

Η Σκοτεινή Ενέργεια Μέρος 2ο

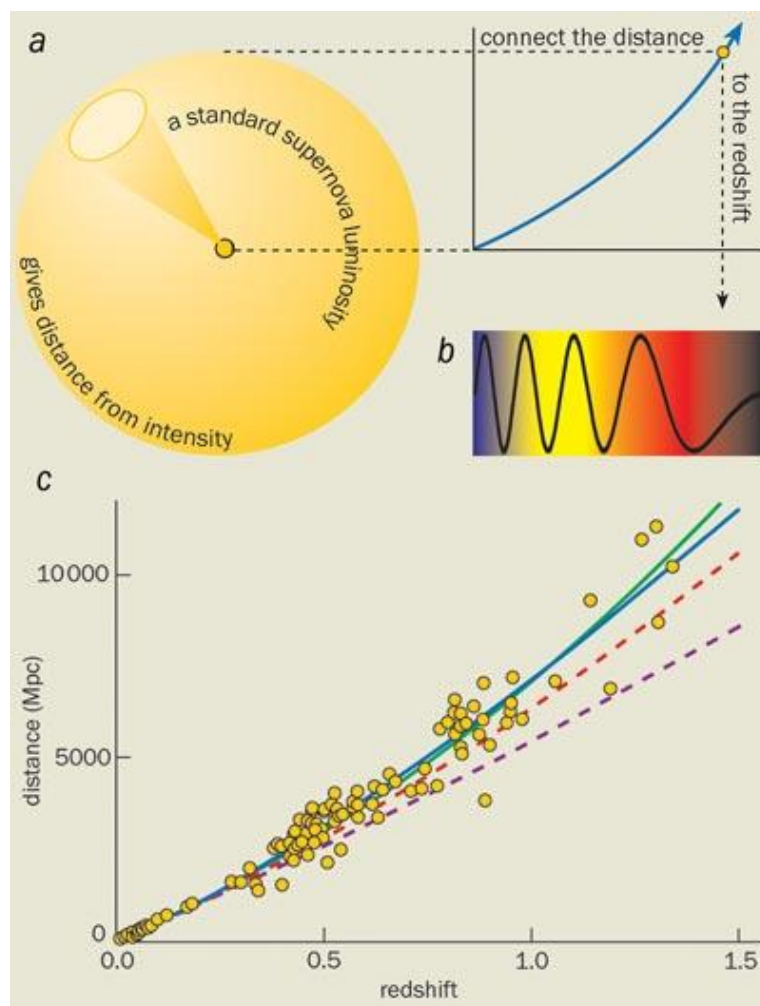
Άρθρο του Robert R Caldwell, Από το περιοδικό Physics World, Μάιος 2004

1ο, 2ο, 3ο, 4ο

Όλο και σε μεγαλύτερη απόσταση

Αν και οι μεταβλητοί αστέρες Κηφείδες έχουν αποδειχτεί εξαιρετικά πολύτιμοι σαν πρότυπα κεριά στην αστρονομία για πολλά χρόνια, δεν είναι ικανοποιητικά για να χρησιμοποιηθούν για μεγάλες ερυθρές μετατοπίσεις. Οι αστρονόμοι όμως έχουν βρει ένα πολύ ειδικό τύπο σούπερ νόβα για να τους αντικαταστήσουν.

Οι σούπερ νόβα τύπου 1a είναι θερμοπυρηνικές εκρήξεις λευκών νάνων πλούσιων σε άνθρακα και οξυγόνο, οι οποίοι έχουν μάζα 40% περισσότερη από του ήλιου μας και ακτίνα 100 φορές μικρότερη από τον Ήλιο. Στην αρχή της δεκαετίας του 1930 ο Subrahmanyan Chandrasekhar έδειξε ότι οι λευκοί νάνοι έχουν ως ανώτατο όριο μάζας 1,4 φορές την ηλιακή μάζα. Κάτω από αυτή τη μάζα, αυτά τα πυκνά, συμπαγή αντικείμενα αντιστέκονται στην περαιτέρω βαρυτική κατάρρευσή τους με την πίεση που προκαλεί ο εκφυλισμός των φερμιονίων. Με άλλα λόγια, η απαγορευτική αρχή του Pauli εμποδίζει τα ηλεκτρόνια που έχουν βρεθεί πολύ κοντά το ένα με το άλλο από το να καταλάβουν την ίδια κβαντική κατάσταση. Σε ένα δυαδικό σύστημα αστέρων όμως, το ισχυρό βαρυτικό πεδίο ενός λευκού νάνου μπορεί να προκαλέσει έλξη της ύλης από τον συνοδό του αστέρα, ώσπου ο λευκός νάνος να καταβροχθίσει τον συνοδό αστέρα. Η πλεονάζουσα μάζα που αποκτά ο λευκός νάνος, τον αποσταθεροποιεί και στη συνέχεια οδηγείται σε έκρηξη.



Εικόνα 1.

Παρατηρήσεις από σούπερ νόβα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρτογραφήσουν την ιστορία της κοσμικής διαστολής.

(a) Η απόσταση ενός τύπου 1a σούπερ νόβα επιτυγχάνεται εύκολα από παρατηρούμενη λαμπρότητά του, η οποία βαθμολογείται από την καμπύλη φωτός του, το φάσμα του και την παρατηρούμενη ένταση της ακτινοβολίας του.

(b) Εν τω μεταξύ η διαστολή του Σύμπαντος μετατοπίζει τα χαρακτηριστικά μήκη κύματος του σούπερ νόβα προς μεγαλύτερες τιμές κατά ένα παράγοντα που χαρακτηρίζεται ως ερυθρή μετατόπιση.

(c) Κάνοντας το γράφημα της απόστασης ως συνάρτησης της ερυθρής μετατόπισης για ένα μεγάλο αριθμό σούπερ νόβα, μπορούμε να παρακολουθήσουμε τη διαστολή του σύμπαντος με τον χρόνο. Οι κίτρινοι κύκλοι του σχήματος είναι πειραματικά δεδομένα στα οποία έχουν παραλειφθεί τα σφάλματα των μετρήσεων χάριν απλότητας, μαζί με την προτιμητέα θεωρητική πρόβλεψη: ένα σύμπαν με 30% ύλη και 70% κοσμολογική σταθερά (μπλε). Φαίνονται επίσης οι προβλέψεις για ένα σύμπαν με 30% ύλη και χωρική καμπυλότητα (κόκκινη διακεκομμένη γραμμή), και με 100% ύλη (μωβ διακεκομμένη).

Η διαφοροποίηση μεταξύ επιτάχυνσης και επιβράδυνσης εμφανίζεται στο σημείο όπου οι θεωρητικές καμπύλες αρχίζουν να αποκλίνουν.

Η μετάβαση από την επιβράδυνση στην επιτάχυνση είναι πιο λεπτή: η πράσινη γραμμή δείχνει ένα κόσμο που δεν είναι ούτε επιταχυνόμενος ούτε επιβραδυνόμενος. Η διαστολή αρχίζει να επιταχύνεται κοντά στο σημείο όπου τα δεδομένα φτάνουν την μέγιστη απόκλιση τους από αυτή την καμπύλη (κοντά στο σημείο όπου $z=0,5$).

Η αντίληψη του Hubble για την διάσταση του σύμπαντος έφτανε μόνο σε αντικείμενα που απείχαν μόνο λίγα Mpc. Δηλαδή σε μια μικρή περιοχή στ' αριστερά του σχήματος. Δεν είναι παράξενο λοιπόν που το ενδιαφέρον για τους σούπερ νόβα ανέβηκε κατακόρυφα από τότε.

Το διαστημικό τηλεσκόπιο Hubble και τα καλύτερα επίγεια παρατηρητήρια επιδιώκουν να μετρήσουν την έξαρση και την εξασθένιση του φωτός από τους σούπερ νόβα, ενώ μικρότερα τηλεσκόπια ψάχνουν ανιχνευτικά και μελετούν τις γύρω περιοχές. (Βλέπε το παράθεμα: Εστιάζοντας στους σούπερ νόβα)

Ανέλπιστα, η λαμπρότητα του εκρηγνυόμενου λευκού νάνου είναι σχεδόν ένα πρότυπο κερι. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990 αυτό παρακίνησε δύο ομάδες αστρονόμων, την ερευνητική ομάδα αναζήτησης υψηλών z , και του ερευνητικού κοσμολογικού προγράμματος σούπερ νόβα, ν' αρχίσουν παρατηρήσεις για να μετρήσουν τις αποστάσεις και τις ερυθρές μετατοπίσεις διαφόρων σούπερ νόβα τύπου 1a, με την ελπίδα να διαπιστώσουν ότι η κοσμική διαστολή πράγματι επιβραδυνόταν. Τα αποτελέσματα που βασίστηκαν σε 100 περίπου μετρήσεις σούπερ νόβα με τιμές του z που εκτεινόταν μέχρι την μονάδα, έφεραν έκπληξη. Οι δύο ομάδες βρήκαν ότι οι σούπερ νόβα με υψηλό z ήταν αμυδρότεροι - και συνεπώς πιο απομακρυσμένοι - απ' ό,τι αναμενόταν σε ένα επιβραδυνόμενο σύμπαν. Οι ερευνητές είχαν ανακαλύψει ότι η διαστολή του σύμπαντος ήταν επιταχυνόμενη.

Μέχρι τώρα έχουν επιτευχθεί αποστάσεις για παραπάνω από 300 σούπερ νόβα τύπου 1a, ενώ αναλύονται συγχρόνως δεδομένα για πολλούς περισσότερους. Από τα μέχρι τώρα δεδομένα φαίνεται ότι το σύμπαν άρχισε να επιταχύνεται ανάμεσα στα 5 και 7 δισεκατομμύρια προηγούμενα χρόνια. Οι θεωρητικοί συγχρόνως προσπαθούν να εξηγήσουν σε τι οφείλεται η επιταχυνόμενη διαστολή.

Η ενέργεια που λείπει

Οι παρατηρήσεις των σούπερ νόβα απαιτούν την ύπαρξη μιας ουσίας που να προκαλεί την βαρυτική επιταχυνόμενη άπωση. Οι αστρονόμοι ξέρουν από παλιά το πρόβλημα της ενέργειας που εμφανίζεται να λείπει από το σύμπαν: η συνολική μάζα των γαλαξιών και των σμηνών τους είναι σημαντικά λιγότερη από τη μάζα που απαιτείται για να εξηγηθούν οι ταχύτητες των γαλαξιών. Η διαφορά αυτή εμφανίζεται με το όνομα σκοτεινή ύλη - μια ψυχρή μη σχετικιστική ύλη - κυρίως υπό τη μορφή εξωτικών σωματιδίων που αλληλεπιδρούν πολύ ασθενικά με τη συνηθισμένη ύλη και το φως.

Παρόλα αυτά οι παρατηρήσεις δείχνουν ότι το συνολικό ποσό της ύλης στο σύμπαν - περιλαμβανομένης της σκοτεινής ύλης - είναι μόλις το 1/3 της συνολικής υλοενέργειας. Αυτό έχει αποδειχτεί από προγράμματα όπως τα 2DF και SDSS, τα οποία έχουν απεικονίσει τις θέσεις και τις κινήσεις εκατομμυρίων γαλαξιών. Η γενική σχετικότητα όμως προβλέπει ότι υπάρχει μια ακριβής σχέση μεταξύ της διαστολής και του ενεργειακού περιεχομένου του σύμπαντος. Γνωρίζουμε ως εκ τούτου ότι η συνολική ενεργειακή πυκνότητα όλων των φωτονίων, των ατόμων, της σκοτεινής ενέργειας και οτιδήποτε άλλου έπρεπε προστιθέμενο να μας δίνει μια κρίσιμη τιμή που καθορίζεται από την σταθερά του Hubble $\rho_{\text{critical}} = 3H_0^2/8\pi G$, όπου G είναι η σταθερά της βαρύτητας. Το πρόβλημα είναι ότι η πρόσθεση

αυτή δεν δίνει το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Η μάζα, η ενέργεια, και η καμπυλότητα του χωροχρόνου, συνδέονται μεταξύ τους στη Γενική Σχετικότητα. Μια εξήγηση είναι λοιπόν ότι το χάσμα μεταξύ της κρίσιμης πυκνότητας και της πραγματικής πυκνότητας της ύλης, γεφυρώνεται με την ισοδύναμη ενεργειακή πυκνότητα μιας τεράστιας κλίμακας καμπύλωσης του χώρου η οποία γίνεται αντιληπτή, μόνο σε κλίμακες της τάξης των c/H_0 (περίπου 4000 Mpc).

Ευτυχώς, η καμπύλωση του Σύμπαντος μπορεί να καθοριστεί κάνοντας ακριβείς μετρήσεις της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου (CMB). Πρόκειται για ένα λείψανο από την εποχή των 400.000 χρόνων μετά το Big Bang, και είναι ουσιαστικά η ακτινοβολία μαύρου σώματος από το αρχικό πλάσμα. Καθώς το σύμπαν ψύχθηκε κάτω από 3000 K, έγινε διαφανές στα φωτόνια, επιτρέποντάς τους να διαδοθούν ελεύθερα στο χώρο. Σήμερα, περίπου 15 δισεκατομμύρια χρόνια μετά, βλέπουμε ένα θερμικό λουτρό φωτονίων θερμοκρασίας περίπου 2,726 K που έχουν υποστεί ερυθρή μετατόπιση προς την περιοχή των μικροκυμάτων, εξαιτίας της διαστολής του σύμπαντος.

Οι σημαντικές εικόνες που μας έδωσε για το CMB ο δορυφόρος WMAP, δείχνουν ελαφρές μεταβολές στη θερμοκρασία των φωτονίων, από περιοχή σε περιοχή του ουρανού - γνωστές ως ανισοτροπία CMB - απεικονίζουν αντίστοιχες ελαφρές μεταβολές στην πυκνότητα και τις κινήσεις του αρχικού σύμπαντος. Αυτές οι μεταβολές, που είναι της τάξης μερικών μονάδων στις 100.000 αποκαλύπτουν τα αποτυπώματα της δομής των γαλαξιών και των σημών που βλέπουμε σήμερα.

Τα ψυχρότερα/θερμότερα σημεία στη CMB οφείλονται σε φωτόνια που ανέβηκαν φρέατα βαρυτικού δυναμικού σε περιοχές που είχαν πυκνότητα πάνω από τη μέση τιμή / κάτω από τη μέση τιμή αντίστοιχα και δραπετεύσαν από αυτά. Το μέγεθος αυτών των περιοχών μπορεί να καθοριστεί με ακρίβεια από τη φυσική πλάσματος. Όταν θεωρήσουμε αυτή την ανισοτροπία σε κλίμακα ολόκληρου του σύμπαντος, το φαινόμενο γωνιακό μέγεθος αυτών των ανισοτροπιών θα είναι περίπου $0,5^\circ$ αν το σύμπαν έχει αρκετή καμπυλότητα για να καλύψει την ενεργειακή διαφορά που αναφέραμε προηγουμένως, και διπλάσιο γωνιακό μέγεθος αν δεν έχει καθόλου καμπυλότητα σε πολύ μεγάλη κλίμακα. Ο πιο εύκολος τρόπος να απεικονίσουμε το γεωμετρικό αυτό αποτέλεσμα είναι να φανταστούμε ένα τρίγωνο με σταθερή βάση και σκέλη που είναι ζωγραφισμένο σε επιφάνειες με διαφορετική καμπυλότητα: για μια επιφάνεια με σχήμα σαμαριού / σφαίρας αντίστοιχα οι εσωτερικές γωνίες είναι όλες μικρότερες / μεγαλύτερες αντίστοιχα από του ίδιου τριγώνου ζωγραφισμένου σε μια επίπεδη επιφάνεια με Ευκλείδεια γεωμετρία.

Ήδη από το 1999 μια σειρά πειραμάτων - TOCO, MAXIMA, BOOMERANG και πιο πρόσφατα το WMAP - έχουν πιστοποιήσει ότι οι κουκίδες του CMB είναι περίπου εύρους 1° : δηλαδή η πολύ μεγάλης κλίμακας γεωμετρία του σύμπαντος είναι επίπεδη. Για το πρόβλημα της ενέργειας που λείπει, αυτό σημαίνει ότι κάτι άλλο εκτός από την καμπυλότητα πρέπει να είναι υπεύθυνο για το χάσμα των τιμών της ενεργειακής πυκνότητας.

Για μερικούς κοσμολόγους, το αποτέλεσμα αυτό μοιάζει σαν μια περίπτωση déjà vu. **(Βλέπε το παράθεμα: Μια σύντομη ανασκόπηση της σκοτεινής ενέργειας).** Ο πληθωρισμός, η καλύτερη θεωρία γύρω από την προέλευση των διακυμάνσεων του CMB, προτείνει ότι στο πολύ αρχικό σύμπαν υπήρξε μια περίοδος επιταχυνόμενης διαστολής, που προκλήθηκε από ένα πεδίο που ονομάζεται ίνφλατον. Ο πληθωρισμός όμως θα είχε τεντώσει το σύμπαν τόσο πολύ που θα είχε κάνει τη γεωμετρία του σύμπαντος Ευκλείδεια ή επίπεδη. Η μαρτυρία λοιπόν που έχουμε μας υποδεικνύει μια μορφή ενέργειας που δεν συγκεντρώνεται σε γαλαξίες, είναι βαρυτικά απωστική, και πιθανόν να οφείλεται σε κάποιο νέο τύπο σωματίου όχι πολύ διαφορετικό από το ίνφλατον.