

Η Σκοτεινή Ενέργεια Μέρος 4ο

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

1ο, 2ο, 3ο, 4ο

Κοιτάζοντας μπροστά, στο σκοτάδι

Η ένδειξη για βαρυτικά απωστική σκοτεινή ενέργεια είναι ισχυρή αλλά υπάρχουν χάσματα στην παρούσα γνώση μας. Η φυσική των σούπερ νόβα τύπου Ia δεν είναι πλήρως κατανοητή, η σκοτεινή ύλη είναι ακόμη αμφισβητήσιμη, και αρκετά απροσδόκητα χαρακτηριστικά στο φάσμα της CMB, τα οποία δεν κατανοούμε ακόμη πλήρως. Ενώ μερικά από αυτά δεν φαίνονται να σχετίζονται με την κοσμική επιτάχυνση, όλο το σενάριο πρέπει να παρουσιάζει μια συνοχή. Τα καλά νέα είναι ότι μπορούμε να περιμένουμε πλήθος νέων παρατηρήσεων. Ο WMAP και πειράματα με συσκευές σε μπαλόνια και στο έδαφος συνεχίζουν να μας πληροφορούν για τον ουρανό στο CMB, ενώ τη σκυτάλη θα πάρει αργότερα ο δορυφόρος Planck. Νέες τεχνικές αναπτύσσονται επίσης για να εξερευνήσουμε τη σκοτεινή ενέργεια, όπως π.χ. σχέδια μελέτης της εξέλιξης του πλήθους των γαλαξιακών σμηνών. Μια άλλη πιο φιλόδοξη μέθοδος προτείνει να τεκμηριώσουμε το φαινόμενο ISW σε διαφορετικά πλεονεκτικά σημεία και ερυθρές μετατοπίσεις στο σύμπαν.

Οι μελέτες των σούπερ νόβα, θα δώσουν μια μεγάλη ώθηση στην Ενωμένη Αποστολή για την Σκοτεινή Ενέργεια (JDEM), η οποία προτείνεται από το υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ και την NASA για το μέλλον. Αν και η εκτόξευση του κατάλληλου δορυφόρου τοποθετείται σε 10 περίπου χρόνια, αυτό το εξειδικευμένο διαστημικό τηλεσκόπιο θα μας πει την τελευταία λέξη για την κοσμική επιτάχυνση μέσω των σούπερ νόβα. Το JDEM επίσης υπόσχεται μια εκτεταμένη επισκόπηση μέσω της επισκόπησης φαινομένων ασθενούς βαρυτικής εστίασης για την κατανόηση της σημασίας της σκοτεινής ενέργειας στις κοσμικές δομές και την εξέλιξή τους. Φυσικά, ο υγιής ανταγωνισμός με τα επίγεια παρατηρητήρια, θα παρουσιάσει επίσης ενδιαφέρον τα προσεχή χρόνια.

Ο σκοπός όλης αυτής της δραστηριότητας είναι φυσικά ν' απαντηθεί η ερώτηση, τι είναι η σκοτεινή ενέργεια; Αν το w έχει περίπου την τιμή -1 , η σωστή απάντηση μπορεί να είναι μια κοσμολογική σταθερά. Αν το w είναι μεγαλύτερο από -1 , η σωστή απάντηση μπορεί να είναι η πεμπτούσια. Εξάλλου δεν θα μπορούσαμε να αποκλείσουμε μια νέα εξέλιξη για τη θεωρία της βαρύτητας που ακόμη και ο Einstein δεν μπόρεσε να προβλέψει. Ενώ οι περισσότερες θεωρίες που συνδέουν την βαρύτητα με την κβαντική φυσική, προβλέπουν νέες συμπεριφορές στη μικροσκοπική κλίμακα, ή σε πολύ αρχικά στάδια του σύμπαντος, ελάχιστες θεωρίες (αν υπάρχουν και καθόλου), προβλέπουν νέα φαινόμενα στις πολύ μεγάλες κλίμακες μεγεθών του σύμπαντος και στη σημερινή εποχή. Και τι συμβαίνει αν το w είναι μικρότερο από -1 ; Όποια και αν είναι η απάντηση, κάτι μυστηριώδες συμβαίνει στον Κόσμο.

Παραθέματα

Εστιάζοντας στους σούπερ νόβα

Πως μπορούμε να είμαστε σίγουροι ότι η ροή φωτός από τους σούπερ νόβα εξασθενίζει πράγματι και το μήκος κύματος μεγαλώνει επειδή διανύει μεγαλύτερη απόσταση που προκύπτει από την επιταχυνόμενη διαστολή του σύμπαντος; Ίσως οι σούπερ νόβα να είναι πλησιέστερα απ' όσο υποψιαζόμαστε, και να συμβαίνουν άλλα φαινόμενα. Οι τεράστιες επιπτώσεις της κοσμικής επιτάχυνσης έχουν φέρει μεγάλο μπέρδεμα όσον αφορά τη φυσική των σούπερ νόβα τύπου Ia.

Θα πρέπει να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι οι σούπερ νόβα τύπου Ia δεν είναι ακριβώς πρότυπα κεριά. Η λαμπρότητά τους όμως μπορεί να προτυποποιηθεί: Λεπτομερείς παρατηρήσεις κοντινών σούπερ νόβα σε γνωστές αποστάσεις, έχουν αποκαλύψει μια δομή η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλιμπράρουμε την φωτεινότητα χρησιμοποιώντας την καμπύλη του φωτός και το φάσμα. Αλλά είναι πιθανόν ότι αυτή η τεχνική μπορεί να μην ισχύει για πιο μακρινούς σούπερ νόβα που σχηματίστηκαν πολύ νωρίτερα κατά την εξέλιξη του σύμπαντος. Για παράδειγμα, το περιβάλλον μέσα στο οποίο γεννιούνται τα άστρα, αναμένεται να εξελίσσεται με το χρόνο καθώς η γέννηση και ο θάνατος των άστρων διασκορπίζει μέταλλα μέσα στο αστρικό βρεφοκομείο. Θα μπορούσαν

αυτές οι μεταβολές στο περιβάλλον να μεταφραστούν σε μεταβολές των ιδιοτήτων των λευκών νάνων και των εκρήξεων των σουπερ νόβα; Μήπως οι μακρινοί σουπερ νόβα φαίνονται αμυδρότεροι απλά επειδή είναι λιγότερο φωτεινοί; Όμως, οι αστροφυσικοί δεν έχουν βρει τέτοια σύνδεση μεταξύ του περιβάλλοντος και της φωτεινότητας.

Τέλος, υπάρχει πάντα η πιθανότητα η θέα μας να περιορίζεται από την κοσμική σκόνη. Αν είναι έτσι, οι όλο και πιο μακρινοί σουπερ νόβα θα φαίνονται αμυδρότεροι, δίνοντας την εντύπωση ενός αιώνια επιταχυνόμενου σύμπαντος. Όμως οι σουπερ νόβα με μεγάλη ερυθρή μετατόπιση δεν δείχνουν τέτοια τάση. Στην πραγματικότητα, πρόσφατα αποτελέσματα δίνουν ενδείξεις για προηγούμενη επιβράδυνση της διαστολής.

Μια σύντομη ανασκόπηση της σκοτεινής ενέργειας

Η σκοτεινή ενέργεια, οτιδήποτε και αν είναι αυτό, έχει εμφανιστεί αρκετές φορές στην κοσμολογία. Ο Einstein αρχικά εισήγαγε την κοσμολογική σταθερά Λ , καθώς δημιούργησε το πρώτο κοσμολογικό μοντέλο στη σύγχρονη θεωρία της βαρύτητας. Η κοσμική διαστολή δεν είχε ακόμη ανακαλυφθεί, και οι υπολογισμοί του σωστά έδειχναν ότι ένα σύμπαν που περιείχε ύλη δεν μπορούσε να παραμένει στατικό χωρίς την μαθηματική πρόσθεση του $-\Lambda$. Το αποτέλεσμα ήταν ισοδύναμο με το να γεμίσουμε το σύμπαν με μια θάλασσα αρνητικής ενέργειας μέσα στην οποία περιφέρονται τα άστρα και τα νεφελώματα. Η νεώτερη ανακάλυψη της διαστολής του σύμπαντος, έκανε προφανή την ανάγκη για την εισαγωγή μιας τέτοιας προσθήκης στην θεωρία.

Στις επόμενες δεκαετίες, απελπισμένοι θεωρητικοί, ανακύκλωναν περιοδικά την ιδέα της κοσμολογικής σταθεράς, σε μια προσπάθεια να εξηγήσουν νέα αστρονομικά φαινόμενα. Αυτές οι επανεισαγωγές ήταν βραχύβιες, μετά από προσεκτικές παρατηρήσεις που αποκάλυπταν πιο εύλογες εξηγήσεις των δεδομένων. Επιπλέον, η ανάπτυξη της σωματιδιακής φυσικής στη δεκαετία του 1960, έδειξε ότι η ενέργεια του κενού όλων των σωματιδίων και των πεδίων γεννούσε αναπόφευκτα έναν όρο όπως το Λ . Επιπλέον, μια αλλαγή φάσης στα πρώτα δευτερόλεπτα μετά το big bang μπορούσε να είχε αφήσει το σύμπαν γεμάτο με μια κοσμολογική σταθερά.

Στα 1980 αναπτύχθηκε η θεωρία του πληθωρισμού: στη θεωρία αυτή το αρχικό σύμπαν υφίσταται μια σύντομη περίοδο εκθετικά επιταχυνόμενης διαστολής, με την αρνητική πίεση που προκαλούσε τη διαστολή, να προέρχεται από ένα νέο σωματίδιο, το ίνφλατον, αντί για τη σταθερά Λ . Ο πληθωρισμός αποδείχτηκε μια πολύ πετυχημένη θεωρία. Επιλύει πολλά παράδοξα που σχετίζονται με το μοντέλο του Big bang, όπως είναι τα προβλήματα του ορίζοντος και της επιπεδότητας, και οι προβλέψεις της είναι συνεπείς με τις μετρήσεις της δομής σε πολύ μεγάλη κλίμακα καθώς και με τις μετρήσεις της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου.

Ο πληθωρισμός επίσης προβλέπει ότι ένας χαρακτηριστικός σχηματισμός βαρυτικών κυμάτων μεγάλου μήκους κύματος δημιουργήθηκε κατά το πρώιμο σύμπαν. Τα κύματα αυτά τα αποκαλούμενα και ως βαρυτόνια - δηλαδή τα σωματίδια που μεταφέρουν την βαρυτική αλληλεπίδραση - επεκτάθηκαν σε μακροσκοπικά μήκη κύματος εξαιτίας της διαστολής του σύμπαντος. Η ανίχνευση αυτών των κυμάτων θα μας δώσει μια μοναδική υπογραφή του πληθωρισμού.

Σκοτεινή ενέργεια: οι ύποπτοι

• Κοσμολογική σταθερά ($w = -1$)

Εισήχθη αρχικά από τον Albert Einstein, και αργότερα υποστηρίχτηκε από τον Yakov Zel'dovich ότι η κβαντική ενέργεια του κενού θα παρήγαγε μια σταθερή πυκνότητα ενέργειας και πίεση. Οι θεωρητικές προβλέψεις όμως, δίνουν μια κοσμολογική σταθερά που είναι 120 τάξεις μεγέθους μεγαλύτερη από την παρατηρούμενη τιμή. Ανεξάρτητα από την κοσμολογία, η κβαντική ενέργεια του κενού, υπάρχει. Αν η κοσμική συνεισφορά της είναι πράγματι μηδέν ή έχει μια τελείως συγκεκριμένη τιμή, είναι μια από τις ανοιχτές προκλήσεις της φυσικής.

• Πεμπτουσία ($w > -1$)

Ένας τύπος ενέργειας με αρνητική πίεση που μεταβάλλεται στο χώρο και το χρόνο. Η πεμπτουσία είναι δυναμικό μέγεθος, αντίθετα προς την κοσμολογική σταθερά, και η μέση ενεργειακή πυκνότητα και πίεση ελαττώνονται αργά με τον χρόνο. Το χαρακτηριστικό αυτό μπορεί να βοηθήσει στην εξήγηση της ξαφνικής έναρξης της κοσμικής επιτάχυνσης. Η πεμπτουσία θεωρείται ως βαθμωτό πεδίο και προβλέπει διάφορες διεγέρσεις που αντιστοιχούν σε σωματίδια με μάζες περίπου 10^{-33} eV.

• Άλλου τύπου ενέργεια κενού ($w < -1$)

Εκτός αν είμαστε θύματα μιας συνομωσίας συστηματικών φαινομένων, η περίπτωση $w < -1$ είναι σημάδι πραγματικά εξωτικής φυσικής. Σε κάποιο μοντέλο, τα κβαντικά φαινόμενα ενός πεδίου που μοιάζει με την πεμπτουσία, μας οδηγεί σε τροποποιήσεις της γενικής σχετικότητας, ενώ άλλα μοντέλα δείχνουν ότι η πυκνότητα της σκοτεινής ενέργειας αυξάνεται πραγματικά με τον χρόνο, προκαλώντας πιθανόν τελικά ένα καταστροφικό "μεγάλο σχίσμα". Άλλες νέες ιδέες περιλαμβάνουν ένα εξωτικό πεδίο που προκαλεί μια επιτάχυνση σαν αυτή της κοσμολογικής σταθεράς, αλλά μεταβάλλεται στο χώρο.

• Τροποποίηση της Γενικής Σχετικότητας

Πολλές προσπάθειες έχουν γίνει για να τροποποιηθεί η θεωρία της Γενικής Σχετικότητας του Einstein, και συνεπώς να αποφευχθεί η ανάγκη για μια εξωτική ύλη που θα προκαλεί την επιτάχυνση της διαστολής. Ενώ μερικές από αυτές δεν ξεχωρίζουν εύκολα από την πεμπτουσία, πολλές προβλέπουν παραβιάσεις της αρχής της ισοδυναμίας (η οποία είναι η βάση της Γενικής Σχετικότητας) ή αποκλίσεις από το παγκόσμιο δυναμικό της βαρύτητας που θεωρούμε ότι είναι ανάλογο του $1/r$.

Σχετική βιβλιογραφία

Ανακάλυψη της κοσμικής επιτάχυνσης

R R Caldwell and P J Steinhardt 2000 [Quintessence](#) Physics World November

Kirshner 2000 The Extravagant Universe: Exploding Stars, Dark Energy, and the Accelerating Cosmos (Princeton University Press).

R A Knop et al. (The Supernova Cosmology Project) 2004 New constraints on Ω_m , Ω_{Λ} , and w from an independent set of eleven high-redshift supernovae observed with HST Astrophys. J. at press (see [arXiv.org/abs/astro-ph/0309368](#))

A G Riess et al. 2004 (The High-z Supernova Search Team) Type 1a supernova discoveries at $z > 1$ from the Hubble Space Telescope: evidence for past deceleration and constraints on dark energy evolution Astrophys. J at press (see [arXiv.org/abs/astro-ph/0402512](#))

Το ολοκληρωμένο φαινόμενο Sachs-Wolfe

S Boughn and R Crittenden 2004 A correlation between the cosmic microwave background and large-scale structure in the universe [Nature](#) 427 45

P Fosalba et al. 2003 Detection of the ISW and SZ effects from the CMB-galaxy correlation Astrophys. J. 597 L89

M R Nolta et al. (WMAP Collaboration) 2004 First year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) observations: dark energy induced correlation with radio sources Astrophys. J. at press (see [arXiv.org/abs/astro-ph/0305097](#))

R Scranton et al. (SDSS Collaboration) 2003 Physical evidence for dark energy [arXiv.org/abs/astro-ph/0307335](#)

Νέες μέθοδοι

A Cooray et al. 2004 Growth rate of large-scale structure as a powerful probe of dark energy [Phys. Rev. D](#) 69 027301

Z Haiman et al. 2000 Constraints on quintessence from future galaxy cluster surveys [Astrophys. J.](#) 553 545

J Weller et al. 2002 Constraining dark energy with Sunyaev-Zel'dovich cluster surveys [Phys. Rev. Lett.](#) 88 231301