

ΑΠΟ ΤΟ ΜΗΔΕΝ ΕΙΣ ΤΟ ΑΠΕΙΡΟΝ II

$t_0 = 0$: Η κβαντική φυσική μας επιτρέπει να φανταστούμε μία τεραστίων διαστάσεων **διακύμανση του κενού** που δημιούργησε το χώρο και το χρόνο. Ο μεγάλος Άγγλος αστρονόμος **Fred Hoyle** το 1960 σε ραδιοφωνική εκπομπή του BBC χαρακτήρισε τη χρονική στιγμή μηδέν κοροϊδευτικά big bang, αλλά επειδή ήταν «πιασάρικο» όνομα έμεινε. Το 1960 όμως δεν υπήρχε σαν εξήγηση ούτε η κβαντική διακύμανση κενού, ούτε ο κοσμικός πληθωρισμός, ούτε το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων. Τότε η χρονική στιγμή μηδέν ήταν η στιγμή που από μία σημειακή ανωμαλία άπειρης πυκνότητας προέκυψε ο χώρος και ο χρόνος. Η θεωρία αυτή τότε «έμπαζε από παντού» με κυρίαρχο το γεγονός ότι σε απειροελάχιστο χρονικό διάστημα το νεογέννητο σύμπαν δε θα είχε κάποιον μηχανισμό να το υποστηρίξει και θα κατέρρεε από την ίδια του του βαρύτητα σε μία συμπαντική μαύρη τρύπα. Το ζήτημα αυτό λύθηκε από τον **Alan Guth** του MIT με την θεωρία του κοσμικού πληθωρισμού. Σύμφωνα με τη θεωρία του πληθωρισμού το σύμπαν πριν καταρρεύσει υπέστη μία γιγάντια διαστολή σε πολύ μικρό χρόνο. Ο κοσμικός πληθωρισμός ήρθε σαν «μάννα εξ ουρανού» στους κοσμολόγους που είχαν βαλτώσει και είχαν εγκαταλείψει την big bang. Μπορεί η πληθωριστική θεωρία του Guth να έχει μόνο θεωρητική βάση όμως ερμηνεύει και άλλα παρατηρησιακά δεδομένα όπως:

--Τις μετρήσεις του δορυφόρου WMAP και Planck που κατέληξαν στο ότι το σύμπαν έχει την πιο **απλή γεωμετρία**, χωρίς καμπύλες παρά μόνο ευθείες. Με άλλα λόγια είναι **Ευκλείδειο**.

--Το γεγονός της μετάδοσης των ανισοτροπιών της αρχικής «έκρηξης», ανισοτροπίες που τελικά έδωσαν τις παρατηρούμενες σήμερα πολύπλοκες δομές(γαλαξίες, σμήνη γαλαξιών κλπ).

Για την **zero time for universe** και το τι έγινε τότε που το 1 τρισεκατομμυριοστό του δευτερολέπτου ήταν ένας τεράστιος χρόνος, περιμένουμε είτε μία συγκλονιστική ανακάλυψη από το James Web, είτε να συλλάβουμε κάποια από τα εξαφανισμένα νετρίνο και μαγνητικά μονόπολα της εποχής αυτής που προβλέπονται από τις μεγάλες ενοποιημένες θεωρίες καθώς τότε δεν υπήρξε χωριστά η ηλεκτρομαγνητική δύναμη, είτε μία νέα επαναστατική θεωρία που θα ανατρέψει την big bang.

0 – 10^{-44} s: Περίοδος Plank. Ενοποιημένες οι 4 δυνάμεις = **θεωρία των πάντων.**

$10^{-44} - 10^{-36}$ s: Μεγάλες ενοποιημένες θεωρίες(GUT) ενοποιημένες οι 3 δυνάμεις πλην βαρύτητας.

10^{-36} s: Η ισχυρή αλληλεπίδραση **διαχωρίζεται** από τις άλλες 2 που αποτελούν την ηλεκτρασθενή.

10^{-36} s – 10^{-33} s: **Κοσμικός πληθωρισμός:** Εκθετική διαστολή του σύμπαντος με $u = 100c$, τελική διάμετρος = 10^{26} αρχικής.

10^{-33} s: Διαχωρισμός των 4 γνωστών δυνάμεων.

$10^{-33} - 1$ s: Σύμπαν με μία **θάλασσα quark**.

1 s – 3 min: **Αρχέγονη πυρηνοσύνθεση.** Τα quark ενώνονται ανά 3 και δίνουν πρωτόνια(πυρήνες υδρογόνου) και νετρόνια. Οι πρώτες θερμοπυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης δίνουν σωματίδια α = πυρήνες He. Η αναλογία των περισσότερων πρωτονίων που δεν συντήχθηκαν -πυρήνες ηλίου είναι ίδια με αυτή που παρατηρείται σήμερα(90% υδρογόνο , 9 % He, 1% βαρύτερα στοιχεία)

3 min – 380.000 χρόνια: Η **σκέδαση Compton** των φωτονίων σε μία θάλασσα ταχέως κινούμενων ηλεκτρονίων κρατάει τα φωτόνια δέσμια και το σύμπαν είναι **αδιαφανές**.

380.000 χρόνια: **Εποχή της επανασύνδεσης.** Το σύμπαν διαμέτρου 42 εκατομμυρίων ετών φωτός ψύχεται στους 3000 K. Δημιουργούνται συνθήκες ικανές ώστε τα ηλεκτρόνια να δεσμευτούν από τους πυρήνες δίνοντας ουδέτερα άτομα και μόρια. Τα φωτόνια βρίσκουν την ευκαιρία να αποδράσουν. Η τότε ακτινοβολία λαμβάνεται σήμερα ως μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου **μέλανος σώματος 2,7 K** που είναι και η σημερινή θερμοκρασία του σύμπαντος.

380.000 χρόνια – 200 εκατομμύρια χρόνια περίπου: **Σκοτεινοί αιώνες όπου το σύμπαν είναι αδιαφανές καθώς:**

1. Το σύμπαν είναι γεμάτο από μοριακό υδρογόνο και ήλιο καθώς και μικρές ποσότητες ατομικού υδρογόνου.

2. Το μοριακό υδρογόνο δεν είναι πολικό μόριο και δεν ανιχνεύεται στα ραδιοκύματα.

3. Τα φωτόνια που ελευθερώθηκαν στα 380.000 χρόνια μέσα σε 2-3 εκ. χρόνια παρουσίασαν μεγάλες ερυθρές μετατοπίσεις πολύ μακριά από το ορατό.

4. Το ατομικό υδρογόνο ανιχνεύεται στα ραδιοκύματα καθώς εκπέμπει την γραμμή των 21 cm. Η γραμμή αυτή όμως είναι πολύ ασθενής και έρχεται με πολύ μεγάλη κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση.

Επαναϊονισμός

Από τη στιγμή που δημιουργήθηκαν τα πρώτα αστέρια η ακτινοβολία τους εκπέμπεται στο σύμπαν στο οποίο δεν έχουν εμφανιστεί ακόμα τα πυκνά σύννεφα υδρογόνου σαν συνέπεια των αρχικά απειροελάχιστων ανισοτροπιών της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου. Η ακτινοβολία των πρώτων άστρων επομένως **διασκορπίζεται στο χώρο χωρίς να ιονίζει την ύλη** και καθώς έρχεται **σε πολύ μεγάλες κοσμολογικές ερυθρές μετατοπίσεις** δεν την έχουμε συλλάβει ακόμα.

Κάποια στιγμή μεταξύ 200 – 500 εκ. ετών που σχηματίστηκαν πυκνά νέφη υδρογόνου η υπεριώδης ακτινοβολία των νεαρών **υπερ - υπεργιγάντων** (πιθανώς και πάνω από 100 ηλιακές μάζες) και καυτών (πάνω από 100.000 K) αστέρων άρχισε να ιονίζει το υδρογόνο του σύμπαντος καθιστώντας το πλέον διαφανές. Ο επαναϊονισμός ήταν μία συνεχής διαδικασία που διήρκεσε από τα 200 εκ χρόνια έως τα 1 δις χρόνια περίπου.

Σήμερα με το Hubble έχουμε γυρίσει το χρόνο στα **400 εκ. χρόνια μετά την big bang** με την παρατήρηση του **γαλαξία GN-z11 με ερυθρή μετατόπιση $z = 11,1$** και απόσταση **32 δις έτη φωτός**. Υπάρχουν δε ενδείξεις και για γαλαξία στα 34 έτη φωτός. Όπως και να έχει το **James Web** προορίζεται να «δει» αντικείμενα **με $z \approx 20$** ή 180 εκατομμύρια χρόνια μετά την big bang, αρκετά για να δούμε τους πρώτους γαλαξίες (≈ 270 εκ. χρόνια) και τα πρώτα αστέρια (≈ 100 έως 180 εκ. χρόνια).

Μετά τα 400 εκατομμύρια χρόνια όπου και παρατηρήθηκε ο γαλαξίας GN-z11 το σύμπαν είναι ανοιχτό βιβλίο ως προς το τι συνέβη, κλειστό ακόμα όμως όσον αφορά την ερμηνεία κορυφαίων ζητημάτων (σκοτεινή ύλη και ενέργεια, μαύρες

τρύπες, τεράστιο μαγνητικό πεδίο αστέρων νετρονίων) και πάρα πολλά επιμέρους.

ΠΑΡΕΝΘΕΣΗ: ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Μετατόπιση z φασματικής γραμμής λόγω φαινομένου Doppler

Μία φασματική γραμμή που από ακίνητη πηγή λαμβάνεται σε μήκος κύματος λ_0 , από κινούμενη πηγή θα ληφθεί σε μήκος κύματος λ .

1. Αν η πηγή απομακρύνεται η φασματική αυτή γραμμή θα ληφθεί σε μεγαλύτερο μήκος κύματος $\lambda > \lambda_0$ (**μετατόπιση προς το ερυθρό**).

2. Αν η πηγή μας πλησιάζει η φασματική γραμμή θα ληφθεί σε μικρότερο μήκος κύματος $\lambda < \lambda_0$ (**μετατόπιση προς το κυανό**).

Εξισώσεις: $z = |\Delta\lambda|/\lambda_0$ και $z + 1 = \sqrt{\frac{1+v/c}{1-v/c}}$ (1) όπου v η ταχύτητα της πηγής

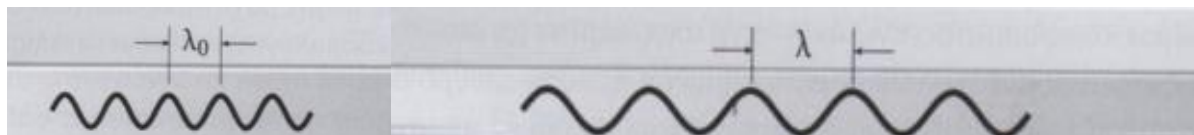
Επειδή πάντα $v < c$ (1) $\Rightarrow z < 1$

Αν είναι $v \ll c$ τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε προσέγγιση στην (1) οπότε $z = v/c$

Ας δούμε τώρα τι σημαίνει **ερυθρή κοσμολογική μετατόπιση z**.

Η μετατόπιση αυτή παρά το γεγονός ότι δίνεται από την ίδια εξίσωση ($z = \Delta\lambda/\lambda_{\text{αρχ}}$) είναι τελείως διαφορετική από τη μετατόπιση λόγω φαινομένου Doppler καθώς οφείλεται στην ίδια τη διαστολή του χώρου και όχι στη σχετική κίνηση ενός αντικειμένου ως προς εμάς. Επιπλέον η κοσμολογική μετατόπιση είναι μόνο ερυθρή.

Για να κατανοήσουμε τι είναι η ερυθρή κοσμολογική μετατόπιση ας φανταστούμε ένα μπαλόνι στο οποίο έχουμε κάνει τελείες που απέχουν όσο το αρχικό μήκος κύματος. Καθώς φουσκώνουμε το μπαλόνι οι τελείες αυτές απομακρύνονται μεταξύ τους δηλαδή μεγαλώνει το μήκος κύματος (σχ. κάτω).



Είναι σαφές ότι η κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση είναι συνάρτηση του χρόνου. Μετρώντας την επομένως βρίσκουμε πριν πόσα χρόνια ξεκίνησε το

ταξίδι της από την πηγή η ακτινοβολία της οποίας μετρήσαμε το z αλλά και την απόσταση της πηγής από εμάς.

Νόμος Hubble – Lemaitre

«Η ταχύτητα απομάκρυνσης ενός γαλαξία από εμάς λόγω διαστολής του σύμπαντος είναι ανάλογη με την απόσταση του γαλαξία από εμάς»

$$v = Hr$$

Όπου H η σταθερά Hubble ή ακριβέστερα η παράμετρος Hubble καθότι δεν είναι σταθερή αλλά συνάρτηση του χρόνου κάτι που όμως ο Hubble δεν έλαβε υπόψη του χωρίς αυτό να αλλοιώνει το μέγεθος της ανακάλυψης της διαστολής του σύμπαντος.

Σήμερα τα πράγματα είναι πολύ διαφορετικά από την εποχή του Hubble. Το σύμπαν διαστέλλεται επιταχυνόμενο και υπάρχουν πολύ μακρινοί γαλαξίες με ταχύτητες μεγαλύτερες του φωτός. Όπως και στον κοσμικό πληθωρισμό έτσι και εδώ **δεν παραβιάζεται η αρχή της σχετικότητας καθώς η ταχύτητα αυτή οφείλεται στη διαστολή του χώρου και όχι σε αυτή καθ' εαυτή την κίνηση του γαλαξία.**

Η κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση z εξαρτάται από έναν παράγοντα κλίμακας που είναι συνάρτηση του χρόνου και προκύπτει από την μετρική $g_{\mu\nu}$ της ΓΘΣ για επιταχυνόμενη διαστολή του σύμπαντος. Μία τέτοια μελέτη ξεφεύγει από τους σκοπούς της ανάρτησης και δεν διδάσκεται ούτε σε εισαγωγικά μαθήματα αστρονομίας στα πανεπιστήμια.

Για ταχύτητες απομάκρυνσης πολύ μικρότερες από την ταχύτητα του φωτός χρησιμοποιούμε και για την κοσμολογική ερυθρή μετατόπιση την προσεγγιστική εξίσωση Doppler σε συνδυασμό με τον νόμο Hubble – Lemaitre

$$z = v/c \Rightarrow z = Hr/c \Rightarrow r = cz/H$$

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Έστω ότι παρατηρήσαμε τη μπλε γραμμή του ιονισμένου υδρογόνου από έναν γαλαξία στα $\lambda = 484,8 \text{ nm}$. Η γραμμή αυτή από ακίνητη πηγή λαμβάνεται στα $\lambda_0 = 480 \text{ nm}$ άρα $z = \Delta\lambda/\lambda_0 = 0,01$. Για τόσο μικρά z χρησιμοποιούμε τον προσεγγιστικό τύπο $z = v/c \Rightarrow v = 0,01c$.

Νόμος Hubble – Lemaitre: $v = Hr$ όπου r η απόσταση του γαλαξία $r = v/H \Rightarrow$

$r = (0,01 \times 300.000 \text{ km/s}) : 71 \text{ km.s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1} \Rightarrow r = 42,25 \text{ Mpc} = 138.000.000 \text{ έτη φωτός.}$

ΤΟ ΣΥΜΠΑΝ ΣΗΜΕΡΑ ΚΑΙ ΑΥΡΙΟ

Φτάσαμε στο σημείο να δούμε πως είναι σήμερα το σύμπαν και τι προβλέψεις υπάρχουν για το μέλλον του.

Η επικρατούσα άποψη για το πως είναι σήμερα το σύμπαν συμπυκνώνεται στη θεωρία **Λ -CDM** (**Lamda - Cold Dark Matter**). Το Λ ήταν η κοσμολογική σταθερά που είχε εισάγει ο Einstein στις εξισώσεις πεδίου της ΓΘΣ με ρόλο να αντισταθμίζει την βαρύτητα σε ένα στατικό σύμπαν όπως πίστευε, ώστε αυτό να μην καταρρέει. Όταν ο Hubble το 1929 θεμελίωσε τη διαστολή του σύμπαντος ο Einstein απέσυρε την Λ από τις εξισώσεις του λέγοντας ότι ήταν το μεγαλύτερο λάθος του.

Σήμερα η Λ επανέρχεται με άλλο ρόλο όμως. Σε ρόλο σκοτεινής ενέργειας που επιταχύνει τη διαστολή του σύμπαντος.

Η Λ CDM:

1.Αποδέχεται την big bang με ότι αυτή συνεπάγεται(κοσμικός πληθωρισμός, δομή της κοσμικής μικροκυματικής ακτινοβολίας υποβάθρου, συμφωνία των παρατηρούμενων ποσοτήτων υδρογόνου, ηλίου και λιθίου με αυτές της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης).

2.Αποδέχεται την κοσμολογική αρχή «Σε μεγάλη κλίμακα το σύμπαν είναι ομοιογενές και ισότροπο»

3.Αποδέχεται τη ΓΘΣ σαν την σωστή θεωρία βαρύτητας.

4.Αποδέχεται τις μετρήσεις που δίνουν επίπεδη γεωμετρία στο σύμπαν και θεωρεί ότι το σύμπαν σήμερα εκπέμπει σαν **μέλαν σώμα** θερμοκρασίας **$T = 2,7 \text{ K}$** .

Βασικά στοιχεία του σύμπαντος με βάση τη Λ CDM

Ηλικία $(13,799 \pm 0,021)10^9 \text{ years}$

Πυκνότητα ίση με την κρίσιμη $\rho_c = (8,62 \pm 0,12)10^{-27} \text{ kg/m}^3$ που εξασφαλίζει την παρατηρούμενη επιπεδότητα του σύμπαντος και την επ' άπειρον διαστολή του.

Ερυθρή μετατόπιση κατά την αποσύνδεση (380.000 years) $z = 1089,90 \pm 0,23$
Σταθερά Hubble σήμερα $H_0 = (67,74 \pm 0,46) \text{ km/s/Mpc}$

Ορίζοντας Hubble ή ορίζοντας γεγονότων είναι μία σφαίρα ακτίνας R_h όπου αντικείμενα στην επιφάνειά της έχουν οριακά ταχύτητα $u = c$. Έτσι αντικείμενα εντός αυτής κάποτε θα γίνουν ορατά ενώ αντικείμενα εκτός αυτής με $u > c$ δε θα γίνουν ποτέ ορατά.

Από το νόμο του Hubble σήμερα με παράμετρο Hubble $H_0 = 68 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Mpc}^{-1}$
 $u = H_0 r \Rightarrow c = H_0 R_h \Rightarrow R_h = c/H_0 = 4411,8 \text{ Mpc} \Rightarrow \mathbf{R_h = 14,4 \text{ δις ε.φ}}$

Μέγιστη ακτίνα Hubble: Λόγω διαστολής του σύμπαντος η ακτίνα Hubble μεγαλώνει. Αποδεικνύεται μέσω της ΓΘΣ ότι η μέγιστη ακτίνα Hubble είναι $\mathbf{R_{h(max)} = 18 \text{ δις ε.φ}}$

Παρατηρήσιμο σύμπαν είναι μία σφαίρα ακτίνας $r = 46,5 \text{ δις ε.φ}$ εντός της οποίας μπορούμε σήμερα να παρατηρήσουμε αντικείμενα. Όταν η ακτίνα Hubble φτάσει στη μέγιστη τιμή της και το παρατηρήσιμο σύμπαν θα φτάσει τη μέγιστη τιμή του με $\mathbf{r_{max} = 61 \text{ δις ε.φ}}$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: υπάρχει μεγάλη σύγχυση όσον αφορά το παρατηρήσιμο σύμπαν καθώς ταυτίζεται με τη σφαίρα Hubble ή ακόμα με την ηλικία του. **Ηλικία 13,8 δις και ακτίνα 13,8 δις ε.φ**

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Το σύμπαν δεν είναι σφαιρικό και δεν έχει συγκεκριμένο κέντρο και ακτίνα. Σφαιρικό είναι το παρατηρήσιμο σύμπαν με κέντρο εμάς και ακτίνα $r = 46,5 \text{ δις ε.φ}$. Κάθε παρατηρητής σε οποιονδήποτε γαλαξία θα έχει το δικό του παρατηρήσιμο σύμπαν. **Το σύμπαν καθ' εαυτό έχει ασαφή όρια και είναι επίπεδο χωρίς καμπύλες.**

Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

Σύμφωνα με το **πιθανότερο σενάριο** το σύμπαν θα διαστέλλεται χωρίς όριο. Αργά στην αρχή θα αποχωριστούν τα βαρυτικά συνδεδεμένα αντικείμενα(γαλαξίες, σμήνη γαλαξιών, τα πλανητικά συστήματα κλπ).

Στη συνέχεια η διαστολή θα γίνει πολύ γρήγορη μέχρι να αποχωριστούν μόρια άτομα , ακόμα και ατομικοί πυρήνες ακόμα και στην απειροελάχιστη κλίμακα Plank. Τέλος δε θα υπάρχουν οι 4 αλληλεπιδράσεις ούτε ο ίδιος ο χωρόχρονος. Το σύμπαν θα καταλήξει σε ένα **ασυνήθιστο είδος μοναδικότητας**.

Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο όταν το σύμπαν με τη σημερινή του μορφή καταστραφεί σύμφωνα με το πρώτο σενάριο, αλλά θα εμφανιστούν νέα σωματίδια, νέες αλληλεπιδράσεις και νέες δομές. **Δηλαδή ένα νέο σύμπαν**.

Το πιο παλιό σενάριο είναι ο **θερμικός θάνατος** του σύμπαντος σύμφωνα με το οποίο το σύμπαν καθώς διαστέλλεται, γίνεται πιο αραιό και ψυχρό οπότε θα καταλήξει σε υποατομικά σωματίδια και φωτόνια μέγιστης εντροπίας, θα αποκατασταθεί θερμοδυναμική ισορροπία χωρίς ροή θερμότητας πουθενά. Ωστόσο σήμερα δεν θεωρείται σίγουρο ότι τελικά το σύμπαν θα καταλήξει σε κατάσταση θερμοδυναμικής ισορροπίας. Γενικά το σενάριο αυτό δεν «παίζει» σήμερα και αντί για την θερμοδυναμική την όποια απάντηση δίνει η κβαντική φυσική.

Το πιο απίθανο σενάριο είναι αυτό σύμφωνα με το οποίο θα σταματήσει η διαστολή και θα αρχίσει μία αντίστροφη πορεία μέχρι την αποκαλούμενη **μεγάλη σύνθλιψη(το αντίστροφο της big bang)**.