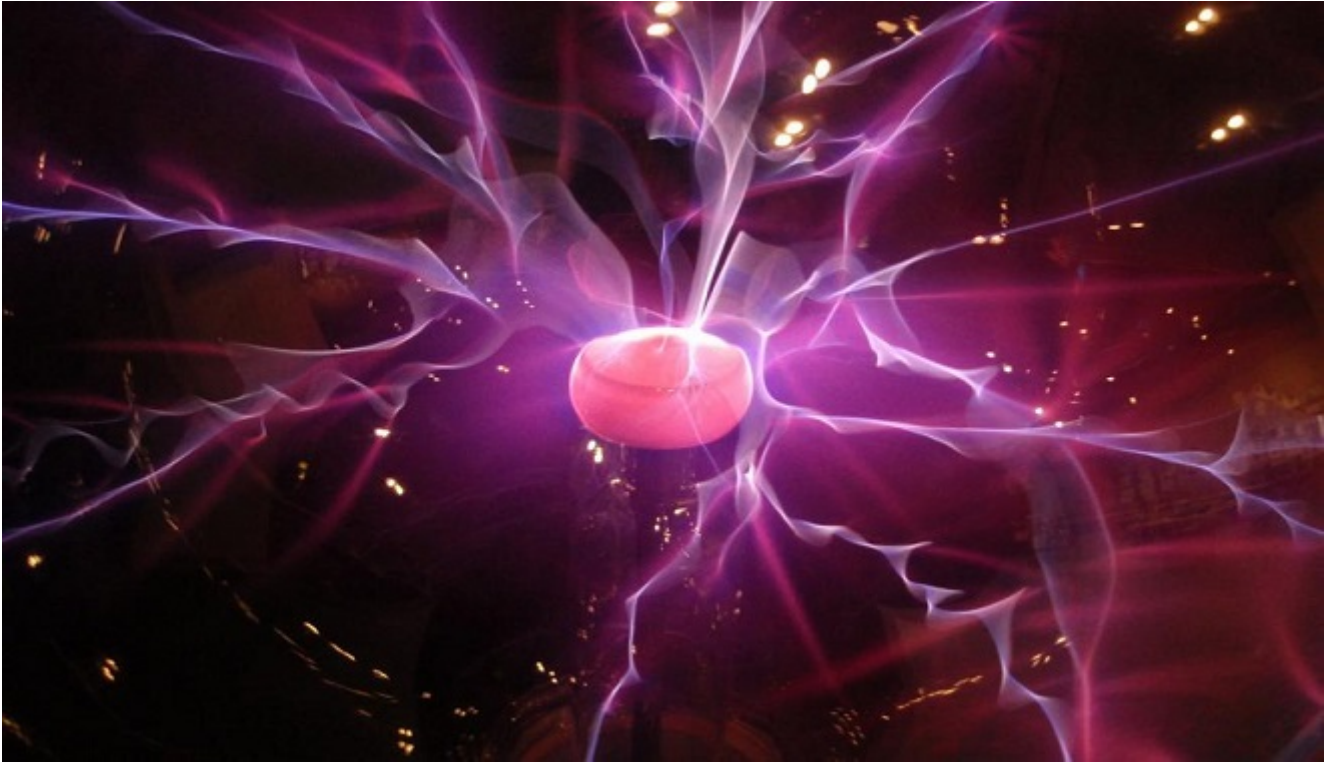


25 Δεκεμβρίου 2017

# Τα «καρέ» της ανάπτυξης του νεογέννητου Σύμπαντος

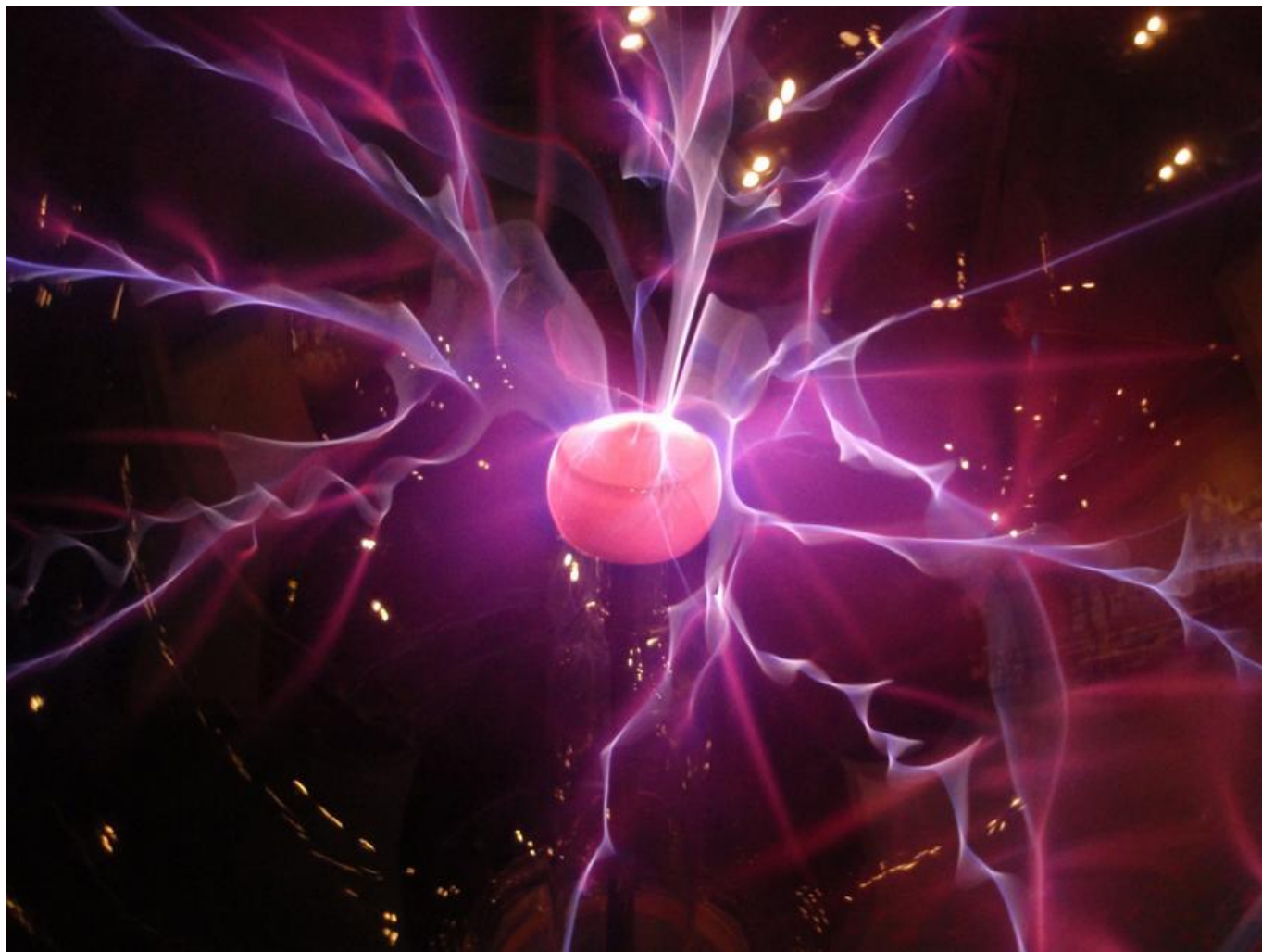
Επιστήμες / Φυσική - Χημεία

Steven Weinberg, φυσικός, νομπελίστας



[Προηγούμενη δημοσίευση: <https://www.pemptousia.gr/?p=179680>]

Εφόσον η θερμοκρασία του σύμπαντος μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς το μέγεθός του, η περιφέρεια του σύμπαντος κατά τη διάρκεια του πρώτου καρέ ήταν μικρότερη από ό,τι είναι σήμερα κατά το λόγο της θερμοκρασίας που επικρατούσε τότε ( $10^{11}$  K) ως προς τη σημερινή θερμοκρασία (3 K). Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η περιφέρεια του σύμπαντος στο πρώτο καρέ ήταν ίση με τέσσερα έτη φωτός. Καμία από τις λεπτομέρειες της περιγραφής της κοσμικής εξέλιξης στα πρώτα λίγα λεπτά δεν εξαρτάται από το αν η περιφέρεια του σύμπαντος ήταν άπειρη ή ίση με μερικά έτη φωτός.



ΔΕΥΤΕΡΟ ΚΑΡΕ. Η θερμοκρασία του σύμπαντος είναι ίση με 30 δισεκατομμύρια Κέλβιν ( $3 \times 10^{10}$  K). Έχουν περάσει 0,11 δευτερόλεπτα από το πρώτο καρέ. Τίποτα δεν έχει αλλάξει ποσοτικά· το περιεχόμενο του σύμπαντος κυριαρχείται ακόμη από ηλεκτρόνια, ποζιτρόνια, νετρίνα, αντινετρίνα και φωτόνια, όλα σε κατάσταση θερμική ισορροπίας και όλα πολύ πάνω από το όριο θερμοκρασίας τους. Συνεπώς, η πυκνότητα ενέργειας έχει μειωθεί ανάλογα προς την τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας, σε περίπου 30 εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη πυκνότητα ενέργειας από αυτήν που αντιστοιχεί στη μάζα ηρεμίας του νερού. Ο ρυθμός διαστολής έχει μειωθεί ανάλογα προς το τετράγωνο της θερμοκρασίας, επομένως ο χαρακτηριστικός χρόνος διαστολής του σύμπαντος έχει τώρα αυξηθεί περίπου σε 0,2 δευτερόλεπτα. Τα σχετικά λίγα πυρηνικά σωματίδια δεν έχουν ακόμη ενωθεί σε πυρήνες, αλλά με τη μείωση της θερμοκρασίας είναι πλέον πολύ πιο εύκολο για τα βαρύτερα νετρόνια να μετατραπούν στα ελαφρύτερα πρωτόνια παρά το αντίστροφο. Η ισορροπία των πυρηνικών σωματιδίων έχει συνεπώς αλλάξει σε 38% νετρόνια και 62% πρωτόνια.

ΤΡΙΤΟ ΚΑΡΕ. Η θερμοκρασία του σύμπαντος είναι ίση με 10 δισεκατομμύρια Κέλβιν

(1010 K). Τώρα έχουν περάσει 1,09 δευτερόλεπτα από το πρώτο καρέ. Σε αυτόν τον χρόνο, η μείωση της πυκνότητας και της θερμοκρασίας έχει αυξήσει τον μέσο ελεύθερο χρόνο των νετρίνων και των αντινετρίνων τόσο πολύ, με αποτέλεσμα να ξεκινούν να συμπεριφέρονται ως ελεύθερα σωματίδια, χωρίς να βρίσκονται πλέον σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας με τα ηλεκτρόνια, τα ποζιτρόνια και τα φωτόνια. Από εδώ και στο εξής, θα πάψουν να παίζουν ενεργό ρόλο στην ιστορία μας, η ενέργειά τους όμως θα συνεχίσει να αποτελεί μέρος της πηγής του βαρυτικού πεδίου του σύμπαντος. Δεν πραγματοποιείται κάποια σημαντική αλλαγή όταν τα νετρίνα απομακρύνονται από την κατάσταση θερμικής ισορροπίας.

[Πριν από την αποσύζευξη (decoupling), τα τυπικά μήκη κύματος των νετρίνων ήταν αντιστρόφως ανάλογα της θερμοκρασίας, και εφόσον η θερμοκρασία μειωνόταν αντιστρόφως ανάλογα προς το μέγεθος του σύμπαντος, τα μήκη κύματος των νετρίνων αυξάνονταν ανάλογα προς το μέγεθος του σύμπαντος. Τα νετρίνα θα εξαπλωθούν μετά την αποσύζευξη, αλλά η γενική μετατόπιση στο ερυθρό θα αυξήσει τα μήκη κύματός τους ανάλογα προς το μέγεθος του σύμπαντος. Αυτό δείχνει, παρεμπιπτόντως, ότι δεν είναι τόσο σημαντικό να καθορίσουμε την ακριβή στιγμή της αποσύζευξης των νετρίνων, επειδή εξαρτάται από τις λεπτομέρειες της θεωρίας των αντιδράσεων των νετρίνων, οι οποίες δεν έχουν ακόμη αποσαφηνιστεί πλήρως.]

Η συνολική πυκνότητα ενέργειας είναι μικρότερη από ό,τι ήταν στο προηγούμενο καρέ κατά έναν παράγοντα ίσο με την τέταρτη δύναμη του λόγου των θερμοκρασιών, οπότε τώρα είναι ισοδύναμη με μία πυκνότητα μάζας κατά 380.000 φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού. Ο χαρακτηριστικός χρόνος διαστολής του σύμπαντος έχει αυξηθεί περίπου σε 2 δευτερόλεπτα. Τώρα η θερμοκρασία είναι μόλις διπλάσια από το όριο θερμοκρασίας των ηλεκτρονίων και των ποζιτρονίων, επομένως ηλεκτρόνια και ποζιτρόνια ξεκινούν πλέον να εξαϋλώνονται πιο γρήγορα από όσο μπορούν να αναδημιουργηθούν από ακτινοβολία.

Παρόλο που η θερμοκρασία μειώνεται, δεν θεωρείται ακόμη αρκετά χαμηλή ώστε τα νετρίνια και τα πρωτόνια να μπορούν να συγκρατηθούν ενωμένα στους ατομικούς πυρήνες για υπολογίσιμο χρονικό διάστημα. Η μείωση της θερμοκρασίας έχει πλέον επιτρέψει τη μετατόπιση της ισορροπίας πρωτονίων-νετρονίων σε 24% νετρίνια και 76% πρωτόνια.

ΤΕΤΑΡΤΟ ΚΑΡΕ. Η θερμοκρασία του σύμπαντος είναι τώρα ίση με 3 δισεκατομμύρια Κέλβιν ( $3 \times 10^9$  K). Από το πρώτο καρέ έχουν περάσει 13,82 δευτερόλεπτα. Βρισκόμαστε τώρα κάτω από το όριο θερμοκρασίας των ηλεκτρονίων και των

ποζιτρονίων, τα οποία ξεκινούν γρήγορα να εξαϋλώνονται, εγκαταλείποντας την ιδιότητά τους ως κύρια συστατικά του σύμπαντος. Η εκλυόμενη ενέργεια κατά την εξαϋλωση ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων μειώνει τον ρυθμό με τον οποίο κρύνει το σύμπαν, επομένως τα νετρίνα, τα οποία δεν απορροφούν καθόλου από αυτήν τη θερμότητα, είναι πλέον κατά 8% ψυχρότερα από τα ηλεκτρόνια, τα ποζιτρόνια και τα φωτόνια.

**[Συνεχίζεται]**

**<http://bit.ly/2BvBjTP>**