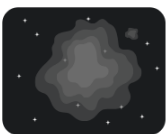


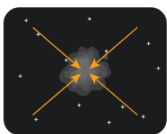
1.Η Γη

Το 71% της επιφάνειας της Γης καλύπτεται από νερό. Η ατμόσφαιρα της Γης αποτελείται από 78% Άζωτο, 21% Οξυγόνο και 1% υδρατμούς και άλλα αέρια. Η ηλικία της Γης είναι 4,56 δισεκατομμύρια χρόνια. Είναι ο τρίτος στη σειρά πλανήτη του ηλιακού συστήματος από τον Ήλιο και ο πέμπτος σε μέγεθος. Η μάζα της Γης είναι $5,97 \times 10^{24} kg$ και η πυκνότητα της $5515 \frac{kg}{m^3}$.

Η Γη δημιουργήθηκε από αέρια και σκόνη που συμπυκνώθηκαν και δημιούργησαν μικρά σωματίδια που ενώθηκαν με άλλα σωματίδια και δημιούργησαν μεγαλύτερα αντικείμενα. Δημιούργησαν μικροσκοπικούς πλανήτες με μέγεθος περίπου ενός χιλιομέτρου με μεγαλύτερη βαρύτητα που τράβηξαν αέρια και σκόνη. Τα αντικείμενα μεγάλωσαν και έγιναν πρωτοπλανήτες με μέγεθος περίπου 1000 χιλιόμετρα. Οι πρωτοπλανήτες συγκρούονταν με τους μικροσκοπικούς πλανήτες και μεταξύ τους και από τις συγκρούσεις δημιουργήθηκε η Γη.



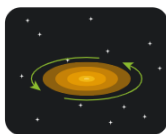
A cloud of gas and dust in space



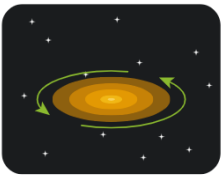
The cloud of gas and dust begins to contract due to gravity



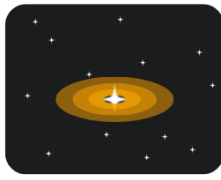
As the cloud of gas and dust contracts, it heats up and starts emitting light



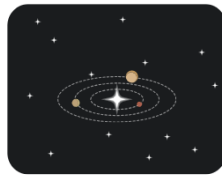
As the cloud of gas and dust continues to contract and heat up, it starts to form a rotating disk



As the cloud of gas and dust continues to contract and heat up, it starts to form a rotating disk



When the disk is hot and dense enough, the Sun forms at its center



The planets form from the outer disk

Το νερό έφτασε στη Γη με μετεωρίτες που περιείχαν νερό. Οι μετεωρίτες ανθρακούχοι χονδρίτες συγκρούονταν με τη Γη κατά τη διάρκεια της δημιουργίας της και δημιουργήθηκαν οι ωκεανοί.

Ηφαίστια ελευθέρωσαν αέρια, διοξείδιο του άνθρακα και αμμωνία. Το διοξείδιο του άνθρακα διαλύθηκε στους ωκεανούς και το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 μετατράπηκε από βακτήρια σε οξυγόνο O_2 . Το φώς του Ήλιου διάσπασε την αμμωνία NH_3 σε άζωτο N .

Η Γη αποτελείται από το φλοιο στο εξωτερικό, το μανδυα στη μέση και τον πυρήνα στο κέντρο. Ο φλοιός και ο μανδύας αποτελούνται κυρίως από πυριτικά άλατα που αποτελούνται από σιλικόνη, οξυγόνο, αλουμινιο, σίδηρο, ασβέστιο, νάτριο, κάλιο και μαγνήσιο.

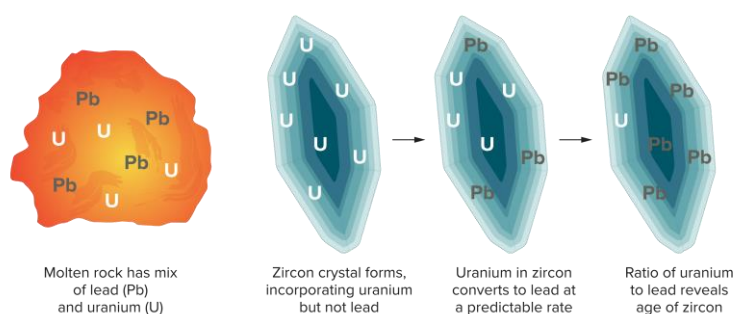
Ο πυρήνας της Γης αποτελείται από τον εσωτερικό πυρήνα που είναι στερεός και αποτελείται από σίδηρο και τον εξωτερικό πυρήνα που είναι υγρός και αποτελείται από σίδηρο και νικέλιο.

2. Ηλικία της Γης

Η ηλικία της Γης υπολογίζεται μετρώντας πόσο ουράνιο και πόσος μόλυβδος περιέχεται σε ζirkόνιο που βρίσκεται στα πετρώματα.

Το ζirkόνιο δεν επηρεάζεται από γεωλογικά φαινόμενα. Το ζirkόνιο όταν δημιουργείται ενσωματώνει ουράνιο και δεν δέχεται τον μόλυβδο. Το ζirkόνιο όταν δημιουργείται δεν έχει καθόλου μόλυβδο.

The clocks within zircon crystals



SOURCE: KELVINW 344 / WIKIMEDIA COMMONS

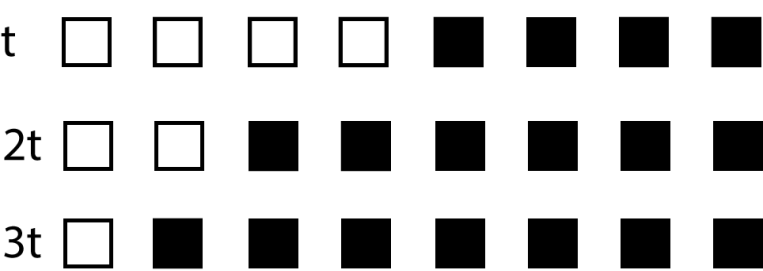
KNOWABLE MAGAZINE

Όταν δημιουργηθεί ο κρύσταλλος, το ουράνιο που βρίσκεται στη κρυσταλλική δομή του ζirkονίου μέσω ραδιενεργούς διάσπασης μετατρέπεται σε μόλυβδο. Ο μόλυβδος δεν φεύγει από τον κρύσταλλο και μόλυβδος δεν μπαίνει στον κρύσταλλο. Όσος μόλυβδος βρίσκεται στο ζirkόνιο είναι από ουράνιο που διασπάστηκε σε μόλυβδο.

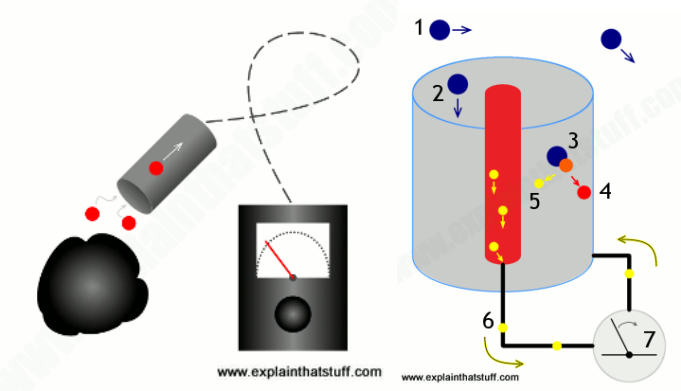
Το ζirkόνιο περιέχει ουράνιο 235 και ουράνιο 238. Το ουράνιο 235 γίνεται μόλυβδος 207 και το ουράνιο 238 γίνεται μόλυβδος 206. Η διάσπαση ουρανίου 235 σε μόλυβδο 207 έχει χρόνο ημιζωής 704 εκατομμύρια χρόνια και η διάσπαση ουρανίου 238 σε μόλυβδο 206 έχει χρόνο ημιζωής 4,47 δισεκατομμύρια χρόνια.

Σε ένα κρύσταλλο 704 εκατομμυρίων χρόνων θα υπάρχει ίσος αριθμός ατόμων ουράνιο 235 και μολύβδου 207, σε ένα πέτρωμα διπλάσιας ηλικίας 1,4 δισεκατομμύρια χρόνια θα έχει ένα τέταρτο ουράνιο και 3 τέταρτα μόλυβδο, σε ένα τριπλάσιας ηλικίας 2,1 δισεκατομμύρια χρόνια 1 όγδοο ουράνιο και 7 όγδοα μόλυβδο.

χρόνος ημιζωής



Η ημιζωή του ουρανίου υπολογίζεται μετρώντας τον αριθμό των ραδιενεργών διασπάσεων από μια μάζα ουρανίου. 1 γραμμάριο ουρανίου έχει εκατομμύρια διασπάσεις το δευτερόλεπτο που ανιχνεύονται από ένα ανιχνευτή.



Μέρος της ακτινοβολίας (σκούρο μπλε) εισέρχεται στο παράθυρο (γκρι) στο τέλος του σωλήνα.

Όταν η ακτινοβολία (σκούρο μπλε) συγκρούεται με μόρια αερίου στον σωλήνα (πορτοκαλί), προκαλεί ιονισμό. Ορισμένα από τα μόρια του αερίου μετατρέπονται σε θετικά ιόντα (κόκκινο) και αρνητικά ηλεκτρόνια (κίτρινα).

Τα θετικά ιόντα έλκονται στο εξωτερικό του σωλήνα. Τα ηλεκτρόνια έλκονται από ένα μεταλλικό σύρμα (κόκκινο). Τα ηλεκτρόνια κινούνται στο σύρμα και δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα. Όσο πιο πολλές οι ραδιενεργές διασπάσεις τόσο περισσότερο το ηλεκτρικό ρεύμα.

3. Μάζα της Γης

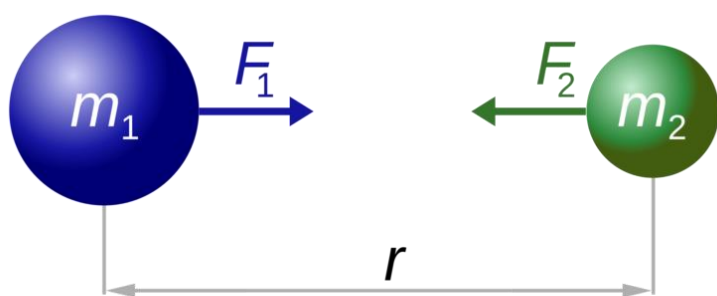
Η βαρυτική δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο αντικειμένων είναι $F = \frac{GmM}{r^2}$

G είναι η βαρυτική σταθερά

m είναι η μάζα του πρώτου αντικειμένου

M είναι η μάζα του δεύτερου αντικειμένου

r είναι η απόσταση μεταξύ των δύο αντικειμένων



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα

$$F = ma$$

Στην περίπτωση ενός αντικειμένου στην επιφάνεια της Γης

$$F = mg$$

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας στην επιφάνεια της Γης

$$F = \frac{GmM}{r^2} = mg$$

m είναι η μάζα ενός αντικειμένου

M η μάζα της Γης

r είναι η απόσταση μεταξύ δύο

αντικειμένων και r είναι η ακτίνα της Γης

$$\frac{GM}{r^2} = g$$

$$M = \frac{gr^2}{G}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$r = 6,37 \times 10^3 m$$

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}$$

$$\text{μάζα της Γης } M = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} (6,37 \times 10^6 m)^2}{6,67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}} =$$

$$5,97 \times 10^{24} kg$$

4. Ταχύτητα της Γης

Η απόσταση που διανύει η Γη σε ένα χρόνο είναι η απόσταση για μια πλήρη περιστροφή γύρω από τον Ήλιο.

Η απόσταση είναι η περιφέρεια ενός κύκλου με ακτίνα την απόσταση Γης-Ήλιου.

Η απόσταση Γης Ήλιου είναι $r = 1,496 \times 10^{11} m$

$$\begin{aligned} \text{απόσταση που διανύει η Γη σε ένα χρόνο} &= \text{μήκος περιφέρειας κύκλου της τροχιάς της Γης} \\ &= 2\pi r = 2(3,14)(1,496 \times 10^{11} m) \\ &= 9,39 \times 10^{11} m \end{aligned}$$

χρόνος

$$\begin{aligned} &= 365 \text{ μέρες } 24 \text{ ώρες } 60 \text{ λεπτά } 60 \text{ δευτερόλεπτα} \\ &= 31536000 \text{ δευτερόλεπτα} \end{aligned}$$

ταχύτητα Γης γύρω από τον Ήλιο

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{απόσταση}}{\text{χρόνος}} = \frac{9,39 \times 10^{11} m}{31536000 s} \\ &= \frac{29790 m}{s} \end{aligned}$$

5. Μάζα του Ήλιου

$$F = \frac{GmM}{r^2}$$

F η βαρυτική δύναμη που ασκείται μεταξύ Γης και Ήλιου

G η βαρυτική σταθερά

m η μάζα της Γης

M η μάζα του Ήλιου

r η απόσταση Γης-Ήλιου

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο του Νεύτωνα

$$F = ma$$

F η δύναμη

m η μάζα

a η επιτάχυνση

$$a = \frac{u^2}{r}$$

u η ταχύτητα

r η απόσταση

$$F = \frac{GmM}{r^2} = \frac{mu^2}{r}$$

$$u = \frac{2\pi r}{T}$$

u είναι η ταχύτητα της Γης γύρω από τον Ήλιο

T η περίοδος που είναι ο χρόνος περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο

$$F = \frac{GmM}{r^2} = \frac{m4\pi^2 r}{T^2}$$

$$M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$$

απόσταση Γης – Ήλιου $r = 1,5 \times 10^{11} \text{ m}$

βαρυτική σταθερά $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kgs}^2}$

περίοδος μιας περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο

ένας χρόνος σε δευτερόλεπτα

$$T = 31536000 \text{ s}$$

μάζα του Ήλιου M

$$= \frac{4\pi^2 (1,5 \times 10^{11} \text{ m})^3}{6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kgs}^2} (31536000 \text{ s})^2}$$

$$= 2,0 \times 10^{30} \text{ kg}$$

6. Χρόνος ζωής του Ήλιου

Ο χρόνος ζωής του Ήλιου είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να μετατραπεί η μάζα του πυρήνα του σε ενέργεια. Πόσες αντιδράσεις γίνονται από τη μάζα του πυρήνα του Ήλιου/αντιδράσεις που γίνονται ανά δευτερόλεπτο.

μάζα

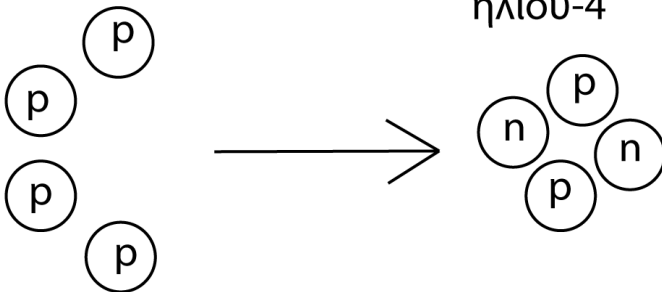
ενέργεια



Ο χρόνος ζωής του Ήλιου ισούται με τον χρόνο με τον οποίο παίρνει ώστε να τελειώσουν οι πυρηνικές αντιδράσεις σύντηξης που παίρνουν μέρος στον πυρήνα του. Σε αυτές τις πυρηνικές αντιδράσεις 4 πρωτόνια σχηματίζουν ένα πυρήνα του χημικού στοιχείου ηλίου He.

4 πρωτόνια

έναν πυρήνα
ηλίου-4



Ο πυρήνας του Ήλιου αποτελεί περίπου 10% της μάζας του και παίρνοντας υπ' όψη πως η μάζα του Ήλιου είναι $2 \times 10^{30} kg$ βρίσκουμε πως η μάζα του πυρήνα του ήλιου είναι το ένα δέκατο $2 \times 10^{29} kg$.

Η μάζα ενός πρωτονίου είναι $1,673 \times 10^{-27} kg$ και η μάζα 4 πρωτονίων $6,692 \times 10^{-27} kg$

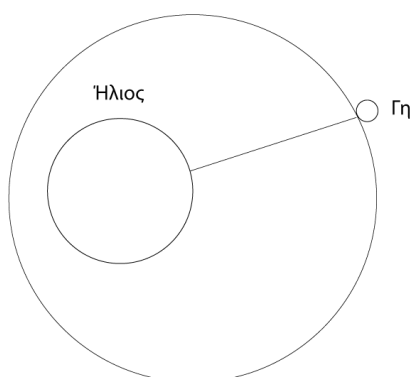
Δεδομένου πως κάθε πυρηνική αντίδραση χρειάζεται 4 πρωτόνια, ο ολικός αριθμός των αντιδράσεων που μπορούν να γίνουν είναι

$$\frac{2 \times 10^{29} kg}{6,692 \times 10^{-27} \frac{kg}{αντίδραση}}$$

$$= 3 \times 10^{55} αντιδράσεις$$

Φωτεινότητα είναι η ενέργεια που πέφτει στον ανιχνευτή κάθε δευτερόλεπτο επί την συνολική επιφάνεια μιας σφαίρας με ακτίνα την τροχιά της Γης γύρω από τον

σφαίρα με ακτίνα την απόσταση Ήλιου-Γης



Ήλιο.

Αν τοποθετήσουμε ένα ανιχνευτή επιφάνειας $1m^2$ κοντά στην επιφάνεια της γης θα παρατηρήσουμε πως η ακτινοβολία που προσπίπτει στον ανιχνευτή έχει ισχύ περίπου 1357 watts.

Αν θεωρήσουμε μια σφαίρα με επιφάνεια $4\pi r^2$ όπου r η απόσταση Ήλιου-Γης τότε η

συνολική ακτινοβολία που δέχεται αυτή η επιφάνεια από τον Ήλιο δίνεται από:

$$L = 1357 \frac{\text{watts}}{\text{m}^2} 4\pi(1,5 \times 10^{11} \text{m})^2$$

$$= 3,8 \times 10^{26} \text{ watts}$$

Αυτή είναι η ενέργεια που φεύγει από τον Ήλιο κάθε δευτερόλεπτο.

Στον Ήλιο 4 πρωτόνια ενώνονται για να δημιουργήσουν ένα πυρήνα του στοιχείου ηλίου He.

Τα 4 πρωτόνια όταν δεν είναι ενωμένα έχουν μεγαλύτερη μάζα από τα 2 πρωτόνια και 2 νετρόνια όταν είναι ενωμένα. Η διαφορά της μάζας πριν ενωθούν και μετά που ενώθηκαν είναι η ενέργεια που εκλύεται.

Η σύντηξη των 4 πρωτονίων σε ένα πυρήνα του χημικού στοιχείου ηλίου He εκλύει ενέργεια η οποία εκφράζεται ως έλλειμμα μάζας.

μάζα ενός πρωτονίου $1,673 \times 10^{-27} \text{kg}$

μάζα 4 πρωτονίων $6,692 \times 10^{-27} \text{kg}$

μάζα ενός πυρήνα ηλίου $6,644 \times 10^{-27} \text{kg}$

Διαφορά μάζας μεταξύ ενός πυρήνα ηλίου που είναι τέσσερα πρωτόνια που είναι ενωμένα και τεσσάρων πρωτονίων που δεν είναι ενωμένα

$$\Delta m = 0,048 \times 10^{-27} \text{kg}$$

Από την ειδική θεωρία της σχετικότητας γνωρίζουμε πως $\Delta E = \Delta mc^2$

$$\Delta E = 0,048 \times 10^{-27} kg \left(3 \times \frac{10^8 m}{s} \right)^2$$

$$\Delta E = 4,32 \times 10^{-12} J \text{ για κάθε αντίδραση}$$

Η ενέργεια που φεύγει από τον Ήλιο κάθε δευτερόλεπτο προς την ενέργεια που ελευθερώνεται σε κάθε αντίδραση δίνεται από

$$\frac{3,8 \times 10^{26} \frac{J}{s}}{4,32 \times 10^{-12} J} = 8,8 \times 10^{37} \text{ αντιδράσεις το δευτερόλεπτο}$$

$$\frac{3 \times 10^{55} \text{ αντιδράσεις που γίνονται από το 10\% της μάζας του Ήλιου}}{8,8 \times 10^{37} \text{ αντιδράσεις που γίνονται το δευτερόλεπτο}}$$

$$\text{Χρόνος ζωής του Ήλιου} = 3,4 \times 10^{17} s = 10,8 \text{ δισεκατομμύρια χρόνια}$$

Ένα φορτισμένο σωματίδιο (όπως το πρωτόνιο) που κινείται μέσα σε μαγνητικό πεδίο δέχεται μια δύναμη που το αναγκάζει να κινηθεί σε κυκλική τροχιά. Η δύναμη που ασκείται στο πρωτόνιο λόγω του μαγνητικού πεδίου ονομάζεται **Δύναμη Lorentz**.

Η δύναμη αυτή δίνεται από τον τύπο $F = Bqv$, όπου B είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου, q το φορτίο του σωματιδίου και u η ταχύτητα του σωματιδίου.

Αυτή η δύναμη παρέχει την αναγκαία κεντρομόλο δύναμη για να διατηρηθεί το

πρωτόνιο σε κυκλική κίνηση, η οποία δίνεται από τον τύπο $F = \frac{mu^2}{r}$ όπου m η μάζα του πρωτονίου και r η ακτίνα της κυκλικής τροχιάς.

υπολογισμός της μάζας ενός πρωτονίου, σε μαγνητικό πεδίο

$$Bqv = \frac{mu^2}{r}$$

$$m = \frac{Bqr}{u}$$

B είναι η ένταση του μαγνητικού πεδίου,
 q είναι το φορτίο του πρωτονίου
 r είναι η ακτίνα της τροχιάς του πρωτονίου
 u είναι η ταχύτητα του πρωτονίου

$$B = 1,0 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$$r = 120 \text{ m}$$

$$u = 1,1476 \times \frac{10^5 m}{s}$$

$$m = \frac{1,0 \times 10^{-5} \text{ T} \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 120 \text{ m}}{1,1476 \times \frac{10^5 m}{s}} =$$

$$= 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

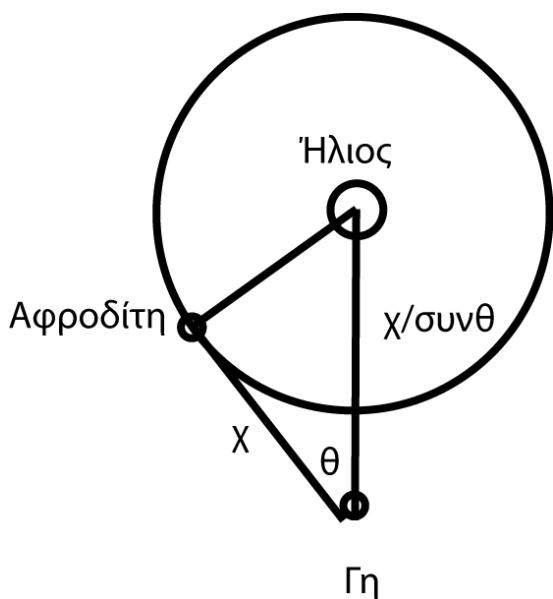
7. Απόσταση Γης-Ήλιου

Στα δύο σημεία που η Αφροδίτη είναι σε μεγαλύτερη απόσταση από τον Ήλιο στον ουρανό, η ευθεία Αφροδίτης-Ήλιου είναι κάθετη με την ευθεία Γης-Αφροδίτης.

Σχηματίζεται ορθογώνιο τρίγωνο επειδή η ευθεία Γης-Αφροδίτης είναι εφαπτόμενη στον κύκλο και κάθετη στην ακτίνα του κύκλου που είναι η ευθεία Ήλιος-Αφροδίτη.

Μετρώντας τη γωνία Αφροδίτης-Ήλιου όταν η Αφροδίτη είναι σε μέγιστη απόσταση επειδή η ευθεία Ήλιος Αφροδίτη, η ευθεία Αφροδίτη-Γη και η ευθεία Ήλιος-Γη σχηματίζουν ορθογώνιο τρίγωνο η απόσταση Αφροδίτης-Γης ισούται με την απόσταση Γης-Ήλιου επί συνημίτονο θ .

Η γωνία της ευθείας Γης-Ήλιου και της ευθείας Γης-Αφροδίτης όταν η Αφροδίτη είναι σε μέγιστη απόσταση από τον Ήλιο και σχηματίζεται ορθογώνιο τρίγωνο είναι 46° .



Τα αστρονομικά τηλεσκόπια εξοπλισμένα με σταυρονήμα (ένα πλέγμα ή σταυροειδείς γραμμές στο προσοφθάλμιο) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση γωνιακών αποστάσεων.

Για να υπολογιστεί ότι η γωνιά Γη-Αφροδίτη και Γη-Ήλιος είναι 46 μοίρες δείχνουν με το τηλεσκόπιο προς τη θέση της Αφροδίτης στον ουρανό, μετά γυρίζουν το τηλεσκόπιο να δείχνει προς τον Ήλιο και υπολογίζεται η γωνία μεταξύ των δύο σημείων στον ουρανό σε μοίρες.

Η απόσταση Γης-Αφροδίτης μπορεί να υπολογιστεί με ραντάρ, στέλνοντας ένα σήμα από τη Γη και μετρώντας πόσο χρόνο χρειάζεται για να επιστρέψει γνωρίζοντας ότι η ταχύτητα του φωτός είναι $3 \times \frac{10^8 m}{s}$

Η ταχύτητα ισούται με την απόσταση δια το χρονικό διάστημα

$$u = \frac{S}{\Delta t} \Rightarrow S = u \times \Delta t$$

Το σήμα θα πάει από τη Γη στην Αφροδίτη και θα επιστρέψει έτσι το S θα είναι 2

φορές την απόσταση χ Γης-Αφροδίτης. Το Δt θα είναι το χρονικό διάστημα που παίρνει από την στιγμή που στέλνεται το σήμα στην Αφροδίτη, ανακλάται από την Αφροδίτη και μετά μετράται στην Γη. Άρα:

$$2x = u \times \tau$$

$$x = \frac{ut}{2}$$

Το σήμα παίρνει 695 δευτερόλεπτα για να πάει στην Αφροδίτη και να κτυπήσει πίσω στη Γη.

$$\begin{aligned} \text{απόσταση Γης - Αφροδίτης} \\ = \frac{\left(3 \times 10^8 \frac{m}{s}\right) \times (695s)}{2} \end{aligned}$$

$$= 1.04 \times 10^{11} m$$

Η γωνία της ευθείας Γης-Ήλιου και της ευθείας Γης-Αφροδίτης όταν η Αφροδίτη είναι σε μέγιστη απόσταση από τον Ήλιο και σχηματίζεται ορθογώνιο τρίγωνο είναι

$$\sin 46^\circ = \frac{\text{προσκείμενη}}{\text{υποτείνουσα}}$$

$$= \frac{\text{απόσταση Γης - Αφροδίτης}}{\text{απόσταση Γης - Ήλιου}}$$

$$\text{απόσταση Γης - Ήλιου} =$$

$$\frac{\text{απόσταση Γης - Αφροδίτης}}{\sin 46^\circ} = \frac{1,04 \times 10^{11} m}{\sin 46^\circ}$$

$$= 1,5 \times 10^{11} m$$

8. Ακτίνα Ήλιου

Για να μετρηθεί το γωνιακό μέγεθος του Ήλιου μετατρέπεται το οπτικό πεδίο που καταλαμβάνει ο Ήλιος στον ουρανό σε μοίρες.

Χρησιμοποιείται τηλεσκόπιο με πλέγμα μοιρών που μετρά το γωνιακό μέγεθος του Ήλιου. Αυτός ο τύπος πλέγματος είναι ένα οπτικό εξάρτημα εντός του προσοφθάλμιου φακού που έχει γραμμές που αντιστοιχούν σε γωνιακές αποστάσεις μοίρες, arcminutes ή arcseconds

Μια μοίρα χωρίζεται σε 60 arcminutes

Η διάμετρος του Ήλιου στον ουρανό είναι 31,2 λεπτά τόξου δηλαδή 0,52 μοίρες

διάμετρος Ήλιου =

$$= \frac{\text{γωνιακό μέγεθος Ήλιου} \times \pi \times \text{απόσταση Γης - Ήλιου}}{360}$$

$$\begin{aligned}\text{διάμετρος Ήλιου} &= \frac{0,52 \times \pi \times 1,5 \times 10^{11} \text{m}}{360} = \\ &= 1,3 \times 10^9 \text{m}\end{aligned}$$

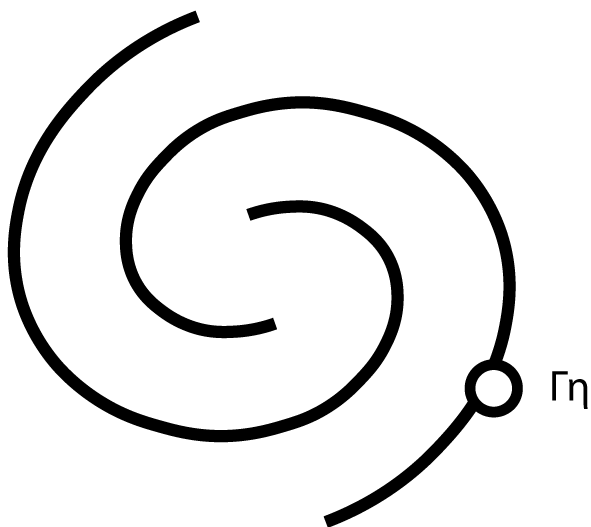
9. Ταχύτητα Ήλιου

Η ταχύτητα ενός αντικειμένου που γυρίζει γύρω από ένα μεγαλύτερο αντικείμενο υπολογίζεται από τη μάζα του

μεγαλύτερου αντικειμένου και την απόσταση μεταξύ των δύο αντικειμένων.

Το Ηλιακό Σύστημα και ο Ήλιος και οι πλανήτες κινούνται στον Γαλαξία. Το ποσό της μάζας του γαλαξία M που είναι συγκεντρωμένη από το κέντρο του Γαλαξία μέχρι απόσταση 8 kiloparsecs (που είναι η απόσταση του Ηλιακού Συστήματος από το κέντρο του Γαλαξία) είναι

$7,44 \times 10^{10}$ ηλιακές μάζες.
γαλαξίας



Η ηλιακή μάζα m είναι $1,99 \times 10^{30} kg$ άρα η μάζα από το κέντρο του γαλαξία μέχρι τον Ήλιο είναι

$$M = (7,44 \times 10^{10})(1,99 \times 10^{30} kg)$$

Η βαρυτική σταθερά $G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2}$

Η βαρυτική δύναμη έλξης μεταξύ M που είναι η μάζα του γαλαξία από το κέντρο του μέχρι το ηλιακό μας σύστημα και m που είναι η μάζα του Ήλιου υπολογίζεται από

$$F = \frac{GmM}{r^2}$$

$$F = ma$$

$$a = \frac{u^2}{r}$$

$$F = \frac{mu^2}{r}$$

$$\frac{GmM}{r^2} = \frac{mu^2}{r}$$

$$u^2 = \frac{GM}{r}$$

$$u = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$u = \sqrt{\frac{6,7 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kg s^2} \times (7,44 \times 10^{10}) \times 1,99 \times 10^{30} kg}{2,469 \times 10^{20} m}}$$

*ταχύτητα του Ήλιου και
του Ηλιακού Συστήματος*

$$= 200442 \frac{m}{s}$$

10.Θερμοκρασία του Ήλιου

Όταν μαζεύονται αέρια νέφη με βαρυτική αλληλεπίδραση, μειώνεται η βαρυτική τους δυναμική ενέργεια και αυξάνεται η κινητική ενέργεια των σωματιδίων.

Η μέση θερμοκρασία του Ήλιου μπορεί να υπολογιστεί αν θεωρηθεί ότι η κινητική και δυναμική ενέργεια είναι σταθερή.

Η θερμοκρασία του Ήλιου μπορεί να υπολογιστεί λαμβάνοντας υπόψη ότι η βαρυτική δυναμική ενέργεια των σωματιδίων του μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια καθώς συσσωρεύονται υπό τη δύναμη της βαρύτητας. Η κινητική ενέργεια σχετίζεται άμεσα με τη θερμοκρασία.

Η δυναμική ενέργεια του Ήλιου είναι

$$U = -\frac{3GM^2}{5R}$$

Η βαρυτική σταθερά $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}$

η μάζα του Ήλιου $M = 1,99 \times 10^{30} kg$

η ακτίνα του Ήλιου $R = 6,96 \times 10^8 m$

$$\begin{aligned} U &= -\frac{3(6,67 \times 10^{-11})(1,99 \times 10^{30} kg)^2}{6,96 \times 10^8 m} \\ &= -2,28 \times 10^{41} J \end{aligned}$$

Η κινητική ενέργεια K των σωματιδίων στον Ήλιο είναι ίση με τη δυναμική ενέργεια U , σύμφωνα με το θεώρημα της ισορροπίας της ενέργειας για σφαιρικά συστήματα σε βαρυτική ισορροπία

$$K = -U = 2,28 \times 10^{41} J$$

αν θεωρησουμε ότι ο Ήλιος αποτελείται από πρωτόνια, ο αριθμος των πρωτονιων N στον Ήλιο είναι η μαζα του Ήλιου δια τη μαζα ενός πρωτονιου.

$$N = \frac{M}{m_p} = \frac{1,99 \times 10^{30} kg}{1,67 \times 10^{-27} kg} = 1,19 \times 10^{57} \text{ πρωτόνια}$$

Η θερμοκρασία του Ήλιου είναι η μέση κινητική ενέργεια ενός πρωτονίου.

Η μέση κινητική ενέργεια ενός πρωτονίου είναι η κινητική ενέργεια όλων των σωματιδίων στον Ήλιο $K = 2,28 \times 10^{41} J$ διά τον αριθμό όλων των πρωτονίων στον Ήλιο $N = 1,19 \times 10^{57}$ πρωτόνια

Ο τύπος της κινητικής ενέργειας είναι

$$K = \frac{1}{2} m u^2$$

Η συνολική κινητική ενεργεια K του Ήλιου είναι ο αριθμος των πρωτονιων $N = 1,19 \times 10^{57}$ επί την μάζα του πρωτονίου $m_p = 1,67 \times 10^{-27} kg$ επί την ταχύτητα του κάθε πρωτονίου στο τετράγωνο

$$K = \frac{1}{2} N m_p u^2$$

Επιλύοντας για την ταχύτητα του κάθε πρωτονίου στον Ήλιο

$$u^2 = \frac{2K}{N m_p}$$

$$u^2 = \frac{2(2,28 \times 10^{41} J)}{1,19 \times 10^{57} \times 1,67 \times 10^{-27} kg}$$

$$= 2,3 \times \frac{10^{11} m^2}{s^2}$$

Ταχύτητα του κάθε πρωτονίου $u = 4,8 \times \frac{10^5 m}{s}$

Χρησιμοποιώντας την σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και της ταχύτητας u

$$u = \sqrt{\frac{3kT}{m_p}}$$

Η θερμοκρασία του κάθε πρωτονίου στον Ήλιο T είναι

$$T = \frac{m_p u^2}{3k}$$

Όπου k είναι η σταθερά του Boltzmann

$$1,38 \times \frac{10^{-23} J}{K}$$

$$T = \frac{1,67 \times 10^{-27} kg \times 2,3 \times \frac{10^{11} m^2}{s^2}}{3 \left(1,38 \times 10^{-23} \frac{J}{K} \right)}$$

$$= 9 \times 10^6 K$$

Η θερμοκρασία του Ήλιου είναι 9 εκατομμύρια βαθμοί Κέλβιν

12.Απόσταση Γης-Φεγγαριου

το ραντάρ στέλνει σήμα στο φεγγάρι και παίρνει 2,56 δευτερόλεπτα για το ραδιοκύμα που στέλνει το ραντάρ να κτυπήσει στην επιφάνεια του φεγγαριού και να επιστρέψει πίσω

απόσταση= ταχύτητα $\times$ χρονικό διάστημα

$$\text{ταχύτητα του ραδιοκύματος} = 3 \times \frac{10^8 m}{s}$$

η απόσταση που διανύει το ραδιοκύμα είναι δύο φορές η απόσταση Γης-Σελήνης

$$2 \text{ φορές η απόσταση} = 3 \times 10^8 \frac{m}{s} \times 2,56 s$$

$$\text{απόσταση} = 3,84 \times 10^8 m$$

13.Ακτίνα Φεγγαριού

Για να μετρηθεί το γωνιακό μέγεθος του Φεγγαριού μετατρέπεται το οπτικό πεδίο που καταλαμβάνει το Φεγγάρι στον ουρανό σε μοίρες.

Το γωνιακό μέγεθος του Φεγγαριού απο τη Γη είναι 0,5 μοίρα σχεδόν το ίδιο με το γωνιακό μέγεθος του Ήλιου από την Γη.

Για αυτό στις εκλείψεις το Φεγγάρι σκεπάζει ακριβώς τον Ήλιο επειδή έχουν το ίδιο γωνιακό μέγεθος.

έναν κύκλο έχει 360 μοίρες. Η περιφέρεια ενός κύκλου είναι $2\pi r$ όπου r η ακτίνα του κύκλου

$$\frac{0,5 \text{ μοίρα φεγγαριού}}{360 \text{ μοίρες κύκλου}} = \frac{\text{διάμετρος φεγγαριού}}{2\pi \times \text{απόσταση Γης-Φεγγαριού}} =$$

$$\text{διάμετρος φεγγαριού} =$$

$$= \frac{0,5 \times 2\pi \times 384000 \text{ km}}{360} = 3400 \text{ km}$$

14.Μετατόπιση προς το ερυθρό

Όταν ένα κύμα εκπέμπεται από μια πηγή που πλησιάζει προς τα εμάς το μήκος κύματος μικραίνει blueshift.

Όταν ένα κύμα εκπέμπεται από μια πηγή που απομακρύνεται προς τα εμάς το μήκος κύματος μεγαλώνει redshift.

Για αυτό το λόγο ένα τρένο κάνει διαφορετικό ήχο όταν πλησιάζει, διαφορετικό ήχο όταν είναι μπροστά μας και διαφορετικό ήχο όταν απομακρύνεται. Επειδή όταν το τρένο πλησιάζει το μήκος κύματος του ήχου μικραίνει, όταν είναι μπροστά μας το μήκος κύματος του ήχου δεν αλλάζει και όταν απομακρύνεται το μήκος κύματος του ήχου μεγαλώνει. Ο Edwin Hubble πρόσεξε ότι οι γραμμές εκπομπής από το φως των γαλαξιών ήταν μετατοπισμένες προς τα δεξιά προς το ερυθρό redshift αυτό σήμαινε ότι το μήκος κύματος του φωτός των γαλαξιών μεγάλωνε άρα οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς. Πρόσεξε πως όσο πιο μακριά ήταν ο γαλαξίας τόσο πιο μεγάλη η μετατόπιση προς το ερυθρό πως ο γαλαξίας απομακρυνόταν με μεγαλύτερη ταχύτητα. Η σχέση απόστασης και μετατόπισης προς το ερυθρό είναι γραμμική. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από ένα αντικείμενο τόσο μεγαλύτερο το redshift η μετατόπιση προς το ερυθρό.

$$v = H_0 d$$

v είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία, H_0 είναι η σταθερά του Hubble, και d είναι η απόσταση του γαλαξία από τη Γη.

Αυτή η γραμμική σχέση σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από ένα αντικείμενο, τόσο μεγαλύτερο το redshift (μετατόπιση προς το ερυθρό) που παρατηρούμε.

Οι αστρονομικές αποστάσεις μετριοούνται σε redshift z , σε parsecs και σε έτη φωτός επειδή η απόσταση και η μετατόπιση προς το ερυθρό έχουν γραμμική σχέση η απόσταση μετρίεται και σε μετατόπιση προς το ερυθρό.

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda_{\text{παρατηρούμενο}} - \lambda_0}{\lambda_0}$$

λ_0 είναι το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται από την πηγή,

$\lambda_{\text{παρατηρούμενο}}$ είναι το μήκος κύματος που παρατηρούμε

$\Delta\lambda$ είναι η διαφορά στο μήκος κύματος.

Η μετατόπιση προς το ερυθρό χρησιμοποιείται και για να μετρά το χρόνο. Επειδή το φως έχει συγκεκριμένη ταχύτητα $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ όσο πιο μακριά βλέπουμε τόσο πιο πίσω στο χρόνο βλέπουμε και όσο πιο μακριά βλέπουμε είναι πιο μεγάλη η μετατόπιση προς το ερυθρό.

Όσο πιο μεγάλη απόσταση διανύει το φως τόσο περισσότερο μεγαλώνει το μήκος κύματος του φωτός και γίνεται μεγαλύτερη η μετατόπιση προς το ερυθρό. Έτσι χρησιμοποιώντας την μετατόπιση προς το ερυθρό μπορεί να προσδιοριστεί η απόσταση και ο χρόνος που έγινε κάτι στην κοσμολογία.

Η μετατόπιση προς το ερυθρό χρησιμοποιείται επειδή μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότεροι αριθμοί που δείχνουν την απόσταση και το χρόνο.

Όταν γίνονται υπολογισμοί για να υπολογιστεί ο χρόνος που έγιναν διάφορα συμβάντα στο σύμπαν χρησιμοποιείται συχνά η μετατόπιση προς το ερυθρό επειδή το αποτέλεσμα είναι σε μετατόπιση προς το ερυθρό.

15. Το Φως αποσταση και χρονος

Το φως έχει μια ορισμένη ταχύτητα, $3 \times 10^8 \frac{m}{s}$. Επειδή έχει ορισμένη ταχύτητα δεν βλέπουμε τα αντικείμενα που βρίσκονται μακριά όπως είναι τώρα, αλλά όπως ήταν χιλιάδες, εκατομμύρια και δισεκατομμύρια χρόνια πριν. Αυτό επειδή το φως από μακρινά αντικείμενα παίρνει εκατομμύρια και δισεκατομμύρια χρόνια για να φτάσει σε μας και όσο πιο μακριά κοιτάζουμε, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση από τα αντικείμενα και τόσο πιο πίσω στο χρόνο κοιτάζουμε.

Παίρνει λίγο περισσότερο από 1 δευτερόλεπτο για το φως από το Φεγγάρι για να μας φτάσει, έτσι το βλέπουμε όπως ήταν 1 δευτερόλεπτο πριν, παίρνει περίπου 8 λεπτά για να φτάσει σε μας το φως από τον Ήλιο, και παίρνει 4 χρόνια για να φτάσει από κοντινά αστέρια. Οι πιο κοντινοί γαλαξίες είναι εκατομμύρια έτη φωτός μακριά - παίρνει στο φως από αυτά εκατομμύρια χρόνια για να μας φτάσει. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του αντικειμένου, τόσο μεγαλύτερη η αλλαγή του μήκους κύματος του φωτός που εκπέμπεται από αυτό, λόγω της διαστολής του σύμπαντος - μετατόπιση προς το ερυθρό. Έτσι, αντικείμενα που είναι πιο μακριά από εμάς, είναι όπως ήταν πιο πίσω στο χρόνο και έχουν μια μεγαλύτερη μετατόπιση προς το ερυθρό.

16.Φασματοσκοπία

Όταν το φως περνά από ένα αέριο, το αέριο απορροφά συγκεκριμένα μήκη κύματος του φωτός. Τα μήκη κύματος που απορροφούνται εξαρτώνται από το αέριο. Τα διαφορετικά χρώματα του φωτός είναι αποτέλεσμα του τρόπου με τον οποίο διαφορετικά μήκη κύματος φωτός ερεθίζουν τα μάτια και τον εγκέφαλο μας. Όταν το φως περνά από ένα πρίσμα εμφανίζονται διαφορετικά χρώματα επειδή το φως αποτελείται από

διαφορετικά μήκη κύματος που διαθλούνται σε διαφορετικές γωνίες. Τα χρώματα που εμφανίζονται είναι το βιολετί, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο. Το βιολετί χρώμα που έχει μικρότερο μήκος κύματος και περισσότερη ενέργεια εμφανίζεται στα αριστερά και το κόκκινο χρώμα που έχει μεγαλύτερο μήκος κύματος και λιγότερη ενέργεια στα δεξιά. Το πράσινο είναι κάπου στη μέση. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός είναι 390-700 nm.

Στο μήκος κύματος όπου απορροφάται, το φως λείπει και υπάρχει μια μαύρη γραμμή. Μπορεί να υπάρξει μαύρη γραμμή απορρόφησης, λόγω της απορρόφησης των μηκών κύματος ή φάσματα εκπομπής, όπου υπάρχει αυξημένη ένταση του φωτός σε ορισμένες συχνότητες λόγω της εκπομπής ακτινοβολίας από το σώμα. Όταν δεν υπάρχουν μαύρες γραμμές ή γραμμές με αυξημένη ένταση και όλα τα χρώματα φαίνονται, το φάσμα είναι συνεχές.

Το 1862 ο Anders Jonas Angstrom διαπίστωσε ότι το ατομικό φάσμα που παράγεται από ηλεκτρικά τόξα που το φως τους περνά μέσα από ένα αέριο περιέχουν μαύρες γραμμές σε διαφορετικά μέρη του φάσματος για διαφορετικά αέρια. Βρήκε 4 φάσματα για το υδρογόνο. Ο Balmer ένας

δάσκαλος μαθηματικών παραπονέθηκε σε ένα φίλο που ότι είχε βαρεθεί και ο φίλος του του είπε να προσπαθήσει να βρει τη σχέση μεταξύ των μηκών κύματος που μέτρησε ο Angstrom περισσότερα από 10 χρόνια πριν. Ο Balmer δεν βρήκε μόνο τη σχέση των αριθμών, αλλά ο τύπος πρόβλεπε μια άλλη γραμμή του υδρογόνου που δεν είχε παρατηρηθεί που αργότερα αποδείχθηκε να υπάρχει.

Ο Balmer αναγνώρισε τις δυνατότητες της ανακάλυψής του και είπε ότι το υδρογόνο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη γνώση της δομής της ύλης και τις ιδιότητές της και θα έπρεπε να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη σχέση μεταξύ των γραμμών. Αυτό αποδείχθηκε να είναι αληθινό για πολλές σημαντικές ανακαλύψεις στη φυσική δεκαετίες αργότερα.

17.Στοιχεία του Ήλιου και φασματικές γραμμές

Ο Ήλιος είναι 74% υδρογόνο, 24% ήλιο και 2% τα υπόλοιπα στοιχεία. Από το φως από τον Ήλιο, από το φάσμα, από emission και absorption lines, ξέρουμε τα υλικά από τα οποία αποτελείται ο Ήλιος. Το κάθε υλικό έχει δικό του δακτυλικό αποτύπωμα. Το φως από τον Ήλιο δείχνει 67 διαφορετικά στοιχεία, και το ασβέστιο έχει πολύ πιο έντονες φασματικές

γραμμές από το υδρογόνο. Τότε γιατί ο Ήλιος δεν αποτελείται κυρίως από ασβέστιο αντί για υδρογόνο, αφού το φως από το ασβέστιο είναι περισσότερο από το υδρογόνο;

Το υδρογόνο στον Ήλιο είναι πρωτόνια μόνα τους, χωρίς ηλεκτρόνια. Για να παραχθεί φως από ένα άτομο, το άτομο χρειάζεται ηλεκτρόνιο που θα αλλάξει τροχιά. Άρα, σχεδόν όλο το υδρογόνο στον Ήλιο δεν μπορεί να στείλει φως επειδή δεν έχει ηλεκτρόνια, εκτός από το πολύ λίγο υδρογόνο που έχει ηλεκτρόνια. Το λίγο υδρογόνο που μπορεί να στείλει φως έχει 400 φορές μικρότερη πιθανότητα να στείλει φως από ότι το ασβέστιο. Το ασβέστιο εύκολα στέλνει φως, ενώ το υδρογόνο που έχει ηλεκτρόνιο και μπορεί να στείλει φως το στέλνει πολύ πιο δύσκολα. Το υδρογόνο πολύ πιο δύσκολα είναι στην σωστή διεγερμένη κατάσταση (excited state) για να παράξει φως στο ορατό φάσμα που μπορούμε να δούμε.

Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας εκπέμπεται από έναν λεπτό μανδύα, τη φωτόσφαιρα. Εσωτερικά της φωτόσφαιρας, το αέριο είναι πιο πυκνό και τα φωτόνια δεν μπορούν να ξεφύγουν. Τα φωτόνια στο εσωτερικό του Ήλιου εκπέμπονται, απορροφώνται και

ξαναεκπέμπονται και δεν μπορούν να ταξιδέψουν προς τα έξω.

Ένα ηλεκτρόνιο σε ένα επίπεδο ενέργειας μπορεί να απορροφήσει ένα φωτόνιο με συγκεκριμένη ενέργεια. Αν το φωτόνιο δεν έχει τη συγκεκριμένη ενέργεια, δεν μπορεί να το απορροφήσει. Μόνο φωτόνια με συγκεκριμένες ενέργειες που αναλογούν στη διαφορά μεταξύ των διάφορων επιπέδων ενέργειας μπορούν να απορροφηθούν. Επειδή η δομή των ηλεκτρονίων σε κάθε άτομο είναι διαφορετική, οι ενέργειες φωτονίων που μπορούν να απορροφηθούν είναι διαφορετικές.

Όταν λευκό φως, που αποτελείται από φωτόνια όλων των ορατών μηκών κύματος, περνά από αέριο υδρογόνο, ένα φωτόνιο με μήκος κύματος 656 νανόμετρα έχει τη σωστή ενέργεια για να ανεβάσει ένα ηλεκτρόνιο σε ένα άτομο υδρογόνου από τη δεύτερη στη τρίτη στιβάδα. Ένας αριθμός φωτονίων αυτού του μήκους κύματος θα λείπουν από το φάσμα του φωτός. Άλλα φωτόνια θα έχουν τις σωστές ενέργειες για να ανεβάσουν τα ηλεκτρόνια από τη δεύτερη στην τέταρτη τροχιά ή από την πρώτη στην πέμπτη. Έτσι, απορροφώνται μόνο συγκεκριμένα μήκη κύματος.

Το ορατό φάσμα του φωτός στο υδρογόνο μπορεί να έχει εκπομπή ή απορρόφηση στα 410 nm ($n=6$ προς $n=2$), 434 nm ($n=5$ προς $n=2$), 486 nm ($n=4$ προς $n=2$), 656 nm ($n=3$ προς $n=2$). Για το υδρογόνο, η μετακίνηση από ή προς το ground state λέγεται σειρά Lyman και έχει αποτέλεσμα την εκπομπή ή απορρόφηση φωτονίων υπεριώδους ακτινοβολίας. Η μεταβολή από ή προς τη δεύτερη στιβάδα, την πρώτη διεγερμένη κατάσταση, ονομάζεται σειρά Balmer και παράγει ή απορροφά ορατό φως. Οι γραμμές απορρόφησης ή εκπομπής του υδρογόνου στο ορατό φάσμα του φωτός είναι η σειρά Balmer.

Τα άτομα στον Ήλιο διεγείρονται και αποδιεγείρονται, απορροφούν και εκπέμπουν φως. Ο λόγος που το φως δεν γεμίζει τις γραμμές απορρόφησης είναι επειδή το φως εκπέμπεται σε όλες τις κατευθύνσεις.

Η δύναμη της γραμμής απορρόφησης, δηλαδή η ποσότητα της ενέργειας που αφαιρείται από το φάσμα, εξαρτάται από την ποσότητα του στοιχείου και την αποδοτικότητα της απορρόφησης. Το υδρογόνο έχει μικρή αποδοτικότητα απορρόφησης, ενώ το ιονισμένο ασβέστιο πολύ υψηλή. Η αποδοτικότητα εξαρτάται

από τη διαθεσιμότητα ηλεκτρονίων για μετακίνηση σε πιο υψηλές ενέργειες και την πιθανότητα απορρόφησης φωτονίου. Η αποδοτικότητα εξαρτάται επίσης από τη θερμοκρασία.

Όταν περνά φως με όλα τα χρώματα του φάσματος από υδρογόνο, όλα τα φωτόνια που έχουν ενέργεια 10.2 δεν θα περάσουν επειδή θα απορροφηθούν από τα άτομα υδρογόνου, τα οποία πηδούν από το πρώτο επίπεδο ενέργειας στο δεύτερο επίπεδο ενέργειας. Το φως με ενέργεια 1.89 δεν θα περάσει επειδή τα φωτόνια θα απορροφηθούν από ηλεκτρόνια ατόμου υδρογόνου, τα οποία θα μεταβούν από το δεύτερο επίπεδο ενέργειας στο τρίτο.

Αν το υδρογόνο είναι πολύ ζεστό, τα άτομα υδρογόνου θα συγκρούονται το ένα με το άλλο με αρκετή δύναμη, και το αέριο θα ιονιστεί και θα φύγουν τα ηλεκτρόνια από τα άτομα. Τα άτομα υδρογόνου χωρίς ηλεκτρόνια δεν μπορούν να απορροφήσουν φως, και δεν φαίνονται γραμμές απορρόφησης. Ιονισμός για το υδρογόνο γίνεται στους 10,000 K και, έτσι, όταν δεν φαίνονται γραμμές απορρόφησης, το αέριο έχει θερμοκρασία πάνω από 10,000 K.

Η ένταση των γραμμών απορρόφησης διαφέρει ανάμεσα στα αστέρια λόγω του ότι η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας παίζει ρόλο στην ένταση των γραμμών. Έτσι, το είδος των γραμμών και η έντασή τους δείχνουν τη θερμοκρασία ενός αστεριού. Η θερμοκρασία επηρεάζει πόσα ηλεκτρόνια υπάρχουν σε ποια επίπεδα ενέργειας. Για να παραχθεί γραμμή απορρόφησης υδρογόνου, το ηλεκτρόνιο του ατόμου πρέπει να είναι στο δεύτερο επίπεδο ενέργειας όταν απορροφά φωτόνιο. Αν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή, τα περισσότερα άτομα θα έχουν ηλεκτρόνια σε πιο υψηλά επίπεδα ενέργειας. Αν η θερμοκρασία είναι πιο χαμηλή, τα περισσότερα άτομα υδρογόνου θα έχουν τα ηλεκτρόνιά τους στο ground state. Αν δεν υπάρχουν ηλεκτρόνια στο άτομο, δεν υπάρχουν γραμμές απορρόφησης. Αν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή, τότε υπάρχουν λίγα ηλεκτρόνια στο δεύτερο επίπεδο, και τα περισσότερα ηλεκτρόνια είναι στο ground state.

Τα περισσότερα αστέρια είναι πολύ ζεστά ή πολύ κρύα για να έχουν άτομα που παράγουν δυνατές γραμμές απορρόφησης υδρογόνου. Έτσι, έχουν αδύνατες γραμμές υδρογόνου.

Τα άτομα ηλίου ασκούν μεγαλύτερη δύναμη στα ηλεκτρόνια και έτσι παράγουν γραμμές απορρόφησης σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Τα άτομα του ασβεστίου ασκούν μικρότερη δύναμη στα ηλεκτρόνιά τους, έτσι οι γραμμές ασβεστίου είναι πιο δυνατές σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η γραμμή απορρόφησης Balmer παρά

γεται από ουδέτερο υδρογόνο στην πρώτη διεγερμένη φάση στη δεύτερη στιβάδα. Οι γραμμές Ca H και K παράγονται από ιονισμένο ασβέστιο, που έχει χάσει ένα από τα ηλεκτρόνιά του στο ground state.

Τα βήματα για να υπολογιστεί πόσο περισσότερο είναι το υδρογόνο στον Ήλιο από ότι το ασβέστιο, παρόλο που το ασβέστιο έχει πιο έντονες φασματικές γραμμές.

Λόγω του ότι το ιονισμένο ασβέστιο απορροφά πιο εύκολα ορατό φως, επειδή τα ηλεκτρόνια του ασβεστίου βρίσκονται στην τροχιά που παράγει και απορροφά ορατό φως, και λόγω του ότι το περισσότερο υδρογόνο βρίσκεται στο θεμελιώδες επίπεδο (ground state) (τα ηλεκτρόνια στα άτομα υδρογόνου είναι στην πρώτη τροχιά, $n=1$, που δεν παράγει και δεν απορροφά ορατό φως), το φως που απορροφάται από το ασβέστιο είναι

πολλαπλάσιο, παρόλο που το υδρογόνο είναι πολύ περισσότερο από το ασβέστιο.

Το ποσοστό του ουδέτερου υδρογόνου στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση δίνεται από την εξίσωση Boltzmann.

Πρώτο βήμα υπολογίζεται η αναλογία ιονισμένου υδρογόνου (υδρογόνου χωρίς ηλεκτρόνια) με την αναλογία μη ιονισμένου υδρογόνου (υδρογόνου με ηλεκτρόνιο).

Πυκνότητα ηλεκτρονίων

$$n_e = \frac{P_e}{kT} = \frac{15}{(1.38 \times 10^{-16})(5780)} = 1.9 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$$

Αν το υδρογόνο είναι ουδέτερο η ιονισμένο

Ποσοστό ιονισμένου υδρογόνου $n(\text{HII})$ προς ουδέτερο υδρογόνο $n(\text{HI})$

Saha equation

$$\frac{n(\text{HII})}{n(\text{HI})} = \frac{g_{\text{II}}}{g_{\text{I}}} \frac{2}{n_e h^3} (2\pi m_e kT)^{\frac{3}{2}} e^{\left(-\frac{x}{kT}\right)}$$

δεύτερο βήμα τα στατιστικά βάρη δείχνουν τις πιθανές κβαντικές καταστάσεις.

Το στατιστικό βάρος του ιονισμένου υδρογόνου είναι 1 επειδή το ιονισμένο υδρογόνο είναι ένα πρωτόνιο και μπορεί να υπάρξει σε μόνο μια κατάσταση

Το στατιστικό βάρος του ουδετερου υδρογονου που είναι ένα πρωτονιο και ένα ηλεκτρονιο είναι 2. Το ηλεκτρονιο μπορεί να είναι στο ground επιπεδο με σπιν πανω η κατω

$$g_I = \sum_{n=1}^{\infty} g_n e^{-\frac{E_i - E_1}{kT}} = \sum_{n=1}^{\infty} 2n^2 e^{\left(\frac{-13.6\text{eV}}{kT} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\right)}$$

$$kT = 8.622 \times 10^{-5} (5780\text{K}) = 0.50 \text{ eV}$$

$$\text{Για } n=1 \quad 2n^2 e^{\left(\frac{-13.6\text{eV}}{kT} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\right)} =$$

$$2(1)^2 e^{\left(\frac{-13.6\text{eV}}{0.50} \left(1 - \frac{1}{1^2}\right)\right)} = 2(1)e^0 = 2$$

Για η με μεγαλυτερες τιμες από το 1 το $2n^2$ πολλαπλασιαζεται με περιπου e^{-20} ετσι δεν είναι σημαντικη η εισφορα για τιμες μεγαλυτερες του 1

τρίτο βήμα η κατανομή Boltzmann δείχνει την αναλογία ατόμων υδρογόνου με ηλεκτρόνιο στην πρώτη τροχιά $n=1$ και στη δεύτερη τροχιά $n=2$. Τα ηλεκτρόνια στη δεύτερη τροχιά $n=2$ παράγουν ορατό φως.

Saha equation ιονισμενο υδρογονο δια ουδετερο υδρογονο

$$\begin{aligned} \frac{n(\text{HII})}{n(\text{HI})} &= \frac{g_{\text{II}}}{g_{\text{I}}} \frac{2}{n_e h^3} (2\pi m_e kT)^{\frac{3}{2}} e^{\left(-\frac{x}{kT}\right)} = \\ &= \frac{1}{2} \frac{2}{1.9 \times 10^{13}} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{13.6}{0.50}} \end{aligned}$$

$$\left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}}$$

$$= \left(\frac{2(3.14)(5.69 \times 10^{-16})(8.622 \times 10^{-5})(5780)}{(4.13 \times 10^{-15})^2}\right)$$

$$= 1.066 \times 10^{21}$$

$$\frac{n(\text{HII})}{n(\text{HI})} = \frac{1.066 \times 10^{21}}{1.9 \times 10^{13}} e^{-\frac{13.6}{0.50}}$$

$\frac{n(\text{HII})}{n(\text{HI})} = 8 \times 10^{-5}$ το υδρογόνο είναι ουδετερο
τέταρτο βήμα υπολογίζεται η ενέργεια που
χρειάζεται για να πάει το ηλεκτρόνιο από
την πρώτη στη δεύτερη τροχιά, ώστε να
υπολογιστεί πόσα άτομα υδρογόνου
μπορούν να απορροφήσουν ορατό φως.

Ο αριθμος υδρογονων στο $n=2$ που μπορεί
να απορροφησει Balmer alpha

Η διαφορά στα ενεργειακά επιπεδα $n=1$
και 2 ground first excited state είναι

$$13.6\text{eV}\left(1 - \frac{1}{4}\right) = 10.2 \text{ eV}$$

Boltzmann equation ποσοστο υδρογόνου
που είναι στην πρώτη διεγερμένη
κατασταση $n=2$ που μπορεί να παραξει
απορροφηση Balmer να απορροφησει
φωτονια μηκους κυμματος 656 nm

Για ουδετερο υδρογόνο $g_n = 2n^2$

$$g_1 = 2(1)^2 \quad g_2 = 2(2)^2$$

$$\frac{N_{n=2}}{N_{n=1}} = \frac{g_2}{g_1} e^{\left(-\frac{10.2}{kT}\right)} = \frac{2(2^2)}{2} e^{-\frac{10.2}{0.50}} = 5.5 \times 10^{-9}$$

Λιγότερο από $1/1000000000$ των ατομών υδρογόνου είναι στην πρώτη διεγερμένη κατάσταση $n=2$ και μπορεί να παράξει ορατό φως
 πέμπτο βήμα υπολογίζεται η αναλογία ιονισμένου ασβεστίου (που του λείπει ένα ηλεκτρόνιο) και ουδέτερου ασβεστίου (που δεν του λείπει ηλεκτρόνιο).

Saha equation

Αριθμός ατομών ιονισμένου ασβεστίου
 δια αριθμό ατομών ουδέτερου ασβεστίου

$$\frac{n(\text{CaII})}{n(\text{CaI})} = \frac{2g(\text{CaII})}{g(\text{CaI})n_e} \left(\frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} e^{\left(\frac{-6.11\text{eV}}{kT} \right)} =$$

$$= \frac{2(2.3)}{1.32(1.9 \times 10^{13})} 2.41 \times 10^{15} (5780)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{6.11}{0.50}}$$

$$= 950$$

έκτο βήμα συγκρίνονται οι γραμμές απορρόφησης του ασβεστίου στο ορατό φως (γραμμές Ca, H, K) με τις γραμμές απορρόφησης του υδρογόνου στο ορατό φως (γραμμές Balmer).

Αντιθετα με το υδρογόνο το ασβεστιο είναι ιονισμενο

Το ποσοστο του ασβεστιου που είναι στο ground state που μπορει να παραξει το Ca II K line είναι το partition function για το ground state που είναι 2 διαιρωντας με το

partition function για το CaII που είναι 2.3
ετσι 87% είναι στο ground state

Το υδρογονο είναι ουδετερο αλλα μονο
 5×10^{-9} είναι στην πρωτη διεγερμενη
κατασταση

Ετσι σχεδον ολο το ασβεστιο στην
επιφανεια του ηλιου είναι στη σωστη
κατασταση ground state $n=1$ για να
παραξει Ca K H αλλα μονο 5.5×10^{-9} του
υδρογονου είναι στη σωστη κατασταση
 $n=2$ για να παραξει απορροφηση Balmer
Ο αριθμος των ατομων ασβεστιου δια τον
αριθμο ατομων υδρογονου

Οι γραμμες απορροφησης του ασβεστιου
είναι 400 φορές πιο δυνατες από τις
ατομικες γραμμες απορροφησης του
υδρογονου. Αυτό σημαινει ότι υοπαρχουν
400 φορές περισσοτερα ατομα ασβεστιου
στο ground state από ότι ατομα
υδρογονου στην πρωτη διεγερμενη
κατασταση στη γραμμη ορασης που είναι
στη σωστη κατασταση για να
απορροφησουν ένα φωτονιο

Τα ατομα υδρογονου στην πρωτη
διεγερμενη κατασταση είναι 5.5×10^{-9} των
ατομων του υδρογονου και τα ατομα του
ασβεστιου στο ground state είναι 0.87 των
ατομων ασβεστιου

Ο αριθμος των ατομων ασβεστιου στο
ground state $n=1$ που μπορούν να
απορροφησουν φωτονιο είναι 400 φορές
περισσοτερα τον αριθμο των ατομων

υδρογονου στη πρωτη διεγερμενη
κατασταση $n=2$ που μπορούν να
απορροφησουν Balmer alpha

Ένα άτομο ασβεστιου είναι ένα απο
 $1/0.87=1.149$ ατομα ασβεστιου. Για καθε
ένα ατομο ασβεστιου που είναι στο ground
state υπάρχουν 1.149 ατομα ασβεστιου
Ένα ατομο υδρογονου στο first excited
state $n=2$ είναι ένα απο $\frac{1}{5.5 \times 10^{-9}} = 1.8 \times$
 10^8 ατομα υδρογονου. Για καθε ένα ατομο
υδρογονου στο first excited state $n=2$
υπάρχουν 1.8×10^8 ατομα υδρογονου
Ο αριθμος ατομων ασβεστιου δια τον
αριθμο ατομων υδρογονου είναι τα 400
περισσοτερα ατομα ασβεστιου που
απορροφουν φωτονιο απο τα ατομα
υδρογονου που απορροφουν φωτονιο που
ένα ατομο ασβεστιου στην $n=1$ είναι το
ένα απο $1/0.87=1.149$ των ατομων
ασβεστιου δια ένα ατομο υδρογονου στην
 $n=2$ που είναι το ένα απο $\frac{1}{5.5 \times 10^{-9}} = 1.8 \times$
 10^8 των ατομων υδρογονου

$$\frac{N_{Ca}}{N_H} = 400 \frac{\frac{1}{0.87}}{\frac{1}{5.5 \times 10^{-9}}} = 400 \frac{5.5 \times 10^{-9}}{0.87} = 2.5 \times 10^{-6}$$

ο αριθμος ατομων ασβεστιου δια τον
αριθμο των ατομων υδρογονου είναι $2.5 \times$

10^{-6} Για κάθε άτομο ασβεστίου υπάρχουν
 $\frac{1}{2.5 \times 10^{-6}} = 400000$ άτομα υδρογόνου

18. Παράδοξο του Όλμπερς

Αν το Σύμπαν είναι άπειρο, τότε παντού όπου θα κοιτούσαμε στον ουρανό θα βλέπαμε ένα αστέρι και ο ουρανός θα ήταν λαμπερός και όχι σκοτεινός.

Αν το Σύμπαν δεν αλλάζει με το χρόνο και είναι ομοιογενές σε μεγάλη κλίμακα θα έπρεπε να υπάρχουν πολλά αστέρια σαν αυτά που παρατηρούμε. Πίσω από τα αστέρια που βλέπουμε θα έπρεπε να υπάρχουν και άλλα αστέρια και πίσω από εκείνα άλλα, και κάθε γραμμή όρασης θα έφτανε σε ένα αστέρι, όπως κάθε γραμμή όρασης σε ένα δάσος φτάνει σε ένα δέντρο.

Ο λόγος που ο ουρανός είναι σκοτεινός είναι επειδή η ταχύτητα του φωτός είναι συγκεκριμένη και το Σύμπαν έχει συγκεκριμένη ηλικία. Το Σύμπαν έχει ηλικία 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια. Εφόσον το φως ταξιδεύει με συγκεκριμένη ταχύτητα, το φως από αντικείμενα που είναι πολύ μακριά δεν έχει φτάσει σε εμάς, έτσι ο ουρανός είναι σκοτεινός.

Δεν είναι μόνο ότι το φως δεν έχει φτάσει

ακόμα σε εμάς, αλλά και ότι το παρατηρήσιμο Σύμπαν καθορίζει τον «ορίζοντα» πέρα από τον οποίο δεν μπορούμε να δούμε. Υπάρχει το ορατό σύμπαν και το αόρατο σύμπαν. Οι γαλαξίες στο αόρατο σύμπαν απομακρύνονται από εμάς με ταχύτητα μεγαλύτερη από την ταχύτητα του φωτός και δεν μπορούμε να τους δούμε.

Στην πραγματικότητα υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός αστεριών και τα αστέρια δεν δημιουργήθηκαν με το Σύμπαν αλλά αργότερα. Ακόμη και αν τα αστέρια δημιουργήθηκαν πολύ πιο πριν από ότι στην πραγματικότητα και το Σύμπαν ήταν άπειρο, ο ουρανός πάλι θα ήταν σκοτεινός.

Επειδή το Σύμπαν επεκτείνεται το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται μεγαλώνει καθώς ταξιδεύει και όσο πιο μακριά είναι ένα αντικείμενο, τόσο περισσότερο το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου φωτός μεγαλώνει. Έτσι όταν φως από μακριά αντικείμενα όπως αστέρια φτάνει σε εμάς, δεν είναι πια ορατό φως επειδή το μήκος κύματος του δεν είναι στο ορατό φάσμα και δεν μπορούμε να τα δούμε.

Ακόμη αν το Σύμπαν ήταν πολύ πιο μεγάλο σε ηλικία και υπήρχαν αστέρια πιο μακριά και υπήρχε ένα αστέρι για κάθε γραμμή όρασης, δεν θα μπορούσαμε να το δούμε επειδή το φως που θα έφτανε σε μας δεν θα ήταν ορατό φως, επειδή το μήκος κύματος του θα άλλαζε με την απόσταση.

Το Σύμπαν έχει συγκεκριμένη ηλικία, που σημαίνει ότι τα αστέρια δεν είχαν άπειρο χρόνο για να γεμίσουν τον ουρανό με φως.

Η διαστολή του Σύμπαντος μετατοπίζει το φως από μακρινά αστέρια έξω από το ορατό φάσμα.

Δεν είναι όλες οι γραμμές όρασης γεμάτες με αστέρια λόγω του συγκεκριμένου αριθμού αστεριών.

19. Η αρχή του Κοπέρνικου και Ισοτροπικό και Ομοιογενές Σύμπαν

Η αρχή του Κοπέρνικου λέει πως η Γη δεν έχει προνομιακή θέση στο Σύμπαν. Ο Κοπέρνικος έδειξε πως το κέντρο του Ηλιακού Συστήματος είναι ο Ήλιος, και όχι η Γη και ότι δεν είμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος.

Όταν η αρχή του Κοπέρνικου εφαρμόζεται στην κοσμολογία σημαίνει ότι δεν υπάρχουν προνομιακές θέσεις στο Σύμπαν και ότι δεν υπάρχουν προνομιακές διευθύνσεις. Το Σύμπαν είναι ομοιογενές

και ισοτροπικό. Ομοιογενές - κάθε περιοχή είναι η ίδια όπως κάθε άλλη περιοχή και ισοτροπικό - μοιάζει το ίδιο σε κάθε διεύθυνση.

Ομοιογένεια δεν σημαίνει ισοτροπία και ισοτροπία δεν σημαίνει απαραίτητα ομοιογένεια. Αν βρίσκεσαι σε μια σφαίρα που είναι ομοιογενής, όλα θα έμοιαζαν το ίδιο σε κάθε διεύθυνση μόνο όταν βρίσκεσαι στο κέντρο της σφαίρας. Παρόλο που η σφαίρα είναι ομοιογενής τα πράγματα θα ήταν διαφορετικά σε διαφορετικές διευθύνσεις αν δεν είσαι στο κέντρο της σφαίρας, επειδή θα περιτριγυρίζουν απο διαφορετική ποσότητα υλικού σε κάθε διεύθυνση.

Θα μπορούσες να έχεις μια σφαίρα που δεν είναι ομοιογενής και αποτελείται από υλικό με διαφορετική πυκνότητα και θα μπορούσε να υπάρχει μια θέση στη σφαίρα ώστε κάθε διεύθυνση φαίνεται η ίδια παρόλο που η σφαίρα δεν είναι ομοιογενής αλλά αυτό δεν μπορεί να γίνει για όλες τις θέσεις στη σφαίρα. Αν η σφαίρα δεν είναι ομοιογενής και είσαι κοντά στην άκρη της σφαίρας και η μικρή απόσταση στην άκρη είναι πιο πυκνή, η μεγαλύτερη απόσταση στην άλλη άκρη είναι λιγότερο πυκνή και η πυκνότητα είναι ανάλογη της απόστασης, τότε θα

ήταν ισοτροπική παρόλο που η πυκνότητα δεν είναι η ίδια και το υλικό δεν είναι ομοιογενές.

Για το Σύμπαν να είναι ομοιογενές πρέπει να είναι ισοτροπικό για όλους τους παρατηρητές, έτσι πρέπει να μοιάζει το ίδιο από όλα τα σημεία. Μπορείς να έχεις ένα Σύμπαν που να είναι ομοιογενές και όχι ισοτροπικό αλλά δεν μπορείς να έχεις ένα σύμπαν που είναι μη ομοιογενές και ισοτροπικό. Εφόσον ένα ομοιογενές σύμπαν μπορεί να μοιάζει ισοτροπικό μόνο όταν βρίσκεσαι στο κέντρο της σφαίρας, ένα ισοτροπικό σύμπαν σημαίνει πως το σύμπαν δεν έχει κέντρο. Οι παρατηρήσεις δείχνουν πως το Σύμπαν είναι ομοιογενές και ισοτροπικό μαζί σε μεγάλες κλίμακες. Έτσι όχι μόνο δεν είμαστε σε προνομιακή θέση στο Σύμπαν αλλά το Σύμπαν δεν έχει κέντρο και δεν δημιουργήθηκε από συγκεκριμένο σημείο ή κέντρο.

20. Διαστολή του Σύμπαντος

Επειδή οι εξισώσεις της Γενικής Θεωρίας της Σχετικότητας ήταν πολύ δύσκολο να επιλυθούν, ο Albert Einstein θεώρησε ότι το Σύμπαν είναι ομοιογενές και ισοτροπικό. Η υπόθεση σήμαινε ότι το Σύμπαν είτε επεκτείνεται ή συρρικνώνεται. Ο Alexander Friedmann κατά την πολιορκία της Πετρούπολης ανέπτυξε μαθηματικά μοντέλα για διαστελλόμενο σύμπαν. Αργότερα, ένας ιερέας, ο George Lemaitre βρήκε ανεξάρτητα τα ίδια αποτελέσματα με τον Friedmann και τα έκανε γνωστά στη Δύση. Ο Edwin Hubble ανακάλυψε ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από εμάς. Έλεγε τις γραμμές εκπομπής που παράγονται από το φως των γαλαξιών και πρόσεξε ότι η θέση τους δεν ήταν στο σημείο που έπρεπε να είναι, αλλά η θέση τους ήταν μετατοπισμένη προς μεγαλύτερα μήκη κύματος. Αυτό είναι παρόμοιο με ένα τρένο που κάνει διαφορετικό ήχο όταν πλησιάζει, όταν είναι δίπλα και όταν αυτό κινείται μακριά. Όταν το τρένο κινείται προς το μέρος σου, το μήκος κύματος του ήχου μικραίνει, και όταν απομακρύνεται μεγαλώνει. Αυτή είναι η μέθοδος που χρησιμοποιούν τα ραντάρ της αστυνομίας για να ελέγξουν την ταχύτητα των αυτοκινήτων. Ο Hubble

μέτρησε μεγαλύτερη αύξηση του μήκους κύματος για τους μακρινούς γαλαξίες.

Χρησιμοποίησε την αλλαγή στο μήκος κύματος για να βρει τη μετατόπιση προς το ερυθρό (αύξηση του μήκους κύματος) - redshift. Μετέτρεψε το redshift σε αλλαγή ταχύτητας και έδειξε ότι οι πιο μακρινοί γαλαξίες έχουν μεγαλύτερη μετατόπιση προς το ερυθρό - redshift και απομακρύνονται από εμάς πιο γρήγορα. Έκανε γραφική παράσταση της απόστασης με την ταχύτητα και βρήκε ότι η σχέση είναι γραμμική.

Ο Lemaître πρότεινε ότι η θεωρία του, μαζί με τα αποτελέσματα του Hubble δείχνουν ότι το Σύμπαν διαστέλλεται. Δεν είμαστε στο κέντρο της διαστολής και αυτό δεν παραβιάζει την αρχή του Κοπέρνικου, ότι δεν είμαστε στο κέντρο του Σύμπαντος, επειδή οι γαλαξίες απομακρύνονται όχι μόνο από εμάς, αλλά απομακρύνονται από οποιοδήποτε σημείο του Σύμπαντος. Οι γαλαξίες που είναι δύο φορές πιο μακριά απομακρύνονται δύο φορές πιο γρήγορα, τρεις φορές πιο μακριά - τρεις φορές πιο γρήγορα κλπ.

Έτσι, σε μεγάλες κλίμακες, τα αντικείμενα στο Σύμπαν κινούνται μακριά το ένα από το άλλο και το Σύμπαν διαστέλλεται. Αυτό

συμβαίνει επειδή ο ίδιος ο χώρος έχει την ιδιότητα να επεκτείνεται. Ο χώρος δεν επεκτείνεται σε μικρές κλίμακες, και τα πράγματα δεν κινούνται μακριά από μας γύρω μας, επειδή η βαρύτητα σταματά την επέκταση του χώρου. Στις μεγάλες κλίμακες, μεταξύ των γαλαξιών, υπάρχει πάρα πολύ λιγότερη ύλη, λιγότερη βαρύτητα και ο χώρος επεκτείνεται.

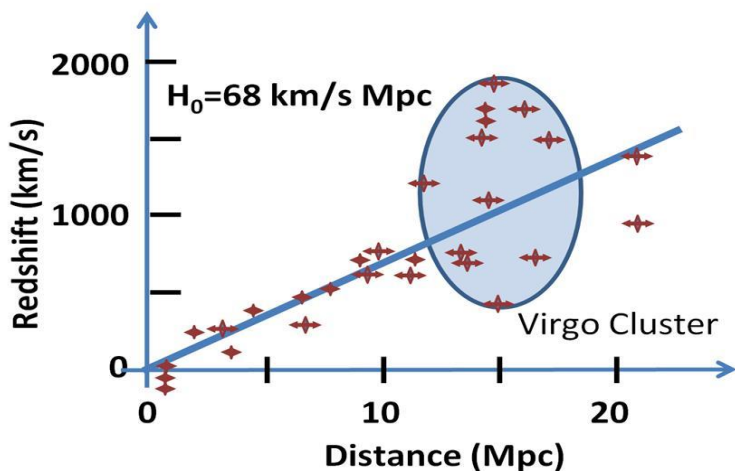
21. Σταθερά του Hubble

Η σταθερά του Hubble (Hubble constant), που συμβολίζεται ως H_0 , είναι μια από τις θεμελιώδεις παραμέτρους της κοσμολογίας και μετριέται σε μονάδες χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο ανά μεγαπαρσέκ (km/s/Mpc). Ορίζει την αναλογία της ταχύτητας απομάκρυνσης ενός γαλαξία προς την απόσταση του από τη Γη, περιγράφοντας την ταχύτητα με την οποία οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους καθώς το σύμπαν διαστέλλεται. Συνοπτικά, όσο πιο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας, τόσο πιο γρήγορα απομακρύνεται από εμάς.

$$H_0 = \frac{u}{d}$$

u είναι η ταχύτητα απομάκρυνσης του γαλαξία

d είναι η απόσταση του γαλαξία από τη Γη



Η ταχύτητα ενός γαλαξία υπολογίζεται από το φάσμα του. Σύμφωνα με το φαινόμενο Doppler το μήκος ενός κύματος αλλάζει, μεγαλώνει όταν απομακρύνεται από εμάς και αλλάζει η φασματική του γραμμή.

Για να υπολογίσουμε την σταθερά H_0 , πρέπει πρώτα να μετρήσουμε την **ταχύτητα απομάκρυνσης** ενός γαλαξία και την **απόσταση** του από εμάς.

Η ταχύτητα ενός γαλαξία καθορίζεται από τη μετατόπιση της φασματικής του γραμμής, ένα φαινόμενο γνωστό ως **φαινόμενο Doppler**. Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, όταν η πηγή φωτός απομακρύνεται από τον παρατηρητή, το μήκος κύματος του φωτός μεγαλώνει και η φασματική του γραμμή μετατοπίζεται προς το ερυθρό μέρος του φάσματος (redshift). Αντίθετα, όταν πλησιάζει, η φασματική γραμμή μετατοπίζεται προς το μπλε (blueshift).

Η φασματική γραμμή του ασβεστίου είναι στα 393.3 nm και όταν παρατηρηθεί στα 393.4 nm σημαίνει ότι ο γαλαξίας κινείται με ταχύτητα 100 km/s μακριά από εμάς. Όταν παρατηρηθεί στα 394.6 nm σημαίνει ότι ο γαλαξίας κινείται με ταχύτητα 1000 km/s μακριά από εμάς.

Η σχέση u - d ταχύτητας απομάκρυνσης-απόστασης είναι γραμμική. Οι γαλαξίες που είναι σε απόσταση ένα megaparsec κινούνται με ταχύτητα 75 km/s, στην διπλάσια απόσταση κινούνται με τη διπλάσια ταχύτητα 150 km/s, στην τριπλάσια απόσταση με την τριπλάσια ταχύτητα 225 km/s.

Επειδή η σχέση είναι γραμμική, όταν ξέρεις την ταχύτητα ενός γαλαξία μπορείς να υπολογίσεις την απόσταση του από την ταχύτητα του παρατηρώντας τη μετατόπιση του φάσματος του.

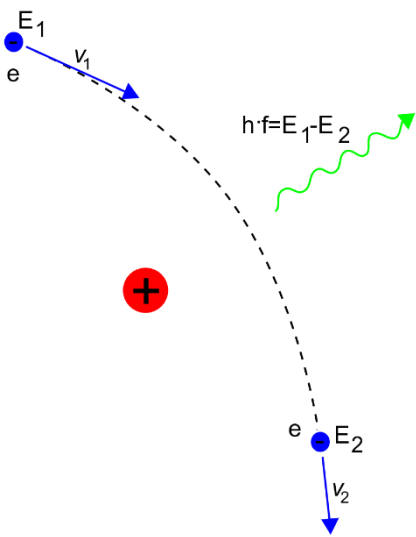
$$d = \frac{u}{H_0}$$

Αν ένας γαλαξίας έχει ταχύτητα απομάκρυνσης $u=500$ km/s αν θεωρήσουμε ότι η σταθερά Hubble είναι $H_0=75$ km/s/Mpc, η απόσταση του γαλαξία από εμάς θα είναι

$$d = \frac{500 \text{ km/s}}{75 \frac{\text{km}}{\text{s}} / \text{Mpc}} = 6,67 \text{ Mpc}$$

22. Bremsstrahlung

Ένα ηλεκτρικό φορτίο που αλλάζει το μέτρο ή η κατεύθυνση της ταχύτητας του εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Bremsstrahlung σημαίνει ακτινοβολία πέδησης στα γερμανικά και είναι ακτινοβολία X που παράγεται όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο επιβραδύνεται ή επιταχύνεται όταν περνά από το ηλεκτρικό πεδίο άλλου φορτισμένου σωματιδίου. Το πιο κοινό είδος είναι η εκτροπή ενός ηλεκτρονίου από ένα πυρήνα.



Στην ακτινοβολία bremsstrahlung η επιτάχυνση είναι παράλληλη με την ταχύτητα όπως σε ένα τρένο που επιταχύνεται ή επιβραδύνεται σε ευθείες γραμμές. Η ακτινοβολία εκπέμπεται σε ένα κώνο σε γωνία θ μπροστά από το σωματίδιο αλλά όχι ακριβώς μπροστά από το σωματίδιο και όσο μεγαλύτερη είναι η επιβράδυνση ή η επιτάχυνση τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια της ακτινοβολίας. όσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια του σωματιδίου, τόσο πιο στενός γίνεται ο κώνος εκπομπής.

Η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα ηλεκτρόνιο κατά την επιβράδυνση μπορεί να περιγραφεί από τον τύπο της ισχύος Larmor:

$$P = \frac{e^2 a^2}{6\pi\epsilon_0 c^3}$$

e είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου,
 a είναι η επιτάχυνση που υφίσταται το ηλεκτρόνιο,

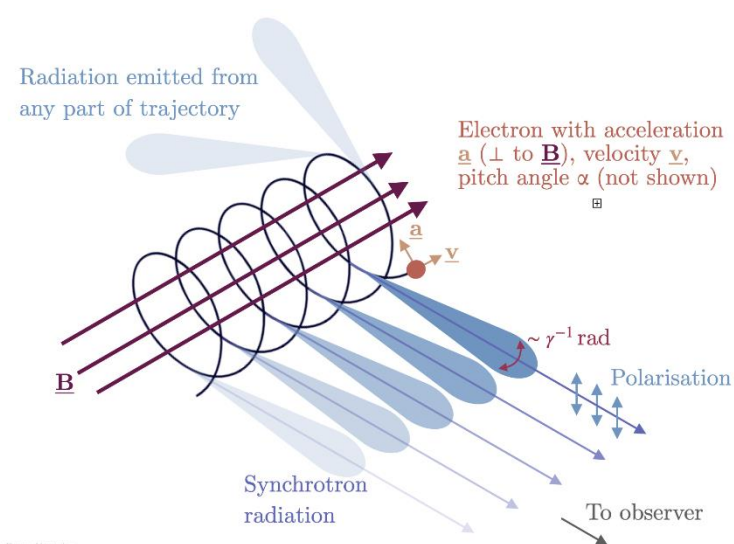
c είναι η σταθερά ηλεκτρικής
διαπερατότητας του κενού,
 c είναι η ταχύτητα του φωτός.

Η ακτινοβολία αυτή είναι ανάλογη με το
τετράγωνο της επιτάχυνσης, γεγονός που
σημαίνει ότι μεγαλύτερες επιβραδύνσεις ή
επιταχύνσεις δημιουργούν ισχυρότερη
εκπομπή ακτινοβολίας. Επίσης, όσο
μεγαλύτερη είναι η ενέργεια του
φορτισμένου σωματιδίου, τόσο πιο
ενεργητική είναι η ακτινοβολία
Bremsstrahlung που εκπέμπεται.
Όταν ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας
κινούνται μέσα σε σύννεφα πλάσματος
γύρω από έντονα βαρυτικά πεδία, όπως
κοντά σε μαύρες τρύπες, άστρα νετρονίων
ή ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες, η
Bremsstrahlung εκπέμπεται μέσω της
αλληλεπίδρασης των ηλεκτρονίων με τα
ιόντα του πλάσματος.

23. Ακτινοβολία synchrotron

Η ακτινοβολία synchrotron ή magnetobremmsstrahlung είναι ακτινοβολία που εκπέμπεται όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο συνήθως ηλεκτρόνιο επιταχύνεται, κινείται με σπειροειδή τροχιά γύρω από ένα μαγνητικό πεδίο κοντά στην ταχύτητα του φωτός, όπως ένα ηλεκτρόνιο κοντά σε μια μαύρη τρύπα.

Στην ακτινοβολία synchrotron η επιτάχυνση είναι κάθετη στην ταχύτητα όπως σε ένα τρένο που κινείται σε κυκλικές ράγες με σταθερό μέτρο ταχύτητας. Η ακτινοβολία εκπέμπεται μπροστά από το σωματίδιο όπως σε ένα τρένο που κινείται σε κυκλικές ράγες και ανάβει τα φώτα του.



η ακτινοβολούμενη ισχύς της ακτινοβολίας synchrotron αυξάνεται ανάλογα με την ένταση του μαγνητικού πεδίου και την ενέργεια του σωματιδίου,

κάνοντας την ακτινοβολία σύγχροτρον ιδιαίτερα σημαντική σε ισχυρά μαγνητικά πεδία και για σωματίδια υψηλής ενέργειας.

Η ακτινοβολία σύγχροτρον διαθέτει συνήθως ένα συνεχές, ευρύ φάσμα που μπορεί να εκτείνεται σε πολλές ζώνες, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες X και ακόμη και τις ακτίνες γάμμα, ανάλογα με την ενέργεια των σωματιδίων και την ένταση του μαγνητικού πεδίου.

Μετά από την έκρηξη ενός άστρου σε σουπερνόβα, το κρουστικό κύμα από την έκρηξη επιταχύνει σωματίδια στο περιβάλλον αέριο σε πολύ υψηλές ενέργειες. Αυτά τα σωματίδια κινούνται σπειροειδώς στα μαγνητικά πεδία του υπολείμματος της σουπερνόβα, παράγοντας ακτινοβολία σύγχροτρον, κυρίως στο φάσμα των ραδιοκυμάτων.

Οι AGN και οι κβάζαρ τροφοδοτούνται από υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες στο κέντρο των γαλαξιών. Καθώς η ύλη έλκεται προς τη μαύρη τρύπα, σχηματίζει σχετικιστικούς πίδακες που εκτείνονται πολύ πέρα από τον γαλαξία. Τα ηλεκτρόνια σε αυτούς τους πίδακες κινούνται σπειροειδώς σε μαγνητικά πεδία, εκπέμποντας ακτινοβολία

σύγχροτρον σε όλο το φάσμα, από τα ραδιοκύματα μέχρι τις ακτίνες Χ.

Τα παλσαρ είναι εξαιρετικά μαγνητισμένα, περιστρεφόμενα αστέρια νετρονίων που εκπέμπουν δέσμες ακτινοβολίας. Τα ισχυρά μαγνητικά πεδία γύρω από τους παλσαρ επιταχύνουν τα σωματίδια σε σχετικιστικές ταχύτητες. Στα νεφελώματα παλσαρων, το περιβάλλον του παλσαρ εκπέμπει ακτινοβολία σύγχροτρον λόγω της αλληλεπίδρασης αυτών των σωματιδίων με το μαγνητικό πεδίο.

η ακτινοβολία synchrotron μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για τη δομή και την ένταση των μαγνητικών πεδίων σε περιοχές όπως τα υπολείμματα σουπερνόβα, οι πίδακες AGN και τα νεφελώματα του αέρα των παλσαρ

24. Sunyaev-Zel'dovich effect

Στο inverse Compton scattering ένα ηλεκτρονιο μεγάλης ενεργειας κτυπά σε ένα φωτόνιο μικρής ενέργειας και το φωτόνιο αποκτά μεγαλύτερη ενέργεια. Το thermal **Sunyaev-Zel'dovich SZ** προκύπτει λόγω αντίστροφης σκέδαση Compton, όπου τα φωτόνια του CMB που έχουν χαμηλή ενέργεια αποκτούν ενέργεια

συγκρουόμενα με ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας στο ενδοσμηνιακό μέσο (ICM).

τα φωτόνια του CMB—αρχικά σωματίδια χαμηλής ενέργειας με μεγάλου μήκους κύματος—συγκρούονται με ταχύτατα, υψηλής ενέργειας ηλεκτρόνια στο καυτό πλάσμα των σμηνών γαλαξιών.

τα ηλεκτρόνια κινούνται με ταχύτητες κοντά σε αυτήν του φωτός λόγω των εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών στο ICM.

Όταν ένα φωτόνιο συγκρούεται με ένα τέτοιο ηλεκτρόνιο, απορροφά μέρος της ενέργειας του ηλεκτρονίου, με αποτέλεσμα το φωτόνιο να αποκτά μικρότερο μήκος κύματος και μεγαλύτερη ενέργεια. Αυτή η μεταφορά ενέργειας μετατοπίζει το φωτόνιο σε υψηλότερη συχνότητα στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Σε χαμηλότερες συχνότητες, στην περιοχή Rayleigh-Jeans, η ένταση του CMB μειώνεται, επειδή πολλά φωτόνια "μετατοπίζονται" σε υψηλότερες ενέργειες. Αντίθετα, σε υψηλότερες συχνότητες, στην περιοχή Wien, η ένταση του CMB αυξάνεται λόγω της αύξησης ενέργειας που λαμβάνουν τα φωτόνια.

Ένα από τα πιο αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά της επίδρασης SZ είναι η ανεξαρτησία της από τη κοσμολογική μετατόπιση προς το ερυθρό. Καθώς τα φωτόνια της CMB περνούν μέσα από ένα σμήνος, η αύξηση της ενέργειάς τους καθορίζεται από τη θερμοκρασία και την πυκνότητα των ηλεκτρονίων που συναντούν, όχι από την απόσταση του σμήνους.

Αυτό σημαίνει ότι το σήμα SZ δεν εξασθενεί για σμήνη που βρίσκονται μακριά, σε αντίθεση με άλλες μορφές ακτινοβολίας, όπως οι ακτίνες X, οι οποίες εξαρτώνται από το τετράγωνο της πυκνότητας των ηλεκτρονίων και εξασθενούν με την απόσταση. Αντίθετα, η επίδραση SZ είναι ανάλογη με τη συνολική πυκνότητα ηλεκτρονίων κατά μήκος της γραμμής θέασης, καθιστώντας την εξίσου αποτελεσματική για την ανίχνευση σμηνών τόσο κοντά όσο και δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά.

Η βασική διαφορά μεταξύ των ακτίνων X και της επίδρασης Sunyaev-Zel'dovich (SZ) έγκειται στο πώς εξαρτώνται από την πυκνότητα των ηλεκτρονίων στα σμήνη γαλαξιών και στο πώς τα σήματά τους διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Οι ακτίνες X εκπέμπονται όταν τα ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια στο καυτό αέριο

ενός σμήνους αλληλεπιδρούν με ιόντα, παράγοντας έναν τύπο ακτινοβολίας που ονομάζεται "ακτινοβολία πέδησης" (bremsstrahlung). Η ένταση των ακτίνων X εξαρτάται από το ****τετράγωνο**** της πυκνότητας των ηλεκτρονίων. Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές με υψηλότερες πυκνότητες, όπως ο πυρήνας του σμήνους, κυριαρχούν στο σήμα των ακτίνων X. Ωστόσο, όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση του σμήνους, τόσο περισσότερο μειώνεται η παρατηρούμενη ένταση λόγω του νόμου του αντιστρόφου τετραγώνου (όπου η ροή διαχέεται σε μεγαλύτερες περιοχές) και του γεγονότος ότι οι πιο πυκνές περιοχές είναι μικρές και δυσκολότερο να εντοπιστούν σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτοί οι παράγοντες κάνουν τις ακτίνες X να εξασθενούν σημαντικά σε μεγάλες αποστάσεις.

Η επίδραση SZ, από την άλλη, προκύπτει όταν τα φωτόνια της Κοσμικής Μικροκυματικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου (CMB) περνούν μέσα από το καυτό αέριο ενός σμήνους και αποκτούν ενέργεια καθώς σκεδάζονται από τα ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια. Σε αντίθεση με τις ακτίνες X, το σήμα SZ εξαρτάται μόνο ****γραμμικά**** από τον αριθμό των ηλεκτρονίων, οπότε καταγράφει συνεισφορές τόσο από τον πυκνό πυρήνα όσο και από τις πιο

εκτεταμένες, χαμηλότερης πυκνότητας περιοχές του σμήνους. Επιπλέον, η επίδραση SZ δεν περιλαμβάνει φως που εκπέμπεται απευθείας από το σμήνος – είναι μια παραμόρφωση της CMB. Ως αποτέλεσμα, το σήμα SZ δεν ακολουθεί τον νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου και παραμένει ισχυρό ακόμα και για σμήνη που βρίσκονται δισεκατομμύρια έτη φωτός μακριά.

Αυτή η θεμελιώδης διαφορά στο πώς τα δύο σήματα εξαρτώνται από την πυκνότητα των ηλεκτρονίων εξηγεί γιατί οι ακτίνες X εξασθενούν με την απόσταση, ενώ η επίδραση SZ όχι. Η εκπομπή ακτίνων X επικεντρώνεται στα πιο πυκνά μέρη του σμήνους και η τετραγωνική της εξάρτηση από την πυκνότητα των ηλεκτρονίων σημαίνει ότι τα μακρινά σμήνη γίνονται πιο δύσκολα ανιχνεύσιμα. Από την άλλη, η επίδραση SZ ενσωματώνει συνεισφορές από ολόκληρο το βάθος του σμήνους και είναι ανεξάρτητη από την απόσταση, καθιστώντας την ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη μελέτη σμηνών γαλαξιών σε όλα τα redshifts.

25. Γραμμή 21 cm

Η γραμμή 21 cm αναφέρεται στην ειδική ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή απορροφάται από ουδέτερα άτομα υδρογόνου στο διάστημα. Αυτό το φαινόμενο προκύπτει λόγω μιας υπερλεπτής μετάβασης μέσα στο άτομο του υδρογόνου και έχει σημαντικές εφαρμογές στην αστροφυσική και την κοσμολογία.

Το άτομο του υδρογόνου αποτελείται από ένα πρωτόνιο (στον πυρήνα) και ένα ηλεκτρόνιο που περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα.

Τόσο το πρωτόνιο όσο και το ηλεκτρόνιο διαθέτουν μια κβαντική ιδιότητα που ονομάζεται σπιν, η οποία μπορεί να είναι είτε παράλληλη (ίδιο σπιν) είτε αντιπαράλληλη (αντίθετο σπιν).

το πρωτόνιο και το ηλεκτρόνιο σε ένα άτομο υδρογόνου έχουν αντίθετο spin.

Λόγω συγκρούσεων με ηλεκτρόνια και με άλλα άτομα το άτομο παίρνει μικρή ποσότητα ενέργειας που προκαλεί το ηλεκτρόνιο να αποκτήσει το ίδιο σπιν με το πρωτόνιο.

Όταν τα σπιν του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου είναι παράλληλα, το άτομο βρίσκεται σε μια ελαφρώς υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση.

Όταν τα σπιν είναι αντιπαράλληλα, το άτομο βρίσκεται στη χαμηλότερη

ενεργειακή κατάσταση (θεμελιώδη κατάσταση).

Η διαφορά ενέργειας ΔE μεταξύ αυτών των δύο καταστάσεων είναι πολύ μικρή και αντιστοιχεί σε μήκος κύματος 21 cm στο ραδιοφωνικό φάσμα.

Λόγω συγκρούσεων με άλλα άτομα ή σωματίδια, το ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταβεί στην υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση (παράλληλα σπιν).

Αυτή η διεγερμένη κατάσταση είναι ασταθής, και μετά από περίπου 10 εκατομμύρια χρόνια, το ηλεκτρόνιο επιστρέφει στη θεμελιώδη κατάσταση (αντιπαράλληλα σπιν).

Κατά τη μετάβαση αυτή, εκπέμπεται ένα φωτόνιο με μήκος κύματος 21 cm $\nu \approx 1.42$ GHz.

Το ουδέτερο υδρογόνο HI είναι άφθονο στο μεσοαστρικό διάστημα, κυρίως σε περιοχές που δεν έχουν ιονιστεί από το φως των άστρων.

Η παρατήρηση της γραμμής 21 cm επιτρέπει στους αστρονόμους να χαρτογραφήσουν την κατανομή του υδρογόνου στους γαλαξίες, αποκαλύπτοντας τη δομή, την πυκνότητα και τη δυναμική τους.

Η μετατόπιση Doppler της γραμμής 21 cm χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ταχύτητας του υδρογόνου σε σχέση με τη Γη.

Αυτό βοηθά στην κατανόηση των καμπυλών περιστροφής των γαλαξιών, παρέχοντας κρίσιμα στοιχεία για την ύπαρξη της σκοτεινής ύλης.

Η γραμμή 21 cm είναι ένα ισχυρό εργαλείο για τη μελέτη της Εποχής του Επανιονισμού, όταν σχηματίστηκαν τα πρώτα άστρα και γαλαξίες και το υδρογόνο ιονίστηκε.

Μας βοηθά να κατανοήσουμε το σχηματισμό μεγάλων δομών και την εξέλιξη του Σύμπαντος.

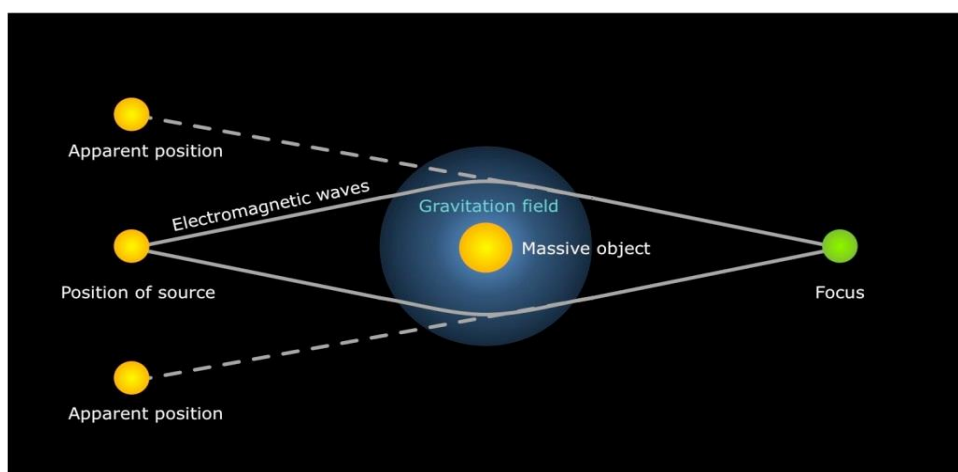
Παρέχει έναν άμεσο τρόπο μελέτης του ψυχρού, ουδέτερου υδρογόνου, το οποίο δεν εκπέμπει ορατό φως αλλά είναι το πιο άφθονο στοιχείο στο Σύμπαν.

Η γραμμή 21 cm μπορεί να παρατηρηθεί σε τεράστιες κοσμικές αποστάσεις, καθιστώντας την ένα βασικό εργαλείο για τη μελέτη τόσο των τοπικών όσο και των πολύ απομακρυσμένων δομών.

26.Βαρυτικός Εστιασμός

Ο βαρυτικός εστιασμός είναι ένα φαινόμενο που συμβαίνει όταν ένα μαζικό αντικείμενο, όπως ένα σμήνος γαλαξιών, λυγίζει την πορεία του φωτός από μια μακρινή πηγή (όπως ένας άλλος γαλαξίας) καθώς το φως περνά κοντά από αυτό. Η κάμψη αυτή προκαλείται λόγω του βαρυτικού πεδίου του μαζικού αντικειμένου, που «καμπυλώνει» τον

χωροχρόνο γύρω του, σύμφωνα με τη Γενική Θεωρία της Σχετικότητας του Αϊνστάιν. Το αποτέλεσμα είναι μια εκτροπή στην πορεία του φωτός, η οποία μπορεί να προκαλέσει διάφορες παραμορφώσεις στην εμφάνιση του απομακρυσμένου αντικειμένου, ανάλογα με τη μάζα και την ευθυγράμμιση των αντικειμένων που εμπλέκονται.



Η γωνία εκτροπής του φωτός εξαρτάται από την ισχύ του βαρυτικού πεδίου κατά μήκος της πορείας του φωτός και παρέχει πληροφορίες για τη συνολική μάζα (συμπεριλαμβανομένης της ορατής και της σκοτεινής ύλης) του αντικειμένου που λειτουργεί ως φακός. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, ο βαρυτικός εστιασμός είναι μοναδικός στο ότι δεν διακρίνει μεταξύ βαρυονικής (συνηθισμένης) ύλης και σκοτεινής ύλης, ούτε απαιτεί υποθέσεις για την δυναμική κατάσταση της ύλης που εμπλέκεται.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι βαρυτικού εστιασμού: ο ισχυρός εστιασμός, ο

αδύναμος εστιασμός και ο μικροεστιασμός.

Στον ισχυρό βαρυτικό εστιασμό, η μάζα του φακού είναι τόσο μεγάλη και η ευθυγράμμιση μεταξύ της πηγής, του φακού και του παρατηρητή είναι αρκετά ακριβής, ώστε το φως από την πηγή να λυγίζει σημαντικά. Αυτή η έντονη κάμψη οδηγεί σε ορατές παραμορφώσεις της εικόνας της πηγής, που μπορεί να εμφανίζονται ως δακτύλιοι του Αϊνστάιν, τόξα ή ακόμα και πολλαπλές εικόνες του ίδιου αντικειμένου.

Εάν η ευθυγράμμιση είναι σχεδόν τέλεια, το φως από την πηγή σχηματίζει έναν δακτύλιο γύρω από το φακό, γνωστό ως δακτύλιο του Αϊνστάιν.

Αν η ευθυγράμμιση είναι ελαφρώς διαφορετική, η πηγή μπορεί να εμφανιστεί ως επιμήκεις τόξα γύρω από το φακό.

Σε περίπτωση μικρότερης απόκλισης, μπορεί να εμφανιστούν δύο ή περισσότερες ξεχωριστές εικόνες του ίδιου αντικειμένου στο παρασκήνιο.

Ο ισχυρός εστιασμός επιτρέπει την άμεση «παρατήρηση» της βαρυτικής επίδρασης της σκοτεινής ύλης, παρατηρώντας τις διαδρομές του φωτός που καμπυλώνονται.

Αναλύοντας το σχήμα και τη θέση των παραμορφωμένων εικόνων, οι αστρονόμοι μπορούν να υπολογίσουν την κατανομή της μάζας σε σμήνη και γαλαξίες με μεγάλη ακρίβεια.

Ο ισχυρός εστιασμός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μετρηθούν αποστάσεις προς απομακρυσμένα αντικείμενα, βοηθώντας στην ακριβέστερη μέτρηση της διαστολής του σύμπαντος.

Στον αδύναμο βαρυτικό εστιασμό, το βαρυτικό πεδίο του φακού είναι ασθενέστερο ή η ευθυγράμμιση με την πηγή στο παρασκήνιο είναι λιγότερο ακριβής, επομένως οι παραμορφώσεις στις εικόνες των γαλαξιών στο παρασκήνιο είναι λεπτές και δεν εμφανίζονται άμεσα ως τόξα ή δακτύλιοι. Αντίθετα, ο αδύναμος εστιασμός ανιχνεύεται στατιστικά, μέσω της παρατήρησης μικρών, συστηματικών παραμορφώσεων στο σχήμα μεγάλου αριθμού γαλαξιών.

Δεδομένου ότι οι ατομικές παραμορφώσεις είναι πολύ μικρές για να φανούν, οι αστρονόμοι κάνουν στατιστικές μετρήσεις αναλύοντας μεγάλο πλήθος γαλαξιών στο παρασκήνιο. Στον αδύναμο εστιασμό, θεωρείται ότι οι γαλαξίες είναι ελλειπτικοί και προσανατολισμένοι τυχαία. Οποιαδήποτε

συστηματική ευθυγράμμιση στα σχήματα των γαλαξιών δείχνει την ύπαρξη βαρυτικού εστιασμού λόγω της μάζας που παρεμβάλλεται.

Ο αδύναμος εστιασμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός στη μέτρηση της κατανομής της μάζας στις εξωτερικές περιοχές των σμηνών γαλαξιών, όπου τα βαρυτικά πεδία δεν είναι αρκετά ισχυρά για να προκαλέσουν ισχυρό εστιασμό, αλλά εξακολουθούν να επηρεάζουν την πορεία του φωτός.

Ο αδύναμος εστιασμός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για τη μέτρηση της συνολικής κατανομής μάζας σε σμήνη γαλαξιών και μεγάλες δομές. Παίζει βασικό ρόλο στη χαρτογράφηση της σκοτεινής ύλης και τη μελέτη των κοσμικών δομών σε μεγάλες κλίμακες.

Στον μικροεστιασμό, το αντικείμενο που λειτουργεί ως φακός είναι σχετικά μικρό (π.χ. ένα άστρο ή ένας πλανήτης) σε σχέση με τα σμήνη γαλαξιών, και έτσι δεν προκαλεί μεγάλες παραμορφώσεις όπως δακτυλίους ή τόξα. Αντίθετα, ο μικροεστιασμός οδηγεί σε προσωρινή αύξηση της φωτεινότητας της πηγής καθώς ο φακός περνά μπροστά από αυτήν, προκαλώντας προσωρινή εστίαση του φωτός. Αυτή η αύξηση της φωτεινότητας

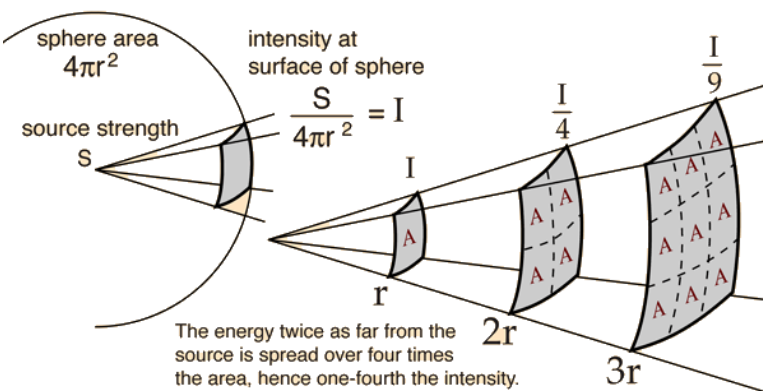
οφείλεται στη βαρυτική ενίσχυση και όχι σε μια ορατή παραμόρφωση σχήματος.

Η πηγή δεν φαίνεται παραμορφωμένη αλλά απλώς γίνεται πιο φωτεινή καθώς το αντικείμενο που προκαλεί τον φακό διέρχεται από μεταξύ παρατηρητή και πηγής.

Ο μικροεστιασμός χρησιμοποιείται κυρίως για την ανίχνευση εξωπλανητών, ειδικά γύρω από άστρα εκτός του Γαλαξία, και για τη μελέτη συμπαγών αντικειμένων όπως οι μαύρες τρύπες και της σκοτεινής ύλης σε μορφή MACHOs (Massive Compact Halo Objects).

27. Νόμος του αντίστροφου τετραγώνου του φωτός

Ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου περιγράφει τη σχέση μεταξύ της εμφανής φωτεινότητας μιας πηγής φωτός και της απόστασης ενός παρατηρητή από αυτήν. Σύμφωνα με τον νόμο αυτόν, η εμφανής φωτεινότητα b είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης από την πηγή φωτός



$$b = \frac{L}{4\pi r^2}$$

b : Εμφανής φωτεινότητα (ή ένταση ακτινοβολίας) που αντιλαμβάνεται ο ανιχνευτής.

L : Λαμπρότητα της πηγής, δηλαδή η ολική ενέργεια/ακτινοβολία που εκπέμπει η πηγή ανά μονάδα χρόνου.

r : Απόσταση του παρατηρητή (ή ανιχνευτή) από την πηγή φωτός.

$4\pi r^2$: Το εμβαδό της επιφάνειας μιας σφαίρας με ακτίνα r , που αντιπροσωπεύει την κατανομή της ακτινοβολίας σε τρεις διαστάσεις.

Η λαμπρότητα L είναι η συνολική ισχύς της ακτινοβολίας που εκπέμπει μια πηγή φωτός προς όλες τις κατευθύνσεις. Είναι σταθερή για μια συγκεκριμένη πηγή και δεν εξαρτάται από την απόσταση του παρατηρητή.

Η εμφανής φωτεινότητα b αντιστοιχεί στην ποσότητα της ακτινοβολίας που φτάνει σε μια μονάδα επιφάνειας του ανιχνευτή (ή παρατηρητή). Καθώς η απόσταση από την πηγή αυξάνεται, η φωτεινότητα μειώνεται, επειδή η ίδια ποσότητα ακτινοβολίας κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια.

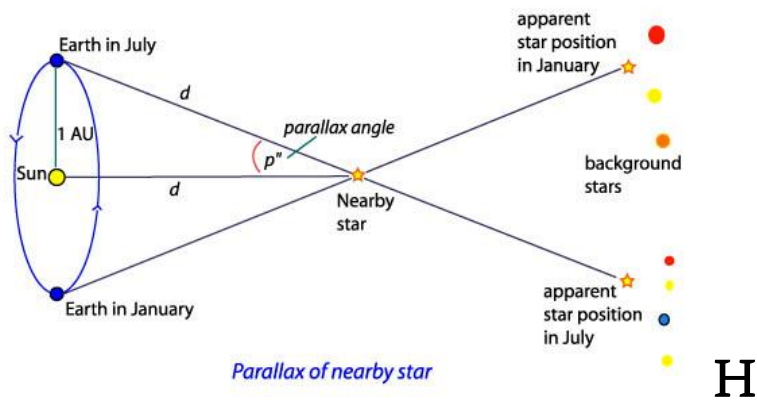
Η ακτινοβολία που εκπέμπεται από την πηγή φωτός κατανέμεται ομοιόμορφα στην επιφάνεια μιας σφαίρας με ακτίνα r . Καθώς η απόσταση αυξάνεται, η ίδια ποσότητα ενέργειας κατανέμεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια, μειώνοντας την ένταση της ακτινοβολίας που ανιχνεύεται.

Ο νόμος αυτός χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της απόστασης των αστερών και άλλων ουρανίων σωμάτων βάσει της εμφανής φωτεινότητας και της γνωστής λαμπρότητάς τους.

28.Υπολογισμός αστρονομικών αποστάσεων κοντινών αστεριών

Η παραλλαξία *parallax* είναι η φαινόμενη μετατόπιση ενός αστεριού στον ουρανό σε σχέση με το υπόβαθρο των αστεριών, καθώς η Γη κινείται στην τροχιά της γύρω από τον Ήλιο.

Αυτή η μετατόπιση συμβαίνει επειδή ένα κοντινό αστέρι φαίνεται να αλλάζει θέση σε σχέση με τα πιο μακρινά αστέρια, ανάλογα με την τοποθεσία της Γης στην τροχιά της, κατά τη διάρκεια του έτους.



H

παραλλαξία είναι πιο έντονη είναι μεγαλύτερη αλλαγή της θέσης στον ουρανό για κοντινά αστέρια, ενώ για πιο μακρινά αστέρια η μετατόπιση αυτή είναι μικρότερη. Όσο μεγαλύτερη είναι η αλλαγή της θέσης του αστεριού στον ουρανό τόσο πιο κοντά είναι.

Οι αστρονόμοι εκμεταλλεύονται αυτό το φαινόμενο για τον υπολογισμό αστρονομικών αποστάσεων. Μετρούν τη γωνιακή μετατόπιση ενός αστεριού χρησιμοποιώντας δύο σημεία παρατήρησης που βρίσκονται όσο το δυνατόν πιο απομακρυσμένα στην τροχιά της Γης, δηλαδή από αντίθετες πλευρές της.

Η απόσταση ενός αστεριού εκφράζεται συχνά σε μονάδες που ονομάζονται parsec. Ένα parsec αντιστοιχεί στην απόσταση από τη Γη όπου η φαινόμενη μετατόπιση του αστεριού είναι ίση με ένα δευτερόλεπτο της μοίρας (arcsecond). Για παράδειγμα, ένα αστέρι που παρουσιάζει μετατόπιση ενός arcsecond βρίσκεται σε

απόσταση ενός parsec από τη Γη, δηλαδή περίπου 3.26 έτη φωτός.

Αυτό το φαινόμενο είναι θεμελιώδες για την αστρονομία, καθώς αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό αποστάσεων σε κοντινά αστέρια και χρησιμοποιείται σε πολλές επιστημονικές μετρήσεις και έρευνες.

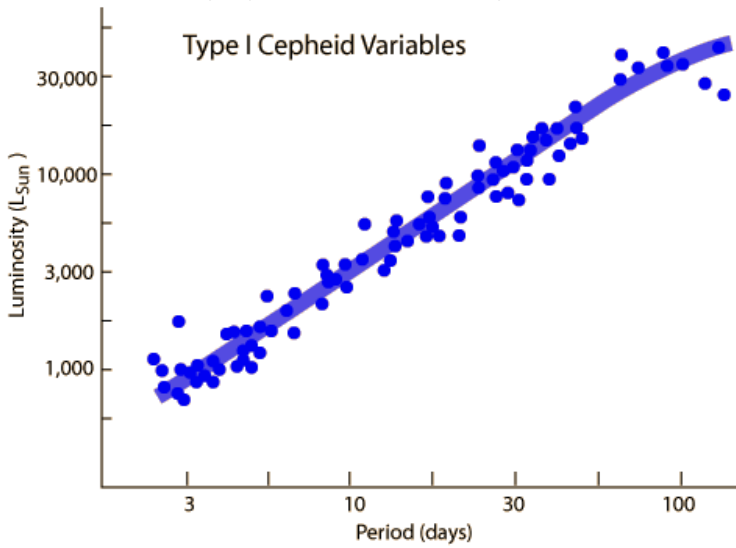
29. Μέτρηση απόστασης χρησιμοποιώντας παλλόμενους μεταβλητούς αστέρες Κηφείδες

Για να υπολογιστεί η απόσταση σε ένα γαλαξία χρησιμοποιούνται Κηφείδες. Τα αστέρια της κύριας ακολουθίας έχουν σταθερή φωτεινότητα. Μερικοί γίγαντες και υπεργίγαντες έχουν φωτεινότητες που μεγαλώνουν και μικραίνουν.

Οι Κηφείδες είναι πολύ λαμπερά αστέρια και είναι ιδανικά για την μέτρηση αποστάσεων επειδή είναι ευδιάκριτα λόγω της λαμπρότητας τους και επειδή η περίοδος του αστεριού είναι ανάλογη της φωτεινότητας του.

Όσο πιο μεγάλη η φωτεινότητα του αστεριού, τόσο πιο μεγάλη η περίοδός του. Η φωτεινότητα των κηφείδων δεν αλλάζει

με τον χρόνο και όταν είναι γνωστή η περίοδος μπορεί να υπολογιστεί η απόλυτη φωτεινότητα.



Ένα αστερι με περίοδο 3 ημέρες έχει φωτεινότητα 800 φορές τη φωτεινότητα του Ήλιου και ένα αστέρι με περίοδο 30 μέρες έχει φωτεινότητα 10000 φορές τη φωτεινότητα του Ήλιου.

Για να υπολογιστεί η απόσταση σε ένα αστέρι μετρείται η περιόδός του και η φωτεινότητα του. Από την γραφική παράσταση απόλυτης φωτεινότητας-περιόδου, από την περίοδο υπολογίζεται η απόλυτη φωτεινότητα.

Η απόλυτη φωτεινότητα είναι η φωτεινότητα σε απόσταση 32 έτη φωτός, απόσταση 10 pc (parsecs) από το αστέρι.

Συγκρίνοντας την φωτεινότητα του αστεριού-πόσο φωτεινό φαίνεται το αστέρι από την Γη, με την απόλυτη φωτεινότητα, μπορεί να υπολογιστεί η απόσταση στο αστέρι, αφού όσο πιο

μακριά είναι το αστέρι τόσο λιγότερο φωτεινό φαίνεται.

Η σχέση που δίνει την απόσταση στο αστέρι χρησιμοποιώντας την φωτεινότητα και την απόλυτη φωτεινότητα είναι

$$d = 10^{\frac{m-M+5}{5}}$$

d είναι η απόσταση σε parsecs

m είναι η φωτεινότητα

M είναι η απόλυτη φωτεινότητα

Οι πλησιέστερες Κηφείδες βρίσκονται σε αποστάσεις **140 έως 400 parsecs**. Οι αποστάσεις τους υπολογίζονται με ακρίβεια χρησιμοποιώντας μετρήσεις παραλλάξεων.

Αφού προσδιοριστεί η απόσταση d μιας Κηφείδας μέσω παραλλάξεων και παρατηρηθεί η φαινόμενη φωτεινότητά της m από τη Γη, η απόλυτη φωτεινότητα της M υπολογίζεται με την εξίσωση:

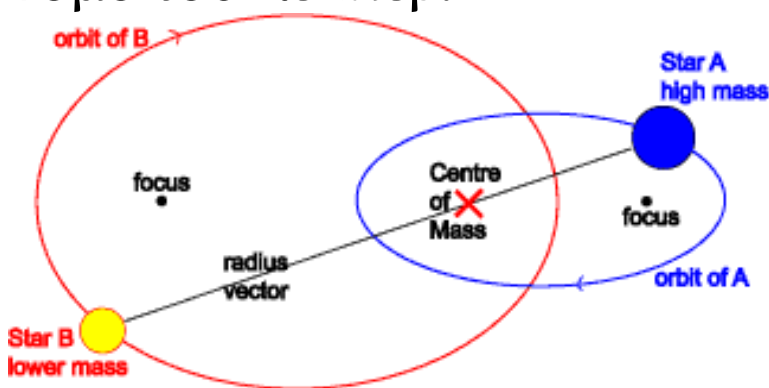
$$M = m - 5 \log_{10}(d) + 5$$

Το redshift είναι σημαντικό για υπολογισμό απόστασης σε κοσμολογικές αποστάσεις (π.χ. για πολύ μακρινούς γαλαξίες). Για μεμονωμένες Κηφείδες, που βρίσκονται στον γαλαξία μας ή σε κοντινούς γαλαξίες, η ερυθρή μετατόπιση είναι ελάχιστη και δεν αποτελεί κύρια μέθοδο για τον υπολογισμό των αποστάσεων.

30. Διαδικοί αστέρες

Διαδικοί αστέρες είναι ένα ζεύγος αστέρων που βρίσκονται σε τροχιά ο ένας γύρω από τον άλλον, λόγω της βαρυτικής τους έλξης. Το καθένα από τα άστρα κινείται σε ελλειπτική τροχιά γύρω από το κέντρο βάρους του συστήματος.

Τα δυαδικά αστέρια μπορεί να είναι τόσο μακριά ή τόσο κοντά μεταξύ τους, ώστε να μην μπορούν να φανούν. Παρόλο που το τηλεσκόπιο μπορεί να δείξει τα δύο αστέρια σαν ένα, επειδή τα αστέρια περιοδικά αλλάζουν κατεύθυνση κίνησης, παράγουν διαφορετικές φασματικές γραμμές λόγω του φαινομένου Doppler. Αν τα δυαδικά αστέρια μπορούν να φανούν οπτικά, οι μάζες τους μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τον τρίτο νόμο του Κέπλερ.



Orbits of Stars in a Binary System

Δυαδικα αστερια εχουν περιοδο $4/3$ χρόνια και η απόσταση μεταξύ τους είναι 4 AU.

Το ενα αστέρι εχει θετική ταχύτητα 400 km/s και το δευτερο αρνητική -100 km/s.

Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Κέπλερ

$$T^2 = \frac{a^3}{M_1 + M_2}$$

T είναι η περίοδος σε χρόνια

a είναι η απόσταση σε AU

M_1 και M_2 είναι η μάζα των αστεριών

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{T^2}$$

$$M_1 + M_2 = \frac{4^3}{\left(\frac{4}{3}\right)^2} = \frac{64}{\frac{16}{9}} = 36 \text{ ηλιακές μαζες}$$

η μάζα του ενός αστεριού είναι

αν χωρίσεις την συνολική μάζα σε 5 κομμάτια το ένα αστέρι είναι M και το άλλο 4M.

το αστέρι που κινείται 4 φορές πιο αργά είναι 4 φορές πιο βαρύ έχει 4 φορές μεγαλύτερη μάζα

το αστέρι που κινείται 4 φορές πιο γρήγορα έχει 4 φορές μικρότερη μάζα

μάζα του πρώτου αστεριού είναι $36/5 = 7,2$ ηλιακές μάζες

μάζα του δεύτερου αστεριού είναι $7,2 \times 4 = 28,8$ ηλιακές μαζες

31.Οι τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις

Οι τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις είναι η βαρυτική, η ηλεκτρομαγνητική, η ισχυρή και η ασθενής δύναμη. Η βαρυτική δύναμη προκαλείται από την μάζα των σωμάτων και έχει μεγάλη εμβέλεια. Η ηλεκτρομαγνητική είναι επίσης δύναμη με μεγάλο εύρος και είναι 10^{39} φορές ισχυρότερη από τη δύναμη της βαρύτητας. Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη συγκρατεί τα ηλεκτρόνια σε τροχιά γύρω από τους πυρήνες στα άτομα και όχι η βαρυτική δύναμη.

Ο λόγος που η δύναμη που κρατά τη Σελήνη σε τροχιά γύρω από τη Γη είναι η βαρύτητα και όχι η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που είναι ισχυρότερη δύναμη είναι επειδή υπάρχει ένα αρνητικό φορτίο για κάθε θετικό σε μικρές αποστάσεις και τα φορτία εξουδετερώνονται για μεγαλύτερες αποστάσεις. Στη βαρυτική δύναμη δεν υπάρχουν αρνητικά και θετικά φορτία και οι δυνάμεις δεν αλληλοεξουδετερώνονται.

Η ισχυρή δύναμη έχει μικρή εμβέλεια περίπου στη διάμετρο ενός πρωτονίου. Είναι η δύναμη που κρατά τα πρωτόνια και τα νετρόνια μαζί. Είναι πιο ισχυρή από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη στο εσωτερικό του πυρήνα του ατόμου. Η ασθενής δύναμη έχει επίσης μικρή

εμβέλεια και είναι υπεύθυνη για ορισμένα είδη ραδιενεργών διασπάσεων, για παράδειγμα όταν ένα νετρόνιο διασπάται σε πρωτόνιο. Επίσης παίζει ρόλο στις εκρήξεις υδρογόνου στα αστέρια αφού είναι υπεύθυνη για το σχηματισμό δευτερίου - υδρογόνου που αποτελείται από ένα πρωτόνιο και ένα νετρόνιο που είναι απαραίτητο για να σχηματιστεί το ήλιο που προκαλεί την πυρηνική αντίδραση.

32. Σκοτεινή ύλη

Ο Jan Oort στις αρχές της δεκαετίας του 1930 έδειξε ότι οι ταχύτητες τροχιάς των αστεριών στην Γαλακτώδη Οδό - Milky Way πρότειναν ότι έλειπε ύλη από τον γαλαξία. Ο Fritz Zwicky πρόσεξε ότι έλειπε ύλη από το σμήνος γαλαξιών Coma.

Υπολόγισε την ταχύτητα γαλαξιών στην άκρη του σμήνους μετρώντας το redshift - όσο μεγαλύτερο το redshift τόσο πιο μεγάλη η ταχύτητα. Όσο πιο μεγάλη η ταχύτητα των γαλαξιών, τόσο μεγαλύτερη κινητική ενέργεια έχουν και χρειάζεται μεγαλύτερη μάζα για να τους κρατά μαζί στο σμήνος γαλαξιών - cluster.

Η κινητική ενέργεια ενός αντικειμένου δίνεται από τη σχέση $K = \frac{1}{2}mu^2$, όπου m είναι η μάζα και u η ταχύτητα. Για τους γαλαξίες μέσα σε ένα σμήνος, οι ταχύτητές τους σχετίζονται με τη βαρυτική δύναμη

που τους συγκρατεί. Αυτή η σχέση περιγράφεται από την εξίσωση $u^2 = \frac{GM}{R}$, όπου G είναι η βαρυτική σταθερά, M η συνολική μάζα του σμήνους και R η ακτίνα του σμήνους.

Αυτές οι εξισώσεις δείχνουν ότι όσο πιο γρήγορα κινείται ένας γαλαξίας (μεγαλύτερο u), τόσο περισσότερη μάζα (M) απαιτείται για να παρέχει τη βαρυτική έλξη που συγκρατεί το σμήνος. Ωστόσο, η ορατή ύλη στο σμήνος—αστέρια, αέρια και σκόνη—ήταν ανεπαρκής για να εξηγήσει τις παρατηρούμενες υψηλές ταχύτητες των γαλαξιών.

Ο αριθμός των γαλαξιών σε ένα cluster και η λαμπρότητα του δείχνουν την μάζα του. Όσο πιο φωτεινό το σμήνος γαλαξιών τόσο περισσότερους γαλαξίες περιέχει και τόσο μεγαλύτερη η μάζα του.

Η μάζα που χρειάζεται για να κρατά τους γαλαξίες στο cluster, σύμφωνα με την ταχύτητα τους και την κινητική ενέργεια που υπολογίστηκε από το redshift ήταν πάνω από 400 φορές περισσότερη από τη μάζα που υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τον αριθμό των γαλαξιών στο cluster και τη λαμπρότητα του.

Ο Horace Babcock χρησιμοποιώντας φάσματα από τον γαλαξία Ανδρομέδα

έδειξε πως στις εξωτερικές περιοχές των γαλαξιών υπάρχει το ίδιο πρόβλημα με τις εξωτερικές περιοχές των clusters.

Περίπου σαράντα χρόνια αργότερα αποτελέσματα από καμπύλες περιστροφής γαλαξιών έδειξαν ότι η ταχύτητα αστεριών και αερίων δεν εξαρτάται από την απόσταση από το κέντρο του γαλαξία. Σύμφωνα με την Νευτώνια Μηχανική η ταχύτητα των αντικειμένων θα έπρεπε να μειώνεται με την απόσταση και η μάζα στα άκρα του cluster θα έπρεπε να είχε μικρότερη ταχύτητα και μικρότερη μάζα από ότι η μάζα στο κέντρο του cluster.

Οι Jim Peebles και Jeremiah Ostriker ενώ έπαιζαν με n-body simulations για να εξομοιώσουν το Milky Way πρόσεξαν ότι ο γαλαξίας κατέρρεε χρησιμοποιώντας τη γνωστή μάζα. Τοποθέτησαν περισσότερα αντικείμενα - μάζα στο κέντρο και λιγότερη μάζα στις άκρες όπως πρόβλεπε η Νευτώνια - κλασσική φυσική και πρόβλεψαν και εντόπισαν την κίνηση των σημείων.

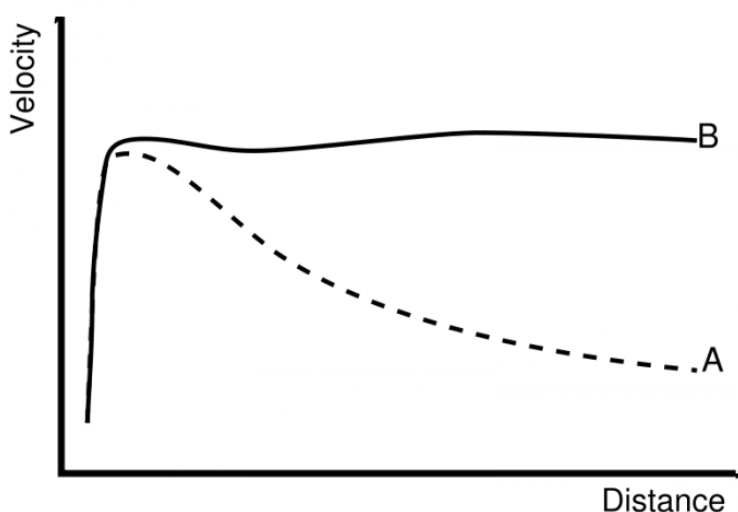
Το αποτέλεσμα δεν έμοιαζε καθόλου σαν τους γαλαξίες με τα σπειροειδή άκρα και το ελλειπτικό σχήμα. Για να μην καταρρεύσει ο γαλαξίας έπρεπε να έχει τη

διπλάσια μάζα και για να συμπεριφέρεται σαν το Milky Way 10 φορές τη μάζα. Η μάζα θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη στα άκρα. Ο μόνος τρόπος που δεν θα κατέρρεε ήταν όταν περιτριγυριζόταν από ένα στεφάνι μη ορατής ύλης.

Η Vera Rubin και ο Kent Ford ο χρησιμοποιώντας ένα φασματογράφο υπολόγισαν την ταχύτητα των αστεριών και αερίων στους γαλαξίες σύμφωνα με την απόσταση από το κέντρο του γαλαξία και έδειξαν το αντίθετο της Θεωρίας της βαρύτητας του Νεύτωνα, ότι αντικείμενα στις άκρες είχαν περίπου ίδια ταχύτητα με αυτά στο κέντρο.

$$u^2 = \frac{GM}{R}$$

Όταν αυξάνεται το R στον παρονομαστή η ταχύτητα u θα έπρεπε να μειώνεται. Η ταχύτητα των αντικειμένων στα άκρα του γαλαξία ήταν περίπου 3 φορές μεγαλύτερη από την ταχύτητα που υπολογίστηκε από παρατηρήσεις της μάζας των γαλαξιών.



Εφόσον η ταχύτητα ενός περιστρεφόμενου αντικειμένου εξαρτάται από τη ρίζα της μάζας, η μάζα του περιστρεφόμενου εξωτερικού μέρους του γαλαξία θα έπρεπε να είναι το τετράγωνο της ταχύτητας που σημαίνει πως για την παρατηρούμενη τριπλάσια ταχύτητα η ύλη που χρειαζόταν ήταν περίπου 9 φορές περισσότερη.

Για τριπλάσιο u η μάζα M γίνεται εννιापλάσια

$$u^2 = \frac{GM}{R}$$

Η ύλη που χρειαζόταν ήταν πολύ περισσότερη από την ύλη που είχε παρατηρηθεί έτσι η ύλη που έλειπε από τους γαλαξίες και τα σμήνη γαλαξιών θεωρείτο να είναι ένα είδος ύλης που δεν φαίνεται και ονομάστηκε σκοτεινή ύλη.

Υπάρχουν τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις και η κοινή βαρυονική ύλη αλληλεπιδρά με την βαρύτική, ηλεκτρομαγνητική, την ασθενή και ισχυρή δύναμη. Η σκοτεινή ύλη δεν αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική δύναμη αλλά αλληλεπιδρά με τη βαρύτητα έτσι δεν μπορούμε να τη δούμε ή να την ανιχνεύσουμε αλλά μπορούμε να παρατηρήσουμε τα αποτελέσματα της βαρύτητας της.

Η σκοτεινή ύλη αλληλεπιδρά με την βαρυτική δύναμη και την ασθενή πυρηνική δύναμη και δεν αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική και την ισχυρή πυρηνική δύναμη.

Η θερμοκρασία και η εκπομπή ακτίνων Χ από τα σμήνη γαλαξιών, ο ισχυρός και ασθενής βαρυτικός εστιασμός και συγχωνεύσεις σμηνών γαλαξιών όπου η βαρυονική ύλη και η σκοτεινή ύλη διαχωρίζονται δείχνουν την ύπαρξη της. Η πυρηνοσύνθεση και αποτελέσματα από το CMB και η θεωρία σχηματισμού των γαλαξιών επίσης προτείνουν την ύπαρξη της.

Έτσι ένας από τους λόγους που η σκοτεινή ύλη πιστεύεται ότι υπάρχει είναι επειδή λείπει ύλη από τους γαλαξίες και τα σμήνη γαλαξιών και αντίθετα με την κανονική ύλη γύρω μας αλληλεπιδρά μόνο με τη βαρύτητα έτσι δεν μπορούμε να τη δούμε.

33.Σμήνη Γαλαξιών

Οι γαλαξίες δεν είναι κατανεμημένοι ομοιόμορφα αλλά είναι συγκεντρωμένοι σε σμήνη γαλαξιών. Τα σμήνη γαλαξιών είναι οι πιο ογκώδεις δομές στο Σύμπαν και συνήθως περιέχουν πολλές εκατοντάδες γαλαξίες.

Η περισσότερη βαρυονική ύλη σε σμήνη είναι ιονισμένο αέριο - πλάσμα δεκάδων εκατομμυρίων βαθμών Kelvin γνωστό ως διαγαλαξιακό μέσο.

Η συνολική μάζα του αερίου είναι περίπου 10^{14} φορές τη μάζα του Ήλιου, γύρω στις 10 φορές περισσότερη από την συνολική μάζα σε όλα τα αστερία στους γαλαξίες στο σμήνος και περίπου 10-20% της συνολικής μάζας του σμήνους.

Η ορατή μάζα στη μορφή του διαγαλαξιακού μέσου είναι ένα μικρό ποσοστό της μάζας που χρειάζεται για να είναι βαρυτικά δεσμευμένα τα σμήνη. Η μάζα που λείπει θεωρείται να είναι σκοτεινή ύλη και αποτελεί 80-90% της μάζας του σμήνους.

34.Ιεραρχική δομή της ύλης

Μέχρι πρόσφατα δεν ήταν γνωστό αν τα μεγάλα αντικείμενα στο Σύμπαν, όπως τα σμήνη γαλαξιών και οι γαλαξίες δημιουργήθηκαν πρώτα και τα μικρότερα αντικείμενα έσπασαν από μεγαλύτερα αντικείμενα ή αν τα μικρά αντικείμενα δημιουργήθηκαν πρώτα και μεγάλωσαν σε μεγαλύτερα αντικείμενα.

Οι παρατηρήσεις συμφωνούν με μια διαδικασία ιεραρχική δομής όπου μη γραμμικές δομές αναπτύσσονται από μικρές αρχικές μονάδες. Παρόλο που το πρώιμο Σύμπαν ήταν ομοιόμορφο είχε μικρές ανισοτροπίες και επεκτάθηκε εκθετικά πολύ γρήγορα. Οι μικρές διακυμάνσεις μεγάλωσαν με την εκθετική διαστολή και προσέλκυσαν σκοτεινή ύλη και αέριο που εξελίχθηκε σε πρώιμες μορφές γαλαξιών.

Οι γαλαξίες σε μεγαλύτερες ερυθρές μετατοπίσεις - γαλαξίες πιο μακριά - πιο πίσω στο χρόνο είναι περισσότεροι, μικρότεροι και λιγότερο φωτεινοί από αυτούς σε χαμηλότερα redshift - γαλαξίες πιο κοντά - λιγότερο πίσω στο χρόνο και οι γραμμές εκπομπής τους δείχνουν γέννηση αστεριών που σημαίνει πως οι γαλαξίες ήταν σε ένα πρώιμο στάδιο πριν μεγαλώσουν. N-body simulations επίσης υποστηρίζουν ότι πιο μικρά αντικείμενα ενώθηκαν σε μεγαλύτερα για να σχηματίσουν γαλαξίες και σμήνη γαλαξιών.

35. Ζεστή σκοτεινή ύλη και κρύα σκοτεινή ύλη

Η δύναμη της βαρύτητας από την παρατηρούμενη ύλη στο Σύμπαν είναι πολύ αδύναμη για να δημιουργηθούν οι γαλαξίες και τα σμήνη των γαλαξιών από τις ανισοτροπίες του CMB έτσι θα πρέπει να υπάρχει σκοτεινή ύλη για να παρέχει την απαραίτητη βαρυτική δύναμη και να επιταχύνει τη διαδικασία κατάρρευσης. Η σκοτεινή ύλη θα πρέπει να αποτελείται από ασθενώς αλληλεπιδρώντα ουδέτερα σωματίδια που αλληλεπιδρούν με τη βαρύτητα και την ασθενή πυρηνική δύναμη, αλλά δεν αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική και την ισχυρή δύναμη. Επειδή δεν αλληλεπιδρούν με τον ηλεκτρομαγνητισμό, δεν μπορούν να παρατηρηθούν και επειδή δεν αλληλεπιδρούν με την ισχυρή δύναμη, δεν αλληλεπιδρούν με τους ατομικούς πυρήνες.

Η σκοτεινή ύλη θα μπορούσε να είναι "ζεστή" - τα σωματίδια έχουν μικρότερη μάζα και κινούνται με ταχύτητες κοντά στην ταχύτητα του φωτός ή "κρύα" - έχουν μεγαλύτερη μάζα και κινούνται σε ένα κλάσμα της ταχύτητας του φωτός. Η ζεστή σκοτεινή ύλη δημιουργεί μεγαλύτερα αντικείμενα πρώτα και στη συνέχεια σπάζει σε μικρότερα αντικείμενα. Η υπερ-

σχετικιστική, ζεστή σκοτεινή ύλη δεν μπορεί να συσσωρευτεί αρκετά γρήγορα για την παραγωγή της μικρής κλίμακας δομής, επειδή τα σωματίδια που κινούνται κοντά στην ταχύτητα του φωτός και έχουν μικρή μάζα, έχουν μικρή βαρυτική αλληλεπίδραση και χρειάζεται περισσότερο χρόνος για να επιβραδυνθούν, έτσι δεν μπορούν να συγκεντρωθούν όλα μαζί σε μικρές κλίμακες και χρειάζονται περισσότερο χρόνο για να μαζευτούν. Η κρύα σκοτεινή ύλη είναι πιο αργή και με μεγαλύτερη μάζα, έτσι τα σωματίδια μπορούν να συγκεντρωθούν πιο εύκολα σε μικρότερες κλίμακες και δημιουργούν μεγαλύτερα αντικείμενα. Οι παρατηρήσεις δείχνουν μια ιεραρχική δομή σχηματισμού, όπου τα αντικείμενα μεγάλωσαν σε μεγαλύτερα και αυτό συμφωνεί με τις ιδιότητες της κρύας σκοτεινής ύλης.

Η πλειοψηφία της ύλης στο Σύμπαν πρέπει να είναι σκοτεινή ύλη που θα πρέπει να είναι κρύα, με μη σχετικιστικές ταχύτητες. Κρύα σωματίδια σκοτεινής ύλης δεν έχουν παρατηρηθεί ποτέ και δεν προβλέπονται από αποδεδειγμένες θεωρίες της σωματιδιακής φυσικής. Τα μόνα σωματίδια που είναι γνωστό ότι υπάρχουν, που έχουν παρόμοιες ιδιότητες με κρύα σκοτεινή ύλη είναι τα νετρίνα. Τα νετρίνα αλληλεπιδρούν μόνο με τη

βαρύτητα και την ασθενή πυρηνική δύναμη, αλλά κινούνται με την ταχύτητα του φωτός έτσι είναι "ζεστά". Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας που λείπει από τους γαλαξίες και τα σμήνη πρέπει να είναι η σκοτεινή ύλη, αλλά τα νετρίνα δεν μπορεί να είναι η κύρια συμβολή επειδή κινούνται πάρα πολύ γρήγορα για να δεσμεύονται από τη δύναμη της βαρύτητας και ξεφεύγουν από τα σμήνη και τους γαλαξίες.

36.Η μεγάλη έκρηξη

Μετά που ο Lemaître πρότεινε ότι η μετατόπιση προς το ερυθρό των γαλαξιών - redshift ήταν λόγω της διαστολής του Σύμπαντος, το 1931 πρότεινε ότι στο παρελθόν, το Σύμπαν ήταν μικρότερο και κάποια στιγμή όλη η μάζα του Σύμπαντος ήταν συγκεντρωμένη σε ένα σημείο, όταν ο χρόνος και χώρος δημιουργήθηκαν. Η δημιουργία του Σύμπαντος από επέκταση από ένα σημείο αργότερα ονομάστηκε η Μεγάλη Έκρηξη - Big Bang.

Το 1964 δύο φυσικοί ο Arno Penzias και ο Robert Wilson, που εργάζονταν στην Bell Labs χρησιμοποιούσαν μια κεραία τηλεπικοινωνιών για να μελετήσουν την εκπομπή που παράγεται από την ατμόσφαιρα της Γης για να μελετήσουν πιθανές πηγές παρεμβολών για δορυφορικά συστήματα επικοινωνίας.

Έμειναν εκπληκτοι όταν βρήκαν ένα ομοιόμορφο υπόβαθρο θορύβου - uniform background noise που δεν έφευγε.

Η κεραία ήταν γεμάτη από περιττώματα περιστεριών και πίστευαν ότι ο θόρυβος οφειλόταν σ' αυτό. Η κεραία είχε καθαριστεί, αλλά ο θόρυβος παρέμεινε. Παρατήρησαν ότι ο θόρυβος δεν εξαρτάται από την ώρα της ημέρας γι' αυτό δεν ήταν ατμοσφαιρικό φαινόμενο και δεν συνδεόταν με πηγές από τον γαλαξία μας, γιατί ήταν ομοιόμορφα κατανεμημένος στον ουρανό. Κοντά σε αυτούς στο Princeton μια ομάδα αστροφυσικών προσπαθούσαν να πάρουν τα ίδια αποτελέσματα που ο Penzias και ο Wilson βρήκαν τυχαία. Ο Penzias και ο Wilson δημοσίευσαν τα αποτελέσματά τους και οι φυσικοί από το Princeton εξήγησαν τι σήμαιναν τα αποτελέσματα. Ο ενιαίος θόρυβος προερχόταν από μια πρόβλεψη της θεωρίας που πρότεινε ο Lemaitre ότι το Σύμπαν ξεκίνησε από ένα μόνο σημείο.

Τα αστέρια καίνε υδρογόνο και συνθέτουν ήλιο και άλλα στοιχεία. Αυτό είναι παρόμοιο με τον τρόπο που λειτουργεί η βόμβα υδρογόνου. Φασματοσκοπικές μελέτες δείχνουν ότι το 25% της συνήθισμένης - βαρυονικής ύλης στο Σύμπαν είναι το ήλιο, 73% υδρογόνο που

δεν μετατράπηκε κατά τη διάρκεια της σύντηξης και τα υπόλοιπα ίχνη βαρύτερων στοιχείων όπως το δευτέριο και το λίθιο. Το ποσοστό του ηλίου-4 στο Σύμπαν είναι πολύ υψηλό για να εξηγηθεί από την παραγωγή του ηλίου στα αστέρια.

Στη δεκαετία του 1940 προτάθηκε ένα μοντέλο όπου συντήξεις υδρογόνου συνέβηκαν σε ολόκληρο το Σύμπαν, όταν ήταν πολύ νέο. Σύμφωνα με το μοντέλο, οι αντιδράσεις σύντηξης υδρογόνου κατά τα πρώτα στάδια του Σύμπαντος - πυρηνοσύνθεση - nucleosynthesis πρόβλεψε μια ακτινοβολία υποβάθρου με σημερινή θερμοκρασία 5K. Αυτό ήταν το υπόβαθρο ακτινοβολίας που οι άνθρωποι από το Princeton προσπαθούσαν να ανακαλύψουν και οι Penzias και Wilson έκαναν κατά λάθος περίπου 15 χρόνια αργότερα. Οι Penzias και Wilson αργότερα μοιράστηκαν το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για την ανακάλυψη.

Τα μοντέλα Friedmann με την υπόθεση αντιδράσεων υδρογόνου, με θερμοκρασία στο Σύμπαν πάνω από ένα δισεκατομμύριο βαθμούς και χρησιμοποιώντας μοντέλα από τη σύντηξη υδρογόνου, προβλέπουν τη σωστή ποσότητα υδρογόνου και ηλίου, αν υπήρχε πυρηνοσύνθεση - nucleosynthesis κατά τα

πρώτα δευτερόλεπτα μετά τη δημιουργία του Σύμπαντος.

Τα πρώτα δύο παρατηρησιακά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η Μεγάλη Έκρηξη συνέβηκε, ήταν η ομοιόμορφη ακτινοβολία υπόβαθρου - κοσμική ακτινοβολία υποβάθρου - Cosmic Microwave Background - CMB radiation και τα παρατηρησιακά αποτελέσματα εκρήξεων υδρογόνου σε όλο το Σύμπαν κατά τη διάρκεια της δημιουργίας του - πυρηνοσύνθεση - nucleosynthesis.

Η Μεγάλη Έκρηξη αργότερα υποστηρίχθηκε κατά κύριο λόγο από άλλα αδιαμφισβήτητα παρατηρησιακά στοιχεία, όπως η γαλαξιακή και αστρική εξέλιξη. Έτσι, το Σύμπαν διαστέλλεται και ξεκίνησε από ένα σημείο, όταν δημιουργήθηκε ο χώρος και ο χρόνος.

37.Θερμική Ισορροπία και Μελανό Σώμα και το CMB

Όταν ένα αντικείμενο με ψηλότερη θερμοκρασία βρίσκεται σε επαφή με ένα αντικείμενο με χαμηλότερη θερμοκρασία, μεταφέρεται θερμότητα από το αντικείμενο με την υψηλότερη θερμοκρασία στο αντικείμενο με τη χαμηλότερη θερμοκρασία. Λόγω της

μεταφοράς θερμότητας, η θερμοκρασία του σώματος με την ψηλότερη θερμοκρασία μειώνεται και η θερμοκρασία του σώματος με τη χαμηλότερη θερμοκρασία αυξάνεται.

Όταν τα σώματα βρίσκονται σε επαφή για αρκετό χρόνο, τα μόρια τους αποκτούν την ίδια κινητική ενέργεια και τα δύο σώματα αποκτούν την ίδια θερμοκρασία και βρίσκονται σε θερμική ισορροπία.

Ένα μελανό σώμα είναι ένα σώμα που απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει σ' αυτό. Ένα μελανό σώμα που έχει σταθερή θερμοκρασία εκπέμπει ακτινοβολία που η ένταση και το μήκος κύματος της εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του σώματος και όχι το σχήμα και τη σύνθεση του. Ένα μελανό σώμα εκπέμπει περισσότερη ενέργεια από οποιοδήποτε άλλο σώμα στην ίδια θερμοκρασία και η ενέργεια εκπέμπεται ισότροπικά - ανεξάρτητα από την κατεύθυνση.

Το CMB που ανακαλύφθηκε από τους Penzias και Wilson έχει το πιο τέλειο φάσμα μελανού σώματος και είναι ομοιογενές σε όλες τις κατευθύνσεις όπως ένα μελανό σώμα. Αυτό σημαίνει πως τα φωτόνια του CMB ήταν σε θερμική ισορροπία - άρχισαν με την ίδια αρχική θερμοκρασία. Για να έχουν τα φωτόνια

την ίδια θερμοκρασία σημαίνει πως αλληλεπιδρούσαν με την ύλη και το ένα με το άλλο για αρκετό χρόνο και είχαν αρκετές συγκρούσεις ώστε κατέληξαν όλα με την ίδια κινητική ενέργεια. Αυτό σημαίνει ότι τα φωτόνια από το CMB συγκρούονταν πριν να ελευθερωθούν. Συγκρούονταν με την ύλη και μεταξύ τους και αυτό σημαίνει πως το Σύμπαν ήταν πολύ μικρότερο και είχε πολύ ψηλή θερμοκρασία πριν ελευθερωθούν.

Για να ελευθερωθούν τα ηλεκτρόνια σημαίνει πως σταμάτησαν να συγκρούονται και για να γίνει αυτό το Σύμπαν πρέπει να είχε ξαφνική επέκταση και πτώση στην θερμοκρασία. Έτσι τα φωτόνια που φαίνονται σε όλες τις κατευθύνσεις στο Σύμπαν - CMB ήταν προσηλωμένα σε ένα πολύ πιο μικρό χώρο με πολύ ψηλή θερμοκρασία και ελευθερώθηκαν στα πρώτα στάδια του Σύμπαντος όταν ο χώρος επεκτάθηκε και σταμάτησαν να συγκρούονται με την ύλη και μεταξύ τους και μπορούσαν να ξεφύγουν. Όταν παρακολουθείτε τηλεόραση σε αναλογική τηλεόραση περίπου το 1% του στατικού σήματος είναι από αυτά τα φωτόνια που κτυπούν την αντέννα της τηλεόρασης.

38.Πυκνότητα φωτονίων και βαρυονίων

Η πυκνότητα ενέργειας φωτονίων που είναι η ενέργεια φωτονίων ανά κυβικό μέτρο δίνεται από τον τύπο

$$u = \frac{4\sigma T^4}{c}$$

σ : σταθερά Stefan-Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T : η θερμοκρασία του CMB $2,728 \text{ K}$

c : ταχύτητα του φωτός $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$u = \frac{4(5,67 \times 10^{-8})2,728^4}{3 \times 10^8} = 4,19 \times 10^{-14} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

Η ενεργεια ενός φωτονιου δινεται από τον τυπο

$$U = 3kT$$

k : σταθερά Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

T : η θερμοκρασία του CMB $2,728 \text{ K}$

$$U = 3(1,38 \times 10^{-23})(2,728) = 1,13 \times 10^{-22} \text{ J}$$

n_γ η πυκνοτητα αριθμου φωτονιων

$$\begin{aligned} n_\gamma &= \frac{\text{πυκνοτητα ενεργειας φωτονιων}}{\text{μεση ενεργεια φωτονιου}} \\ &= \frac{4,19 \times 10^{-14} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}}{1,13 \times 10^{-22} \text{ J}} \\ &= 3,71 \times 10^8 \text{ φωτόνια/m}^3 \end{aligned}$$

Η παράμετρος πυκνότητας βαρυονίων, Ω_b ορίζεται ως το κλάσμα της κρίσιμης πυκνότητας του σύμπαντος που συμβάλλεται από τα βαρυόνια:

$$\Omega_b = \frac{\rho_b}{\rho_c}$$

ρ_b : η πυκνότητα μάζας βαρυονίων

ρ_c : η κρίσιμη πυκνότητα του σύμπαντος
 $8,55 \times 10^{-27} kg/m^3$

$$\rho_b = \Omega_b \rho_c$$

$$\Omega_b = 0,04$$

η πυκνότητα βαρυονίων είναι

$$\begin{aligned}\rho_b &= \Omega_b \rho_c = 0,04 \times 8,55 \times 10^{-27} \\ &= 3,42 \times 10^{-28} kg/m^3\end{aligned}$$

Η πυκνότητα αριθμού βαρυονίων n_B υπολογίζεται διαιρώντας την πυκνότητα μάζας βαρυονίων ρ_b με τη μάζα ενός βαρυονίου προσεγγίζεται με τη μάζα ενός πρωτονίου m_p

$$n_B = \frac{\rho_b}{m_p}$$

m_p η μάζα ενός πρωτονίου $1,67 \times 10^{-27} kg$

$$n_B = \frac{\rho_b}{m_p} = \frac{3,42 \times 10^{-28} kg/m^3}{1,67 \times 10^{-27} kg}$$

$$n_B = 0,22 \text{ βαρυόνια } /m^3$$

Στο σύμπαν υπάρχουν $3,71 \times 10^8$ φωτόνια/ m^3 και 0,22 βαρυόνια / m^3

η αναλογία φωτονίων προς βαρυόνια είναι τα φωτόνια ανά κυβικό μέτρο δια τα βαρυόνια ανά κυβικό μέτρο

$$\eta = \frac{n_\gamma}{n_B}$$
$$\eta = \frac{3,71 \times \frac{10^8 \text{ φωτόνια}}{m^3}}{0,22 \frac{\text{βαρυόνια}}{m^3}} =$$
$$= 1,69 \times 10^9 \text{ φωτόνια ανά βαρυόνιο}$$

39.Υπολογισμός της ηλικίας του Σύμπαντος

η τιμή της σταθεράς του Hubble είναι 75km/s/megaparsec. δηλαδή σε απόσταση ενός megaparsec η ταχύτητα των γαλαξιών που απομακρύνονται από τη Γη είναι 75km/s.

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι μέτρησης της σταθεράς η μία μέθοδος από το cosmic microwave background λέει η τιμή της είναι

67,4 km/s/megaparsec και η άλλη από αστέρια 75km/s/megaparsec

Για να υπολογιστεί η ηλικία του σύμπαντος πρέπει να υπολογιστεί πόσος χρόνος παίρνει για το χώρο που επεκτείνεται με 75 km/s να καλύψει μια απόσταση 1 megaparsec.

από την αρχή του χρόνου το σύμπαν επεκτείνεται και η ηλικία του σύμπαντος είναι ο χρόνος που χρειάστηκε για ένα σημείο με ταχύτητα 75km/s να καλύψει την απόσταση 1 megaparsec.

$$u = \frac{x}{t}$$

$$t = \frac{x}{u}$$

75km/s/megaparsec είναι ταχύτητα/απόσταση είναι u/x που ισουται με $1/t$

για να υπολογιστει το t πρεπει να υπολογιστει το x/u που ειναι το αντιστροφο του $1/t$

1/σταθερα του Hubble ισούται με $1/75 \text{ km/s/megaparsec}$ ισούται με $1 \text{ megaparsec}/75 \text{ km/s}$ ποσος χρονος παιρνει για κατι που κινειται με 75km/s να διανυσει ενα megaparsec.

Η ηλικία του Σύμπαντος είναι

$$t = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{75 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}} = \frac{1}{\frac{75000 \text{m}}{\text{s} \times 3,09 \times 10^{21} \text{m}}}$$

$$t = 4,13 \times 10^{17} \text{s} = 13 \text{ δισεκατομμύρια χρόνια}$$

Πλήρης Υπολογισμός της ηλικίας του Σύμπαντος με Χρήση της Εξίσωσης Friedmann

Η προχωρημένη μέθοδος υπολογισμού της ηλικίας του σύμπαντος βασίζεται στην εξίσωση του Friedmann, που προέρχεται από τη Γενική Σχετικότητα και περιγράφει την εξέλιξη της διαστολής του σύμπαντος, λαμβάνοντας υπόψη τη συνολική ενέργεια και καμπυλότητα του.

Αρχική Εξίσωση Friedmann

Η εξίσωση του Friedmann προκύπτει από την επίλυση των εξισώσεων του Einstein για ένα ομογενές και ισότροπο σύμπαν. Σε ένα τέτοιο σύμπαν, η εξίσωση Friedmann συνδέει τον ρυθμό διαστολής του σύμπαντος με την πυκνότητα της ύλης και της ενέργειας:

$$\frac{\dot{\alpha}^2}{\alpha^2} = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{\alpha^2} + \frac{\Lambda}{3}$$

α είναι ο παράγοντας κλίμακας που περιγράφει την σχετική επέκταση του σύμπαντος στο χρόνο,

$\dot{a}$ είναι ο ρυθμός αλλαγής του παράγοντα κλίμακας,

G είναι η σταθερά της παγκόσμιας έλξης

ρ είναι η συνολική πυκνότητα ενέργειας στο σύμπαν, περιλαμβάνοντας τη συμβολή της ύλης, της σκοτεινής ενέργειας και της ακτινοβολίας,

k είναι η καμπυλότητα του σύμπαντος (0 για επίπεδο σύμπαν),

Λ είναι η κοσμολογική σταθερά, που σχετίζεται με τη σκοτεινή ενέργεια.

Για απλοποίηση, θεωρούμε ένα επίπεδο σύμπαν ($k=0$) και ότι η κυρίαρχη ενέργεια είναι η σκοτεινή ενέργεια και η ύλη.

$$H^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} + \frac{\Lambda}{3}$$

Η ηλικία του σύμπαντος t_0 είναι το χρονικό διάστημα από την αρχή της διαστολής μέχρι σήμερα. Επομένως, μπορούμε να την υπολογίσουμε με το ολοκλήρωμα:

$$t_0 = \int_0^{\alpha(t_0)} \frac{d\alpha}{\alpha H(\alpha)}$$

$$H(\alpha) = H_0 \sqrt{\Omega_m \alpha^{-3} + \Omega_\Lambda}$$

Ω_m είναι η πυκνότητα της ύλης

Ω_Λ είναι η πυκνότητα της σκοτεινής ενέργειας

Για τιμή της σταθεράς του Hubble 67,4
km/s/Mpc

$$\Omega_m = 0,3 \quad \Omega_\Lambda = 0,7$$

$$t_0 = \int_0^1 \frac{d\alpha}{\alpha H_0 \sqrt{\Omega_m \alpha^{-3} + \Omega_\Lambda}} =$$

$$t_0 = \int_0^1 \frac{d\alpha}{\alpha \times 2,18 \times 10^{-18} \text{s}^{-1} \times \sqrt{0,3\alpha^{-3} + 0,7}} =$$

= 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια

40. Χρονος ζωης αστεριων

Η διάρκεια ζωής ενός άστρου στην κύρια ακολουθία μπορεί να προσεγγιστεί από τη συνολική διαθέσιμη ενέργειά του και τον ρυθμό με τον οποίο αυτή ακτινοβολείται, δηλαδή από τη λαμπρότητά του.

Τα περισσότερα άστρα της κύριας ακολουθίας αντλούν την ενέργειά τους από τη σύντηξη υδρογόνου σε ήλιο στον πυρήνα τους. Η συνολική ποσότητα “καυσίμου” (υδρογόνου) που είναι διαθέσιμη για σύντηξη είναι περίπου ανάλογη της μάζας του άστρου.

Δεν μετατρέπεται ολόκληρη η μάζα σε ενέργεια, όμως, ως πρώτη προσέγγιση, η συνολική διαθέσιμη ενέργεια για σύντηξη είναι ανάλογη με τη μάζα:

$$E \propto M$$

Χρησιμοποιούμε τη σχέση

$$E = mc^2$$

η ενέργεια προκύπτει από τη μάζα. Έτσι, ένα πιο μαζικό άστρο διαθέτει περισσότερη συνολική ενέργεια.

Η λαμπρότητα L ενός άστρου είναι ο ρυθμός εκπομπής ενέργειας. Ο παρατηρησιακός εμπειρικός νόμος μεταξύ μάζας και λαμπρότητας για άστρα της κύριας ακολουθίας είναι:

$$L \propto M^{3,5} \text{ έως } M^4$$

Μια τυπική μέση τιμή που συχνά χρησιμοποιείται είναι:

$$L \propto M^{3,7}$$

Αυτό σημαίνει ότι αν αυξήσουμε τη μάζα ενός άστρου κατά έναν παράγοντα, η λαμπρότητά του αυξάνεται πολύ πιο δραστικά, περίπου ως η $3,7$ δύναμη της μάζας. Έτσι, για παράδειγμα, ένα άστρο 10 φορές πιο μαζικό από τον Ήλιο έχει λαμπρότητα περίπου

$$10^{3,7} \approx 5000$$

5000 φορές μεγαλύτερη από τον Ήλιο.

Ο προσεγγιστικός χρόνος ζωής ενός άστρου στην κύρια ακολουθία προκύπτει από τον λόγο μεταξύ της συνολικής διαθέσιμης ενέργειας και της λαμπρότητας:

$$L = \frac{E}{t}$$

L η φωτεινότητα, E η ενέργεια, t ο χρόνος

$$t = \frac{E}{L}$$

$$E \propto M$$

$$t \propto \frac{M}{L}$$

$$L \propto M^{3,7}$$

$$t \propto \frac{M}{M^{3,7}} = \frac{1}{M^{2,7}}$$

ο χρόνος ζωής του άστρου είναι αντιστρόφως ανάλογος του $M^{2,7}$.

όσο πιο μεγάλη η μάζα του άστρου, τόσο σημαντικά συντομεύεται ο χρόνος ζωής του.

Ένα αστέρι με 10 φορές μεγαλύτερη μάζα από τον Ήλιο

$$L \propto M^{3,7} = 10^{3,7} \approx 5000$$

είναι περίπου 5000 φορές πιο φωτεινό από τον Ήλιο.

$$t \propto \frac{1}{M^{2,7}} = \frac{1}{10^{2,7}} \approx 500$$

Ένα αστέρι με 10 φορές μεγαλύτερη μάζα από τον Ήλιο έχει περίπου 500 φορές μικρότερη ζωή από τον Ήλιο.

Τα πιο μαζικά άστρα έχουν πολύ υψηλότερη πίεση και θερμοκρασία στον πυρήνα, γεγονός που αυξάνει δραστικά το ρυθμό πυρηνικών αντιδράσεων. Παρότι διαθέτουν περισσότερο “καύσιμο”, το καταναλώνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα. Η υψηλή λαμπρότητα σημαίνει ότι η ενέργεια ακτινοβολείται πολύ γρήγορα στο διάστημα, οδηγώντας σε ταχύτερη εξάντληση των αποθεμάτων πυρηνικής ενέργειας και κατά συνέπεια σε συντομότερο χρόνο ζωής.

Αντιθέτως, τα λιγότερο μαζικά άστρα (π.χ. κόκκινα νάνοι) έχουν χαμηλότερες θερμοκρασίες και ρυθμούς καύσης, με αποτέλεσμα να ακτινοβολούν λιγότερη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και να “διαρκούν” πολύ περισσότερο, ακόμη και εκατοντάδες δισεκατομμύρια χρόνια

μπορεί να υπολογιστεί από τη μάζα τους. η ηλικία του σμήνους αφού τα αστέρια γεννηθηκαν μαζί ισουται με το χρονο ζωης

των αστεριων που θα σταματησουν τις αντιδρασιες υδρογονου.

41.η μάζα του Γαλαξία μας της Γαλακτώδους Οδού

ο Ήλιος είναι σε απόσταση 8 kpc από το κέντρο του γαλαξία.

Χρησιμοποιούμε την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για να υπολογίσουμε την μάζα του Ήλιου.

Την μέθοδο όταν έχουμε ένα αντικείμενο να περιστρέφεται γύρω από ένα άλλο αντικείμενο.

Χρησιμοποιώντας τον νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα για ένα αστέρι που περιστρέφεται γύρω από το κέντρο του γαλαξία, η βαρυτική δύναμη F μεταξύ της κεντρικής μάζας M του Γαλαξία μας και ενός αστέρα με μάζα m σε απόσταση r από το κέντρο του γαλαξία δίνεται από:

$$F = \frac{GMm}{r^2}$$

Το βαρυτικό πεδίο του Γαλαξία ασκεί δύναμη στον Ήλιο, η οποία παρέχει την κεντρομόλο δύναμη που απαιτείται για την κυκλική τροχιά του. Αυτή η δύναμη υπολογίζεται από το νόμο του Νεύτωνα για τη βαρύτητα:

Για ένα αστέρι σε σταθερή τροχιά γύρω από τον γαλαξία, η βαρυτική δύναμη λειτουργεί ως η κεντρομόλος δύναμη που

απαιτείται για να διατηρήσει το αστέρι σε μια κυκλική διαδρομή.

Έτσι, εξισώνουμε τη βαρυτική δύναμη F με την κεντρομόλο δύναμη

$$F = \frac{mu^2}{r}$$

m είναι η μάζα του αστεριού και r η ακτίνα από το κέντρο του γαλαξία μέχρι το αστέρι

$$F = \frac{GMm}{r^2} = \frac{mu^2}{r}$$
$$M = \frac{u^2 r}{G}$$

8 kpc σε μέτρα

$$1\text{kpc} = 3,0857 \times 10^{19}m$$

$$r = 8 \times 3,0857 \times 10^{19}m = 2,4686 \times 10^{20}m$$

η ταχύτητα του ήλιου είναι $200\,000\text{ m/s} = 2 \times 10^5\text{ m/s}$

η μάζα από το κέντρο του γαλαξία μέχρι απόσταση 8 kpc που βρίσκεται ο Ήλιος από το κέντρο του γαλαξία είναι

$$M = \frac{(2 \times 10^5\text{ m/s})^2 \times 2,4686 \times 10^{20}m}{6,67 \times 10^{-11}\text{ Nm}^2/\text{kg}^2}$$
$$= 1,48 \times 10^{41}\text{ kg}$$

Η μάζα του Ήλιου είναι $1,989 \times 10^{30}\text{ kg}$

$$\frac{1,48 \times 10^{41}}{1,989 \times 10^{30}} = 7,44 \times 10^{10} \text{ ηλιακές μάζες}$$

Δευτερος τροπος υπολογισμού της μάζας από το κέντρο του γαλαξία μέχρι τον Ήλιο.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την περίοδο περιστροφής του Ήλιου γύρω από τον γαλαξία όπως χρησιμοποιήσαμε την περίοδο περιστροφής της Γης γύρω από τον Ήλιο

$$F = \frac{GmM}{r^2} = \frac{m4\pi^2r}{T^2}$$

Τ είναι η περίοδος περιστροφής του Ήλιου γύρω από το κέντρο του Γαλαξία.

$$M = \frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$$

Η περίοδος Τ περιστροφής του Ήλιου στον γαλαξία είναι 220 εκατομμύρια χρόνια
220 εκατομμύρια χρόνια είναι $6,94 \times 10^{15} \text{ s}$

$$r = 8 \text{ kpc} = 2,4686 \times 10^{20} \text{ m}$$

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

$$M = \frac{4\pi^2r^3}{GT^2} =$$

$$\frac{4(3,14)^2(2,4686 \times 10^{20} \text{ m})^3}{6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \times (6,94 \times 10^{15} \text{ s})^2} = 1,48 \times 10^{41}$$

$$\frac{1,48 \times 10^{41}}{1,989 \times 10^{30}} = 7,44 \times 10^{10}$$

και με τους δύο τρόπους βρίσκουμε ότι η μάζα του γαλαξία από το κέντρο μέχρι 8 kpc που είναι ο Ήλιος είναι $7,44 \times 10^{10}$ ηλιακές μάζες

το μέγεθος του γαλαξία είναι 100 kilo parsec

για να υπολογιστεί η μάζα του γαλαξία χρησιμοποιείται η ίδια μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για να βρεθεί η μάζα του γαλαξία μέχρι 8 kpc

μετράται η ταχύτητα ενός αστεριού στα άκρα του γαλαξία και χρησιμοποιείται ο τύπος $M = \frac{u^2 r}{G}$ για να υπολογιστεί η μάζα μέχρι εκείνη την απόσταση.

για ένα αστέρι με ταχύτητα 200 km/s σε απόσταση 100 kpc

$$100 \text{ kpc} = 100 \times 1000 \text{ pc} \times 3,086 \times 10^{16} = 3,0856 \times 10^{21} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M &= \frac{u^2 r}{G} = \frac{\left(\frac{200000 \text{ m}}{\text{s}}\right)^2 \times 3,0856 \times 10^{21} \text{ m}}{6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2} \\ &= 1,85 \times 10^{42} \text{ kg} \\ &= 9,3 \times 10^{11} \text{ ηλιακές μάζες} \end{aligned}$$

Σύμφωνα με την νευτώνια μηχανική η ταχύτητα των αστεριών θα έπρεπε να μειώνεται με την απόσταση από το κέντρο

του γαλαξία αλλά η ταχύτητα των αστεριών είναι περίπου σταθερή και λόγω της σκοτεινής ύλης.

αυτό σημαίνει πως όσο μεγαλώνει η ακτίνα η μάζα μεγαλώνει και η μάζα μεγαλώνει περίπου όσο η ακτίνα.

$u^2 = \frac{GM}{r}$ για περίπου σταθερό u όσο περίπου μεγαλώνει το r τόσο περίπου μεγαλώνει το M .

αυτό σημαίνει πως όση περίπου ύλη έχει από 0-8 kpc που είναι ο Ήλιος από το κέντρο του γαλαξία τόση περίπου θα έχει από 8-16 kpc.

για διπλάσια απόσταση διπλάσια μάζα για τριπλάσια απόσταση τριπλάσια μάζα, για δεκαπλάσια απόσταση μέχρι 80kpc θα έχει τη δεκαπλάσια μάζα περίπου $7 - 8 \times 10^{11}$ ηλιακές μάζες

42. Αριθμός αστεριών στον γαλαξία μας-Γαλακτώδη Οδό

Το περισσότερο μέρος της μάζας ενός γαλαξία είναι σκοτεινή ύλη. Η σκοτεινή ύλη είναι 5-6 φορές περισσότερη από τη φωτεινή βαρυονική ύλη.

Από την ύλη στο εσωτερικό των γαλαξιών που είναι η σκοτεινή και η ορατή ύλη, περίπου το 7-8% της μάζας ενός γαλαξία είναι η μάζα των αστεριών.

Η μάζα του γαλαξία στον οποίο βρίσκεται το ηλιακό μας σύστημα, η Γαλακτώδης Οδός είναι $1 - 1,5 \times 10^{12}$ ηλιακές μάζες. Το 7-8% της μάζας του Γαλαξία, περίπου $7 \times 10^{10} - 1,2 \times 10^{11}$ ηλιακές μάζες είναι η μάζα των αστεριών.

Δηλαδή $7 \times 10^{10} - 1,2 \times 10^{11}$ αστέρια στο μέγεθος του Ήλιου.

Τα περισσότερα αστέρια είναι μικρότερα από τον Ήλιο. Η μέση μάζα των αστεριών είναι 0,4-0,6 φορές τη μάζα του Ήλιου, δηλαδή υπάρχουν περίπου $1 - 2 \times 10^{11}$, 100-200 δισεκατομμύρια αστέρια στην Γαλακτώδη Οδό.

43. Διακατανομή της βαρυονικής ύλης

Η βαρυονική ύλη είναι η ορατή ύλη του σύμπαντος, η οποία αλληλεπιδρά με τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις: τη βαρύτητα, τον ηλεκτρομαγνητισμό, την ισχυρή και την ασθενή πυρηνική δύναμη. Αυτή η μορφή ύλης αποτελείται από πρωτόνια, νετρόνια και ηλεκτρόνια, τα οποία συνθέτουν τα άτομα και τα μόρια που παρατηρούμε στον κόσμο γύρω μας.

Το 99% της ορατής βαρυονικής ύλης στο σύμπαν αποτελείται από υδρογόνο και ήλιο, τα δύο ελαφρύτερα και πιο άφθονα

στοιχεία που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια της Μεγάλης Έκρηξης. Στην πλειονότητά τους, αυτά τα στοιχεία βρίσκονται σε κατάσταση πλάσματος, όπου τα άτομα έχουν απογυμνωθεί από τα ηλεκτρόνιά τους, αφήνοντας πίσω τους ιονισμένους πυρήνες. Το πλάσμα είναι η κυρίαρχη κατάσταση της ύλης στο σύμπαν, παρούσα σε αστέρια, νεφελώματα, γαλαξιακά και διαγαλαξιακά αέρια.

Περίπου το 7% της βαρυονικής ύλης βρίσκεται στα αστέρια. Τα αστέρια είναι συμπυκνωμένες σφαίρες πλάσματος, όπου λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη, δημιουργώντας βαρύτερα στοιχεία από το υδρογόνο. Αποτελούν τις φωτεινές δομές που κυριαρχούν οπτικά στο σύμπαν και διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στη γέννηση και την εξέλιξη των γαλαξιών.

Το διαστρικό μέσο (Interstellar Medium - ISM), που περιέχει το 1% της βαρυονικής ύλης, είναι το αέριο και η σκόνη που βρίσκονται ανάμεσα στα αστέρια μέσα στους γαλαξίες. Το ISM είναι ένα ετερογενές περιβάλλον που περιλαμβάνει ψυχρά μοριακά νέφη, ζεστό ουδέτερο αέριο, και θερμό ιονισμένο αέριο. Η πυκνότητά του είναι μεγαλύτερη από αυτή άλλων εξωτερικών μέσων, και παίζει καθοριστικό ρόλο ως η «μήτρα» από την

οποία σχηματίζονται νέα αστέρια. Αυτό το αέριο βρίσκεται αποκλειστικά μέσα στα όρια των γαλαξιών, καθιστώντας το βασικό στοιχείο της εσωτερικής τους δομής.

Το περιφερειακό γαλαξιακό μέσο (Circumgalactic Medium - CGM), που περιέχει το 5% της βαρυονικής ύλης, είναι το αέριο που περιβάλλει έναν γαλαξία, αλλά βρίσκεται πέρα από την κύρια κατανομή των αστέρων. Το CGM είναι πιο διάχυτο και αραιό σε σχέση με το ISM, αλλά καλύπτει μια μεγαλύτερη περιοχή, φτάνοντας μέχρι τα όρια της βαρυτικής επιρροής του γαλαξία. Λειτουργεί ως δεξαμενή αερίου, τροφοδοτώντας το ISM με υλικό για τον σχηματισμό νέων αστεριών, ενώ ταυτόχρονα δέχεται αέρια εκροών από γαλαξιακούς ανέμους. Οι θερμοκρασίες του κυμαίνονται συνήθως μεταξύ 10^4 και 10^6 Kelvin, και η σύνθεσή του είναι κυρίως ιονισμένο υδρογόνο με μικρές ποσότητες ουδέτερου υδρογόνου.

Το διασμηνικό μέσο (Intracluster Medium - ICM), που περιέχει το 4% της βαρυονικής ύλης, είναι το καυτό πλάσμα που γεμίζει τα σμήνη γαλαξιών, ανάμεσα στους ίδιους τους γαλαξίες που συνιστούν το σμήνος. Οι θερμοκρασίες του ICM είναι εξαιρετικά υψηλές, κυμαινόμενες από 10^7 έως 10^8 Kelvin, και γι' αυτό εκπέμπει ακτίνες X.

Αποτελείται κυρίως από ιονισμένο υδρογόνο και ήλιο, με μικρές ποσότητες βαρέων στοιχείων που προέρχονται από αστρικές εκρήξεις. Αυτό το πλάσμα επηρεάζει τη δυναμική των σμηνών, καθώς και την αλληλεπίδραση μεταξύ της βαρυονικής και της σκοτεινής ύλης.

Το διάχυτο διαγαλαξιακό μέσο (Diffuse Intergalactic Medium - IGM) περιέχει το 40% της βαρυονικής ύλης του σύμπαντος και αποτελεί το αέριο που γεμίζει τον χώρο μεταξύ των γαλαξιών. Αυτό το ψυχρό και αραιό αέριο βρίσκεται κυρίως στις μεγάλες κενές περιοχές (voids) και λιγότερο στα νήματα (filaments) του κοσμικού ιστού. Οι θερμοκρασίες του IGM είναι χαμηλές, κάτω από 10^5 Kelvin, και η πυκνότητά του είναι σημαντικά μικρότερη από το WHIM. Αποτελεί το πρωταρχικό περιβάλλον όπου οι γαλαξιακές και κοσμικές δομές σχηματίζονται και εξελίσσονται.

Το θερμό-ζεστό διαγαλαξιακό μέσο (Warm-Hot Intergalactic Medium - WHIM) περιέχει το 43% της βαρυονικής ύλης και είναι η θερμότερη και πιο πυκνή φάση του διαγαλαξιακού μέσου. Το WHIM συναντάται κυρίως κατά μήκος των κοσμικών νημάτων (filaments), όπου οι γαλαξιακές δομές είναι πιο πυκνές και το αέριο θερμαίνεται λόγω βαρυτικής κατάρρευσης και κοσμικών σοκ. Οι

θερμοκρασίες του κυμαίνονται από 10^5 έως 10^7 Kelvin, και η σύνθεσή του περιλαμβάνει ιονισμένο υδρογόνο και ήλιο, καθώς και βαρέα στοιχεία από εκρήξεις υπερκαινοφανών. Σε αντίθεση με το IGM, το WHIM είναι θερμότερο, πιο πυκνό και εντοπίζεται σε συγκεκριμένες κοσμικές δομές υψηλής πυκνότητας.

Συνοψίζοντας, το ISM είναι μια πιο πυκνή και περιορισμένη περιοχή μέσα στους γαλαξίες, ενώ το CGM είναι πιο διάχυτο και περιβάλλει τους γαλαξίες. Το IGM είναι πιο αραιό και ψυχρό, καταλαμβάνοντας τις κενές περιοχές του σύμπαντος, ενώ το WHIM εντοπίζεται κυρίως στα νήματα του κοσμικού ιστού και είναι θερμότερο και πυκνότερο. Αυτές οι περιοχές αποκαλύπτουν την πολυπλοκότητα της κοσμικής ύλης και τον θεμελιώδη ρόλο τους στην εξέλιξη του σύμπαντος.

44. Πυκνότητα αστεριού

Η πυκνότητα ενός άστρου είναι ένας σημαντικός παράγοντας στην αστροφυσική, καθώς μπορεί να μας δώσει πληροφορίες για τη δομή και την εξέλιξή του. Η πυκνότητα ρ ορίζεται ως η μάζα M του άστρου προς τον όγκο V του:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Για ένα άστρο που προσεγγίζεται ως σφαίρα, ο όγκος του είναι ανάλογος της ακτίνας R του στην τρίτη δύναμη, δηλαδή:

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3$$

Επομένως, η πυκνότητα ενός σφαιρικού άστρου μπορεί να γραφεί ως:

$$\rho = \frac{M}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \frac{3M}{4\pi R^3}$$

Για άστρα της κύριας ακολουθίας, η ακτίνα τους είναι περίπου ανάλογη της μάζας τους. Συγκεκριμένα, μπορούμε να γράψουμε:

$$R \propto M$$

Για μια σταθερά k $R = kM$

Αντικαθιστώντας $R=kM$ στην πυκνότητα

$$\rho = \frac{3M}{4\pi(kM)^3} = \frac{3}{4\pi k^3} \frac{1}{M^2} \propto \frac{1}{M^2}$$

Αυτό σημαίνει ότι η πυκνότητα ενός άστρου της κύριας ακολουθίας είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μάζας του. Δηλαδή, όσο μικρότερη είναι η μάζα του άστρου, τόσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητά του.

Για ένα αστέρι με μισή μάζα του Ήλιου

$$\rho \propto \frac{1}{M^2}$$

$$\rho \propto \frac{1}{M^2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{1}{\frac{1}{4}} = 4$$

Αυτό σημαίνει ότι το άστρο με μισή μάζα του Ήλιου είναι 4 φορές πιο πυκνό από τον Ήλιο.

Για αστέρι με το 1/10 της μάζας του Ήλιου

$$\rho \propto \frac{1}{\left(\frac{1}{10}\right)^2} = \frac{1}{\frac{1}{100}} = 100$$

ένα άστρο με το 1/10 της μάζας του Ήλιου είναι 100 φορές πιο πυκνό από τον Ήλιο.

Για αστέρι με 5 φορές τη μάζα του Ήλιου

$$\rho \propto \frac{1}{(5)^2} = \frac{1}{25}$$

ένα άστρο με 5 φορές τη μάζα του Ήλιου είναι 25 φορές λιγότερο πυκνό από τον Ήλιο.

45.Ακτίνα του ορατού σύμπαντος

Η ακτίνα του ορατού σύμπαντος είναι 14 Gpc 46 δισεκατομμυρια ετη φωτος. Αν και το σύμπαν εκτείνεται πέρα από αυτή την απόσταση, δεν μπορούμε να δούμε πιο πέρα διότι:

Το φως από γαλαξίες (ή άλλες πηγές) εκτός αυτής της ακτίνας δεν είχε αρκετό χρόνο για να φτάσει σε εμάς, λόγω της πεπερασμένης ταχύτητας του φωτός και της πεπερασμένης ηλικίας του σύμπαντος (~ 13,8 δισεκατομμύρια χρόνια).

Σε πολύ απομακρυσμένες περιοχές, η διαστολή του χώρου κάνει μακρινούς γαλαξίες να απομακρύνονται από εμάς γρηγορότερα από την ταχύτητα του φωτός. Αυτό δεν παραβιάζει τη σχετικότητα: στην ουσία διαστέλλεται ο ίδιος ο χώρος. Κατά συνέπεια, τα φωτόνια από εκείνους τους γαλαξίες δεν μπορούν να “κερδίσουν έδαφος” για να φτάσουν ποτέ σε εμάς.

$$Dh = \frac{c}{H_0} \int_0^{z_e} \frac{dz}{\sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda}}$$

D_H : comoving απόσταση έως το redshift z μας βοηθά να εκτιμήσουμε πόσο “μακριά” μπορούμε να δούμε έως ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο στην ιστορία του σύμπαντος.

c : ταχύτητα του φωτός, περίπου 300 000 km/s

H_0 : Η σταθερά του Hubble, που περιγράφει πόσο γρήγορα διαστέλλεται το σύμπαν σήμερα περίπου $H_0 \approx 70 \text{ km/s/Mpc}$

Ω_m : Το ποσοστό της κρίσιμης πυκνότητας του σύμπαντος που οφείλεται στην ύλη (τόσο ορατή όσο και σκοτεινή). Οι παρατηρήσεις δείχνουν $\Omega_m \approx 0,3$.

Ω_Λ : Το ποσοστό της κρίσιμης πυκνότητας του σύμπαντος που οφείλεται στη σκοτεινή ενέργεια. Οι παρατηρήσεις δείχνουν $\Omega_\Lambda \approx 0,7$.

z_e : Το redshift που αντιστοιχεί στην εποχή κατά την οποία το σύμπαν έγινε διαφανές (εποχή της επανασύνδεσης). Περίπου $z_e \approx 1100$. Τότε σχηματίστηκε το ουδέτερο υδρογόνο, επιτρέποντας στα φωτόνια (το κοσμικό υπόβαθρο μικροκυμάτων) να ταξιδέψουν ελεύθερα στο διάστημα.

$$Dh = \frac{3 \times 10^8 m/s}{70 \frac{km}{s} / Mpc} \int_0^{1100} \frac{dz}{\sqrt{0,3 (1 + 0)^3 + 0,7}}$$

= 14 gigaparsecs

1 parsec (pc) $\approx$ 3,26 έτη φωτός

η ακτίνα του ορατού σύμπαντος είναι περίπου 46 δισεκατομμύρια έτη φωτός.

46.Κριτική πυκνότητα

Η κριτική πυκνότητα (ρ_c) είναι η πυκνότητα της ύλης (ορατής και σκοτεινής) που απαιτείται για να ισορροπήσει την επέκταση του σύμπαντος. Εάν η πυκνότητα του σύμπαντος είναι μεγαλύτερη από την κριτική, η βαρυτική έλξη θα είναι αρκετά ισχυρή ώστε η διαστολή να επιβραδυνθεί και τελικά να αντιστραφεί, οδηγώντας σε συστολή του σύμπαντος (Big Crunch). Εάν η πυκνότητα είναι μικρότερη, η διαστολή θα συνεχιστεί επ' αόριστον (Big Freeze).

Η κριτική πυκνότητα χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη γεωμετρία του σύμπαντος:

$\rho > \rho_c$: Κλειστό σύμπαν

Το σύμπαν θα έχει θετική καμπυλότητα (σαν μια σφαίρα). Θα σταματήσει να

διαστέλλεται και θα αρχίσει να συστέλλεται.

$\rho = \rho_c$: Επίπεδο σύμπαν

Το σύμπαν είναι επίπεδο και θα διαστέλλεται επ' άπειρον με όλο και πιο αργό ρυθμό.

$\rho < \rho_c$: Ανοιχτό σύμπαν

Το σύμπαν έχει αρνητική καμπυλότητα (σαν σέλα) και θα διαστέλλεται για πάντα.

Για να κατανοήσουμε την έννοια της κριτικής πυκνότητας, σκεφτόμαστε το σύμπαν σαν μια τεράστια σφαίρα με μια μάζα στον εξωτερικό της φλοιό.

Αυτή η μάζα:

Κινείται προς τα έξω λόγω της κινητικής ενέργειας που οφείλεται στη διαστολή.

Επιβραδύνεται λόγω της βαρυτικής έλξης που ασκείται από όλη τη μάζα του σύμπαντος.

Η κριτική πυκνότητα είναι η τιμή της πυκνότητας όπου αυτές οι δύο ενέργειες ισορροπούν:

Βαρυτική δυναμική ενέργεια

$$U = \frac{GMm}{R}$$

Κινητική ενέργεια

$$K = \frac{1mV^2}{2}$$

M: Η μάζα της σφαίρας (ολική μάζα του σύμπαντος).

m: Μάζα του αντικειμένου στον φλοιό.

R: Ακτίνα του σύμπαντος.

V: Ταχύτητα διαστολής $V=H_0R$

βαρυτική δυναμική ενέργεια = κινητική ενέργεια

$$\frac{GMm}{R} = \frac{1mV^2}{2}$$

$$V = H_0R$$

$$\frac{GMm}{R} = \frac{1m(H_0R)^2}{2}$$

Η ολική μάζα M του σύμπαντος δίνεται από τον όγκο της σφαίρας και την πυκνότητα:

$$M = \frac{4\pi R^3 \rho}{3}$$

$$\frac{\frac{G4\pi R^3\rho}{3}}{R} = \frac{1}{2}H_0^2 R^2$$

$$\frac{G4\pi\rho}{3} = \frac{1}{2}H_0^2$$

$$\rho = \frac{3}{8\pi G}H_0^2$$

Η τιμή της κριτικής πυκνότητας είναι

$$\rho_c = \frac{3(2,18 \times 10^{-18})^2}{8\pi(6,67 \times 10^{-11})} = 8,55 \times 10^{-27} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

47.Θερμοκρασία του Σύμπαντος και μετατοπίση προς το ερυθρό

Το μήκος κυματος του φωτος μεγαλωνει με την επεκταση του συμπαντος.

$$\lambda(t) \propto \alpha(t)$$

$$c = \lambda f$$

Επειδη το μήκος κυματος μεγαλωνει η συχνοτητα του φωτός μικραινει

$$E = hf$$

Επειδη το μήκος κυματος μεγαλωνει και η συχνοτητα μικραινει η ενεργεια

του φωτος μικραινει και τα φωτονια

χανουν ενεργεια $E(t) \propto \frac{1}{a(t)}$

$$z = \frac{\lambda_{obs} - \lambda_{emit}}{\lambda_{emit}}$$

$$z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{emit}} - \frac{\lambda_{emit}}{\lambda_{emit}}$$

$$1 + z = \frac{\lambda_{obs}}{\lambda_{emit}}$$

$$1 + z = \frac{\lambda(t_0)}{\lambda(t_{emit})}$$

$$1 + z = \frac{\alpha(t_0)}{\alpha(t_{emit})}$$

$$\alpha(t_0) = 1$$

$$1 + z = \alpha(t_{emit})^{-1}$$

$$E = hf = kT$$

$$T \propto \frac{1}{a(t)}$$

$$1 + z = \frac{\alpha(t_0)}{\alpha(t_{emit})}$$

$$1 + z = \frac{1}{\frac{T(t_0)}{1}}$$

$$1 + z = \frac{T(t_{emit})}{T(t_{emit})}$$

$$1 + z = \frac{T(t_{emit})}{T(t_0)}$$

$$T(t_{emit}) = T(t_0)(1 + z)$$

Η σχέση δείχνει πώς συνδέεται η θερμοκρασία μίας ακτινοβολίας (π.χ. της Κοσμικής Ακτινοβολίας Υποβάθρου) την εποχή που εκπέμφθηκε με τη θερμοκρασία της σήμερα.

$T(t_{emit})$: η θερμοκρασία κατά τη στιγμή εκπομπής,

$T(t_0)$: η θερμοκρασία στην τωρινή εποχή,

z : ο παράγοντας redshift (μετατόπιση προς το ερυθρό), που μας λέει πόσο έχει «τεντωθεί» το μήκος κύματος λόγω της διαστολής του σύμπαντος.

Ο όρος $(1+z)$ δείχνει ότι καθώς αυξάνεται το z (δηλαδή όσο πιο πίσω στον χρόνο κοιτάμε, όταν το σύμπαν ήταν μικρότερο), η θερμοκρασία τότε ήταν μεγαλύτερη σε σύγκριση με την παρούσα, ακριβώς επειδή το σύμπαν ήταν πιο πυκνό και θερμό. Αυτός ο παράγοντας αποτυπώνει τη συμπίεση και το «ζέσταμα» της ακτινοβολίας σε παλαιότερες εποχές, πριν η διαστολή «κρυώσει» την ακτινοβολία στην τωρινή χαμηλότερη τιμή.

δευτερος τροπος

$$1 + z = \frac{\lambda(t_0)}{\lambda(t_{emit})}$$

$$\lambda = \frac{b}{T}$$

$$1 + z = \frac{\frac{b}{T(t_0)}}{\frac{b}{T(t_{emit})}}$$

$$T(t_{emit}) = T(t_0)(1 + z)$$

τριτος τροπος

$$\lambda = \frac{b}{T}$$

$$\lambda T = b$$

$$\lambda(t_0)T(t_0) = \lambda(t_{emit})T(t_{emit})$$

$$T(t_{emit}) = \frac{\lambda(t_0)T(t_0)}{\lambda(t_{emit})}$$

$$1 + z = \frac{\lambda(t_0)}{\lambda(t_{emit})}$$

$$T(t_{emit}) = T(t_0)(1 + z)$$

48.Μεγεθος του σύμπαντος με το χρόνο

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right) = H_0 \left(\frac{a}{a_0}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{a}{a_0}\right)^{-\frac{2}{2}} = H_0 \left(\frac{a}{a_0}\right)^{-\frac{1}{2}} \left(\frac{a_0}{a}\right)$$

$$\frac{da}{dta_0} = H_0 \left(\frac{a}{a_0}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{da}{dta_0} \left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} = H_0$$

$$\left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{da}{a_0} = H_0 dt$$

$$\int \left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{1}{2}} d\left(\frac{a}{a_0}\right) = H_0 \int dt = H_0 t$$

$$\frac{2}{3} \left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}} = H_0 t$$

$$\frac{2}{3} \frac{3}{2} \left(\left(\frac{a}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}}\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{3}{2} H_0 t\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{a}{a_0} = \left(\frac{3}{2} H_0 t\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{a_0}{a_0} = \left(\frac{3}{2} H_0 t_0 \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{\left(\frac{3}{2} H_0 t \right)^{\frac{2}{3}}}{\left(\frac{3}{2} H_0 t \right)^{\frac{2}{3}}} = \frac{\frac{a}{a_0}}{\frac{a_0}{a_0}}$$

$$\frac{t^{\frac{2}{3}}}{t_0^{\frac{2}{3}}} = \frac{a}{a_0}$$

$$\left(\frac{t^{\frac{2}{3}}}{t_0^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{a}{a_0} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{t}{t_0} = \left(\frac{a}{a_0} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$t \propto a^{3/2}$$

$$a \propto t^{2/3}$$

Ο παράγοντας κλίμακας, δηλαδή το “μέγεθος” του Σύμπαντος, μεγαλώνει με τον χρόνο ως $t^{2/3}$ σε ένα Σύμπαν κυριαρχούμενο από ύλη.

Αυτό σημαίνει ότι όσο περνάει ο χρόνος, το Σύμπαν διαστέλλεται έτσι ώστε, αν διπλασιάσουμε τον χρόνο, το μέγεθος του σύμπαντος δεν διπλασιάζεται απλώς, αλλά αυξάνεται κατά μια δύναμη του χρόνου, συγκεκριμένα με εκθέτη $2/3$.

Για διπλάσιο χρόνο το μέγεθος του σύμπαντος γίνεται $t^{2/3} = 2^{2/3} = 1,6$ σε ένα Σύμπαν κυριαρχούμενο από ύλη, η ενεργειακή πυκνότητα ρm εξασθενεί σαν $1/\alpha^3$.

Σε σύμπαν κυριαρχούμενο από ακτινοβολία, η αύξηση είναι $\alpha(t) \propto t^{1/2}$ (πιο αργή), ενώ σε σύμπαν κυριαρχούμενο από σκοτεινή ενέργεια (κοσμολογική σταθερά) η διαστολή είναι (ασυμπτωτικά) εκθετική.

49. Ηλικία του σύμπαντος όταν έγινε η επανασύνδεση

η ηλικία του σύμπαντος όταν έγινε η επανασύνδεση recombination μπορεί να υπολογιστεί από την θερμοκρασία του σύμπαντος όταν έγινε η επανασύνδεση, από το μήκος κύματος και την ενέργεια του φωτός όταν έγινε η επανασύνδεση

$$T = T_0(1 + z)$$

$$T = T_0 + T_0 z$$

$$T_0 z = T - T_0$$

$$z = \frac{T}{T_0} - 1$$

Η θερμοκρασία T του cmb στην επανασύνδεση recombination ήταν 3000 K

Η θερμοκρασία του cmb σήμερα είναι 2,73 K

Συγκρίνοντας τη θερμοκρασία σήμερα με την θερμοκρασία στο *recombination* μπορεί να υπολογιστεί το *redshift* η μετατόπιση προς το ερυθρό

$$z = \frac{3000 \text{ K}}{2,73 \text{ K}} = 1100$$

Από την τιμή του *redshift* 1100 μπορεί να υπολογιστεί η ηλικία του σύμπαντος σε αυτό το *redshift*

$$1 + z = \frac{\alpha(t_0)}{\alpha(t_{emit})}$$

$$\frac{t}{t_0} = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0} \right)^{\frac{3}{2}} = (1 + z)^{-\frac{3}{2}}$$

$$1 + z = \frac{T}{T_0}$$

$$\frac{t}{t_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{3}{2}} = \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$t = t_0 \left(\frac{T_0}{T} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$t = 13,8 \times 10^9 \left(\frac{2,73}{3000} \right)^{\frac{3}{2}} = 380 \text{ 000 χρόνια}$$

μετά το big bang

50. Πυκνότητα ακτινοβολίας υλης και σκοτεινης ενεργειας με το μεγαθος του συμπαντος

Radiation dominated universe $\rho_{rad} \propto a^{-4}$

$$a(t) \propto t^{\frac{1}{2}}$$
$$\rho_{rad} \propto (1+z)^4$$
$$\varepsilon_{rad} \propto a^{-4}$$

Matter dominated universe

$$\rho_{matter} \propto a^{-3}$$
$$a(t) \propto t^{\frac{2}{3}}$$
$$\rho_{matter} \propto (1+z)^3$$
$$\varepsilon_{matter} \propto a^{-3}$$

Dark energy dominated universe

$$\rho_{matter} \propto a^0$$
$$a(t) \propto e^{H_0 \sqrt{\Omega_\Lambda} t}$$
$$\rho_{matter} \propto (1+z)^0$$
$$\varepsilon_{matter} \propto a^0$$

Η εξισωση ρευστου περιγραφει πως η πυκνότητα ενός υλικου στο συμπαν αλλαζει με τον χρονο

Συμφωνα με τον πρωτο νομο της θερμοδυναμικης

$$dU = -PdV$$
$$dU + PdV = 0$$
$$4\pi\alpha^2\rho c^2\dot{\alpha} + 4\pi\alpha^2 P\dot{\alpha} + \frac{4}{3}\pi\alpha^3 c^2\dot{\rho} = 0$$
$$\frac{4\pi\alpha^2\rho c^2\dot{\alpha}}{\frac{4}{3}\pi\alpha^3 c^2} + \frac{4\pi\alpha^2 P\dot{\alpha}}{\frac{4}{3}\pi\alpha^3 c^2} + \dot{\rho} = 0$$

$$\frac{3\rho\dot{a}}{a} + \frac{3}{a} \frac{\rho}{c^2} \dot{a} + \dot{\rho} = 0$$

Η εξίσωση ρευστου είναι

$$\dot{\rho} + \frac{3\dot{a}}{a} \left(\rho + \frac{\rho}{c^2} \right) = 0$$

Για να μετατραπεί από πυκνότητα μαζας σε πυκνότητα ενεργειας

$$\varepsilon = \rho c^2$$

$$\rho = \frac{\varepsilon}{c^2}$$

$$\dot{\varepsilon} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (\varepsilon + P) = 0$$

Η εξίσωση καταστασης $P = w\varepsilon$

$$\dot{\varepsilon} + 3 \frac{\dot{a}}{a} (\varepsilon + w\varepsilon) = 0$$

$$\dot{\varepsilon} = -3(1+w) \frac{\dot{a}}{a} \varepsilon$$

$$\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon} = -3(1+w) \frac{\dot{a}}{a}$$

$$\ln \varepsilon = -3(1+w) \ln a + C_1$$

$$\varepsilon = e^{-3(1+w) \ln a} e^{C_1}$$

$$e^{(-3(1+w) \ln a)} e^{C_1} = e^{\ln a^{-3(1+w)}} e^{C_1}$$

$$= a^{-3(1+w)} e^{C_1}$$

$$\varepsilon = \rho c^2$$

$$\rho \propto a^{-3(1+w)}$$

συμφωνα με τη στατιστικη μηχανικη η ακτινοβολια εχει παραμετρο εξισωσης καταστασης $w=1/3$ ετσι η σχεση μεταξυ πυκνοτητας μαζας και συντελεστη κλιμακας για την ακτινοβολια είναι

$$\rho_{\text{rad}} \propto a^{-4}$$

η μη σχετικιστικη υλη εχει μηδεν πιεση ετσι $P=w\varepsilon=0$, $w=0$

$$\rho_M \propto a^{-3}$$

η κοσμολογική σταθερά Λ έχει $w=-1$

$$\rho_\Lambda \propto a^0$$

το ρ_Λ δεν αλλάζει με το χρόνο και η πυκνότητα παραμένει σταθερή παρόλο που το σύμπαν επεκτείνεται

51. Σκοτεινή ενέργεια

Η μετατόπιση προς το ερυθρό στο φάσμα των supernovae δείχνει την ταχύτητά τους και αυτή η ταχύτητα υποδυκνείει την απόσταση τους από τον παρατηρητή.

Σύμφωνα με τον νόμο του Hubble όσο πιο μακριά είναι ένας γαλαξίας τόσο πιο μεγάλη η ταχύτητα του από τον παρατηρητή.

Η απόσταση ενός supernova, μπορεί να βρεθεί αν γνωρίζουμε την ταχύτητα του και η ταχύτητα του μπορεί να βρεθεί από την μετατόπιση προς το ερυθρό-redshift.

$$u = \frac{c(\lambda_{obs} - \lambda_0)}{\lambda_0}$$

u η ταχύτητα του supernova

c η ταχύτητα του φωτός

λ_{obs} το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται από το supernova που παρατηρείται που μεγαλώνει με την

διαστολή του χώρου καθώς ταξιδεύει το φως

λ_0 το κανονικό μήκος κύματος του φωτός

Σύμφωνα με την μετατόπιση προς το ερυθρό για κάθε επιπλέον απόσταση ενός mpc η ταχύτητα μεγαλώνει κατά 70 km/s.

$$d = \frac{u}{H_0}$$

d είναι η απόσταση

u είναι η ταχύτητα που υπολογίστηκε από το φάσμα του φωτός

H_0 είναι η τιμή της σταθεράς του

Hubble $70 \frac{\frac{km}{s}}{mpc}$

Η απόσταση των supernovae επίσης μπορεί να υπολογιστεί από το πόσο φωτεινά είναι. Επειδή η απόλυτη φωτεινότητα των supernovae Ia έχει συγκεκριμένη σταθερή τιμή, η απόσταση τους μπορεί να βρεθεί σύμφωνα με τον νομο των αντιστροφών τετραγωνων.

$$b = \frac{L}{4\pi r^2}$$

b είναι η εμφανής φωτεινότητα, η ακτινοβολία - ενέργεια που φτάνει σε ένα ανιχνευτή.

L είναι η λαμπρότητα η ολική ακτινοβολία-ενέργεια που εκπέμπει η πηγή

r είναι η απόσταση

Η φωτεινότητα ενός supernova θα φαίνεται πιο μικρή όσο πιο μακριά βρίσκεται ο παρατηρητής.

Η απόσταση ενός supernova μπορεί να υπολογιστεί με 2 διαφορετικούς τρόπους. Η πρώτη μέθοδος βασίζεται στην μετατόπιση προς το ερυθρό και η δεύτερη στον νόμο των αντίστροφων τετραγώνων. Αν κάποιος δοκιμάσει και τις δύο μεθόδους θα παρατηρήσει πως βρίσκονται σε ασυμφωνία μεταξύ τους. Αυτό επειδή αν κάποιος προσπαθήσει να υπολογίσει την απόσταση ενός supernovae χρησιμοποιώντας την μετατόπιση προς το ερυθρό και υποθέτωντας γραμμική σχέση μεταξύ ταχύτητας και απόστασης θα βρεί πως η παρατηρούμενη φωτεινότητα του supernova θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη και άρα το supernova πιο κοντά.

Η παρατηρούμενη φωτεινότητα των supernovae είναι μικρότερη από αυτή που υποδυκνείει η μετατόπιση προς το ερυθρό. Η απόσταση από την φωτεινότητα είναι μεγαλύτερη από την απόσταση από την μετατόπιση προς το ερυθρό.

Αυτή η διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων μπορεί να εξηγηθεί αν

υποθέσουμε πως το σύμπαν δεν διαστέλλεται γραμμικά αλλά επιταχυνόμενα.

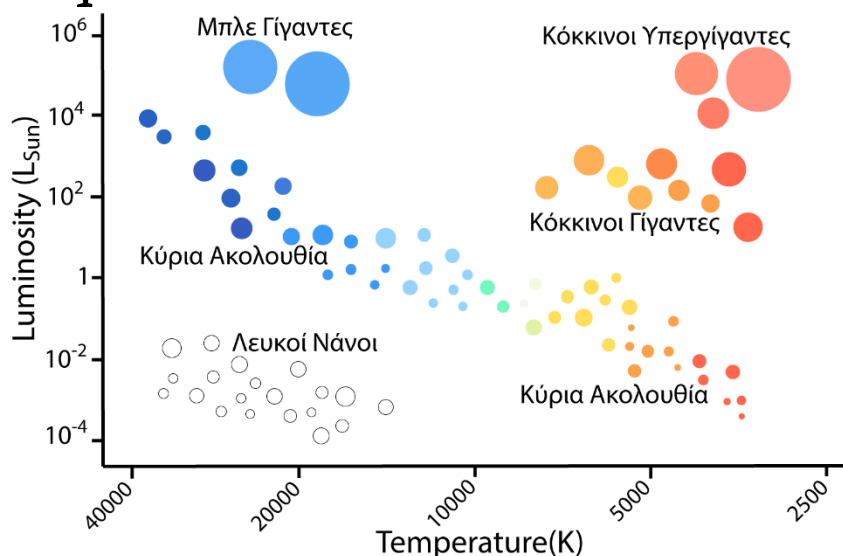
Η επιτάχυνση της διαστολής του σύμπαντος έκανε τα supernovae να πάνε πιο μακριά.

Ότι η φωτεινότητα των supernovae είναι μικρότερη από ότι εισηγείται το redshift τους, σημαίνει ότι τα supernovae είναι πιο μακριά από ότι εισηγείται η μέθοδος αν αυτή συνδυαστεί με την υπόθεση της γραμμικής διαστολής του σύμπαντος. Αν όμως συνδυάσουμε το redshift με την υπόθεση της επιταχυνόμενης διαστολής του σύμπαντος, τότε τα αποτελέσματα βρίσκονται σε συμφωνία με τον νόμο των αντιστρόφων τετραγώνων για το πόσο φωτεινά φαίνονται τα supernovae σύμφωνα με την απόσταση τους.

52.Διάγραμμα Hertzsprung-Russell

Το διάγραμμα Hertzsprung-Russell δείχνει την φωτεινότητα στον κατακόρυφο άξονα με την θερμοκρασία στον οριζόντιο άξονα. Τα περισσότερα αστέρια είναι σε μια διαγώνια καμπύλη που δείχνει ότι η φωτεινότητα και η θερμοκρασία συσχετίζονται.

Τα αστέρια που είναι στην διαγώνια καμπύλη της γραφικής παράστασης φωτεινότητας-θερμοκρασίας είναι αστέρια της κύριας ακολουθίας *main sequence*.



Πάνω δεξιά στο διάγραμμα Hertzsprung-Russell είναι τα αστέρια που είναι πολύ φωτεινά και κρύα. Από το νόμο Stefan-Boltzmann ένα αστέρι που είναι κρύο εκπέμπει λιγότερο φως ανά μονάδα επιφάνειας από ότι ένα ζεστό αστέρι. Έτσι τα αστέρια αυτά για να είναι τόσο φωτεινά είναι τεράστια και ονομάζονται γίγαντες.

Τα αστέρια γίγαντες είναι 10 με 100 φορές μεγαλύτερα από τον Ήλιο, 100 με 1000 φορές πιο φωτεινά από τον Ήλιο και έχουν επιφανειακή θερμοκρασία 3000 με 6000 βαθμούς Κέλβιν.

Τα αστέρια γίγαντες με χαμηλότερες θερμοκρασίες 3-4 χιλιάδες βαθμούς κέλβιν ονομάζονται κόκκινοι γίγαντες επειδή φαίνονται κοκκινωπά.

Κάτω αριστερά στο διάγραμμα Hertzsprung-Russell είναι αστέρια που είναι ζεστά αλλά έχουν χαμηλή φωτεινότητα έτσι είναι μικρά. Ονομάζονται λευκοί νάνοι και είναι στο μέγεθος της Γης. Στους λευκούς νάνους δεν γίνονται θερμοπυρηνικές αντιδράσεις.

Ένα αστέρι με θερμοκρασία 5800 βαθμούς κέλβιν θα μπορούσε να είναι λευκός νάνος, αστέρι της κύριας ακολουθίας, γίγαντας ή υπεργίγαντας ανάλογα με την φωτεινότητα του.

Η κύρια ακολουθία είναι η διαγώνια ζώνη που εκτείνεται από το πάνω αριστερό μέρος έως το κάτω δεξί μέρος του διαγράμματος. Τα περισσότερα αστέρια βρίσκονται σε αυτήν τη ζώνη, όπου η φωτεινότητα αυξάνεται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία. Στην κύρια ακολουθία, τα αστέρια καίνε υδρογόνο στον πυρήνα τους μέσω θερμοπυρηνικής σύντηξης για να παράγουν ενέργεια. Τα πιο θερμά και φωτεινά αστέρια βρίσκονται στα

αριστερά της κύριας ακολουθίας, ενώ τα ψυχρότερα και λιγότερο φωτεινά αστέρια βρίσκονται στα δεξιά.

Οι μπλε γίγαντες βρίσκονται στο πάνω αριστερό μέρος του διαγράμματος και είναι πολύ φωτεινά και θερμά αστέρια. Αυτά τα αστέρια δημιουργούνται από την εξέλιξη αστερών μεγάλης μάζας, οι οποίοι καίνε υδρογόνο γρήγορα λόγω της υψηλής τους θερμοκρασίας και φωτεινότητας. Επειδή καταναλώνουν το καύσιμό τους γρήγορα, έχουν μικρή διάρκεια ζωής σε σχέση με τα μικρότερα αστέρια.

Οι κόκκινοι γίγαντες βρίσκονται στη δεξιά πλευρά του διαγράμματος, πάνω από την κύρια ακολουθία. Αυτά είναι αστέρια με χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας, που τους δίνει κοκκινωπή απόχρωση, αλλά είναι πολύ φωτεινά λόγω του μεγάλου τους μεγέθους. Οι κόκκινοι γίγαντες δημιουργούνται όταν αστέρια μεσαίας μάζας, όπως ο Ήλιος, εξαντλήσουν το υδρογόνο στον πυρήνα τους και αρχίζουν να καίνε ήλιο σε εξωτερικά στρώματα.

Οι κόκκινοι υπεργίγαντες βρίσκονται πάνω και δεξιά στο διάγραμμα και είναι τα μεγαλύτερα και πιο φωτεινά

αστέρια με χαμηλή θερμοκρασία επιφάνειας. Έχουν πολύ μεγάλη μάζα και δημιουργούνται από αστέρια εξαιρετικά μεγάλης μάζας που έχουν εξελιχθεί πέρα από το στάδιο του γίγαντα. Καίνε ήλιο και βαρύτερα στοιχεία στον πυρήνα τους και μπορεί να καταλήξουν σε υπερκαινοφανείς εκρήξεις (supernovae) στο τέλος της ζωής τους.

Οι λευκοί νάνοι βρίσκονται στο κάτω αριστερό μέρος του διαγράμματος και είναι μικρά, πυκνά αστέρια με χαμηλή φωτεινότητα αλλά υψηλή θερμοκρασία. Δημιουργούνται όταν αστέρια μικρής ή μεσαίας μάζας, αφού περάσουν το στάδιο του κόκκινου γίγαντα, εξαντλήσουν όλα τα καύσιμά τους και καταρρεύσουν σε ένα μικρό και εξαιρετικά πυκνό αστέρι. Οι λευκοί νάνοι δεν καίνε πλέον καύσιμα, αλλά συνεχίζουν να λάμπουν καθώς εκπέμπουν τη θερμότητα που έχει απομείνει.

53. Φασματικές γραμμές αστεριών

Οι φασματικές γραμμές του υδρογόνου είναι πιο λεπτές σε ένα πολύ φωτεινό υπεργίγαντα και πιο πλατιές σε ένα λιγότερο φωτεινό αστέρι της κύριας ακολουθίας. Όσο πιο φωτεινό το

αστέρι τόσο πιο λεπτές οι φασματικές γραμμές.

Από τις φασματικές γραμμές μπορούμε να καθορίσουμε το μέγεθος και τον τύπο του αστεριού που παρατηρούμε. Τα φωτεινότερα αστέρια, όπως οι υπεργίγαντες, έχουν πιο αραιές ατμόσφαιρες και επομένως πιο λεπτές φασματικές γραμμές, ενώ τα μικρότερα και λιγότερο φωτεινά αστέρια, όπως αυτά της κύριας ακολουθίας, έχουν πυκνότερες ατμόσφαιρες που προκαλούν πιο πλατιές φασματικές γραμμές.

Επίσης, οι θέσεις των γραμμών του υδρογόνου και άλλων στοιχείων στο φάσμα ενός αστεριού (όπως οι γραμμές του χημικού στοιχείου ήλιου) μπορούν να αποκαλύψουν τη θερμοκρασία του αστέρα. Ένα πιο θερμό αστέρι θα έχει τις γραμμές του υδρογόνου να εμφανίζονται σε υψηλότερες ενέργειες, ενώ τα πιο ψυχρά αστέρια θα τις έχουν σε χαμηλότερες ενέργειες.

Η διαφορά στις φασματικές γραμμές μεταξύ των ειδών αστεριών διαφορετικής φωτεινότητας οφείλεται

στην διαφορά της ατμόσφαιρας στην οποία παράγονται οι φασματικές γραμμές.

Οι φασματικές γραμμές υδρογόνου επηρεάζονται από την πυκνότητα και την πίεση του αερίου στην ατμόσφαιρα του αστεριού. Όσο πιο μεγάλη η πυκνότητα και η πίεση τόσο περισσότερο τα άτομα του υδρογόνου συγκρούονται και αλληλεπιδρούν με άλλα άτομα και ιόντα στην ατμόσφαιρα. Οι συγκρούσεις μετακινούν τα επίπεδα ενέργειας στα άτομα υδρογόνου και κάνουν πιο πλατιές τις φασματικές γραμμές υδρογόνου.

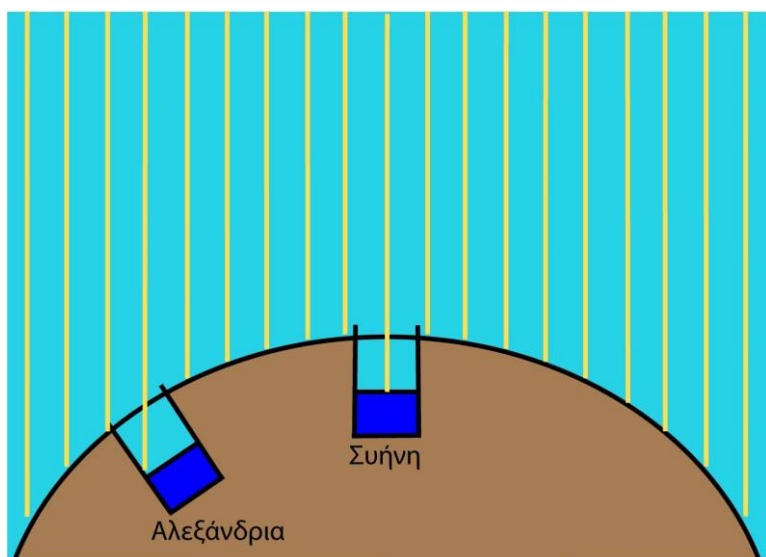
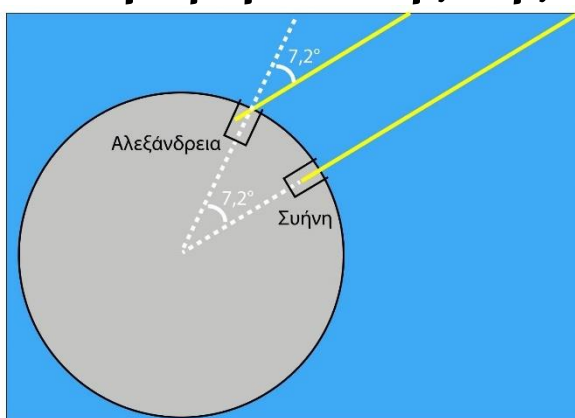
Οι στενότερες φασματικές γραμμές σημαίνουν ότι εμπλέκεται ένα μικρότερο εύρος ενεργειών, συχνά υποδηλώνοντας χαμηλότερη πίεση ή λιγότερες συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων, ενώ οι πλατύτερες γραμμές δείχνουν ένα μεγαλύτερο εύρος ενεργειών, που οφείλεται συνήθως σε υψηλότερη πίεση ή σε πιο συχνές συγκρούσεις μεταξύ των σωματιδίων.

Η θερμοκρασία επηρεάζει την κατανομή της ενέργειας των σωματιδίων και, κατά συνέπεια, τα ενεργειακά επίπεδα των φασματικών γραμμών. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την ενέργεια των ηλεκτρονίων, ανεβάζοντας την κατάσταση διέγερσης, μετατοπίζοντας έτσι τις φασματικές γραμμές σε υψηλότερες ενέργειες (μικρότερα μήκη κύματος). Στα πιο ψυχρά αστέρια, όπου τα άτομα βρίσκονται σε χαμηλότερα ενεργειακά επίπεδα, οι φασματικές γραμμές εμφανίζονται σε χαμηλότερες ενέργειες (μεγαλύτερα μήκη κύματος). Αυτή η μετατόπιση της θέσης των γραμμών, σε συνδυασμό με το πλάτος τους, βοηθά στον προσδιορισμό τόσο της θερμοκρασίας όσο και των χαρακτηριστικών πυκνότητας του άστρου.

Στην ατμόσφαιρα ενός αστεριού γίγαντα η πυκνότητα και η πίεση του αερίου είναι μικρές, τα άτομα και τα ιόντα στην ατμόσφαιρα είναι σχετικά μακριά, οι συγκρούσεις μεταξύ τους είναι λιγότερες και οι φασματικές γραμμές υδρογόνου είναι πιο λεπτές.

Σε ένα αστέρι της κύριας ακολουθίας η ατμόσφαιρα είναι πιο πυκνή, οι συγκρούσεις μεταξύ των ατόμων είναι περισσότερες και τα ενεργειακά επίπεδα στα άτομα υδρογόνου αλλάζουν και παράγονται πλατιές φασματικές γραμμές υδρογόνου.

54.Περιφέρεια της Γης

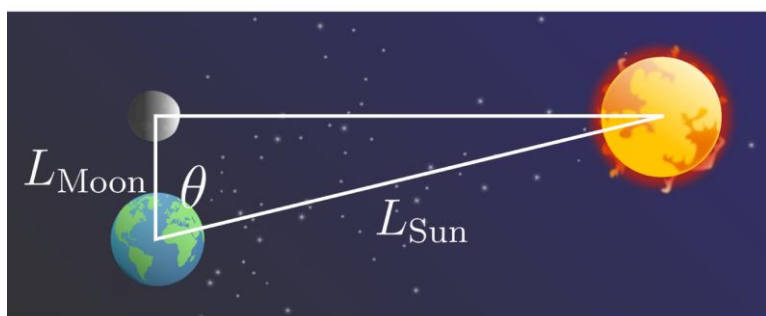


Ο Ερατοσθένης υπολόγισε την περιφέρεια της Γης γνωρίζοντας την απόσταση Αλεξάνδρειας-Συήνης και την γωνία της προσπίπτουσας ακτινοβολίας στην Αλεξάνδρεια. Η γωνία της προσπίπτουσας

ακτινοβολίας ήταν 7,2 μοίρες που είναι $1/50$ των 360 μοιρών.

Άρα η περιφέρεια της Γης είναι η απόσταση Αλεξάνδρειας-Συήνης επί 50
περιφέρεια Γης = $800 \text{ km} \times 50 = 40000 \text{ km}$

55.Απόσταση Φεγγαριού-Γης



Ο Αρίσταρχος πρόσεξε ότι όταν έχουμε ημισέληνο ο Ήλιος, η Σελήνη και η Γη σχηματίζουν ορθογώνιο τρίγωνο.

Μπορούσε να υπολογιστεί η αναλογία της απόστασης Γης-Φεγγαριου και Γης-Ήλιου

Μέτρησε τη γωνία θ

συνημίτονο θ =απόσταση Γης-Φεγγαριού/απόσταση Γης-Ήλιου.

Βρήκε την γωνία $\theta=87$ μοίρες, ότι ο Ήλιος είναι 19 φορές πιο μακριά από το Φεγγάρι

Η πραγματική τιμή της γωνίας είναι $\theta=89,85$ μοίρες, ο Ήλιος είναι 382 φορές πιο μακριά από το Φεγγάρι.

56. Standard εξίσωση Friedmann

Η standard εξίσωση Friedmann δείχνει πως ο ρυθμός της διαστολής του σύμπαντος εξαρτάται από την πυκνότητα της μάζας, την πυκνότητα της ενέργειας και την καμπυλότητα του σύμπαντος.

Όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα της μάζας και της ενέργειας, τόσο πιο αργή είναι η διαστολή του σύμπαντος, καθώς η βαρυτική έλξη προκαλεί επιβράδυνση.

Η καμπυλότητα του σύμπαντος επηρεάζει επίσης τη διαστολή. Σε ένα σύμπαν με θετική καμπυλότητα ($k > 0$), η διαστολή θα επιβραδυνθεί και τελικά θα αναστραφεί και θα γίνει συστολή. Σε ένα επίπεδο ή ανοιχτό σύμπαν ($k = 0$ ή $k < 0$), η διαστολή του σύμπαντος θα συνεχιστεί για πάντα.

Εξετάζουμε μια μάζα M που περιέχεται σε ακτίνα r .

Η μάζα M είναι ο όγκος σφαίρας $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ επί την πυκνότητα ρ

$$M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

Η βαρυτική δυναμική ενέργεια V ενός σωματιδίου μάζας m σε απόσταση r

από το κέντρο λόγω αυτής της μάζας είναι:

$$V = -\frac{GMm}{r}$$

G είναι η σταθερά βαρύτητας.

Αντικαθιστούμε όπου $M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$

$$V = -\frac{4\pi G\rho m r^2}{3}$$

Εάν το Σύμπαν διαστέλλεται, τότε το σωματίδιο σε απόσταση r θα έχει ταχύτητα $\dot{r}$ λόγω της διαστολής.

Η κινητική ενέργεια T δίνεται από:

Το $\dot{r}^2$ είναι η ταχύτητα στην δευτέρα

$$T = \frac{1}{2} m \dot{r}^2$$

Υποθέτοντας τη διατήρηση της συνολικής ενέργειας για το σωματίδιο, το άθροισμα της κινητικής και δυναμικής ενέργειας παραμένει σταθερό:

Η συνολική ενέργεια E ισούται με το άθροισμα της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας

$$E = T + V = \frac{1}{2} m \dot{r}^2 - \frac{4\pi G\rho m r^2}{3}$$

Φανταστείτε το σύμπαν σαν ένα μπαλόνι που φουσκώνει και η απόσταση των γαλαξιών μεγαλώνει. Το x είναι η αρχική απόσταση μεταξύ δύο γαλαξιών

Το $a(t)$ είναι πόσες φορές πιο μεγάλο ή πιο μικρό είναι το σύμπαν

$a(t)=1$ είναι η σημερινή εποχή

$a(t)<1$ το παρελθόν

$a(t)>1$ το μέλλον.

$a(t)=0,5$ σημαίνει το σύμπαν ήταν στο μισό μέγεθος του σημερινού.

$$r = a(t)x$$

$a(t)$ είναι ο παράγοντας κλίμακας που μεταβάλλεται με τον χρόνο,

επιτρέποντας r να μεταβάλλεται καθώς το Σύμπαν διαστέλλεται ενώ x παραμένει σταθερό.

Παραγωγίζοντας το $r=ax$ ως προς τον χρόνο έχουμε:

$$\dot{r} = \dot{a}x = \dot{a} \frac{r}{a} = Hr$$

$$H = \frac{\dot{a}}{a}$$

H είναι η παράμετρος του Hubble, που αντιπροσωπεύει τον ρυθμό διαστολής του Σύμπαντος.

Αντικαθιστούμε το $r=ax$ στη θέση του r

$$T = \frac{1}{2}mr^2$$

Κινητική Ενέργεια T :

$$T = \frac{1}{2}m(\dot{a}x)^2 = \frac{1}{2}mx^2\dot{a}^2$$

Αντικαθιστούμε το $r=ax$ στη θέση του r

$$V = -\frac{4\pi G\rho m r^2}{3}$$

Δυναμική Ενέργεια V :

$$V = -\frac{4\pi G\rho m a^2 x^2}{3}$$

Συνολική Ενέργεια $E=T+V$

$$E = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 a^2 - \frac{4\pi G\rho m a^2 x^2}{3}$$

Διαιρώντας και τα δύο μέρη με $m \dot{x}^2 a^2$ έχουμε:

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} = \frac{8\pi G\rho}{3} + \frac{2E}{m \dot{x}^2 a^2}$$
$$k = -\frac{2E}{m \dot{x}^2}$$

καταλήγουμε στην εξίσωση Friedmann:

$$\frac{\dot{a}^2}{a^2} = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2}$$

το k αντιπροσωπεύει την χωρική καμπυλότητα του Σύμπαντος:

$k=0$: επίπεδο Σύμπαν

$k>0$: κλειστό (σφαιρικό) Σύμπαν

$k<0$: ανοιχτό (υπερβολικό) Σύμπαν

Η εξίσωση Friedmann δείχνει ότι ο ρυθμός διαστολής του σύμπαντος $\frac{\dot{a}}{a}$

εξαρτάται από την πυκνότητα του Σύμπαντος ρ και την καμπυλότητά του k .

57.Χρόνος να γυρίσει ο Ήλιος γύρω από τον Γαλαξία

$$\text{περιφέρεια τροχιάς Ήλιου} = 2\pi r$$

Η απόσταση του Ήλιου από το κέντρο του γαλαξία είναι $r=8 \text{ kiloparsec}$

$$1 \text{ kpc είναι } 3,0856 \times 10^{19} m$$

$$\text{περιφέρεια τροχιάς Ήλιου} = 2\pi r$$

$$= 2\pi 8 \text{ kpc}$$

$$= 2\pi 8000 \text{ pc} (3,0856 \times 10^{19} m)$$

$$= 1,5498 \times 10^{21} m$$

Η περίοδος του Ήλιου γύρω από τον γαλαξία είναι

$1,5498 \times 10^{21} m$ δια την ταχύτητα του ηλίου $200\,000 \text{ m/s}$

$$\text{περιοδος} = \frac{1,5498 \times 10^{21} m}{200000 m/s}$$

$$= 7,749 \times 10^{15} s$$

$$= 246 \text{ εκατομμύρια χρόνια}$$

58. Ω_m , Ω_b , Ω_Λ και Ω_{total}

Η παράμετρος Ω_m Matter Density

$\Omega_m = 0,3$ αναφέρεται στο ποσοστό της συνολικής ενεργειακής πυκνότητας του σύμπαντος που προέρχεται από την ύλη, η οποία περιλαμβάνει την ορατή (βαρυονική) ύλη και τη σκοτεινή ύλη. Η ύλη αυτή αντιπροσωπεύει περίπου το 30% της συνολικής πυκνότητας του σύμπαντος. Η ορατή ύλη περιλαμβάνει τα άτομα, τα αστέρια και τις γαλαξιακές δομές, ενώ η σκοτεινή ύλη είναι μια αόρατη μορφή ύλης

Η παράμετρος Ω_b Baryonic Matter Density

$\Omega_b = 0,05$ αναφέρεται στο ποσοστό της συνολικής ενεργειακής πυκνότητας του σύμπαντος που οφείλεται στην ορατή βαρυονική ύλη. Η βαρυονική ύλη περιλαμβάνει τα άτομα που σχηματίζουν τα αστέρια, τους πλανήτες και άλλες ορατές δομές στο σύμπαν. Αυτή η ύλη αντιπροσωπεύει περίπου το 5% της συνολικής πυκνότητας του σύμπαντος.

Η παράμετρος Ω_Λ Dark Energy Density

$\Omega_\Lambda = 0,7$ αναφέρεται στο ποσοστό της συνολικής ενεργειακής πυκνότητας του σύμπαντος που αποδίδεται στην

σκοτεινή ενέργεια.

Η σκοτεινή ενέργεια είναι υπεύθυνη για την επιτάχυνση της διαστολής του σύμπαντος. Αντιπροσωπεύει περίπου το 70% της συνολικής πυκνότητας του σύμπαντος.

Η παράμετρος Ω_{total} Total Energy Density $\Omega_{\text{total}} = 1,0$, αναφέρεται στη συνολική ενεργειακή πυκνότητα του σύμπαντος. Αυτή η παράμετρος αντιπροσωπεύει το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής πυκνότητας που προέρχεται από όλες τις μορφές ενέργειας στο σύμπαν, ορατή ύλη, σκοτεινή ύλη και σκοτεινή ενέργεια. Η τιμή της Ω_{total} είναι 1, υποδεικνύοντας ότι το σύμπαν είναι επίπεδο, δηλαδή η πυκνότητα του σύμπαντος έχει την ίδια τιμή με την κρίσιμη πυκνότητα που σημαίνει το σύμπαν θα διαστέλλεται για πάντα και δεν θα συσταλεί.

59.Υπολογισμός Ω_m και Ω_{total} από galaxy cluster surveys

Μια μέθοδος που υπολογίζει κατευθείαν την πυκνότητα της ύλης στο σύμπαν $\Omega_{\text{matter}}=0,3$ μετρά την θέση των σμηνών γαλαξιών, τη μάζα τους, το μέγεθος τους,

την πυκνότητα τον αριθμών γαλαξιών
ανά όγκο
και την πυκνότητα της ύλης των
σμηνών γαλαξιών.

Οι τιμές των μετρήσεων θέσης και
μάζας των σμηνών γαλαξιών
συγκρίνονται με τις τιμές από
simulations και από semi analytic
models για διάφορες τιμές πυκνότητας
ύλης Ω_m και διάφορες τιμές συνολικής
ενεργειακής πυκνότητας Ω_{total} .

Ένα υψηλότερο Ω_{matter} θα είχε ως
αποτέλεσμα περισσότερο clustering
και μικρότερες αποστάσεις μεταξύ των
σμηνών γαλαξιών λόγω της
ισχυρότερης βαρυτικής έλξης.
ένα χαμηλότερο Ω_{matter} θα οδηγούσε
σε μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των
σμηνών, καθώς λιγότερη ύλη σημαίνει
ασθενέστερες δυνάμεις βαρύτητας.

Ένα σύμπαν με υψηλότερο Ω_{matter} θα
είχε μεγαλύτερα και πιο ογκώδη σμήνη
με μεγαλύτερη μάζα επειδή η
μεγαλύτερη πυκνότητα ύλης επιτρέπει
ισχυρότερη βαρυτική κατάρρευση της
μάζας, μεγαλύτερη συγκέντρωση μάζας
σε ένα χαμηλότερο Ω_{matter} , τα σμήνη
θα ήταν μικρότερα και με μικρότερη

μάζα, καθώς υπάρχει λιγότερη ύλη για να σχηματιστούν.

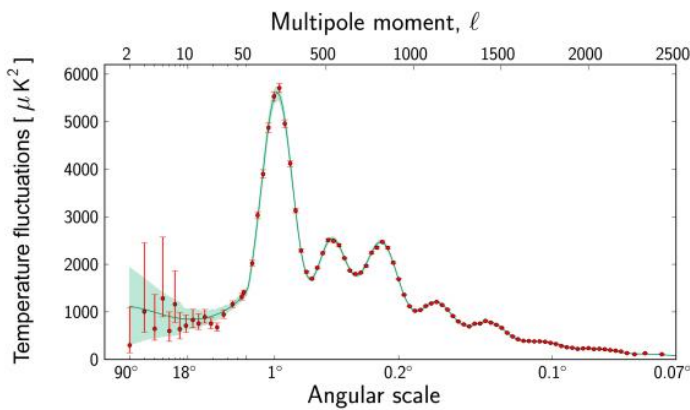
Σε ένα σύμπαν με $\Omega_{\text{total}} > 1$, η γεωμετρία είναι θετικά κυρτή (σαν σφαίρα). Αυτή η καμπυλότητα μειώνει τον όγκο του χώρου, φέρνοντας τα σμήνη πιο κοντά από ό,τι θα ήταν σε ένα επίπεδο σύμπαν $\Omega = 1$.

Αντίθετα, σε ένα σύμπαν με $\Omega < 1$, η γεωμετρία είναι αρνητικά κυρτή (όπως μια σέλα), αυξάνοντας τον όγκο του χώρου και απλώνοντας τα σμήνη πιο μακριά.

Βάζουν διάφορες τιμές Ω_{matter} και διάφορες τιμές Ω_{total} στο simulation και βλέπουν ποιες τιμές αντιστοιχούν στο παρατηρούμενο σύμπαν

60. Γεωμετρία του σύμπαντος από το cmb

Η πρώτη κορυφή του cmb power spectrum είναι στην 1 μοίρα που δείχνει ότι το σύμπαν είναι επίπεδο.



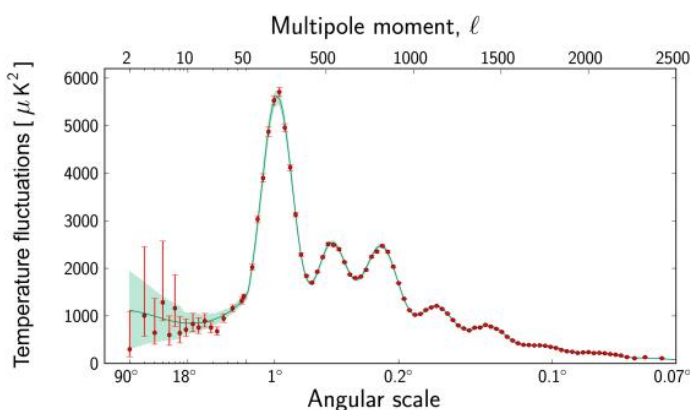
στην πρώιμη εποχή του Σύμπαντος, υπήρχαν ηχητικά κύματα που ταξίδευαν από τη Μεγάλη Έκρηξη μέχρι το recombination που έγινε 380.000 χρόνια μετά το big bang. Αυτά τα ηχητικά κύματα δημιουργήθηκαν από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φωτονίων και βαρυονίων (πρωτόνια και νετρόνια). Τα ηχητικά κύματα είναι παραμορφώσεις της πυκνότητας του πλάσματος που κινείτο προς-πίσω, σαν κύματα και αυτή η κίνηση επηρεάζει τη διάταξη του CMB. Η πρώτη κορυφή του cosmic microwave background power spectrum αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο ηχητικό κύμα που μπορούσε να χωρέσει στο πλάσμα φωτονίων-βαρυονίων. Το μέγεθος του sound horizon μας λέει ποιο είναι το μεγαλύτερο "κύμα" που θα μπορούσε να σχηματιστεί. Είναι το μέγεθος του μεγαλύτερου δυνατού κύματος στην πρώιμη εποχή του

Σύμπαντος που θα μπορούσε να σχηματιστεί πριν το recombination. το sound horizon εξαρτάται από την ηλικία του Σύμπαντος κατά την ανασύνθεση 380000 χρόνια και από την ταχύτητα διάδοσης του ήχου. η γωνιά της κουκκίδας της ανισοτροπίας του cmb στον ουρανό είναι η συνολική απόσταση που ταξίδεψε ένα ηχητικό κύμα από το big bang μέχρι 380 000 χρόνια μετά το big bang και το κύμα συμπλήρωσε ένα κύκλο. το μήκος το μέγεθος στον ουρανό είναι ένα μήκος κύματος. Η πρώτη κορυφή του CMB power spectrum αντιστοιχεί σε ένα ηχητικό κύμα που ταξίδεψε την μέγιστη απόσταση το sound horizon. Σε ένα επίπεδο Σύμπαν, αυτή η γωνία είναι 1 μοίρα στον ουρανό. Σε ένα κλειστό Σύμπαν (θετική καμπυλότητα), οι διαδρομές του φωτός συγκλίνουν, με αποτέλεσμα η πρώτη κορυφή να φαίνεται μεγαλύτερη από 1 μοίρα στον ουρανό (σε μεγαλύτερη γωνιακή κλίμακα). Σε ένα ανοιχτό Σύμπαν (αρνητική καμπυλότητα), οι διαδρομές του φωτός αποκλίνουν, κάνοντας την πρώτη κορυφή να φαίνεται μικρότερη από 1° στον ουρανό (σε μικρότερη γωνιακή

κλίμακα).

61.Ο Ορίζοντας Ήχου στο Πρώιμο Σύμπαν: Υπολογισμός της Φυσικής και Γωνιακής Απόστασης

Το σύμπαν έχει επίπεδη γεωμετρία επειδή οι ανισοτροπίες του cmb έχουν μέγεθος 1 μοίρα στον ουρανό και η πρώτη κορυφή του cmb power spectrum βρίσκεται στο $l=200$ που είναι γωνία 1 μοίρα.



Η απόσταση που κάλυψε το ηχητικό κύμα από το big bang μέχρι το recombination υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την ταχύτητα του με τον χρόνο που ταξίδευε.

$$d_s = c_s t_{\text{rec}}$$

d_s : Η απόσταση που διένυσαν τα sound waves στο πρώιμο σύμπαν, γνωστή ως sound horizon.

c_s είναι η ταχύτητα του ήχου στο πλάσμα $0,57 c$

t_{rec} είναι ο χρόνος που έγινε το

recombination 380 000 χρόνια μετά το big bang, όταν τα photons αποδεσμεύτηκαν από την ύλη.

Η ταχύτητα του ήχου στο πρώιμο plasma είναι περίπου το 57% της ταχύτητας του φωτός, λόγω της πυκνότητας και της σύνθεσης του plasma.

$$c_s = 0,57 \times 3 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}} = 1,71 \times 10^8 \text{ m/s}$$
$$t_{\text{rec}} = 1,20 \times 10^{13} \text{ s}$$

Αυτός είναι ο εκτιμώμενος χρόνος μετά το Big Bang όταν συνέβη το recombination, επιτρέποντας στο σύμπαν να γίνει διαφανές στα photons.

$$d_s = 1,71 \times \frac{10^8 \text{ m}}{\text{s}} \times 1,20 \times 10^{13} \text{ s}$$
$$= 2,05 \times 10^{21} \text{ m} = 0,0664 \text{ Mpc}$$

Αυτή είναι η φυσική απόσταση που μπορούσαν να διανύσουν τα sound waves μέχρι το recombination στο πρώιμο σύμπαν.

Η comoving απόσταση του sound horizon αντιπροσωπεύει τη σημερινή απόσταση μεταξύ περιοχών του σύμπαντος που ήταν αιτιακά συνδεδεμένες κατά το recombination.

$$d_s(\text{comoving}) = 0,0664 \text{ Mpc} \times 1100$$
$$= 150 \text{ Mpc}$$

Το DA, γνωστό ως γωνιακή διάμετρος

απόστασης (angular diameter distance), είναι μια μέτρηση που χρησιμοποιείται στην κοσμολογία για να συνδέσει το φυσικό μέγεθος ενός αντικειμένου με το φαινόμενο μέγεθός του στον ουρανό. Συγκεκριμένα, περιγράφει πώς φαίνεται η απόσταση ενός αντικειμένου με βάση το πώς διαστέλλεται ή καμπυλώνεται ο χώρος μεταξύ του παρατηρητή και του αντικειμένου.

Αν γνωρίζετε το πραγματικό μέγεθος ενός αντικειμένου (π.χ., ενός γαλαξία) και μετράτε την γωνιακή του διάμετρο στον ουρανό (δηλαδή, πόση γωνία καταλαμβάνει στον ουρανό από τη δική σας οπτική γωνία), τότε μπορείτε να υπολογίσετε πόσο μακριά είναι. Αυτό εξαρτάται από την γεωμετρία και την επέκταση του σύμπαντος.

το D_A εξαρτάται από τη γεωμετρία του σύμπαντος και το χρονικό διάστημα από την εκπομπή της ακτινοβολίας του κοσμικού μικροκυμάτων υποβάθρου (CMB). Σε ένα επίπεδο σύμπαν, το D_A καθορίζεται από την εξίσωση:

$$D_A = \frac{c}{H_0} \int_0^{z_*} \frac{dz}{\sqrt{\Omega_m(1+z)^3 + \Omega_\Lambda}}$$

H_0 : Η σταθερά του Hubble

z_* : Η μετατόπιση προς το ερυθρό της επιφάνειας τελευταίας σκέδασης (~ 1100)

Ω_m : Η πυκνότητα της ύλης

Ω_Λ : Η πυκνότητα της σκοτεινής ενέργειας

Σε επίπεδο σύμπαν το $D_A = 14\,000$

Η γωνιακή κλίμακα του sound horizon που είναι η θέση της πρώτης κορυφής του cmb power spectrum είναι

$$\theta = \frac{d_s}{D_A}$$

d_s : Το μήκος του ορίζοντα ήχου sound horizon 150 Mpc.

D_A : Η γωνιακή διάμετρος απόστασης 14,000 Mpc για το CMB σε επίπεδο σύμπαν.

$$\theta = \frac{150}{14000} = 0,01 \text{ radians} = 1 \text{ μοίρα}$$

Αυτό σημαίνει ότι το φυσικό μήκος του sound horizon της απόστασης που κάλυψε το κύμα που ταξίδευε από το big bang μέχρι το recombination φαίνεται στον ουρανό με γωνία 1° η 1 μοίρα μετατρέπεται σε multipole moment πολυπολικό αριθμό 1

$$l = \frac{180^\circ}{1^\circ} \approx 200$$

62.Γραμμικές και μη γραμμικές εξισώσεις

Οι γραμμικές εξισώσεις linear equations περιγράφουν συστήματα όπου οι σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών δεν εξαρτώνται η μία από την άλλη με πολύπλοκους τρόπους.

Αναλογικότητα (Proportionality)

Σε ένα γραμμικό σύστημα, αν διπλασιάσεις την είσοδο, η έξοδος επίσης διπλασιάζεται.

Η δύναμη σε ένα ελατήριο είναι ανάλογη της επιμήκυνσης του $F = -kx$. Αν τεντώσεις το ελατήριο διπλάσια, η δύναμη διπλασιάζεται.

Υπέρθωση (Superposition)

Στα γραμμικά συστήματα, αν λύσεις δύο διαφορετικές καταστάσεις ανεξάρτητα, το άθροισμά τους είναι επίσης λύση επειδή οι μεταβλητές δεν επηρεάζουν η μία την άλλη.

Σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα με δύο ανεξάρτητες πηγές τάσης, η συνολική τάση σε οποιοδήποτε σημείο είναι απλώς το άθροισμα των τάσεων από κάθε πηγή.

Χωρίς Βρόχους Ανάδρασης (No Feedback Loops)

Οι αλλαγές σε ένα μέρος ενός γραμμικού συστήματος δεν επανέρχονται για να επηρεάσουν το ίδιο το σύστημα. Το σύστημα δεν "αυτορυθμίζεται".

Σε ένα απλό εκκρεμές που ταλαντεύεται με μικρές γωνίες, η αποκαταστατική δύναμη δεν επηρεάζει τη συνολική συμπεριφορά του συστήματος—απλώς επαναφέρει το εκκρεμές στη θέση ισορροπίας του.

Οι μη γραμμικές εξισώσεις non linear equations περιγράφουν συστήματα που είναι πολύ πιο πολύπλοκα και ρεαλιστικά. Σε αυτά τα συστήματα, οι μεταβλητές αλληλεπιδρούν με τρόπους που καθιστούν τη συμπεριφορά τους απρόβλεπτη και δυσκολότερη στην επίλυση.

Μη Αναλογικότητα (Non-Proportionality)

Στα μη γραμμικά συστήματα ο διπλασιασμός μιας εισόδου δεν διπλασιάζει απαραίτητα την έξοδο. Η σχέση μεταξύ των μεταβλητών μπορεί να αυξηθεί γρηγορότερα (εκθετικά) ή

πιο αργά (λογαριθμικά), ή να αλλάξει εντελώς ανάλογα με την κατάσταση του συστήματος.

Η φωτεινότητα ενός άστρου αυξάνεται μη γραμμικά με τη θερμοκρασία του $L \propto T^4$. Ο διπλασιασμός της θερμοκρασίας αυξάνει τη φωτεινότητα 16 φορές, όχι 2.

Χωρίς Υπέρθθεση (No Superposition)

Στα μη γραμμικά συστήματα, η λύση δύο ανεξάρτητων καταστάσεων δεν εγγυάται ότι το άθροισμά τους είναι έγκυρη λύση. Οι μεταβλητές αλληλεπιδρούν, οπότε ο συνδυασμός δύο λύσεων δημιουργεί μια νέα, διαφορετική κατάσταση.

Σε ένα ρευστό με τυρβώδη ροή, τα πεδία ταχύτητας δύο ρευμάτων που αλληλεπιδρούν δεν μπορούν απλώς να προστεθούν, επειδή επηρεάζουν το ένα το άλλο, δημιουργώντας νέα μοτίβα όπως στροβίλους.

Βρόχοι Ανάδρασης (Feedback Loops)

Τα μη γραμμικά συστήματα συχνά περιλαμβάνουν ανάδραση, όπου μια αλλαγή σε ένα μέρος του συστήματος επιστρέφει για να επηρεάσει το ίδιο, είτε ενισχύοντας είτε μετριάζοντας την αρχική αλλαγή.

Στο σχηματισμό γαλαξιών, ο σχηματισμός άστρων θερμαίνει το περιβάλλον αέριο, εμποδίζοντας τον περαιτέρω σχηματισμό άστρων κοντά. Αυτός ο βρόχος ανάδρασης δημιουργεί περιοχές με πολύ διαφορετικές ιδιότητες.

Εμφανής Πολυπλοκότητα (Emergent Complexity)

Στα μη γραμμικά συστήματα, μικρές αλλαγές ή αλληλεπιδράσεις μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλα, πολύπλοκα ή χαοτικά αποτελέσματα..

Στην αστροφυσική, τα μοτίβα γαλαξιών και οι μεγάλης κλίμακας δομές του σύμπαντος προκύπτουν από τη μη γραμμική αλληλεπίδραση βαρύτητας και σκοτεινής ύλης.

63. Μη γραμμικές εξισώσεις στην αστροφυσική

Σε μη γραμμικά συστήματα, οι διαφορετικές δυνάμεις ή μεταβλητές δεν δρουν ανεξάρτητα, αλλά επηρεάζουν η μία την άλλη με τρόπους που δεν είναι απλά αναλογικοί. Για παράδειγμα, στη φυσική ενός άστρου, η πίεση από την πυρηνική σύντηξη ωθεί προς τα έξω, ενώ η βαρύτητα τραβά προς τα μέσα. Αυτή η ισορροπία δεν

είναι απλή, διότι αλλαγές στη θερμοκρασία επηρεάζουν τον ρυθμό σύντηξης, ο οποίος με τη σειρά του αλλάζει την πίεση και επηρεάζει την κατάρρευση λόγω βαρύτητας. Οι εξισώσεις που περιγράφουν αυτήν τη διαδικασία, όπως οι εξισώσεις υδροστατικής ισορροπίας, είναι μη γραμμικές λόγω της δυναμικής αλληλεπίδρασης αυτών των παραγόντων.

Στα μη γραμμικά συστήματα, οι αλλαγές σε μία μεταβλητή μπορούν να επανέλθουν και να επηρεάσουν την ίδια τη μεταβλητή. Αυτοί οι βρόχοι ανάδρασης δημιουργούν συχνά κυκλικές διαδικασίες. Στο σχηματισμό γαλαξιών, για παράδειγμα, τα άστρα θερμαίνουν το περιβάλλον αέριο, μειώνοντας την ικανότητά του να ψύχεται και να σχηματίζει νέα άστρα. Αυτός ο βρόχος ανάδρασης δημιουργεί κύκλους όπου η αστρογένεση επιταχύνεται ή επιβραδύνεται, οδηγώντας σε μη γραμμική και απρόβλεπτη εξέλιξη.

Πολλές διαδικασίες στην αστροφυσική περιλαμβάνουν μεταβλητές που εξαρτώνται πολλαπλά η μία από την

άλλη. Οι εξισώσεις Navier-Stokes για τη δυναμική των ρευστών, που περιγράφουν τη ροή αερίων σε αστέρια, γαλαξίες ή το διαστρικό μέσο, είναι χαρακτηριστικό παράδειγμα. Σε αυτές τις εξισώσεις, η ταχύτητα ενός ρευστού επηρεάζει την πίεση, η οποία με τη σειρά της επηρεάζει την πυκνότητα και, πάλι, την ταχύτητα.

Οι μη γραμμικές εξισώσεις οδηγούν συχνά σε χαοτική συμπεριφορά, όπου μικρές αλλαγές στις αρχικές συνθήκες μπορούν να οδηγήσουν σε τεράστιες διαφορές στα αποτελέσματα. Στη δυναμική των τροχιών πολλαπλών σωμάτων, όπως οι αλληλεπιδράσεις πλανητών σε ένα ηλιακό σύστημα, οι εξισώσεις είναι μη γραμμικές. Με την πάροδο του χρόνου, ακόμη και μικροσκοπικές διαφορές στις αρχικές θέσεις ή ταχύτητες μπορούν να οδηγήσουν σε εντελώς διαφορετικές τροχιές.

στις εξισώσεις που περιγράφουν τους δίσκους συσσώρευσης γύρω από μαύρες τρύπες, η αλληλεπίδραση μεταξύ βαρύτητας, στροφορμής και ακτινοβολίας προκαλεί μη γραμμικά

φαινόμενα, όπως τυρβώδεις ροές. Αν προσθέσετε λύσεις για διαφορετικούς ρυθμούς συσσώρευσης, το αποτέλεσμα δεν είναι έγκυρη λύση.

Η κίνηση άστρων ή σωματιδίων σκοτεινής ύλης σε έναν γαλαξία περιγράφεται από τον νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα, όπου η δύναμη εξαρτάται από το αντίστροφο τετράγωνο της απόστασης. Αυτός ο νόμος είναι μη γραμμικός. Σε προσομοιώσεις γαλαξιών με εκατομμύρια αλληλεπιδρώντα σωματίδια, η δυναμική του συστήματος είναι τόσο περίπλοκη που δεν μπορεί να λυθεί αναλυτικά.

Οι εξισώσεις Navier-Stokes περιγράφουν την κίνηση των αερίων σε άστρα, γαλαξίες ή το διαστρικό μέσο. Είναι μη γραμμικές επειδή οι μεταβλητές, όπως η ταχύτητα, η πίεση και η πυκνότητα, εξαρτώνται αμοιβαία.

Οι Εξισώσεις Πεδίου του Einstein περιγράφουν πώς η ύλη και η ενέργεια καμπυλώνουν τον χωρόχρονο. Η καμπυλότητα εξαρτάται από την κατανομή μάζας και ενέργειας, αλλά

αυτή η κατανομή επηρεάζεται και από την καμπυλότητα. Αυτή η αμοιβαία εξάρτηση καθιστά τις εξισώσεις μη γραμμικές, όπως παρατηρείται στη δημιουργία μαύρων τρυπών.

Η Ακτινοβολιακή Μεταφορά Radiative Transfer περιγράφει πώς το φως αλληλεπιδρά με την ύλη, για παράδειγμα στις ατμόσφαιρες των άστρων. Η ποσότητα φωτός που απορροφάται ή εκπέμπεται εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πυκνότητα της ύλης, που με τη σειρά τους επηρεάζονται από την ακτινοβολία.

64.Υδροστατική ισορροπία

Η υδροστατική ισορροπία είναι μια θεμελιώδης αρχή στην αστροφυσική, που περιγράφει την ισορροπία μεταξύ της ελκτικής δύναμης της βαρύτητας και της πίεσης που ωθεί προς τα έξω σε ένα αστρονομικό αντικείμενο.

Αυτή η ισορροπία καθορίζει αν ένα αντικείμενο μπορεί να διατηρήσει μια σταθερή δομή ή αν θα υποστεί σημαντικές αλλαγές.

Η υδροστατική ισορροπία μπορεί να γίνει κατανοητή σε δύο επίπεδα: παγκόσμια υδροστατική ισορροπία,

όπου ολόκληρο το αντικείμενο επιτυγχάνει ισορροπία δυνάμεων, και τοπική υδροστατική ισορροπία, που συμβαίνει σε συγκεκριμένες πυκνές περιοχές του αντικειμένου.

Αυτά τα επίπεδα ισορροπίας συνδέονται στενά με την ισορροπία ενέργειας, όπου η σταθερότητα διατηρείται όταν η ενέργεια που εισέρχεται και εξέρχεται από ένα σύστημα - ή μέσα στα διάφορα μέρη του - είναι ίση. Με απλά λόγια, όταν $\text{Ενέργεια Εισερχόμενη} = \text{Ενέργεια Εξερχόμενη}$, η θερμοκρασία και η δομή του αντικειμένου παραμένουν σταθερές με την πάροδο του χρόνου.

Η παγκόσμια υδροστατική ισορροπία αφορά την ισορροπία σε όλο το αντικείμενο, διασφαλίζοντας ότι αυτό διατηρεί το σχήμα και το μέγεθός του για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα, τα αστέρια της κύριας ακολουθίας, όπως ο Ήλιος, βρίσκονται σε παγκόσμια υδροστατική ισορροπία.

Σε αυτά τα αστέρια, η ενέργεια που παράγεται στον πυρήνα μέσω της πυρηνικής σύντηξης δημιουργεί θερμική πίεση που εξισορροπεί τη βαρυτική δύναμη. Αυτή η ισορροπία

επιτρέπει στα αστέρια να διατηρούν τη δομή τους και να ακτινοβολούν ενέργεια σταθερά για δισεκατομμύρια χρόνια.

Παρόμοια, οι λευκοί νάνοι, που δεν παράγουν πλέον ενέργεια μέσω σύντηξης, παραμένουν σταθεροί μέσω της πίεσης εκφυλισμού ηλεκτρονίων, ενός κβαντομηχανικού φαινομένου που αντιστέκεται στη βαρυτική κατάρρευση.

Ένα άλλο παράδειγμα είναι η κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου (CMB), το απομεινάρι της Μεγάλης Έκρηξης, που αντιπροσωπεύει ένα σχεδόν τέλειο παράδειγμα παγκόσμιας ισορροπίας, καθώς έχει ψυχθεί ομοιόμορφα από τότε που το πρώιμο σύμπαν σταθεροποιήθηκε.

Η τοπική υδροστατική ισορροπία εμφανίζεται σε πυκνές περιοχές αερίου όπου τα φωτόνια εκπέμπονται, απορροφώνται και επανεκπέμπονται πολλές φορές.

Αυτή η συχνή αλληλεπίδραση

επιτρέπει την ομοιόμορφη κατανομή της ενέργειας, οδηγώντας σε μια ομοιόμορφη θερμοκρασία μεταξύ των σωματιδίων στην περιοχή. Για παράδειγμα, στους πυρήνες των αστεριών, η πυκνότητα του αερίου είναι τόσο υψηλή που τα φωτόνια δεν μπορούν να διαφύγουν αμέσως και απορροφώνται και επανεκπέμπονται συνεχώς.

Αυτή η «παγίδευση φωτονίων» διασφαλίζει ότι η ενέργεια κατανέμεται ομοιόμορφα μεταξύ των σωματιδίων του αερίου, διατηρώντας την ίδια θερμοκρασία.

Πυκνοί πυρήνες μοριακών νεφών, όπου γεννιούνται αστέρια, αποτελούν ένα άλλο παράδειγμα. Σε αυτές τις περιοχές, η τοπική ισορροπία προκύπτει καθώς η ψύξη από την ακτινοβολία εξισορροπεί τη θέρμανση που προκαλείται από τη βαρυτική συμπίεση. Αυτοί οι τοπικοί μηχανισμοί επιτρέπουν την ομαλή ροή της ενέργειας και τη διατήρηση της σταθερότητας σε μικρότερες περιοχές, ακόμη κι αν η μεγαλύτερη δομή μπορεί να μην είναι ισορροπημένη συνολικά. Ορισμένα αστρονομικά αντικείμενα διατηρούν τόσο παγκόσμια όσο και

τοπική υδροστατική ισορροπία, ενώ άλλα επιτυγχάνουν μόνο μία μορφή ή καμία. Τα αστέρια της κύριας ακολουθίας είναι εξαιρετικά παραδείγματα αντικειμένων που βρίσκονται σε παγκόσμια και τοπική ισορροπία.

Οι πυρήνες τους βρίσκονται σε τοπική ισορροπία λόγω της υψηλής πυκνότητας αερίου και των αλληλεπιδράσεων φωτονίων, ενώ το αστέρι στο σύνολό του επιτυγχάνει παγκόσμια ισορροπία μέσω της αλληλεπίδρασης πίεσης και βαρύτητας. Οι λευκοί νάνοι και τα ανώτερα στρώματα των ατμοσφαιρών των πλανητών παρουσιάζουν επίσης συχνά και τα δύο επίπεδα ισορροπίας, καθώς οι εσωτερικές και εξωτερικές δυνάμεις τους είναι καλά ρυθμισμένες. Ωστόσο, πολλά αντικείμενα και συστήματα βρίσκονται σε καταστάσεις όπου η υδροστατική ισορροπία είναι μόνο προσωρινή ή περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές.

Οι πρωτοαστέρες είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα. Κατά τη διάρκεια του σχηματισμού τους, υποβάλλονται σε βαρυτική κατάρρευση, που αρχικά

διαταράσσει την ισορροπία. Καθώς θερμαίνονται, ορισμένες περιοχές επιτυγχάνουν τοπική ισορροπία λόγω των αλληλεπιδράσεων φωτονίων, ακόμη και πριν επιτευχθεί η συνολική σταθερότητα. Με την πάροδο του χρόνου, όταν ξεκινά η πυρηνική σύντηξη, ο πρωτοαστέρας σταθεροποιείται σε αστέρι κύριας ακολουθίας με παγκόσμια και τοπική ισορροπία.

Τα κατάλοιπα υπερκαινοφανών (supernova remnants) αποτελούν ένα άλλο παράδειγμα. Μετά την έκρηξη ενός αστεριού, το σύστημα είναι εντελώς εκτός ισορροπίας, καθώς τα ωστικά κύματα εξαπλώνονται προς τα έξω. Ωστόσο, καθώς τα κατάλοιπα επεκτείνονται και αλληλεπιδρούν με το μεσοαστρικό μέσο, τοπικές περιοχές μπορεί να φτάσουν σε ισορροπία, ενώ το συνολικό σύστημα παραμένει δυναμικό.

Ομοίως, στα γαλαξιακά σμήνη, τα καυτά αέρια στο ενδοσμηνιακό μέσο συχνά φτάνουν σε τοπική υδροστατική ισορροπία λόγω πυκνών αλληλεπιδράσεων, ακόμη και αν το σμήνος ως σύνολο μπορεί να διαταραχθεί από συγκρούσεις

γαλαξιών ή βαρυτικές
αλληλεπιδράσεις.

Αντίθετα, ορισμένα αντικείμενα είναι
εκ φύσεως δυναμικά και δεν
επιτυγχάνουν ποτέ υδροστατική
ισορροπία. Οι υπερκαινοφανείς
εκρήξεις (supernovae), για
παράδειγμα, είναι εκρήξεις που
διαταράσσουν κάθε ισορροπία μεταξύ
βαρύτητας και πίεσης. Οι εκρήξεις
ακτίνων γ (GRBs), που προέρχονται
από καταρρεύσεις μαζικών αστεριών ή
συγχωνεύσεις αστέρων νετρονίων,
απελευθερώνουν ενέργεια σε
εξαιρετικά σύντομους χρόνους,
αποτρέποντας οποιαδήποτε μορφή
ισορροπίας.

Οι πίδακες μαύρων τρυπών (black hole
jets), που κινούνται από μαγνητικά
πεδία και σχετικιστική επιτάχυνση
σωματιδίων, είναι επίσης εκτός
ισορροπίας, καθώς η δομή τους
εξελίσσεται συνεχώς. Οι περιοχές
σηματισμού αστεριών παρουσιάζουν
συνεχή αναταραχή, πίεση ακτινοβολίας
και βαρυτική κατάρρευση, που
καθιστούν την ισορροπία ανέφικτη. Τα
φαινόμενα διατάραξης παλιρροιακής
έλξης (tidal disruption events, TDEs),

όπου τα αστέρια καταστρέφονται από μαύρες τρύπες, είναι επίσης παραδείγματα διαδικασιών εντελώς εκτός ισορροπίας, καθώς η ύλη του αστεριού συσσωρεύεται γρήγορα στη μαύρη τρύπα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, ένα αντικείμενο μπορεί να επιτύχει παγκόσμια ισορροπία χωρίς τοπική ισορροπία ή το αντίστροφο. Για παράδειγμα, τα κόκκινα γιγάντια αστέρια βρίσκονται σε παγκόσμια υδροστατική ισορροπία, καθώς τα εξωτερικά τους στρώματα εξισορροπούν τη βαρυτική δύναμη μέσω της θερμικής πίεσης. Ωστόσο, οι πυρήνες τους συχνά στερούνται τοπικής ισορροπίας λόγω αστάθειας από καύση στοιβάδων ή μεταφορά ενέργειας.

Αντίστροφα, οι πυκνές περιοχές στο μεσοαστρικό μέσο, όπως τα μοριακά νέφη, μπορεί να φτάσουν σε τοπική υδροστατική ισορροπία μέσω ακτινοβολούμενης ψύξης, ενώ το μεγαλύτερο γαλαξιακό περιβάλλον παραμένει ταραχώδες και εκτός παγκόσμιας ισορροπίας. Οι δίσκοι συσσώρευσης γύρω από

μαύρες τρύπες δείχνουν επίσης αυτό το φαινόμενο: τα εξωτερικά μέρη μπορεί να φτάσουν σε τοπική ισορροπία όπου το αέριο είναι πυκνό και ψύχεται αποτελεσματικά, ενώ τα εσωτερικά μέρη κοντά στον ορίζοντα γεγονότων παραμένουν δυναμικά και μακριά από ισορροπία.

65. Thermal και non thermal emission

Η θερμική ακτινοβολία (thermal emission) συνδέεται συνήθως με πυκνά, αδιαφανή συστήματα, τα οποία συχνά, αλλά όχι πάντα, βρίσκονται σε υδροστατική ισορροπία (hydrostatic equilibrium).

Η μη θερμική ακτινοβολία (non-thermal emission) προέρχεται από συστήματα όπου κυριαρχούν ενεργητικές διαδικασίες, όπως η επιτάχυνση σωματιδίων και τα μαγνητικά πεδία, και συχνά εμφανίζεται σε δυναμικά περιβάλλοντα που δεν βρίσκονται σε υδροστατική ισορροπία.

Η θερμική εκπομπή (thermal emission) προκύπτει από την τυχαία κίνηση σωματιδίων, όπως άτομα, μόρια και ηλεκτρόνια. Όταν τα σωματίδια

συγκρούονται, ανταλλάσσουν ενέργεια και αναδιανέμουν την κινητική τους ενέργεια, διαμορφώνοντας έναν σχεδόν ομοιόμορφο καταμερισμό ενέργειας. Αυτή η διαδικασία καθορίζει τη θερμοκρασία του συστήματος, η οποία ρυθμίζει την ταχύτητα των σωματιδίων. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα των σωματιδίων, τόσο πιο ενεργητικές είναι οι συγκρούσεις τους, με αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων υψηλότερης ενέργειας.

Τα φωτόνια που εκπέμπονται σε αυτήν τη διαδικασία σχηματίζουν το χαρακτηριστικό φάσμα που ονομάζεται φάσμα μέλανος σώματος (blackbody spectrum). Αυτό περιγράφει τη συνεχή εκπομπή ενός ιδανικού σώματος που απορροφά και εκπέμπει ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος αποκλειστικά με βάση τη θερμοκρασία του.

Τα θερμότερα αντικείμενα εκπέμπουν φωτόνια υψηλότερης ενέργειας σε μικρότερα μήκη κύματος, ενώ τα ψυχρότερα αντικείμενα ακτινοβολούν κυρίως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος.

Τα αστέρια, επειδή βρίσκονται σε υδροστατική ισορροπία και έχουν

πυκνό αέριο, εκπέμπουν κυρίως θερμική ακτινοβολία που προσεγγίζει το φάσμα μέλανος σώματος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντικείμενα εκπέμπουν ακτινοβολία που καλύπτει μικρότερο ή μεγαλύτερο μέρος του φάσματος μέλανος σώματος, ανάλογα με την πυκνότητα και τις φυσικές συνθήκες του αερίου. Ένα πυκνό, οπτικά παχύ αντικείμενο, όπως ένα άστρο ή ένας πλανήτης, εκπέμπει σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος, προσεγγίζοντας ένα πλήρες φάσμα μέλανος σώματος.

Αντίθετα, ένα αραιό νεφέλωμα αερίων ή ένα θερμό πλάσμα σε ένα σμήνος γαλαξιών μπορεί να έχει τόσο χαμηλή πυκνότητα που δεν παράγει συνεχές φάσμα, αλλά ακτινοβολία περιορισμένη σε γραμμές εκπομπής ή απορρόφησης. Η έλλειψη συχνών συγκρούσεων σωματιδίων σε αυτά τα περιβάλλοντα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φασμάτων που είναι συχνά πιο περιορισμένα.

Η μη θερμική ακτινοβολία (non-thermal emission) προκύπτει από συγκεκριμένους φυσικούς μηχανισμούς που δεν εξαρτώνται από

τη θερμοκρασία. Αυτές οι διαδικασίες συνδέονται συνήθως με ενεργητικά φαινόμενα, επιταχύνσεις σωματιδίων και μαγνητικά πεδία. Η μη θερμική ακτινοβολία παράγεται από μηχανισμούς όπως η σύγχροτρον εκπομπή (synchrotron radiation) και η φρένουσα ακτινοβολία (bremsstrahlung).

Η σύγχροτρον ακτινοβολία, για παράδειγμα, εμφανίζεται όταν σχετικιστικά ηλεκτρόνια κινούνται σπειροειδώς γύρω από μαγνητικές γραμμές πεδίου, απελευθερώνοντας ακτινοβολία που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από ραδιοκύματα έως ακτίνες Χ. Το φάσμα της σύγχροτρον ακτινοβολίας καθορίζεται από την κατανομή ενέργειας των ηλεκτρονίων και την ένταση του μαγνητικού πεδίου και δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Αυτός ο τύπος εκπομπής είναι κοινός σε περιβάλλοντα όπως υπολείμματα υπερκαινοφανών, νεφελώματα παλμών και εκτοξεύσεις από ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (AGN).

Η θερμική εκπομπή αντικατοπτρίζει τις σταθερές ιδιότητες πυκνών,

ισορροπημένων συστημάτων, ενώ η μη θερμική εκπομπή αποκαλύπτει τις ενεργητικές, συχνά χαοτικές διαδικασίες σε αραιά ή δυναμικά ενεργά περιβάλλοντα. Σε περιβάλλοντα με έντονες διαταραχές, όπως βίαια κύματα κρούσης ή τυρβώδεις διεργασίες, η μη θερμική εκπομπή μπορεί να κυριαρχεί. Τέτοια γεγονότα διαταράσσουν την υδροστατική ισορροπία και εγχέουν τεράστια ποσά ενέργειας στα σωματίδια, επιταχύνοντάς τα σε υψηλές, ακόμη και σχετικιστικές ταχύτητες.

Στους ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες (AGN), οι μη θερμικές εκπομπές αποτελούν βασικό χαρακτηριστικό. Οι AGN περιλαμβάνουν υπερμεγέθεις μαύρες τρύπες στο κέντρο των γαλαξιών, που περιβάλλονται από δίσκους συσσώρευσης. Καθώς το αέριο από τον περιβάλλοντα γαλαξία πέφτει προς τη μαύρη τρύπα, συμπιέζεται και θερμαίνεται, φτάνοντας σε ακραίες θερμοκρασίες.

Στους πίδακες που εκτοξεύονται από τους AGN, τα μαγνητικά πεδία και οι συγκρούσεις σωματιδίων σε ταχύτητες

κοντά στην ταχύτητα του φωτός προκαλούν σύγχροτρονη ακτινοβολία. Αυτή η ακτινοβολία προέρχεται από ηλεκτρόνια που επιταχύνονται σε μαγνητικά πεδία και εκπέμπεται σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων, από ραδιοκύματα έως ακτίνες Χ.

Σε υπολείμματα υπερκαινοφανών, τα ισχυρά κύματα κρούσης που διαδίδονται μέσω του διαστρικού μέσου επιταχύνουν σωματίδια σε σχετικιστικές ταχύτητες. Αυτή η διαδικασία, γνωστή ως επιτάχυνση μέσω μηχανισμού Fermi, προκαλεί την εκπομπή σύγχροτρονης ακτινοβολίας από τα επιταχυνόμενα ηλεκτρόνια που αλληλεπιδρούν με τα μαγνητικά πεδία του υπολείμματος.

Τα πάλσαρ και οι μαγνηταστέρες είναι αστρονομικά αντικείμενα όπου η μη θερμική εκπομπή κυριαρχεί, λόγω των εξαιρετικά ισχυρών μαγνητικών πεδίων και της ταχύτατης περιστροφής τους. Η εκπομπή από αυτά τα αντικείμενα περιλαμβάνει ακτινοβολία καμπυλότητας (curvature radiation), η οποία προκύπτει από την κίνηση των ηλεκτρονίων κατά μήκος των καμπύλων γραμμών του μαγνητικού

πεδίου. Αυτή η ακτινοβολία καλύπτει συχνότητες από ραδιοκύματα έως ακτίνες X.

66. Thermal και non thermal bremsstrahlung

Στην περίπτωση του θερμικού thermal bremsstrahlung, τα ηλεκτρόνια κατανέμονται σύμφωνα με τη Maxwellliανή κατανομή ταχυτήτων, η οποία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αερίου ή του πλάσματος.

Το ηλεκτρικό πεδίο των ιόντων είναι σταθερό, και η ενέργεια των εκπεμπόμενων φωτονίων εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα των ηλεκτρονίων που είναι ανάλογη της θερμοκρασίας τους.

Το μη θερμικό non thermal bremsstrahlung χαρακτηρίζεται από την επιτάχυνση των ηλεκτρονίων μέσω τοπικών και μεταβαλλόμενων ηλεκτρικών πεδίων, τα οποία συχνά προκύπτουν από μη ισορροπημένες διεργασίες.

Στο non thermal bremsstrahlung η ενέργεια των φωτονίων εξαρτάται

κυρίως από την ένταση και τη δυναμική των τοπικών και μεταβαλλόμενων πεδίων και λιγότερο από τη θερμοκρασία του πλάσματος.

Αυτός ο μηχανισμός παρατηρείται σε ενεργειακά έντονα περιβάλλοντα, όπως εκρήξεις supernova, ενεργούς γαλαξιακούς πυρήνες και κύματα σοκ. Το φάσμα της μη θερμικής ακτινοβολίας είναι συνήθως πιο ευρύ, καλύπτοντας συχνά πολύ υψηλότερες ενέργειες από ό,τι το θερμικό bremsstrahlung. Τέτοιες διαδικασίες παράγουν φωτόνια με υψηλή ενέργεια λόγω της επιτάχυνσης των ηλεκτρονίων από εξαιρετικά ισχυρά πεδία.

67.Εκπομπή φάσματος blackbody

Όταν το αέριο είναι πυκνό (οπτικά παχύ) και σε θερμική ισορροπία, εκπέμπει ακτινοβολία που πλησιάζει το φάσμα του μαύρου σώματος blackbody. Αντίθετα, όταν το αέριο δεν είναι πυκνό (οπτικά λεπτό) ή δεν βρίσκεται σε θερμική ισορροπία, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία δεν είναι blackbody, αντικατοπτρίζοντας τις ειδικές διαδικασίες που δημιούργησαν τα φωτόνια.

Σε ένα πυκνό αέριο, τα φωτόνια αλληλεπιδρούν συχνά με τα σωματίδια του μέσου μέσω διεργασιών όπως η απορρόφηση και η επανεκπομπή. Κάθε φορά που ένα φωτόνιο απορροφάται, η ενέργειά του μεταφέρεται στα σωματίδια. Ένα μέρος αυτής της ενέργειας αυξάνει την κινητική ενέργεια των σωματιδίων, θερμαίνοντας το αέριο, ενώ το υπόλοιπο μπορεί προσωρινά να διεγείρει τα σωματίδια σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Όταν τα σωματίδια επανεκπέμπουν φωτόνια, η ενέργεια των επανεκπεμπόμενων φωτονίων δεν συνδέεται πλέον με την ενέργεια των αρχικών φωτονίων.

Αντίθετα, η ενέργεια των επανεκπεμπόμενων φωτονίων καθορίζεται από τη θερμοκρασία του αερίου, η οποία αντικατοπτρίζει τη μέση κινητική ενέργεια των σωματιδίων.

Καθώς αυτή η διαδικασία απορρόφησης και επανεκπομπής επαναλαμβάνεται σε ένα πυκνό αέριο, τα φωτόνια χάνουν κάθε πληροφορία για την αρχική τους ενέργεια και γίνονται θερμοποιημένα. Η

θερμοποίηση εξασφαλίζει ότι η ενεργειακή κατανομή των φωτονίων εξαρτάται αποκλειστικά από τη θερμοκρασία του αερίου.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα ομαλό, συνεχές φάσμα που περιγράφεται από τον νόμο του Planck για το μαύρο σώμα, όπου το μήκος κύματος μέγιστης έντασης και η συνολική ακτινοβολία καθορίζονται εξ ολοκλήρου από τη θερμοκρασία. Πυκνά, θερμοποιημένα συστήματα, όπως το εσωτερικό των αστεριών ή η κοσμική μικροκυματική ακτινοβολία υποβάθρου, αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της συμπεριφοράς.

Αντίθετα, όταν ένα αέριο δεν είναι πυκνό ή είναι οπτικά λεπτό, τα φωτόνια διαφεύγουν από το μέσο χωρίς να υποστούν σημαντικές αλληλεπιδράσεις. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία διατηρεί χαρακτηριστικά των διεργασιών που δημιουργήσαν τα φωτόνια, όπως ακτινοβολία bremsstrahlung ή synchrotron.

68.Nucleosynthesis

Τα πρώτα δευτερόλεπτα μετά το big bang έγιναν πυρηνικές αντιδράσεις υδρογόνου σε όλο το σύμπαν.

Τα αστέρια παράγουν το χημικό στοιχείο ήλιο-4. Το ήλιο-4 έχει 2 πρωτόνια και 2 νετρόνια στον πυρήνα.

Το 99% της ορατής ύλης στο σύμπαν είναι υδρογόνο και ήλιο και θεωρούσαν ότι όλο το ήλιο στο σύμπαν προήλθε από τις πυρηνικές αντιδράσεις υδρογόνου στα αστέρια.

Το πρόβλημα ήταν ότι το ήλιο-4 είναι το 24% της ορατής ύλης του σύμπαντος και τα αστέρια από μόνα τους δεν μπορούσαν να παράξουν τόσο πολύ ήλιο και δεν πέρασε αρκετός χρόνος για να παραχθεί τόσο πολύ ήλιο στα αστέρια.

Επίσης όλα τα αστέρια ξεκινούν με μια ποσότητα ηλίου άρα το ήλιο δημιουργήθηκε πριν την δημιουργία των αστεριών.

Επίσης το ήλιο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στο σύμπαν. αν είχε παραχθεί μόνο στα αστέρια μόνο οι περιοχές με αστέρια θα έπρεπε να έχουν ήλιο.

Για να δημιουργείτο τόσο πολύ ήλιο θα έπρεπε να δημιουργούνταν πολύ περισσότερα αστέρια.

Αν δημιουργούνταν πολύ περισσότερα αστέρια θα έπρεπε να υπάρχει πολύ περισσότερος άνθρακας και οξυγόνο. Αν πυρηνικές αντιδράσεις υδρογόνου γίνονταν μόνο στα αστέρια θα έπρεπε να μην υπάρχει δευτέριο, ήλιο-3 και λίθιο-7 στο σύμπαν επειδή χρησιμοποιούνται σαν καύσιμο στα αστέρια

69.Πρώτη και δεύτερη κορυφή του cmb power spectrum

Η πρώτη και δεύτερη κορυφή του cmb power spectrum και ότι δείχνουν την γεωμετρία του σύμπαντος την πυκνότητα της ύλης Ω_m (ορατής+σκοτεινής) και την πυκνότητα της ορατής ύλης Ω_b .

Οι κορυφές δείχνουν ένα κύμα, η πρώτη κορυφή είναι το πρώτο compression πύκνωμα και η δεύτερη κορυφή το πρώτο rarefaction αραιώμα.

Σαν ένα ελατήριο που συμπιέζεται συσπειρώνεται και αποσυμπιέζεται.

Στο σύμπαν υπήρχαν σκοτεινή ύλη ορατή βαρυονική ύλη και φωτόνια.

Η σκοτεινή ύλη λόγω της βαρυτικής δύναμης δημιούργησε potential wells και τράβησε την ορατή ύλη και τα φωτόνια που συγκεντρώθηκαν σε πολύ μικρότερο χώρο.

Αυτή η συγκέντρωση σκοτεινής ορατής ύλης και φωτονίων είναι το compression συμπίεση πύκνωμα του κύματος.

Όταν συγκεντρώθηκαν σε μικρή περιοχή η ορατή ύλη και τα φωτόνια, τα φωτόνια κτυπούσαν στα βαρυόνια Thomson scattering και τα φωτόνια ασκούσαν πίεση στα βαρυόνια προς τα έξω.

Τα φωτόνια ασκούσαν δύναμη στα βαρυόνια στην αντίθετη κατεύθυνση της βαρυτικής δύναμης της σκοτεινής ύλης.

Η πίεση των φωτονίων έσπρωξε την βαρυονική ύλη προς τα έξω.

Τα φωτόνια δεν ασκούσαν δύναμη στην σκοτεινή ύλη επειδή η σκοτεινή ύλη δεν αλληλεπιδρά με την ηλεκτρομαγνητική δύναμη.

Τα βαρυόνια η ορατή ύλη πιέστηκαν από τα φωτόνια προς τα έξω, έξω από το potential well της σκοτεινής ύλης και έγινε το πρώτο rarefaction αραίωμα.

Τα φωτόνια και βαρυόνια κινήθηκαν έξω.

Το rarefaction η κίνηση των φωτονίων και βαρυονίων έξω είναι η δεύτερη κορυφή του cmb power spectrum.

Τα βαρυόνια πρωτόνια και νετρόνια έχουν πολύ μεγαλύτερη μάζα από τα φωτόνια και τα βαρυόνια έχουν πολύ μεγαλύτερη αδράνεια.

Η κίνηση προς τα έξω το rebound επηρεάζεται από την πυκνότητα της ορατής βαρυονικής ύλης των πρωτονίων και νετρονίων λόγω της αδράνειας τους.

Όσο πιο πολλή η βαρυονική ύλη τόσο μεγαλύτερη αδράνεια τόσο μικρότερο το rebound μικρότερη δεύτερη κορυφή και όσο λιγότερη η βαρυονική ύλη τόσο μεγαλύτερο rebound ψηλότερη δεύτερη κορυφή του cmb power spectrum.

70.Μη δημιουργία ατόμων πριν το recombination

Τα πρώτα δευτερόλεπτα μετά το big bang υπήρχαν πρωτόνια νετρόνια και ηλεκτρόνια.

Τα ηλεκτρόνια δεν μπορούσαν να δεσμευτούν από τα πρωτόνια και να δημιουργήσουν άτομα.

Ένα πρωτόνιο μόνο του χωρίς ηλεκτρόνια είναι ιονισμένο υδρογόνο έτσι τα άτομα ήταν ιονισμένα.

Δεν μπορούσαν να δημιουργηθούν άτομα λόγω της ψηλής θερμοκρασίας. λόγω της ψηλής θερμοκρασίας όταν ένα αρνητικό ηλεκτρόνιο προσπαθούσε να συνδεθεί με ένα θετικό πρωτόνιο άλλα πρωτόνια νετρόνια και ηλεκτρόνια κτυπούσαν στο ηλεκτρόνιο και το έδιωχναν από το άτομο και δεν μπορούσε να συνδεθεί.

Επίσης τα φωτόνια εκείνη την κοσμολογική περίοδο photon epoch τα φωτόνια είχαν μεγαλύτερη ενέργεια και πολλά είχαν ενέργειες μεγαλύτερες από 13,6 eV που ιονίζουν το υδρογόνο. Ο κύριος λόγος που τα ηλεκτρόνια δεν

μπορούσαν να συνδεθούν με τα πρωτόνια είναι ότι τα φωτόνια κτυπούσαν στα ηλεκτρόνια.

Για κάθε πρωτόνιο υπήρχαν 1 δισεκατομμύριο φωτόνια. Αφού για κάθε πρωτόνιο υπήρχε ένα ηλεκτρόνιο για κάθε ηλεκτρόνιο υπήρχαν 1 δισεκατομμύριο φωτόνια που ένα σημαντικό ποσοστό από τα πολλά φωτόνια μπορούσε να ιονίσει το υδρογόνο.

Τα φωτόνια κτυπούσαν επίσης στα πρωτόνια αλλά επειδή τα πρωτόνια έχουν μάζα 1836 φορές μεγαλύτερη του ηλεκτρονίου η κινητική ενέργεια των πρωτονίων επηρεάζεται πολύ λιγότερο από των ηλεκτρονίων

71.Recombination

380 000 χρόνια μετά το big bang έγινε το recombination το σύμπαν επεκτάθηκε αρκετά και κρύωσε αρκετά ώστε μπορούσαν να δημιουργηθούν άτομα.

Επειδή διαστάλθηκε αρκετά τα φωτόνια ελευθερώθηκαν και δεν κτυπούσαν τα φωτόνια στα ηλεκτρόνια όπως πριν που τα φωτόνια δεν άφηναν

τα ηλεκτρόνια να συνδεθούν με τα πρωτόνια.

Επειδή ο χώρος ήταν πολύ περισσότερος οι συγκρούσεις φωτονίων ηλεκτρονίων ήταν πολύ λιγότερες και οι συγκρούσεις πρωτονίων νετρονίων και ηλεκτρονίων πολύ λιγότερες.

Επίσης μερικά δευτερόλεπτα μετά το big bang τα περισσότερα φωτόνια είχαν μεγαλύτερη ενέργεια από 13,6 eV και μπορούσαν να ιονίσουν το υδρογόνο και δεν άφηναν τα ηλεκτρόνια να δεσμευτούν από τα πρωτόνια.

Λόγω της διαστολής του σύμπαντος το μήκος κύματος των φωτονίων μεγάλωσε.

Τα φωτόνια με μεγαλύτερο μήκος κύματος έχουν μικρότερη ενέργεια και η ενέργεια των φωτονίων μίκρανε και στο recombination 380 000 χρόνια μετά το big bang τα φωτόνια δεν είχαν αρκετή ενέργεια να ιονίσουν τα άτομα υδρογόνου.

Λόγω της μείωσης της ενέργειας τους τα φωτόνια δεν μπορούσαν να διώξουν

τα ηλεκτρόνια από τα άτομα.

Έτσι τα ηλεκτρόνια συνδέθηκαν στα πρωτόνια και δημιουργήθηκαν τα πρώτα άτομα υδρογόνου και τα φωτόνια που ελευθερώθηκαν είναι το cosmic microwave background

72.Θερμοκρασία του σύμπαντος από το cmb

Στην κοσμολογία όταν λένε η θερμοκρασία του σύμπαντος ή έπεσε η θερμοκρασία του σύμπαντος εννοούν την θερμοκρασία του cosmic microwave background.

Η θερμοκρασία του cosmic microwave background είναι η θερμοκρασία του σύμπαντος.

Δεν είναι η θερμοκρασία της ορατής ύλης του αερίου πλάσματος η θερμοκρασία του σύμπαντος.

Η πυκνότητα της ορατής βαρυονικής ύλης στο σύμπαν είναι ένα τέταρτο του ατόμου υδρογόνου ανά κυβικό μέτρο. για κάθε πρωτόνιο ή νετρόνιο υπάρχουν 1 δισεκατομμύριο φωτόνια του cmb. Άρα τα φωτόνια είναι πολύ περισσότερα από τα βαρυόνια και τα φωτόνια του cmb συνεισφέρουν πολύ

περισσότερο στην θερμοκρασία του σύμπαντος.

Η βαρυονική ύλη πλάσμα γαλαξίες αστέρια καταλαμβάνουν μόνο 0.0001% του χώρου του σύμπαντος και είναι συγκεντρωμένα σε μικρές περιοχές με τεράστια κενά μεταξύ τους. τα φωτόνια του cmb καταλαμβάνουν ομοιόμορφα ολόκληρο το σύμπαν.

Η θερμική ενεργειακή πυκνότητα των φωτονίων είναι 7800 φορές μεγαλύτερη από την θερμική ενεργειακή πυκνότητα των βαρυονίων.

Άρα η ενέργεια που δίνεται από τα φωτόνια σε Joules ανά κυβικό μέτρο είναι 7800 φορές μεγαλύτερη. Επίσης τα φωτόνια του cmb κρυώνουν λιγότερο σε κοσμολογικές περιόδους σε σχέση με την βαρυονική ύλη.

Στο πρώιμο σύμπαν η ενεργειακή πυκνότητα του σύμπαντος κυριαρχείτο από φωτόνια και αργότερα κυριάρχησε η ύλη και μετά η σκοτεινή ενέργεια. μετά το recombination που ελευθερώθηκαν τα φωτόνια του cmb η ύλη κρυώνει γρηγορότερα επειδή δεν παίρνει ενέργεια από τα φωτόνια.

Όταν λέμε θερμοκρασία εννοούμε την κινητική ενέργεια των σωματιδίων της βαρυονικής ύλης. όσο πιο γρήγορα κινούνται τα άτομα τόσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία.

Τα φωτόνια του cmb είναι σε όλο το σύμπαν έτσι όταν βάλεις ένα όργανο μέτρησης θερμοκρασίας στο διάστημα θα δείξει θερμοκρασία 2,73 βαθμούς κέλβιν που είναι η θερμοκρασία του cmb.

Τα φωτόνια του cmb θα κτυπούν στα μόρια του ανιχνευτή τα μόρια του ανιχνευτή θα πάρουν κινητική ενέργεια και τα μόρια του ανιχνευτή θα έχουν θερμοκρασία 2,73 βαθμούς κέλβιν.

το cosmic microwave background είναι blackbody και σε ένα blackbody η κάθε ενέργεια αντιστοιχεί σε μια θερμοκρασία.

Η ενέργεια των φωτονίων του cmb αντιστοιχεί σε 2,73 βαθμούς κέλβιν