

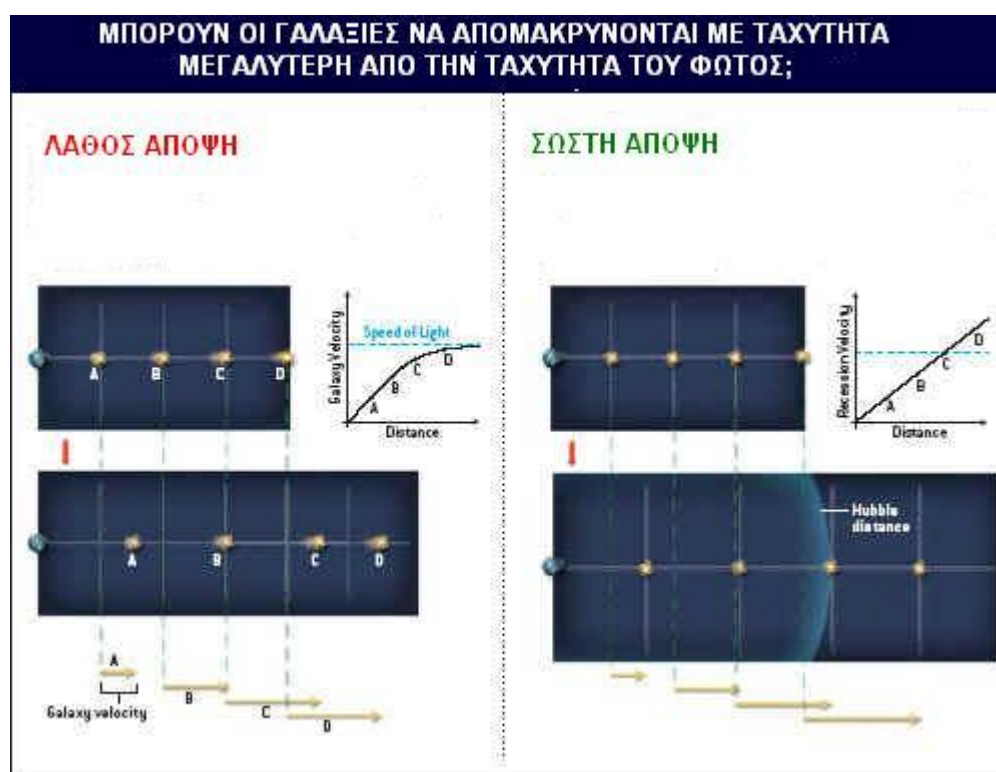
Παρερμηνείες για τη Μεγάλη Έκρηξη Μέρος 2ο

Πηγή: Scientific American, Μάρτιος 2005

1ο, 2ο, 3ο

Απομάκρυνση με ταχύτητα μεγαλύτερη του φωτός

Ένα άλλο σύνολο παρερμηνειών περιλαμβάνει την ποσοτική περιγραφή της διαστολής. Ο ρυθμός με τον οποίο αυξάνει η απόσταση μεταξύ των γαλαξιών ακολουθεί ένα ξεχωριστό τύπο που ανακαλύφθηκε από τον αμερικανό αστρονόμο Edwin Hubble το 1929: η ταχύτητα απομάκρυνσης (v) ενός γαλαξία από εμάς είναι κατευθείαν ανάλογη προς την απόστασή του από μας (d), ή $v = Hd$. Η σταθερά αναλογίας H είναι γνωστή ως σταθερά Hubble και δείχνει πόσο γρήγορα επεκτείνεται το διάστημα - όχι μόνο από εμάς, αλλά γύρω από οποιονδήποτε παρατηρητή στο σύμπαν



Η ΛΑΘΟΣ ΑΠΟΨΗ: Φυσικά και δεν μπορούν. Κάτι τέτοιο απαγορεύεται από την ειδική σχετικότητα του Einstein. Θεωρήστε μια περιοχή του χώρου, η οποία περιέχει μερικούς γαλαξίες. Οι γαλαξίες κινούνται απομακρυνόμενοι από εμάς. Όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας τόσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητά του (κίτρινα βέλη). Αν δεν υπάρχει ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή του φωτός, τότε η ταχύτητα των γαλαξιών πρέπει να τείνει αυτό το όριο, όπως δείχνει το γράφημα.

Η ΣΩΣΤΗ ΑΠΟΨΗ: Φυσικά και μπορούν. Η ειδική σχετικότητα δεν αναφέρεται στην ταχύτητα των γαλαξιών λόγω διαστολής του σύμπαντος. Κατά την διαστολή του σύμπαντος, η ταχύτητα απομάκρυνσης των γαλαξιών συνεχίζει να αυξάνει με την απόσταση. Πέρα από κάποια συγκεκριμένη απόσταση, που είναι γνωστή ως απόσταση Hubble, η ταχύτητα απομάκρυνσης ξεπερνάει την ταχύτητα του φωτός. Δεν έχουμε παραβίαση της σχετικότητας γιατί η απομάκρυνση των γαλαξιών δεν οφείλεται σε κίνηση μέσα στο χώρο, αλλά σε επέκταση του ίδιου του χώρου.

Μερικοί άνθρωποι παθαίνουν σύγχυση από το γεγονός ότι μερικοί γαλαξίες δεν υπακούνε στο νόμο του Hubble. Η Ανδρομέδα, ο κοντινότερος γαλαξιακός γείτονας

μας, κινείται στην πραγματικότητα προς εμάς, δεν απομακρύνεται. Τέτοιες εξαιρέσεις προκύπτουν επειδή ο νόμος Hubble περιγράφει μόνο τη μέση συμπεριφορά των γαλαξιών. Οι γαλαξίες μπορούν επίσης να έχουν μέτριες τοπικές κινήσεις καθώς αυτοί τριγυρίζουν και έλκονται βαρυτικά ο ένας από τον άλλο -- όπως κάνει ο Γαλαξίας μας και η Ανδρομέδα. Οι απόμακροι γαλαξίες έχουν επίσης μικρές τοπικές ταχύτητες, αλλά επειδή για μας έχουν μεγάλες τιμές του d , οι ταχύτητες απομάκρυνσης (v) είναι μεγάλες. Κατά συνέπεια, για εκείνους τους γαλαξίες, ο νόμος του Hubble έχει καλή ακρίβεια.

Παρατηρήστε ότι, σύμφωνα με το νόμο του Hubble, το σύμπαν δεν επεκτείνεται με μια ενιαία ταχύτητα. Μερικοί γαλαξίες απομακρύνονται από μας κατά 1.000 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο, άλλοι (με διπλάσια απόσταση) με 2.000 km/s, κ.λ.π.. Στην πραγματικότητα, ο νόμος του Hubble προβλέπει ότι οι γαλαξίες πέρα από μια ορισμένη απόσταση, γνωστή ως απόσταση Hubble, απομακρύνονται γρηγορότερα από την ταχύτητα του φωτός. Για την υπολογισμένη τιμή της σταθεράς του Hubble, αυτή η απόσταση είναι περίπου 14 δισεκατομμύρια έτη φωτός.

Αυτή η πρόβλεψη για ταχύτητες απομάκρυνσης των γαλαξιών μεγαλύτερες από την ταχύτητα του φωτός σημαίνει ότι ο νόμος του Hubble κάνει λάθος; Η ειδική θεωρία της σχετικότητας δεν λέει ότι κανένα σώμα δεν μπορεί να έχει ταχύτητα που να υπερβαίνει αυτή του φωτός; Αυτή η ερώτηση έχει προκαλέσει σύγχυση σε γενιές σπουδαστών. Η απάντηση είναι ότι η ειδική σχετικότητα ισχύει μόνο για τις "κανονικές" ταχύτητες -- για κινήσεις δηλαδή μέσω του διαστήματος. Η ταχύτητα στο νόμο Hubble είναι μια ταχύτητα απομάκρυνσης που προκαλείται από την διαστολή του χώρου, όχι μια κίνηση μέσω του χώρου. Είναι ένα γενικό σχετικιστικό φαινόμενο και δεν δεσμεύεται από το όριο της ειδικής σχετικότητας. Το να υπάρχει μια ταχύτητα απομάκρυνσης μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός δεν παραβιάζει την ειδική σχετικότητα.

Διαστολή και ψύξη

Η αρχική παρατήρηση ότι το σύμπαν επεκτείνεται προέκυψε μεταξύ του 1910 και 1930. Άτομα εκπέμπουν και απορροφούν το φως συγκεκριμένων μηκών κύματος, όπως μετρίεται στα εργαστηριακά πειράματα. Τις ίδιες φασματικές γραμμές περιέχει και το φως από τους απόμακρους γαλαξίες, εκτός από το ότι οι γραμμές έχουν μετατοπιστεί στα πιο μεγάλα μήκη κύματος. Οι αστρονόμοι λένε ότι το γαλαξιακό φως είναι μετατοπισμένο προς το ερυθρό (ερυθρή μετατόπιση ή redshift). Η εξήγηση είναι απλή: Επειδή το διάστημα επεκτείνεται, το μήκος κύματος του φωτός αυξάνεται. Εάν το σύμπαν διπλασιαστεί σε μέγεθος κατά τη διάρκεια του ταξιδιού των κυμάτων, θα διπλασιαστεί το μήκος κύματός τους και η ενέργειά τους μειώνεται στο μισό.

Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιγραφεί θερμοκρασιακά. Τα φωτόνια που εκπέμπονται από ένα σώμα έχουν όλα τους μια θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει σύμφωνα με το νόμο ακτινοβολίας του θερμού μαύρου σώματος, ότι έχουν μια ορισμένη κατανομή της ενέργειας στα διάφορα μήκη κύματος, που δείχνει πόσο θερμό είναι το σώμα. Καθώς τα φωτόνια ταξιδεύουν μέσω του διαστελλόμενου διαστήματος, χάνουν ενέργεια αφού αυξάνεται το μήκος κύματός τους, και μειώνεται η θερμοκρασία τους. Κατ' αυτό τον τρόπο, το σύμπαν ψύχεται καθώς επεκτείνεται, όπως το συμπιεσμένο αέριο ψύχεται όταν απελευθερώνεται από έναν αναπτήρα. Παραδείγματος χάριν, η μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου έχει αυτήν την περίοδο μια θερμοκρασία περίπου τριών Kelvin, ενώ όταν δημιουργήθηκε είχε μια θερμοκρασία περίπου 3.000 Kelvin. Από το χρόνο της εκπομπής αυτής της ακτινοβολίας, το σύμπαν έχει αυξηθεί σε μέγεθος κατά έναν παράγοντα 1.000, έτσι η θερμοκρασία των φωτονίων έχει μειωθεί κατά τον ίδιο παράγοντα. Παρατηρώντας το αέριο στους απόμακρους γαλαξίες, οι αστρονόμοι έχουν μετρήσει άμεσα τη θερμοκρασία της ακτινοβολίας στο απόμακρο παρελθόν. Αυτές οι μετρήσεις επιβεβαιώνουν ότι το σύμπαν έχει ψυχθεί με το χρόνο.



Σούπερ νόβα όπως αυτός που δείχνεται με το βέλος στο σμήνος γαλαξιών Virgo, χρησιμεύει σαν ιχнос για τη διαστολή του σύμπαντος. Οι ιδιότητές τους αποκλείουν θεωρίες που δεν παραδέχονται ένα διαστελλόμενο σύμπαν

Μερικοί πιστεύουν ότι η διαστολή του σύμπαντος είναι μια αυταπάτη. Λένε ότι η μετατόπιση προς το ερυθρό των γαλαξιακών φασμάτων προέρχεται από μια βαθμιαία απώλεια ενέργειας των φωτονίων κατά το ταξίδι τους. Κάπως σα να "κουράζονται" κατά το ταξίδι τους και χάνουν την ενέργειά τους, οπότε μειώνεται η συχνότητά τους και αυξάνεται το μήκος κύματος.

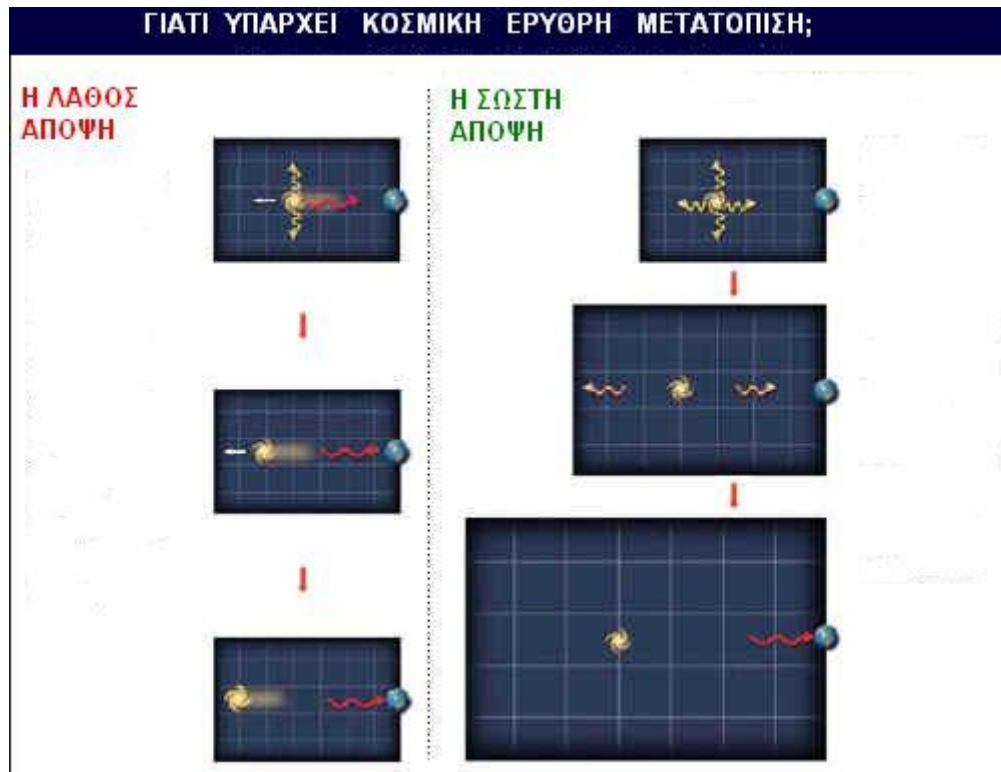
Κάποιοι επιστήμονες έκαναν αυτή την υπόθεση πριν από 75 χρόνια περίπου και οι προβλέψεις της υπόθεσης αυτής μπορούν να ελεγχθούν. Για παράδειγμα, όταν ένα άστρο εκρήγνυται με τη μορφή σούπερ νόβα, η λαμπρότητά του πρώτα αυξάνει και μετά μειώνεται. Η διαδικασία αυτή διαρκεί περίπου 2 εβδομάδες για τον τύπο σούπερ νόβα που οι αστρονόμοι χρησιμοποιούν ως σημάδι για να χαρτογραφήσουν το σύμπαν. Κατά τη διάρκεια αυτών των 2 εβδομάδων, ο σούπερ νόβα εκπέμπει μια ακολουθία φωτονίων. Η υπόθεση του κουρασμένου φωτός προβλέπει ότι τα φωτόνια χάνουν ενέργεια καθώς ταξιδεύουν αλλά ο παρατηρητής στη γη θα έπρεπε να βλέπει την ακολουθία αυτών των φωτονίων να διαρκεί επίσης 2 εβδομάδες.

Σ' ένα διαστελλόμενο σύμπαν όμως, όχι μόνον τα επιμέρους φωτόνια αυξάνουν το μήκος κύματός τους (και χάνουν συνεπώς ενέργεια), αλλά και η ίδια η ακολουθία των φωτονίων αυξάνει το μήκος της, έτσι χρειάζονται περισσότερες από 2 εβδομάδες για να καταγραφούν στη Γη όλα τα φωτόνια που εκπέμφθηκαν. Πρόσφατες παρατηρήσεις πιστοποιούν αυτό το γεγονός. Μια έκρηξη σούπερ νόβα σε ένα γαλαξία με ερυθρή μετατόπιση ίση με 0,5 εμφανίζεται να διαρκεί 3 εβδομάδες, ενώ αν συμβεί σε ένα γαλαξία με ερυθρή μετατόπιση ίση με 1, διαρκεί 4 εβδομάδες.

Η υπόθεση του "κουρασμένου" φωτός αντιφάσκει επίσης με τις παρατηρήσεις του φάσματος της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου και με την επιφανειακή λαμπρότητα απομακρυσμένων γαλαξιών.

Οι παρανοήσεις για τη σχέση μεταξύ ερυθρής μετατόπισης και της ταχύτητας είναι πολλές. Η ερυθρή μετατόπιση που προκαλείται από την διαστολή συχνά μπερδεύεται με την πιο γνωστή ερυθρή μετατόπιση, που δημιουργείται από το φαινόμενο Doppler. Το κανονικό φαινόμενο Doppler αναγκάζει τα ηχητικά κύματα να αποκτήσουν μεγαλύτερα μήκη κύματος εάν η πηγή του ήχου απομακρύνεται -- παραδείγματος χάριν, μια απομακρυσμένη σειρήνα ασθενοφόρου. Η ίδια αρχή ισχύει επίσης και στα φωτεινά κύματα, των οποίων τα μήκη κύματος αυξάνουν εάν η πηγή του φωτός απομακρύνεται από μας.

Αυτό είναι παρόμοιο, αλλά όχι το ίδιο, με αυτό που συμβαίνει στο φως από τους απόμακρους γαλαξίες. Η κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση δεν είναι μια κανονική μετατόπιση Doppler. Οι αστρονόμοι αναφέρονται συχνά σε αυτή με αυτό τον όρο, και με αυτό τον τρόπο έχουν μπερδέψει τους σπουδαστές τους. Η ερυθρή μετατόπιση λόγω Doppler και η κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση περιγράφονται από δύο ξεχωριστούς τύπους. Ο πρώτος προέρχεται από την ειδική σχετικότητα, η οποία δεν λαμβάνει υπόψη την διαστολή του διαστήματος, και ο δεύτερος προέρχεται από τη γενική σχετικότητα. Οι δύο τύποι είναι σχεδόν οι ίδιοι για τους κοντινούς γαλαξίες αλλά εμφανίζουν διαφορές όταν πρόκειται για απόμακρους γαλαξίες.



Η ΛΑΘΟΣ ΑΠΟΨΗ: Διότι οι απομακρυνόμενοι γαλαξίες μέσα στο διάστημα, εμφανίζουν μια μετάθεση Doppler των φασματικών γραμμών. Στο φαινόμενο Doppler η κίνηση απομάκρυνσης ενός γαλαξία από τον παρατηρητή, μεγαλώνει τα μήκη κύματος, πηγαίνοντάς τα προς το ερυθρό (κορυφή.) Στη συνέχεια, το μήκος κύματος παραμένει το ίδιο στο υπόλοιπο ταξίδι του (μέσον). Ο παρατηρητής ανιχνεύει το φως, μετρά τη μετατόπιση Doppler και υπολογίζει την ταχύτητα του γαλαξία (κάτω).

Η ΣΩΣΤΗ ΑΠΟΨΗ: Διότι ο επεκτεινόμενος χώρος επιμηκύνει όλα τα κύματα φωτός καθώς ταξιδεύουν. Οι γαλαξίες εκτελούν μικρές μόνο κινήσεις μέσα στο χώρο, κι έτσι εκπέμπουν σχεδόν τα ίδια μήκη κύματος προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω τους (επάνω). Το μήκος κύματος μεγαλώνει κατά το ταξίδι γιατί επεκτείνεται ο χώρος. Έτσι το φως βαθμιαία κοκκινίζει όλο και πιο πολύ (μέσον και κάτω). Το ποσό της ερυθρής μετατόπισης διαφέρει από την μετατόπιση Doppler.

Σύμφωνα με το συνηθισμένο τύπο του Doppler, αντικείμενα των οποίων η ταχύτητα προσεγγίζει την ταχύτητα του φωτός έχουν ερυθρή μετατόπιση που πλησιάζει το άπειρο. Τα μήκη κύματος τους γίνονται πάρα πολύ μεγάλα για να τα παρατηρήσουμε. Εάν αυτό ίσχυε για τους γαλαξίες, τα πιο απόμακρα ορατά αντικείμενα στον ουρανό θα απομακρύνονταν με ταχύτητες που θα υπολείπονταν λίγο της ταχύτητας του φωτός. Αλλά ο τύπος για την κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση οδηγεί σε ένα διαφορετικό συμπέρασμα. Στο καθιερωμένο μοντέλο της κοσμολογίας, οι γαλαξίες με ερυθρή μετατόπιση περίπου 1,5 -- δηλαδή το φως των οποίων έχει ένα μήκος κύματος 150 τοις εκατό πιο μεγάλο από την εργαστηριακή τιμή -- απομακρύνονται με την ταχύτητα του φωτός. Οι αστρονόμοι έχουν παρατηρήσει περίπου 1.000 γαλαξίες με ερυθρή μετατόπιση μεγαλύτερη από 1,5. Δηλαδή έχουν παρατηρήσει περίπου 1.000 αντικείμενα να κινούνται από μας γρηγορότερα από την ταχύτητα του φωτός. Ή ισοδύναμα, εμείς απομακρυνόμαστε από εκείνους τους γαλαξίες γρηγορότερα από την ταχύτητα του φωτός. Η μικροκυματική ακτινοβολία του κοσμικού υποβάθρου έχει ταξιδέψει ακόμα πιο μακριά και έχει ένα redshift περίπου 1.000. Όταν το καυτό πλάσμα του αρχικού σύμπαντος εξέπεμψε αυτή την ακτινοβολία που βλέπουμε τώρα, απομακρυνόταν από τη θέση μας με περίπου 50 φορές την ταχύτητα του φωτός