

## Το μακρινό φως των αστεριών μέσα από τη ζωή της Annie Jump Cannon

**Μάθημα:** Φυσική Β Λυκείου Γενικής παιδείας:

Παράγραφος 3.4 Ανάλυση λευκού φωτός και χρώματα

Παράγραφος 4.1 Η ενέργεια του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου

Παράγραφος 4.2 Διακριτές ενεργειακές στάθμες

**Εκπαιδευτικός:** Μαρία Ελευθερίου, Φυσικός

**Εφαρμογή στο σχολείο:** Πρότυπο Γενικό Λύκειο Ηρακλείου

### Περίληψη:

Με το παρόν εκπαιδευτικό σενάριο συνδέουμε το αναλυτικό πρόγραμμα του μαθήματος της Φυσικής Β Λυκείου Γενικής Παιδείας με την Αστροφυσική. Αρχικά οι μαθητές και οι μαθήτριες μελετούν το φάσμα του φωτός με το φασματοσκόπιο του εργαστηρίου. Ανακαλύπτουν ότι πηγές φωτός όπως μια λάμπα πυρακτώσεως ή το αέριο υδρογόνο -όταν διεγερθεί- δίνουν διαφορετικά φάσματα τα οποία είναι συνεχή ή γραμμικά ανάλογα με την κατάσταση της ύλης (στερεά, υγρά ή αέρια). Οι μαθητές και οι μαθήτριες “ταξιδεύουν” πίσω στο χρόνο μέσα από βίντεο που εξιστορεί τη ζωή της Annie Jump Cannon η οποία μπορούσε να κατηγοριοποιεί τρία αστέρια το λεπτό κοιτώντας τα αντίστοιχα φάσματά τους. Οι μαθητές και οι μαθήτριες μπαίνουν στη θέση της A. J. Cannon ταυτοποιώντας τα χημικά στοιχεία που υπάρχουν σε φάσματα άγνωστων αστέρων που τους δίνονται. Στη συνέχεια υπολογίζουν τις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων στο άτομο του υδρογόνου και επιβεβαιώνουν αυτό που παρατήρησαν στο φασματοσκόπιο. Οι μαθητές/τριες μέσα από την πειραματική και βιωματική μάθηση γίνονται πιο ενεργοί και συμμετοχικοί στην εκπαιδευτική διαδικασία. Επιπρόσθετα οι μαθητές και οι μαθήτριες πληροφορούνται για τη ζωή της A. J. Cannon αλλά και για τη θέση των γυναικών επιστημόνων στην κοινωνία της Αμερικής του 1900. Τέλος επιδιώκεται να συνδεθεί το αναλυτικό πρόγραμμα με μια βιωματικού τύπου δραστηριότητα ώστε οι μαθητές και οι μαθήτριες να συνεργαστούν, να επικοινωνήσουν και ταυτόχρονα να εμπνευστούν από το χώρο της Αστροφυσικής.

### Στόχοι μαθήματος- Δεξιότητες μαθητών/τριων:

Οι μαθητές/τριες

- χειρίζονται το φασματοσκόπιο και παρατηρούν τα φάσματα εκπομπής και απορρόφησης
- διακρίνουν τα φάσματα σε συνεχή, γραμμικά καθώς και σε εκπομπής και απορρόφησης
- ταυτοποιούν τα χημικά στοιχεία που περιέχουν άγνωστα φάσματα από αστέρες
- υπολογίζουν τις ενεργειακές μεταβάσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr
- επικοινωνούν, συνεργάζονται, σκέφτονται κριτικά.

### Απαιτούμενα υλικά και χρόνος:

Φασματοσκόπιο, τροφοδοτικό υψηλής τάσης, λυχνία πυρακτώσεως, λυχνίες εκκένωσης υδρογόνου, ήλιου, νέον, διάφορα έγχρωμα φίλτρα, εκτυπωμένα φύλλα εργασίας, διαδραστικός πίνακας (Όλα τα υλικά υπάρχουν στα εργαστήρια των ΓΕΛ). Η υλοποίηση των 3 φύλλων εργασίας μπορεί να πραγματοποιηθεί σε 3 διδακτικές ώρες (3 \*45 λεπτά).

Ακολουθούν τα τρία φύλλα εργασίας. Οι ερωτήσεις στο πρώτο φύλλο εργασίας γίνονται πριν την παρατήρηση με το φασματοσκόπιο ώστε να ξεκινήσει η αντίστοιχη συζήτηση. Έπειτα οι μαθητές/τριες (αφού κάνουν τις παρατηρήσεις τους με το φασματοσκόπιο) απορρίπτουν ή όχι τις αρχικές τους απόψεις.

### **1ο Φύλλο εργασίας: Πειραματική ανίχνευση φασμάτων**

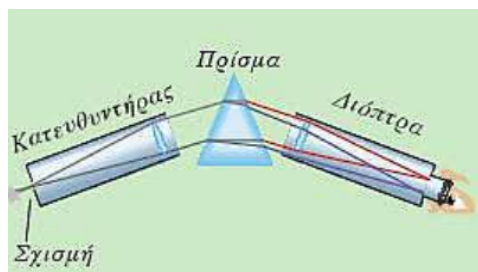
Υλικά: φασματοσκόπιο, τροφοδοτικό υψηλής τάσης, λυχνία πυρακτώσεως, λυχνίες εκκένωσης υδρογόνου, ήλιου, νέον, διάφορα έγχρωμα φίλτρα.

#### Τι είναι το Φασματοσκόπιο:

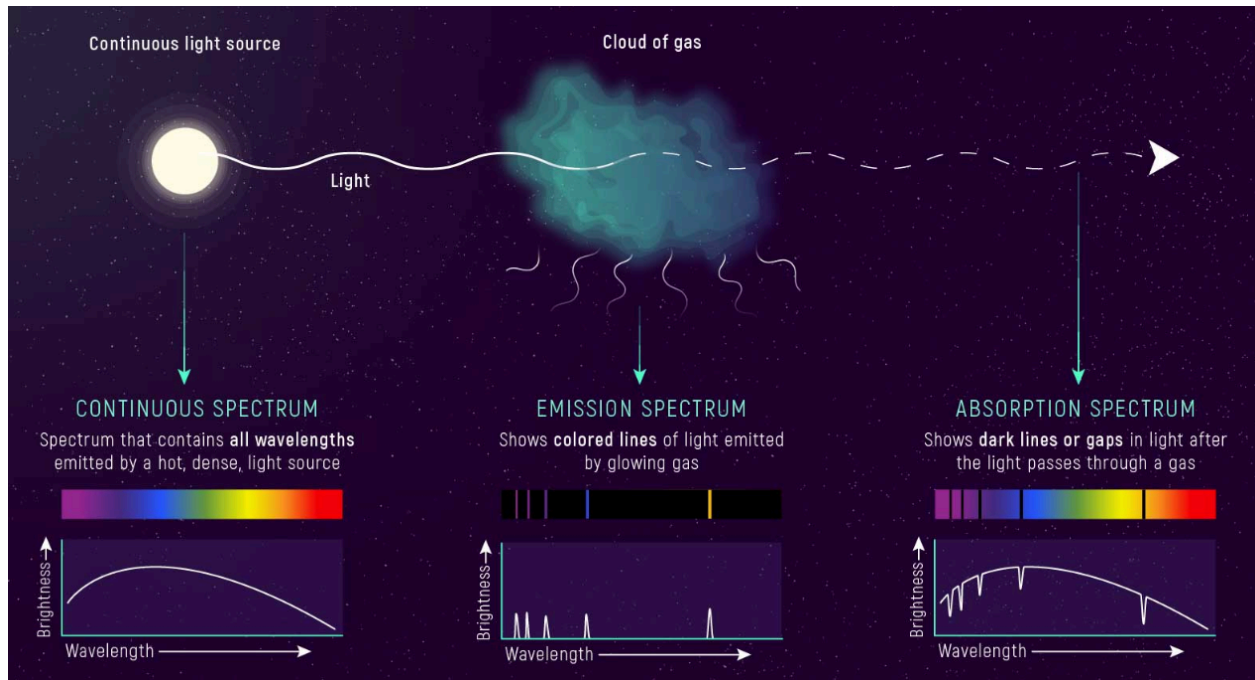
Το φασματοσκόπιο είναι όργανο με το οποίο αναλύεται το φως. Στην Εικόνα 1 αναπαριστάται η αρχή λειτουργίας του φασματοσκοπίου. Διακρίνεται ο κατευθυντήρας, το πρίσμα και η διόπτρα. Το φως με τη βοήθεια του κατευθυντήρα πέφτει στο πρίσμα όπου αναλύεται και τέλος με τη διόπτρα ο παρατηρητής βλέπει το φάσμα της φωτεινής πηγής.

#### Συνεχή ή γραμμικά φάσματα:

Τα στερεά και υγρά σώματα τα οποία βρίσκονται σε υψηλή θερμοκρασία εκπέμπουν συνεχές φάσμα. Τα θερμά αέρια ή ατμοί εκπέμπουν γραμμικό φάσμα δηλαδή διακριτές γραμμές φάσματος.



Εικόνα 1: Αρχή λειτουργίας φασματοσκοπίου, πηγή Σχολικό βιβλίο (Αναφορά 1)



Εικόνα 2: Διάφοροι τύποι φασμάτων: Από το διαδικτυακό τόπο του Webb space telescope (Αναφορά 2)

Φάσματα εκπομπής ή απορρόφησης:

Αν από το φασματοσκόπιο περάσει φως από τον ήλιο ή φως από μια λάμπα πυρακτώσεως θα παρατηρήσουμε το φάσμα εκπομπής της πηγής. Αν βάλουμε μπροστά από την πηγή ένα έγχρωμο φίλτρο (πχ κόκκινο γυαλί) παρατηρούμε συνεχές φάσμα απορρόφησης αφού το φίλτρο θα επιτρέπει να περάσουν τα μήκη κύματος κοντά στην αντίστοιχη περιοχή (πχ στην περιοχή του ερυθρού).

**Ερωτήσεις:**

1. Στην εικόνα 2 διακρίνονται τρία φάσματα. Ποιο από τα τρία φάσματα αντιστοιχεί στο φάσμα εκπομπής φωτός από μία λάμπα;.....
2. Ανοίξτε τον διακόπτη της λάμπας πυρακτώσεως στο τροφοδοτικό. Ανοίξτε τον διακόπτη κλίμακας. Παρατηρήστε με τη βοήθεια του φασματοσκοπίου το φάσμα **εκπομπής** λευκού φωτός από τη λάμπα πυρακτώσεως. (Κλείστε τα στόρια στα παράθυρα και το φως για καλύτερες παρατηρήσεις).
  - α) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι συνεχές ή γραμμικό;.....
  - β) Σε τι μήκη κύματος διακρίνετε το κόκκινο χρώμα;.....
  - γ) Σε τι μήκη κύματος διακρίνετε το μπλε χρώμα;.....
  - δ) Σε τι μήκη κύματος διακρίνετε το πράσινο χρώμα;.....

3. Τοποθετήστε ένα έγχρωμο φίλτρο μεταξύ της λάμπας πυρακτώσεως και του φασματοσκοπίου. Το χρώμα του φίλτρου είναι.....
- α) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι συνεχές ή γραμμικό;.....
- β) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι φάσμα εκπομπής ή απορρόφησης;.....
- γ) Ποια περιοχή μηκών κύματος απορροφά το φίλτρο;.....
4. Κλείστε τη λάμπα πυρακτώσεως. Με τη βοήθεια του/της εκπαιδευτικού τοποθετήστε στην ειδική θέση του τροφοδοτικού λυχνίες αερίων, πχ ξεκινήστε με τη λυχνία νέον (Ne). Ανοίξτε τον διακόπτη του τροφοδοτικού υψηλής τάσης. Τι χρώμα παρατηρείτε (χωρίς το φασματοσκόπιο) στη λυχνία νέον;.....
- α) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι συνεχές ή γραμμικό;.....
- β) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι φάσμα εκπομπής ή απορρόφησης;.....
- γ) Γράψτε τα μήκη κύματος που βλέπετε.....
- δ) Συγκρίνετε τα χρώματα που βλέπετε στο φασματοσκόπιο με την Εικόνα 3. Τι παρατηρείτε;.....
- ε) Τοποθετήστε άλλη λυχνία πχ την λυχνία Υδρογόνου με τη βοήθεια του/της εκπαιδευτικού. Γράψτε τα μήκη κύματος που βλέπετε.....



Εικόνα 3: Φάσμα εκπομπής αερίου Νέον.

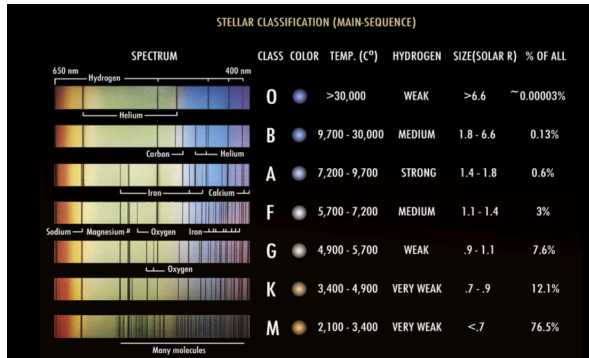
5. Τοποθετήστε ανάμεσα στη φωτεινή πηγή (πχ λάμπα πυρακτώσεως) και του φασματοσκοπίου τη λυχνία αερίου πχ του Νατρίου.
- α) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι συνεχές ή γραμμικό;.....
- β) Το φάσμα που παρατηρείτε είναι φάσμα εκπομπής ή απορρόφησης;.....
- γ) Γράψτε τα μήκη κύματος που βλέπετε να λείπουν.....
- δ) Συγκρίνετε με την εικόνα 4. Τι παρατηρείτε;.....



Εικόνα 4: Φάσμα απορρόφησης αερίου Νατρίου.

## 2ο Φύλλο εργασίας: A.J. Cannon και κατηγοριοποίηση αστέρων

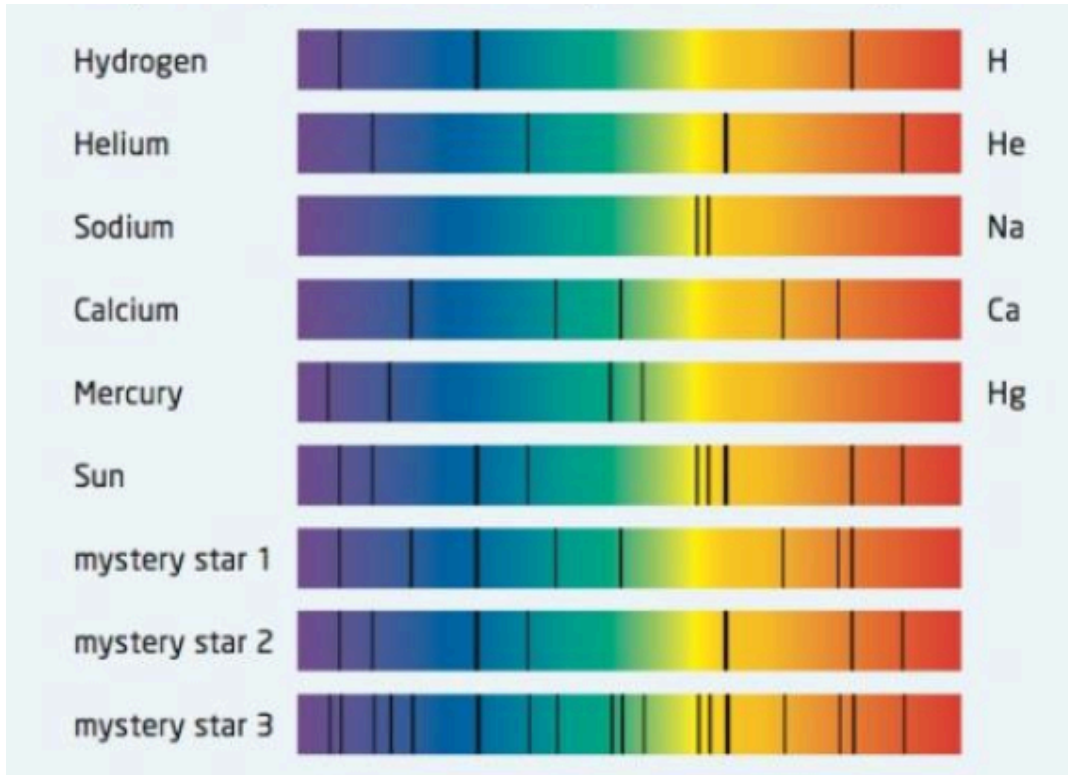
Παρακολουθήστε το βίντεο της Αναφοράς 3 και απαντήστε στις παρακάτω ερωτήσεις:



Εικόνα 5: Η κατηγοριοποίηση Harvard της A. J. Cannon, πηγή Wikipedia: Αναφορά 4

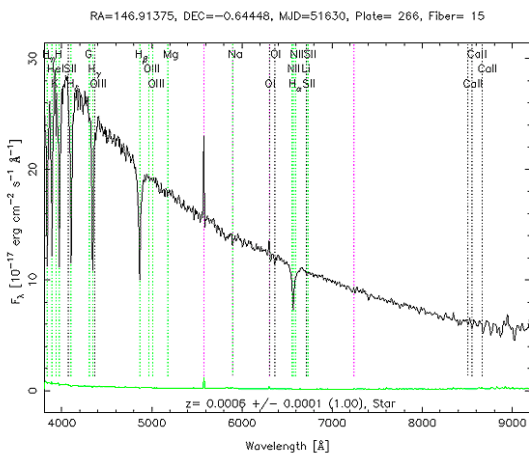
### Ερωτήσεις:

1. Ποιοι/ες ήταν οι “υπολογιστές” του Harvard;.....
2. Αναφέρετε τρεις σημαντικές γυναίκες που εργάστηκαν ως “υπολογιστές” του Harvard.....
3. Σε ποιο τομέα δούλεψε η A. J. Cannon;.....
4. Ποιος/ποια βοήθησε ώστε να κατανοήσει η επιστημονική κοινότητα ότι τα φάσματα αυτά έδειχναν τη θερμοκρασία των αστέρων;.....
5. Πώς πιστεύετε σήμερα γίνεται η ταυτοποίηση των φασμάτων εκπομπής των αστέρων;....  
.....
6. Πιστεύετε ότι ήταν εύκολη η θέση της γυναίκας στην κοινωνία της Αμερικής του 1900;.....
7. Βρείτε με τη βοήθεια των φασμάτων εκπομπής των He, Na, Ca, Hg και H της παρακάτω εικόνας, ποια χημικά στοιχεία υπάρχουν στην ατμοσφαιρα του ήλιου μας καθώς και στα τρία άγνωστα αστέρια. Γράψτε δίπλα στα φάσματα την απάντησή σας.
8. Ποιο χημικό στοιχείο υπάρχει σε όλα τα φάσματα; .....



Εικόνα 6: Αναλυτικό πρόγραμμα Καναδά, πηγή: McGraw-Hill Ryerson on science 9- Student textbook: supports the Ontario Ministry of Education course: Science, Grade 9, Academic (SNC1D).

9. Με βάση τον Πίνακα 1 βρείτε από ποια χημικά στοιχεία αποτελείται η ατμόσφαιρα του αστεριού στο φάσμα απορρόφησης που απεικονίζεται στην Εικόνα 7; (Γράψτε πρώτα τα μήκη κύματος απορρόφησης).....  
 .....



Εικόνα 7: Φάσμα απορρόφησης από αστέρα από τον ιστότοπο <https://voyages.sdss.org/expeditions/expedition-to-the-milky-way/spectral-types/absorption-and-emission-lines/>

Χημικό στοιχείο	Μήκος κύματος σε Angstrom
Υδρογόνο	6600, 4800, 4350
Ήλιο	4200
Ιονισμένο ήλιο	4400
Νάτριο	5800
Ιονισμένο ασβέστιο	3800-4000

Πίνακας 1: Χημικά στοιχεία και σε ποιο μήκος κύματος απορροφούν ενέργεια.

10. Σε ποια κατηγορία ανήκει ο παραπάνω αστέρας; (Συμβουλευτείτε τον Πίνακα 2).....

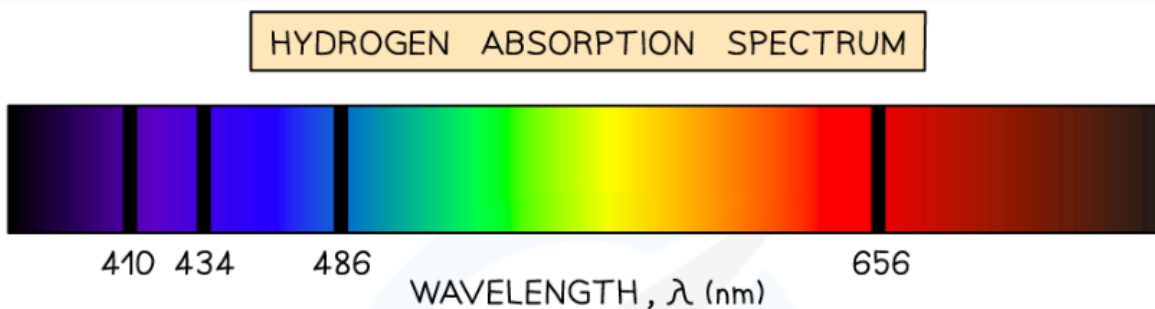
Φασματικός τύπος	Θερμοκρασία (Kelvin)	Φασματικές γραμμές
O	28,000 – 50,000	ιονισμένο ήλιο
B	10,000 – 28,000	ήλιο, υδρογόνο
A	7500 – 10,000	ισχυρό υδρογόνο, μερικά ιονισμένα στοιχεία
F	6000 – 7500	υδρογόνο, ιονισμένο ασβέστιο και σίδηρος
G	5000 – 6000	ουδέτερα και ιονισμένα μέταλλα κυρίως ασβέστιο
K	3500 – 5000	ουδέτερα μέταλλα, νάτριο
M	2500 – 3500	οξείδιο του τιτανίου, νάτριο

Πίνακας 2: Φασματικοί τύποι αστέρων συναρτήσει της θερμοκρασίας τους και των χημικών στοιχείων που διαθέτουν.

11. Εργασία για το σπίτι: Επισκεφθείτε τον ιστότοπο <https://voyages.sdss.org/expeditions/expedition-to-the-milky-way/spectral-types/identifying-the-spectral-types-of-stars/>, ταυτοποιήστε περισσότερους αστέρες και γράψτε τα αποτελεσμάτά σας εδώ.....

**3ο φύλλο εργασίας: Υπολογισμός ενεργειακών μεταβάσεων του ηλεκτρονίου**

Αν υποθέσουμε ότι παρατηρούμε κάποιο αστέρι το οποίο έχει ατμόσφαιρα με υδρογόνο θα πάρουμε ένα συνεχές φάσμα όπως στην Εικόνα 7 και επιπρόσθετα κάποια μήκη κύματος θα λείπουν (μαύρες γραμμές). Στο φάσμα απορρόφησης του υδρογόνου μπορούμε να διακρίνουμε να λείπουν 4 γραμμές στα μήκη κύματος 410 nm (ιώδες), 434 nm (μπλε) , 486 nm (μπλε-πράσινο) και 656 nm (κόκκινο) αντίστοιχα (Εικόνα 7). Κάτι τέτοιο θα βλέπαμε σε αστέρα τύπου A ο οποίος είναι πλούσιος σε υδρογόνο (Εικόνα 5).



Εικόνα 7: το φάσμα απορρόφησης του υδρογόνου ή ανοίξτε την προσομοίωση της Αναφοράς 5.

Συζήτηση: Σε ποιες μεταβάσεις του ηλεκτρονίου πιστεύετε ότι αντιστοιχούν αυτά τα μήκη κύματος σύμφωνα με το πρότυπο του Bohr;.....

Ας υπολογίσουμε!

1. Ποιο είναι το μήκος κύματος του φωτονίου απορρόφησης αν πραγματοποιούνται οι παρακάτω μεταβάσεις; Συμπληρώστε τον πίνακα 3 ( $E_{\text{αρχική}} + hf = E_{\text{τελική}}$ ).

Μετάβαση	$\Delta E(\text{eV})$	$\lambda = hc/\Delta E$ (nm)
Από τη στάθμη 2 στη στάθμη 6		
Από τη στάθμη 2 στη στάθμη 5		
Από τη στάθμη 2 στη στάθμη 4		
Από τη στάθμη 2 στη στάθμη 3		

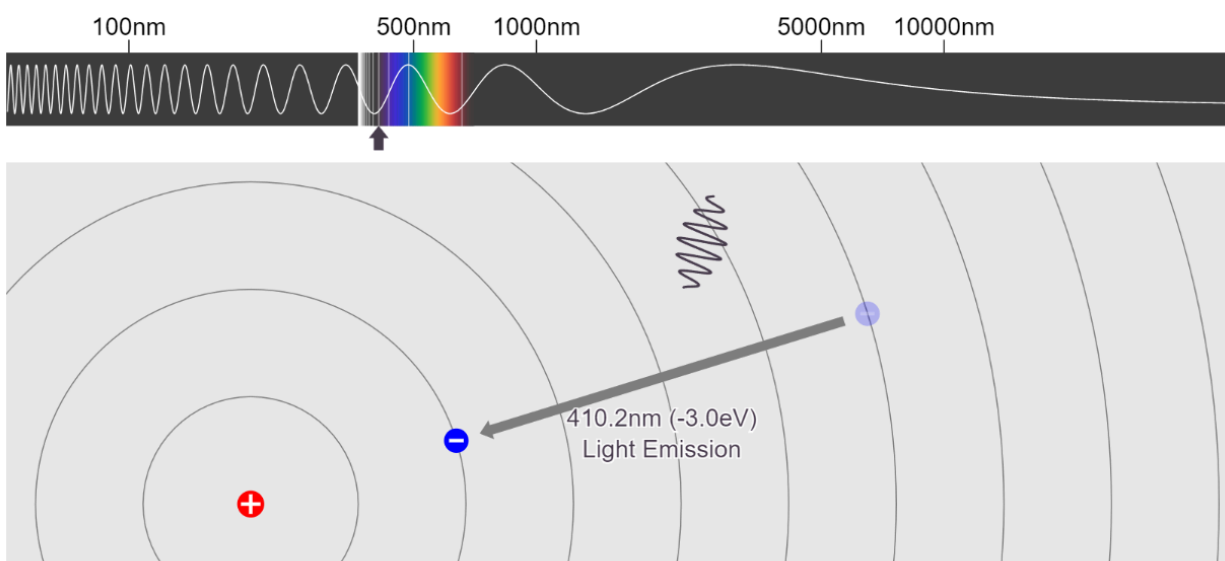
Πίνακας 3

2. Σχεδιάστε τις ενεργειακές στάθμες και τις μεταβάσεις ως βελάκια από την αρχική στάθμη μέχρι την τελική στάθμη.



3. Ανοίξτε την προσομοίωση [https://javalab.org/en/spectrum\\_of\\_hydrogen\\_en/](https://javalab.org/en/spectrum_of_hydrogen_en/) και επαληθεύστε τα αποτελέσματα του Πίνακα 3. (Εικόνα 8)

## Spectrum of Hydrogen Atom



Εικόνα 8: Προσομοίωση για το άτομο του υδρογόνου [https://javalab.org/en/spectrum\\_of\\_hydrogen\\_en.](https://javalab.org/en/spectrum_of_hydrogen_en.)

4. Εργασία για το σπίτι: Εμπνευστείτε από το <https://www.scienceinschool.org/article/2016/what-are-stars-made/> (Αναφορά 6) και φτιάξτε το δικό σας φασματοσκόπιο. Έπειτα χρησιμοποιήστε το ώστε να δείτε το φάσμα μιας λάμπας led, ακτίνων ήλιου και του φακού του κινητού σας τηλεφώνου.

### Βιβλιογραφία:

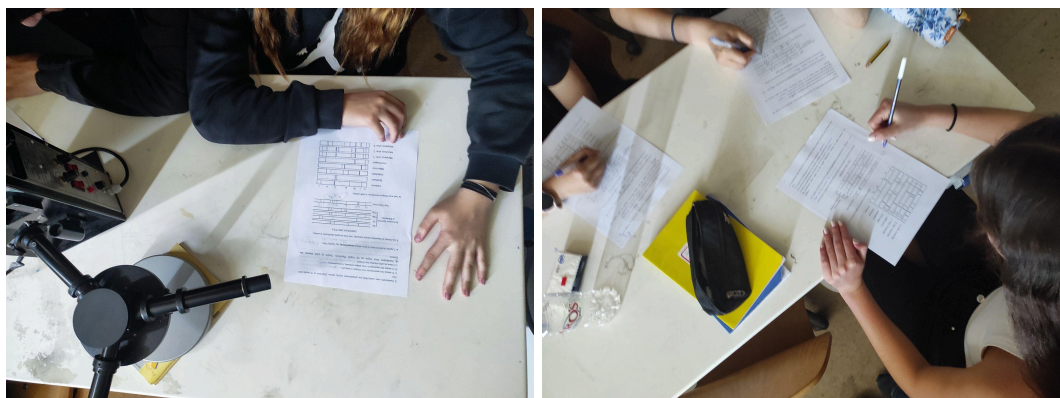
1. Βιβλίο Φυσικής Β Λυκείου Γενικής παιδείας, ΙΤΥΕ: [http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2682/Fysiki\\_B-Lykeiou-GP\\_html-empl/](http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2682/Fysiki_B-Lykeiou-GP_html-empl/)
2. Ιστοσελίδα Webb telescope: <https://webbtelescope.org/contents/articles/spectroscopy-101--types-of-spectra-and-spectroscopy>
3. Youtube κανάλι PhysicsPeer, βίντεο για τη ζωή της A. J. Cannon: [Stellar Spectroscopy | Astrophysics History | Women in Astrophysics](#)

4. Κατηγοριοποίηση φασμάτων: [https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar\\_classification](https://en.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification)
5. Foothill college, astro-sims: [Spectroscopy Demonstrator](#)
6. Φασματοσκόπιο με απλά υλικά:  
<https://www.scienceinschool.org/article/2016/what-are-stars-made/>

## Έκθεση αποτελεσμάτων-συμπερασμάτων

Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικές φωτογραφίες και εργασίες των μαθητών καθώς και τα συμπεράσματα της εφαρμογής αυτής.

### 1. Φωτογραφίες από την εφαρμογή στην τάξη:



### 2. Ενδεικτικές εργασίες που έκαναν μαθητές/τριες για το θέμα:

α) Bohr: [https://docs.google.com/presentation/d/1Y-N3TZHIG3MmFUn0AKWK5WNVbjQg1RRSQY4G49VAEwA/edit#slide=id.g2d04baaa7e3\\_0\\_168](https://docs.google.com/presentation/d/1Y-N3TZHIG3MmFUn0AKWK5WNVbjQg1RRSQY4G49VAEwA/edit#slide=id.g2d04baaa7e3_0_168)

β) Διάθλαση φωτός-πρίσμα:

<https://onedrive.live.com/edit?id=1D72B4E0570226ED!355&resid=1D72B4E0570226ED!355&it hint=file%2Cpplx&authkey=!ANpmDTQzIQtENVl&wdo=2&cid=1d72b4e0570226ed>

### 3. Συμπεράσματα:

Μέσα σε 3 διδακτικές ώρες οι μαθητές και οι μαθήτριές μας παρατήρησαν φάσματα από φωτεινές πηγές και υπολόγισαν με τη βοήθεια της θεωρίας του Bohr τις ενεργειακές μεταβάσεις του ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου κάνοντας απλές πράξεις. Πολύ σημαντική πτυχή του παρόντος διδακτικού σεναρίου είναι ότι δίνεται η ευκαιρία στους μαθητές και στις μαθήτριές μας να πληροφορηθούν για το πως εργάστηκε η A. J. Cannon ως “υπολογιστής”. Οι γυναίκες “υπολογιστές” είναι κάτι το οποίο δεν είναι γνωστό στη μαθητική κοινότητα των Ελληνικών σχολείων και αξίζει να σημειωθεί και να συζητηθεί στην τάξη. Οι γυναίκες αυτές λάμβαναν μικρή αμοιβή αλλά είχαν την ικανότητα να κάνουν γρήγορα και αποτελεσματικά σύνθετους υπολογισμούς και να ταξινομούν μεγάλο όγκο επιστημονικών δεδομένων. Πολλές από τις γυναίκες αυτές εξελίχθηκαν σε κορυφαίες αστρονόμους. Στη συνέχεια οι μαθητές/τριες “μπαίνουν” στη θέση της A. J. Cannon και ως ερευνητές ψάχνουν σε φάσματα απορρόφησης

αστέρων ποια χημικά στοιχεία υπάρχουν στην ατμόσφαιρά τους. Οι μαθητές/τριες μπορούν να αισθανθούν την ικανοποίηση που νιώθουν και οι επιστήμονες αφού τα πειραματικά τους αποτελέσματα (παρατηρήσεις από το φασματοσκόπιο) επιβεβαιώνουν την θεωρία του Bohr για το άτομο του υδρογόνου αλλά μπορούν επίσης να “προβλέψουν” από τα φάσματα που τους δίνονται ποια χημικά στοιχεία έχει ένας αστέρας.

Με αυτό το διδακτικό σενάριο το αναλυτικό πρόγραμμα γίνεται πιο ενδιαφέρον και πιο ουσιαστικό αφού επιτυγχάνεται να διδάσκεται μέσα από τον κόσμο της Αστροφυσικής ο οποίος έλκει τους μαθητές και τις μαθήτριες μας και αξίζει να ασχοληθούμε προς όφελος τους.