

ΓΙΑΤΙ Ο ΟΥΡΑΝΟΣ ΕΙΝΑΙ ΜΠΛΕ;

Αν στρέψουμε το βλέμμα μας προς τον ουρανό μια μέρα χωρίς σύννεφα θα έλθουμε σε επαφή με μία πολύ όμορφη εμπειρία, την εμπειρία του γαλάζιου χρώματος. Αυτός ο φυσικός χρωματισμός δεν μπορεί με κανέναν τρόπο να αποτυπωθεί σε κανέναν πίνακα ζωγραφικής, όσο καλός και αν είναι ο καλλιτέχνης.

Αυτός ο χρωματισμός μπορεί να αποτυπωθεί μόνο στη μνήμη μας και να επανέρχεται σ' αυτήν κάθε φορά που κάποιος γύρω μας αναφέρεται στη λέξη αυτή, «ουρανός».

Παρότι όμως, στον κάθε άνθρωπο του πλανήτη μας, από τον πιο μικρό μέχρι και τον πιο μεγάλο, έρχεται τόσο φυσιολογικά στο μυαλό του αυτός ο χρωματισμός, στο άκουσμα της λέξεως «ουρανός», παρότι το χρώμα αυτό έχει εμπνεύσει τόσους ποιητές, τόσους ζωγράφους και τόσους καλλιτέχνες, λίγους ανθρώπους σχετικά έχει απασχολήσει το ερώτημα: **«γιατί ο ουρανός είναι μπλέ;»**

Ακόμη πιο λίγοι είναι αυτοί που μπορούν να απαντήσουν στη δημιουργηθείσα αυτή απορία και οι περισσότεροι από αυτούς προέρχονται από τον χώρο των θετικών επιστημών.

Παρακάτω γίνεται μία προσπάθεια να απαντηθεί αυτό το ερώτημα με όσο δυνατόν απλούστερο τρόπο και χωρίς να δημιουργηθούν περαιτέρω απορίες...

Το φάσμα του ορατού φωτός

Το άσπρο φως του ήλιου (όπως έδειξε ο Ισαάκ Νεύτων) αποτελείται από τη σύνθεση όλων των χρωμάτων του φάσματος. Αυτό μπορείτε εύκολα να το διαπιστώσετε αν βάλετε το φως του ήλιου να περάσει μέσα από ένα πρίσμα. (Εικόνα 1)

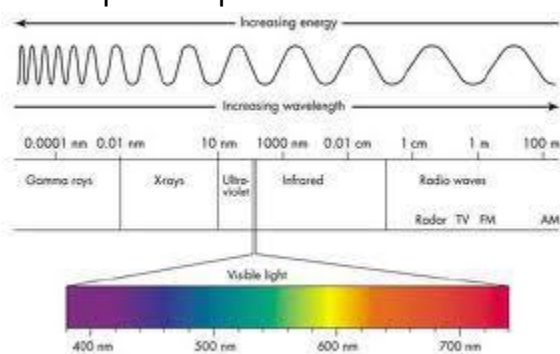
Κάθε χρώμα ξεχωρίζει από το άλλο λόγω του διαφορετικού μήκους κύματος της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί σε αυτό. (Εικόνα 3)

Ο εγκέφαλος του ανθρώπου αποδίδει σε κάθε ξεχωριστό μήκος κύματος του φωτός μια απεικόνιση, **το χρώμα** δηλαδή όπως το αντιλαμβανόμαστε.

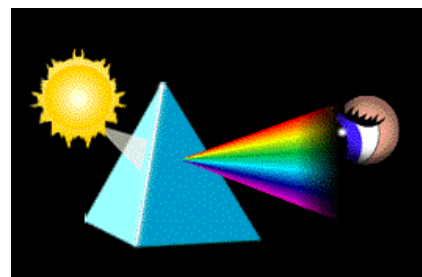
Τα διάφορα αντικείμενα έχουν διαφορετικά χρώματα γιατί οι επιφάνειές τους ανακλούν και διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός.

Δεν είναι όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ορατό από το ανθρώπινο μάτι. (Εικόνα 2)

Το ορατό φάσμα του φωτός είναι αυτό που κυμαίνεται σε μήκη κύματος, από τα 380 nm έως τα 720 nm. Μέσα σε αυτό υπάρχουν όλα τα χρώματα που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο μάτι.



Εικόνα 2: Το φάσμα της ηλεκτρονικής ακτινοβολίας, ένα πολύ μικρό μέρος του οποίου αποτελεί το ορατό φως



Ο εγκέφαλος του ανθρώπου αποδίδει σε κάθε ξεχωριστό μήκος κύματος του φωτός μια απεικόνιση, **το χρώμα** δηλαδή όπως το αντιλαμβανόμαστε.

Τα διάφορα αντικείμενα έχουν διαφορετικά χρώματα γιατί οι επιφάνειές τους ανακλούν και διαφορετικά μήκη κύματος του φωτός.

Δεν είναι όλο το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ορατό από το ανθρώπινο μάτι. (Εικόνα 2)

Το ορατό φάσμα του φωτός είναι αυτό που κυμαίνεται σε μήκη κύματος, από τα 380 nm έως τα 720 nm. Μέσα σε αυτό υπάρχουν όλα τα χρώματα που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο μάτι.

Τα χρώματα του ορατού φάσματος

Χρώμα	Περιοχή μηκών κύματος (nm)	Περιοχή συχνοτήτων (Hz)
Ερυθρό	~ 630–700 nm	~ 476–429 $\times 10^{12}$ Hz
Πορτοκαλί	~ 590–630 nm	~ 510–476 $\times 10^{12}$ Hz
Κίτρινο	~ 560–590 nm	~ 535–510 $\times 10^{12}$ Hz
Πράσινο	~ 500–560 nm	~ 600–535 $\times 10^{12}$ Hz
Κυανό	~ 440–500 nm	~ 680–600 $\times 10^{12}$ Hz
Ιώδες	~ 400–440 nm	~ 750–680 $\times 10^{12}$ Hz

Εικόνα 3: Κατάταξη των χρωμάτων του ορατού φωτός με βάση το μήκος κύματος

Ο αμφιβληστροειδής χιτώνας του ματιού αντιδρά κυρίως σε τρεις αποχρώσεις, στο κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Οι συνδυασμοί των ερεθισμάτων που προκαλούν αυτές οι αποχρώσεις δημιουργούν και τα υπόλοιπα χρώματα. Έτσι λοιπόν, ο συνδυασμός του κόκκινου και του πράσινου χρώματος δίνει την κίτρινη απόχρωση, τόσο σκούρα ή τόσο ανοιχτή, ανάλογα με τις ποσότητες των αρχικών χρωμάτων που συνδυάζονται¹.

Το φαινόμενο της σκέδασης και ο Νόμος του Rayleigh

Η λέξη σκέδαση ετυμολογικά προέρχεται από το αρχαίο ρήμα **σκεδάννυμι** ή **σκεδῶ** που σημαίνει **διασκορπίζομαι** ή **διασκορπίζω**.

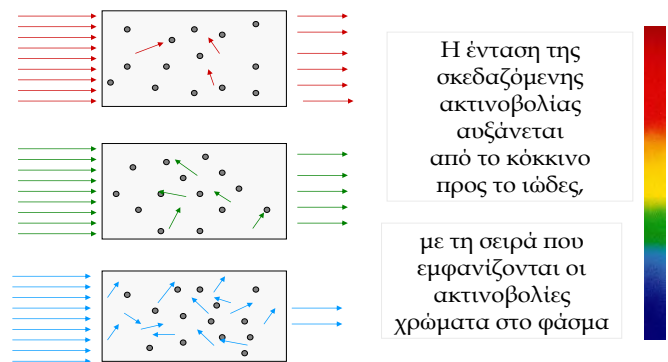
Στη Φυσική και ιδιαίτερα στην Οπτική με τον όρο **σκέδαση** ή **σκέδαση του φωτός**, ονομάζεται ο διασκορπισμός των φωτεινών ακτίνων που προκύπτει, όταν προσπέσουν σε μικροσκοπικά σωματίδια, έτσι ώστε να διαχέονται στο χώρο χωρίς να φθάνουν στον παρατηρητή. Η οπτική αντίληψη του γεγονότος ονομάζεται **φαινόμενο σκέδασης**.

Στα τέλη του 19^{ου} αι ο Άγγλος φυσικός λόρδος Rayleigh διατύπωσε την εξής πρόταση, η οποία αναφέρεται ως **νόμος του Rayleigh²** και υποστηρίζει ότι:

« κατά την πρόσπτωση ακτινοβολίας σε μόρια με τάξη μεγέθους μικρότερη του μήκους κύματος αυτής, η ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το μήκος κύματος της ».

Στην Εικόνα 4 ερμηνεύεται σχηματικά πώς αυξάνεται η ένταση της σκεδαζόμενης **αντιστρόφως ανάλογα** με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα στο πρώτο σχήμα, όπου προσπίπτει **ερυθρά** ακτινοβολία της οποίας, το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο, η ένταση της σκεδαζόμενης (εντός του πλαισίου) ακτινοβολίας, είναι μικρότερη. Στο δεύτερο σχήμα η προσπίπτουσα **πράσινη** ακτινοβολία έχει μήκος κύματος μικρότερο, επομένως μεγαλύτερη, σύμφωνα με τον νόμο του Rayleigh, θα είναι



Εικόνα 4: Σχηματική αναπαράσταση του νόμου του Rayleigh

¹ Μαθηματικά αυτό αποδεικνύεται παίρνοντας τον μέσο όρο των μηκών κύματος του κόκκινου και του πράσινου, αν πάρουμε τα δύο χρώματα σε ίσες «ποσότητες». Έτσι το μήκος κύματος του χρώματος που προκύπτει από τον συνδυασμό ίσων «ποσοτήτων» κόκκινου (630nm) και πράσινου (500nm) είναι $(630+500)/2 = 565\text{nm}$, που αντιστοιχεί σε κίτρινο χρώμα

² Σύμφωνα με το **νόμο του Rayleigh**, η ένταση (I) της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας είναι ανάλογη με το τετράγωνο της πολωσιμότητας (α^2) της ακτινοβολίας και του αριθμού (N) των σκεδαστών (δηλαδή του αριθμού των σωματιδίων της ατμόσφαιρας – πυκνότητα ατμόσφαιρας), ενώ είναι **αντιστρόφως ανάλογη** με την τέταρτη δύναμη (λ^4) του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (I_0) και του τετραγώνου της απόστασης (R) από τον σκεδαστή. Η

μαθηματική έκφραση του νόμου είναι: $I = I_0 \frac{8\pi^4 N \alpha^2}{\lambda^4 R^2} (1 + \cos^2 \theta)$. Επειδή όλα τα μεγέθη στην προηγούμενη

σχέση, πλην του μήκους κύματος, είναι κοινά για όλα τα χρώματα του φάσματος της ακτινοβολίας, μπορούμε να απλουστεύσουμε την μαθηματική έκφραση του νόμου στην παρακάτω: $I \sim \frac{1}{\lambda^4}$, δηλαδή η ένταση της σκεδαζόμενης

είναι **αντιστρόφως ανάλογη με την τέταρτη δύναμη του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας**.

η ένταση της σκεδαζόμενης (εντός του πλαισίου) ακτινοβολίας. Τέλος στο τρίτο σχήμα φαίνεται η μεγαλύτερη ένταση της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, αφού το μήκος κύματος της προσπίπτουσας **μπλε** είναι κατά πολύ μικρότερο των άλλων δύο ακτινοβολιών.

Έτσι αυτό που συμβαίνει κατά τη σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας με την είσοδο της στην ατμόσφαιρα και την πρόσκρουση στα μόρια Αζώτου και Οξυγόνου του αέρα είναι:

-η απορρόφηση των διαφορετικών χρωμάτων με διαφορετική, κατά χρώμα, ένταση από την ατμόσφαιρα (μεγαλύτερα μήκη κύματος → μικρότερη απορρόφηση)

-η παρέκκλιση της πορείας τους και

-εκπομπή τους προς όλες τις κατευθύνσεις.

Το παιχνίδι αυτό της σκέδασης (απορρόφηση – παρέκκλιση – εκπομπή) συμβαίνει σύμφωνα με το νόμο του Rayleigh πιο έντονα στις μπλε αποχρώσεις (μικρά μήκη κύματος) ενώ λιγότερο έντονα στις κόκκινες. (μεγάλα μήκη κύματος)

Η σύσταση της ατμόσφαιρας και η απάντηση στο ερώτημα

Η ύπαρξη της ατμόσφαιρας παίζει σημαντικό ρόλο στον χρωματισμό του ουρανού και η σύσταση αυτής είναι που καθορίζει τελικά το χρώμα του.

Συγκεκριμένα αν δεν υπήρχε ατμόσφαιρα στον πλανήτη μας, ο ουρανός του δεν θα χρωματιζόταν, αφού η ακτινοβολία που θα έφθανε από τον Ήλιο δεν θα σκεδαζόταν σ' αυτήν. Στα μάτια των παρατηρητών πάνω στη Γή θα έφθανε ένα εκτυφλωτικό λευκό φως και κανείς μας δεν θα μπορούσε να κρατήσει τα μάτια του ανοικτά χωρίς να φοράει ισχυρά μαύρα γυαλιά. Κάτι τέτοιο συμβαίνει στη Σελήνη όπου η ατμόσφαιρα είναι σχεδόν μηδενική.

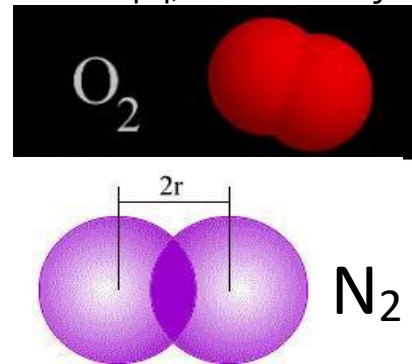
Ευτυχώς ο Δημιουργός φρόντισε, η ατμόσφαιρα του πλανήτη, που Εκείνος επέλεξε να αποτελέσει το «σπίτι» μας, να αποτελείται από Αζωτο και Οξυγόνο. Συγκεκριμένα η ατμόσφαιρα αποτελείται από 78% Αζωτο (N_2), 21% Οξυγόνο (O_2) και από 1% λοιπών στοιχείων που το ποσοστό τους δεν επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα.

Εξετάζοντας τώρα την τάξη μεγέθους των μορίων του N_2 και O_2 θα βρούμε ότι αυτή του Αζώτου ανέρχεται στα 0,334 nm και του Οξυγόνου στα 0,254 nm.³ (Εικόνα 5)

Και στα δύο στοιχεία η τάξη μεγέθους των μορίων τους (δεν ξεπερνά, όπως πιο πάνω είδαμε, τα 0,40nm) είναι μικρότερη από το μήκος κύματος των ακτινοβολιών του φωτός, που κυμαίνεται από 400nm-700nm.

Επομένως συντελείται η σκέδαση Rayleigh στα σωματίδια της γήινης ατμόσφαιρας και σ' αυτή συμμετέχουν όλα τα χρώματα της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά το **μπλε** σκεδάζεται δυόμισι περίπου φορές περισσότερο από το **πράσινο** και τέσσερις έως πέντε φορές περισσότερο από το **κόκκινο**.

Η απάντηση λοιπόν στην ερώτηση που μας απασχόλησε σ' αυτό το πόνημα βρίσκεται στο ότι το **μπλε υφίσταται εντονότερη σκέδαση (σύμφωνα με τον νόμο του**



Εικόνα 5: Σχηματική παράσταση των μορίων N_2 και O_2 και οι σχετικές τάξεις μεγέθους τους

³ Η τάξη μεγέθους του N_2 προκύπτει ως το άθροισμα της ομοιοπολικής ακτίνας $2r=0,150nm$ συν $R_a=0,92nm$ που είναι η ατομική ακτίνα του Αζώτου από αριστερά, συν $R_a=0,92nm$ ακόμη μια φορά την ατομική ακτίνα από δεξιά. ($0,150nm+0,092nm+0,092nm=0,334nm$)

Ομοίως η τάξη μεγέθους του O_2 προκύπτει ως το άθροισμα της ομοιοπολικής ακτίνας $2r=0,134nm$ συν $R_a=0,060nm$ που είναι η ατομική ακτίνα του Οξυγόνου από αριστερά, συν $R_a=0,060nm$ ακόμη μια φορά την ατομική ακτίνα από δεξιά. ($0,134nm+0,060nm+0,060nm=0,254nm$)

Rayleigh και λόγω του μικρότερου μήκους κύματός του) από τις άλλες συνιστώσες του ηλιακού φωτός. Επομένως το μπλε διαχέεται περισσότερο στον ουρανό από τα άλλα χρώματα.

Γιατί όχι μωβ;

Θα μπορούσε τώρα κανείς να αναρωτηθεί: αφού το μήκος κύματος της ιώδους (μωβ) ακτινοβολίας είναι μικρότερο της κυανής (μπλε), γιατί ο ουρανός δεν είναι μωβ; Η απάντηση δίδεται σε δύο συνιστώσες.

Πρώτον όπως έχουμε πει ο ανθρώπινος εγκέφαλος αντιλαμβάνεται εν γένει τα τρία βασικά χρώματα (μπλε, πράσινο και κόκκινο)

Δεύτερον και σπουδαιότερον το Ιώδες υφίσταται τη σκέδαση στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, οπότε φθάνει εξασθενημένο στην επιφάνεια.

Πορτοκαλί-κόκκινα ηλιοβασιλέματα

Ένα άλλο φαινόμενο έχει την εξήγησή του στην ίδια αρχή, αυτό των πορτοκαλί και κόκκινων ηλιοβασιλεμάτων.

Καθώς ο ήλιος πάει να δύσει, το φως του ταξιδεύει πολύ περισσότερο (Εικόνα 6) μέσα στην ατμόσφαιρα ώστε να φτάσει στην επιφάνεια, απ' ότι το μεσημέρι. Έτσι υφίσταται πολύ μεγαλύτερη σκέδαση.

Στα ανώτερα στρώματα σκεδάζονται το ιώδες και το μπλε, ακολουθεί και το πράσινο.

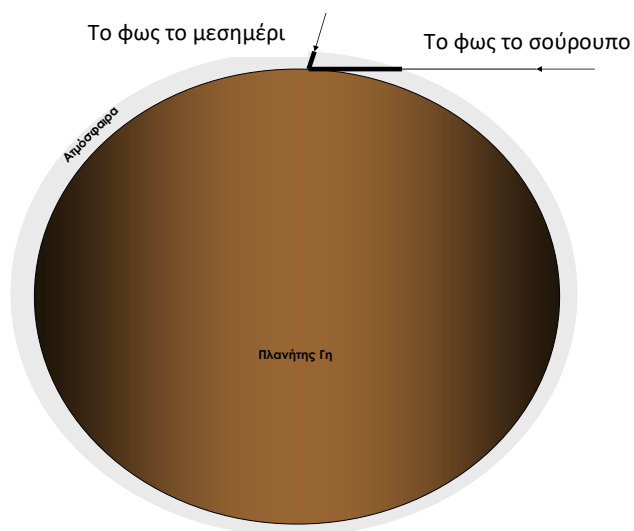
Πριν τη δύση τα χρώματα με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος καταφέρνουν να φτάσουν και να σκεδαστούν και αυτά, βάζοντας τον ουρανό στον ορίζοντα πορτοκαλοκόκκινο (τα μικρότερα μήκη κύματος – ιώδες, μπλε, πράσινο – έχουν σκεδαστεί πιο πίσω στην ατμόσφαιρα).

Κατά τη δύση του Ηλίου ακόμα και τα κόκκινα μήκη κύματος σκεδάζονται κατά μεγάλο ποσοστό και ο ουρανός της δύσης παίρνει κοκκινωπό χρώμα.

Τα όμορφα πορτοκαλοκόκκινα ηλιοβασιλέματα τόσο έχουν τραγουδιστεί σ' αυτόν τον πλανήτη. Είδαμε λοιπόν τον λόγο που ο ουρανός παίρνει αυτά τα όμορφα χρώματα δίνοντας το ερέθισμα σε τραγουδιστές και ποιητές (και όχι μόνο) να γράψουν και να τραγουδήσουν το ηλιοβασίλεμα.

Γιατί βλέπουμε τον ήλιο κίτρινο;

Το χρώμα του Ήλιου δεν είναι κίτρινο. Ο μικρού-μέσου σχετικά μεγέθους αστέρας μας, ο ζωοδότης Ήλιος, στην πραγματικότητα εκπέμπει ένα έντονα λευκό φως (σύμφωνα με όσα μας διδάσκει η επιστήμη της αστροφυσικής για τους αστέρες της



Εικόνα 6: Το σούρουπο που ο Ήλιος έχει «πέσει» χαμηλά το φως διανύει μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα απ' ότι το μεσημέρι που μεσουραναί.

κατηγορίας του) μέσα στο οποίο, όπως είπαμε, περικλείονται όλα τα χρώματα. (κόκκινο, πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε, και ιώδες)

Εμείς όμως τον βλέπουμε με ένα έντονο χρυσοκίτρινο χρώμα και τα παιδιά τον ζωγραφίζουν κίτρινο στις αθώες παιδικές τους ζωγραφιές...

Ποιος κάνει λάθος; Τα παιδιά; ή οι νόμοι της αστροφυσικής;

Όχι τα παιδιά δεν κάνουν λάθος!

Ούτε όμως και οι νόμοι της αστροφυσικής!

Το φως του Ηλίου μας είναι πράγματι λευκό. Ο λόγος που τον βλέπουμε εμείς κίτρινο, είναι ότι, λόγω της προαναφερθείσας σκέδασης και «αποσπάσεως» των χρωμάτων με μικρότερα μήκη κύματος (μπλε, κυανό) από το φάσμα, έρχονται στα μάτια μας από τον Ήλιο τα υπόλοιπα χρώματα, (πράσινο κίτρινο πορτοκαλί και κόκκινο) η σύνθεση των οποίων, μας δίνει αυτό το κίτρινο χρώμα!

Στη δύση του, παίρνει χρώμα κόκκινο

Όταν ο Ήλιος «γέρνει να ξεκουραστεί», κουρασμένος από τον κάματο όλης της ημέρας χάνει το λαμπερό χρυσοκίτρινο χρώμα του. Έτσι, όσο πάει να δύσει, τον βλέπουμε πορτοκαλί και κατά τη δύση γίνεται σχεδόν κόκκινος!



Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως είπαμε, το φως του διανύει περισσότερη απόσταση μέσα στην ατμόσφαιρα. Η σκέδαση που δέχεται είναι πολύ μεγαλύτερη. Στα ανώτερα στρώματα σκεδάζονται το μπλε το ιώδες και το πράσινο. Το φως του Ήλιου αδυνατίζει πολύ (χάνοντας ενέργεια με την σκέδαση των υψηλής ενέργειας χρωμάτων του φάσματος) και όταν φθάνει στον παρατηρητή οι ακτίνες του είναι χαμηλότερης ενεργειακής στάθμης. Τα χρώματα με την χαμηλότερη ενέργεια είναι το κόκκινο και το πορτοκαλί. Μ' αυτές τις αποχρώσεις βάφεται ο Ήλιος το σούρουπο και η εικόνα του μας καθηλώνει, μας μαγεύει, τόσο που δεν θέλουμε να πάρουμε τα μάτια μας απ' αυτή!



Επίλογος

Η παγκόσμια γλώσσα του Σύμπαντος είναι τα Μαθηματικά!
Καμία άλλη γλώσσα δεν μπορεί να εκφράσει με τόση πιστότητα αυτό που κατάφερε ο Δημιουργός, ο οποίος **«τα πάντα εν σοφία εποίησε»⁴**.
Δυστυχώς όμως η γλώσσα αυτή είναι «δύσκολη» ή μάλλον «παρεξηγημένη» και πολύς κόσμος αδυνατεί να την αποκωδικοποιήσει.
Για να μετριάσει το πρόβλημα αυτό, Εκείνος που τα δημιούργησε όλα, έδωσε τη δυνατότητα στον εγκέφαλο να αποκωδικοποιεί αυτόματα διάφορα τέτοια ερεθίσματα ώστε να μην χάσει ο άνθρωπος την ομορφιά του δημιουργήματος.
Έτσι, στην περίπτωση μας, ο εγκέφαλος μεταφράζει τα μήκη κύματος των ακτινοβολιών στα χρώματα, δίνοντας σε όλους μας τη δυνατότητα να θαυμάζουμε το γαλάζιο του ουρανού και τα όμορφα πορτοκαλί και κόκκινα ηλιοβασιλέματα χωρίς να είναι απαραίτητες οι μαθηματικές γνώσεις.
Προίκισε όμως «τους μυημένους εις την Μαθηματικήν» με τη διπλή χαρά να έχουν τη δυνατότητα να απολαμβάνουν την ομορφιά του ουρανού (και όχι μόνον αυτού) και δια μέσω της οράσεως, αλλά κυρίως άμεσα από την μητρική γλώσσα της κήσεως, τα Μαθηματικά!!!

Ιωάννης Χρ. Αγαπάκης

⁴ Ως εμεγαλύνθη τα έργα σου, Κύριε, πάντα εν σοφία εποίησας! (Ακολουθία του εσπερινού (Ψαλμός ργ'))