

Η Σκοτεινή Ενέργεια Μέρος 1ο

Άρθρο του Robert R Caldwell, Από το περιοδικό Physics World, Μάιος 2004

1ο, 2ο, 3ο, 4ο

Νέες ενδείξεις μας πείθουν ότι η διαστολή του σύμπαντος είναι επιταχυνόμενη με την επίδραση ενός τύπου ενέργειας που προκαλεί βαρυτική άπωση. Η ενέργεια αυτή αποτελεί τα δύο τρίτα του Σύμπαντος.

Είναι ειρωνεία της φύσης ότι η πιο άφθονη μορφή ενέργειας στο Σύμπαν, είναι επίσης και η πιο μυστηριώδης. Αφότου έγινε η ριζοσπαστική ανακάλυψη ότι η κοσμική διαστολή επιταχύνεται, έχει αναδυθεί μια συνεπής εικόνα που δείχνει ότι τα δύο τρίτα του σύμπαντος είναι φτιαγμένα από σκοτεινή ενέργεια, δηλαδή από μια μορφή ενέργειας που προκαλεί βαρυτική άπωση. Είναι όμως οι ενδείξεις αρκετά ισχυρές ώστε να δικαιολογούν νέους εξωτικούς νόμους της φύσης; Ή μήπως θα μπορούσε να υπάρχει μια απλούστερη, αστροφυσική εξήγηση για τα πειραματικά αποτελέσματα;

Η ιστορία με τη σκοτεινή ενέργεια αρχίζει το 1998, όταν δύο ανεξάρτητες ομάδες αστρονόμων ερευνούσαν για μακρινούς σούπερ νόβα, προσδοκώντας να μετρήσουν τον ρυθμό ελάττωσης της διαστολής του σύμπαντος. Ένοιωσαν λοιπόν σοκ όταν διαπίστωσαν ότι η διαστολή επιταχυνόταν. Πράγματι, το σύμπαν άρχισε να επιταχύνει τη διαστολή του, πριν από πολύ καιρό, κάπου μέσα στα 10 δισεκατομμύρια τελευταία χρόνια.

Σαν τους ντετέκτιβς, οι κοσμολόγοι σ' όλο τον κόσμο, χτίζουν μια περιγραφή για την αιτία αυτής της επιτάχυνσης. Λένε λοιπόν ότι οφείλεται στα δύο τρίτα της κοσμικής ενεργειακής πυκνότητας, και προκαλεί βαρυτική άπωση, δεν εμφανίζεται να συγκεντρώνεται μέσα στους γαλαξίες, προκαλεί διαστολή του χωροχρόνου, και της αποδίδεται το μυστηριώδες όνομα, σκοτεινή ενέργεια. Πολλοί θεωρητικοί είχαν ήδη μια υποψία για το τι μπορεί να κρυβόταν πίσω από αυτό το όνομα. Υποψιάζονταν την κοσμολογική σταθερά. Σίγουρα ταιριάζει με το σενάριο της επιταχυνόμενης διαστολής. Αλλά είναι η υπόθεση της σκοτεινής ενέργειας σίγουρη;

Η ύπαρξη απωστικής βαρυτικής δύναμης θα είχε δραματικές συνέπειες για τη θεμελιώδη φυσική. Οι πιο συντηρητικές υποθέσεις είναι ότι το σύμπαν είναι γεμάτο με μια ομοιογενή θάλασσα από ενέργεια της κβαντικής μηδενικής κατάστασης, ή με ένα συμπύκνωμα νέων σωματιδίων με μάζα που είναι 10^{-39} φορές μικρότερη από τη μάζα του ηλεκτρονίου.

Μερικοί ερευνητές έχουν προτείνει επίσης αλλαγές στη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Einstein, έτσι ώστε να επιτρέψει μια νέα δύναμη μακράς εμβέλειας, η οποία θα ελαττώνει την ένταση της βαρύτητας. Αλλά υπάρχουν αδιέξοδα ακόμα και με αυτές τις πιο συντηρητικές προτάσεις. Για παράδειγμα, η πυκνότητα ενέργειας της μηδενικής κβαντικής κατάστασης θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί να είναι ακριβώς 10^{120} φορές κάτω από τη θεωρητική πρόβλεψη. Μ' αυτές τις ακραίες λύσεις ίσως είναι καλύτερα να αναμένουμε μια συμβατική εξήγηση για την επιταχυνόμενη διαστολή του σύμπαντος βασισμένη στην ίδια την αστροφυσική. Για παράδειγμα ότι είναι αποτέλεσμα της διαστημικής σκόνης ή ότι οφείλεται σε διαφορές μεταξύ νέων και παλαιών σούπερ νόβα. Η πιθανότητα αυτή απασχολεί έντονα αρκετούς κοσμολόγους.

Μέχρι πρόσφατα τα δεδομένα των σούπερ νόβα ήταν η μόνη άμεση ένδειξη για την κοσμική επιτάχυνση, και ο μόνος λόγος που μας εξανάγκαζε να δεχτούμε την σκοτεινή ενέργεια. Μετρήσεις ακριβείας επί της μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου (CMB), που περιλάμβαναν δεδομένα από τον Διερευνητή Μικροκυματικής Ανισοτροπίας Wilkinson (WMAP), μας έχουν δώσει πρόσφατα περιστασιακές ενδείξεις για την ύπαρξη της σκοτεινής ενέργειας. Το ίδιο ισχύει και τα δεδομένα από δύο εκτεταμένα προγράμματα που χαρτογραφούν την κατανομή των γαλαίων σε πολύ μεγάλη κλίμακα, το πρόγραμμα Πεδίου δύο μοιρών (2DF), και την ψηφιακή ουράνια απεικόνιση Sloan (SDSS).

Τώρα έχουμε ακόμα μια μαρτυρία. Συνδυάζοντας δεδομένα από τα WMAP, SDSS και άλλες πηγές, 4 ανεξάρτητες ομάδες ερευνητών έχουν αναφέρει ενδείξεις για ένα φαινόμενο που είναι γνωστό με το όνομα: ολοκληρωμένο φαινόμενο Sachs-Wolfe. Οι ομάδες αυτές βρήκαν ότι η βαρυτική άπωση της σκοτεινής ενέργειας έχει επιβραδύνει την κατάρρευση της ύλης κάποιων υπέρπυκνων περιοχών του σύμπαντος. Η περίπτωση της ύπαρξης της σκοτεινής ενέργειας απόκτησε ξαφνικά πολύ μεγαλύτερη πειστικότητα.

Η χαρτογράφηση της κοσμικής διαστολής

Η κοσμική διαστολή που ανακαλύφθηκε τη δεκαετία του 1920 από τον Edwin Hubble, είναι πιθανά το πιο εκπληκτικό χαρακτηριστικό του Σύμπαντος. Τα αστρονομικά αντικείμενα, όχι μόνο κινούνται με την βαρυτική επίδραση των γειτόνων τους, αλλά η πολύ μεγάλης κλίμακας δομή του σύμπαντος εκτείνεται ακόμη περισσότερο από την κοσμική διαστολή. Ένα δημοφιλές ανάλογο για την κοσμική διαστολή αποτελεί η απομάκρυνση μεταξύ τους κάποιων σταφίδων που έχουν εμφυτευθεί σ' ένα πολύ μεγάλο κέικ που φουσκώνει. Αν διαλέξουμε μια σταφίδα να παριστάνει τον γαλαξία μας, βρίσκουμε ότι όλες οι άλλες σταφίδες/γαλαξίες απομακρύνονται από τη δική μας προς όλες τις κατευθύνσεις. Ως αποτέλεσμα, το σύμπαν μας έχει διασταλεί από την πολύ θερμή και πυκνή κοσμική σούπα που δημιουργήθηκε κατά το Big Bang, στην πολύ ψυχρότερη και αραιότερη συλλογή γαλαξιών και σμήνη γαλαξιών που παρατηρούμε σήμερα.

Το φως που εκπέμφθηκε από τα άστρα και τα αέρια των μακρινών γαλαξιών, έχει επίσης διασταλεί σε μεγαλύτερα μήκη κύματος κατά το ταξίδι του προς τη Γη. Το φαινόμενο αυτό της μετατόπισης του μήκους κύματος δίνεται από τον τύπο της ερυθρής μετατόπισης

$$z = (\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0) / \lambda_0$$

όπου λ_{obs} είναι το μήκος κύματος που βλέπουμε στη Γη και λ_0 είναι το μήκος κύματος που εξέπεμψε η πηγή. Για παράδειγμα, τα διεγερμένα άτομα υδρογόνου, εκπέμπουν κατά μια μετάβασή τους προς τη θεμελιώδη στάθμη, την λεγόμενη ακτινοβολία άλφα Lyman που έχει μήκος κύματος $\lambda_0 = 121.6$ nm. Η μετάβαση αυτή παρατηρείται στους μακρινούς γαλαξίες και χρησιμοποιήθηκε για να διαπιστώσουμε τον γαλαξία που κατέχει το σημερινό ρεκόρ της ερυθρής μετατόπισης με την τιμή $z = 10$. Η τιμή αυτή του z αντιστοιχεί σε μια παρατηρούμενη τιμή μήκους κύματος για τη μετάβαση Lyman άλφα ίση με $\lambda_{\text{obs}} = 1337.6$ nm.

Η ερυθρή μετατόπιση περιγράφει όμως μόνο την μεταβολή της κλίμακας του κόσμου, και δεν μας λέει την απόσταση ή την ηλικία του σύμπαντος όταν το φως αυτό πραγματικά εκπέμφθηκε. Αν ξέραμε τόσο την απόσταση όσο και την ερυθρή μετατόπιση για μια σειρά από πολλά αστρονομικά αντικείμενα, θα μπορούσαμε ν' αρχίσουμε να χαρτογραφούμε την κοσμική διαστολή.

Μια κύρια μέθοδος για τη μέτρηση εξωγαλαξιακών αποστάσεων είναι να χρησιμοποιήσουμε "πρότυπα κεριά" όπως είναι οι μεταβλητοί αστέρες των Κηφειδών. Η λαμπρότητα ενός μεταβλητού Κηφείδα μεταβάλλεται περιοδικά με τον χρόνο, με την λαμπρότητα να είναι ανάλογη προς την περίοδο. Η απόσταση ενός Κηφείδα μπορεί να καθοριστεί μετρώντας πρώτα την περίοδο του ώστε να βρούμε την λαμπρότητά του, και ύστερα να την συγκρίνουμε με την παρατηρούμενη ένταση της ακτινοβολίας για να βρούμε την απόστασή του. Έτσι, ερυθρές μετατοπίσεις και αποστάσεις διαφόρων αντικειμένων που ακολουθούν την "ροή Hubble" (αυτά βρίσκονται σε μια περιοχή έξω από τα όρια των βαρυτικών αλληλεπιδράσεων του δικού μας σμήνους γαλαξιών), έχουν χαρτογραφηθεί, αποκαλύπτοντας το νόμο του Hubble:

$$d = (cz / H_0)$$

όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός και $H_0 = 72 \pm 8$ km s⁻¹ ανά megaparsec (Mpc) είναι η τιμή της σταθεράς του Hubble. (1 Mpc ισούται με 3,26 εκατομμύρια έτη φωτός.)

Πριν από το 1998 αυτή η γραμμική σχέση μεταξύ απόστασης και ερυθρής μετατόπισης είχε διαπιστωθεί για γαλαξίες μέχρι απόστασης περίπου 1000 Mpc, πράγμα που αντιστοιχεί σε ερυθρή μετατόπιση της τάξης του 0,24. Η επέκταση σε μεγαλύτερες ερυθρές μετατοπίσεις ήταν αμφισβητούμενη, αλλά κάνοντας υποθέσεις για την ενεργειακή πυκνότητα και την πίεση στο σύμπαν, η γενική σχετικότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδέσει τις ερυθρές μετατοπίσεις με τις αντίστοιχες αποστάσεις.

Η ακριβής μέτρηση των αποστάσεων είναι μια από τις πιο δύσκολες εργασίες στην αστρονομία, και η σχέση απόστασης-ερυθρής μετατόπισης δεν είχε ελεγχθεί ότι ισχύει για μεγαλύτερες ερυθρές μετατοπίσεις. Επιπλέον, στηριζόμενοι στις καλύτερες πληροφορίες της εποχής, αναμέναμε ότι η διαστολή του σύμπαντος θα επιβραδυνόταν υπό την επίδραση της βαρυτικής ελκτικής δύναμης - αλλά αυτό δεν είχε επιβεβαιωθεί ακόμη τότε από τις παρατηρήσεις.