

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΟΡΜΟΥ Ι  
Τμήμα Φυσικής, ΕΚΠΑ

---

Άσκηση Αστροφυσικής 1 - Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΩΝ ΑΣΤΕΡΩΝ  
Ήλιος - Ηλιακή Σταθερά – Ηλιακό Φάσμα

---

Καλλιόπη Δασύρα



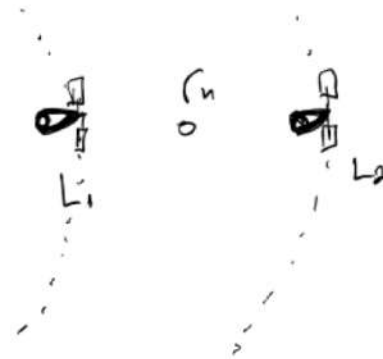
## **Πρώτη άσκηση εργαστηρίου αστροφυσικής – στόχοι**

1. Εισαγωγή σε βασικούς ορισμούς (παρατηρήσιμων) ποσοτήτων
2. Εισαγωγή στην έννοια του μέλανος σώματος και (παρατηρήσιμων) ποσοτήτων του
3. Εισαγωγή στη φασματοσκοπία (κατανόησης της εκπομπής ανά μήκος κύματος, παρατήρηση φασματικών γραμμών σε γνωστά μήκη κύματος)
4. Βαθμονόμηση φασμάτων για την εξεύρεση των παραπάνω πληροφοριών.

Θα πάρουμε φάσματα, θα τα βαθμονομήσουμε όπου απαιτείται και θα βγάλουμε φυσικές πληροφορίες για τη θερμοκρασία του Ηλίου και για τη σύστασή του.

## Βασικοί ορισμοί :

H<sub>2</sub>O  
\*



Ανιχνεύει ο δορυφόρος  
ιδία ποή από τον Ήλιο.

$$\text{ποή - flux} = \frac{\eta}{t \cdot S}$$

Ποή μπορεί να αναφέρεται σε αριθμό  $\eta$  (σωμάτων ή φωτονίων)  
αλλά και ποή τμήμα σωμάτων ή ποή ενεργειακά φωτονίων. Συνήθως

$$f = \frac{E}{t \cdot S} \quad \text{Η ποσότητα } \frac{E}{t} \text{ είναι εσωτερικά φέγεται ως ηηής ακτινοβολίας}$$

- δειν εξαρτάται από τη θέση του παρατηρητή.  $\rightarrow$  luminosity

$$L = \frac{E}{t} \quad (\text{λαμπρότητα, } L_{\odot} = \text{λαμπρότητα του Ήλιου μας})$$

$$f = \frac{L}{4\pi R^2}, \quad \text{όπου } R = \text{απόσταση ηηής ακτινοβολίας από το δειν}$$

Ανάλογα με τη φύση της ηηής, δηλ ποιος νόμος περιγράφει την ενεργειακή  
κατανομή συνάρτηση της συχνότητας, φτράντε να βάλουμε νόμο στο  $\Gamma$ .

(σε όρα να προβλέψουμε τόσο την λαμπρότητα από συχνότητα, αλλά και  
τη ποή να θα ανιχνεύει ένας παρατηρητής ανάλογα με τη θέση του

Για αστερία :  $L$  από το νόμο του Planck

## Μέλαν Σώμα (υπενθύμιση από οδηγό εργαστηρίου):

- Μέλαν σώμα: σώμα που απορροφά φωτόνια, θερμαίνεται ομοιόμορφα θερμοκρασία  $T$ , εκπέμπει και βρίσκεται σε θερμοδυναμική ισορροπία με το πεδίο ακτινοβολίας του.
- Τα αστέρια σε πρώτη προσέγγιση μπορούν να θεωρηθούν μελανά σώματα, εφόσον το εσωτερικό του αστέρα είναι σχεδόν αδιάφανες (απορροφά) τα φωτόνια που παράγονται στο εσωτερικό του.
- Εκπέμπονται φωτόνια με φασματική κατανομή ανά συχνότητα  $\nu$  ή μήκος κύματος  $\lambda$  που δίνεται από το νομό του Planck

### Συνάρτηση Planck:

Ειδική ένταση ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη μονάδα επιφάνειας μέλανος σώματος θερμοκρασίας  $T$

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

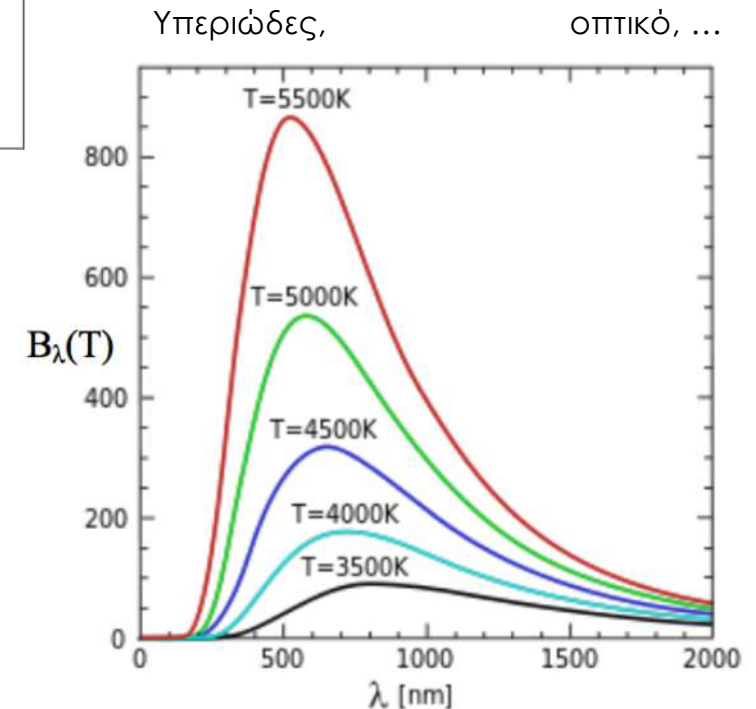
ή  $(W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1} \cdot sr^{-1})$

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$  (σταθερά του Planck)

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

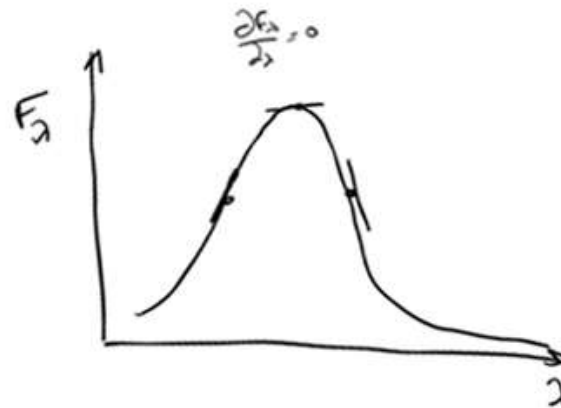
$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$  (σταθερά του Boltzmann)



## Μέλαν Σώμα:

Από τον νομό του Planck, μπορούν να διεξαχθούν 2 ακόμα νόμοι:

1) Ο νόμος του Wien, παίρνοντας την παράγωγο του νόμου του Planck και θέτοντας την ίση με το μηδέν, για να δούμε πού αλλάζει η κλίση από θετική σε αρνητική, κι άρα που είναι το μέγιστο!



### Νόμος του Wien

Η συνάρτηση του Planck έχει μέγιστο για  $\lambda = \lambda_{\max}$  που είναι αντιστρόφως ανάλογο της  $T$

$$\lambda_{\max} T = hc / 5k = 2.8978 \times 10^{-3} m.K$$

Από την **κορυφή** και μόνο της φασματικής καμπύλης βρίσκουμε τη **θερμοκρασία** του μέλανος σώματος

## Μέλαν Σώμα:

Από τον νομό του Planck, μπορούν να διεξαχθούν 2 ακόμα νόμοι:

2) Ο νόμος Stefan-Boltzmann: Δίνει τη ροή από την επιφάνεια του μέλανος σώματος και προκύπτει από την ολοκλήρωση του νόμου του Planck στις στερέες γωνίες και στις συχνότητες (ή μήκη κύματος). Δίνει λοιπόν συνολική, όχι μονοχρωματική ροή.

<b>Νόμος Stefan-Boltzmann</b> Δίνει την επιφανειακή ροή του αστέρα	$F(T) = \sigma T^4 \quad (W \ m^{-2})$ $\sigma = 5.6705 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ ( $\sigma$ : σταθερά Stefan-Boltzmann)
---	--

Αν: διαίρεση ενέργειας, άρα και L

$$L = F(r_*) \cdot 4\pi r_*^2 = F(R) \cdot 4\pi R^2$$

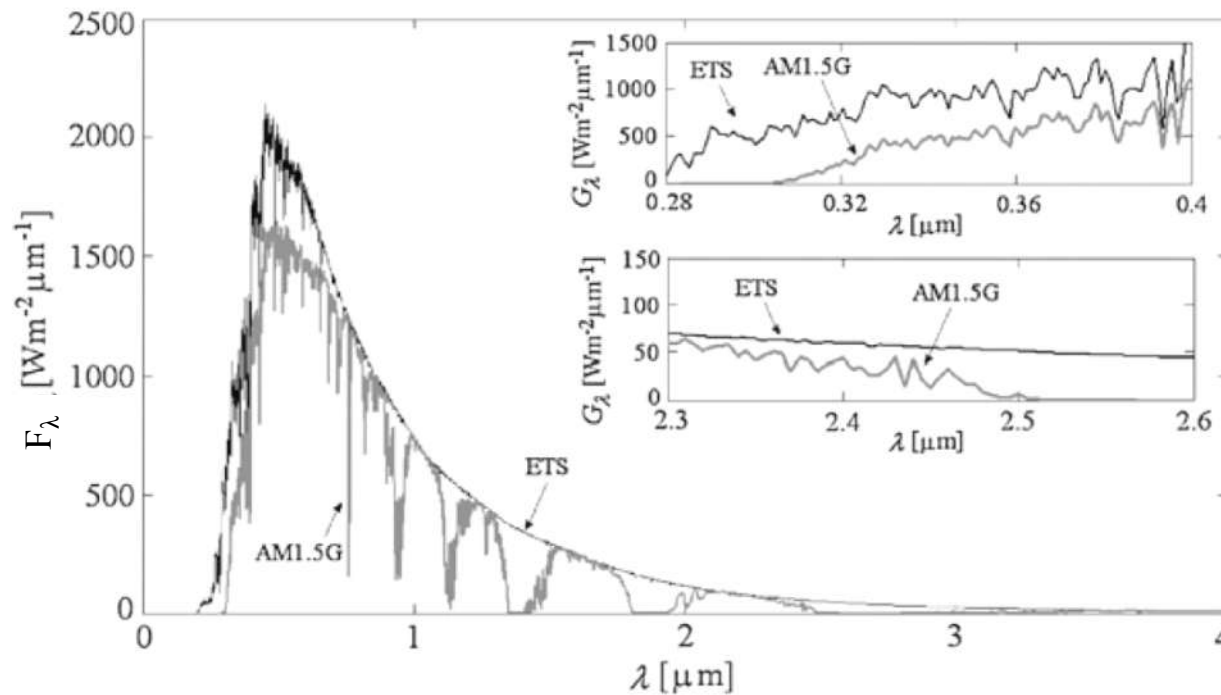
$$\Rightarrow F(R) = \frac{F(r_*) \cdot r_*^2}{R^2} \Rightarrow F(R) = \sigma T^4 \cdot \frac{r_*^2}{R^2}$$

Αν, λοιπόν μετρήσουμε τη θερμοκρασία του Ηλίου μας, ξέρουμε την ακτίνα του (700.000km) και την απόσταση στην οποία θα τοποθετήσουμε το δέκτη μας (πχ., Ηλίου – ατμόσφαιρα Γης), γνωρίζουμε ακριβώς το θεωρητικό μοντέλο τη ροής που θέλουμε να μετρήσουμε!

## Φασματοσκοπία:

Για να δούμε την εκπομπή ανά συχνότητα ή μήκος κύματος ενός μέλανος σώματος, χρειαζόμαστε έναν φασματογράφο (π.χ., πρίσμα).

Παράδειγμα φάσματος Ηλίου εντός κι εκτός ατμοσφαιράς της Γης:  
Παρατηρήστε τις μονάδες ( $\text{erg/s/m}^2/\mu\text{m}$  ή ανά Hz)

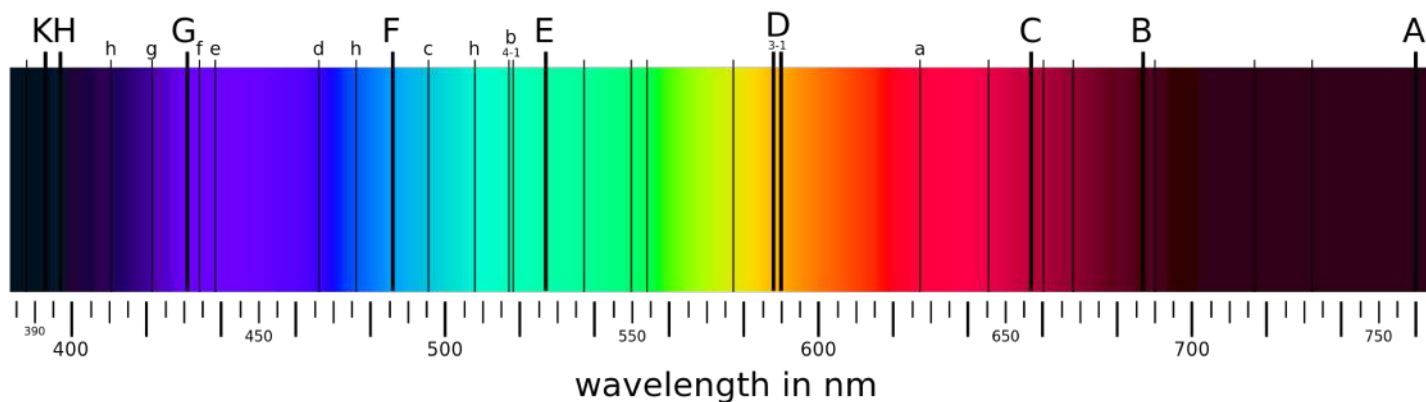
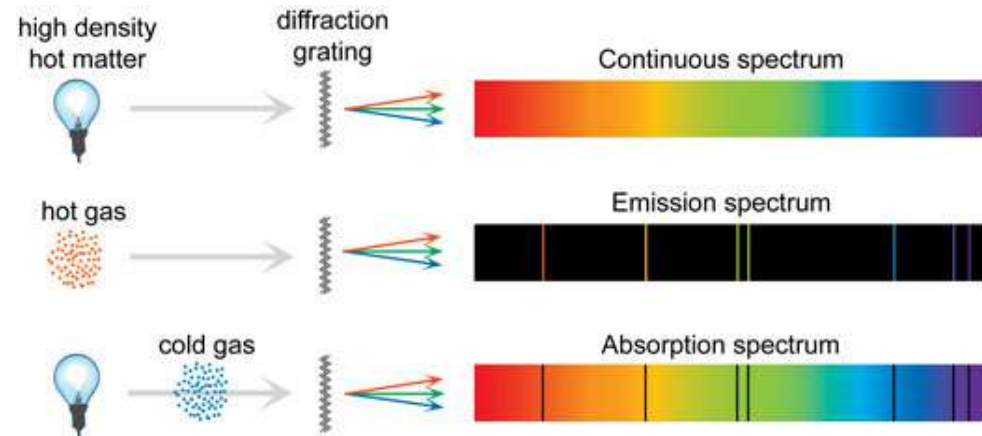


**Fig. 2.1** Extraterrestrial solar spectrum (ETS) and terrestrial standard solar spectrum AM1.5G. Details of ultraviolet and infrared spectral domains are presented inset  $F_\lambda$  is the extraterrestrial spectral flux density and  $\lambda$  is the photon wavelength

## Φασματοσκοπία:

Τώρα παρατηρήστε τις αλλαγές εντός κι εκτός ατμόσφαιρας στο σχήμα λόγω **απορρόφησης**!

Πέραν της συνεχούς απορρόφησης λόγω σκόνης, υπάρχει απορρόφηση σε συγκεκριμένα μήκη κύματος από αέριο, με διακριτές, κβαντισμένες ενεργειακές στάθμες κι άρα μεταβάσεις ανάμεσα σε αυτές. Αν βρεθεί αέριο μπροστά από μια πιο θερμή, λαμπρή πηγή, θα απορροφήσει ακτινοβολία. Θα χαθεί σήμα από την ευθεία παρατήρησης, π.χ., γιατί το αέριο θα την σκεδάσει σε όλες τις γωνίες.





## Φασματοσκοπία:

Επειδή γνωρίζουμε την ενέργεια για ηλεκτρονικές στάθμες διέγερσης ατόμων ή ακόμα και περιστροφής/ταλάντωσης πυρήνων μορίων, μπορούμε να υπολογίσουμε σε ποιο λ περιμένουμε ποια φασματική γραμμή ποιανού στοιχείου.

Σας δίνεται σχετικός πίνακας για να αναγνωρίσετε τα στοιχεία που βλέπετε στο φάσμα. Άπαξ και τα αναγνωρίσετε, καλείστε να υποθέσετε την προέλευσή τους!

**Πίνακας 1.8:** Βασικές γραμμές απορρόφησης Fraunhofer στο ηλιακό φάσμα

$\lambda(\text{nm})$	όνομα	στοιχείο	$\lambda(\text{nm})$	όνομα	στοιχείο
299.444	t	Ni I	516.733	b <sub>4</sub>	Mg I
302.108	T	Fe I	516.891	b <sub>3</sub>	Fe I
336.112	P	Ti II	517.270	b <sub>2</sub>	Mg I
358.121	N	Fe I	518.362	b <sub>1</sub>	Mg I
382.044	L	Fe I	527.039	E <sub>2</sub>	Fe I
393.368	K	Ca II	546.073	e	Hg I
396.847	H	Ca II	587.562	D <sub>3</sub> ή d	He I
410.175	h	H I (H $\delta$ )	588.995	D <sub>2</sub>	Na I
430.774	G	Ca I	589.592	D <sub>1</sub>	Na I
430.790	G	Fe I	627.661	a	O <sub>2</sub>
434.047	G'	H I (H $\gamma$ )	656.281	C	H I (H $\alpha$ )
438.355	e	Fe I	686.719	B	O <sub>2</sub>
466.814	d	Fe I	759.370	A	O <sub>2</sub>
486.134	F	H I (H $\beta$ )	822.696	Z	O <sub>2</sub>
495.761	c	Fe I	898.765	y	O <sub>2</sub>

\* Το σύμβολο «I» που ακολουθεί το στοιχείο υποδηλώνει ουδέτερο άτομο, το σύμβολο «II» απλά ιονισμένο άτομο, κ.ο.κ.

## Προσοχή – Βαθμονόμηση Οργάνου:

Το φάσμα στην προηγούμενη διαφάνεια είναι ήδη βαθμονομημένο!!! Το ίδιο ισχύει για το φάσμα που σας δίνεται έτοιμο για να μετρήσετε τη θερμοκρασία του Ηλίου και την Ηλιακή σταθερά. Είναι όμως σχετικά χαμηλής ανάλυσης, και δεν φαίνονται οι γραμμές απορρόφησης καλά!!!

Έστω, λοιπόν, ότι δε βρέθηκε στη βιβλιογραφία και χρειάστηκε να αποκτήσουμε ένα νέο φάσμα υψηλότερης ανάλυσης με δικό μας φασματογράφο!

Τι θα βλέπαμε στο φάσμα στους άξονες  $x$  και  $y$ ; Στον  $x$  θα βλέπαμε τον αριθμό του pixel της κάμερας ενώ στον  $y$  θα βλέπαμε αριθμό ηλεκτρονίων που προσμετρήθηκαν στα ηλεκτρονικά μας!

Πώς γίνεται η **βαθμονόμηση**;

- Για τον  $y$  άξονα, κοιτάμε αστέρι γνωστής, σταθερής ροής (π.χ., Vega) και αντιστοιχούμε τον αριθμό  $e^-$  σε ροή (γίνεται και μέσω μεγεθών) – δεν χρειάζεται να γίνει για το παρών εργαστήριο
- Για τον  $x$  άξονα, χρειαζόμαστε πηγή η οποία να εκπέμπει διακριτά(!) στα μήκη κύματος που μας ενδιαφέρουν. Άρα, πάλι αέριο, π.χ., λάμπες μέσα στο θόλο του τηλεσκοπίου: Ne, Xe, He, Ar (ή συνδυασμούς αυτών!)

## Προσοχή – Βαθμονόμηση Οργάνου:

Π.χ., λάμπα στοιχείου He – προσοχή! Το στοιχείο αυτό ονομάζεται έτσι επειδή το He παράγεται από σύντηξη H στον Ήλιο. Προφανώς όμως, τοπικά βρίσκεται μέσα στο θόλο από τη λάμπα...



Σχ. 1.12α Το φάσμα εκπομπής του ατομικού στοιχείου ηλίου (He).

