

## ΠΙΟ ΓΡΗΓΟΡΑ ΑΠΟ ΤΟ ΦΩΣ?

Το πείραμα OPERA, πριν μερικές μέρες έκανε μια ανακοίνωση πού τάραξε τα νερά της φυσικής<sup>1</sup>: τα νετρίνα, σωματίδια με μάζα τόσο μικρή, ώστε μέχρι πρόσφατα να νομίζουμε ότι είναι μηδέν, μετρήθηκαν να κινούνται μεταξύ των εργαστηρίων του CERN και του Grand Sasso με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός στο κενό. Η σχετική διαφορά είναι μικρή, περίπου στο πέμπτο δεκαδικό ψηφίο, αλλά το σφάλμα της μέτρησης είναι έξι φορές μικρότερο ισχυρίζονται οι φυσικοί του OPERA.

Αν αυτή η μέτρηση είναι σωστή, η διαφορά, έστω και ελάχιστη, φέρνει τα πάνω κάτω στην μοντέρνα φυσική. Το 1905 ο Α. Einstein εισήγαγε την ειδική θεωρία της σχετικότητας (για να εξηγήσει τα πειράματα του Michelson και Morley), και μια από τις βασικές αρχές της θεωρίας ήταν ότι η μεγαλύτερη ταχύτητα στο σύμπαν είναι η ταχύτητα του φωτός. Για πάνω από 100 χρόνια η θεωρία της σχετικότητας και οι διάφορες προεκτάσεις της, όπως η κβαντική θεωρία πεδίων (που βρίσκεται στην καρδιά της σύγχρονης φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων) επιβεβαιωνόταν σε χιλιάδες πειράματα μικρά ή μεγάλα.

Αυτός είναι και ο λόγος που οι περισσότεροι φυσικοί, δεν έχουν πειστεί με το αποτέλεσμα του OPERA. Αναρωτιούνται τι μπορεί να ξέφυγε από την προσοχή των πειραματικών? Ο έλεγχος της παραγωγής των νετρίνων στο CERN, η μέτρησή τους στο Grand Sasso, ο συγχρονισμός των ρολογιών, ή οι διορθώσεις της γενικής σχετικότητας, που ίσως αγνοήθηκαν σαν αμελητέες? Σε πρώτη προσέγγιση μέχρι τώρα, οι πειραματικοί φαίνεται να έχουν κάνει σωστά τη δουλειά τους, βάζοντας στην πράξη μια ιδιαίτερα έξυπνη τεχνική μέτρησης πού είχε προτείνει το 2008 ο J. Ellis και οι συνεργάτες του<sup>2</sup>.

Σίγουρα, νέοι έλεγχοι, και καινούργια πειράματα θα ελέγξουν τον ισχυρισμό του OPERA. Το πείραμα MINOS για παράδειγμα στις Ηνωμένες Πολιτείες σκοπεύει να κάνει αντίστοιχες μετρήσεις ώστε να επιβεβαιώσει, ή να διαψεύσει το αποτέλεσμα.

Πόσο εύκολο είναι όμως για τους θεωρητικούς να φτιάξουν θεωρίες στις οποίες η βασική αρχή της σχετικότητας, η συμμετρία του Lorentz, να παραβιάζεται σε υψηλές ενέργειες,

(ή σε κάποιο υπόχωρο της θεωρίας)? Η πρώτη προσπάθεια σε αυτήν την κατεύθυνση έγινε την δεκαετία του '80, από τους S. Chadha και H. Nielsen<sup>3</sup> που πειραματίστηκαν με την ριζοσπαστική ιδέα ότι η θεωρία του σύμπαντος δεν έχει καθόλου την συμμετρία Lorentz σε υψηλές ενέργειες, αλλά αυτή εμφανίζεται μόνο σε χαμηλότερες ενέργειες, με μια μορφή αναγκαιότητας.

Αυτή η προσπάθεια έμεινε μετέωρη μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '90, όταν οι διάσημοι φυσικοί S. Coleman και S. Glashow<sup>4</sup> το 1997 ανακίνησαν την ιδέα κάτω από ένα καινούργιο πρίσμα: με την υπόθεση ότι η συμμετρία Lorentz παραβιάζεται στην φύση, έγραψαν μια ενεργή θεωρία σε χαμηλές ενέργειες που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν το εργαλείο για τον έλεγχο της υπόθεσης. Έτσι, το 1997 ξεκίνησε μια σειρά προσπαθειών που κατέληξαν να δώσουν σημαντικούς περιορισμούς στο μέγεθος της παραβίασης της συμμετρίας του Lorentz, χρησιμοποιώντας πειραματικά δεδομένα από επιταχυντές και αστρονομικές/κοσμολογικές παρατηρήσεις. Παράλληλα, άρχισε μια προσπάθεια, από τους Moffat και Magueijo για την κατασκευή βαρυτικών μοντέλων με μεταβλητή ταχύτητα του φωτός, έχοντας σαν στόχο μια διαφορετική λύση των γνωστών κοσμολογικών προβλημάτων από αυτήν του κοσμολογικού πληθωρισμού.

Το 1999, ο Η. Κυρίτσης<sup>5</sup> από το πανεπιστήμιο της Κρήτης, ενώ μελετούσε ένα καινούργιο αντικείμενο στην θεωρία των χορδών, τις D-βράνες, (κάτι σαν μεμβράνες εμβαπτισμένες στον δεκαδιάστατο χώρο της θεωρίας των υπερχορδών, με διάφορες διαστάσεις) έκανε την αναπάντεχη παρατήρηση ότι όταν ο δεκαδιάστατος χώρος ήταν κατάλληλα καμπυλωμένος, η ταχύτητα του φωτός πάνω στις D-βράνες, ήταν μεταβλητή, μικρότερη από τον περιβάλλοντα δεκαδιάστατο χώρο, και άλλαζε ανάλογα με την θέση της D-βράνης. Αργότερα οι Gibbons και Herdeiro<sup>6</sup> στο Cambridge έδειξαν γενικά ότι η ταχύτητα του φωτός πάνω σε D-βράνες είναι ίση ή μικρότερη από αυτή στον περιβάλλοντα χώρο.

Αυτή η παρατήρηση είχε ενδιαφέρουσες προεκτάσεις: οι D-βράνες της θεωρίας των χορδών έχουν μια συγκεκριμένη ύλη, που θα την ονομάσουμε εδώ D-ύλη, που ζει μόνο πάνω σε αυτές, αντίθετα από τις κλειστές χορδές (που περιέχουν μεταξύ των άλλων και την βαρύτητα) που μπορούν να κινηθούν παντού στον δεκαδιάστατο χώρο. Η προηγούμενη παρατήρηση μεταφράζεται στο γεγονός ότι για κάποιον που ζει πάνω στις

D-βράνες (και άρα αποτελείται από D-ύλη) μπορεί να ταξιδέψει με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός στην D-βράνη, αν κάνει μια «εκδρομή» στον περιβάλλοντα δεκαδιάστατο χώρο.

Η ιδιότητα αυτή των D-βρανών, οδήγησε τους Η. Κυρίτση (Πανεπιστήμιο Κρήτης) και Α. Κεχαγιά<sup>8</sup> (Πολυτεχνείο Αθήνας) και ανεξάρτητα τον Ρ. Kraus<sup>7</sup> (Chicago) το 1999, σε μια καινούργια μορφή κοσμολογικής εξέλιξης, (κοσμολογία mirage) όπου την κίνηση της D-βράνης στον περιβάλλοντα χώρο την αντιλαμβάνονται οι «ένοικοί της» σαν κοσμολογική εξέλιξη. Παράλληλα και ανεξάρτητα οι Chung και Freese<sup>9</sup> (Chicago) το 1999 πρότειναν ότι κίνηση στο δεκαδιάστατο χρόνο με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός θα μπορούσε να λύσει τα κοσμολογικά προβλήματα χωρίς την συνέργεια του κοσμολογικού πληθωρισμού.

Το γεγονός ότι οι υπερχορδές και τα σύμπαντα πάνω σε D-βράνες, επιτρέπουν την μετακίνηση με ταχύτητες μεγαλύτερες από την ταχύτητα του φωτός, θέτουν το ερώτημα κατά πόσον, ένα αποτέλεσμα σαν αυτό του πειράματος OPERA, αν είναι σωστό, θα μπορούσε να εξηγηθεί με τις παραπάνω ιδιότητες των D-βρανών.

Για να είναι αυτό δυνατό θα έπρεπε όλα τα σωματίδια του καθιερωμένου προτύπου των θεμελιωδών αλληλεπιδράσεων να κινούνται επάνω σε μια D-βράνη, εκτός από τα νετρίνα που θα μπορούν να κινηθούν σε όλον τον περιβάλλοντα δεκαδιάστατο χώρο.

Βασικές ιδιότητες της θεωρίας των υπερχορδών, μας υποχρεώνουν να βάλουμε το αριστερό μισό του νετρίνο πάνω στην D-βράνη. Όπως παρατήρησαν όμως το 2002 οι Ι. Αντωνιάδης (CERN), Η. Κυρίτσης, Θ. Τομαράς (Π. Κρήτης) και Ι. Ρίζος<sup>10</sup> (Π. Ιωαννίνων), το δεξί μισό του νετρίνο, μπορεί να κινείται στον δεκαδιάστατο χώρο, και άρα να έχει διαφορετικές κινητικές ιδιότητες από το έτερον ήμισυ. Θα μπορούσε μια τέτοια θεωρία να παράγει ένα νετρίνο που κινείται πιο γρήγορα από το φώς? Είναι αυτή η επιλογή που διάλεξε η φύση? Οι φυσικοί ελπίζουν αυτές οι ερωτήσεις να απαντηθούν σύντομα.

## Βιβλιογραφία

1. **OPERA Collaboration**, *Measurement of the neutrino velocity with the OPERA detector in the CNGS beam*, <http://fr.arxiv.org/abs/1109.4897>
2. **J. Ellis et al.**, *Probes of Lorentz Violation in Neutrino Propagation*, <http://arxiv.org/abs/0805.0253>
3. **S. Chadha και H. Nielsen**, *Lorentz invariance as a low-energy phenomenon*, [Nucl.Phys. B217 \(1983\) 125](#)
4. **S. Coleman, S. Glashow**, *Cosmic ray and neutrino tests of special relativity*, <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9703240>
5. **E. Kiritsis**, *Supergravity, D-brane probes and thermal SYM: a comparison*, <http://de.arxiv.org/abs/hep-th/9906206>
6. **G. Gibbons, C. A. R. Herdeiro**, *Born-Infeld theory and stringy causality*, <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9703240>
7. **P. Kraus**, *Dynamics of AntiDeSitter domain walls*, <http://arxiv.org/abs/hep-th/9910149>
8. **A. Kehagias, E. Kiritsis**, *Mirage Cosmology*, <http://arxiv.org/abs/hep-th/9910174>
9. **D. Chung, K. Freese**, *Can geodesics in extra dimensions solve the cosmological horizon problem?*, <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9910235>
10. **I. Antoniadis, E. Kiritsis, J. Rizos, T. Tomaras**, *D-branes and the standard model*, <http://arxiv.org/abs/hep-th/0210263>