

Το Σύμπαν ψύχεται και εμφανίζονται οι πυρήνες (Steven Weinberg, φυσικός, νομπελίστας)

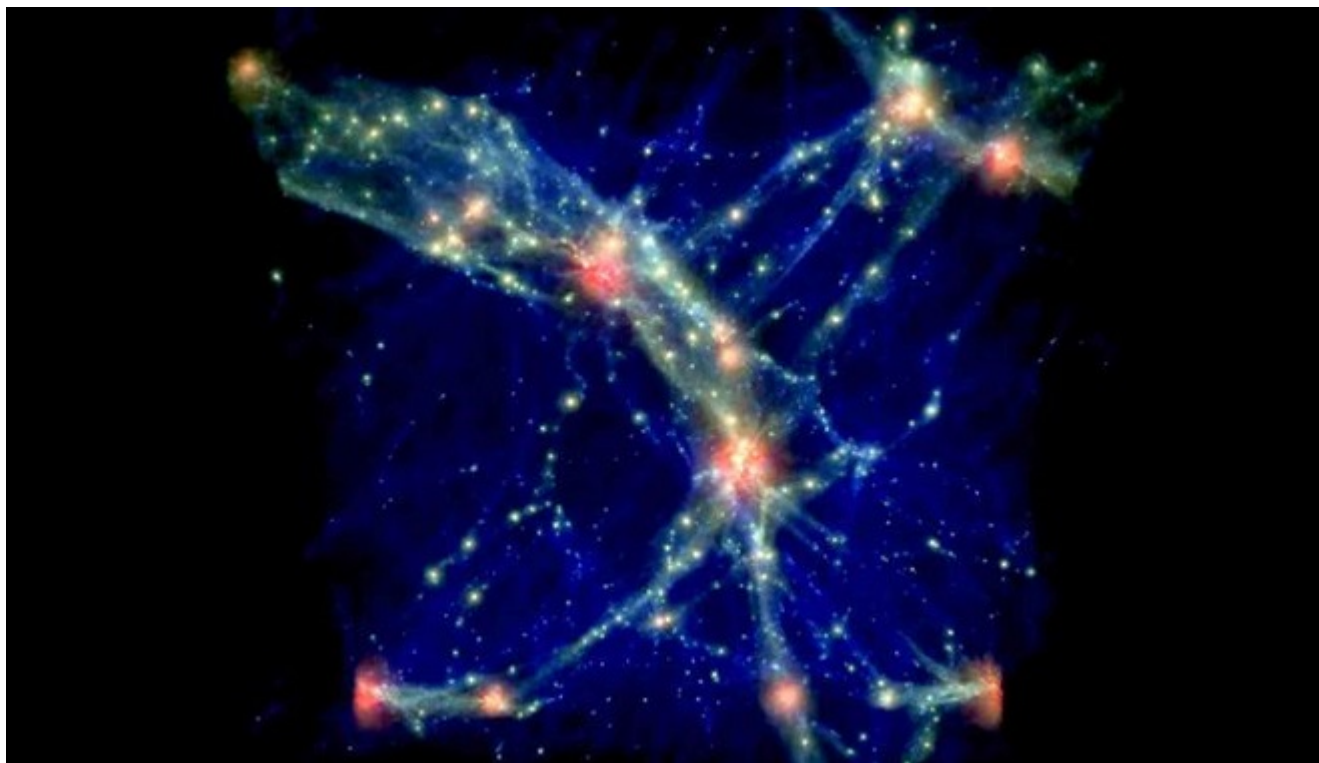
/ [Πεμπτούσια](#)



[Προηγούμενη δημοσίευση: <http://www.pemptousia.gr/?p=179760>]

Από εδώ και στο εξής, όταν θα αναφερόμαστε στη θερμοκρασία του σύμπαντος θα εννοούμε τη θερμοκρασία των φωτονίων. Με την ταχεία εξαφάνιση ηλεκτρονίων και ποζιτρονίων, η πυκνότητα ενέργειας του σύμπαντος είναι τώρα κάπως μικρότερη από όσο θα ήταν αν απλώς μειωνόταν ανάλογα προς την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας.

Η θερμοκρασία πλέον είναι αρκετά χαμηλή επιτρέποντας τον σχηματισμό διάφορων σταθερών πυρήνων, όπως το ήλιο (^4He), αλλά αυτό δεν συμβαίνει αμέσως. Ο λόγος είναι πως το σύμπαν διαστέλλεται ακόμη τόσο γρήγορα, με αποτέλεσμα οι πυρήνες να μπορούν να σχηματιστούν μόνο από μια σειρά γρήγορων αντιδράσεων με δύο σωματίδια. Για παράδειγμα, ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο μπορούν να σχηματίσουν έναν πυρήνα βαρέος υδρογόνου, ή δευτερίου, ενώ η επιπρόσθετη ενέργεια και η ορμή διατίθενται στην εκπομπή ενός φωτονίου. Ο πυρήνας δευτερίου μπορεί τότε να συγκρουστεί με ένα πρωτόνιο ή ένα νετρόνιο, σχηματίζοντας είτε έναν πυρήνα από το ελαφρύ ισότοπο ήλιο-3 (^3He), που αποτελείται από δύο πρωτόνια και ένα νετρόνιο, είτε σχηματίζοντας το βαρύτερο από τα ισότοπα του υδρογόνου, γνωστό ως τρίτιο (^3H), που αποτελείται από ένα πρωτόνιο και δύο νετρόνια. Τέλος, το ήλιο-3 μπορεί να συγκρουστεί με ένα νετρόνιο, και το τρίτιο μπορεί να συγκρουστεί με ένα πρωτόνιο, σχηματίζοντας και στις δύο περιπτώσεις έναν πυρήνα κοινού ηλίου (^4He), που αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Αλλά για να συμβεί αυτή η σειρά αντιδράσεων, είναι απαραίτητο να συντελεστεί το πρώτο βήμα, η παραγωγή δευτερίου.



Τώρα το κοινό ήλιο αποτελεί έναν πολύ σταθερό πυρήνα, επομένως, όπως προανέφερα, μπορεί πράγματι να συγκρατηθεί ενωμένος στη θερμοκρασία που επικρατούσε στο τρίτο καρέ. Ωστόσο, το τρίτιο και το ήλιο-3 είναι πολύ πιο ασταθή, όπως και το δευτέριο είναι ιδιαίτερα ασταθές. (Για να διασπάσουμε έναν πυρήνα δευτερίου χρειαζόμαστε μόνο το 1/9 της ενέργειας που απαιτείται για να αποσπάσουμε ένα πυρηνικό σωματίδιο από τον πυρήνα του ηλίου.) Στη θερμοκρασία των τριών δισεκατομμυρίων Κέλβιν του τέταρτου καρέ, οι πυρήνες δευτερίου διασπώνται το ίδιο γρήγορα όσο σχηματίζονται, οπότε δεν μπορούν να σχηματιστούν βαρύτεροι πυρήνες. Νετρόνια εξακολουθούν να μετασχηματίζονται σε πρωτόνια, ωστόσο με αρκετά πιο αργό ρυθμό από ό,τι πριν. Η ισορροπία πλέον είναι 17% νετρόνια και 83% πρωτόνια.

ΠΕΜΠΤΟ ΚΑΡΕ. Η θερμοκρασία του σύμπαντος είναι τώρα 1 δισεκατομμύριο Κέλβιν (10^9 K), μόλις 70 φορές πιο θερμή από τη θερμοκρασία που επικρατεί στο κέντρο του Ήλιου. Από το πρώτο καρέ έχουν περάσει 3 λεπτά και 2 δευτερόλεπτα. Τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια έχουν ως επί το πλείστον εξαφανιστεί, και τα φωτόνια, τα νετρίνα και τα αντινετρίνα αποτελούν πλέον τα κύρια συστατικά του σύμπαντος.

Η εκλυόμενη ενέργεια κατά την εξαύλωση ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων προσδίδει στα φωτόνια θερμοκρασία 35% υψηλότερη από τη θερμοκρασία των νετρίνων. Το σύμπαν πλέον είναι αρκετά ψυχρό, με αποτέλεσμα να παραμένουν ενωμένοι οι πυρήνες τριτίου και ηλίου-3 καθώς επίσης και οι πυρήνες κοινού ηλίου, ωστόσο η

«συμφόρηση» του δευτερίου βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη: οι πυρήνες δευτερίου δεν παραμένουν ενωμένοι για αρκετό χρονικό διάστημα ώστε να επιτρέπουν τον σχηματισμό αρκετών βαρύτερων πυρήνων. Οι συγκρούσεις των νετρονίων και πρωτονίων με τα ηλεκτρόνια, τα νετρίνα και τα αντίστοιχα αντισωματίδια έχουν πλέον σταματήσει, αλλά η διάσπαση των ελεύθερων νετρονίων αρχίζει να αποκτά ιδιαίτερη σημασία· κάθε 100 δευτερόλεπτα, το 10% των νετρονίων θα διασπαστούν σε πρωτόνια. Η ισορροπία νετρονίων-πρωτονίων είναι τώρα 14% νετρόνια και 86% πρωτόνια.

ΛΙΓΟ ΑΡΓΟΤΕΡΑ. Κάποια στιγμή, λίγο μετά το πέμπτο καρέ, συμβαίνει ένα δραματικό γεγονός: η θερμοκρασία πέφτει τόσο πολύ επιτρέποντας τον σχηματισμό πυρήνων δευτερίου. Εφόσον έχει ξεπεραστεί η «συμφόρηση» του δευτερίου, βαρύτεροι πυρήνες μπορούν πλέον να σχηματιστούν πολύ γρήγορα, μέσω της σειράς αντιδράσεων με δύο σωματίδια που περιγράψαμε στο τέταρτο καρέ. Ωστόσο, δεν σχηματίζονται αρκετοί πυρήνες βαρύτεροι από το ήλιο εξαιτίας άλλων «συμφορήσεων»: δεν υπάρχουν σταθεροί πυρήνες με πέντε ή οκτώ πυρηνικά σωματίδια. Επομένως, μόλις η θερμοκρασία φτάσει στο σημείο κατά το οποίο οι πυρήνες δευτερίου μπορούν να σχηματιστούν, σχεδόν όλα τα νετρόνια που έχουν απομείνει δεσμεύονται αμέσως σε πυρήνες ηλίου.

[Συνεχίζεται]