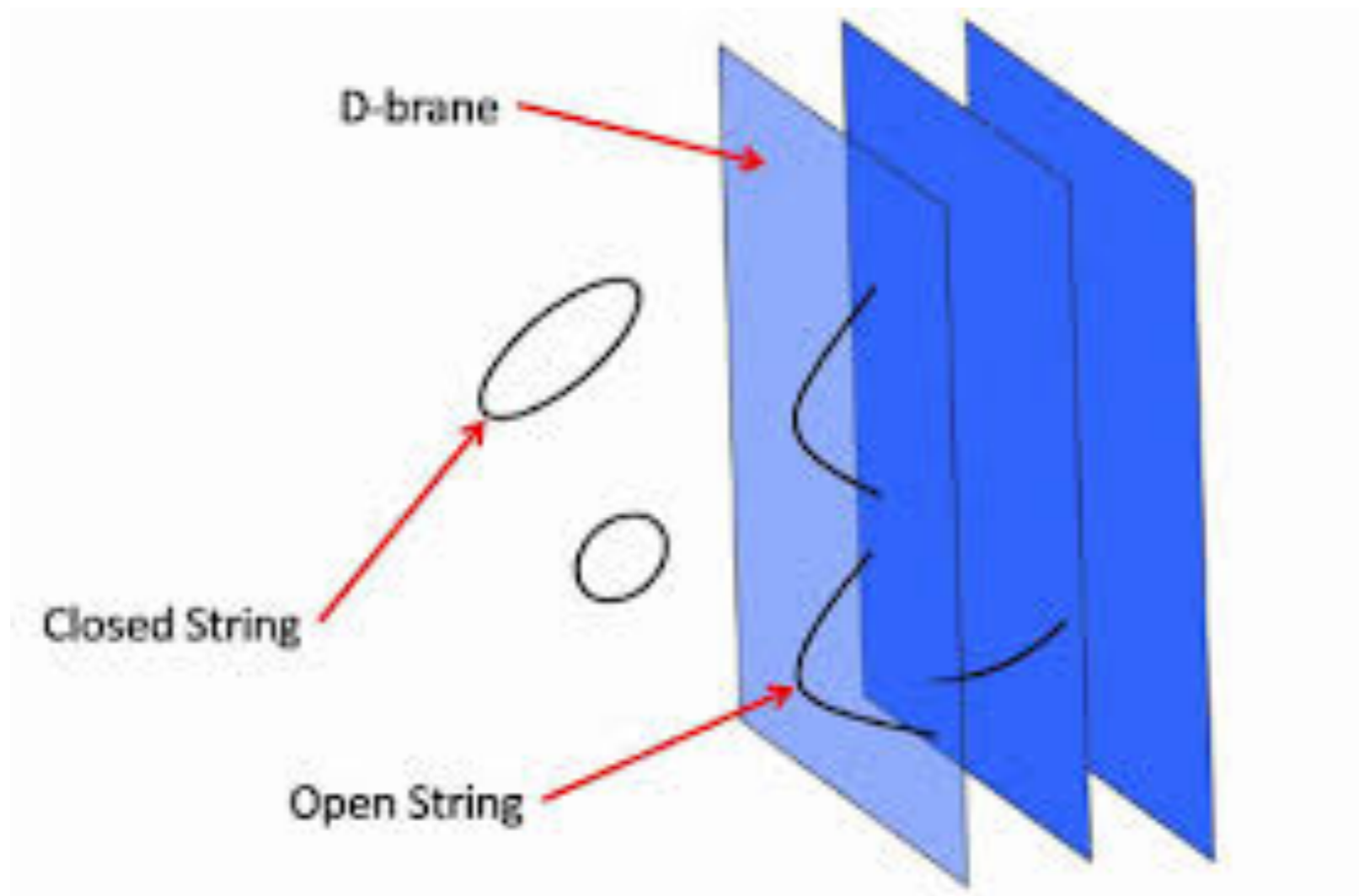
Θεωρία Χορδών - Βασικές συνέπειες

3) **Κβαντική Βαρύτητα**: Ένα από τα κβαντικά σωματίδια που γεννά η θεωρία χορδών έχει σπιν=2 και μπορεί να ταυτοποιηθεί με το **βαρυτόνιο**. Η θεωρία χορδών δίνει την μόνη γνωστή κβαντική θεωρία βαρύτητας.



Θεωρία Χορδών - Βασικές συνέπειες

4) **Βράνες**: η θεωρία χορδών περιέχει αντικείμενα που είναι **υπερεπιφάνειες p διαστάσεων**, τις **D p -branes**.



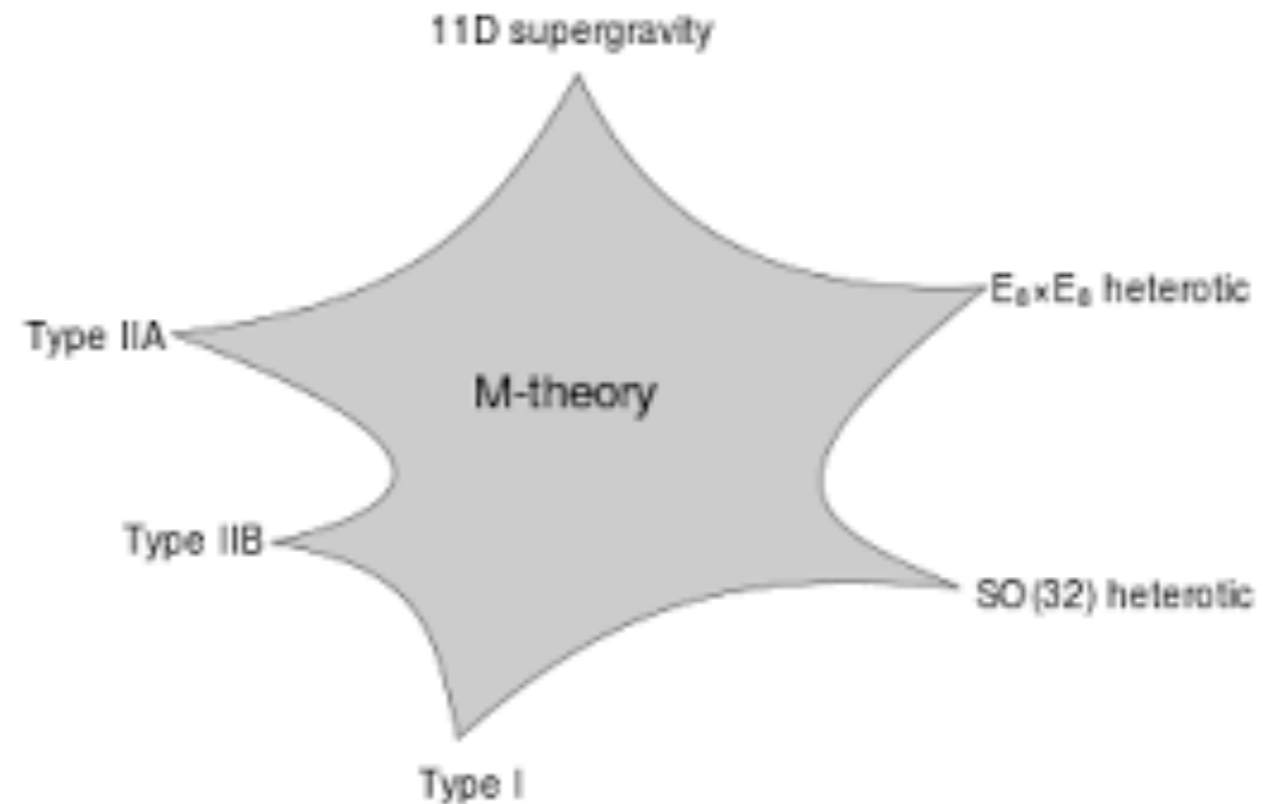
Θεωρία Χορδών - Βασικές συνέπειες

5) **M-theory**: Οι 5 βασικές θεωρίες χορδών έχουν κοινή **μητέρα θεωρία** που ζεί σε **11 διαστάσεις**.

The Five Main String Theories

- **Type I**: Supersymmetry between forces and matter, open and closed strings; group symmetry is $SO(32)$
- **Type IIA**: Supersymmetry between forces and matter, closed strings, open strings bound to D-branes, massless fermions spin both ways (achiral).
- **Type IIB**: Supersymmetry between forces and matter, closed strings, open strings bound to D-branes; massless fermions only spin one way (chiral).
- **Type HO**: Supersymmetry between forces and matter, closed strings, heterotic (right moving and left moving strings differ), group symmetry is $SO(32)$.
- **Type HE**: Supersymmetry between forces and matter, closed strings, heterotic (right moving and left moving strings differ), group symmetry is $E_8 \times E_8$.

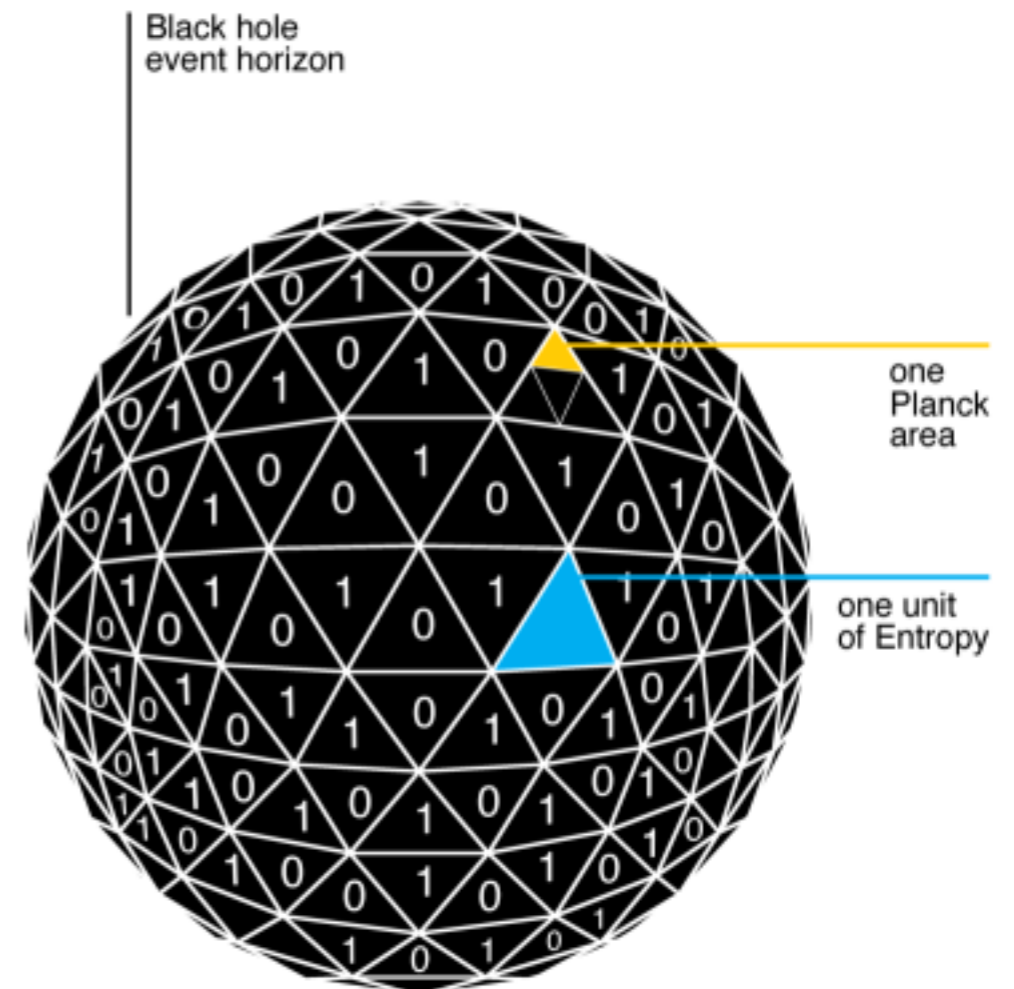
<http://superstringtheory.com/basics/basic5.html>



Θεωρία Χορδών - Ολογραφία

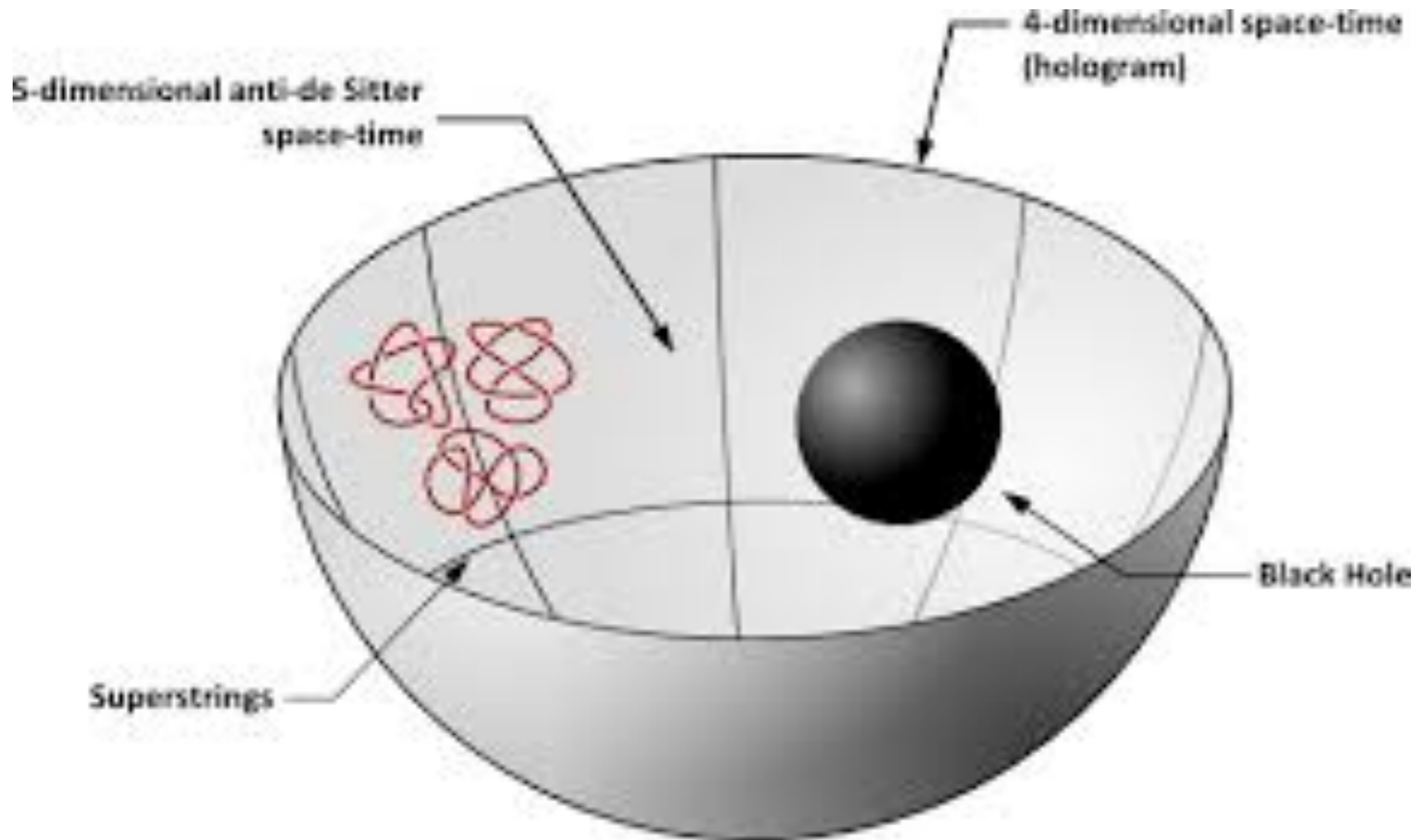
Η θεωρία χορδών δίνει μια αναπάντεχη λύση στο πρόβλημα των κβαντικών βαθμών ελευθερίας των μελανών οπών: οι βαθμοί ελευθερίας βρίσκονται πάνω στον ορίζοντα των γεγονότων

$$S = \frac{k_B c^3}{4 \hbar G_N} (Area)$$



Θεωρία Χορδών - Ολογραφία

Αυτή η ιδέα οδήγησε τον Maldacena (1997) να διατυπώσει την περίφημη **Anti-de Sitter/CFT Correspondence**



Θεωρία Χορδών - Ολογραφία - Ανάδυση

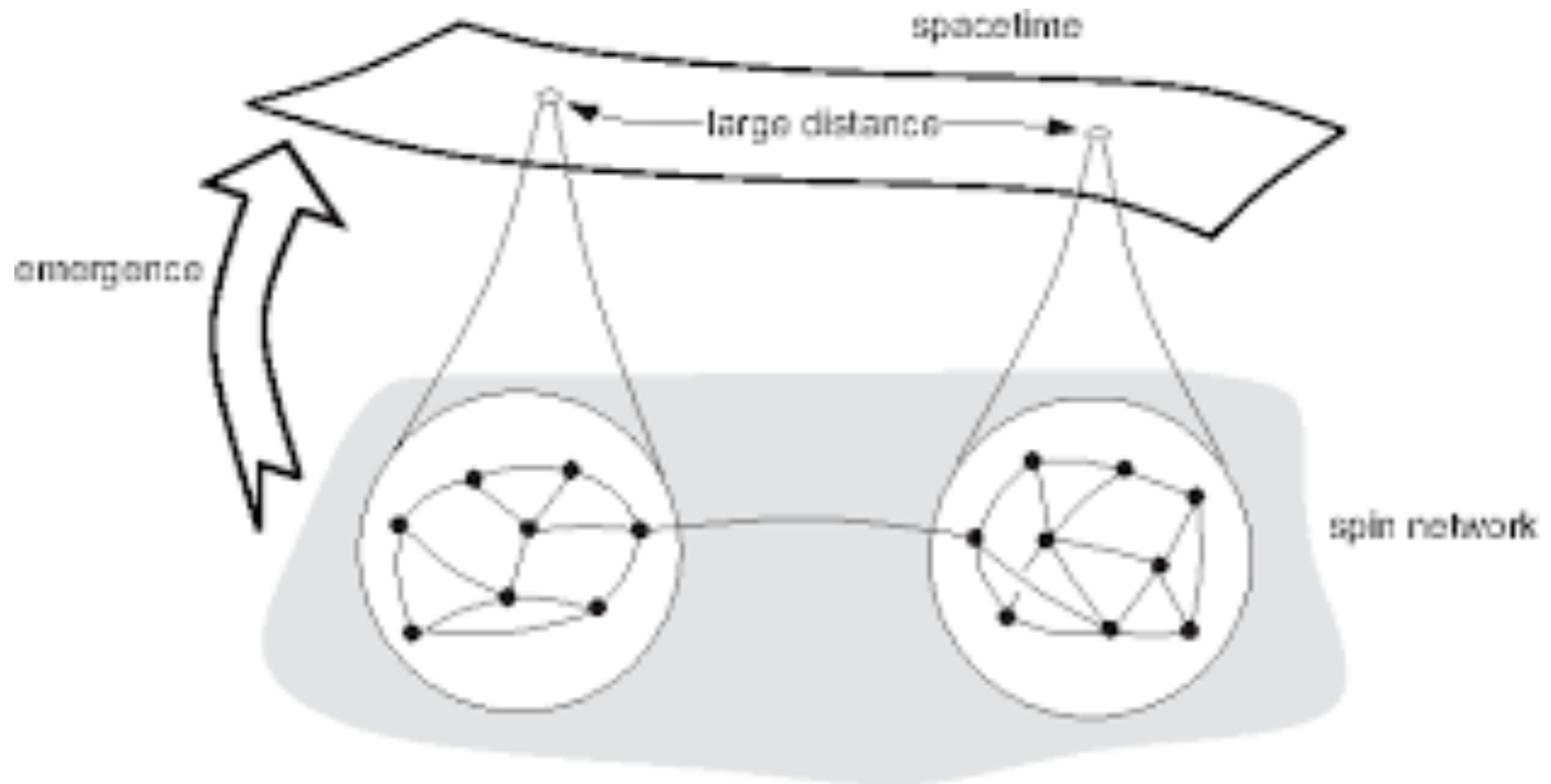
Το σημαντικότερο μάθημα της Ολογραφίας είναι η **Ανάδυση: ο χωρόχρονος “αναδύεται” από την κβαντική διεμπλοκή** των στοιχειωδών βαθμών ελευθερίας (π.χ. σωμάτια, χορδές κτλ.)

Η **κβαντική διεμπλοκή** είναι η ιδιότητα ενός κβαντικού συστήματος να “προσδιορίζει” ακριβώς την κατάσταση των μερών του, ακόμη και αν αυτά βρίσκονται πολύ μακριά μεταξύ τους.



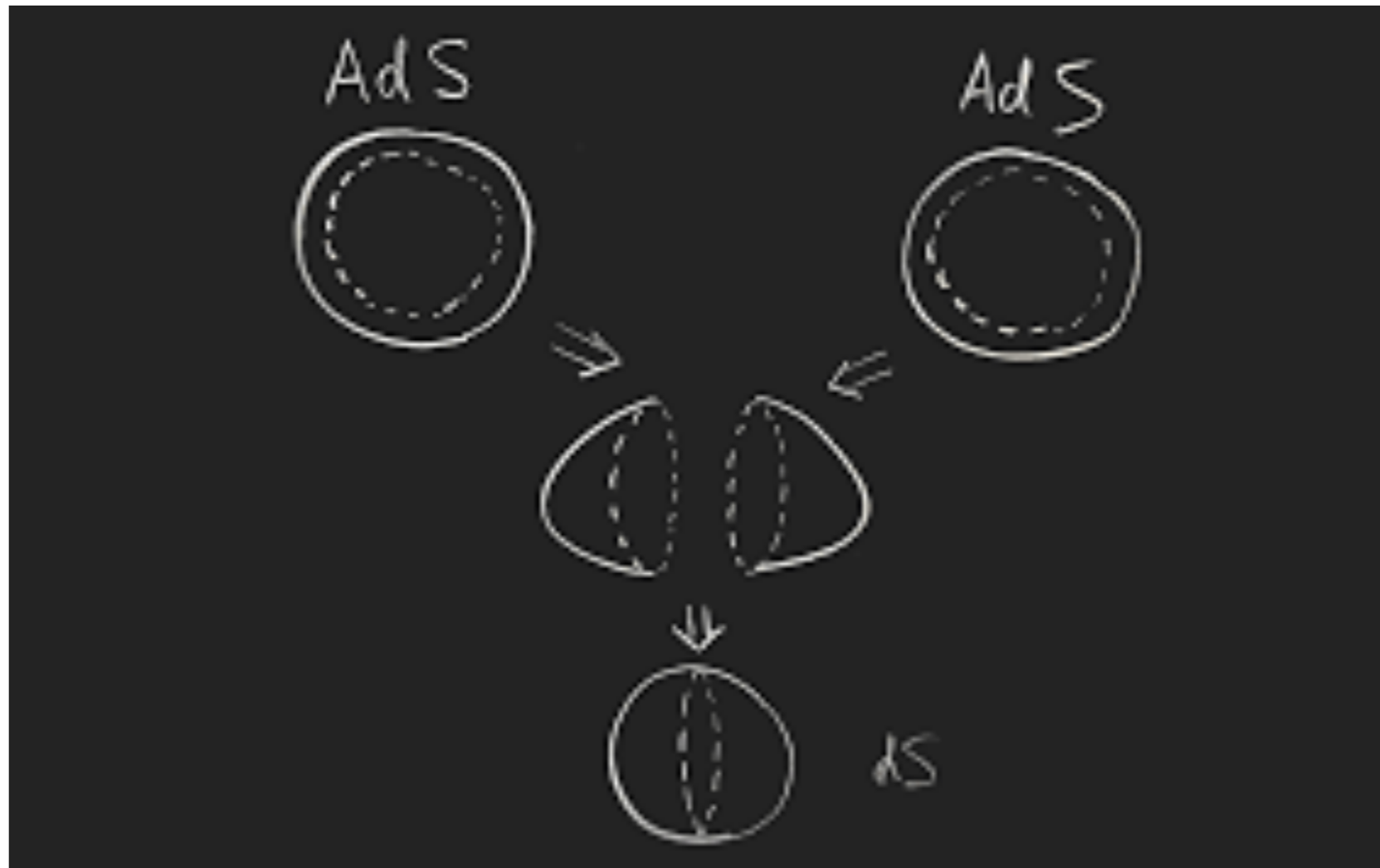
Θεωρία Χορδών - Ολογραφία - Ανάδυση

Αναδυόμενος χωρόχρονος μέσω κβαντικής διεμπλοκής



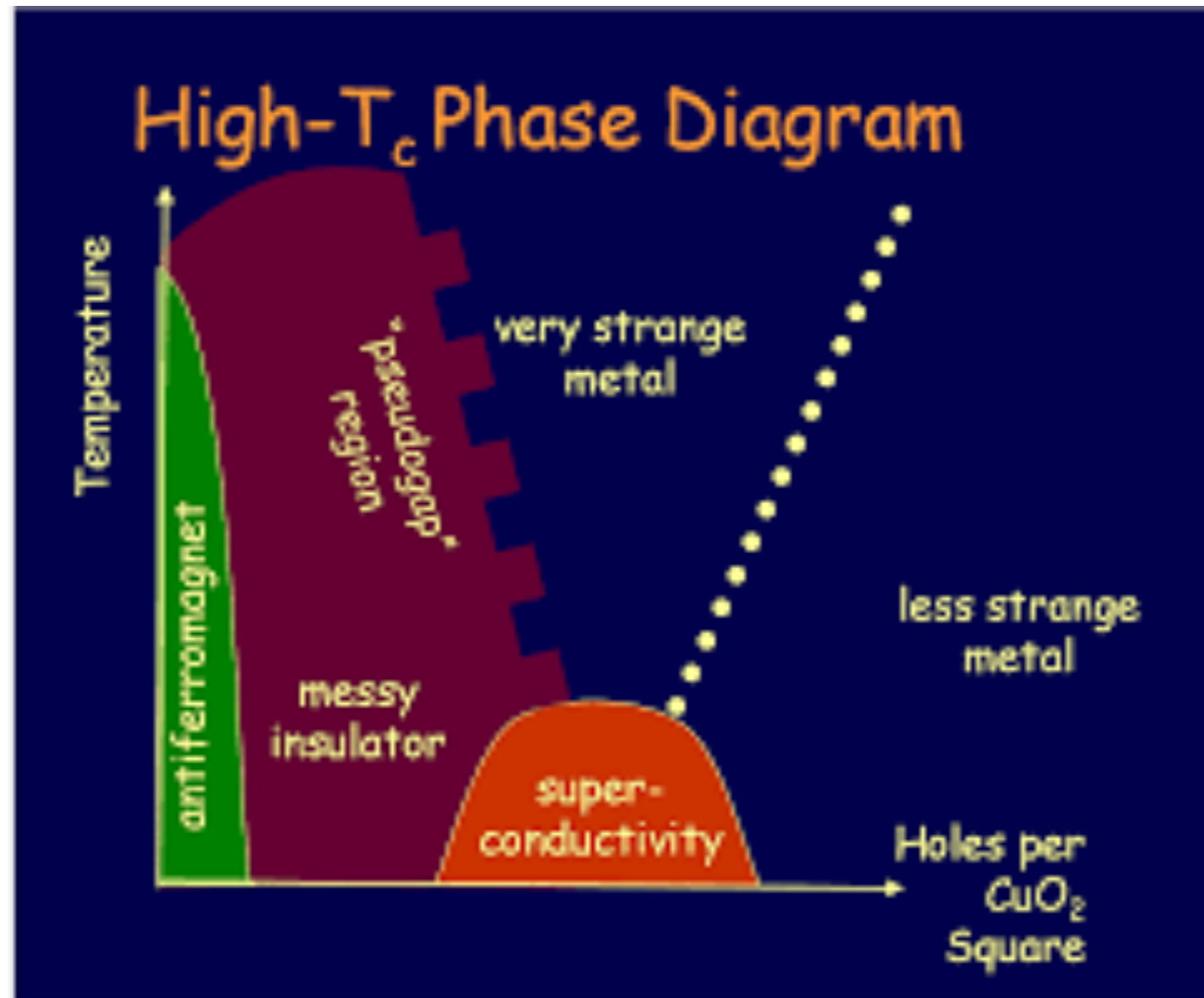
Θεωρία Χορδών - Ολογραφία - Κοσμολογία

Ολογραφική περιγραφή του χώρου de-Sitter που περιγράφει την επιταχυνόμενη διαστολή του σύμπαντος.



Θεωρία Χορδών - Ολογραφία - Εφαρμογές

Ολογραφική περιγραφή συστημάτων Στερεάς Κατάστασης π.χ **Υπεραγωγιμότητα**, που ήταν αδύνατο να γίνει με άλλες μαθηματικές μεθόδους.



Θεωρία Χορδών - η Θεωρία των Πάντων;;;

Η Θεωρία Χορδών **προβλέφθηκε (Hawking 1988)** ότι θα αποεικνύονταν η Θεωρία των Πάντων το 2000:

Η Θεωρία Χορδών σαν “τοπίο” (landscape):
υπάρχουν 10^{500} σύμπαντα σαν το δικό μας...

Ποιό να διαλέξουμε; **Ανθρωπική Αρχή;;**

Μήπως να γινόμασταν λίγο πιο ταπεινοί και ρεαλιστές;

Ευχαριστώ

Γνώσασθαι την αλήθεια και η αλήθεια ελευθερώσει ημάς...