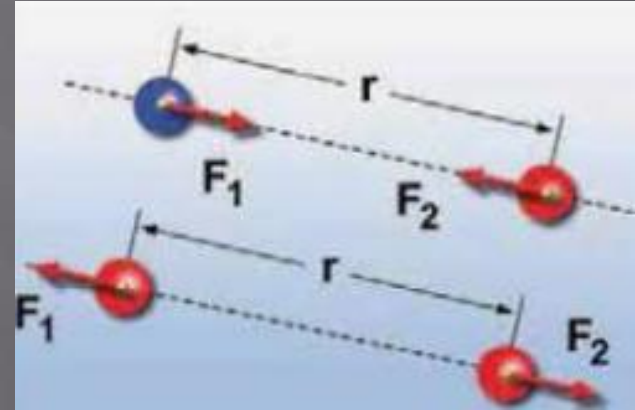
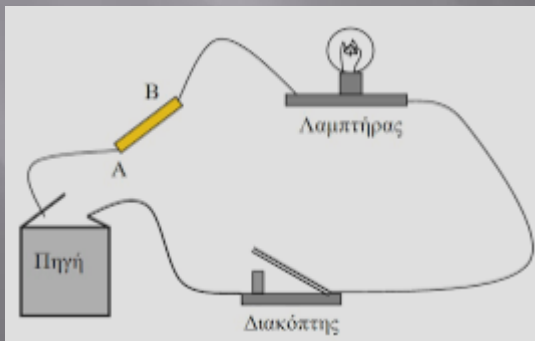


# ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ



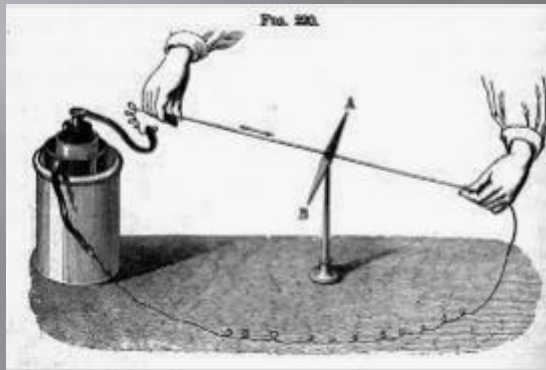
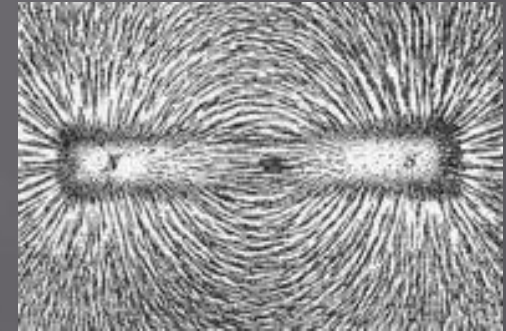
ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ : Υπάρχουν δυο είδη φορτίων στη φύση, το θετικό (+) και το αρνητικό (-). Για κάθε φορτίο ισχύει  $Q = \pm N |e|$  Τα ομόσημα απωθούνται και τα ετερόσημα έλκονται. Για σημειακά φορτία ισχύει ο νόμος του Coulomb...



...ηλεκτρικό πεδίο (μορφή, ένταση, δυναμικό), ηλεκτρικές πηγές, ηλεκτρικό ρεύμα και κατ' επέκταση ηλεκτρική ενέργεια, που μας φωτίζει, μας θερμαίνει, κινεί ηλεκτρικές μηχανές, ...

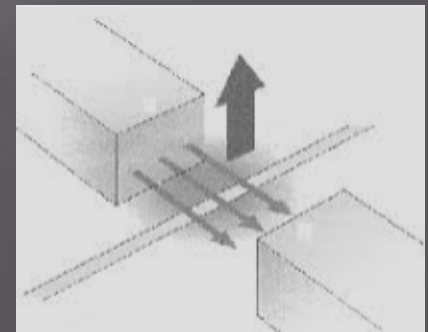
# ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Μαγνητισμός : Φυσικός και τεχνητός μαγνήτης.  
Προσανατολισμός βελόνας στο γήινο μαγνητικό πεδίο...



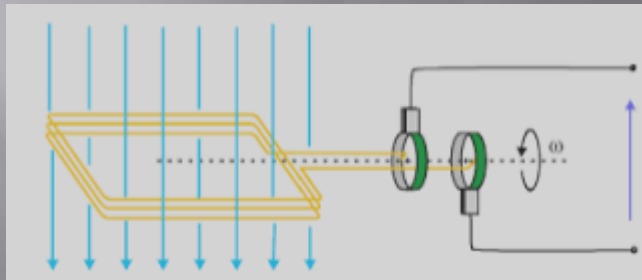
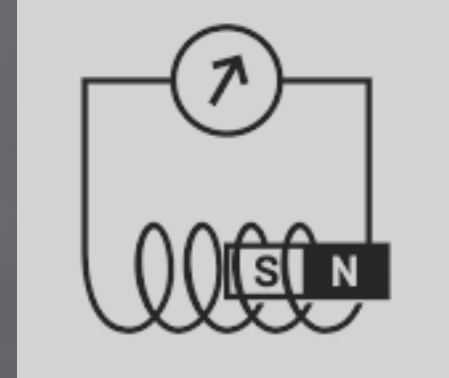
Πείραμα Oersted: Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί  
μαγνητικό πεδίο και δρα σε μαγνήτες !

Δύναμη Laplace: Το μαγνητικό πεδίο δρα στο  
κινούμενο φορτίο, δηλαδή στο ηλεκτρικό ρεύμα!



# ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Μαγνητική επαγωγή : Μαγνητική ροή. Η μεταβολή της δημιουργεί τάση, δηλαδή ρεύμα!

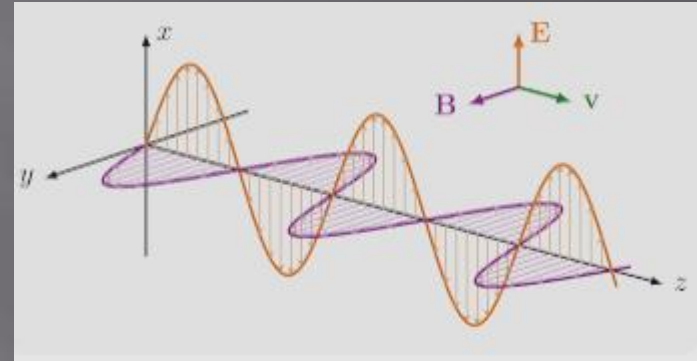


Εναλλασσόμενο ρεύμα, ηλεκτροκινητήρες...



Πυλώνες ...στηρίζουν τον πολιτισμό !!!

# ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ



**Maxwell** : Ενοποιεί με εξισώσεις ηλεκτρισμό και μαγνητισμό. Προβλέπει την ύπαρξη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (1864).

**Hertz** : Δημιουργεί τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτά διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Παράγονται από ταλαντούμενα φορτία και όταν δρουν σε άτομα, τα υποχρεώνουν σε εξαναγκασμένη ταλάντωση (1886).

Η κλασική θεωρία των **M-H**, προβλέπει ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να μεταφέρει οποιοδήποτε ποσό ενέργειας, ανάλογα με τη συχνότητά της...

# Η ΚΒΑΝΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΞΕΚΙΝΑ

Ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός συνυπάρχουν και συνεργάζονται αρμονικά.  
Όμως...

... Ενώ η θεωρία των **Maxwell** – **Hertz** ερμηνεύει φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης, συμβολής και άλλα, υπάρχουν φαινόμενα τα οποία δεν μπορεί να ερμηνεύσει.

Ποια είναι αυτά τα φαινόμενα;

- Η ακτινοβολία του μέλανος σώματος,
- Το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο,
- Τα γραμμικά φάσματα εκπομπής των αερίων και
- Το φαινόμενο της σκέδασης των ακτίνων X (φαινόμενο Compton)

# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

Ακτινοβολία μέλανος σώματος λέμε την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από όλα τα σώματα, λόγω της θερμοκρασίας τους. Ονομάζεται και **θερμική ακτινοβολία**.



- Στην εικόνα, πυρακτωμένα κάρβουνα και σίδηρο βρίσκονται σε ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία και εκπέμπου την ΙΔΙΑ θερμική ακτινοβολία στη περιοχή του ορατού, με αποτέλεσμα να μη μπορείς να τα ξεχωρίσεις.

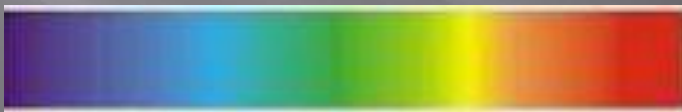
*ΣΗΜΕΙΩΜΑ: Καθώς η θερμοκρασία μειώνεται κινούμαστε από το ορατό, προς το υπέρυθρο και προς τα ραδιοφωνικά κύματα.*

# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

Ποια είναι τα γνωρίσματα, που κάνουν αυτή την ακτινοβολία να είναι σημαντική ;

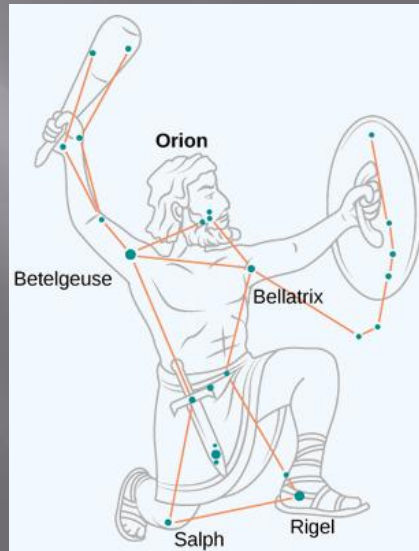


1. Το συνεχές φάσμα (Σε υψηλές θερμοκρασίες έχουμε χρωματικές ζώνες ερυθρού-κίτρινου-πράσινου-μπλε-ιώδες).
2. Το γεγονός ότι το φάσμα αυτής δεν εξαρτάται από τη χημική σύσταση του υλικού. Έχουμε –ως αντικείμενο μελέτης- ένα παγκόσμιο φάσμα!



Στην εικόνα φαίνεται το ορατό φάσμα που δίνουν είτε τα κάρβουνα, είτε το σίδηρο. Υπάρχουν και μη ορατές συχνότητες στο υπεριώδες και στο υπέρυθρο.

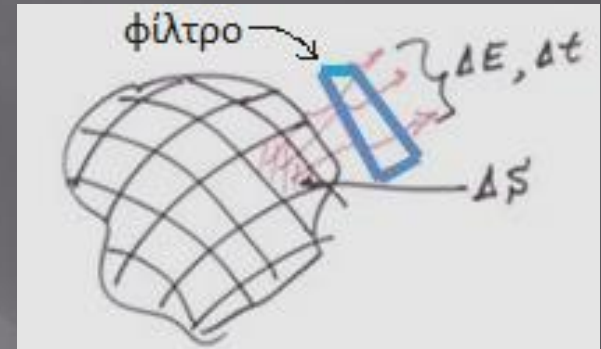
# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ



Στον αστερισμό του Ωρίωνα, εύκολα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το αστέρι B (Rigel) ευρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία, από το αστέρι A (Betelgeuse). Υψηλή θερμοκρασία παραπέμπει στη μπλε περιοχή του ορατού και χαμηλότερη στη ερυθρά περιοχή του ορατού φάσματος



# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

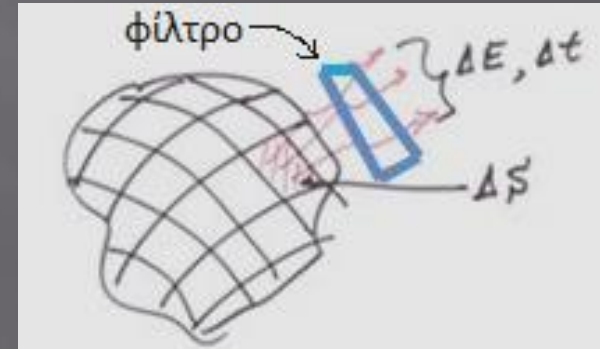


Στο σχήμα η επιφάνεια  $\Delta S$  εκπέμπει ενέργεια  $\Delta E$ , εντός χρόνου  $\Delta t$  και σε ένα εύρος συχνοτήτων  $\Delta f$ .

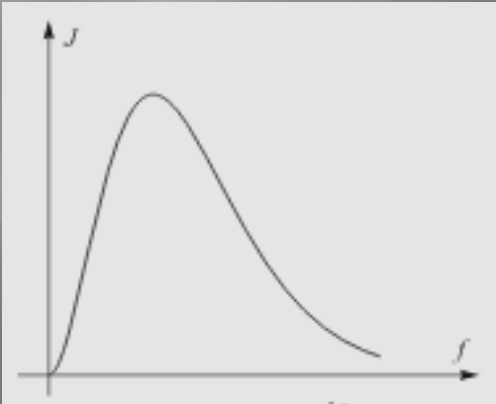
*Το φίλτρο επιτρέπει να περνούν από αυτό, επιθυμητό εύρος συχνοτήτων της θερμικής ακτινοβολίας.*

# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

**Φασματική ένταση  $J$**  : Λέμε την εκπεμπόμενη ισχύ  $\Delta E/\Delta t$  ανά μονάδα επιφάνειας  $\Delta S$  του σώματος και ανά εύρος συχνοτήτων  $\Delta f$ .



$$J(f) = \frac{\Delta E}{\Delta t \cdot \Delta S \cdot \Delta f} \text{ [Watt/m}^2 \cdot \text{Hz]}$$



**Πειραματικά** : Η καμπύλη της ακτινοβολίας του μέλανος σώματος (ιδανική μορφή\*)  
Η μορφή της καμπύλης είναι ανεξάρτητη από τη φύση του εκπέμποντος υλικού.  
Είναι μια παγκόσμια καμπύλη.

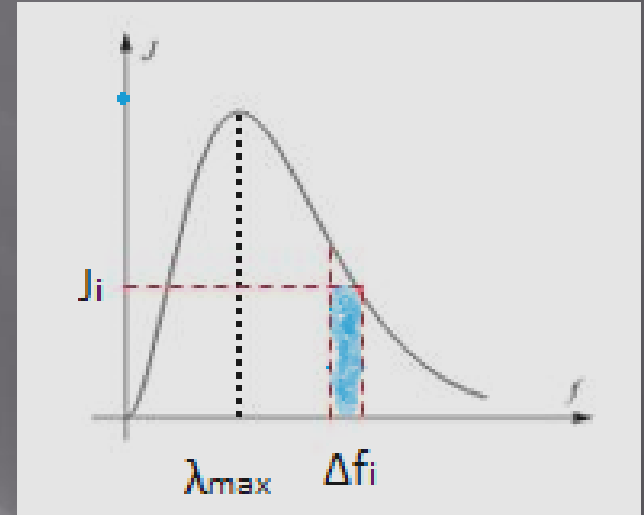
# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

Δυο τα ενδιαφέροντα στοιχεία της καμπύλης.

1. Το «εμβαδόν» της ...

$$I = \Sigma(J_i \cdot \Delta f_i) = \Sigma \left( \frac{\left( \frac{\Delta E}{\Delta t} \right)_i}{\Delta S_i} \right) = \text{Συνολική ακτινοβολούμενη ένταση} \frac{\text{watt}}{\text{m}^2}$$

2. Το μήκος κύματος, το οποίο αντιστοιχεί στη θέση του μέγιστου της καμπύλης.



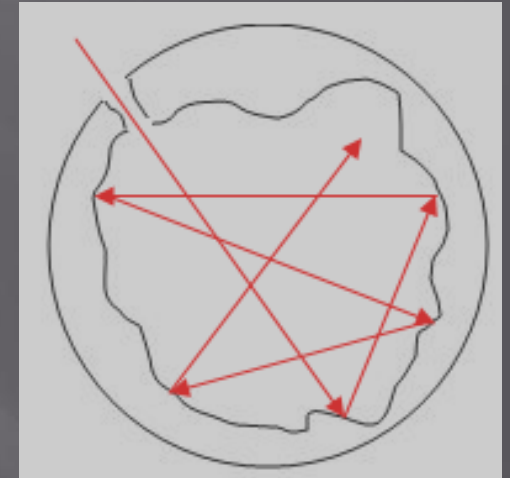
# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ

(\*)

Στα τραχιά εσωτερικά τοιχώματα της κοιλότητας κάθε ακτινοβολία που εισέρχεται μέσω μιας μικροσκοπικής οπής, διαχέεται και οι συχνότητες αποκτούν στην κοιλότητα κατανομή Maxwell-Boltzmann. Σε θερμοδυναμική ισορροπία (σε θερμοκρασία  $T$ ), τα τοιχώματα της κοιλότητας απορροφούν ακριβώς όση ακτινοβολία εκπέμπουν.

Επιπλέον, μέσα στην κοιλότητα, η ακτινοβολία που εισέρχεται στην τρύπα εξισορροπείται από την ακτινοβολία που εξέρχεται από αυτήν.

Το φάσμα εκπομπής ενός μαύρου σώματος μπορεί να ληφθεί με ανάλυση του φωτός που ακτινοβολεί από την τρύπα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από ένα μαύρο σώμα ονομάζονται ακτινοβολία μαύρου σώματος κι αυτή η ακτινοβολία μας δίνει την ιδανική καμπύλη.



# Η ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΤΟΥ ΜΕΛΑΝΟΣ ΣΩΜΑΤΟΣ



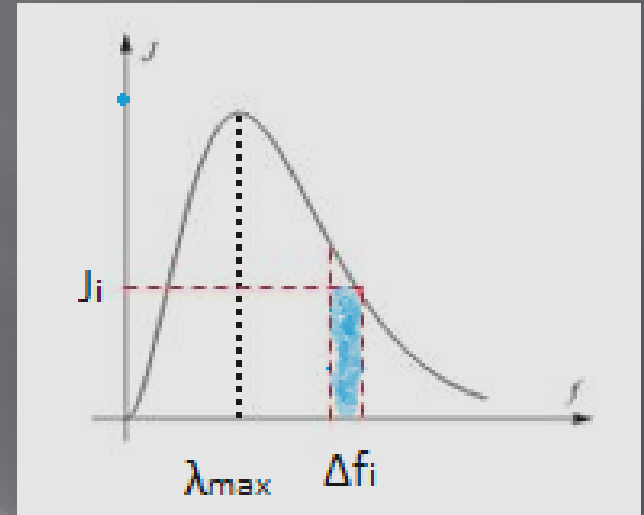
Διαδικασία θερμοποίησης της ακτινοβολίας στα πυκνά υλικά:

Τα πυρακτωμένα υλικά στη περιοχή του ορατού ακολουθούν την ιδανική καμπύλη του «μέλανος σώματος», αφού το φως μέχρι να ελευθερωθεί από το πυρακτωμένο υλικό, υφίσταται πολλές συγκρούσεις με τα άτομα του υλικού καθώς κινείται από το εσωτερικό προς τα έξω. Συγκρούσεις στις οποίες αλλάζει και απλώνεται σε συχνότητες...

...να γιατί ο ήλιος, τα άστρα έχουν συμπεριφορά μέλανος σώματος!

# Ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΕΦΑΝ-BOLTZMAN

Ο νόμος των S-B υπολογίζει την συνολική ακτινοβολούμενη ένταση  $I$  (ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας), η οποία εκφράζεται με το συνολικό «εμβαδόν» της ιδανικής καμπύλης εκπομπής  $J - f$  του μέλανος σώματος.



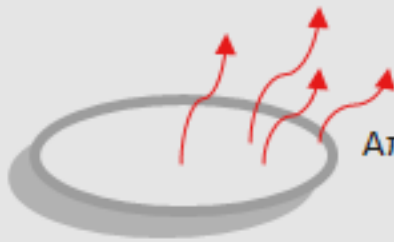
$$I = \sigma \cdot T^4$$

Όπου ο συντελεστής  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ w m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Η συνολική ακτινοβολούμενη ένταση  $I$  εξαρτάται μόνο από τη θερμοκρασία του μέλανος σώματος. Διπλασιασμός της  $T$ , σημαίνει 16πλασιασμός της  $I$ .

# Ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ ΤΩΝ ΣΤΕΦΑΝ-BOLTZMAN

Άσκηση: Ποια είναι η θερμοκρασία στο μάτι μιας ηλεκτρικής κουζίνας, με διάμετρο 10 cm και ηλεκτρικής ισχύος 1kw ;



Απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς = εκπεμπόμενη θερμική από την S

$$P_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau} = I \cdot S \rightarrow P_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau} = \sigma \cdot T^4 \cdot S \rightarrow$$

$$T^4 = \frac{1000}{5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,1} \rightarrow T = \sqrt[4]{\frac{10^{13}}{5,67 \cdot 3,14}} \rightarrow T \cong 865 \text{ K} \text{ ή } 592 \text{ C}$$

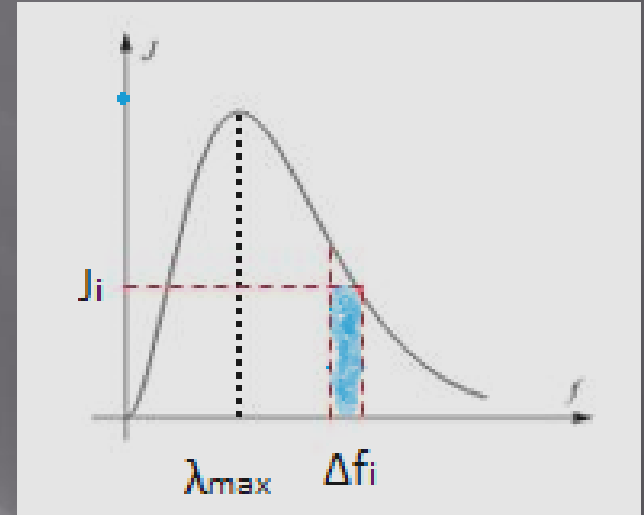
*Mathesis*

# Ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ WIEN

Ο νόμος Wien αναφέρεται στο  $\lambda_{\max}$  της ιδανικής καμπύλης θερμικής εκπομπής του μέλανος σώματος και λέει ότι όσο μεγαλώνει η θερμοκρασία του σώματος (όσο πιο ζεστό γίνεται), τόσο μικραίνει το μήκος κύματος  $\lambda_{\max}$  !

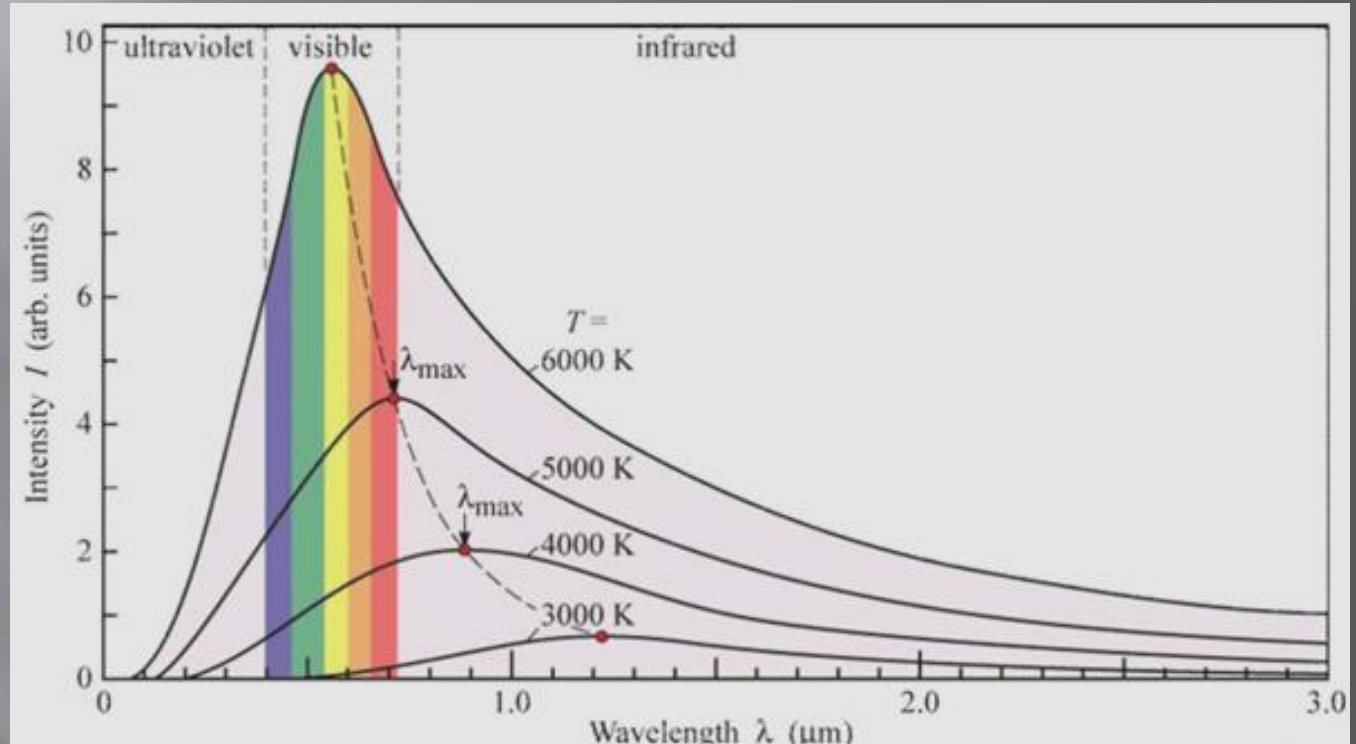
$$\lambda_{\max}^{(cm)} = \frac{0,3}{T}$$

Γνωρίζουμε επίσης με παρατήρηση ότι όταν ένα σώμα θερμαίνεται και η θερμοκρασία του αυξάνεται, το αντιληπτό μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του αλλάζει από υπέρυθρο σε κόκκινο και μετά από κόκκινο σε πορτοκαλί και ούτω καθεξής.





# ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΚΠΟΜΠΗ ΚΑΙ ΟΙ ΝΟΜΟΙ S-B ΚΑΙ WIEN



Εδώ φαίνεται η εξάρτηση της καμπύλης θερμικής εκπομπής από τους νόμους S-B και Wien.

Στην εικόνα εμφανίζεται και το οπτικό παράθυρο 400 nm έως ~700 nm

# Ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΝΟΜΟΣ WIEN

Άσκηση : Να θερμομετρήσουμε τη θερμοκρασία της επιφάνειας του ήλιου, στηριζόμενοι στη θεωρία εξέλιξης του Δαρβίνου.

Όλα τα ζωντανά πλάσματα, οφείλουν να βλέπουν –θεωρία εξέλιξης- στην ίδια περιοχή του φάσματος εκπομπής του ήλιου, στο ορατό παράθυρο (400nm – 700nm), διότι εκεί ο ήλιος εκπέμπει την μέγιστη ποσότητα ενέργειας. Έτσι τα πλάσματα μπορούν εύκολα να δουν τη τροφή τους, τους εχθρούς τους και φυσικά το είδος τους ώστε να αναπαραχθούν.

Αυτό σημαίνει ότι  $\lambda_{\max} \cong 600 \text{ nm}$

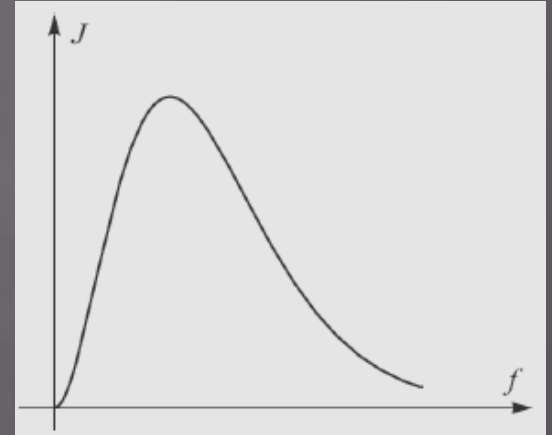
$$\lambda_{\max}^{(\text{cm})} = \frac{0,3}{T} \rightarrow T = \frac{0,3}{600 \cdot 10^{-7}} = \frac{3 \cdot 10^{-1}}{6 \cdot 10^{-5}} = \frac{10000}{2} \rightarrow T = 5000 \text{ K}$$

*Mathesis*

Όχι πολύ μακριά από το  $T_{\text{επιφ}} = 5800 \text{ K} !!!$

# Ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ PLANCK

Ο Planck κατάφερε –στα 1900- να δώσει μια εξίσωση για την έκφραση  $J = f_{(T, f)}$ .  
Κατάφερε δηλαδή να σχεδιάσει την πειραματική ιδανική καμπύλη εκπομπής του μέλανος σώματος για κάθε θερμοκρασία και για κάθε συχνότητα.



$$J = \frac{2\pi h}{c^2} \frac{f^3}{e^{hf/kT} - 1}$$

*Εδώ κάνει την εμφάνισή της –για πρώτη φορά– η σταθερά  $h$ .*

# Ο ΕΜΠΕΙΡΙΚΟΣ ΤΥΠΟΣ ΤΟΥ PLANCK

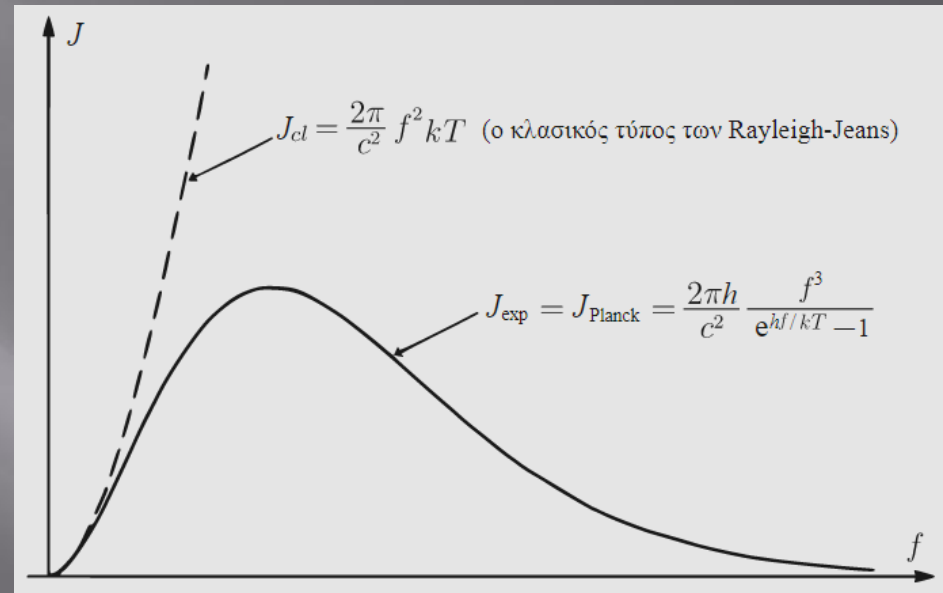
$$J = \frac{2\pi h}{c^2} \frac{f^3}{e^{hf/kT} - 1}$$

Παρατηρήσεις πάνω στον εμπειρικό τύπο του Planck

1. Η ποσότητα  $hf/KT$ , οφείλει να είναι αδιάστατο μέγεθος (\*\*\*) και επομένως αφού η κινητική θεωρία των αερίων λέει ότι η ποσότητα  $KT$  είναι ενέργεια, τότε και η ποσότητα  $h.f$  εκφράζει ενέργεια.
2. Ο εμπειρικός τύπος του Planck, περιλαμβάνει τους νόμους S-B και Wien...
3. Ο Planck έκανε την υπόθεση ότι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι **κβαντωμένη**. Μπορεί να έχει μόνο διακριτές τιμές, οι οποίες οφείλουν να είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας στοιχειώδους  $E_0=h.f$ . Αυτή του η υπόθεση έλυσε το πρόβλημα της «υπεριώδους καταστροφής» και έτσι έφτασε ο Planck στον ομώνυμο εμπειρικό τύπο.

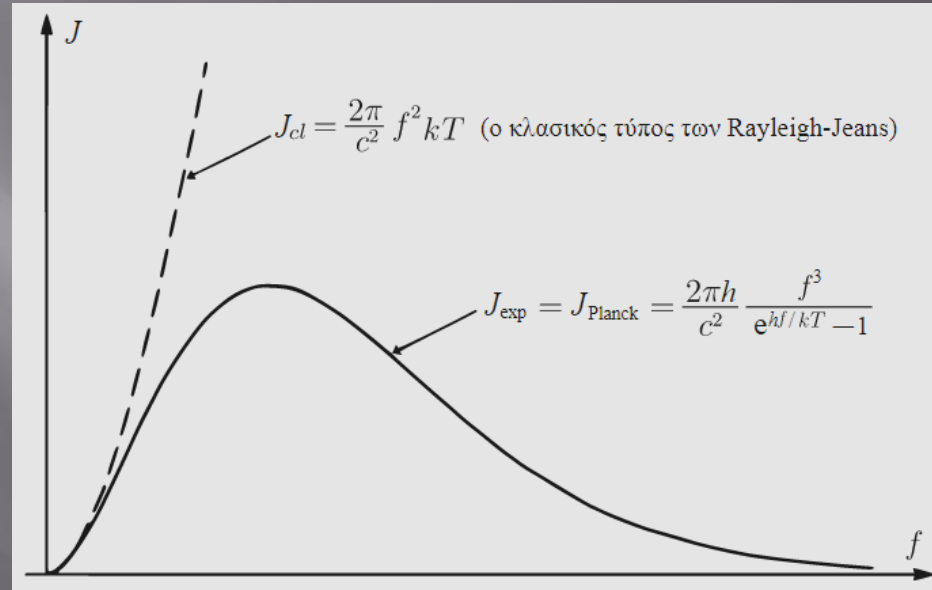
# Η ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗ

## Υπεριώδης καταστροφή



Θέλησαν οι φυσικοί –πριν τον Planck- να ερμηνεύσουν την καμπύλη θερμικής εκπομπής του μέλανος σώματος και προς τούτο δέχτηκαν ότι τα άτομα των σωμάτων ταλαντώνονται. Το πλάτος της ταλάντωσής τους είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκονται τα σώματα. Αποτέλεσμα αυτής της ταλάντωσης των ατόμων, που μπορούμε να τα δούμε ως στοιχειώδη ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα, είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η στικτή γραμμή δείχνει το αποτέλεσμα της εν λόγω παραδοχής. Δείτε ότι για μεγάλες  $f$ , συμβαίνει  $J \rightarrow \infty$

# ΟΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ PLANCK

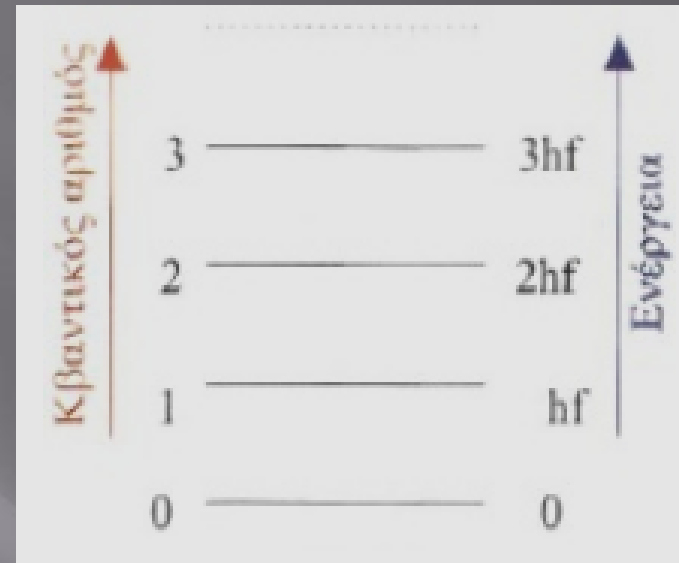


Πρώτη υπόθεση Planck :

1. Η ενέργεια των ταλαντούμενων ατόμων δε μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή. Μπορεί να πάρει μόνο διακριτές (κβαντισμένες) τιμές. Οι τιμές της ενέργειας που μπορεί να έχει το ταλαντούμενο άτομο είναι  $E = n hf$

$n = \text{ακέραιος } 1, 2, 3 \dots$  κβαντικός αριθμός.

# ΟΙ ΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΤΟΥ PLANCK



Δεύτερη υπόθεση Planck :

2. Το ποσό της ενέργειας, που μπορεί να απορροφήσει ή να εκπέμψει ένα άτομο, υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, μπορεί να πάρει μόνο διακριτές τιμές.

Αυτές οι παραδοχές έσωσαν τη καμπύλη θερμικής εκπομπής από την «υπεριώδη καταστροφή» και οδήγησαν στη εμπειρική εξίσωση του Planck.

Η ενέργεια πλέον είναι μέγεθος κβαντωμένο. Η Κβαντική θεωρία θεμελιώνεται!

# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...

1. Όλα τα σώματα που μας περιβάλλουν εκπέμπουν θερμική ακτινοβολία. Γιατί αυτή δεν γίνεται αντιληπτή από εμάς;

Στις χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος (  $T=300\text{ K}$  ) τα σώματα εκπέμπουν ελάχιστα και κυρίως στη περιοχή των ραδιοφωνικών κυμάτων λένε οι νόμοι S-B και Wien.

Σε θερμοκρασίες όπου το σίδηρο στα χυτήρια λιώνει, δηλαδή στους  $1200\text{ K}$  έχουμε εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλά και ορατό φως!



# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...



2. Τα σώματα πώς γίνονται ορατά; Γιατί φαίνονται χρωματικά διαφορετικά;

Τα ετερόφωτα σώματα ανακλούν στο περιβάλλον τους, επιλεκτικά ορισμένες συχνότητες από το φως που πέφτει επάνω τους.

Για παράδειγμα αν ανακλά φως πλούσιο στο ερυθρό, θα φαίνεται κόκκινο. Αν ανακλά σχεδόν όλο το φάσμα του ορατού θα φαίνεται λευκό. Αν απορροφά έντονα όλες τις συχνότητες του ορατού, θα φαίνεται μαύρο.

**ΠΡΟΣΟΧΗ** : Να μη συγχέουμε τη θερμική ακτινοβολία των σωμάτων η οποία εξαρτάται μόνο από την θερμοκρασία τους, με την ανακλώμενη -από αυτά ακτινοβολία, η οποία εξαρτάται από την ανακλαστική ιδιαιτερότητα τους.

# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...

3. Γιατί η κόρη του οφθαλμού μας είναι μαύρη ;

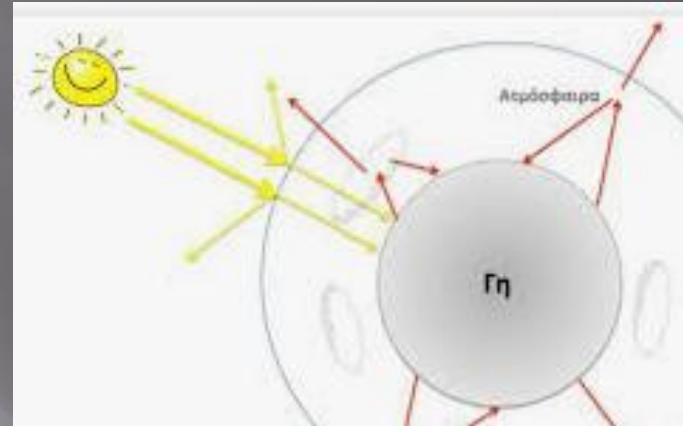


Το φως που εισέρχεται από την κόρη του οφθαλμού, απορροφάται από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα (ραβδία – κωνία), που βρίσκονται στο βάθος του οφθαλμού μας. Από την πύλη εισόδου του ματιού μας δεν εξέρχεται φως, επομένως η κόρη είναι μαύρη!

Το ίδιο συμβαίνει αν κοιτάξεις στο εσωτερικό ενός μακρύ σωλήνα ή όταν βλέπεις από μακριά σκοτεινό το ισόγειο ενός σπιτιού, ακόμη κι όταν είναι ορθάνοιχτη η πόρτα του.

**ΣΧΟΛΙΟ :** Όταν στο μάτι μας πέσει το ισχυρό φως ενός φλας, τότε ένα μέρος της περιοχής του ιώδους ανακλάται από τον αμφιβληστροειδή, εξέρχεται από την κόρη του οφθαλμού με αποτέλεσμα τα «κόκκινα» μάτια.

# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...



## 4. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου...

Ο ήλιος και η γη εκπέμπουν ακτινοβολία, ενέργεια δηλαδή. Ο ήλιος εκπέμπει πολύ περισσότερη και σε υψηλότερες συχνότητες. Αυτή του η ακτινοβολία διαπερνά την γήινη ατμόσφαιρα. Όμως η γη εκπέμπει στη περιοχή του υπέρυθρου και αυτό σημαίνει ότι η ακτινοβολία της δεν μπορεί να διαπεράσει την ατμόσφαιρα. Να λοιπόν ένας παράγοντας που συμβάλει στο «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

Βεβαίως η παρουσία μεγάλων ποσοτήτων  $\text{CO}_2$  κάνει το φαινόμενο να μοιάζει εφιαλτικό...

# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...

## 5. Η αίσθηση της ζέστης...

Το δέρμα μας απορροφά έντονα την αόρατη υπέρυθη ακτινοβολία κι όταν αυτή φτάνει στα γυμνά σημεία του σώματός μας, τότε η ακτινοβολία αυτή δίνει την αίσθηση της ζέστης. (πυρακτωμένα ξύλα στο τζάκι, γεινίασα με ψησταριά γύρου, ...)



# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...



## 6. Τα σκουρόχρωμα αντικείμενα

Τα σκουρόχρωμα αντικείμενα απορροφούν μεγαλύτερες ποσότητες ακτινοβολίας, αλλά οφείλουν να εκπέμπουν επίσης μεγάλες ποσότητες.

Αν θέλετε να πιείτε αργά το τσάι σας ζεστό, φροντίστε το φλιτζάνι να είναι λευκό. Αν αγοράσετε μαύρο αυτοκίνητο, αυτό θα ζεσταίνεται αρκετά την ημέρα και θα κρυώνει πιο γρήγορα τη νύχτα, σε σχέση με ένα ανοιχτόχρωμο.

Τα σπίτια μας είναι εξωτερικά λευκά για να μη ζεσταίνονται το καλοκαίρι και να μη κρυώνουν έντονα στις συνεφιασμένες ημέρες του χειμώνα

# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...



## 7. Το χιόνι...

Το καθαρό χιόνι απορροφά ελάχιστη ηλιακή ακτινοβολία και δεν λιώνει εύκολα. Αντίθετα το βρώμικο χιόνι του δρόμου, βλέπουμε να λιώνει ιδιαίτερα πιο γρήγορα.

# ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ...

(\*\*)

8. Να γίνει διαστατική ανάλυση της έκφρασης  $e^{\frac{hf}{kT}}$ , που εμφανίζεται στον εμπειρικό τύπο του Plank

Ισχύει :  $e^Z = 1 + \frac{Z}{1!} + \frac{Z^2}{2!} + \dots$  και αυτό σημαίνει ότι ο εκθέτης  $Z$  οφείλει να είναι αδιάστατο μέγεθος, αφού η μονάδα που υπάρχει στη σειρά είναι αδιάστατη.

Οπότε, αφού το  $kT$  είναι ποσότητα ενέργειας (θερμοδυναμική), οφείλει και η έκφραση  $hf$  να έχει διαστάσεις ενέργειας.

λα εχει διαστασεις ελεβλειας

Ομοτε, αφοη το κΤ ειναι ποσοτητα ελεβλειας (θερμολυναμικη), οφειλει και η εκφραση hf