

KONTA ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΡΗΞΗ

Πώς από τον *HUBBLE* καταλήξαμε στη Μεγάλη Έκρηξη

Στα 1929 ο αμερικανός αστρονόμος Edwin Hubble¹, μετρώντας το φάσμα απορρόφησης μακρινών γαλαξιών, φάσμα που οφείλονταν στο υδρογόνο, το ασβέστιο και άλλα στοιχεία, παρατήρησε μια μετατόπιση στις μη αναμενόμενες τιμές προς το Ερυθρό μέρος του φάσματος. (Εικόνα 1 αριστερά)

Αυτή η μετατόπιση συμβαίνει όταν μια πηγή φωτός απομακρύνεται από τον παρατηρητή, σύμφωνα με το φαινόμενο *Doppler*².

Σε οποιαδήποτε διεύθυνση κι αν κοιτάζουμε, βλέπουμε γαλαξίες να απομακρύνονται από εμάς και μάλιστα όσο πιο μακριά βρίσκονται, τόσο ταχύτερα απομακρύνονται.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι επειδή το Σύμπαν είναι ομογενές και ισότροπο³ και ο δικός μας Γαλαξίας δεν κατέχει κάποια ιδιαίτερη θέση στο Σύμπαν, την ίδια εικόνα θα έχουμε και αν παρατηρήσουμε το Σύμπαν από οποιονδήποτε άλλο γαλαξία. Δηλαδή και από οποιονδήποτε άλλο γαλαξία θα βλέπαμε γαλαξίες να απομακρύνονται από αυτόν και μάλιστα τους μακρυνότερους του να απομακρύνονται ταχύτερα.

Θα πρέπει συνεπώς να φανταστούμε ότι διαστέλλεται ολόκληρο το Σύμπαν, στο οποίο μέσα περιέχονται οι γαλαξίες. Η διαπίστωση αυτή του *Hubble*, ότι οι γαλαξίες απομακρύνονταν μεταξύ τους, σήμαινε ότι στο μακρινό παρελθόν τους είχαν μια κοινή εκκίνηση. Επομένως, συμπερασματικά καταλήγουμε στη γενική άποψη ότι κάποια στιγμή στο παρελθόν, η ύλη και η ενέργεια του Σύμπαντος θα πρέπει να ήταν συγκεντρωμένη σ' ένα αρχικό «σημείο» με άπειρη θεωρητικά πυκνότητα.

¹Ο Edwin Hubble, Μισούρι, 20 Νοεμβρίου 1889 – Καλιφόρνια, 28 Σεπτεμβρίου 1953) ήταν ένας από τους σημαντικότερους Αμερικανούς αστρονόμους του 20ού αιώνα, γνωστός κυρίως από την ανακάλυψη της αύξησης με την απόσταση της μετατόπισης προς το ερυθρό των φασμάτων των μακρινών γαλαξιών (*Νόμος του Hubble*), πράγμα που επιβεβαίωσε παρατηρησιακά τη συνεχή διαστολή του σύμπαντος και, κατ' επέκτασιν, τη θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης.

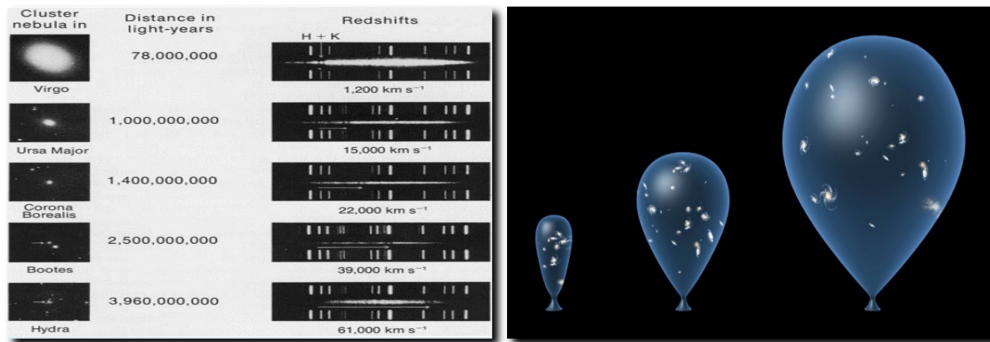
²Η μετατόπιση των γραμμών του φάσματος προς το ερυθρό ή το κυανό προκαλείται από την κίνηση της πηγής που εκπέμπει το φάσμα. Εάν η πηγή κινείται προς τον παρατηρητή, τότε η συχνότητα με την οποία φθάνουν σ' αυτόν οι κορυφές των κυμάτων θα μεγαλώνει και το μήκος του κύματος θα μικραίνει. Αυτό σημαίνει ότι οι φασματικές γραμμές θα μετατοπίζονται προς το κυανό. Αντίθετα αν η πηγή απομακρύνεται από τον παρατηρητή, τότε η συχνότητα της ακτινοβολίας που αυτός δέχεται μικραίνει ενώ το μήκος κύματός της μεγαλώνει και η μετατόπιση των γραμμών του φάσματος θα είναι προς το ερυθρό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται «φαινόμενο *Doppler*».

³Σύμφωνα με ένα δόγμα που οι φυσικοί αποκαλούν «*κοσμολογική αρχή*» το Σύμπαν σε μεγάλες κλίμακες γίνεται ομογενές (δηλαδή είναι παντού ομοιόμορφο) και ισότροπο (δηλαδή φαίνεται ίδιο προς κάθε κατεύθυνση). Αυτό σημαίνει ότι η θέση μας στο Σύμπαν δεν είναι σε καμία περίπτωση ιδιαίτερη.

Περαιτέρω μετρήσεις απέδειξαν ότι το Σύμπαν γεννήθηκε πριν από περίπου 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια σε μια υπέρθερμη και υπέρπυκνη κατάσταση (Big Bang) και έκτοτε διαστέλλεται και φύχεται συνεχώς. Δεν θα πρέπει να παρανοηθεί όμως ότι υπάρχει κάποιο προνομιακό σημείο που να μπορούμε να πούμε ότι είναι το κέντρο του Σύμπαντος. Το Σύμπαν δεν έχει επεκταθεί από κάποιο σημείο, ο ίδιος ο χώρος επεκτείνεται -δημιουργεί χώρο- και μεταφέρει την ύλη μαζί του.

Συγκεκριμένα το υπόβαθρο στο οποίο συμβαίνουν τα γεγονότα είναι ο χωροχρόνος και όταν λέμε ότι το Σύμπαν διαστέλλεται θα πρέπει να συνειδητοποιήσουμε ότι αυτό που διαστέλλεται είναι ο ίδιος ο χώρος και παρασύρει μαζί του, σ' αυτή τη διαστολή, οτιδήποτε υπάρχει στο Σύμπαν.

Η εικόνα που θα μπορούσε να αποδώσει παραστατικότερα αυτή τη διαστολή είναι αυτή με τους γαλαξίες «ζωγραφισμένους» στην επιφάνεια ενός μπαλονιού (Σύμπαν) που «φουσκώνει» συν τω χρόνω. (Εικόνα 1 δεξιά)



Εικόνα 1: (Αριστερά) Τα αποτελέσματα των μετρήσεων του φάσματος απορρόφησης μακρινών γαλαξιών του Edwin Hubble. Διακρίνονται οι γαλαξίες που μετρήθηκαν, οι αποστάσεις τους σε έτη φωτός και η μετατόπιση του φάσματός τους προς το ερυθρό. (Δεξιά) Το διαστελλόμενο Σύμπαν σε μια εικόνα: Όσο ο χρόνος προχωρά δημιουργείται χώρος (το μπαλόνι φουσκώνει) και παρασύρει σ' αυτή του τη διαστολή την ύλη (γαλαξίες) που βρίσκονται «πάνω» του. Όλοι οι γαλαξίες απομακρύνονται από όλους, κεντρικό σημείο δεν υπάρχει στην επιφάνεια του μπαλονιού.

Πόσο κοντά μπορούμε να φτάσουμε στο ... μηδέν

Ας δούμε τώρα πόσο μπορούμε να προσεγγίσουμε την «χωροχρονική στιγμή»⁴ της Μεγάλης Έκρηξης και να αποκρυπτογραφήσουμε τις συνθήκες που επικρατούσαν αυτήν τη στιγμή.

⁴Στην «άκρως εγγύτατη» γειτονιά της χωροχρονικής αυτής στιγμής, η Κοσμολογία και η Φυσική θεωρείται ότι κυριαρχούνται από τα κβαντικά αποτελέσματα της βαρύτητας.

Επειδή οι συνθήκες στην περίοδο αυτή είναι εξαιρετικά ακραίες θα πρέπει να κάνουμε αναφορά σε μια νέα κλίμακα (κλίμακα *Planck*), η οποία θα μπορεί πιο εύκολα και με μεγαλύτερη ακρίβεια να τις περιγράψει. Η κλίμακα *Planck* είναι η κλίμακα πέραν της οποίας οι τρέχουσες φυσικές θεωρίες καταρρέουν, δεν εφαρμόζονται και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αξιόπιστη πρόβλεψη οποιουδήποτε γεγονότος.

Οι Μονάδες της κλίμακας *Planck* είναι φυσικές μονάδες μέτρησης που ορίζονται αποκλειστικά από τις πέντε παγκόσμιες φυσικές σταθερές:

[παγκόσμια σταθερά βαρύτητας (G), ανηγμένη σταθερά *Planck* (\hbar), ταχύτητα φωτός στο κενό (c), σταθερά του *Coulomb* ($k_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$) και σταθερά *Boltzman* (k_B)],

όταν αυτές (οι παγκόσμιες φυσικές σταθερές) λάβουν την αριθμητική τιμή ένα (1).

Στον παρακάτω πίνακα δίδονται οι μονάδες της κλίμακας *Planck*, ο μαθηματικός τους τύπος και η έκφρασή τους στο διεθνές σύστημα (*SI*).⁵

ΜΟΝΑΔΕΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ ΠΛΑΝΚ		
Όνομα	Τύπος	Τιμή (σε μονάδες SI)
Μήκος <i>Planck</i>	$\ell_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}}$	$1.616\ 252 \times 10^{-35} \text{m}$
Μάζα <i>Planck</i>	$m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}}$	$2.176\ 441 \times 10^{-8} \text{kg}$
Χρόνος <i>Planck</i>	$t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}}$	$5.391\ 242 \times 10^{-44} \text{sec}$
Φορτίο <i>Planck</i>	$q_p = \sqrt{4\pi\epsilon_0 \hbar c}$	$1.875\ 545 \times 10^{-18} \text{Cb}$
Θερμοκρασία <i>Planck</i>	$T_p = \sqrt{\frac{\hbar c^5}{G k_B}}$	$1.416\ 785 \times 10^{32} \text{K}$

Η φυσική σημασία των μεγεθών των μονάδων κλίμακας *Planck* δεν είναι τυχαία.

-Το μήκος *Planck* είναι η διάμετρος της μικρότερης δυνατής μελανής οπής.

-Επίσης μάζα *Planck* είναι η μικρότερη μάζα που μπορεί να μεταβληθεί σε μελανή οπή.

-Ο χρόνος *Planck* είναι ο χρόνος που χρειάζεται το φως για να διατρέξει ένα μήκος *Planck*. Θεωρητικά αυτό είναι το μικρότερο χρονικό διάστημα που θα μπορούσε ποτέ να μετρηθεί και είναι περίπου 10^{-43} δευτερόλεπτα.⁶

⁵ Η τιμή των μονάδων της κλίμακας *Planck* στο διεθνές σύστημα μονάδων (*SI*) προκύπτουν αν στον τύπο της κάθε μονάδας *Planck* αντικαταστήσουμε τις τιμές των φυσικών σταθερών στο αυτό σύστημα μονάδων (*SI*). Ενώ, όπως αναφέρθηκε, αν για τις φυσικές σταθερές δεχτούμε ότι λαμβάνουν την τιμή 1, τότε παίρνουμε τις μονάδες *Planck* στην κλίμακα *Planck*.

⁶ Το μικρότερο χρονικό διάστημα που έχει μετρηθεί είναι 12 «attoseconds» (12×10^{-18} δευτερόλεπτα), δηλαδή ένα χρονικό διάστημα κατά περίπου 10^{24} φορές μεγαλύτερο από ένα χρόνο *Planck*. Σύμφωνα με τους νόμους της φύσης, όπως τουλάχιστον τους καταλαβαίνουμε σήμερα, συμβάντα που διαρκούν λιγότερο από ένα τόσο μικρό χρονικό διάστημα δεν μπορούν ούτε να μετρηθούν ούτε να παρατηρηθούν.

-Το φορτίο *Planck* σχετίζεται με τη σταθερά λεπτής υφής⁷ με την πολύ απλή σχέση:
 $q_P = \alpha^{-1/2}$

-Τέλος η θερμοκρασία *Planck* είναι ένα θεμελιώδες όριο στην κβαντική φυσική. Σ' αυτή τη θερμοκρασία η κινητική ενέργεια των σωματιδίων είναι τόσο υψηλή, ξεπερνά τα 10^{19} GeV , που η βαρύτητα γίνεται σημαντική ακόμα και σε κβαντικά επίπεδα.⁸

Συνοψίζοντας, όταν πλησιάζουμε στην κλίμακα *Planck* σημαντικά πράγματα συμβαίνουν στο πεδίο της σωματιδιακής φυσικής. **Ιδιαίτερα όταν φθάνουμε στα όρια των μονάδων μήκους, χρόνου και θερμοκρασίας *Planck* πρακτικά είναι αδύνατον να αποφανθούμε για το τι συνέβαινε στο Σύμπαν πριν από εκείνη τη χωροχρονική στιγμή διότι η φυσική όπως τη γνωρίζουμε παύει να ισχύει!**

Κατά τη διάρκεια της περιόδου από 0 έως 10^{-43} δευτερόλεπτα, οι τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις της φύσης: η Βαρυτική, η Ισχυρά Πυρηνική, η Ασθενής Πυρηνική και η Ηλεκτρομαγνητική, παρουσιάζονται ενοποιημένες σε μία. Η θερμοκρασία φθάνει τους 10^{32} K , η πυκνότητα τα 10^{94} gr/cm^3 .⁹

Όλη η ενέργεια του Σύμπαντος έχει τη μορφή θερμότητας. Η πυκνότητα της ενέργειας, όσο και η καμπυλότητα του χώρου τείνουν προς το άπειρο. Στην «Εποχή *Planck*» το Σύμπαν εξελίσσεται, χωρίς να μας αποκαλύπτει το πώς, μέσα σε μία «σημειακή ανωμαλία» (ιδιομορφία).

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ

*Ως προς τον όρο «σημειακή» ανωμαλία, ο καθηγητής κ. Ν. Σπύρου¹⁰ προβάλλει τις αντιρρήσεις του στο ιδιαίτερα διαφωτιστικό πόνημά του με τίτλο: «Αρχή και Τέλος του Σύμπαντος ... σήμερα και από πολύ παλιά!» εκδόσεων της Ένωσης Ελλήνων Φυσικών [1]. Ο κ. Σπύρου βασίζει εν πολλοίς το περιεχόμενο του πονημάτος του στο περιεχόμενο της ομιλίας του γνωστού καθηγητή Roger Penrose κατά την απονομή σ' αυτόν του βραβείου Nobel Φυσικής 2020 [22], αλλά και σε προηγούμενες σχετικές δημοσιεύσεις του (ήδη από τη δεκαετία του 1960). Υποστηρίζει δε την διαφωνία του ως προς τον όρο «σημειακή», υπολογίζοντας την συνολική εντροπία του «Σύμπαντος Μελανή Οπή», η οποία φθάνει τη στιγμή του *Big Bang* στα $1,025 \times 10^{107} \text{ erg/deg}$! Και σύμφωνα με την σχέση-ορισμό για την εντροπία: $S = k_B \log W$ (γνωστή ως «Εξίσωση Boltzmann») καταλήγει ότι η*

⁷Η σταθερά λεπτής υφής είναι μια θεμελιώδης αδιάστατη φυσική σταθερά που χαρακτηρίζει την δύναμη της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα α .

⁸Αυτή η εξέλιξη επιφέρει μεγάλες ανατροπές στο επίπεδο της κβαντικής φυσικής, διότι για να υπολογιστεί η κβαντική βαρύτητα θα πρέπει να ενοποιηθούν και οι τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις (οι τρεις ενοποιημένες: ισχυρή, ασθενής, ηλεκτρομαγνητική με την βαρυτική) σε μία εννιαία θεωρία, ώστε να έχουμε αποτελέσματα γι' αυτές τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας.

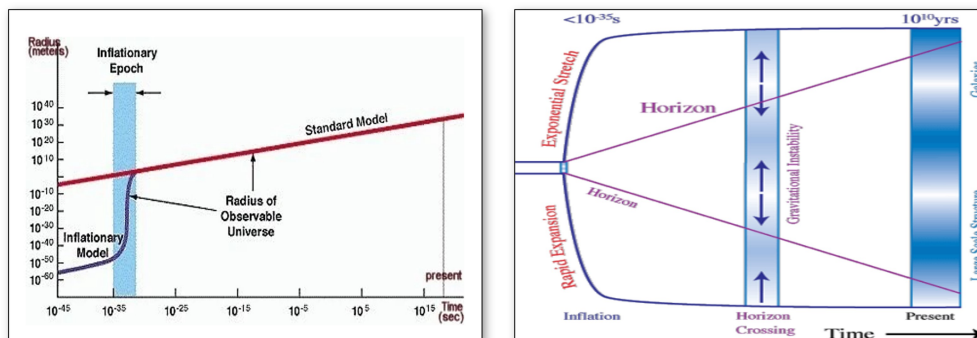
⁹Η μάζα του Σύμπαντος είναι τόσο πυκνή ώστε ένα ολόκληρο σμήνος γαλαξιών θα είχε περίπου τις διαστάσεις ενός ατόμου υδρογόνου.

¹⁰«... ο καθηγητής του ΑΠΘ κ. Νικόλαος Σπύρου είναι -εδώ και 50 χρόνια- συνεχώς, ενεργός ερευνητής και πολυγραφότατος συγγραφέας στο πεδίο της Αστρονομίας και ειδικότερα της Κοσμολογίας...», από τον Πρόλογο του Εκδότη: Ένωση Ελλήνων Φυσικών, του [1] της βιβλιογραφίας.

ποσότητα W , η οποία στη Στατιστική Μηχανική αντιπροσωπεύει τον αριθμό των πραγματικών μικροκαταστάσεων που αντιστοιχούν στην μακροκατάσταση του αερίου, γνωστή και ως «στατιστικό βάρος» του συστήματος και που στην εξίσωση-ορισμό του Boltzmann αποτελεί τον **ΟΓΚΟ** (στον χώρο των φάσεων [10]), παίρνει τελικά την απίστευτα υψηλή τιμή $W = (10^{10})^{123}!!!$ ¹¹
 Καταλήγει λοιπόν στο βιβλίο του¹² ο κ. Σπύρου ότι ο αρχικός όγκος πριν τη Μεγάλη Έκρηξη δεν μπορεί να είναι σημειακός. [1]

Λίγο μετά την «Εποχή Planck»

Βρισκόμαστε στις απειροελάχιστες στιγμές μετά την «Εποχή Planck» (10^{-43} sec). Η θερμοκρασία στο Σύμπαν πέφτει στους 10^{29} K , και η κινητική ενέργεια στα 10^{16} GeV . Έχουμε εισέλθει πλέον στην «Εποχή της Μεγάλης Ενοποίησης» (Grand Unification Epoch). Στις ακραίες θερμοκρασιακές και ενεργειακές συνθήκες που αναφέραμε πιο πάνω, οι τρεις δυνάμεις του Καθιερωμένου Προτύπου παραμένουν ακόμη ενοποιημένες, πλην της βαρυτικής.



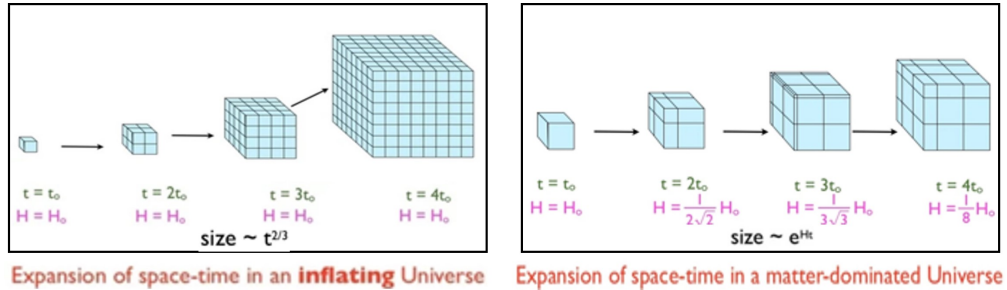
Εικόνα 2: Στην εποχή του Κοσμικού Πληθωρισμού οι διαστάσεις του Σύμπαντος αυξάνονται εκρηκτικά! Σε ένα πολύ μικρό κλάσμα του δευτερολέπτου (από το 10^{-36} sec στο 10^{-32} sec) ο χώρος διαστέλλεται κατά ένα συντελεστή της τάξεως $10^{26}!!!$ (Αριστερά) Στο γράφημα η γαλάζια κατακόρυφη λωρίδα καταδεικνύει την χρονική περίοδο του κοσμικού πληθωρισμού στο Καθιερωμένο Πρότυπο. Μέσα σ' αυτήν, η μωβ καμπύλη του πληθωριστικού μοντέλου «ανεβαίνει» εκθετικά από τα 10^{-40} m στα 10^{-16} m . (Δεξιά) Σχηματική παράσταση της εποχής του κοσμικού πληθωρισμού. Εδώ φαίνεται η εκθετική αύξηση του χώρου στο χρονικό διάστημα περίξ του 10^{-35} sec , καθώς και ο «ορίζοντας» αν ο χώρος ακολουθούσε γραμμική αύξηση.

Το «ρολόι» του Σύμπαντος δείχνει τώρα 10^{-36} sec και η «Εποχή του Κοσμικού Πληθωρισμού» (Cosmic Inflation) έχει ξεκινήσει.

¹¹Αυτό προκύπτει από την αντικατάσταση στην σχέση $\log W = S/k_B$ των τιμών της εντροπίας $S = 1,025 \times 10^{107} \text{ erg/deg}$ και της σταθεράς Boltzmann: $k_B = 1,379 \times 10^{-16}$, οπότε παίρνουμε: $\log W \approx 10^{123}$ και απολογαριθμίζοντας βρίσκουμε το ζητούμενο.

¹²Βλέπε [1] σελίδες 45-57.

Ο κοσμικός πληθωρισμός διαστέλλει τον χώρο κατά ένα συντελεστή της τάξεως 10^{26} στο χρονικό διάστημα από το $10^{-36}sec$ στο $10^{-32}sec$. (Εικόνα 2) Το Σύμπαν υπερψύχεται από τα $10^{27}K$ κάτω από τα $10^{22}K$ και η κινητική του ενέργεια ελαττώνεται στα $10^9 GeV$.



Εικόνα 3: Ένα γεωμετρικό ανάλογο του πληθωριστικού μοντέλου. (Αριστερά) Η πληθωριστική διαστολή του χώρου. Ο χώρος επεκτείνεται εκθετικά με τον χρόνο t (εξάπλωση του χωροχρόνου στο πληθωριστικό Σύμπαν-εποχή του κοσμικού πληθωρισμού). (Δεξιά) Η διαστολή του χώρου γίνεται μη πληθωριστικά. Ο χώρος επεκτείνεται γραμμικά με τον χρόνο t (εξάπλωση του χωροχρόνου στο κυριαρχούμενο από την ύλη Σύμπαν-εποχή κυριαρχίας της ύλης).

Η «ώρα» στο Σύμπαν είναι $10^{-12}sec$ και τη στιγμή αυτή ξεκινάει η **Ηλεκτρασθενής Εποχή** (Electroweak Epoch). Η θερμοκρασία έχει «πέσει» στα $10^{15}K$ ενώ η κινητική ενέργεια είναι κοντά στα $150GeV$. Η ισχυρά πυρηνική δύναμη διαχωρίζεται από τις ηλεκτρομαγνητική και ασθενή πυρηνική, οι οποίες εξακολουθούν να είναι ενωποιημένες.

Μιας και είναι ακόμα πολύ, μα πολύ νωρίς για να δούμε με τα ίδια μας τα μάτια,¹³ ας ρίξουμε μια «ματιά» στην εποχή αυτή με όργανο την θεωρητική φυσική στοιχειωδών σωματιδίων.

Πριν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τα $10^{15}K$ ($150GeV$), η μέση ενέργεια των αλληλεπιδράσεων είναι αρκετά υψηλή και πιο δόκιμο είναι να την περιγράψουμε ως ανταλλαγή διανυσματικών μποζονίων (W_1, W_2, W_3 και B) [ηλεκτρασθενείς αντιδράσεις] και βαθμωτών μποζονίων (h_+, h_-, H_0) [αλληλεπιδράσεις *Higgs*]. Σ' αυτή την εικόνα η τιμή προσδοκίας κενού του πεδίου *Higgs* είναι μηδέν, επομένως όλα τα φερμιόνια είναι χωρίς μάζα. Αλλά και όλα τα ηλεκτρασθενή μποζόνια είναι επίσης χωρίς μάζα, αφού ακόμη δεν έχει ενσωματωθεί η συνιστώσα του πεδίου *Higgs* (η οποία δίνει μάζα

¹³Με τα τηλεσκόπιά μας μπορούσαμε να δούμε τα άδυτα του Σύμπαντος μόνο μετά το 380.000 έτος του, όταν οι *Penzias* και *Wilson* στα 1964 συνέλαβαν στην κεραία τους την Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου (*CMB*). Πριν από αυτό το χρονικό σημείο το Σύμπαν αποτελούνταν από μια αδιαφανή «σούπα» σωματιδίων και δεν άφηνε την ακτινοβολία να εξέλθει και να έλθει - μετά από 13,5 δισεκατομμύρια χρόνια- στα «μάτια» μας. (περισσότερα για την *CMB* Κοσμολογία μπορείτε να βρείτε στο ομώνυμο άρθρο [16] στην ιστοσελίδα agarakis.eu)

στα μποζόνια). Τέλος φωτόνια γ δεν υπάρχουν ακόμα, αυτά θα εμφανιστούν μετά από μια φάση μετάβασης, δηλαδή ως γραμμικός συνδυασμός

$$\gamma = B \cos \theta_w + W_3 \sin \theta_w$$

των μποζονίων B και W_3 , (όπου θ_w είναι η γωνία σχεδίασεως *Wiensberg*)¹⁴ [2]

Η σφαίρα του χώρου που αντιστοιχεί σ' αυτό το σημείο του χρόνου για το παρατηρήσιμο Σύμπαν (δηλαδή το μέγεθος του Σύμπαντος) έχει ακτίνα περίπου 300 δευτερόλεπτα φωτός (δηλαδή 90.000.000 km ή $\sim 0,6AU$).

Συμπερασματικά, λίγο μετά την εποχή *Planck*, πολλά και σημαντικά πράγματα έχουν διαδραματιστεί στο πρώιμο Σύμπαν, όπως η δραματική αύξηση του χώρου στην περίοδο της πληθωριστικής του διόγκωσης, στην οποία το μέγεθός του μεγάλωσε κατά 100 τρισεκατομμύρια τρισεκατομμύρια φορές (10^{26})!!!, **και ακόμα δεν έχει περάσει ούτε ένα δευτερόλεπτο!!!** Έχει επίσης αποσυνδεθεί αρχικά η ισχυρά και κατόπιν η ασθενής πυρηνική δύναμη από την ηλεκτρομαγνητική, καθώς η θερμοκρασία του Σύμπαντος έχει πέσει αισθητά (μέχρι τα $10^{15}K$), αλλά όλα αυτά δεν είναι αρκετά ακόμα για να προκαλέσουν τη δημιουργία μάζας. Το Σύμπαν, ακόμη, αποτελείται μόνο από «καθαρή» ενέργεια.

... και τώρα η δημιουργία των «δομικών λίθων»

Οι δείκτες του ρολογιού τρέχουν κάτω από τα $10^{-12}sec$ και ας δούμε τι αλλαγές έχει να μας επιδείξει το Σύμπαν στην πρώτη αυτή περίοδο μεταξύ $10^{-12}sec$ και $10^{-5}sec$. Η θερμοκρασία εδώ από τα $10^{15}K$ θα «κυλήσει» στα $10^{12}K$, ενώ η κινητική ενέργεια από τα $150GeV$ στα $150MeV$. Διανύουμε πλέον την ... **«εποχή των Κουάρκ»** (Quark Epoch)

Οι δυνάμεις του Καθιερωμένου Προτύπου αναδιοργανώνονται πλέον στα νέα δεδομένα των «χαμηλών θερμοκρασιών». Συμβαίνουν αλληλεπιδράσεις πεδίων *Higgs* και ηλεκτρασθενοús, με αποτέλεσμα την αναδιάταξη σε μποζόνια *Higgs* με μάζα H_0 . Η ασθενής πυρηνική δύναμη μεταφέρεται από μαζικά μποζόνια W_+ , W_- και Z_0 . Ο ηλεκτρομαγνητισμός μεταφέρεται από φωτόνια δίχως μάζα. Το πεδίο *Higgs* αποκτά μη μηδενική αναμενόμενη τιμή κενού, καθιστώντας τα φερμιόνια μαζικά (τους δίνουν μάζα). Παρότι η θερμοκρασία έχει πέσει, οι ενέργειες είναι ακόμη πολύ υψηλές για να επιτρέψουν στα κουάρκ να συνεννωθούν σε αδρόνια, αντ' αυτών δημιουργείται ένα **πλάσμα** κουάρκς-γλουονίων.

¹⁴Η γωνία σχεδίασεως *Wiensberg* είναι ένα μέγεθος (γωνία) που χρησιμοποιείται στη σωματιδιακή φυσική και ειδικότερα στα εργαστήρια και επιταχυντές σωματιδίων για την παραμετροποίηση πολλών μετρήσιμων ποσοτήτων, όπως: ο λόγος μάζας των ασθενών μποζονίων μετρητή (weak gauge bosons), διατομές ασθενούς αλληλεπίδρασης και κάποια παρατηρήσιμα στοιχεία που παραβιάζουν την ισοτιμία (*parity*). Η γωνία αυτή είναι ένα σημαντικό μέγεθος στις ηλεκτρασθενείς αλληλεπιδράσεις, για τα παρατηρήσιμα στοιχεία ακριβείας, ένα σύνολο πειραματικών παρατηρήσιμων στοιχείων που έχουν σχεδιαστεί για να ελέγχουν την εσωτερική συνοχή του Καθιερωμένου Προτύπου. (για περισσότερα βλέπε [2], σελ.1)

... Τιχ! ταχ!, πλησιάζουμε προς το πρώτο δευτερόλεπτο!, η θερμοκρασία του Σύμπαντος ολισθαίνει από τα $10^{12}K$ στα $10^{10}K$ με την κινητική ενέργεια από τα $150MeV$ στο $1MeV$ πλέον. Καλώς ήλθατε στην «εποχή των Αδρονίων» (Hadron Epoch), στην εποχή που δημιουργείται μάζα!

Σ' αυτά τα επίπεδα θερμοκρασίας η κινητική ενέργεια δεν είναι αρκετή για να αποτρέψει τη σύνδεση των κουάρκ τα οποία σχηματίζουν πλέον αδρόνια.¹⁵

Παρότι τα κουάρκ μπορούν πλέον να συνδέονται και να σχηματίζουν βαρυόνια (π.χ. πρωτόνια και νετρόνια) τα νεοσχηματισθέντα σωματίδια είναι ακόμα πολύ λίγα.

Ενδεικτικά, σε κάθε πρωτόνιο που υπήρχε την περίοδο αυτή αντιστοιχούσε ένα δισεκατομμύριο φωτόνια, τα οποία συγκρουόμενα μεταξύ τους παρήγαγαν ζεύγη ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων που, με τη σειρά τους, μετατρέπονταν πάλι σε φωτόνια. Η ακτινοβολία κυριαρχεί, ακόμα, στο Σύμπαν του οποίου μέγεθος έχει ήδη φθάσει τα έξι έτη φωτός. Μια ελαφρά ασυμμετρία ύλης - αντιύλης (ασυμμετρία βαρυονίου) από τις προηγούμενες περιόδους έχει αποτέλεσμα την εξάλειψη των αντιβαρυονίων.

Εμφάνιση των νετρίνο

Στις αρχές της εποχής αυτής (Αδρονίων) τα μίονια και τα νετρίνο τους ήταν κυρίαρχα. Όταν όμως εξαφανίστηκαν τα μίονια, τα νετρίνο τους αποδεσμεύτηκαν και άρχισαν έτσι την ελεύθερη διαστολή τους. Μετά την απελευθέρωση των νετρίνων μιονίου τα ηλεκτρόνια και τα ποζιτρόνια άρχισαν να εξαυλώνονται παράγοντας συγχρόνως φωτόνια. Έτσι, στο τέλος της περιόδου αυτής απέμεινε ένα μόνο ηλεκτρόνιο για κάθε εκατό εκατομμύρια φωτόνια. Με την εξαύλωση των ηλεκτρονίων αποδεσμεύτηκαν και τα νετρίνα ηλεκτρονίου, τα οποία μαζί με τα άλλα είδη νετρίνων αποτελούν έναν ωκεανό κοσμικών νετρίνων που πλημμυρίζουν ολόκληρο το Σύμπαν.

Μέχρι το $0,1sec$ τα μίονια¹⁶ και τα πιόνια¹⁷ βρισκόνταν σε θερμική ισορροπία και

¹⁵Τα αδρόνια είναι στοιχειώδη σωματίδια, τα οποία μπορούν να μετέχουν εκτός των άλλων και σε ισχυρές αλληλεπιδράσεις και πήραν την ονομασία τους από την λέξη «αδρός» (δυνατός). Διακρίνονται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: (α) στα «βαρυόνια» τα οποία είναι **φερμιόνια**, δηλαδή σωματίδια με ημιακέραιο σπιν ($1/2, 3/2, \dots$), που υπόκεινται στην απαγορευτική αρχή του Πάουλι και στην στατιστική Φέρμι-Ντιράκ (για τη στατιστική Φερμι-Ντιράκ βλέπε [3], Παράρτημα Θ, σελ. 155), και (β) στα «μεσόνια» τα οποία είναι **μποζόνια**, δηλαδή σωματίδια με ακέραιο σπιν που ακολουθούν τη στατιστική Μπόους-Αϊνστάιν.[11]

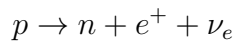
¹⁶Το μύονιο (ή μιονίο) είναι στοιχειώδες σωματίδιο παρόμοιο με το ηλεκτρόνιο, με επίσης αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και σπιν $1/2$. Μαζί με το ηλεκτρόνιο, το ταυ λεπτόνιο, και τα τρία νετρίνα, ανήκει στα λεπτόνια. Είναι ένα ασταθές υποατομικό σωματίδιο με μέση διάρκεια ζωής $2,2\mu s$ και είναι βαρύτερο από το ηλεκτρόνιο και το νετρίνο, αλλά ελαφρύτερο από όλα τα άλλα σωματίδια ύλης.[12]

¹⁷Τα πιόνια είναι υποατομικά σωματίδια με σπιν 0, είναι τα ελαφρύτερα μεσόνια και παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξήγηση των χαμηλής ενέργειας ιδιοτήτων της ισχυρής πυρηνικής δύναμης. Αποτελούνται από κουάρκ πρώτης γενιάς και, αναλόγως της σύστασής τους σε κουάρκ, διακρίνουμε τρία είδη πιονίων: το π^+ που αποτελείται από ένα *up* και ένα *anti-down* κουάρκ, το π^- που αποτελείται από ένα *down* και ένα *anti-up* κουάρκ και το π^0 που είναι συνδυασμός ενός *up* με ένα *anti-up* κουάρκ ή ενός *down* με ένα *anti-down* κουάρκ.[13]

υπερτερούσαν των βαρυονίων σε μια αναλογία περίπου 10:1. Κοντά στο τέλος της εποχής αυτής, όμως, (πλησιάζοντας στο 1sec) θα απομείνουν μόνο ελαφρά σταθερά βαρυόνια (πρωτόνια και νετρόνια) στο Σύμπαν. Η υψηλή πυκνότητα των λεπτονίων στην περίοδο αυτήν, οδηγεί τα νετρόνια και τα πρωτόνια μεταστοιχειώνονται γρήγορα το ένα στο άλλο, υπό την δράση της ασθενούς πυρηνικής δυνάμεως, σύμφωνα με τις αντιδράσεις:



και



οι οποίες ονομάζονται διάσπαση β^{-} και β^{+} αντίστοιχα [14],[15].

Το μίγμα αυτής της κοσμικής «σούπας» πλάσματος περιλαμβάνει και άλλα συστατικά: για κάθε 8 φωτόνια υπάρχουν 9 νετρίνα, 9 αντινετρίνα, 6 ποζιτρόνια και 6 ηλεκτρόνια με ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο για κάθε πρωτόνιο. Λόγω της μεγαλύτερης μάζας του νετρονίου η πρώτη αντίδραση γίνεται αυθόρμητα, ενώ η δεύτερη απαιτεί να δαπανηθεί ενέργεια, έτσι η αναλογία νετρονίων:πρωτονίων, η οποία αρχικά ήταν 50:50, αρχίζει σταδιακά να μειώνεται και τελικά να σταθεροποιηθεί σε 38:62.

(περισσότερα βλέπε στο πλαίσιο κειμένου που ακολουθεί.)

Γιατί τα πρωτόνια είναι περισσότερα από τα νετρόνια;

Η διαφοροποίηση του αριθμού των πρωτονίων και των νετρονίων συνέβη διότι, ενώ τα πρωτόνια είναι ιδιαίτερα σταθερά, τα νετρόνια μπορούν αυθόρμητως να διασπαστούν μέσα σε λίγα λεπτά και να μας δώσουν ένα πρωτόνιο, ένα ηλεκτρόνιο και ένα αντινετρίνο (διάσπαση β^{-}) [14],[15]. Για να διασπαστεί ένα πρωτόνιο απαιτούνται υψηλές ενέργειες (σύγκρουση με υψηλή ταχύτητα ενός πρωτονίου με ένα αντινετρίνο για την παραγωγή ενός νετρονίου και ενός ποζιτρονίου) ή (σύγκρουση ενός πρωτονίου και ενός ηλεκτρονίου για την παραγωγή ενός νετρονίου και ενός νετρίνου). Όταν οι θερμοκρασίες ήταν υψηλές οι συγκρούσεις αυτές μπορούσαν να συμβούν και είχαμε παραγωγή νετρονίων και πρωτονίων στην ίδια αναλογία. Καθώς όμως οι θερμοκρασίες μειώνονταν, οι αντιδράσεις που δίνουν νετρόνια δεν ήταν δυνατόν να λάβουν χώρα (απαιτούνταν υψηλότερες ενέργειες που πλέον δεν υπήρχαν και έτσι άρχισε να αλλάζει και η αναλογία νετρονίων και πρωτονίων υπέρ των πρωτονίων.

Με τη συμπλήρωση του πρώτου δευτερολέπτου μετά τη Μεγάλη Έκρηξη η θερμοκρασία έχει «πέσει» στα $10^{10}K$ και η κινητική ενέργεια στο $1MeV$. Βρισκόμαστε στην «εποχή της Αποσύνδεσης των Νετρίνο» (Neutrino Decoupling)

Τα νετρίνο παύουν να αλληλεπιδρούν με την βαρυονική ύλη και σχηματίζουν το κοσμικό υπόβαθρο νετρίνων.¹⁸ Η αναλογία νετρονίων:πρωτονίων παγιώνεται πλέον στο 1:6. Η σφαίρα του χώρου που αντιστοιχεί σ' αυτή τη χρονική περίοδο είναι περίπου αντίνας 10 ετών φωτός.

¹⁸Τα νετρίνο αυτά είναι τα σωματίδια με την μεγαλύτερη αφθονία στο Σύμπαν, μετά τα φωτόνια της κοσμικής ακτινοβολίας υποβάθρου *CMB* (για την κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου βλέπε [16]).

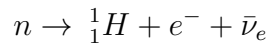
Ο χρόνος τώρα κυλά πιο γρήγορα, το Σύμπαν ψύχεται με βραδύτερους ρυθμούς. Από το 1 έως το 10sec η θερμοκρασία θα πέσει από $10^{10}K$ στα 10^9K και η κινητική ενέργεια από το $1MeV$ στα $100KeV$.

Τα λεπτόνια και τα αντιλεπτόνια παραμένουν σε θερμική ισορροπία, αλλά η ενέργεια των φωτονίων δεν είναι αρκετά υψηλή για παράξει ζεύγη ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων. Τα νετρόνια όμως συνεχίζουν να διασπώνται. Η πυκνότητα του Σύμπαντος φθάνει τώρα τις τέσσερα δισεκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από την πυκνότητα του νερού, ενώ τα σωματίδια που επικρατούσαν είναι τα λεπτόνια, **«εποχή των Λεπτονίων»**. Εκτός από λεπτόνια υπάρχουν σε ως μειονότητα και βαρέα σωματίδια σε μία αναλογία ενός βαρυονίου (πρωτόνια και νετρόνια) για κάθε ένα δισεκατομμύριο φωτόνια, ικανά όμως να οδηγήσουν το Σύμπαν στην επόμενη φάση του...

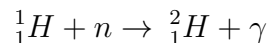
Οι δομικοί λίθοι δημιουργούν «πυρήνες χημικών στοιχείων»

Ο δευτερολεπτοδείκτης του Συμπαντικού ρολογιού έχει χτυπήσει ήδη δέκα φορές και το βέλος του χρόνου έχει πάρει την κατεύθυνσή του προς το σήμερα (αν και είναι ακόμη πολύ πολύ νωρίς). Από το 10 ως το 10^3sec η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 10^9 και 10^7K , και οι ενέργειες μεταξύ 100 και $1KeV$. Η ασήμαντη αναλογία των βαρυονίων στο πλήθος των δισεκατομμυρίων φωτονίων της προηγούμενης περιόδου είναι ικανή, σε αυτές τις συνθήκες, να συνθέσει πρωτόνια και νετρόνια προς δημιουργία των πρώτων **αρχέγονων ατομικών πυρήνων** υδρογόνου (1_1H) και ηλίου-4 (4_2He). Σχηματίζονται επίσης «ίχνη» δευτερίου (2_1H), ηλίου-3 (3_2He) και λιθίου (7_3Li). Βρισκόμαστε στην **«εποχή της πυρηνοσύνθεσης¹⁹»** (Nucleosynthesis Era) Οι αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα για τον σχηματισμό αυτών των πυρήνων είναι:

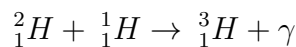
1. Σχηματισμός πρωτονίου (πρωτίο 1_1H)



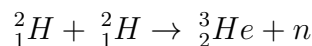
2. Σχηματισμός δευτερίου (2_1H ή D)



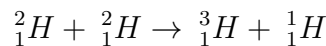
3. Σχηματισμός τριτίου (3_1H ή T)



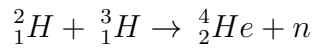
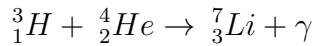
4. Σχηματισμός ηλίου-3 (3_2He)



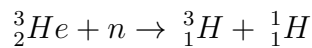
5. Σχηματισμός τριτίου και πρωτίου (από δευτέριο)



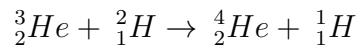
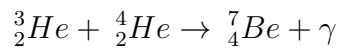
¹⁹Πυρηνοσύνθεση ονομάζεται η διεργασία που παράγει ένα νέο ατομικό πυρήνα από προϋπάρχοντα νουκλεόνια, δηλαδή πρωτόνια, νετρόνια ή και άλλους προϋπάρχοντες ατομικούς πυρήνες.

6. Σχηματισμός ηλίου-4 (${}^4_2\text{He}$)7. Σχηματισμός λιθίου (${}^7_3\text{Li}$)

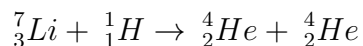
8. Σχηματισμός τριτίου και πρωτίου (από ήλιο-3)



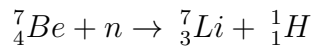
9. Σχηματισμός ηλίου-4 και πρωτίου (από ήλιο-3 και δευτέριο)

10. Σχηματισμός βηρύλλιου (${}^7_4\text{Be}$)

11. Σχηματισμός ηλίου-4 (από λίθιο και πρώτιο)



12. Σχηματισμός λιθίου (από βηρύλλιο)



Εικόνα 4: Οι διαδοχικές πυρηνικές αντιδράσεις που έλαβαν χώρα από το 1ο sec μέχρι το 15ο min μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Τα αρχέγονα χημικά στοιχεία, τα οποία δημιουργήθηκαν στα πρώτα λεπτά του Σύμπαντος είναι το Υδρογόνο (στις τρεις μορφές του -ισότοπα- δηλαδή το πρώτιο, το δευτέριο και το τρίτιο), το Ήλιο (ήλιο-3 και ήλιο-4) το Λίθιο και το Βηρύλλιο.

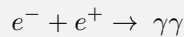
Στην Εικόνα 4 αναπαριστώνται οι παραπάνω αντιδράσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό των αρχέγονων πρώτων πυρήνων στην εποχή της Νουκλεοσύνθεσης.

Στο πλαίσιο κειμένου, που ακολουθεί, αναφέρεται περιγραφικά τι συνέβη στην εποχή της πυρηνοσύνθεσης.

Τι συνέβη στην εποχή της πυρηνοσύνθεσης;

Ελάχιστα πριν την έναρξη της εποχής της πυρηνοσύνθεσης, στο πρώτο δευτερόλεπτο μετά την «γένεση» του Σύμπαντος, η θερμοκρασία του ήταν τόση ($10^{10}K$), ώστε η ύλη μπορούσε να υπάρξει μόνο ως μια υπέρθερμη «σούπα» πρωτονίων, νετρονίων, ηλεκτρονίων, ποζιτρονίων, φωτονίων και νετρίνο.

Λίγα μόνο δευτερόλεπτα αργότερα, τα περισσότερα από τα ηλεκτρόνια και όλα τα ποζιτρόνια εξαυλώθηκαν μεταξύ τους, απελευθερώνοντας ακτινοβολία υπό την αντίδραση



και αφήνοντας ένα μικρό πλεόνασμα ηλεκτρονίων.

Καθώς, όμως, το Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται, περίπου 3 λεπτά μετά την Μεγάλη Έκρηξη, η θερμοκρασία του είχε μειωθεί στους 10^9 °C, δίνοντας το έναυσμα για την εποχή της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης. Αρχικά, τα ελεύθερα νετρόνια άρχισαν να ενώνονται με πρωτόνια (αντίδραση 2), σχηματίζοντας πυρήνες δευτερίου D , ενός δηλαδή εκ των ισωτόπων του υδρογόνου,^α του ελαφρύτερου στοιχείου που υπάρχει στη φύση.

Στη συνέχεια, στα επόμενα 15 περίπου λεπτά, το περισσότερο από το δευτέριο συντήχθηκε σε ήλιο^α (3),(4),(6), ενώ σχηματίστηκαν και ίχνη λιθίου^α (7),(12) και βηρυλλίου^α (10).

Η περαιτέρω, όμως, μείωση της θερμοκρασίας του Σύμπαντος, αλλά και η απουσία σταθερών στοιχείων με 5 και 8 πρωτόνια στον πυρήνα τους, εμπόδισε τον σχηματισμό βαρύτερων πυρήνων και η εποχή της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης έφτασε στο τέλος της.^β (τα βαρύτερα στοιχεία του περιοδικού πίνακα θα σχηματιστούν αρκετά αργότερα στο εσωτερικό των άστρων^γ).

^αΟι ποσότητες του υδρογόνου και του ηλίου που έχουν μετρήσει οι αστρονόμοι ταιριάζουν με μεγάλη ακρίβεια μ' αυτές που προβλέπει η θεωρία ότι παρήχθησαν στην περίοδο αυτή. Σημαντική εξαίρεση αποτελούσε μέχρι πρόσφατα η περιεκτικότητα του Σύμπαντος σε λίθιο, αφού η θεωρητικά προβλεπόμενη τιμή της ήταν περίπου τριπλάσια από την μετρούμενη με βάση τις αστρονομικές παρατηρήσεις.

Η απόκλιση αυτή ονομάστηκε «κοσμολογικό πρόβλημα του λιθίου» [5]. Τελευταίες μελέτες, ωστόσο, φαίνεται ότι επιλύουν το πρόβλημα, παρέχοντας συμφωνία μεταξύ θεωρίας και παρατήρησης και όσον αφορά στην περιεκτικότητα του λιθίου [6].

^βΗ θεωρία που προβλέπει πώς σχηματίστηκαν τα ελαφρύτερα στοιχεία τα πρώτα λεπτά μετά τη μεγάλη έκρηξη ονομάζεται *Νουκλεοσύνθεση της Μεγάλης Έκρηξης* (Big Bang Nucleosynthesis-BBN)

^γΗ πυρηνοσύνθεση στα άστρα και οι εκρήξεις τους παρήγαγαν την ποικιλία των άλλων χημικών στοιχείων και ισωτόπων που είναι γνωστά στις μέρες μας (περιοδικός πίνακας), με μια διεργασία που ονομάζεται «κοσμική χημική εξέλιξη»

Περίπου 20 λεπτά μετά την έναρξη αυτής της διεργασίας (Νουκλεοσύνθεσης),

το Σύμπαν επεκτάθηκε και ψύχθηκε ώστε έφθασε στο σημείο που αυτές οι υψηλής ενέργειας συγκρούσεις ανάμεσα στα νουκλεόνια σταμάτησαν, οπότε πλέον συνέβαιναν μόνο οι ταχύτερες και απλούστερες αντιδράσεις, αφήνοντας το σύμπαν να περιέχει κατά μάζα περίπου 75% πρώτιο υδρογόνο και 24% ήλιο. Το υπόλοιπο περίπου 1% αποτελούνταν από ίχνη άλλων στοιχείων, κυρίως λίθιο και δευτέριο.

Στο τέλος αυτής της εποχής η σφαίρα του χώρου που αντιστοιχεί σ' αυτή τη χρονική περίοδο είναι ακτίνας 300 ετών φωτός, η πυκνότητα της βαρυονικής ύλης είναι της τάξεως των $4\text{gr}/\text{m}^3$ (δηλαδή περίπου το 0,3% της πυκνότητας του αέρα στο επίπεδο της θάλασσας). Ωστόσο η περισσότερη ενέργεια αυτή τη στιγμή βρίσκεται στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Το άλφα βήτα γάμμα της Μεγάλης Έκρηξης

Ένας από τους πρώτους – και μεγαλύτερους φυσικούς του 20ου αιώνα – που ασχολήθηκε με την αρχέγονη πυρηνοσύνθεση στα πρώτα λεπτά της Μεγάλης Έκρηξης ήταν ο George Gamow.

Προβληματίστηκε για το πώς θα μπορούσε να ερμηνεύσει τις αφθονίες των στοιχείων που παρατηρούνται σήμερα, υποθέτοντας ότι δημιουργήθηκαν όταν το Σύμπαν ήταν πολύ μικρότερο και πολύ θερμότερο, μέσω της διαδικασίας που σήμερα αποκαλούμε «αρχέγονη πυρηνοσύνθεση». Εκείνη την εποχή ο Gamow πίστευε πως όλα τα στοιχεία που παρατηρούνται σήμερα δημιουργήθηκαν αμέσως μετά την Μεγάλη Έκρηξη. Το ζήτημα αυτό μελέτησε ο διδακτορικός φοιτητής του, Ralph Alpher, στη διατριβή του.

Ο Gamow ήταν γνωστός για τις φάρσες και τα αστεία που σκάρωνε και όταν είδε πως η εργασία τους («The Origin of Chemical Elements») θα δημοσιευθεί πρωταπριλιά, για να κάνει πλάκα, πρόσθεσε στους συγγραφείς της εργασίας (μεταξύ των ονομάτων Alpher και Gamow) το όνομα του Hans Bethe, ο οποίος φυσικά δεν είχε ιδέα για το περιεχόμενο της εργασίας και ούτε του είχε ζητηθεί η άδεια να χρησιμοποιηθεί το όνομά του.

Έτσι η δημοσίευση αυτή έμεινε στην ιστορία με τα ονόματα των τριών πρώτων γραμμάτων του ελληνικού αλφάβητου, ως το «άλφα», «βήτα» και «γάμμα» της Πυρηνοσύνθεσης [17].

The Origin of Chemical Elements

R. A. ALPHER*
Applied Physics Laboratory, The Johns Hopkins University,
Silver Spring, Maryland

AND

H. BETHE
Cornell University, Ithaca, New York

AND

G. GAMOW
The George Washington University, Washington, D. C.
February 18, 1948

AS pointed out by one of us,¹ various nuclear species must have originated not as the result of an equilibrium corresponding to a certain temperature and density, but rather as a consequence of a continuous building-up process arrested by a rapid expansion and cooling of the primordial matter. According to this picture, we must imagine the early stage of matter as a highly compressed neutron gas (overheated neutral nuclear fluid) which started decaying into protons and electrons when the gas pressure fell down as the result of universal expansion. The

Εικόνα Πλαισίου: Η δημοσίευση των Gamow και Alpher στο περιοδικό Physical Review.

Μεταξύ των ονομάτων των δύο επιστημόνων που την συνέταξαν παρεμβάλλεται και αυτό του Bethe, χωρίς ο ίδιος να έχει καμία απολύτως σχέση με την εργασία, μόνο για να συμπληρώσει την συνέχεια των τριών πρώτων γραμμάτων του ελληνικού αλφάβητου!

Η πρώτη δημοσίευση για την αρχέγονη πυρηνοσύνθεση είχε τον τίτλο: «The Origin of Chemical Elements» [7] και δημοσιεύτηκε στο περιοδικό Physical Review

την 1η Απριλίου του 1948, από τους George Gamow²⁰ και Ralph Alpher, στην οποία για πρώτη φορά γίνεται προσπάθεια περιγραφής των πρώτων λεπτών της Μεγάλης Έκρηξης. (Στο παραπάνω πλαίσιο κειμένου περιγράφεται ως ανέκδοτο η ιστορία αυτής της δημοσίευσης.)

Το Σύμπαν ετοιμάζεται να απελευθερώσει την αντινοβολία.

Στην περίοδο από 10^9sec μέχρι τα 370.000years οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 10^9K μέχρι 4000K και οι ενέργειες από 100KeV μόλις στα $0,4 \text{eV}$. Το Σύμπαν αποτελείται από ένα πλάσμα πυρήνων, ηλεκτρονίων και φωτονίων. (Εικόνα 5 αριστερά)

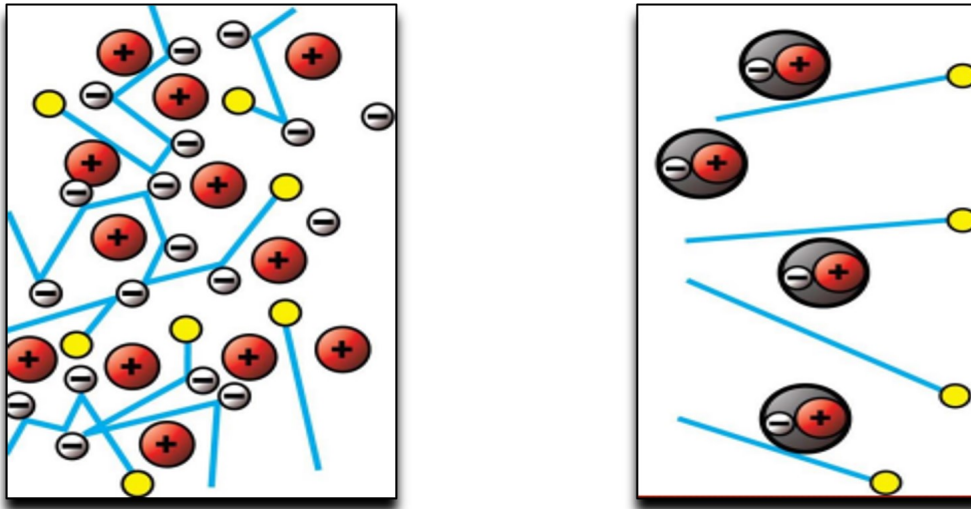
Η θερμοκρασία είναι πλέον πολύ χαμηλή για να δημιουργήσει ζεύγη ηλεκτρονίων-ποζιτρονίων από τα φωτόνια ($\gamma + \gamma^- \rightarrow e^- + e^+$), ή οποιοδήποτε άλλο ζεύγος σωματιδίων, αλλά είναι πολύ υψηλή ακόμα για την σύνδεση του ηλεκτρονίου στον πυρήνα. Έτσι ακόμη δεν είναι δυνατή η δημιουργία ουδετέρων ατόμων. Βρισκόμαστε στην «εποχή των φωτονίων» (Photon Epoch).

Στο τέλος αυτής της περιόδου βρίσκεται η «εποχή επανασύνδεσης» (Recombination Era). Για την Recombination Era βλέπε σελ.48 του [9].

Καθώς το Σύμπαν διαστελλεται και ψύχεται (στους 4000K), τα φωτόνια χάνουν ενέργεια (δεν ξεπερνά τα $0,4 \text{eV}$), δεν βρίσκονται πλέον σε θερμική ισορροπία με την ύλη και δεν είναι ικανά πια να ionίσουν την ύλη. Οι πυρήνες συλλαμβάνουν και δεσμεύουν τα ηλεκτρόνια δημιουργώντας για πρώτη φορά ουδέτερα φορτισμένα άτομα! Αφού δεν έχουν μείνει πια ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια σταματούν να σχεδιάζονται, η μέση ελεύθερη διαδρομή τους γίνεται πολύ μεγαλύτερη (της τάξης μεγέθους του ίδιου του Σύμπαντος) και το φως είναι πλέον ελεύθερο να διαδοθεί, να φτάσει στο ... σήμερα! Είναι η Κοσμική Ακτινοβολία Μικροκυμάτων Υποβάθρου (CMB).²¹ Το Σύμπαν γίνεται για πρώτη φορά διαφανές! (**έτος 380.000!**) (Εικόνα 5 δεξιά) Η σφαίρα του χώρου, που αντιστοιχεί σ' αυτή την περίοδο, έχει ακτίνα $42.000.000$ ετών φωτός και ονομάζεται «επιφάνεια τελευταίας σκέδασης» (last scattering surface) Η πυκνότητα της βαρυονικής ύλης αυτή την περίοδο είναι 500 εκατομμύρια άτομα ηλίου ανά κυβικό μέτρο, δηλαδή περίπου ένα δισεκατομμύριο φορές υψηλότερη από σήμερα. Αυτή η πυκνότητα αντιστοιχεί σε πίεση $10-17$ ατμόσφαιρες.

²⁰Ο Gamow γεννήθηκε στη Ρωσία το 1904, σπούδασε φυσική στο Πανεπιστήμιο του Λένινγκραντ και το 1932 προσπάθησε, ανεπιτυχώς, να διαφύγει από την Σοβιετική Ένωση χρησιμοποιώντας μια σχεδία, από την Κριμαία προς τα παράλια της Τουρκίας. Τα κατάφερε έναν χρόνο αργότερα όταν πήγε σε ένα συνέδριο φυσικής στις Βρυξέλλες. Ήταν ο πρώτος που εξήγησε – την δεκαετία του 1920 ενώ βρίσκονταν στη Ρωσία – γιατί συμβαίνει η ραδιενεργός διάσπαση των πυρήνων (φαινόμενο σήραγγος). Στην δεκαετία του 1940 και ενώ είχε εγκατασταθεί στις ΗΠΑ το ερευνητικό του ενδιαφέρον στράφηκε από την σχετικότητα στην κοσμολογία, σε μια εποχή που το μόνο γνωστό για το Σύμπαν ήταν ... ότι διαστέλλεται. Ήταν από τους πρώτους επιστήμονες που αναζητούσε στοιχεία που να αποδεικνύουν ότι πριν από δισεκατομμύρια χρόνια συνέβη μια Μεγάλη Έκρηξη.

²¹Το πρώτο φως, η πρώτη αυτή ακτίνα, που ανίχνευσαν στην κεραία τους «Holmdel Horn» οι Arno Penzias και Robert Wilson στα Bell Telephone Laboratories στο Murray Hill του New Jersey στα 1964, προέρχεται από την περίοδο αυτή. [16]



Εικόνα 5: (Αριστερά) Πριν την *Recombination Era* το Σύμπαν είναι πολύ πυκνό και αδιαφανές στην ακτινοβολία, αφού τα φωτόνια σκεδάζονται διαδοχικά στο πυκνό αέριο των ηλεκτρονίων αλληλοεπιδρώντας ισχυρά μέσω της σκέδασης *Thomson* και η μέση ελεύθερη διαδρομή τους ήταν πολύ σύντομη. (Δεξιά) Μετά την *Recombination Era* τα ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται από τα άτομα, η πυκνότητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων γίνεται πολύ χαμηλή, πρακτικά μηδενική, η μέση ελεύθερη διαδρομή των φωτονίων γίνεται πολύ μεγαλύτερη της τάξης μεγέθους του ίδιου του Σύμπαντος και το φως, ελεύθερο να διαδοθεί, φθάνει στα «μάτια» μας.

Αυτές ήταν οι πρώτες στιγμές²² μετά τη Μεγάλη Έκρηξη. Μέσα σε τόσο λίγο χρόνο έγιναν τόσα πολλά...

Αντί επιλόγου ...

Για να μην αφήσουμε κενά στην ιστορία του Σύμπαντος και αντί επιλόγου, θέλω να αναφέρω σε γενικές γραμμές τι ακολούθησε μετά την εποχή της επανασύνδεσης μέχρι σήμερα.

$380.000 \text{ years} - 150 \times 10^6 \text{ years}$ ($z = 1100 - 20$)²³ **Dark Ages**

Βρισκόμαστε στην περίοδο μεταξύ του ανασυνδυασμού και του σχηματισμού των

²²Ακόμη και τα 380.000 χρόνια ως μια στιγμή μπορεί να θεωρηθεί σε σύγκριση με τα 13.8 δισεκατομμύρια χρόνια της ηλικίας του Σύμπαντος

²³Στις περιόδους μετά την εποχή της επανασύνδεσης χρησιμοποιούμε για την έκφραση του χρόνου και την **κοσμολογική παράμετρο μετατοπίσεως στο ερυθρό** z . Τα γεγονότα που κυριαρχούν στο Σύμπαν στις περιόδους αυτές, όπως θα διαπιστώσετε και στην παρούσα παράγραφο (Αντί επιλόγου ...), είναι ο σχηματισμός των γαλαξιών, των σμηνών και υπερσμηνών γαλαξιών, για την δε μέτρηση των αποστάσεών τους από τη Γη, και κατ'επέκτασιν και της χρονικής τους απόστασης από την παρούσα εποχή, σημαντικό εργαλείο είναι η παράμετρος αυτή. (για την παράμετρο z και για την αναλογία της σε μονάδες μετρήσεως χρόνου βλέπε στο [19] στην ιστοσελίδα agarakis.eu)

πρώτων Αστέρων. Η θερμοκρασία στην περίοδο αυτή κυμαίνεται από τις $4000K$ έως τα $60K$ και κατά τη διάρκειά της, η μόνη πηγή φωτονίων είναι το υδρογόνο, το οποίο εκπέμπει ραδιοκύματα στο φάσμα της γραμμής υδρογόνου. Τα ελεύθερα φωτόνια της Κοσμικής Ακτινοβολίας Μικροκυμάτων Υποβάθρου *CMB*, που διαδίδονται πλέον ελεύθερα και με μεγάλη ταχύτητα (ταχύτητα του φωτός), μέσα σε 3 εκατομμύρια χρόνια μετατοπίζονται (ως ακτινοβολία) από το ερυθρό προς το υπέρυθρο και έτσι το Σύμπαν στερείται ορατού φωτός.

Αυτή είναι η «**Σκοτεινή Εποχή**». (Dark Ages)

$200 \times 10^6 \text{years} - 1 \times 10^9 \text{years}$ Reionization

Τα πιο μακρυνά αστρονομικά αντικείμενα, που μπορούν να παρατηρηθούν με τηλεσκόπιο, χρονολογούνται σ' αυτήν την περίοδο. Ο πιο μακρυνός γαλαξίας, που έχει παρατηρηθεί είναι ο $GN - z11$ με μετατόπιση στο ερυθρό $z = 11,09$. [20]

Οι πρώτοι αστέρες (αυτού του γαλαξία) του πληθυσμού I^v σχηματίζονται σ' αυτή την περίοδο περίπου στο 380.000.000 έτος.

$1 \times 10^9 \text{years} - 10 \times 10^9 \text{years}$ ($z = 20 - 0,41$) Modern Galaxies

Οι γαλαξίες την περίοδο αυτή συνενώνονται σε πρωτοσμήνη περίπου στα 1.000.000.000 έτη ($z = 6$) σε σμήνη περίπου στα 3.000.000.000 έτη ($z = 2,1$) και τέλος σε υπερσμήνη στα 5×10^9 έτη ($z = 1,2$).

$13,8 \times 10^9 \text{years}$ ($z = 0$) Present Time

Η νοήμων ζωή που έχει εμφανιστεί με τη μορφή του ανθρώπου εδώ και μερικές χιλιάδες χρόνια, πάνω στον τρίτο πλανήτη του Ηλιακού συστήματος, του οποίου «ηγείται» ένας μικρομεσαίος αστέρας ηλικίας $4,5 \times 10^9$ ετών με την ονομασία «*Ηλιος*» και ο οποίος βρίσκεται πάνω σε μία εξωτερική σπείρα ενός γαλαξία ηλικίας 5×10^9 ετών με το όνομα «*Milky Way*» (Γαλαξίας), είναι σε θέση πλέον να παρατηρεί και να μελετά το Σύμπαν, (δίνοντας νόημα στην δημιουργία και την ύπαρξή του²⁴), από την στιγμή που τα πρώτα φωτόνια της Κοσμικής Ακτινοβολίας Μικροκυμάτων Υποβάθρου, αφού αποδεσμεύτηκαν από την ύλη (στα 380.000 έτη, όπως αναφέραμε παραπάνω), ξεκίνησαν το ταξίδι τους στον χώρο και έφτασαν μετά από 13,8 δις έτη στα τηλεσκόπιά του (COBE, WMAP και Plank).

Είναι σε θέση (η νοήμων αυτή ζωή - ο άνθρωπος), μελετώντας τα στοιχειώδη σωματίδια και τις αλληλεπιδράσεις, να φθάσει την γνώση του τόσο βαθιά στο παρελθόν του Σύμπαντος, τόσο ΚΟΝΤΑ ΣΤΗ ΜΕΓΑΛΗ ΕΚΡΗΞΗ!!!.

Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης
Θεσσαλονίκη, 21 Μαρτίου 2025

²⁴-Πού πάει η μουσική όταν δεν την ακούμε πια; -Πού πάει η εικόνα όταν δεν την βλέπουμε; -Αν μέσα στο δάσος ξαφνικά πέσει ένα δένδρο και δεν υπάρχει κάποιος να το ακούσει, θα κάνει θόρυβο; -**Τι νόημα θα είχε το Σύμπαν αν δεν υπήρχε ο άνθρωπος να το παρατηρεί;** (Βλέπε σχετικά στο άρθρο με τίτλο: «*Κβαντομηχανικές Ανησυχίες*» [21] στην ιστοσελίδα: agarakis.eu)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Σπύρου Ν.Κ. (2023) «Αρχή και Τέλος του Σύμπαντος...σημερα και από παλιά», Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Αθήνα

[2] Andre de Gouvea, Pedro A. N. Machado, Yuber F. Perez-Gonzales, Zahra Tabrizi (2020) «Measuring the weak-mixing angle at the DUNE near detector complex», Phys. Rev. Lett. 125, 051803, Report Number:FERMILAB-PUB-19-623-T, NUHEP-TH/19-17

[3] Αγαπάκης Ι. Χρ. (2019) «Μελανές Οπές». Εκδόσεις Copy City Publish, Θεσσαλονίκη.

[4] Heyde K. (1999) «Basic Ideas and Concepts in Nuclear Physics», Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia

[5] Fields B. David (2011) «The Primordial Lithium Problem», Annual Review of Nuclear and Particle Science, 61, 47-68

[6] Goudelis A., Pospelov M., Pradler J. (2016) «Light Particle Solution to the Cosmic Lithium Problem», Phys. Rev. Lett. 116, 211303 – Published 25 May, 2016

[7] Alpher R., Bethe H., Gamow G. (1948) «The Origin of Chemical Elements», Physical Review, Vol.73, Number 7 – Published 01 Apr, 1948

[8] Coc Alain, Vangioni Elisabeth (2017) «Primordial Nucleosynthesis», International Journal of Modern Physics E – Submitted 4 Jul 2017

[9] Αγαπάκης Ι. Χρ. (2024) «Σκοτεινή Ενέργεια. Η Σκιώδης Αντανάκλαση της Σκοτεινής Ύλης». Εκδόσεις: Ένωση Ελλήνων Φυσικών, Αθήνα.

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

[10] <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PHYS181/Βιβλια/10.pdf>

[11] <https://wikipedia.org/wiki/Αδρόνιο>

[12] <https://wikipedia.org/wiki/Μιόνιο>

- [13] <https://wikipedia.org/wiki/Πιόνιο>
- [14] <https://agapakis.eu/Beta-Decay>
- [15] <https://en.wikipedia.org/wiki/Beta-Decay>
- [16] [https://agapakis.eu/CMB Cosmology](https://agapakis.eu/CMB%20Cosmology)
- [17] <https://physicsgg.me/2013/06/30/το-άλφα-βήτα-και-γάμμα-της-αρχέγονης-πυρηνοσύνθεσης/>
- [18] <https://www.eef.edu.gr/media/5432/o-nomos-tou-hubble-kai-i-dia-stoli-tou-sympantos.pdf>
- [19] [https://agapakis.eu/ Η Κοσμολογική Παράμετρος Μετατοπίσεως στο Ερυθρό](https://agapakis.eu/Η-Κοσμολογική-Παράμετρος-Μετατοπίσεως-στο-Ερυθρό)
- [20] <https://el.wikipedia.org/wiki/GN-z11>
- [21] [https://agapakis.eu/ Κβαντομηχανικές Ανησυχίες](https://agapakis.eu/Κβαντομηχανικές-Ανησυχίες)
- [22] <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/penrose/lecture>