

NASA/WMAP Science Team

Το Σύμπαν που Διαστέλλεται



ΕΛΙΔΕΚ.
Ελληνικό Ίδρυμα
Έρευνας & Καινοτομίας

Επιμέλεια

Γιώργος Κλήμης - Παγκρήτιο Εκπαιδευτήριο

Γενικές πληροφορίες

Σύντομη περιγραφή: Σε αυτή τη δραστηριότητα, οι μαθητές θα μάθουν για το διαστελλόμενο σύμπαν και την ερυθρή μετατόπιση των κυμάτων φωτός. Στη συνέχεια θα υπολογίσουν την ερυθρή μετατόπιση ενός σουπερνόβα, θα καθορίσουν την ταχύτητά του σε σχέση με τη Γη και θα βρουν την απόσταση της από αυτό το αντικείμενο.

Εκπαιδευτικό Περιεχόμενο

Ηλικία: 16-18

Προαπαιτούμενα: Φυσική Γ Γυμνασίου/Γεν. Παιδείας Β Λυκείου

Επίπεδο Δυσκολίας: Μέτριο

Διάρκεια: 3-4 ώρες

Εκπαιδευτικοί στόχοι

Μαθησιακοί :

- Η σημασία της μελέτης του φωτός στην Αστροφυσική.
- Γνωριμία με τις μεθόδους μέτρησης αποστάσεων και ταχυτήτων στην αστρονομία
- Η εμπέδωση του διαστελλόμενου Σύμπαντος

Συναισθηματικοί-Ψυχοκινητικοί: Η ικανοποίηση του να εργαστούν σαν αστρονόμοι και να παραγάγουν αποτελέσματα που πιθανά δεν φανταζόντουσαν πως είναι σε θέση να επιτύχουν.

Πρόκληση ενδιαφέροντος και διατύπωση ερωτημάτων

- Τι είναι ο χωρόχρονος; Ποια είναι η σχέση του χώρου και του χρόνου;
- Πόσο μεγάλο είναι το Σύμπαν; Ήταν πάντα έτσι;
- Πώς μπορούμε να μετρήσουμε πόσο μακριά βρίσκεται ένας γαλαξίας;
- Πώς σχετίζεται η εικόνα ενός γαλαξία με το παρόν ή το παρελθόν;
- Τι είναι το φως;
- Ποια πιστεύετε πως είναι η σημασία του φωτός στην αστροφυσική;

Λέξεις-κλειδιά: Κύμα, μήκος κύματος, συχνότητα και πλάτος κύματος, ταχύτητα φωτός, νανόμετρο, Ångström, χωρόχρονος, ερυθρή μετατόπιση, φαινόμενο Doppler, σταθερά Hubble.

Υλικά

- Φαρδιές ελαστικές ταινίες (πλάτος 2-3cm και μήκος 10-15cm) ή φαρδιές λαστιχένιες ταινίες κομμένες σε λωρίδες (μία ανά ομάδα ή μία για επίδειξη τάξης)
- Μαρκαδόρος
- Χάρακας
- Φύλλο εργασίας φασματικής μετατόπισης προς το ερυθρό – (παράρτημα)
- Μπαλόνι.

Απαιτούμενες Γνώσεις

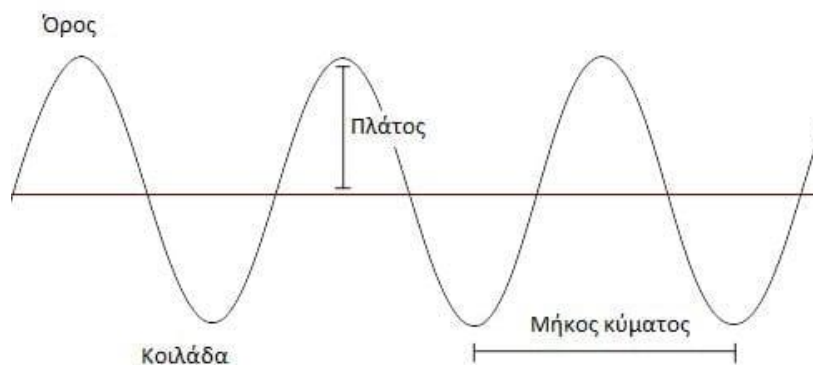
• Κύματα

Κύμα στη Φυσική, ονομάζουμε το μηχανισμό διάδοσης μιας διαταραχής που μεταφέρει ενέργεια και ορμή. Ένα αρμονικό κύμα είναι ουσιαστικά η διάδοση μιας ταλάντωσης που χαρακτηρίζεται από ορισμένη **περίοδο (T)** και **συχνότητα (f)**. Τα κύματα διαδίδονται με ταχύτητα που εξαρτάται από τις ιδιότητες του μέσου διάδοσης.

Σε κάθε κύμα ορίζουμε το μήκος κύματος λ , σαν την απόσταση που διανύει σε χρόνο μιας περιόδου και συνδέεται με την ταχύτητα διάδοσης v και την συχνότητα μέσω της σχέσης:

$$v = \lambda \cdot f$$

Τα κύματα διακρίνονται σε **εγκάρσια** και **διαμήκη**. Στα εγκάρσια, που θυμίζουν τα κύματα της θάλασσας (Εικόνα 1), δημιουργούνται **όρη** και **κοιλιάδες**. Το μήκος κύματος είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικά όρη ή κοιλιάδες.

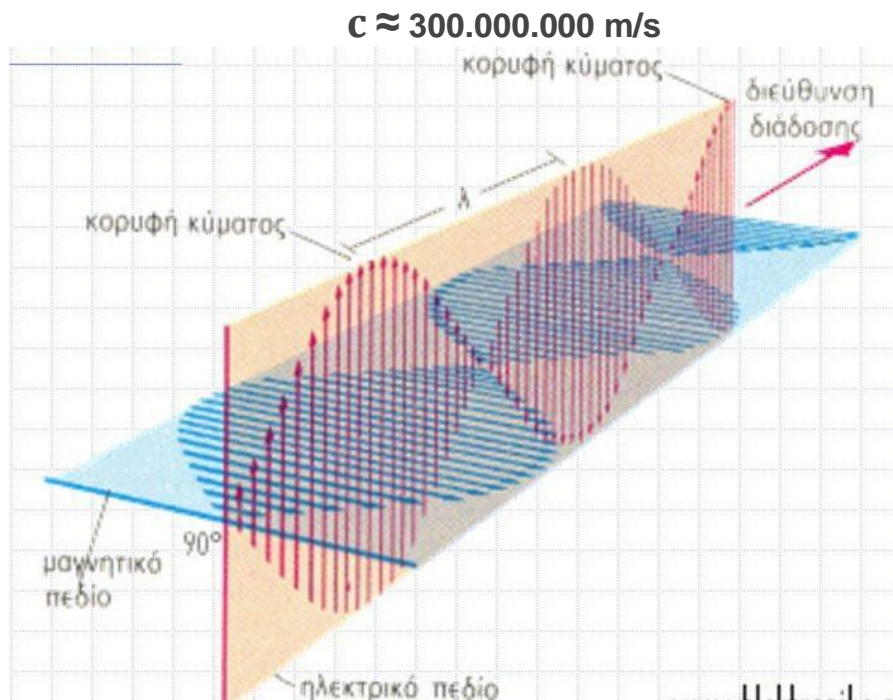


Εικόνα 1: Εγκάρσιο Κύμα

• Το Φως

Το φως είναι ένα **εγκάρσιο ηλεκτρομαγνητικό** κύμα (Εικόνα 20). Απαρτίζεται από 2 κύματα:

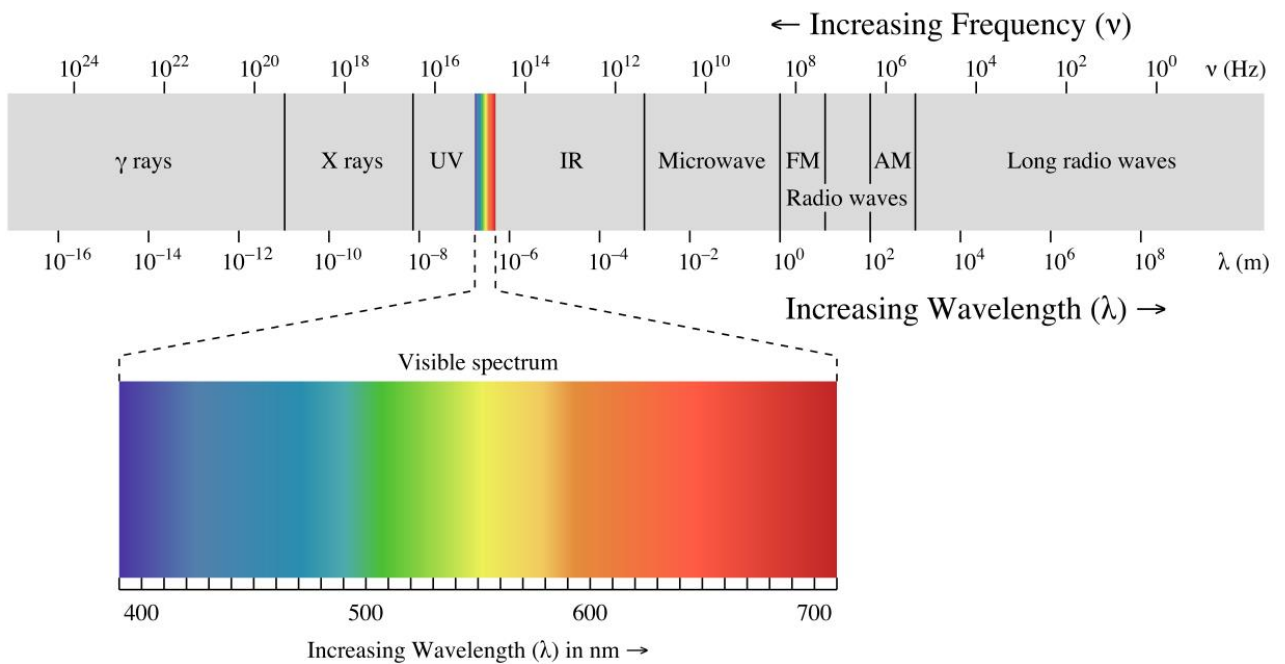
Ένα **ηλεκτρικό** και ένα **μαγνητικό**, που ταλαντώνονται σε δύο κάθετα μεταξύ τους επίπεδα και διαδίδεται στο κενό με τη μεγαλύτερη γνωστή ταχύτητα στη φύση:



Εικόνα 2: Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα

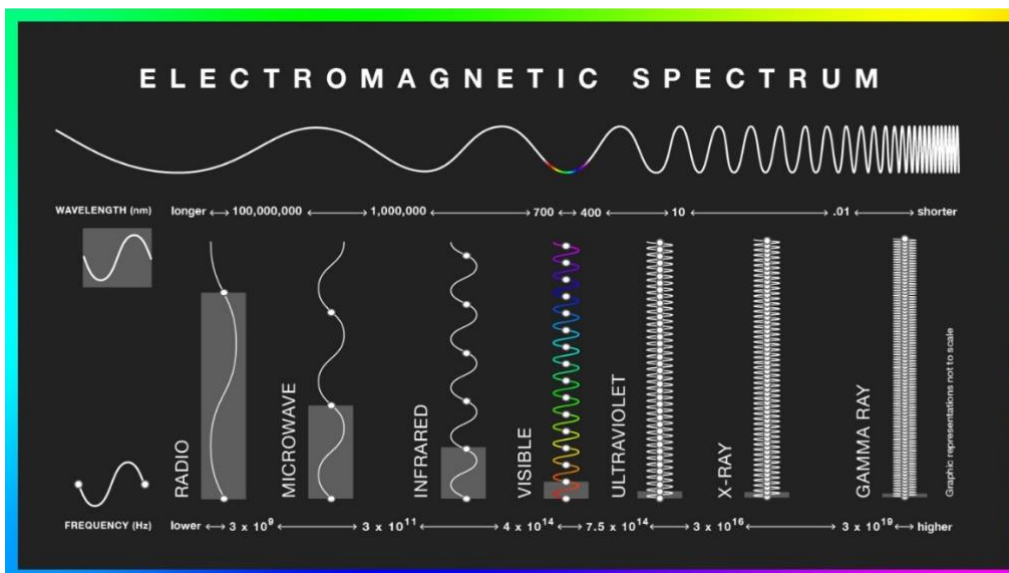
- **Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα**

Είναι το σύνολο των τιμών μήκους κύματος ή αντίστοιχα συχνότητας που μπορεί να πάρει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα (Εικόνα 3).



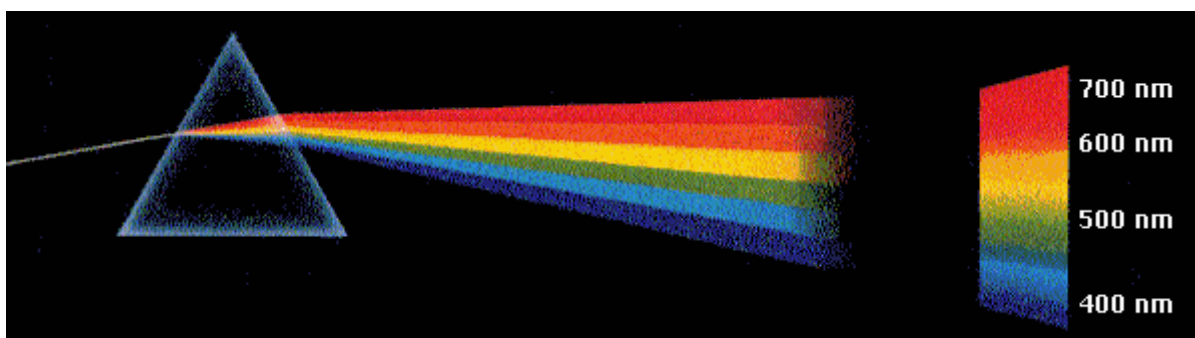
Εικόνα 3: Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Τα μάτια μας μπορούν να δουν μόνο ένα μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος – το τμήμα που ονομάζουμε **ορατό φως**. Άλλα τμήματα του φάσματος έχουν μήκη κύματος πολύ μεγάλα ή πολύ μικρά για να τα αντιληφθούν τα μάτια μας.



Εικόνα 4: Το ορατό φως, το είδος του φωτός που οι άνθρωποι μπορούν να αντιληφθούν με τα μάτια τους, είναι μόνο ένα μικροσκοπικό κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτό το διάγραμμα συγκρίνει το μήκος κύματος και το εύρος συχνοτήτων κάθε είδους κύματος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

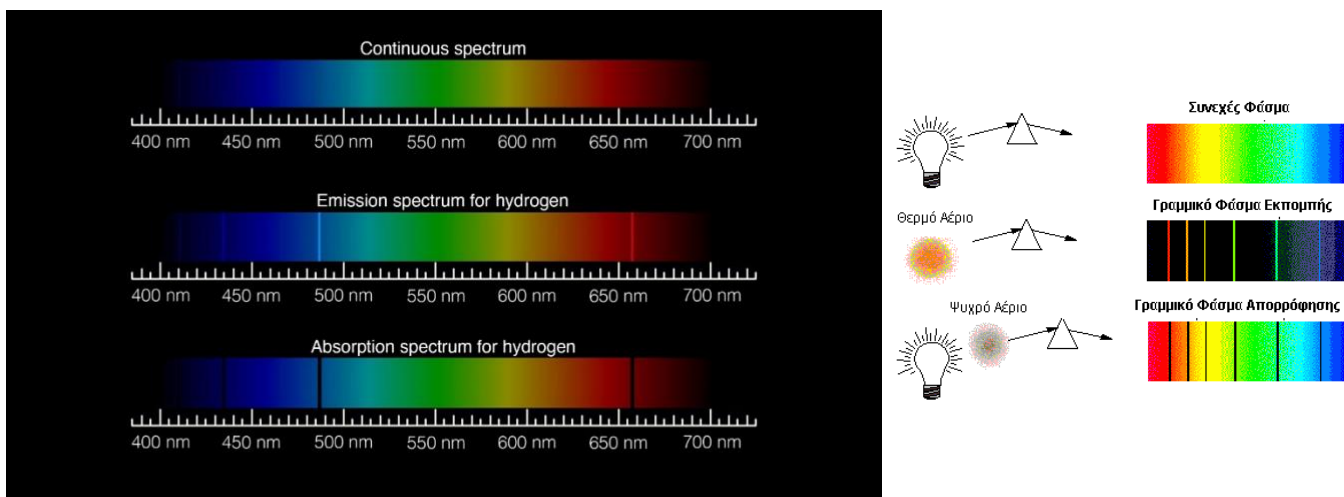
Συνήθως, το ανθρώπινο μάτι μπορεί να ανιχνεύσει μήκη κύματος από 380 έως 700 νανόμετρα (nm). Για λόγους σύγκρισης, μια ανθρώπινη τρίχα έχει πλάτος περίπου 80.000 nm. Καθώς το πλήρες φάσμα του ορατού φωτός ταξιδεύει μέσα από ένα πρίσμα, τα μήκη κύματος διαχωρίζονται στα χρώματα του ουράνιου τόξου επειδή κάθε χρώμα είναι διαφορετικό μήκος κύματος, και κάθε χρώμα διαθλάται κατά ένα διαφορετικό ποσό. Το βιολετί έχει το μικρότερο μήκος κύματος σε περίπου 380 νανόμετρα και το κόκκινο έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος σε περίπου 700 νανόμετρα (Εικόνα 5).



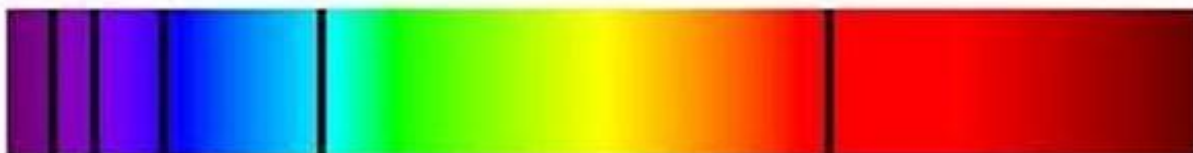
Εικόνα 5: Ανάλυση λευκού φωτός από πρίσμα

- Φάσματα Εκπομπής και Απορρόφησης

Κάθε τύπος ατόμου ή μορίου εκπέμπει ενέργεια σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Για παράδειγμα, τα άτομα υδρογόνου εκπέμπουν ορατό φως στα 410,2 nm, 434,0 nm, 486,1 nm και 656,3 nm. Αυτό το προβλέψιμο μοτίβο εκπεμπόμενου φωτός ονομάζεται φάσμα εκπομπών.



Hydrogen Absorption Spectrum



Hydrogen Emission Spectrum



Εικόνες 6: Αυτές οι εικόνες δείχνουν τη διαφορά μεταξύ ενός συνεχούς φάσματος και των φασμάτων εκπομπής και απορρόφησης για το στοιχείο υδρογόνο. Ένα φάσμα εκπομπής δείχνει φωτεινές γραμμές στα

μήκη κύματος όπου το φως εκπέμπεται από άτομα και μόρια σε ένα θερμό αέριο. Ένα φάσμα απορρόφησης δείχνει σκοτεινές γραμμές στα μήκη κύματος όπου το φως απορροφάται όταν διέρχεται από αέρια στοιχεία στην ατμόσφαιρα ενός άστρου.

Η προσεκτική εξέταση του φάσματος του ορατού φωτός από τον Ήλιο μας και άλλα αστέρια αποκαλύπτει φασματικές γραμμές που δρουν σαν δακτυλικά αποτυπώματα για άτομα και μόρια. Ο προσδιορισμός αυτών των μοτίβων λέει στους επιστήμονες ποια στοιχεία και μόρια συνθέτουν ένα αστέρι.

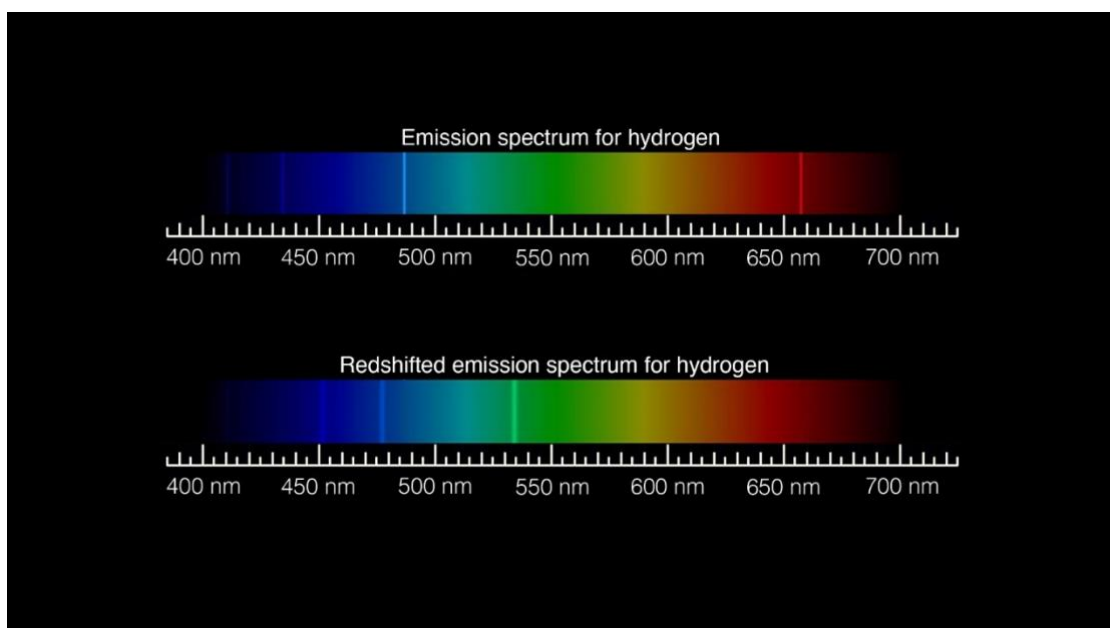
Σε αντίθεση με το φως που φεύγει από τον Ήλιο, το οποίο χρειάζεται 8,5 λεπτά για να φτάσει στη Γη, το φως που φεύγει από μακρινά αστέρια και γαλαξίες μπορεί να χρειαστεί δισεκατομμύρια χρόνια για να φτάσει στον πλανήτη μας. Καθώς ταξιδεύουν, τα κύματα που συνθέτουν το φως επιμηκύνονται καθώς το σύμπαν διαστέλλεται - κάτι που συμβαίνει από τη στιγμή της Μεγάλης Έκρηξης.

- **Κατανόηση της Ερυθρής Μετατόπισης και υπολογισμός**

Το Σύμπαν διαστέλλεται προς κάθε κατεύθυνση. Σε μεγάλες κλίμακες, οι γαλαξίες απομακρύνονται μεταξύ τους με ταχύτητες που είναι ανάλογες της μεταξύ τους απόστασης. Όσο μακρύτερα βρίσκεται ένας γαλαξίας από το δικό μας, τόσο γρηγορότερα απομακρύνεται από εμάς και εμείς αντίστοιχα από αυτόν.

Αυτό επηρεάζει το φως που προέρχεται από τα αντικείμενα που περιέχουν. Τα μήκη κύματος των εκπεμπόμενων ακτινοβολιών φτάνουν σε εμάς με μεγαλύτερες τιμές από τις πραγματικές, μετατοπισμένες προς το κόκκινο. Η μετατόπιση αυτή προς μεγαλύτερα μήκη κύματος ονομάζεται **Ερυθρή Μετατόπιση (Red Shift)**, και το μέγεθος της μεταβολής είναι ανάλογο με την ταχύτητα της φωτεινής πηγής και κατά συνέπεια και με την απόστασή της από τη Γη.

Μετρώντας λοιπόν οι επιστήμονες τις μεταβολές μήκους κύματος των γραμμών εκπομπής π.χ. του Υδρογόνου, μπορούν να υπολογίσουν την ταχύτητα με την οποία κινείται ως προς εμάς μια φωτεινή πηγή και μέσω της ταχύτητας και την απόστασή της από τη Γη.



Εικόνα 7: Το φαινόμενο της ερυθρής μετατόπισης στο φάσμα εκπομπής του υδρογόνου. Παρατηρήστε πώς οι φωτεινές γραμμές στο τυπικό φάσμα εκπομπών υδρογόνου (πάνω) έχουν μετακινηθεί προς το κόκκινο άκρο του φάσματος στο φάσμα εκπομπής που μετατοπίζεται προς το ερυθρό (κάτω)

Η μετατόπιση προς το ερυθρό λαμβάνει μια τιμή (z) και υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$$

z = μετατόπιση προς το ερυθρό

λ_0 = το γνωστό μήκος κύματος ενός στοιχείου που δεν έχει υποστεί μετατόπιση προς το ερυθρό

λ = το παρατηρούμενο μήκος κύματος αυτής της γραμμής εκπομπής

Προσδιορίζοντας την ερυθρή μετατόπιση ενός αντικειμένου, οι επιστήμονες μπορούν να υπολογίσουν την ταχύτητα με την οποία το αντικείμενο απομακρύνεται από εμάς (ως αποτέλεσμα της επέκτασης του σύμπαντος) και την απόστασή του από τη Γη.

Αποστολές όπως το διαστημικό τηλεσκόπιο James Webb εκμεταλλεύονται αυτό το φαινόμενο παρατηρώντας το φως στα μήκη κύματος κοντά και στο μέσο υπέρυθρο - τα μήκη κύματος στα οποία έχει μετατοπιστεί το φως μετά το ταξίδι από τα πιο μακρινά, και επομένως παλαιότερα αστέρια και γαλαξίες. Αυτό επιτρέπει στους αστρονόμους να παρατηρούν την πρώιμη ιστορία του σύμπαντος.

Σχεδιασμός και Διερεύνηση

1. Δημιουργήστε ή ενεργοποιήστε τις βασικές γνώσεις των μαθητών συζητώντας το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, τους διαφορετικούς τύπους ακτινοβολίας και τις ιδιότητες των κυμάτων.
2. Εξηγήστε στους μαθητές την έννοια του διαστελλόμενου σύμπαντος. Τονίστε ότι ο χωροχρόνος, ο ιστός του ίδιου του σύμπαντος, διαστέλλεται – δεν είναι μόνο ότι τα αντικείμενα μέσα στο σύμπαν απομακρύνονται. Σκεφτείτε να χρησιμοποιήσετε την αναλογία ενός σταφιδόψωμου που φουσκώνει καθώς ψήνεται, με τη ζύμη να αντιπροσωπεύει τον χωροχρόνο και τις σταφίδες να αντιπροσωπεύουν γαλαξίες ή σμήνη γαλαξιών. Εναλλακτικά, σχεδιάστε αρκετές κουκκίδες σε ένα μπαλόني με ένα στυλό. Εξηγήστε στους μαθητές ότι το μπαλόني αντιπροσωπεύει το χωροχρόνο και οι κουκκίδες αντιπροσωπεύουν γαλαξίες ή σμήνη γαλαξιών. Ζητήστε τους να προβλέψουν τι θα συμβεί όταν το μπαλόني φουσκώσει. (Καθώς το μπαλόني διογκώνεται, η απόσταση μεταξύ των κουκκίδων αυξάνεται.)
3. Ολοκληρώστε μία ή και τις δύο ενότητες μοντελοποίησης και υπολογισμού με τους μαθητές. Εάν ολοκληρώσετε μερικούς ή όλους τους υπολογισμούς, οι μαθητές θα πρέπει να τους ολοκληρώσουν με τη σωστή σειρά.

- **Μοντελοποίηση ερυθρής μετατόπισης**

Είτε ως επίδειξη στην τάξη είτε σε ομάδες των 2-3 μαθητών, χρησιμοποιήστε ελαστικές ταινίες ως εξής για να μοντελοποιήσετε την επέκταση του χωροχρόνου και την μετατόπιση του ορατού φωτός προς στο υπέρυθρο.

1. Βάλτε τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν ένα μαρκαδόρο και ένα χάρακα για να επισημάνουν ομοιόμορφα κατανεμημένες κουκκίδες στο ελαστικό για να αναπαραστήσουν τα όρη ενός ορατού φωτεινού κύματος. Ζητήστε από τους μαθητές να σημειώσουν πόσο απέχουν οι τελείες τους (Εικόνα 8)



Εικόνα 8:Σχεδιάστε ομοιόμορφα κατανεμημένες κουκκίδες σε μια λωρίδα ελαστικού.

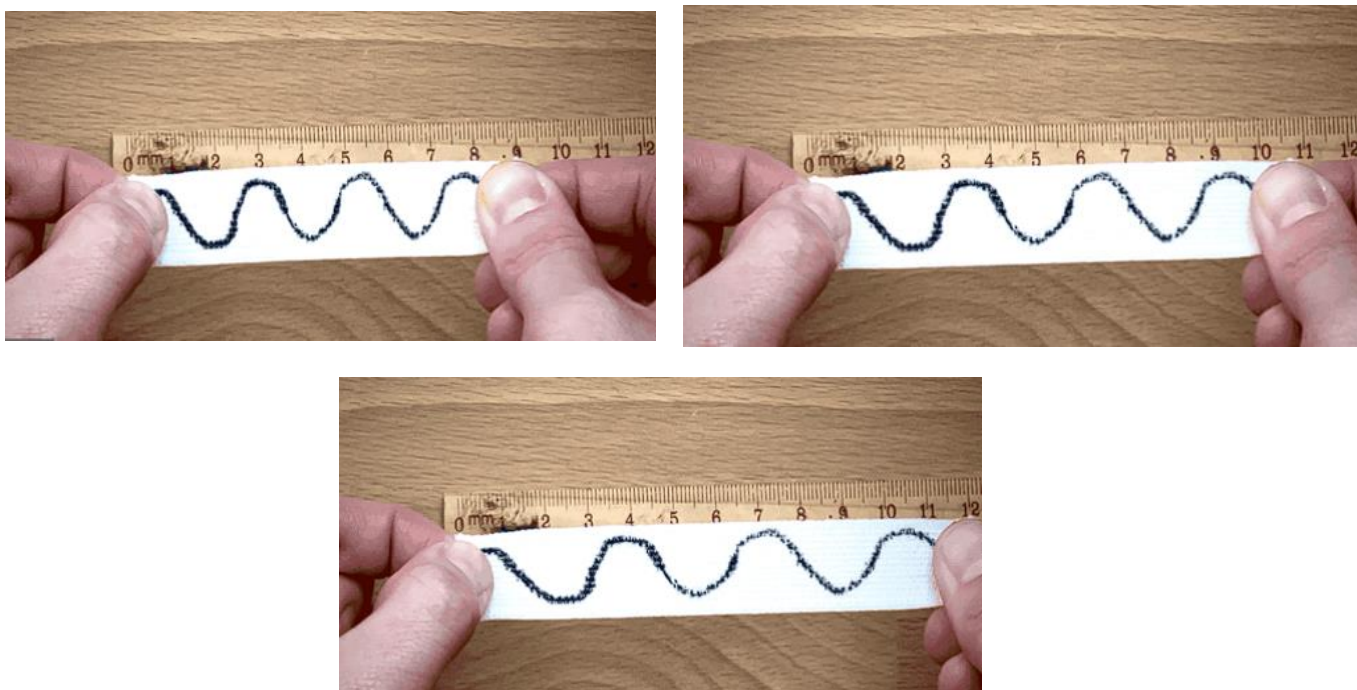
2. Για πρόσθετη πολυπλοκότητα, πείτε στους μαθητές ότι για αυτό το μοντέλο, 1 χιλιοστό στο ελαστικό αντιπροσωπεύει 100 nm και τοποθετήστε τις κουκκίδες τους πέντε ή έξι mm μεταξύ τους. Ζητήστε από τους μαθητές να προσδιορίσουν το χρώμα στο ορατό φάσμα που αντιπροσωπεύει το μήκος κύματος τους. Σε κάθε περίπτωση,



αν χρειαστεί για τους μαθητές να απεικονίσουν ένα κύμα, μπορούν να σχεδιάσουν το υπόλοιπο μοτίβο κύματος στο ελαστικό (Εικόνα 9).

Εικόνα 9: Προαιρετικά, σχεδιάστε τμήματα κύματος που συνδέουν τις κουκκίδες.

3. Βάλτε έναν μαθητή να τεντώσει αργά το λάστιχο και να το κρατήσει στο τεντωμένο μήκος του. Οι μαθητές μπορούν να επιλέξουν να τεντώσουν το ελαστικό τους όσο θα πάει, ή να το τεντώσουν μόνο λίγο. Με το ελαστικό τεντωμένο, ένας άλλος μαθητής θα πρέπει να μετρήσει την απόσταση μεταξύ των κουκκίδων (ή των κορυφών κύματος) και να καταγράψει την απόσταση (Εικόνες 9).



Εικόνες 9: Το μήκος κύματος που σχεδιάζεται στο κομμάτι του ελαστικού γίνεται μεγαλύτερο καθώς το ελαστικό τεντώνεται

4. Οι ομάδες θα πρέπει να αναγνωρίσουν ότι η απόσταση μεταξύ των κουκκίδων ή των κορυφών αυξήθηκε. Εάν οι μαθητές χρησιμοποίησαν τις υπό κλίμακα μετρήσεις (1mm→100nm) και προσδιόρισαν το χρώμα του φωτός στο Βήμα 1, θα πρέπει τώρα να μετατρέψουν αντίστοιχα τις νέες μετρήσεις και να προσδιορίσουν σε ποια περιοχή του φάσματος βρίσκεται το νέο μήκος κύματος.

- **Υπολογίστε τη μετατόπιση προς το ερυθρό**

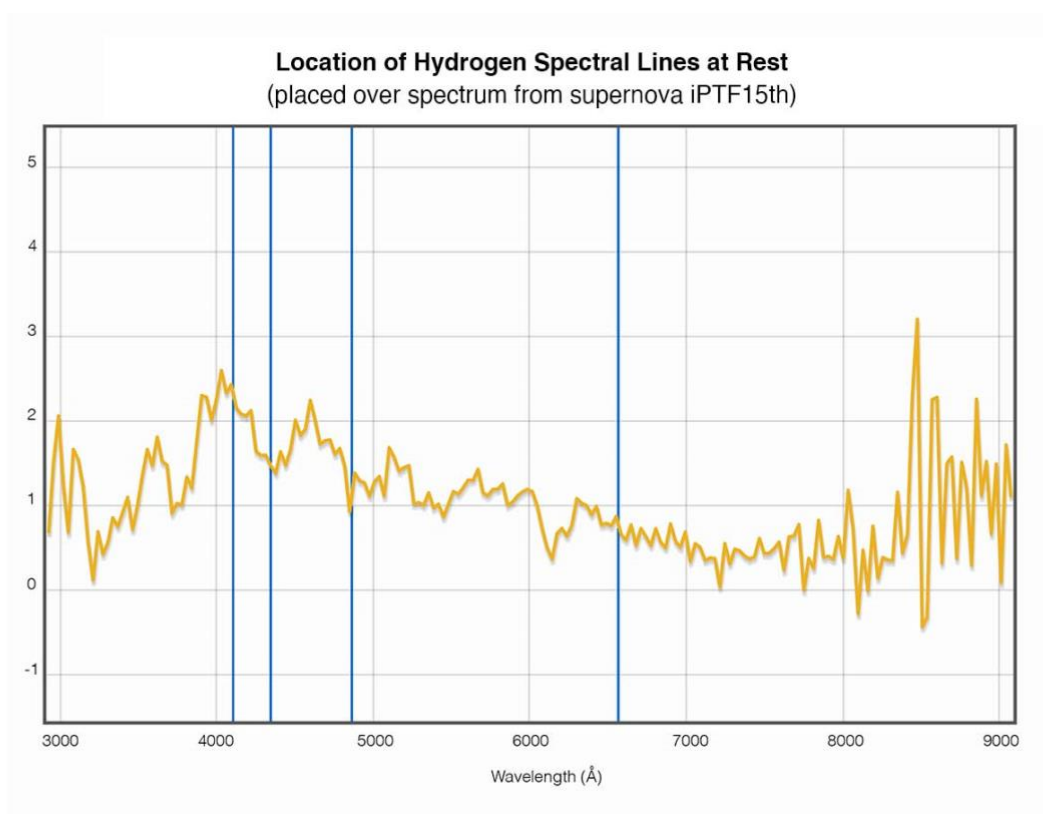
Οι μαθητές θα χρησιμοποιήσουν την εξίσωση μετατόπισης προς το ερυθρό, το φάσμα εκπομπής υδρογόνου και τα φάσματα από το σουπερνόβα iPTF15th για να υπολογίσουν την ερυθρή μετατόπιση του σουπερνόβα.

1. Εισαγωγή των μαθητών στην εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ερυθρής μετατόπισης:

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$$

Εξηγήστε ότι υπολογίζοντας την τιμή μετατόπισης προς το ερυθρό οι μαθητές θα είναι σε θέση να προσδιορίσουν την ταχύτητα με την οποία ένα αντικείμενο απομακρύνεται από τη Γη ως αποτέλεσμα της διαστολής του σύμπαντος. Με αυτές τις πληροφορίες, μπορούν στη συνέχεια να καθορίσουν την απόσταση από αυτό το αντικείμενο.

2. Ζητήστε από τους μαθητές να υπολογίσουν την ερυθρή μετατόπιση για μία από τις παρακάτω γραμμές εκπομπής και, στη συνέχεια, να συγκρίνουν τα αποτελέσματα ως τάξη (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Θέση φασματικών γραμμών υδρογόνου σε ηρεμία (τοποθετημένες πάνω στο φάσμα του σουπερνόβα iPTF15th).

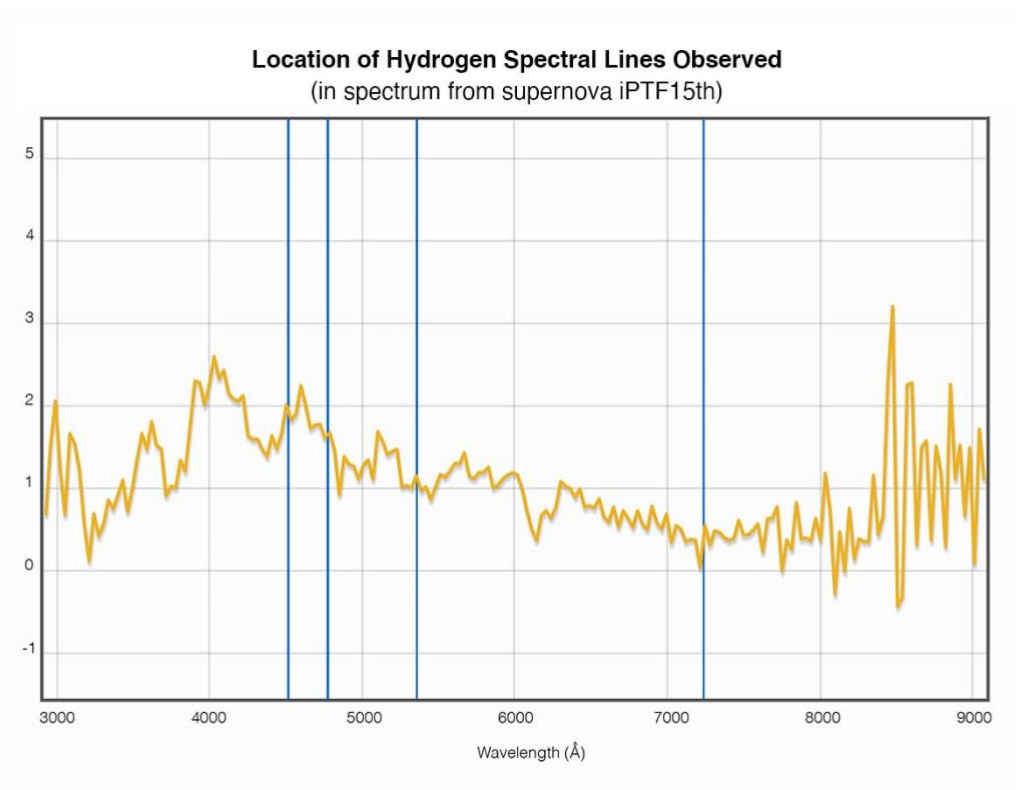
Θέση φασματικών γραμμών υδρογόνου σε ηρεμία:

Γραμμή 1: 410.2nm

Γραμμή 2: 434.0nm

Γραμμή 3: 486.1nm

Γραμμή 4: 656.3 nm



Εικόνα 11: Θέση φασματικών γραμμών υδρογόνου που παρατηρήθηκαν (φάσμα του σουπερνόβα iPTF15th).

Θέση φασματικών γραμμών υδρογόνου που παρατηρούνται στο φάσμα από σουπερνόβα iPTF15th:

Γραμμή 1: 4511.91 Å

Γραμμή 2: 4773.69 Å

Γραμμή 3: 5347.64 Å

Γραμμή 4: 7219.33 Å

Απαντήσεις:

Γραμμή 1: $z = 0.09993$

Γραμμή 2: $z = 0.0999$

Γραμμή 3: $z = 0.1001$

Γραμμή 4: $z = 0.1000$

3. Στη συνέχεια, ζητήστε τους να βρουν τη μέση τιμή μετατόπισης προς το ερυθρό και για τις τέσσερις γραμμές.

Απάντηση: Μέσος όρος $z = 0,1$

- **Υπολογίστε την ταχύτητα**

Οι μαθητές θα χρησιμοποιήσουν τον τύπο μετατόπισης Doppler για να βρουν την ταχύτητα του σουπερνόβα iPTF15th σε σχέση με τη Γη.

Εισαγωγή των μαθητών στον **τύπο μετατόπισης Doppler:**

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c$$

v = ταχύτητα

c = η ταχύτητα του φωτός στο κενό (3×10^8 m/s)

1. Ζητήστε από τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν τον τύπο μετατόπισης Doppler για να βρουν την ταχύτητα του σουπερνόβα iPTF15th μακριά από τη Γη. Εάν είναι απαραίτητο, υπενθυμίστε στους μαθητές ότι το ήμισυ αυτής της εξίσωσης επιλύθηκε στο προηγούμενο βήμα κατά την εύρεση της μέσης τιμής z .

Απάντηση: $0,1 * c = v \Rightarrow v = 3 \times 10^7$ m/s

- **Υπολογίστε την απόσταση**

Οι μαθητές θα χρησιμοποιήσουν το **νόμο του Hubble** για να βρουν την απόσταση από το σουπερνόβα iPTF15th.

1. Εισαγωγή των μαθητών στο νόμο του Hubble, ο οποίος είναι η παρατήρηση ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από τη Γη με ταχύτητες ανάλογες με την απόστασή τους (d) και εκφράζεται ως:

$$v = H_0 * d$$

v = ταχύτητα

H_0 = η σταθερά του Hubble περίπου 70 km/s/Megaparsec

d = απόσταση

Σημείωση: Ένα παρσέκ είναι μια μονάδα απόστασης ίση με περίπου 3,26 έτη φωτός, και ένα Megaparsec ισούται με ένα εκατομμύριο παρσέκ.

2. Ζητήστε από τους μαθητές να χρησιμοποιήσουν το νόμο του Hubble για να βρουν την απόσταση από το σουπερνόβα iPTF15th.

Απάντηση: Ένα Megaparsec (Mpc) = $3,26 * 10^6$ έτος φωτός.
 $3 * 10^7$ m/s = 70 km/s/Mpc*d

$$d = 3 \cdot 10^7 \text{ m/s} / 7 \cdot 10^4 \text{ m/s} / \text{Mpc}$$

$$d \approx 429 \text{ Mpc}$$

$$429 \text{ Mpc} \approx 1,4 \times 10^9 \text{ \u0395\u03c4\u03b7 \u03c6\u03c9\u03c4\u03cc\u03c3}$$

Συζ\u03b7\u03c4\u03b7\u03c3\u03b7

- Τι συνέπειες \u03c7\u03b5\u03b9 \u03b7 \u03bc\u03b5\u03c4\u03b1\u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03c3\u03b7 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf \u03b5\u03c1\u03b8\u03c1\u03cc \u03b3\u03b9\u03b1 \u03c4\u03b7\u03bd \u03c0\u03b1\u03c1\u03b1\u03c4\u03b7\u03c1\u03b7\u03c3\u03b7 \u03c4\u03c9\u03bd \u03c0\u03b9\u03bf \u03b1\u03c0\u03bf\u03bc\u03b1\u03ba\u03c1\u03c5\u03bc\u03b5\u03bd\u03c9\u03bd \u03b1\u03c3\u03c4\u03c1\u03c9\u03bd \u03ba\u03b1\u03b9 \u03b3\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03c9\u03bd, \u03cc\u03c0\u03c5 \u03b1\u03ba\u03cc\u03bc\u03b7 \u03ba\u03b1\u03b9 \u03c4\u03bf \u03c5\u03c0\u03b5\u03c1\u03b9\u03c9\u03b4\u03b5\u03c3 \u03c6\u03c9\u03c3 \u03bc\u03c0\u03cc\u03c1\u03b5\u03b9 \u03bd\u03b1 \u03c7\u03b5\u03b9 \u03bc\u03b5\u03c4\u03b1\u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03c3\u03c4\u03b5\u03b9 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf \u03b5\u03c1\u03b8\u03c1\u03cc \u03c0\u03b5\u03c1\u03b1 \u03b1\u03c0\u03cc \u03c4\u03bf \u03cc\u03c1\u03b1\u03c4\u03cc \u03c6\u03ac\u03c3\u03bc\u03b1;
- \u038c\u03b1\u03bd \u03c4\u03bf \u03c6\u03c9\u03c3 \u03c4\u03b1\u03be\u03b9\u03b4\u03b5\u03c5\u03b5\u03b9 \u03b1\u03c0\u03cc \u03b5\u03bd\u03b1 \u03b1\u03c3\u03c4\u03b5\u03c1\u03b9, \u03c3\u03cc\u03c5\u03c0\u03b5\u03c1\u03bd\u03cc\u03b2\u03b1 \u03b7 \u03b3\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03b1 \u03b3\u03b9\u03b1 \u03b5\u03bd\u03b1 \u03b4\u03b9\u03c3\u03b5\u03ba\u03b1\u03c4\u03cc\u03bc\u03bc\u03c5\u03c1\u03b9\u03bf \u03c7\u03c1\u03cc\u03bd\u03b9\u03b1, \u03b1\u03c5\u03c4\u03cc \u03c3\u03b7\u03bc\u03b1\u03b9\u03bd\u03b5\u03b9 \u03cc\u03c4\u03b9 \u03c4\u03bf \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9\u03ba\u03b5\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03bf \u03b5\u03b9\u03bd\u03b1 \u03c3\u03b7\u03bc\u03b5\u03c1\u03b1 \u03b5\u03bd\u03b1 \u03b4\u03b9\u03c3\u03b5\u03ba\u03b1\u03c4\u03cc\u03bc\u03bc\u03c5\u03c1\u03b9\u03bf \u03b5\u03c4\u03b7 \u03c6\u03c9\u03c4\u03cc\u03c3 \u03bc\u03b1\u03ba\u03c1\u03b9\u03b1\u03b1;

\u038c\u03c0\u03b1\u03bd\u03c4\u03b7\u03c3\u03b7: \u038c\u03b1 \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9\u03ba\u03b5\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03bf \u03b8\u03b1 \u03b7\u03c4\u03b1\u03bd \u03c0\u03b9\u03bf \u03bc\u03b1\u03ba\u03c1\u03b9\u03b1, \u03b4\u03b5\u03b4\u03cc\u03bc\u03b5\u03bd\u03bf \u03cc\u03c4\u03b9 \u03c4\u03bf \u03c3\u03c5\u03bc\u03c0\u03b1\u03bd \u03b4\u03b9\u03b1\u03c3\u03c4\u03b5\u03bb\u03bb\u03b5\u03c4\u03b1\u03b9 \u03ba\u03b1\u03b9 \u03c4\u03bf \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9\u03ba\u03b5\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03bf \u03c7\u03b5\u03b9 \u03b1\u03c0\u03bf\u03bc\u03b1\u03ba\u03c1\u03c5\u03bd\u03b8\u03b5\u03b9 \u03b1\u03c0\u03cc \u03c4\u03b7 \u0393\u03b7 \u03ba\u03b1\u03c4\u03ac \u03c4\u03b7 \u03b4\u03b9\u03ac\u03c1\u03ba\u03b5\u03b9\u03b1 \u03c4\u03c9\u03c5 \u03c7\u03c1\u03cc\u03bd\u03bf\u03c5 \u03c0\u03c5 \u03c4\u03bf \u03c6\u03c9\u03c3 \u03c4\u03b1\u03be\u03b9\u03b4\u03b5\u03c5\u03b5\u03b9 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03b7 \u0393\u03b7.

- \u03a0\u03b9\u03c3\u03c4\u03b5\u03c5\u03b5\u03c4\u03b5 \u03cc\u03c4\u03b9 \u03cc\u03bb\u03b1 \u03c4\u03b1 \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9\u03ba\u03b5\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1 \u03c3\u03c4\u03bf \u03c3\u03c5\u03bc\u03c0\u03b1\u03bd \u03bc\u03b5\u03c4\u03b1\u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03b6\u03cc\u03bd\u03c4\u03b1\u03b9 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf \u03b5\u03c1\u03b8\u03c1\u03cc;

\u038c\u03c0\u03b1\u03bd\u03c4\u03b7\u03c3\u03b7: \u039a\u03b1\u03b8\u03c9\u03c3 \u03c4\u03bf \u03c3\u03c5\u03bc\u03c0\u03b1\u03bd \u03b4\u03b9\u03b1\u03c3\u03c4\u03b5\u03bb\u03bb\u03b5\u03c4\u03b1\u03b9, \u03c3\u03bc\u03b7\u03bd\u03b7 \u03b3\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03c9\u03bd \u03ba\u03b1\u03b9 \u03b1\u03bb\u03bb\u03b1 \u03bc\u03b1\u03ba\u03c1\u03b9\u03bd\u03ac \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9\u03ba\u03b5\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1 \u03b1\u03c0\u03bf\u03bc\u03b1\u03ba\u03c1\u03c5\u03bd\u03b8\u03b5\u03b9 \u03c4\u03bf \u03b5\u03bd\u03b1 \u03b1\u03c0\u03cc \u03c4\u03bf \u03b1\u03bb\u03bb\u03bf, \u03b5\u03bc\u03c6\u03b1\u03bd\u03b9\u03b6\u03cc\u03bd\u03c4\u03b1\u03c3 \u03bc\u03b5\u03c4\u03b1\u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03c3\u03b7 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf \u03b5\u03c1\u03b8\u03c1\u03cc. \u039e\u03c3\u03c4\u03cc\u03c3\u03c9, \u03ba\u03cc\u03bd\u03c4\u03b9\u03bd\u03ac \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9\u03ba\u03b5\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1, \u03cc\u03c0\u03c9\u03c3 \u03cc\u03b9 \u03c0\u03bb\u03b1\u03bd\u03b7\u03c4\u03b5\u03c3, \u03b1\u03ba\u03cc\u03bc\u03b7 \u03ba\u03b1\u03b9 \u03cc\u03b9 \u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03ba\u03cc\u03b9 \u03b3\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03c3, \u03b5\u03b9\u03bd\u03b1 \u03b2\u03b1\u03c1\u03c5\u03c4\u03b9\u03ba\u03ac \u03b4\u03b5\u03c3\u03bc\u03b5\u03c5\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1 \u03ba\u03b1\u03b9 \u03b4\u03b5\u03bd \u03b5\u03bc\u03c6\u03b1\u03bd\u03b9\u03b6\u03cc\u03bd\u03c4\u03b1\u03c3 \u03bc\u03b5\u03c4\u03b1\u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03c3\u03b7 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf \u03b5\u03c1\u03b8\u03c1\u03cc \u03c9\u03c3 \u03b1\u03c0\u03cc\u03c4\u03b5\u03bb\u03b5\u03c3\u03bc\u03b1 \u03c4\u03b7\u03c3 \u03b5\u03c0\u03b5\u03ba\u03c4\u03b1\u03c3\u03b7\u03c3 \u03c4\u03c9\u03c5 \u03b3\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03b1. \u038c\u03c4\u03b7\u03bd \u03c0\u03c1\u03b1\u03b3\u03bc\u03b1\u03c4\u03b9\u03ba\u03cc\u03c4\u03b7\u03c4\u03b1, \u03cc \u0393\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03b1\u03c3 \u03bc\u03b1\u03c3 \u03ba\u03b1\u03b9 \u03cc\u03b9 \u03b3\u03b1\u03bb\u03b1\u03be\u03b9\u03c3 \u03c4\u03b7\u03c3 \u038c\u03bd\u03c1\u03cc\u03bc\u03b5\u03b4\u03b1\u03c3 \u03ba\u03b9\u03bd\u03cc\u03bd\u03c5\u03bd\u03c4\u03b1\u03b9 \u03cc \u03b5\u03bd\u03b1\u03c3 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf\u03bd \u03b1\u03bb\u03bb\u03bf.

- \u038c\u03c4\u03b9 \u03b8\u03b1 \u03c0\u03b5\u03c1\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1\u03c4\u03b5 \u03bd\u03b1 \u03b4\u03b5\u03b9\u03c4\u03b5 \u03b1\u03bd \u03c4\u03bf \u03c3\u03c5\u03bc\u03c0\u03b1\u03bd \u03c3\u03c5\u03c3\u03c4\u03b5\u03bb\u03bb\u03b5\u03c4\u03b1\u03b9 \u03b1\u03bd\u03c4\u03b9 \u03bd\u03b1 \u03b4\u03b9\u03b1\u03c3\u03c4\u03b5\u03bb\u03bb\u03b5\u03c4\u03b1\u03b9;

\u038c\u03c0\u03b1\u03bd\u03c4\u03b7\u03c3\u03b7: \u038c\u03b9 \u03bc\u03b1\u03b8\u03b7\u03c4\u03b5\u03c3 \u03b8\u03b1 \u03c0\u03b5\u03c1\u03b9\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1\u03bd \u03bd\u03b1 \u03b4\u03cc\u03bd \u03bc\u03c0\u03bb\u03b5 \u03bc\u03b5\u03c4\u03b1\u03c4\u03cc\u03c0\u03b9\u03c3\u03bc\u03b5\u03bd\u03b1 \u03bc\u03b7\u03ba\u03b7 \u03ba\u03c5\u03bc\u03b1\u03c4\u03cc\u03c3, \u03ba\u03b1\u03b8\u03c9\u03c3 \u03c4\u03bf \u03c6\u03c9\u03c3 \u03c0\u03c5 \u03c4\u03b1\u03be\u03b9\u03b4\u03b5\u03c5\u03b5 \u03c0\u03c1\u03cc\u03c2 \u03c4\u03bf\u03bd \u03c0\u03b1\u03c1\u03b1\u03c4\u03b7\u03c1\u03b7\u03c4\u03b7 \u03c3\u03c4\u03b7 \u0393\u03b7 \u03c3\u03c5\u03bc\u03c0\u03b9\u03b5\u03c3\u03c4\u03b7\u03ba\u03b5 \u03c3\u03b5 \u03bc\u03b9\u03ba\u03c1\u03cc\u03c4\u03b5\u03c1\u03b1 \u03bc\u03b7\u03ba\u03b7 \u03ba\u03c5\u03bc\u03b1\u03c4\u03cc\u03c3 \u03ba\u03b1\u03b8\u03c9\u03c3 \u03cc \u03c7\u03c9\u03c1\u03cc\u03c3 \u03bc\u03b5\u03c3\u03b1 \u03b1\u03c0\u03cc \u03c4\u03bf\u03bd \u03cc\u03c0\u03b9\u03cc \u03c4\u03b1\u03be\u03b9\u03b4\u03b5\u03c5\u03b5 \u03c3\u03c5\u03c1\u03c1\u03b9\u03ba\u03bd\u03c9\u03b8\u03b7\u03ba\u03b5.

\u038c\u03b2\u03b9\u03bb\u03b9\u03cc\u03b3\u03c1\u03b1\u03c6\u03b9\u03b1

NASA Jet Propulsion Laboratory (JPL)

Υπολογίστε τη μετατόπιση προς το ερυθρό

1. Χρησιμοποιήστε την εξίσωση μετατόπισης προς το ερυθρό και τις πληροφορίες από τα φάσματα για το σουπερνόβα iPTF15th παρακάτω για να βρείτε το z για μία από τις φασματικές γραμμές.

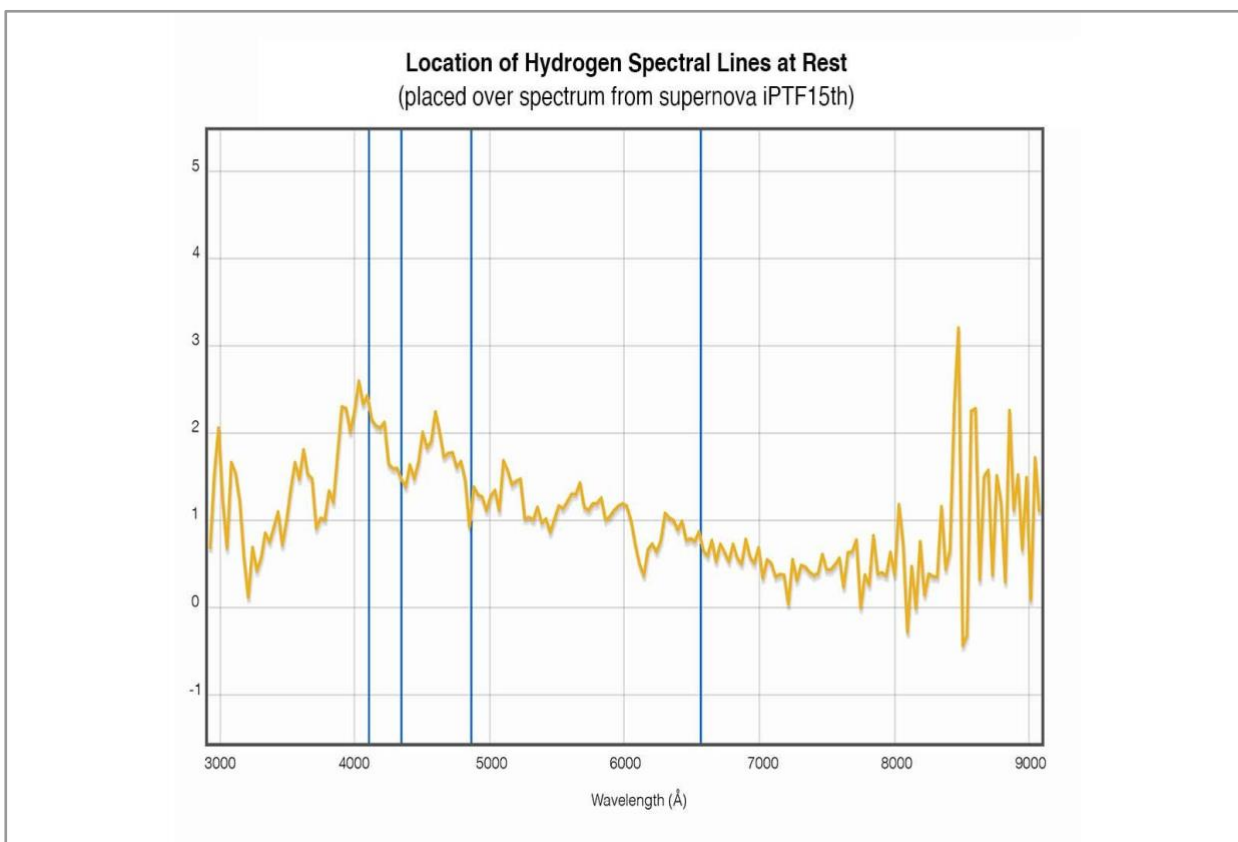
$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$$

z = μετατόπιση προς το ερυθρό

λ_0 = το γνωστό μήκος κύματος ενός στοιχείου που δεν έχει υποστεί μετατόπιση προς το ερυθρό

λ = το παρατηρούμενο μήκος κύματος αυτής της γραμμής εκπομπής

Αυτό είναι το φάσμα του σουπερνόβα iPTF15th. Οι μπλε γραμμές αντιπροσωπεύουν τη θέση των φασματικών γραμμών υδρογόνου σε ηρεμία.

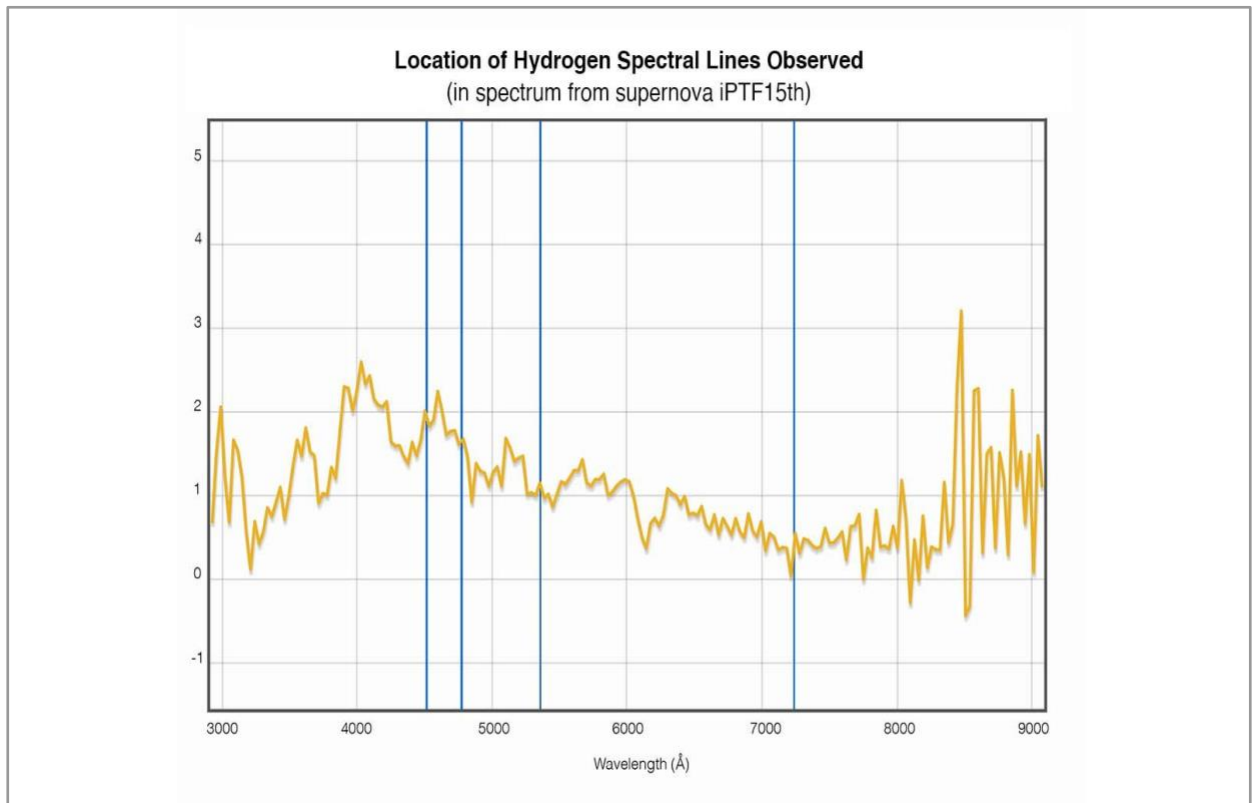


Θέση φασματικών γραμμών υδρογόνου σε ηρεμία:

- **Γραμμή 1:** 410.2 nm

- **Γραμμή 2:** 434.0 nm
- **Γραμμή 3:** 486.1 nm
- **Γραμμή 4:** 656.3 nm

Αυτό είναι το ίδιο φάσμα, αλλά οι μπλε γραμμές βρίσκονται εκεί όπου παρατηρήθηκαν οι φασματικές γραμμές υδρογόνου που μετατοπίστηκαν προς το ερυθρό.



- **Γραμμή 1:** 4511.91 Å
- **Γραμμή 2:** 4773.69 Å
- **Γραμμή 3:** 5347.64 Å
- **Γραμμή 4:** 7219.33 Å

$z =$ _____

Υπολογίστε την ταχύτητα

- Χρησιμοποιήστε την παρακάτω εξίσωση μετατόπισης Doppler για να υπολογίσετε την ταχύτητα του σουπερνόβα iPTF15th μακριά από τη Γη.

$$z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c$$

v = ταχύτητα

c = η ταχύτητα του φωτός στο κενό (3×10^8 m/s)

$v =$ _____

Υπολογίστε την απόσταση

3. Χρησιμοποιήστε το νόμο του Hubble, ο οποίος είναι η παρατήρηση ότι οι γαλαξίες απομακρύνονται από τη Γη με ταχύτητες ανάλογες με την απόστασή τους (d), για να υπολογίσετε την απόσταση από το σουπερνόβα iPTF15th.

$$v = H_0 * d$$

H_0 = σταθερά του Hubble περίπου 70 km/sec/Megaparsec

d = απόσταση από τη Γη

Ένα παρσέκ είναι μια μονάδα απόστασης ίση με περίπου 3,26 έτη φωτός και ένα Megaparsec είναι ίσο με ένα εκατομμύριο παρσέκ.

d = _____