



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΝΕΟ ΨΗΦΙΑΚΟ ΠΛΑΝΗΤΑΡΙΟ

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΟΔΗΓΟΣ ΓΙΑ ΜΑΘΗΤΕΣ

# ΑΝΑΖΗΤΩΝΤΑΣ ΤΗΝ ΣΚΟΤΕΙΝΗ ΨΗ

Περισσότερα από 80 χρόνια πέρασαν από τότε που ανακαλύφθηκαν οι πρώτες ενδείξεις για μία παράξενη μορφή ύλης που υπάρχει παντού και όμως είναι αόρατη: την σκοτεινή ύλη. Έκτοτε, οι ενδείξεις αυτές πολλαπλασιάστηκαν, αν και η φύση της παραμένει «σκοτεινή» όσο ποτέ! Από τον μεγαλύτερο σωματιδιακό επιταχυντή του κόσμου, μέχρι τους ανιχνευτές σκοτεινής ύλης στα βάθη εγκαταλειμμένων ορυχείων, το «κυνήγι» για την ταυτοποίηση των σωματιδίων που την απαρτίζουν συνεχίζεται.

ΑΛΕΞΗ Α. ΔΕΛΗΒΟΡΙΑ  
Αστρονόμου Ευγενιδείου Πλανηταρίου

## Πώς μελετούν οι αστρονόμοι το Σύμπαν;

Το ορατό φως αντιστοιχεί σ' ένα ελάχιστο τμήμα της ακτινοβολίας των ουράνιων σωμάτων και είναι το μοναδικό που γίνεται αντιληπτό απ' την ανθρώπινη όραση. Από τη στιγμή, όμως, που κατασκευάσαμε τηλεσκόπια, τα οποία «έβλεπαν» και σε διαφορετικά μήκη κύματος εκτός από το ορατό, οι επιστημονικές μας γνώσεις πολλαπλασιάστηκαν ραγδαία, αφού η **ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία** μεταφέρει σε κωδικοποιημένη μορφή όλες σχεδόν τις πληροφορίες που έχουμε συλλέξει για τα **άστρα**, τους **γαλαξίες** και το Σύμπαν. Η ταχύτητα με την οποία κινείται το φως δεν είναι άπειρη, αλλά στο κενό του Διαστήματος ισούται με 300.000 km/s. Αυτό σημαίνει ότι παρατηρούμε τα ουράνια σώματα, όπως αυτά ήταν στο παρελθόν, όταν και εξέπεμψαν την ακτινοβολία που ανιχνεύουμε. Για παράδειγμα, αφού το φως του Ήλιου χρειάζεται 8 λεπτά για να φτάσει στη Γη, εμείς βλέπουμε τον Ήλιο όπως αυτός ήταν 8 λεπτά νωρίτερα, ενώ το φως των πιο μακρινών γαλαξιών ταξίδευε για περισσότερα από 13 δισ. χρόνια μέχρι να φτάσει στην Γη. Με δεδομένες τις τεράστιες χωροχρονικές κλίμακες του Σύμπαντος και με δεδομένη την εκδήλωση αδιανόητα βίαιων φυσικών φαινομένων, τα οποία είναι αδύνατο να αναπαραχθούν στο εργαστήριο για την πειραματική τους μελέτη, οι επιστήμονες βασίζονται κυρίως σε μαθηματικά μοντέλα και αριθμητικές προσομοιώσεις, προκειμένου να προσδώσουν φυσική ερμηνεία στις παρατηρήσεις τους. Παρόλ' αυτά, μπορούν να προσομοιώσουν τις ακραίες συνθήκες που υπήρχαν στο αρχέγονο Σύμπαν σε γιγάντιους επιταχυντές, όπως τον LHC που βρίσκεται στο CERN, το σπουδαιότερο ερευνητικό κέντρο στην φυσική των **στοιχειωδών σωματιδίων**.

## Από τι αποτελείται το Σύμπαν;

Το Σύμπαν εμπεριέχει ύλη και ενέργεια. Η **ορατή ύλη** είναι η συνηθισμένης μορφής ύλη, η οποία συγκροτεί όλα όσα βλέπουμε: από εμάς τους ίδιους μέχρι τους πλανήτες και τα άστρα. Η **σκοτεινή ύλη** είναι μία μυστηριώδης μορφή ύλης, η οποία δεν ανιχνεύεται από τα τηλεσκόπια μας, διότι δεν αλληλεπιδρά με την ακτινοβολία και κατά συνέπεια είναι αόρατη. Η **σκοτεινή ενέργεια**, τέλος, που ανακαλύφθηκε το 1998,

είναι μία μορφή ενέργειας, με παράξενες αντιβαρυντικές ιδιότητες, που εξαναγκάζουν την διαστολή του Σύμπαντος να επιταχύνεται. Σύμφωνα με τα όσα γνωρίζουμε έως τώρα, η σκοτεινή ενέργεια απαρτίζει το 68%, η σκοτεινή ύλη το 27% και η ορατή ύλη το 5% της συνολικής ύλης και ενέργειας του Σύμπαντος.

## Από το «σύμπαν-νησί» στην διαστολή του Σύμπαντος

Μόλις 100 χρόνια πριν, οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι το Σύμπαν είναι αιώνιο και αμετάβλητο και ότι αποτελούνταν αποκλειστικά από τον Γαλαξία μας, ένα «σύμπαν-νησί» στο κενό του Διαστήματος. Στα χρόνια που ακολούθησαν, ωστόσο, ανακαλύψαμε ότι το Σύμπαν γεννήθηκε πριν από σχεδόν 14 δισ. χρόνια, ότι έκτοτε διαστέλλεται και ψύχεται διαρκώς και ότι εμπεριέχει εκατοντάδες δισ. γαλαξίες. Η απαρχή αυτών των ιστορικών ανακαλύψεων πραγματοποιήθηκε στην δεκαετία του 1920. Τότε ήταν που ο αστρονόμος Edwin Hubble, χρησιμοποιώντας το ισχυρότερο τηλεσκόπιο της εποχής του, ανακάλυψε και άλλους γαλαξίες, αποδεικνύοντας στην συνέχεια ότι αυτοί απομακρύνονται από εμάς με ταχύτητες ανάλογες της απόστασής τους. Αυτή ήταν η πρώτη, τεκμηριωμένη με την παρατήρηση, απόδειξη ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Μ' αυτό, εννοούμε ότι ο χώρος «ξεχειλώνει» έτσι, ώστε η απόσταση μεταξύ δύο οποιωνδήποτε σημείων του να μεγαλώνει. Οι γαλαξίες, δηλαδή, δεν απομακρύνονται ο ένας από τον άλλον επειδή «διασχίζουν» τον χώρο, αλλά διότι ο μεταξύ τους χώρος «ξεχειλώνει». Επιπλέον, οπουδήποτε αλλού στο Σύμπαν κι αν βρισκόμασταν, θα παρατηρούσαμε την ίδια «απομάκρυνση» των άλλων γαλαξιών που παρατηρούμε και από τον δικό μας Γαλαξία.

*Το Σύμπαν εμπεριέχει εκατοντάδες δισ. γαλαξίες  
(@NASA/ESA/S. Beckwith (STScI)/ HUDF Team).*



## Τι είναι η Μεγάλη Έκρηξη;

Το Σύμπαν διαστέλλεται και ψύχεται διαρκώς. Επομένως, όσο πιο πίσω κινούμαστε στον χρόνο, τόσο πλησιέστερα βρίσκονται οι γαλαξίες μεταξύ τους, τόσο νεότερο γίνεται το Σύμπαν και τόσο πυκνότερη και θερμότερη γίνεται η ύλη που εμπεριέχει, ώσπου κάποια στιγμή δεν μπορεί να υπάρξει παρά μόνο ως μία υπέρθερμη σούπα στοιχειωδών σωματιδίων και ακτινοβολίας. Εντέλει, σχεδόν 13,8 δισ. χρόνια πριν, ολόκληρο το παρατηρήσιμο Σύμπαν καταλάμβανε χώρο απίστευτα μικρότερο από το μέγεθος ενός ατόμου και ήταν σχεδόν άπειρα πυκνό και θερμό. Εκείνη την στιγμή και για ένα απειροστό κλάσμα του δευτερολέπτου, το Σύμπαν διογκώθηκε με ραγδαία επιταχυνόμενο ρυθμό σε μακροσκοπικό μέγεθος, στην διάρκεια μίας εποχής που είναι γνωστή ως η **Εποχή του Πληθωρισμού**. Εάν κινηθούμε απειροελάχιστα κλάσματα του δευτερολέπτου ακόμη πιο πίσω στον χρόνο, φτάνουμε αναπόφευκτα σ' ένα σημείο όπου η πυκνότητα και η θερμοκρασία του Σύμπαντος γίνονται άπειρες, όπου ο χώρος και ο χρόνος παύουν να έχουν νόημα και οι επιστημονικές μας θεωρίες καταρρέουν. Πρόκειται για τη στιγμή της **Μεγάλης Έκρηξης**, που δημιούργησε τον ίδιο τον χώρο και τον χρόνο, καθώς και όλη την ύλη και την ενέργεια που εμπεριέχει το Σύμπαν.

## Τι είναι η Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης;

Η Θεωρία της Μεγάλης Έκρηξης (ΘΜΕ) είναι η επιστημονική θεωρία που περιγράφει την εξέλιξη του Σύμπαντος από το πέρας της Εποχής του Πληθωρισμού και ύστερα. Παρά το όνομά της δηλαδή, η θεωρία αυτή δεν περιγράφει την απαρχή του Σύμπαντος και την στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης, αλλά μόνο την μετέπειτα διαστολή του. Σύμφωνα με την θεωρία αυτή, που εδράζεται στην Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν, το Σύμπαν προήλθε από μία υπέρθερμη και υπέρπυκνη αρχική κατάσταση και έκτοτε διαστέλλεται με επιβραδυνόμενο ρυθμό εξαιτίας της βαρύτητας που «αντιστέκεται» στην επέκτασή του, ενώ η θερμοκρασία του και η πυκνότητα της ύλης και της ενέργειας που εμπεριέχει μειώνονται διαρκώς. Η θεωρία αυτή αναπτύχθηκε στην αρχική της μορφή μέχρι τα τέλη περίπου της

δεκαετίας του '60, προτού δηλαδή γίνει ευρέως αποδεκτή η ύπαρξη της σκοτεινής ύλης και πολύ πριν ανακαλυφθεί ότι τα τελευταία 6 δισ. χρόνια η διαστολή του Σύμπαντος επιταχύνεται εξαιτίας της σκοτεινής ενέργειας. Στα χρόνια που ακολούθησαν, η θεωρία αυτή εξελίχθηκε στο Καθιερωμένο Πρότυπο της Κοσμολογίας (ΚΠΚ), το οποίο εμπεριέχει το σύνολο των γνώσεών μας για το Σύμπαν, περιλαμβανομένης της πληθωριστικής διαστολής του, της σκοτεινής ύλης και της σκοτεινής ενέργειας.

## Πώς σχηματίστηκαν τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα;

Σύμφωνα με την ΘΜΕ, όλο το υδρογόνο και το περισσότερο από το ήλιο που περιέχει το Σύμπαν σχηματίστηκαν μέσα στα πρώτα λίγα λεπτά του κοσμικού χρόνου, στην διάρκεια της **αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης**. Εξαιτίας των ακραία υψηλών θερμοκρασιών και πυκνοτήτων που επικρατούσαν τότε, τα πρωτόνια και τα νετρόνια (τα οποία είχαν ήδη σχηματιστεί από την συνένωση στοιχειωδών σωματιδίων, που ονομάζονται κουάρκ), συνενώθηκαν αρχικά σε πυρήνες δευτερίου, ενός δηλαδή από τα **ισότοπα** του υδρογόνου. Στη συνέχεια, με την βοήθεια της θερμοπυρηνικής **σύντηξης**, πυρήνες δευτερίου συντήχθηκαν σε ήλιο, ενώ σχηματίστηκαν και ίχνη λιθίου. Η επακόλουθη, όμως, μείωση της θερμοκρασίας εμπόδισε τον σχηματισμό βαρύτερων πυρήνων και η εποχή της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης έφτασε στο τέλος της (τα βαρύτερα στοιχεία του περιοδικού πίνακα θα σχηματιστούν αρκετά αργότερα στο εσωτερικό των άστρων). Οι ποσότητες του υδρογόνου, του ηλίου και του λιθίου που έχουν μετρήσει οι αστρονόμοι ταιριάζουν μ' αυτές που προβλέπει η ΘΜΕ, γεγονός που αποτελεί την δεύτερη σημαντική απόδειξη της θεωρίας αυτής.

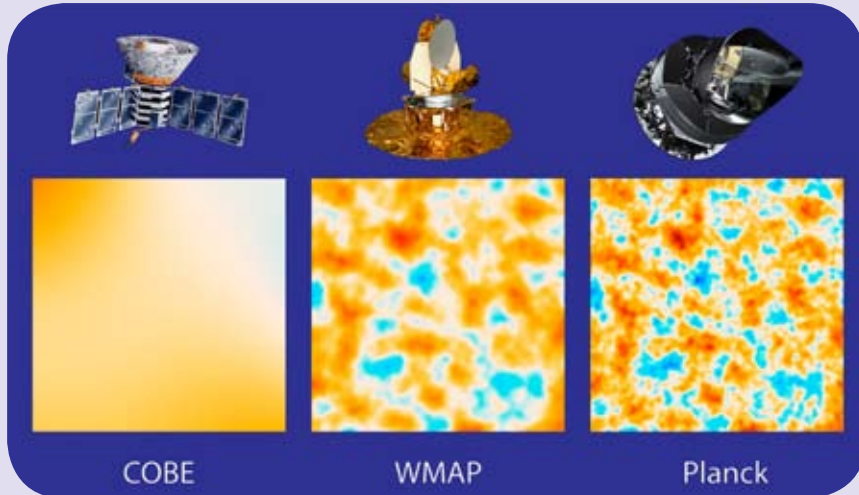
## Τι είναι η κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου;

Το Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται και να ψύχεται, ωστόσο, η θερμοκρασία και η πυκνότητά του παρέμεναν απαγορευτικά υψηλές για τον σχηματισμό ουδέτερων ατόμων. Η ύλη, δηλαδή, ήταν ιονισμένη





και αποτελούνταν από ελεύθερα ηλεκτρόνια και ελαφρείς ατομικούς πυρήνες, κυρίως υδρογόνου και ηλίου. Επειδή, όμως, η ακτινοβολία συγκρουόταν διαρκώς με τα ηλεκτρόνια, δεν μπορούσε να διαφύγει ελεύθερα στο Διάστημα. Το Σύμπαν, δηλαδή, ήταν αδιαφανές, διότι η «ομίχλη» των φορτισμένων υποατομικών σωματιδίων κρατούσε την ακτινοβολία παγιδευμένη μέσα της. Ωστόσο, 380.000 χρόνια μετά την Μεγάλη Έκρηξη, η θερμοκρασία του Σύμπαντος μειώθηκε αρκετά, γεγονός που επέτρεψε στους ατομικούς πυρήνες να ενωθούν με τα ηλεκτρόνια, σχηματίζοντας ουδέτερα άτομα. Τότε ακριβώς, το φως αποδεσμεύτηκε από την ύλη και άρχισε να διασχίζει ελεύθερα το Διάστημα, καθιστώντας το Σύμπαν διαφανές. Το φως αυτό είναι το πλέον αρχέγονο που μπορούμε να ανιχνεύσουμε στο Σύμπαν και ονομάζεται **κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου** (ΚΑΥ). Η ΚΑΥ προβλέφθηκε θεωρητικά προτού ανιχνευθεί τυχαία το 1964 και αποτελεί την τρίτη σημαντική απόδειξη για την ΘΜΕ. Έκτοτε, οι δορυφόροι COBE, WMAP και Planck καταμέτρησαν την ΚΑΥ και επιβεβαίωσαν με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια την ορθότητα του γενικού πλαισίου του ΚΠΚ.



Οι δορυφόροι COBE, WMAP και Planck κατέγραψαν με όλο και μεγαλύτερη ακρίβεια τις διακυμάνσεις στην θερμοκρασία της ΚΑΥ  
(© NASA/JPL-Caltech/ESA).

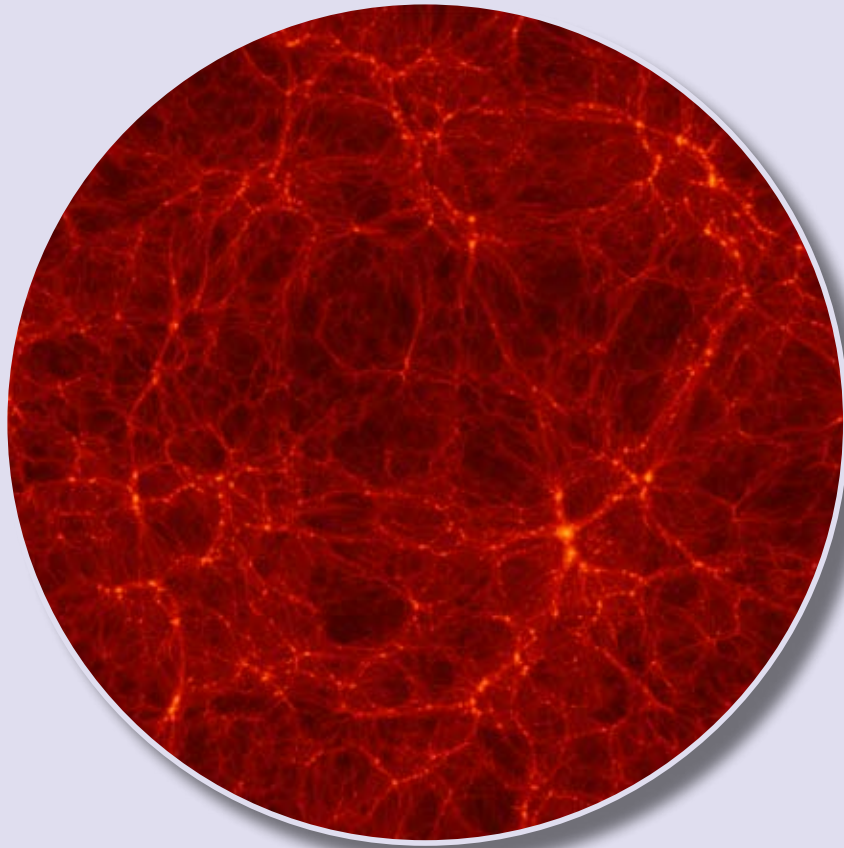
## Το Σύμπαν είναι πιο «σκοτεινό» απ' όσο νομίζαμε

Όλες οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί έως τώρα καταδεικνύουν ότι το μεγαλύτερο μέρος της ύλης που εμπεριέχουν οι γαλαξίες δεν αντιστοιχεί στα άστρα και στα αέρια νέφη τους, αλλά είναι «σκοτεινή», διότι δεν αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και κατά συνέπεια είναι «αόρατη». Οι αποδείξεις, ωστόσο, που έχουμε συλλέξει για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης είναι έμμεσες. Δεν έχουμε, δηλαδή, κατορθώσει έως τώρα να ταυτοποιήσουμε τα σωματίδια που την απαρτίζουν, αλλά συμπεραίνουμε ότι η σκοτεινή ύλη υπάρχει, παρατηρώντας το πώς επηρεάζει με την βαρύτητά της την ορατή ύλη. Οι αποδείξεις, αυτές, όμως, είναι τόσες πολλές και πειστικές και προέρχονται από τόσες διαφορετικές κατευθύνσεις, που οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης αναμφισβήτητη. Οι πρώτες απ' αυτές προέκυψαν στην διάρκεια της δεκαετίας του '30, όταν ο αστρονόμος Fritz Zwicky διαπίστωσε ότι οι ταχύτητες των γαλαξιών που απαρτίζουν το γαλαξιακό σμήνος Κόμπ είναι ασύμβατες με την Νευτώνεια φυσική, εκτός και εάν εμπεριέχουν περισσότερη ύλη απ' αυτήν που αντιστοιχεί στην ορατή τους ύλη. Στο ίδιο συμπέρασμα κατέληξε περίπου 40 χρόνια αργότερα ο αστρονόμος Vera Rubin, διαπιστώνοντας ότι οι ταχύτητες των άστρων που κινούνται σε μεγάλες αποστάσεις από τους γαλαξιακούς πυρήνες είναι τόσο υψηλές που, χωρίς την βαρυτική έλξη της σκοτεινής ύλης, θα έπρεπε να είχαν εκτιναχθεί στο Διάστημα. Περαιτέρω σημαντικές αποδείξεις για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης προκύπτουν από κοσμολογικές μελέτες που εδράζονται στην ΘΜΕ και σχετίζονται με την εποχή της αρχέγονης πυρηνοσύνθεσης, με την εποχή που απελευθερώθηκε η ΚΑΥ, καθώς και με τον σχηματισμό και την εξέλιξη των δομών μεγάλης κλίμακας.

## Τι είναι οι δομές μεγάλης κλίμακας;

Με τον όρο δομές μεγάλης κλίμακας εννοούμε το πώς κατανέμονται οι γαλαξίες, τα γαλαξιακά σμήνη κ.ο.κ. σε κοσμολογικές κλίμακες. Τόσο η χαρτογράφηση του Διαστήματος με την βοήθεια τηλεσκοπίων,

όσο και οι αριθμητικές προσομοιώσεις σε υπερυπολογιστές, καταδεικνύουν ότι σ' αυτές τις κλίμακες η κατανομή της ύλης σχηματίζει ένα συγκεκριμένο «μοτίβο». Οι δομές μεγάλης κλίμακας, δηλαδή, σχηματίζουν ένα αχανές σύμπλεγμα από τεράστιες «φυσαλίδες», που περιέχουν ελάχιστους γαλαξίες, στην επιφάνεια των οποίων εκτείνεται ένα «δίκτυο» νηματοειδών δομών σκοτεινής ύλης, γαλαξίων και αερίων. Τα γαλαξιακά σμήνη και υπερσμήνη, τέλος, εμφανίζονται ως «κόμβοι» συσσωρευμένης μάζας στα σημεία τομής των «νημάτων». Σήμερα, οι τεράστιες αυτές δομές, που ξεκίνησαν ως μικρές διακυ-



Προσομοίωση των νηματοειδών δομών σκοτεινής ύλης  
(© Stefan Gottlober/AIP).

μάνσεις στην πυκνότητα της ύλης του αρχέγονου Σύμπαντος, μάς προσφέρουν ένα από τα ισχυρότερα ερείσματα για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης, χωρίς την οποία είναι πολύ δύσκολο να εξηγήσουμε πώς εντέλει σχηματίστηκαν.

## Πώς σχηματίστηκαν οι δομές μεγάλης κλίμακας;

Την εποχή που απελευθερώθηκε η ΚΑΥ, η ύλη δεν κατανεμόταν ομοιόμορφα στον χώρο, αλλά εμφάνιζε διακυμάνσεις στην πυκνότητά της, οι οποίες αποτέλεσαν τις κοσμικές «φύτρες», και από αυτές «αναδύθηκαν» οι πρώτες δομές. Καθώς, δηλαδή, το Σύμπαν συνέχισε να διαστέλλεται, οι διακυμάνσεις αυτές αυξήθηκαν σταδιακά με την επίδραση της βαρύτητας, δημιουργώντας περιοχές με ακόμη μεγαλύτερη πυκνότητα, οι οποίες εντέλει «κατέρρευσαν» βαρυτικά, σχηματίζοντας τα πρώτα άστρα και τους πρώτους γαλαξίες. Εκεί, τέλος, όπου η βαρυτική έλξη υπερίσχυε της κοσμικής διαστολής, οι γαλαξίες συγχωνεύονταν σε όλο και μεγαλύτερους και σχημάτιζαν γαλαξιακά σμήνη. Το πρόβλημα με αυτήν την περιγραφή είναι ότι η ακτινοβολία ασκεί ένα είδος πίεσης, η οποία αντιστέκεται στην **βαρυτική κατάρρευση** αυτών των περιοχών, που σημαίνει ότι οι αρχικές διακυμάνσεις στην κατανομή της ορατής ύλης δεν μπορούσαν να διευρυνθούν και να σχηματίσουν μεγαλύτερες δομές, για όσο χρονικό διάστημα η ακτινοβολία παρέμενε «παγιδευμένη» στην ύλη. Η σκοτεινή ύλη, αντιθέτως, η οποία δεν αλληλεπιδρά με την ακτινοβολία, δεν αντιμετώπισε αυτό το πρόβλημα και άρχισε να διευρύνει τις αρχικές διακυμάνσεις στην πυκνότητά της, πολύ πριν απελευθερωθεί η ΚΑΥ. Εντέλει, συμπυκνώθηκε σε νηματοειδείς δομές, έναν αόρατο «ιστό αράχνης», που παγίδευσε με την βαρυτική του έλξη την ορατή ύλη, απ' την οποία σχηματίστηκαν τα πρώτα άστρα και οι πρώτοι μικροί γαλαξίες, όπως περιγράψαμε νωρίτερα. Χωρίς την σκοτεινή ύλη, δηλαδή, οι δομές μεγάλης κλίμακας θα είχαν καθυστερήσει αρκετά να σχηματιστούν και το Σύμπαν θα ήταν διαφορετικό απ' αυτό που παρατηρούμε.



## Από τι απαρτίζεται η σκοτεινή ύλη;

Όλες οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί έως τώρα, καταδεικνύουν ότι η σκοτεινή ύλη απαρτίζεται κυρίως από σωματίδια, τα οποία είναι εντελώς διαφορετικά από τα στοιχειώδη σωματίδια που συνθέτουν την ορατή ύλη. Πραγματικά, οι περισσότεροι επιστήμονες συμφωνούν ότι η σκοτεινή ύλη απαρτίζεται από παράξενα στοιχειώδη σωματίδια που, αν και προβλέπεται θεωρητικά ότι σχηματίστηκαν στις πρώτες απειροστές στιγμές της κοσμικής ιστορίας, η ύπαρξή τους δεν έχει ακόμη επιβεβαιωθεί πειραματικά. Ποιο απ' αυτά καταλαμβάνει τον κύριο όγκο της σκοτεινής ύλης εξακολουθεί να αποτελεί αντικείμενο ενδελεχούς έρευνας. Με την βοήθεια ανιχνευτών βαθιά στο υπέδαφος, με την βοήθεια σωματιδιακών επιταχυντών, ακόμη και με πειράματα στον Διεθνή Διαστημικό Σταθμό, οι επιστήμονες προσπαθούν να ανιχνεύσουν και να ταυτοποιήσουν τα σωματίδια που την απαρτίζουν.

## Η κοσμική διαστολή επιταχύνεται

Αναφέραμε παραπάνω ότι η βαρυτική έλξη μεταξύ όλων των μορφών ύλης που εμπεριέχει το Σύμπαν επιβραδύνει την διαστολή του. Το 1998, όμως, δύο ανεξάρτητες ομάδες αστροφυσικών, υπολογίζοντας τις αποστάσεις ενός είδους αστρικών εκρήξεων, ανακάλυψαν ότι η διαστολή του Σύμπαντος επιταχύνεται. Για να ισχύει, όμως, αυτό, θα πρέπει το Σύμπαν να «κυριαρχείται» από μία παράξενη μορφή ενέργειας με βαρυτικά απωστικές ιδιότητες, που ονομάστηκε σκοτεινή ενέργεια. Απ' ό,τι φαίνεται, μάλιστα, η σκοτεινή ενέργεια «δρούσε» ενάντια στην βαρύτητα από την αρχή της κοσμικής ιστορίας, αλλά υπερίσχυσε στην κοσμική της «διελκυστίνδα» με την βαρύτητα πριν από περίπου 6 δισ. χρόνια, οδηγώντας το Σύμπαν σε μία νέα εποχή επιταχυνόμενης διαστολής. Η αποκρυπτογράφηση της φύσης της σκοτεινής ενέργειας είναι σήμερα ένα από τα σπουδαιότερα και αναπάντητα ακόμη ερωτήματα που αντιμετωπίζει η σύγχρονη επιστήμη.

## Το Σύμπαν εκτείνεται πέρα απ' όσα μπορούμε να δούμε

Πόσο μεγάλο είναι το Σύμπαν και πόσο μακριά μπορούμε να δούμε στο Διάστημα; Δεδομένου ότι η ταχύτητα του φωτός είναι πεπερασμένη, υπάρχει αναγκαστικά ένα όριο στην μέγιστη απόσταση που μπορεί να έχει διανύσει το φως σε χρονικό διάστημα ίσο με την ηλικία του Σύμπαντος (13,8 δισ. έτη). Μπορούμε, με άλλα λόγια, να παρατηρήσουμε μόνο εκείνες τις φωτεινές πηγές, οι οποίες είναι αρκετά κοντά μας, ώστε το φως τους να έχει προλάβει να διασχίσει την απόσταση που μας χωρίζει στην διάρκεια της κοσμικής ιστορίας. Επομένως, ενώ το «όλο» Σύμπαν είναι πιθανότατα άπειρο σε έκταση, το Σύμπαν που θεωρητικά μπορούμε να παρατηρήσουμε έχει όρια, είναι δηλαδή πεπερασμένο. Το παρατηρήσιμο Σύμπαν, δηλαδή, είναι μία σφαιρική περιοχή με την Γη στο κέντρο της, εντός της οποίας εμπεριέχονται όλα τα ουράνια σώματα και φαινόμενα που μπορούμε να παρατηρήσουμε σήμερα. Με δεδομένη την συνεχή διαστολή του Σύμπαντος, η απόσταση του κάθε γαλαξία από εμάς σήμερα είναι πολύ μεγαλύτερη από τότε που απελευθέρωσε το φως του που τώρα ανιχνεύουμε. Κατά συνέπεια, το μέγεθος του παρατηρήσιμου Σύμπαντος είναι πολύ μεγαλύτερο από 13,8 δισ. έτη φωτός. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο προσδιορισμός «παρατηρήσιμο» δεν σχετίζεται με το πόσο μακριά μάς επιτρέπει να δούμε η υπάρχουσα τεχνολογία, αλλά με το πόσο μακριά μάς «επιτρέπει» να δούμε το γεγονός ότι η ταχύτητα του φωτός είναι πεπερασμένη.



## Χρονολόγιο: Ένας αιώνας ανακαλύψεων



**1905-16** Ο Αϊνστάιν δημοσιεύει τις θεωρίες της Ειδικής και της Γενικής Σχετικότητας, ενοποιώντας τις έως τότε διακριτές έννοιες του χώρου και του χρόνου σ' έναν τετραδιάστατο χωροχρόνο και περιγράφοντας την βαρύτητα ως την καμπύλωση που προκαλεί σ' αυτόν η παρουσία της ύλης. Οι θεωρίες του αυτές αποτελούν ένα μοναδικό θεωρητικό εργαλείο, που μας επέτρεψε να μελετήσουμε το Σύμπαν στο σύνολό του.

**1916-27** Επιλύοντας τις εξισώσεις της Γενικής Σχετικότητας, ο Ρώσος μαθηματικός Alexander Friedmann και ο Βέλγος μαθηματικός και ιερέας George Lemaitre προτείνουν, ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλον, την ιδέα ενός διαστελλόμενου Σύμπαντος και θέτουν τις βάσεις για την ανάπτυξη της ΘΜΕ.

**1924-29** Ο Edwin Hubble ανακαλύπτει την ύπαρξη και άλλων γαλαξιών και αποδεικνύει ότι αυτοί απομακρύνονται με ταχύτητες ανάλογες της απόστασής τους.

**1933-37** Μελετώντας τις ταχύτητες των γαλαξιών στο γαλαξιακό σμήνος Κόμη, ο Fritz Zwicky προτείνει ότι το σμήνος αυτό διατηρεί την συνοχή του χάρη στην βαρυτική έλξη μίας άγνωστης μορφής «σκοτεινής» ύλης.

**1948** Ο George Gamow προβλέπει την ΚΑΥ, ως το θερμικό λείψανο του αρχέγονου Σύμπαντος.

**1965** Η ΚΑΥ ανιχνεύεται τυχαία από τους Arno Penzias και Robert Wilson, ως ένα σχεδόν ομοιόμορφο «υπόβαθρο» ακτινοβολίας με θερμοκρασία περίπου  $-270^{\circ}\text{C}$ .

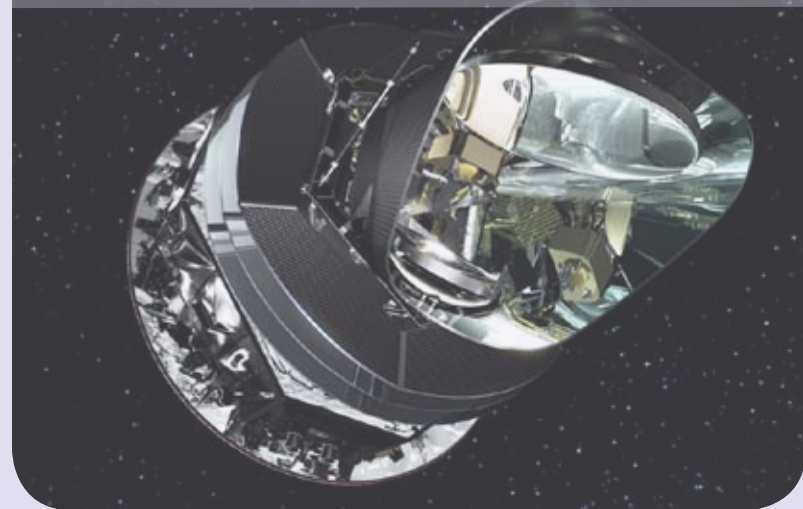
**1978** Μετρώντας τις ταχύτητες των άστρων γύρω από τους γαλαξιακούς πυρήνες, η Vera Rubin συμπεραίνει ότι οι γαλαξίες απαρτίζονται κυρίως από σκοτεινή ύλη.

**1990** Η ανάλυση των δεδομένων του δορυφόρου COBE καταδεικνύει ότι η ΚΑΥ δεν είναι εντελώς ομοιόμορφη. Αυτή είναι η πρώτη ένδειξη για την απαρχή των δομών μεγάλης κλίμακας.

**1998** Δύο ανεξάρτητες ομάδες αστρονόμων ανακαλύπτουν ότι η διαστολή του Σύμπαντος επιταχύνεται, εξαιτίας μίας άγνωστης μορφής σκοτεινής ενέργειας.

**2002** Η ανάλυση των δεδομένων του δορυφόρου WMAP επιβεβαιώνει ότι η ορατή ύλη αντιστοιχεί μόλις στο 4,6%, η σκοτεινή ύλη στο 24% και η σκοτεινή ενέργεια στο 71,4% της συνολικής ύλης και της ενέργειας του Σύμπαντος.

**2013** Η ανάλυση των δεδομένων του δορυφόρου Planck προσδιορίζει τα ποσοστά ύλης και ενέργειας του Σύμπαντος με ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια απ' ό,τι ο WMAP.





## Γλωσσάρι

★ **Αρχέγονη Πυρηνοσύνθεση:** Η εποχή κατά την οποία σχηματίστηκαν οι πυρήνες των ελαφρύτερων στοιχείων, μέσω θερμοπυρηνικών αντιδράσεων σύντηξης.

★ **Άστρο:** Υπέρθερμη σφαίρα αερίων που εκλύει ενέργεια χάρη στις αντιδράσεις σύντηξης που λαμβάνουν χώρα στον πυρήνα της.

★ **Βαρυτική Κατάρρευση:** Η συστολή ενός σώματος μεγάλης μάζας εξαιτίας της ίδιας του της βαρύτητας, που έχει την τάση να έλκει την ύλη του προς το κέντρο του, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στον σχηματισμό πλανητών, άστρων και γαλαξιών.

★ **Γαλαξίας:** Σύστημα από δισ. άστρα, αέρια, σκόνη και σκοτεινή ύλη, που διατηρεί την συνοχή του χάρη στην βαρύτητα όλων των μορφών ύλης που εμπεριέχει.

★ **Εποχή του Πληθωρισμού:** Μία εποχή στην εξελικτική ιστορία του αρχέγονου Σύμπαντος, που διήρκεσε για ένα απειροελάχιστο χρονικό διάστημα, στην διάρκεια του οποίου το Σύμπαν διογκώθηκε με ραγδαία επιταχυνόμενο ρυθμό.

★ **Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία:** Ενέργεια που διαδίδεται στον χώρο ως ηλεκτρομαγνητικά κύματα και περιλαμβάνει τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, το υπέρυθρο και το ορατό φως, την υπεριώδη ακτινοβολία και τις ακτίνες Χ και γ.

★ **Ισότοπο:** Άτομα του ίδιου χημικού στοιχείου, με τον ίδιο αριθμό πρωτονίων, αλλά διαφορετικό αριθμό νετρονίων στον πυρήνα τους.

★ **Κοσμική Ακτινοβολία Υποβάθρου:** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με ενέργεια που σήμερα αντιστοιχεί στα μικροκύματα, η οποία απελευθερώθηκε 380.000 χρόνια μετά την Μεγάλη Έκρηξη.

★ **Μεγάλη Έκρηξη:** Η στιγμή της «γένεσης» του Σύμπαντος, πριν από σχεδόν 13,8 δισ. χρόνια, από μία αρχική κατάσταση άπειρης θερμοκρασίας και πυκνότητας.

★ **Ορατή Ύλη:** Η συνηθισμένη ύλη που συγκροτεί όλα όσα μπορούμε να δούμε.

★ **Σκοτεινή Ενέργεια:** Άγνωστη μορφή ενέργειας που προκαλεί την επιταχυνόμενη διαστολή του Σύμπαντος.

★ **Σκοτεινή Ύλη:** Αόρατη μορφή ύλης, η οποία δεν αλληλεπιδρά με την ακτινοβολία και γι' αυτό ανιχνεύεται από την βαρυτική της επιρροή.

★ **Στοιχειώδη Σωματίδια:** Τα θεμελιώδη δομικά συστατικά της ορατής ύλης, όπως είναι τα κουάρκ και τα ηλεκτρόνια. Οι γνώσεις μας γι' αυτά και για τις δυνάμεις με τις οποίες αλληλεπιδρούν (εξαιρουμένης της βαρύτητας) συνοψίζονται στο Καθιερωμένο Πρότυπο της φυσικής των στοιχειωδών σωματιδίων.

★ **Σύντηξη:** Η συνένωση δύο ή περισσότερων ελαφρών ατομικών πυρήνων σ' έναν βαρύτερο, που συνοδεύεται από την απελευθέρωση ενέργειας.

Περισσότερα για  
την σκοτεινή ύλη:

[NASA Astrophysics](#)

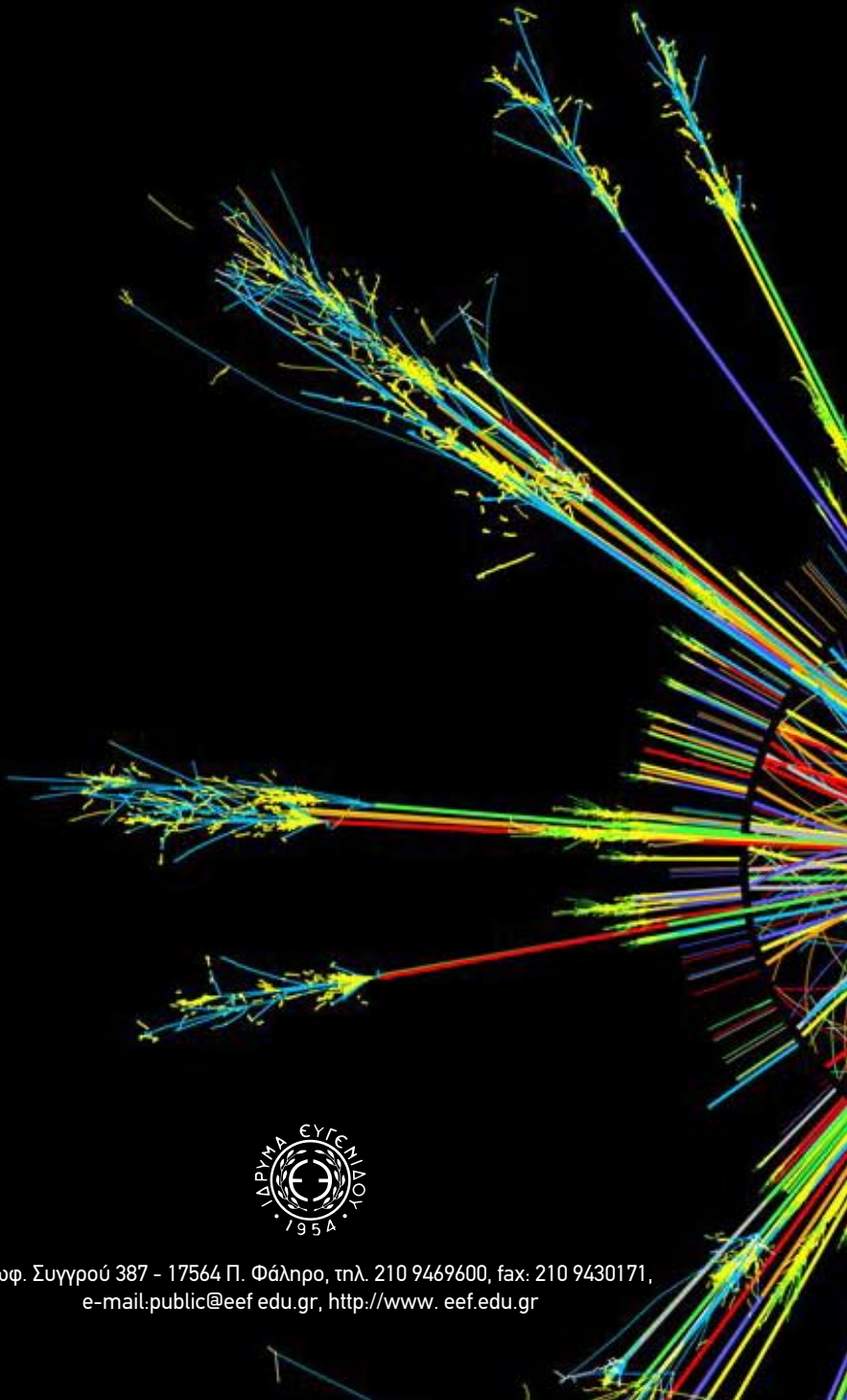
[The Universe Adventure](#)

[CERN Physics](#)

καθώς και στον πλήρη οδηγό πλανηταρίου:

[Αναζητώντας την Σκοτεινή Ύλη](#)





Λεωφ. Συγγρού 387 - 17564 Π. Φάληρο, τηλ. 210 9469600, fax: 210 9430171,  
e-mail: public@eef.edu.gr, <http://www.eef.edu.gr>