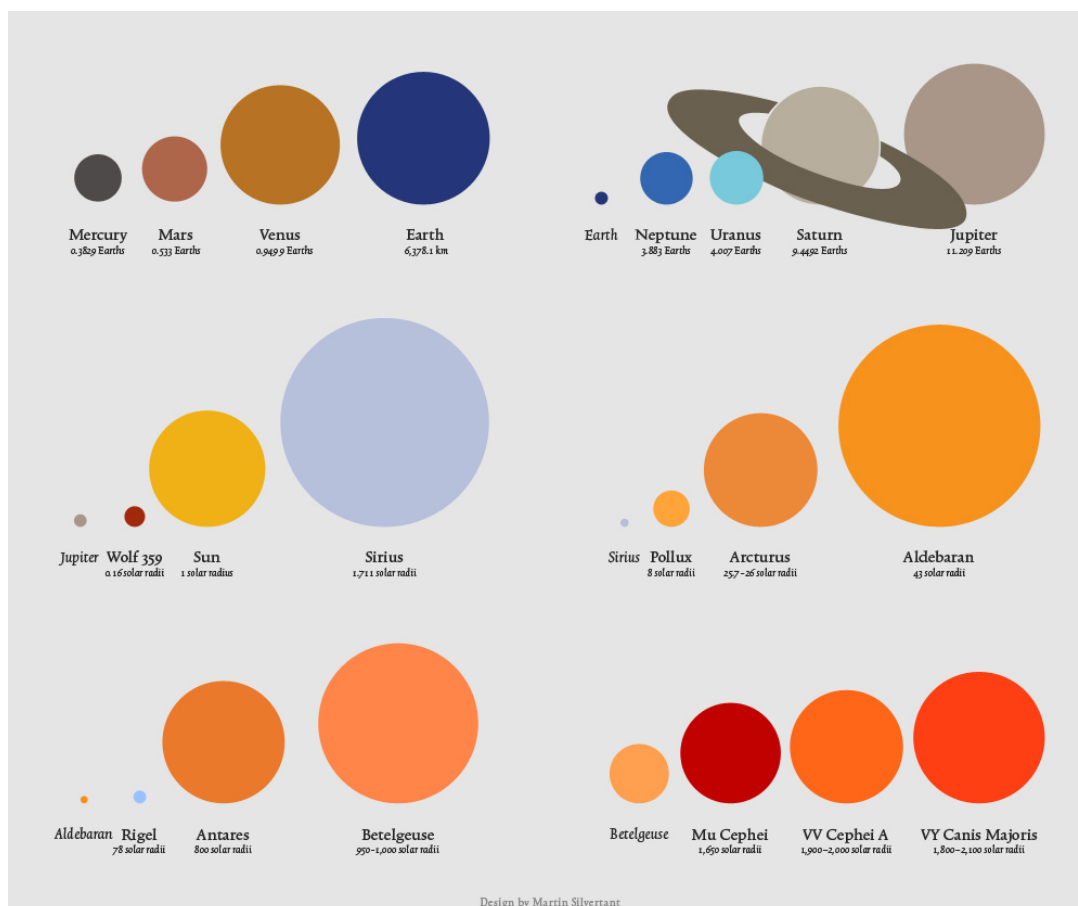


ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΚΕΣ ΠΑΡΑΝΟΗΣΕΙΣ II: Ο ΗΛΙΟΣ

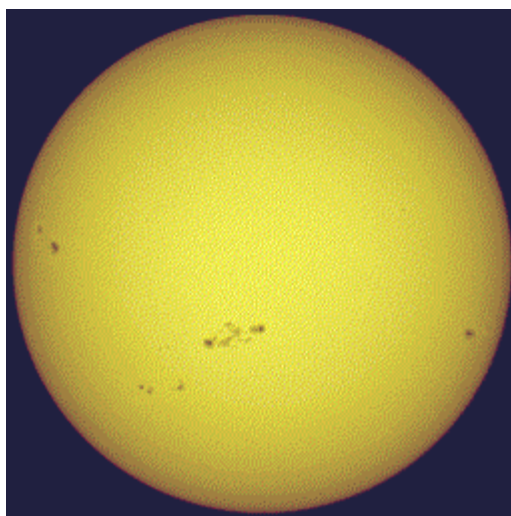
1. Ο Ήλιος μας είναι ένας από τους μεγαλύτερους αστέρες της περιοχής μας, του Γαλαξία μας αλλά και του σύμπαντος (NASA Science, εικόνα 1), όντας ο μοναδικός στο ηλιακό μας σύστημα (τα περισσότερα ηλιακά συστήματα αποτελούνται από ζεύγη ή πολλαπλά συστήματα αστέρων). Η γειτονιά του Ήλιου (σφαίρα ακτίνας 20 ετών φωτός) αριθμεί περί τα 30 τέτοια συστήματα, εκ των οποίων τα δύο τρίτα περιέχουν κόκκινους νάνους, δηλαδή αστέρες με στοιχεία όπως μάζα, μέγεθος και λαμπρότητα αρκετά μικρότερα από τα αντίστοιχα του δικού μας αστέρα. Ο Ήλιος μας καλύπτει σε μάζα το 99.86% του ηλιακού συστήματος (το υπόλοιπο 0.14% της συνολικής μάζας αφορά τους 8 πλανήτες, τους νάνους πλανήτες, τους δορυφόρους πλανητών, τους αστεροειδείς, τους μετεωροειδείς και τους κομήτες) και είναι περίπου 109 φορές μεγαλύτερος σε μέγεθος (διάμετρος) από την Γη, έχει 333,000 φορές περισσότερη μάζα από αυτήν, ενώ εάν ήταν κενός μέσα του θα χωρούσαν περίπου 1,304,000 πλανήτες στο μέγεθος της Γης μας.



Εικόνα 1: Σύγκριση μεγεθών πλανητών (σε γήινες ακτίνες) και αστέρων (σε ηλιακές ακτίνες). Οι περισσότεροι αστέρες του σύμπαντος έχουν το μέγεθος του κόκκινου νάνου Wolf 359 αριστερά στην εικόνα.

- ▲ Ο Ήλιος, όπως και πλανήτες και οι δορυφόροι, περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του

περίπου σε ένα μήνα με ταχύτητα περιστροφής προσεγγιστικά 2 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο (τετραπλάσια από αυτή της Γης). Η κίνηση αυτή εκτελείται με την ίδια φορά που περιστρέφονται η Γη και η Σελήνη (αριστερόστροφα). Επειδή η επιφάνεια του Ήλιου δεν είναι στερεή αλλά αεριώδης (υδρογόνο), η περιστροφή αυτή δεν είναι ενιαία (όπως στους γαιώδεις πλανήτες) αλλά διαφορεική. Δηλαδή, η περιοχή του ισημερινού του Ήλιου ολοκληρώνει μία περιστροφή σε 25 ημέρες, ενώ οι πόλοι του περιστρέφονται πλήρως σε περίπου 36 ημέρες (εικόνα 2). Η συγκεκριμένη μορφή διαφορεικής περιστροφής αφορά αποκλειστικά τα εξωτερικά στρώματα του Ήλιου (μέχρι και 200,000 χιλιόμετρα από την επιφάνειά του) και όχι ολόκληρο τον αστέρα. Ο πυρήνας του Ήλιου μαζί με την ζώνη ακτινοβολίας περιστρέφονται σαν ενιαίο σώμα (σχεδόν 500,000 χιλιόμετρα από το κέντρο του Ήλιου). Τέλος, ο ενδεκαετής ηλιακός κύκλος αλλά και 22 - ετής μαγνητικός ηλιακός κύκλος οφείλονται κυρίως στην διαφορεική περιστροφή του Ήλιου.



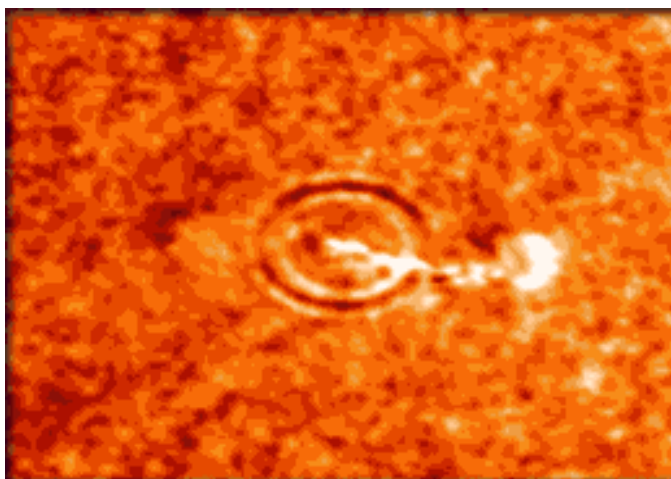
Εικόνα 2: Κινηματική απεικόνιση της ηλιακής περιστροφής αλλά και των ηλιακών κηλίδων (Image credit: NASA).

- ▲ Η απόσταση Γης - Ήλιου είναι μεταβαλλόμενη καθώς η Γη εκτελεί ελλειπτική τροχιά, στην μία από τις δύο εστίες της οποίας εντοπίζεται ο Ήλιος. Το κοντινότερο προς την Γη σημείο ονομάζεται περιήλιο (αρχές Ιανουαρίου - χειμώνας στο βόρειο ημισφαίριο), ενώ το πιο μακρινό αφήλιο (αρχές Ιουλίου - καλοκαίρι στο βόρειο ημισφαίριο). Η διαφορά της απόστασης Γης - Ήλιου στα δύο αυτά σημεία υπολογίζεται στα 5,000,000 χιλιόμετρα (147,000,000 με 152,000,000), ή 3% της μέσης απόστασης (149,600,000 χιλιόμετρα). Εκτός από τις παραπάνω αποκλίσεις, έχει ανακαλυφθεί και μία συστηματική μεταβολή (αύξηση) της αστρονομικής μονάδας (απόσταση Γης - Ήλιου) η οποία έχει προκύψει από την μελέτη ραδιομετρικών δεδομένων διαφόρων δορυφορικών μετρήσεων τα τελευταία 30 έτη (Krasinsky & Brumberg 2004, *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, 90, 267-288). Η αύξηση έχει εκτιμηθεί περίπου στα 15 εκατοστά ανά έτος, αλλά δεν έχει δικαιολογηθεί επαρκώς. Τέλος, έχουν υπολογισθεί και αυξήσεις πολύ μικρότερης τάξης μεγέθους (χιλιοστά ανά έτος) που οφείλονται είτε σε παλλιροϊκές δυνάμεις (μεταξύ Ήλιου - Γης - Σελήνης), είτε σε απώλεια ηλιακής μάζας λόγω μετατροπής της σε ακτινοβολία ή ηλιακού ανέμου.
- ▲ Κάθε δευτερόλεπτο ("), στον πυρήνα του Ήλιου, περίπου 600 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου μετατρέπονται σε ήλιο (99.3%) και ακτινοβολία (0.7%), η οποία θερμαίνει το ηλιακό σύστημα αλλά και την Γη. Η καθαρή απώλεια μάζας (ως ακτινοβολία) εκτιμάται στους 4

δισεκατομμύρια kg/", ή αλλιώς 10^{17} kg ανά έτος. Αν υποθέσουμε ότι η συγκεκριμένη παραγωγή ενέργειας ήταν σταθερή καθ' όλη την μέχρι τώρα ζωή του Ήλιου (4.6 δισεκατομμύρια έτη) τότε η συνολική απώλεια μάζας υπολογίζεται προσεγγιστικά στο ένα δεκάκις χιλιοστό της μάζας του (30 με 50 φορές την μάζα της Γης). Επίσης, λόγω του συνεχούς ηλιακού ανέμου (ρεύμα φορτισμένων σωματιδίων της άνω ηλιακής ατμόσφαιρας) εκτιμάται ότι ο Ήλιος χάνει περίπου 4 τρισεκατομμύρια kg την ώρα, ή προσεγγιστικά 10^{-14} της μάζας του ανά έτος. Επομένως, στην διάρκεια της ζωής του εκτιμάται ότι έχει απωλέσει περίπου άλλο ένα δεκάκις χιλιοστό της μάζας του (υποθέτοντας πάντα ότι υπήρχε σταθερή ροή ηλιακού ανέμου σε όλη την διάρκεια της ζωής του, γεγονός που δεν ισχύει εφόσον γνωρίζουμε ότι αυτή η ροή ήταν ισχυρότερη στα πρώιμα στάδια εξέλιξης του Ήλιου). Και τα δύο παραπάνω φαινόμενα έχουν μακροσκοπική επίδραση στις τροχιές των πλανητών και της Γης.

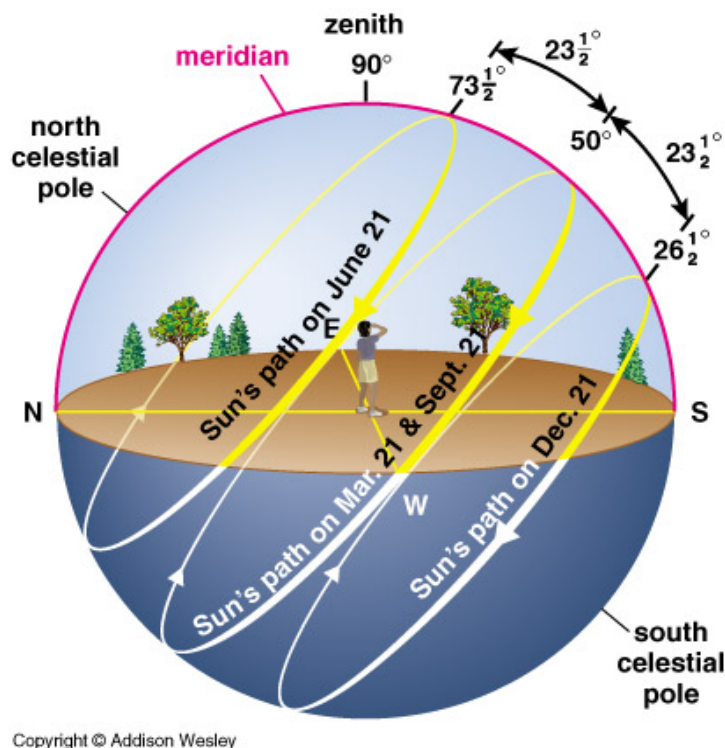
- ▲ Ο πυρήνας του Ήλιου αποτελεί την περιοχή που παράγεται περίπου το 99% της ενέργειας του μέσω (σταθερού ρυθμού) θερμοπυρηνικών αντιδράσεων που μετατρέπουν πυρήνες υδρογόνου σε πυρήνες ηλίου παράγοντας συγχρόνως φωτόνια και ηλιακά νετρίνα. Η ακτίνα του ηλιακού πυρήνα εκτιμάται γύρω στα 170,000 χιλιόμετρα (1/4 του μεγέθους του Ήλιου ή 27 φορές αυτού της Γης), ενώ η θερμοκρασία του γύρω στους 15 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου (το θερμότερο σημείο του ηλιακού συστήματος). Η πυκνότητα του υπολογίζεται περίπου σε 150 φορές αυτή του νερού (περίπου 10 φορές η πυκνότητα του χρυσού ή του μολύβδου) και η κατάσταση της ύλης στην περιοχή του είναι αυτή του πλάσματος (τέταρτη κατάσταση ύλης εκτός από στερεά, υγρά και αέρια). Τέλος, χρειάζονται αρκετές εκατοντάδες χιλιάδες έτη για να ταξιδέψει ένα φωτόνιο από το κέντρο του Ήλιου μέχρι την επιφάνειά του, ενώ μόλις 2.3 δευτερόλεπτα για ένα νετρίνο.
- ▲ Έχει ανακαλυφθεί η ύπαρξη νερού με την μορφή υδρατμών στην επιφάνεια του Ήλιου στις περιοχές που φιλοξενούνται ηλιακές κηλίδες θερμοκρασίας περίπου 3,000 βαθμών (με την μέθοδο της υπέρυθρης φασματοσκοπίας υψηλής ανάλυσης). Η επιφάνεια (φωτόσφαιρα) του Ήλιου παρουσιάζει θερμοκρασία περίπου 5,800 βαθμών στην οποία διαχωρίζονται τα μόρια του νερού σε άτομα υδρογόνου και άτομο οξυγόνου (H_2O). Ωστόσο, τα ισχυρότατα μαγνητικά πεδία στις γειτονιές των κηλίδων εμποδίζουν την θερμοκρασία να ανέβει σημαντικά και ευνοούν την δημιουργία νερού έστω και με την μορφή ατμού. Αυτή η ανακάλυψη του 1995 πιστοποιήθηκε δύο χρόνια αργότερα με την σύγκριση του παρατηρησιακού φάσματος νερού (στον Ήλιο) και ενός θεωρητικά κατασκευασμένου στα πανεπιστήμια του Waterloo του Καναδά και της Tuscon (Arizona) στις Η.Π.Α.
- ▲ Όπως ακριβώς συμβαίνει στην Γη και στην Σελήνη, έτσι και στον Ήλιο έχει ανακαλυφθεί και μελετάται και θεωρητικά (μαθηματικά μοντέλα) και παρατηρησιακά (διαστημικά παρατηρητήρια SOHO, GOES) σημαντική σεισμική δραστηριότητα. Η Ηλιοσεισμολογία (helioseismology) είναι ο κλάδος της Φυσικής (ή Αστροφυσικής) που αφορά στα αντίστοιχα φαινόμενα. Η ηλιακή σεισμική δραστηριότητα οφείλεται σε δυναμικές ταλαντώσεις θερμού αερίου (σε κατάσταση plasma) από το εσωτερικό του Ήλιου προς την επιφάνεια (μέσω της ζώνης μεταφοράς θερμότητας) που όταν ψύχονται ακολουθούν καθοδική πορεία. Η συγκεκριμένη σεισμική δραστηριότητα μπορεί να διεγερθεί αρκετά από την δημιουργία ηλιακών εκλάμψεων που δρουν σε περιοχές κοντά στην ηλιακές κηλίδες και μπορεί να παρατηρηθεί στην επιφάνεια του Ήλιου με την μορφή ομόκεντρων δακτυλίων. Η ισχυρότερη ηλιακή σεισμική δόνηση που έχει μέχρι σήμερα καταγραφεί (SOHO) σημειώθηκε τον Ιούλιο του 1996 με μέγεθος 11.3 της κλίμακας Richter, δηλαδή περίπου 50,000 φορές μεγαλύτερης

ενέργειας από έναν σεισμό μεγέθους 8 της ίδιας κλίμακας (εικόνα 3).



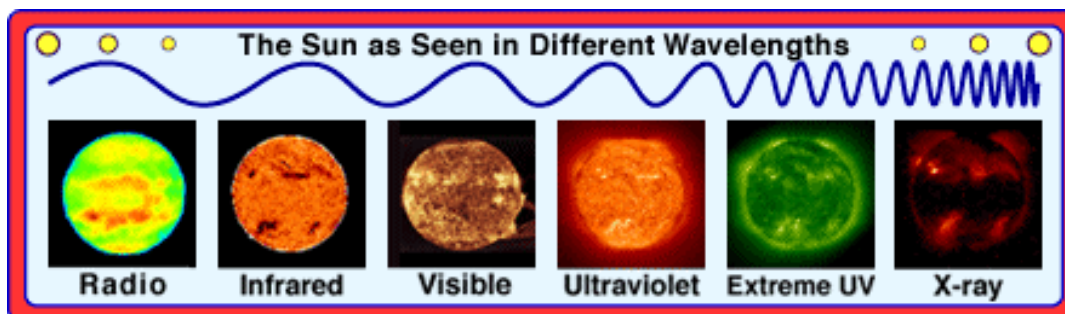
Εικόνα 3: Κινηματική απεικόνιση μίας μέτριας ισχύος ηλιακής έκλαμψης (λευκό χρώμα) και της αντίστοιχης σεισμικής δόνησης (η τελική έκταση των ομόκεντρων κύκλων φτάνει και τα 100,000 χιλιόμετρα) που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 1996 (Image credit: SOHO) μεγέθους 11.3 της κλίμακας Richter.

Η πορεία του Ήλιου καθώς φαίνεται από την επιφάνεια της Γης είναι διαφορετική ανάλογα με τις εποχές και την τοποθεσία. Αντίστοιχα, ο Ήλιος ανατέλλει και δύει σε διαφορετικά σημεία (του ίδιου τόπου) κατά την διάρκεια του έτους. Τον χειμώνα ο Ήλιος (που εμφανίζεται πιο χαμηλά στον ορίζοντα) ανατέλλει και δύει πιο κοντά στον νότο, ενώ το καλοκαίρι (ψηλότερα στον ορίζοντα) κοντύτερα στον βορρά (για το βόρειο ημισφαίριο). Την άνοιξη και το φθινόπωρο, η ανατολή και η δύση του Ήλιου εντοπίζονται σε ενδιάμεσα σημεία (εικόνα 4). Αυτό συμβαίνει λόγω της (γωνίας) λόξωσης του άξονα περιστροφής της Γης (με το επίπεδο περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο). Η κλίση αυτή τους καλοκαιρινούς μήνες είναι με κατεύθυνση προς τον Ήλιο ενώ τον χειμώνα είναι μακριά από αυτόν. Σαν αποτέλεσμα, οι ώρες της ηλιοφάνειας σε ένα έτος να είναι εντελώς διαφορετικές και τα σημεία ανατολής και δύσης να κινούνται αριστερά και δεξιά του άξονα βορρά - νότου (καλοκαίρι - χειμώνας).



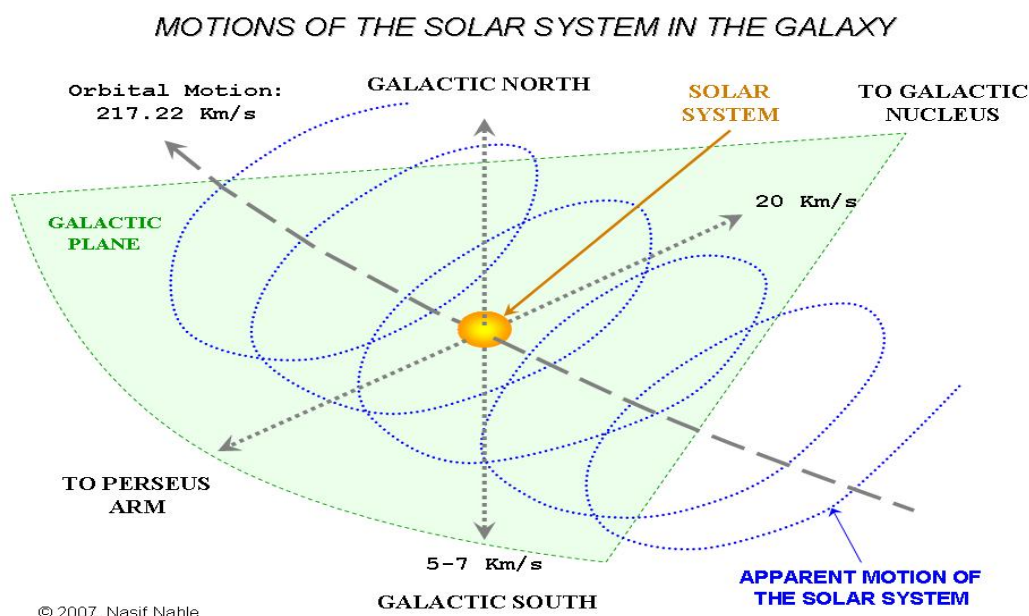
Εικόνα 4: Η πορεία του Ήλιου (ανατολή - δύση) στην διάρκεια του έτους για κάποιο συγκεκριμένο τόπο του βορείου ημισφαιρίου.

- Το χρώμα των αστέρων είναι χαρακτηριστικό της επιφανειακής τους θερμοκρασίας. Νεαροί αστέρες (θερμοκρασίας > 10,000 βαθμών) συνήθως αποδίδονται με μπλε, ενώ το κόκκινο είναι το χρώμα πιο ψυχρών αστέρων (θερμοκρασίας περίπου 2,000 ή 3,000 βαθμών) αρκετά προχωρημένης ηλικίας (κόκκινοι γίγαντες). Όλα τα ενδιάμεσα χρώματα (πράσινο, λευκό, κίτρινο, πορτοκαλί) χαρακτηρίζουν μεσήλικες αστέρες σαν τον Ήλιο μας. Ο Ήλιος εκπέμπει όλα τα χρώματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (εικόνα 5) αλλά όχι με την ίδια ποσότητα (όχι ομοιόμορφα). Εκπέμπει, δηλαδή, πολύ περισσότερο μπλε και πράσινο από ότι πορτοκαλί και κόκκινο. Παρόλα αυτά, η επιφανειακή του θερμοκρασία (περίπου 5800 βαθμοί) παραπέμπει στο λευκοκίτρινο χρώμα. Όταν όλα αυτά τα χρώματα έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα της Γης, μεγάλο τμήμα του πολύ έντονου και ενεργού μπλε και πράσινου σκεδάζονται (διασκορπισμός φωτονίων), βάφοντας τον ουρανό (μπλε) και αφήνοντας μόνο το κίτρινο και τα συναφή με το κόκκινο χρώμα να φτάνουν στα μάτια μας. Από την άλλη μεριά, τα ανθρώπινα μάτια είναι πολύ περισσότερο ευαίσθητα στο κίτρινο χρώμα παρά στο κυανό (μπλε) και το ερυθρό (κόκκινο). Ωστόσο, εκτός γήινης ατμόσφαιρας (όπου δεν υπάρχουν φαινόμενα σκέδασης), ο Ήλιος μας φαίνεται σχεδόν λευκός και πολύ λαμπρότερος από ότι στην Γη. Αυτός συμβαίνει διότι παρατηρείται υπερκορεσμός στους θερμικούς (χρωματικούς) υποδοχείς των ματιών μας (μπλε, πράσινο και κόκκινο) οι οποίοι μεταφράζουν την πλειάδα όλων των έντονων χρωμάτων σε λευκό (ή σχεδόν λευκό).



Εικόνα 5: Φωτογραφίες του Ήλιου σε διάφορα χρώματα (μήκη κύματος, Image credit: www.stsci.edu).

- Ο Ήλιος διαγράφει μία ελαφρώς ελλειπτική τροχιά γύρω από τον Γαλαξία μας περίπου κάθε 240 εκατομμύρια έτη, συμπαρασύροντας και ολόκληρο το ηλιακό σύστημα. Εκτός από την κίνηση αυτή, ο Ήλιος μας (και κατ' επέκταση όλο το ηλιακό επίπεδο) εκτελεί και άλλες δύο σημαντικές κινήσεις σε σχέση με το γαλαξιακό επίπεδο, με το οποίο σχηματίζει γωνία 60 μοιρών. Η μία έχει φορά πάνω - κάτω από το γαλαξιακό επίπεδο (από το κεντρικό τμήμα του οποίου απέχει περίπου 50 έτη φωτός) και προσεγγιστική ταχύτητα 7 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο ("). Η κίνηση αυτή έχει περίοδο 60 - 70 εκατομμύρια έτη, ενώ το μέγεθός της φτάνει και τα 200 με 250 έτη φωτός (ο Ήλιος, δηλαδή, μπορεί να βρίσκεται 200 - 250 έτη φωτός πάνω ή κάτω από το γαλαξιακό επίπεδο). Η δεύτερη συνιστώσα έχει φορά προς και από το γαλαξιακό κέντρο, ταχύτητα περίπου 20 χιλιομέτρων/" (προς την κατεύθυνση του αστέρα Βέγα) και οφείλεται στις βαρυτικές δυνάμεις των αστερών που ανήκουν στην ευρύτερη γειτονιά του Ήλιου μας (σφαίρα διαμέτρου 65 ετών φωτός). Η κίνηση αυτή είτε σπρώχνει είτε απομακρύνει ολόκληρο το ηλιακό σύστημα από το κέντρο του Γαλαξία μας. Η σχετική απόσταση κυμαίνεται από 27,000 μέχρι 32,000 έτη φωτός. Τελικά, οι τρεις αυτές ξεχωριστές κινήσεις προσδίδουν στον Ήλιο μία πολυσύνθετη, ελικοειδή τροχιά (εικόνα 6).





Εικόνα 6: Αναπαράσταση της σύνθετης ελικοειδούς κίνησης του ηλιακού επιπέδου (εκλειπτική) ως προς το γαλαξιακό επίπεδο. Η τελική συνισταμένη περιλαμβάνει τρεις ξεχωριστές συνιστώσες: κατακόρυφη (πάνω - κάτω), οριζόντια (μέσα - έξω) και ελλειπτική.