

Κυνηγώντας τον αστεροειδή Δίδυμο

Βαγγέλης Τσαμής^{1,2*}, Νίκος Μάρας², Γιάννης Ροζάκης³, Κλεομένης Τσιγάνης⁴

¹ Αστρονομική Ένωση Σπάρτης – Διόσκουροι

² IOTA-ES, International Occultation Timing Association, European Section

³ Ελληνική Ερασιτεχνική Αστρονομική Ένωση

⁴ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

* vtsamis@aegean.gr

Περίληψη

Στην εργασία αυτή παρουσιάζουμε το χρονικό της προετοιμασίας, οργάνωσης και εκστρατείας παρατήρησης της απόκρυψης πολύ αμυδρού αστέρα από τον παραγήινο (Near-Earth) αστεροειδή Δίδυμο (65803) Didymos / 1996 GT, τύπου Apollo, στις 9/10 Απριλίου 2021, εν μέσω καραντίνας, λόγω της πανδημίας Covid-19. Ο Δίδυμος έγινε παγκοσμίως γνωστός γιατί έχει επιλεγεί να αποτελέσει το στόχο ενός ιστορικού πρώτου πειράματος πλανητικής άμυνας: της προσπάθειας εκτροπής της τροχιάς του συνοδού του σώματος, του αστεροειδή Δίμορφου, μέσω κινητικής πρόσκρουσης, με σκοπό να εξαχθούν συμπεράσματα για μελλοντικές επεμβάσεις σε επικίνδυνους αστεροειδείς. Στο πείραμα εμπλέκονται αποστολές διαστημοσυσκευών της NASA (DART) και της ESA (HERA).

Διεθνείς ομάδες εξειδικευμένων αστρονόμων είχαν κάνει διαδοχικές αποκλειστικές αστρομετρικές παρατηρήσεις στον αστεροειδή, σε μια προσπάθεια να προβλεφθεί με όσο το δυνατόν περισσότερη ακρίβεια το μονοπάτι σκιάς της απόκρυψης, ώστε να γίνει η καταγραφή του φαινομένου. Υπεύθυνος συντονιστής στην Ελλάδα ήταν ο αστρονόμος του ΑΠΘ Κλεομένης Τσιγάνης. Δημιουργήθηκαν δύο παρατηρησιακές ομάδες υπό την επίβλεψη και καθοδήγηση του κ. Τσιγάνη, μία στη Νότια Ελλάδα και μία στη Βόρεια Ελλάδα. Εδώ παρουσιάζουμε το χρονικό της προετοιμασίας, της αποστολής και των αποτελεσμάτων της νότιας ομάδας.

Λέξεις-κλειδιά: Δίδυμος, Δίμορφος, αποκρύψεις αστέρων, παραγήινοι αστεροειδείς, Near-Earth Asteroids.

1. Εισαγωγή

Απόκρυψη αστέρος (stellar occultation) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένα ουράνιο σώμα (συνήθως αστεροειδής, TNO, πλανήτης, δορυφόρος ή η Σελήνη) διέρχεται προσωρινά από κάποιον αστέρα, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται, μερικώς ή ολικώς, το φως του αστέρα να φθάσει στον παρατηρητή, όσο διαρκεί η επιπρόσθηση αυτή.

Το φαινόμενο της απόκρυψης αντιστοιχεί σε απόλυτη γεωμετρική ευθυγράμμιση των τριών σωμάτων: αποκρυπτόμενος αστέρας, αποκρύπτον σώμα και οπτικό όργανο του παρατηρητή. Υπό την έννοια αυτή, η παρατήρηση μιας απόκρυψης αστέρος με τον κατάλληλο εξοπλισμό και μεθοδολογία, ιδιαίτερα η καταγραφή σε CCD ή σε βίντεο με παράλληλη χρήση αισθητήρα GPS, προσφέρει τη δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων χρήσιμων στην αστρονομική κοινότητα, όπως η εκτίμηση της ακριβούς θέσης, του σχήματος και των διαστάσεων του αποκρύπτοντος σώματος, η ανακάλυψη τυχόν δορυφόρων του, ενδείξεις για τυχόν ύπαρξη συνοδού αστέρα, κλπ. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου ένα φαινόμενο απόκρυψης καταγράφεται από ομάδα παρατηρητών, οι διαφορετικοί χρόνοι διάρκειας σε σχέση με τη θέση κάθε παρατηρητή ως προς το μονοπάτι σκιάς ανάγονται σε διαφορετικά μήκη χορδών στο προφίλ του αστεροειδούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μοντέλου για το σχήμα και τις διαστάσεις του. Στο απαιτητικό έργο της πρόβλεψης των αποκρύψεων αστέρων από αντικείμενα του ηλιακού μας συστήματος έχει συμβάλει τα μέγιστα η δημοσίευση των αστρομετρικών καταλόγων GAIA [2, 5].

2. Το σύστημα Δίδυμος - Δίμορφος στόχος πειράματος πλανητικής άμυνας

Στις 24 Νοεμβρίου 2021 ξεκίνησε το ταξίδι της η αποστολή DART (Double Asteroid Redirection Test) της Αμερικανικής Διαστημικής Υπηρεσίας (NASA), που εκτοξεύτηκε από τη βάση Βάντερμπεργκ στην Καλιφόρνια πάνω σε ένα πύραυλο Falcon 9 της εταιρείας Space X του Ίλον Μασκ. Το κόστος 330 εκατομμυρίων δολαρίων ρομποτικό σκάφος DART, αφού διανύσει μια απόσταση περίπου 11 εκατομμυρίων χιλιομέτρων από τη Γη, προορίζεται να συντριβεί στον μικρό δορυφόρο Δίμορφο (διαμέτρου 160 μέτρων) του αστεροειδούς Δίδυμου (διαμέτρου περίπου 800 μέτρων) τον Σεπτέμβριο του 2022, σε μια "πρόβα" πλανητικής άμυνας σε περίπτωση που ένας τέτοιος διαστημικός βράχος αποτελέσει απειλή για τη Γη στο μέλλον. Θα είναι το πρώτο τεστ μιας τεχνολογίας αποτροπής ενός καταστροφικού αστεροειδούς. Ενώ κατά καιρούς διάφορα διαστημικά σκάφη έχουν ηθελημένα και μη πέσει πάνω σε ουράνια σώματα, θα είναι η πρώτη φορά που θα γίνει κάτι τέτοιο σκοπίμως στο όνομα σωτηρίας της Γης από έναν μελλοντικό κίνδυνο.

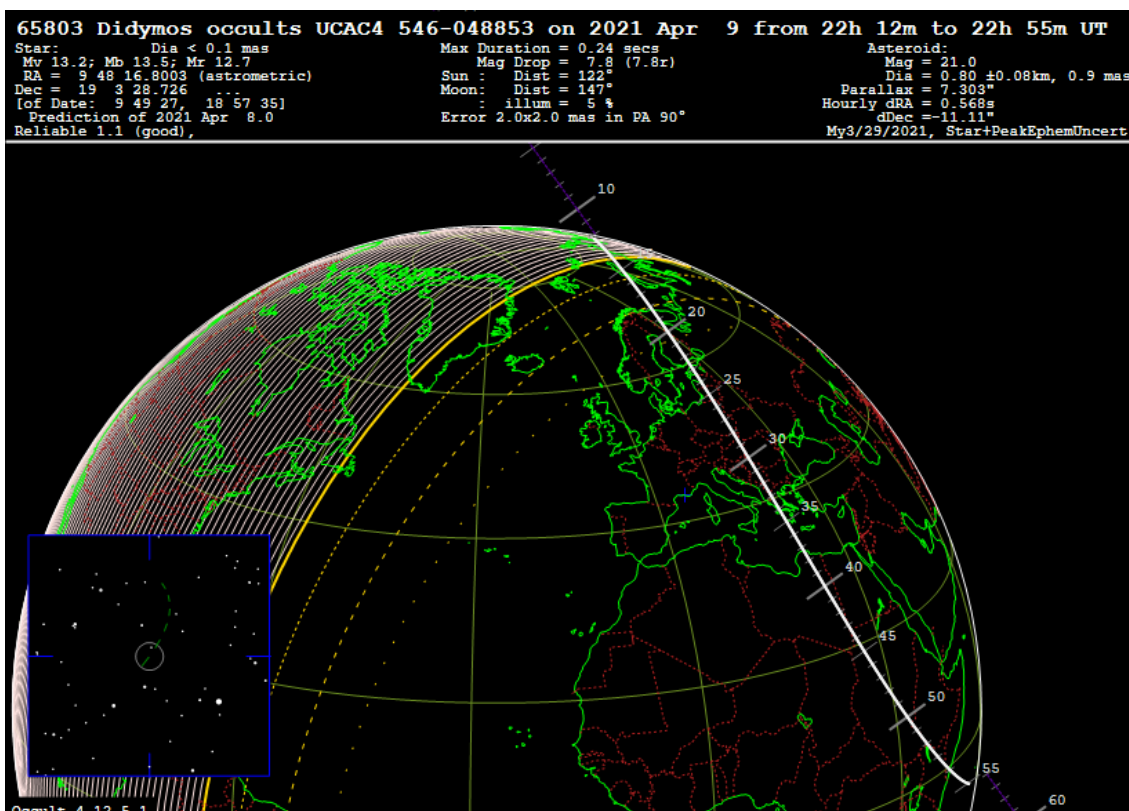
Η πρόσκρουση της διαστημοσυσκευής DART στον αστεροειδή με ταχύτητα 24.000 χιλιομέτρων την ώρα θα έχει ως στόχο να χρησιμοποιήσει κινητική ενέργεια για να τον εκτρέψει ελαφρά από την τροχιά του. Κάτι το οποίο μπορεί να χρειαστεί μελλοντικά να γίνει με κάποιον άλλο μεγάλο αστεροειδή που υπάρχει κίνδυνος η τροχιά να τον φέρει ακριβώς πάνω στον πλανήτη μας. Ο "βομβαρδισμός" του Δίμορφου αναμένεται να αλλοιώσει ελαφρά την τροχιά του, ώστε να περιφέρεται περίξ του Δίδυμου τουλάχιστον 73 δευτερόλεπτα πιο γρήγορα. Τα τηλεσκόπια από τη Γη θα παρακολουθούν για να δουν κατά πόσο αυτό όντως συνέβη. Παράλληλα, το DART, δέκα μέρες πριν την πρόσκρουση του, θα απελευθερώσει τη μικρή ιταλική διαστημοσυσκευή LICIACube που θα πλησιάσει τον Δίμορφο σε απόσταση 55 χιλιομέτρων και με τις κάμερες της θα φωτογραφήσει τα "μεθεόρτια" της πρόσκρουσης.

Η NASA έχει βρει περισσότερους από 27.000 αστεροειδείς διαφόρων μεγεθών, που οι τροχιές τους τους φέρνουν κοντά στη Γη. Παρά τις προόδους στον εντοπισμό των αστεροειδών που κατά καιρούς πλησιάζουν τον πλανήτη μας, μέχρι στιγμής οι αστρονόμοι εκτιμούν ότι έχει ανιχνευθεί μόνο το 30% έως 40% των κοντινών στη Γη αντικειμένων διαμέτρου άνω των 140 μέτρων. Γι' αυτό έχει γίνει αντιληπτό ότι πρέπει να υπάρχει έτοιμη μια τεχνολογία πλανητικής άμυνας, αν προκύψει κάποια άνωθεν δυσάρεστη έκπληξη (όπως εκείνη που πιθανότατα εξαφάνισε τους δεινόσαυρους πριν 66 εκατομμύρια χρόνια), κάτι με μικρή μεν πιθανότητα αλλά όχι απίθανο.

Στα χνάρια της αμερικανικής αποστολής θα ακολουθήσει η ευρωπαϊκή αποστολή HERA του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA), που θα στείλει μια γερμανικής κατασκευής διαστημοσυσκευή, συνοδευόμενη από δύο μικροδορυφόρους (τα CubeSats Milani και Juventas), στον Δίδυμο και στον Δίμορφο για να τους μελετήσει πιο προσεκτικά και να δει από πρώτο χέρι τον κρατήρα που θα έχει δημιουργηθεί, καθώς και τις άλλες επιπτώσεις της πρόσκρουσης της DART. Η HERA [4] αναμένεται να εκτοξευθεί το 2024 και να φθάσει στον αστεροειδή και το φεγγάρι του στο τέλος του 2026 [6].

3. Η πρόβλεψη για απόκρυψη αστέρα

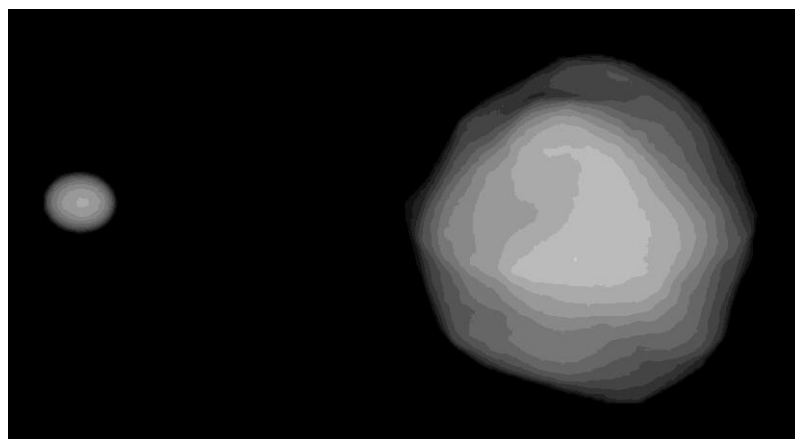
Σε επικοινωνία που είχαμε το 2020 με τον καθηγητή αστρονομίας του ΑΠΘ κ. Κλεομένη Τσιγάνη ενημερωθήκαμε για μια πρόβλεψη επερχόμενης απόκρυψης (εικόνα 1) του αμυδρού αστέρα UCAC4 546-048853 από τον Δίδυμο στις 9 Απριλίου 2021 (σε UT). Τυχόν θετική καταγραφή απόκρυψης αστέρα από τον Δίδυμο θα προσέθετε εξαιρετικής ακρίβειας αστρομετρικά στοιχεία για τον αστεροειδή. Έχουν βέβαια προηγηθεί πολυετείς φωτομετρικές παρατηρήσεις του συστήματος Δίδυμος - Δίμορφος με μεγάλα τηλεσκόπια [1], ώστε από την επεξεργασία των καμπυλών φωτός, καθώς και από παρατηρήσεις ραντάρ [3], να γίνει μοντελοποίηση του αστεροειδούς (εικόνα 2).



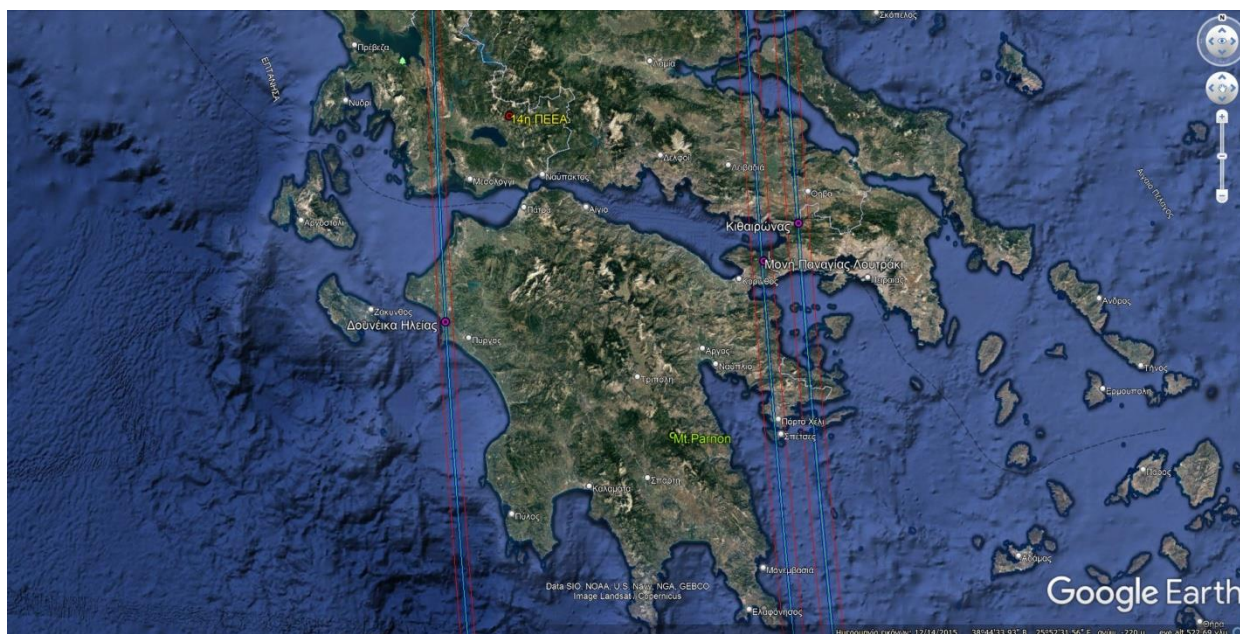
Εικόνα 1: Η πρώτη πρόβλεψη για την απόκρυψη
Από: https://asteroid-obs.oca.eu/foswiki/bin/view/Main/Didymos_1

Παρ' όλα τα προβλήματα, αποφασίσαμε να προχωρήσουμε και να αναζητήσουμε ερασιτέχνες αστρονόμους που θα ήταν διατεθειμένοι να συμμετάσχουν. Οι κύριες δυσκολίες ήταν: i) ο αστέρας ήταν πολύ αμυδρός, μόλις 13.2 mag ii) η διάρκεια της απόκρυψης, λόγω της μικρής διαμέτρου του αστεροειδούς αναμενόταν απειροελάχιστη, μόλις 0.24 sec. iii) το μονοπάτι σκιάς δεν είχε ακόμη προβλεφθεί επακριβώς, αναμενόταν όμως σειρά εξειδικευμένων αστρομετρικών παρατηρήσεων από διεθνείς συνεργάτες του κ. Τσιγάνη, με προσδοκώμενη σαφή βελτίωση της αρχικής πρόβλεψης.

Η αρχική πρόβλεψη έφερνε το μονοπάτι σκιάς να περνάει από τον Κιθαιρώνα, ευνοϊκά για μας, καθώς υπάρχει εκεί γνωστή θέση παρατήρησης σε υψόμετρο 1.000 περίπου μέτρων. Μετά από αστρομετρικές παρατηρήσεις του αστεροειδούς από μεγάλα επαγγελματικά τηλεσκόπια, το μονοπάτι σκιάς μετατέθηκε δύο ακόμη φορές δυτικότερα, με τελική εκτίμηση να περνάει από τη Δυτική Πελοπόννησο (εικόνα 3).



Εικόνα 2: Μοντέλο του συστήματος Δίδυμος – Δίμορφος.
(NASA/Naidu et al., AIDA Workshop, 2016)



Εικόνα 3: Οι διαδοχικές προβλέψεις για το μονοπάτι σκιάς της απόκρυψης (Απεικόνιση από το Google Earth).

4. Σχεδιασμός και οργάνωση της αποστολής

Η καταγραφή αποκρύψεων αποσκοπεί στην λήψη διαδοχικών απεικονίσεων του στόχου ώστε από τη μελέτη των φωτομετρικών σημείων με διαφορική φωτομετρία, να εξαχθεί καμπύλη φωτός που να αναδεικνύει τη μείωση λαμπρότητας λόγω απόκρυψης, με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι μετρήσιμη η διάρκεια και οι χρόνοι έναρξης και λήξης του φαινομένου, αλλά και το ακριβές ποσοστό μείωσης της λαμπρότητας του στόχου. Δεδομένων των εγγενών δυσκολιών (μικρή διάρκεια απόκρυψης, αμυδρός αστέρας), για να έχουμε αξιόπιστο αποτέλεσμα χρειαζόμασταν οπωσδήποτε τηλεσκόπια μεγάλου διαμετρήματος (μεγαλύτερα των 12"), ευαίσθητες κάμερες CCD/CMOS, και αξιόπιστη πηγή χρόνου, κατά προτίμηση συσκευές GPS.

Σε συνεννόηση με τον καθηγητή κ. Κλεομένη Τσιγάνη, επικοινωνήσαμε με ερασιτέχνες αστρονόμους στην Αττική που είχαν τον κατάλληλο εξοπλισμό και ενδιαφέρον για τη συγκεκριμένη παρατήρηση, και τελικά καταλήξαμε σε μια τριμελή ομάδα, που αποτελούνταν από τους Γιάννη Ροζάκη (35 εκ. καταδιопτρικό τηλεσκόπιο, Celestron), Νίκο Μάρα (45 εκ. Obsession, νευτώνειο τηλεσκόπιο τύπου ντομπονιαν) και Βαγγέλη Τσάμη. Ο κ. Τσιγάνης μας απέστειλε δύο εξειδικευμένες κάμερες CMOS με δέκτη GPS ενόψει της καταγραφής, συγκεκριμένα QHY 174 - GPS. Το λογισμικό καταγραφής επιλέχτηκε να είναι το SharpCap.

Οι συντεταγμένες του αστέρα-στόχου ήταν: RA: 09 48 16.80595 DEC: +19 03 29.05020
Μελετήσαμε τα χαρακτηριστικά του αστέρα στον κόμβο VizieR (u-strasbg.fr)
<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-5?-ref=VIZ5f7f06d13ffb&-out.add=&-source=I/322A/out&UCAC4===546-048853&-out.orig=0>

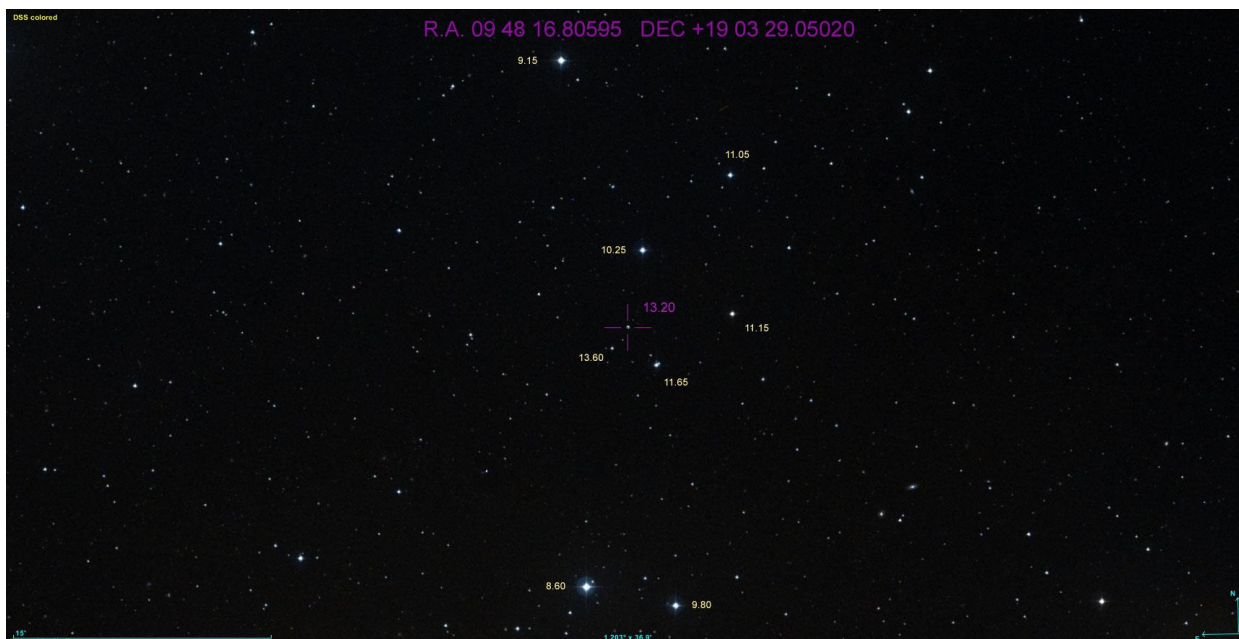
Απεικόνιση του αστρικού πεδίου με το λογισμικό Aladin (CDS Portal) φαίνεται στην εικόνα 4.

Ένα μήνα νωρίτερα αρχίσαμε να κάνουμε δοκιμαστικές λήψεις του πεδίου με το προσωπικό μας τηλεσκόπιο, καταδιопτρικό διαμέτρου 25 εκ, από τις Ράχες Φθιώτιδας. Το ζητούμενο ήταν να εξοικειωθούμε με το αστρικό πεδίο και τη λειτουργία της κάμερας. Για το σκοπό αυτό κάναμε ευκρινείς λήψεις, διάρκειας αρκετών δευτερολέπτων με μία από τις κάμερες QHY 174 - GPS (εικόνα 5).

Αρκετές ημέρες πριν την παρατήρηση είχαμε την ευκαιρία να κάνουμε όλοι μας και τις απαραίτητες δοκιμές του τελικού εξοπλισμού μας σε λάπτοπ, κάμερες, τηλεσκόπια και λογισμικό. Οι δοκιμές ήταν επιτυχείς, τόσο με το 14ιντσο καταδιопτρικό, όσο και με το 18ιντσο νευτώνειο, για χρόνους λήψης 2, 1, 0.5 και 0.1 sec. Οριακά επιτυχείς ήταν οι δοκιμαστικές λήψεις των 0.066 και 0.033 sec, που ήταν ο χρόνος λήψης που είχαμε επιλέξει για την

παρατήρηση. Διαπιστώσαμε ότι για να είναι φωτομετρικά αξιοποιήσιμες οι παρατηρήσεις, έστω και με πολύ χαμηλό λόγο σήματος προς θόρυβο, θα έπρεπε να είχαμε σκοτεινό ουρανό και πολύ καλό seeing.

Ήταν ενδιαφέρον ότι παρόλο που ήταν εξαιρετικά απαιτητική διαδικασία, καταφέραμε να κάνουμε καθαρές λήψεις με το μεγάλο 18ιντσο ντομπόνιαν τηλεσκόπιο. Διαπιστώσαμε ότι εφόσον εντοπίζαμε το αστέρι-στόχο και το βάζαμε στην άκρη του οπτικού πεδίου της κάμερας, με το τηλεσκόπιο ακίνητο το άστρο έμενε μέσα στο οπτικό πεδίο για τουλάχιστον 30 δευτερόλεπτα, χρόνος αρκετός για να πάρουμε εκατοντάδες λήψεις, οι οποίες ήταν εντελώς καθαρές από αστροϊχνη, λόγω της πολύ σύντομης αναμενόμενης διάρκειας του φαινομένου. Τα άστρα δηλαδή αποτυπώνονταν ως κυκλικοί δίσκοι και όχι ως οβάλ.



Εικόνα 4: Απεικόνιση του αστρικού πεδίου από το λογισμικό Aladin



Εικόνα 5: Δοκιμαστική λήψη του αστρικού πεδίου με 10ιντσο καταδιοπτρικό τηλεσκόπιο. Ο αστέρας στόχος καταδυκνύεται με σταυρόνημα.

Η περιοχή του μονοπατιού σκιάς που επιλέξαμε να ταξιδέψουμε για την παρατήρηση ήταν τα Δουνέικα Ηλείας. Καθώς υπήρχαν περιορισμοί στις μετακινήσεις από νομό σε νομό λόγω Covid-19, ο κ. Τσιγάνης μας είχε εφοδιάσει με βεβαιώσεις από το ΑΠΘ ότι ταξιδεύουμε για να διεξαγάγουμε αστρονομικές παρατηρήσεις. Με τη βοήθεια του Google Earth βρήκαμε δύο θέσεις εντός του μονοπατιού σκιάς για τους δύο σταθμούς παρατήρησης. Η αναμενόμενη ώρα απόκρυψης για τις συγκεκριμένη περιοχή ήταν 2021 Απρ. 10, 01hr 34min 28.5 sec \pm 3 sec ώρα Ελλάδας.

5. Εξοπλισμός

Οι κάμερες QHY 174-GPS που χρησιμοποιήθηκαν κατά την παρατήρηση της απόκρυψης, τόσο από εμάς στη νότια ομάδα, όσο και από τη βόρεια ομάδα, θεωρούνται ιδανικές για καταγραφή αποκρύψεων, καθώς συνδυάζουν τον υπερευαίσθητο αισθητήρα SONY IMX174 CMOS με δέκτη GPS, χάρη στον οποίο εντυπώνονται σε κάθε λήψη στο FITS Header πληροφορίες χρόνου GPS με ακρίβεια millisecond, καθώς και οι ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες της θέσης παρατήρησης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Απεικονίσεις της κάμερας και των τηλεσκοπίων μας παρουσιάζονται στο φωτογραφικό παράρτημα (εικόνες 8 και 9).

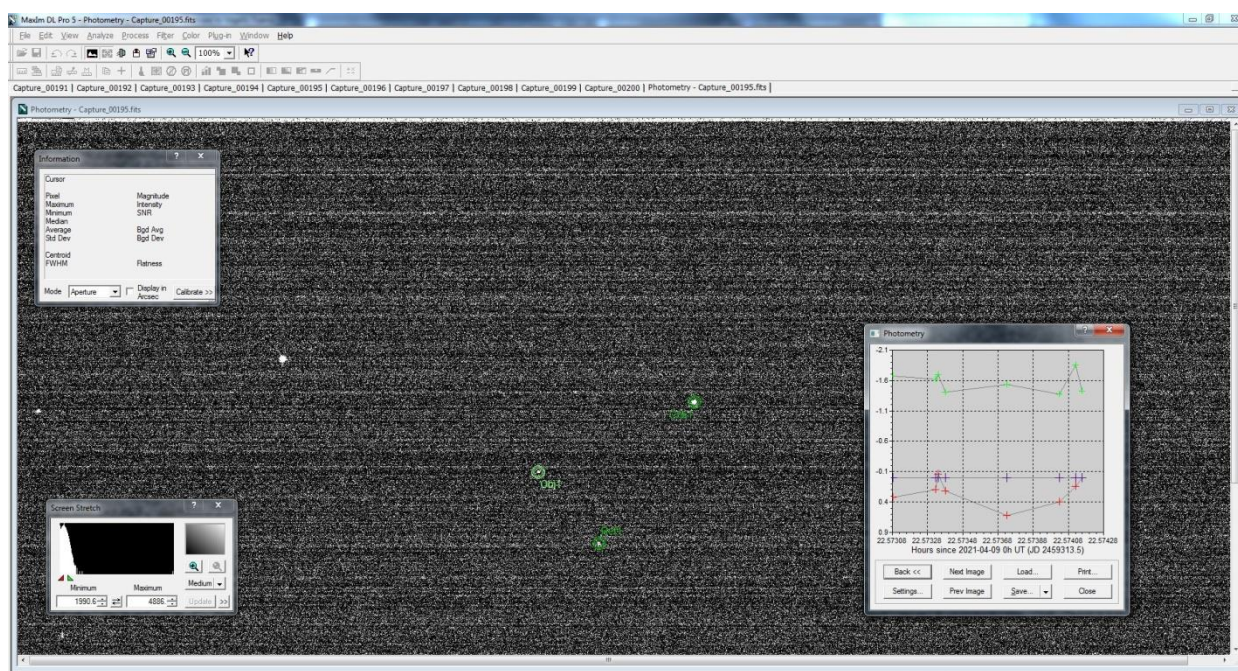
Πίνακας 1: Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάμερας QHY 174 - GPS

Camera Model	QHY 174-GPS		
COMS Sensor	SONY IMX174 CMOS	Full Frame Rate and ROI Frame Rate	138 FPS@1936×1216 260 FPS@960×600 490 FPS@480×300
Pixel Size	5.86 um*5.86 um	Readout Noise	5.3e-@Gain 0% 2.8e-@Gain 60% 1.6e-@Gain 100%
Effective Pixel Area	1920*1200	Exposure Time Range	5us-900 sec
Effective Pixels	2 mega	Binning	1×1, 2×2
Effective Image Area	11.25 mm*7.03 mm	Cooling System	Dual Stage TEC cooler (-40 °C below ambient), (Test temperature +20° C) Temperature Regulated
QE	78%	Weight	450 g
Fullwell	>32ke-	GPS version, Time-Stamp Precision	1 micro-second of the GPS UTC clock
Sensor Size	Typical 1/1.2 inch		
Back Focal Length	17.5 mm		

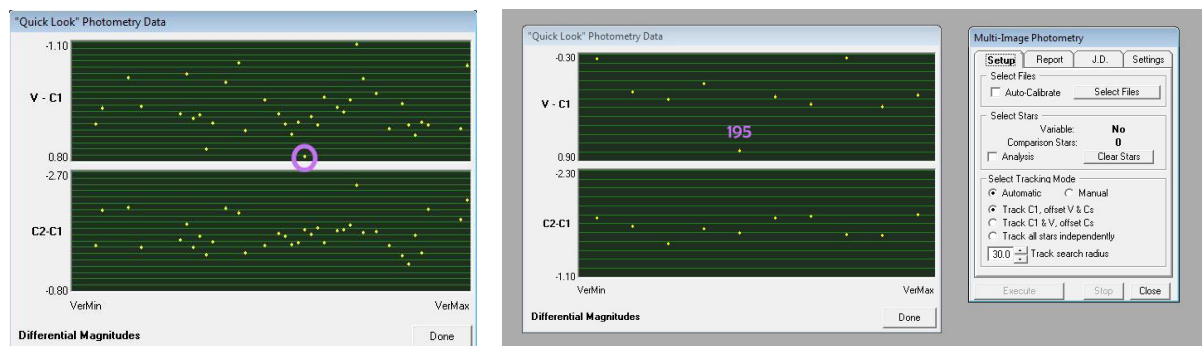
Από: <https://www.qhyccd.com/qhy174gps-imx174-scientific-cooled-camera/>

6. Καταγραφή και αποτελέσματα

Κατά την παρατήρηση, την ώρα της προβλεφθείσας απόκρυψης, πήραμε 1.797 λήψεις των 0.033 sec με το 14ιντσο καταδιοπτρικό και 497 λήψεις των 0.066 sec με το 18ιντσο νευτώνιο, από 01:34 ως και 01:35 Ώρα Ελλ. Οι καιρικές συνθήκες ήταν γενικά καλές, ο ουρανός σχεδόν αίθριος, το seeing όμως δεν ήταν ιδιαίτερα καλό. Ως αποτέλεσμα, κατά την επεξεργασία των λήψεων με το Maxim DL και το AIP 4 WIN V.2 (εικόνες 6 και 7) δεν καταφέραμε να έχουμε επαρκώς καλή φωτομετρική αποτύπωση των στόχων ώστε να εξαγάγουμε ασφαλή συμπεράσματα για την καταγραφή ή όχι απόκρυψης. Κατά συνέπεια το αποτέλεσμα της παρατήρησής μας χαρακτηρίζεται ως «αβέβαιο». Παρουσιάστηκε όμως και ένα απροσδόκητο τεχνικό πρόβλημα κατά την ώρα της καταγραφής από το νευτώνιο τηλεσκόπιο: στο δεύτερο μισό της καταγραφής δυστυχώς υπήρξαν τρία τουλάχιστον συμβάντα όπου το λογισμικό δεν κατέγραφε όλα τα FITS, αλλά υπήρξε κενός χρόνος στις λήψεις, της τάξης του δευτερολέπτου (πίνακας 2). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να χάσουμε πολύτιμα δεδομένα. Το πρόβλημα οφείλεται σε προσωρινή δυσλειτουργία του φορητού μας υπολογιστή με τον οποίο γινόταν η καταγραφή.



Εικόνα 6: Επεξεργασία λήψεων και καμπύλη φωτός με το λογισμικό Maxim DL Pro 5. Δεν είναι ξεκάθαρο ότι έχουμε απόκρυψη του αστέρα (18ιντσο νευτώνιο).



Εικόνα 7: Καμπύλες φωτός από το AIP4Win, με το Multiple-Image Photometry Tool. Το σημείο 195 δεν δύναται να θεωρηθεί ως πραγματική βύθιση της καμπύλης φωτός (18ιντσο νευτώνιο).

Πίνακας 2: Υπολογισμός “κενού” χρόνου ανάμεσα σε πέντε λήψεις κατά τη διάρκεια μιας δυσλειτουργίας στην ψηφιακή καταγραφή.

Αποτύπωμα χρόνου GPS για 5 λήψεις FITS		Υπολογισμός του “κενού” χρόνου	
293.FITS	UT 22hr 34min 23.9977804 sec	25.3999607 sec	26.4682883 sec
294.FITS	UT 22hr 34min 24.1313216 sec	- 24.1313216 sec	- 25.3999607 sec
295.FITS	UT 22hr 34min 25.3999607 sec	-----	-----
296.FITS	UT 22hr 34min 26.4682883 sec	= 1.2686391	= 1.0683276 sec
297.FITS	UT 22hr 34min 26.8021406 sec	(κενός χρόνος)	(κενός χρόνος)
		- 0.0666666	- 0.0666666 sec
		-----	-----
		= 1.2019725 sec	= 1.001661 sec
		(κενός χρόνος)	(κενός χρόνος)

7. Συζήτηση

Η προσπάθεια καταγραφής της απόκρυψης αστέρα από τον παραγήνιο (Near Earth) αστεροειδή (65803) Δίδυμο, ήταν εκ των προτέρων φανερό ότι ήταν μια ιδιαίτερα δύσκολη υπόθεση. Σε σχέση με τις αποκρύψεις αστερών τόσο από αστεροειδείς Κυρίας Ζώνης όσο και από TNOs (Trans Neptunian Objects, Υπερποσειδώνεια Αντικείμενα) όπου έχουμε αποκτήσει πολυετή εμπειρία με πολλές θετικές καταγραφές, αξιόπιστες παρατηρήσεις και πολλές δημοσιεύσεις, οι αποκρύψεις αστερών από παραγήνιους αστεροειδείς είναι μια εξαιρετική πρόκληση, εξαιτίας αφενός του πολύ μικρού γενικά μεγέθους των σωμάτων αυτών, κάτι που μεταφράζεται σε πολύ μικρή διάρκεια του γεγονότος, και αφετέρου της αβεβαιότητας στον υπολογισμό της τροχιάς τους.

Ο προβλεφθείς χρόνος απόκρυψης των 0.24 δευτερολέπτων, σε συνδυασμό με τη μικρή λαμπρότητα του αστέρα-στόχου (13.2 mag), απαιτούσε τηλεσκόπια μεγάλου διαμετρήματος (τουλάχιστον 30 εκ) αλλά και εξειδικευμένες κάμερες, ώστε να καταγραφεί το γεγονός αξιόπιστα και να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα. Χάρη στον καθηγητή κ. Τσιγάνη είχαμε στη διάθεσή μας τις κατάλληλες κάμερες, όμως όσον αφορά τα τηλεσκόπια μόνον το ένα από τα δύο είχε τις προδιαγραφές για διεξαγωγή απρόσκοπτης παρατήρησης: το 14ιντσο καταδιοπτρικό, καθώς εδραζόταν σε στιβαρή ισημερινή βάση GOTO. Με το 18ιντσο νευτώνειο, εφόσον ήταν τύπου ντομπσονίαν, είχαμε την πρόκληση να κρατήσουμε σταθερά το στόχο στο πεδίο της κάμερας. Ωστόσο, καταφέραμε να υπερπηδήσουμε αυτό το εμόδιο, χάρη στις αναγκαίες δοκιμές και την εμπειρία και ευελιξία του χειριστή (Νίκος Μάρας).

Οι δε τρεις διαδοχικές μετατοπίσεις του προβλεφθέντος μονοπατιού σκιάς, με την τελευταία να είναι αρκετά μεγάλη, μαρτυρούν τις ιδιαίτερες δυσκολίες του αξιόπιστου καθορισμού της τροχιάς των παραγήνιων αστεροειδών. Παρ' όλο που είχαν επιστρατευτεί μεγάλα τηλεσκόπια και ραντάρ, ο υπολογισμός των ακριβών τροχιακών στοιχείων των παραγήνιων αστεροειδών ενέχει πάντα έναν σχετικά μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας.

8. Επίλογος

Έχοντας επίγνωση των ιδιαίτερων συνθηκών και των δυσκολιών, αποφασίσαμε να ρισκάρουμε και να κυνηγήσουμε την απόκρυψη αυτή. Πιστεύουμε ότι οργανώσαμε την αποστολή παρατήρησης όσο καλύτερα μπορούσαμε. Κάναμε τις απαραίτητες δοκιμές, που στέφθηκαν από επιτυχία, είχαμε τον κατάλληλο εξοπλισμό, και προχωρήσαμε στην υλοποίηση της παρατήρησης. Παρ' όλο που τα τελικά αποτελέσματα δεν ήταν αυτά που περιμέναμε, για όλους εμάς που συμμετείχαμε ήταν μια πολύτιμη εμπειρία και είμαστε πρόθυμοι να συμμετέχουμε σε ανάλογες αποστολές και στο μέλλον.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τον καθηγητή κ. Τσιγάνη για τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του, τόσο ως προς το τεχνικό όσο και ως προς το επιστημονικό μέρος της προετοιμασίας μας, του προγραμματισμού και των παρατηρήσεων - καταγραφών που διεξάγαμε. Θερμές ευχαριστίες επίσης και για τη διάθεση των καμερών και τη χρηματοδότηση της παρατηρησιακής εκστρατείας μας.

Αναφορές

[1] Pravec et al (2022). Photometric Observations of the Binary Near-Earth Asteroid (65803) Didymos in 2015-2021 Prior to DART Impact. *The Planetary Science Journal*, 3:175

[2] Ferreira(2021). A new approach to stellar occultations in the Gaia era. Thèse de doctorat, Université Côte d'Azur

[3] Naidu et al (2020). Radar observations and a physical model of binary near-Earth asteroid 65803 Didymos, target of the DART mission. *Icarus*, vol. 348, 113777

[4] Tsiganis et al (2019). Hera - the European contribution to the international AIDA mission to Didymos. 21st EGU General Assembly, EGU2019, id.13147

[5] Tanga et al (2017). Asteroid astrometry with Gaia: stellar occultations and beyond. American Astronomical Society, DPS meeting #49, id.117.11

[6] <https://www.neweurope.gr/η-nasa-δοκιμάζει-την-πλανητική-άμυνα-της-γ/>

Φωτογραφικό Παράρτημα



Εικόνα 8: Τα τηλεσκόπια της αποστολής



Εικόνα 9: Η κάμερα QHY 174 και ο δέκτης GPS