



Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

## Ανάλυση Δεδομένων

### Ερώτηση 1

Μερικά στοιχεία για την φωτομετρία των αστεροειδών:

- Οι αστεροειδείς είναι μικρά ανωμάλου σχήματος αντικείμενα του Ηλιακού μας Συστήματος, τα οποία περιφέρονται γύρω από τον Ήλιο σε κατά προσέγγιση ελλειπτικές τροχιές.
- Η λαμπρότητά τους, όπως αυτή παρατηρείται σε μια ορισμένη χρονική στιγμή από τη Γη, εξαρτάται από την φωτιζόμενη από τον Ήλιο επιφάνεια και από το τμήμα της επιφάνειας του αστεροειδούς που είναι ορατό από τον παρατηρητή. Και οι δύο επιφάνειες μεταβάλλονται καθώς ο αστεροειδής κινείται.
- Ο τρόπος με τον οποίο το ηλιακό φως ανακλάται από την επιφάνεια του αστεροειδούς, εξαρτάται από τη δομή και σύστασή της και από την γωνία που σχηματίζεται από τον Ήλιο, από τον αστεροειδή και τον παρατηρητή (γωνία φάσης – phase angle,  $\phi$ ), η οποία μεταβάλλεται καθώς η Γη κι ο αστεροειδής κινούνται στην τροχιά τους. Ιδιαίτερος οι αστεροειδείς που η επιφάνειά τους καλύπτεται από λεπτή σκόνη (οι αστεροειδείς αυτοί ονομάζονται ρεγολιθικοί – regoliths) παρουσιάζουν μια απότομη αύξηση της λαμπρότητάς τους, όταν η γωνία φάσης είναι περίπου μηδέν (δηλ. όταν βρίσκονται απέναντι από τον Ήλιο - αντίθεση).
- Καθώς η φαινόμενη λαμπρότητα μιας φωτεινής πηγής ελαττώνεται με το τετράγωνο της απόστασης, το φαινόμενο μέγεθος ενός αστεροειδούς εξαρτάται από την απόστασή του από τον Ήλιο και από την απόστασή του από τον παρατηρητή την στιγμή της παρατήρησης. Το εκτός ατμόσφαιρας φαινόμενο μέγεθος  $M$  δίνεται από τη σχέση:

Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

### Ανάλυση Δεδομένων

$$M(t) = M_r(t) + 5\log(R \cdot D)$$

όπου η ποσότητα  $M_r(t)$  ονομάζεται συνήθως *ανηγμένο μέγεθος* (reduced magnitude), (που υπονοεί το μέγεθος που θα είχε ο αστεροειδής αν τόσο η απόστασή του από τον Ήλιο όσο και από τη Γη ήταν 1 AU). Το μέγεθος αυτό εξαρτάται μόνο από την ορατή φωτιζόμενη επιφάνεια του αστεροειδούς και από την γωνία φάσης. Τα  $R$  και  $D$  είναι η απόσταση του αστεροειδούς από το κέντρο του Ήλιου και το κέντρο της Γης αντίστοιχα.

Φανταστείτε τώρα το εξής σενάριο. Η καμπύλη φωτός ενός αστεροειδούς καταγράφηκε σε τρεις διαφορετικές νύχτες σε διαφορετικά σημεία της τροχιάς του. Σε κάθε φωτογραφία καταγράφηκε επίσης ένας φωτομετρικά πρότυπος αστέρας. Στον Πίνακα 1 δίνεται η θέση του αστεροειδή για κάθε νύχτα (γωνία φάσης  $\varphi$  σε μοίρες, η απόσταση  $R$  και η απόσταση  $D$  σε αστρονομικές μονάδες, AUs) και το βαθμονομημένο μέγεθος του φωτομετρικά πρότυπου αστέρα, που καταγράφηκε μαζί με τον αστεροειδή. Θεωρήστε ότι το βαθμονομημένο μέγεθος είναι το τελικό φαινόμενο μέγεθος, αφού ελήφθησαν υπόψη όλες οι διορθώσεις.

Στους Πίνακες 2, 3 και 4 δίνονται, για κάθε μία από τις τρεις νύχτες, ο χρόνος (σε ώρες) που καταγράφηκε το κάθε σημείο της καμπύλης φωτός μετά το πρώτο σημείο, η αέρια μάζα, το παρατηρηθέν μέγεθος του αστεροειδούς και το παρατηρηθέν μέγεθος του πρότυπου αστέρα.

Αέρια μάζα είναι το αδιάστατο πάχος της ατμόσφαιρας προς την κατεύθυνση της ευθείας οράσεως. Η αέρια μάζα είναι ίση με τη μονάδα όταν κοιτάζουμε προς το ζενίθ.

Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

### Ανάλυση Δεδομένων

1. Να σχεδιαστεί το μέγεθος του πρότυπου αστέρα ως συνάρτηση της αέριας μάζας για κάθε νύχτα.
2. Να υπολογιστεί ο συντελεστής απορρόφησης για κάθε νύχτα (συμβουλευτείτε το Παράρτημα Α στο τέλος του κειμένου).
3. Επηρεάστηκαν οι παρατηρήσεις από σύννεφα κάποια από τις τρεις νύχτες; Διατυπώστε την απάντησή σας ως εξής: (a) Night A, (b) Night B, (c) Night C και (d) None of the nights.
4. Σχεδιάστε το βαθμονομημένο μέγεθος του αστεροειδούς ως συνάρτηση του χρόνου για κάθε νύχτα παρατήρησης.
5. Υπολογίστε τη περίοδο περιστροφής του αστεροειδούς για κάθε νύχτα. Σημειώστε ότι για αυτόν τον αστεροειδή, η καμπύλη φωτός του έχει δύο ελάχιστα και δύο μέγιστα και ότι η ημιπερίοδος περιστροφής του είναι ο μέσος όρος των δύο χρονικών διαστημάτων μεταξύ των δύο μεγίστων και μεταξύ των δύο ελαχίστων.
6. Προσδιορίστε το πλάτος (δηλαδή τη διαφορά μεταξύ του μεγίστου και του ελαχίστου) της καμπύλης φωτός για κάθε νύχτα.
7. Σχεδιάστε το μέσο βαθμονομημένο ανηγμένο μέγεθος  $M_r$  κάθε νύχτας ως συνάρτηση της γωνίας φάσεως  $\varphi$  (χρησιμοποιείτε τη μέση τιμή για κάθε καμπύλη φωτός για κάθε μία από τις τρεις νύχτες).
8. Υπολογίστε την κλίση της παραπάνω καμπύλης φάσεως, λαμβάνοντας υπόψη μόνο τα δύο σημεία των τελευταίων δύο νυχτών, όταν ο αστεροειδής δεν βρισκόταν σε αντίθεση. (Λάβετε υπόψη τις πληροφορίες που αναφέρονται στο 3<sup>o</sup> bullet της εισαγωγής).
9. Κατά τη γνώμη σας, υπάρχουν ενδείξεις ότι ο αστεροειδής είναι ρεγολιθικός; Απαντήστε με YES/NO.

Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

## Ανάλυση Δεδομένων

### Πίνακας 1

Νύχτα	$D$	$R$	$\varphi$	$M_{\text{star}}$
A	0,36	1,35	0,0	8,2
B	1,15	2,13	8,6	8,0
C	2,70	1,89	15,6	8,1

### Πίνακας 2: Νύχτα A

$\Delta t$ (hours)	Αέρια μάζα	$m_{\text{ast}}$	$m_{\text{star}}$
0.00	1.28	7.44	8.67
0.44	1.18	7.38	8.62
0.89	1.11	7.34	8.59
1.33	1.06	7.28	8.58
1.77	1.02	7.32	8.58
2.21	1.00	7.33	8.56
2.66	1.00	7.33	8.56
3.10	1.01	7.30	8.56
3.54	1.03	7.27	8.58
3.99	1.07	7.27	8.58
4.43	1.13	7.31	8.61
4.87	1.21	7.37	8.63
5.31	1.32	7.42	8.67
5.76	1.48	7.49	8.73
6.20	1.71	7.59	8.81
6.64	2.06	7.69	8.92
7.09	2.62	7.87	9.14
7.53	3.67	8.21	9.49

### Πίνακας 3: Νύχτα B

$\Delta t$ (hours)	Αέρια μάζα	$m_{\text{ast}}$	$m_{\text{star}}$
0.00	1.28	13.24	8.38
0.44	1.18	13.21	8.36
0.89	1.11	13.13	8.34
1.33	1.06	13.11	8.33
1.77	1.02	13.11	8.32
2.21	1.00	13.15	8.32
2.66	1.00	13.17	8.32
3.10	1.01	13.17	8.32
3.54	1.03	13.13	8.33
3.99	1.07	13.15	8.34
4.43	1.13	13.14	8.34
4.87	1.21	13.14	8.37
5.31	1.32	13.21	8.38
5.76	1.48	13.30	8.43
6.20	1.71	13.34	8.47
6.64	2.06	13.39	8.54
7.09	2.62	13.44	8.65
7.53	3.67	13.67	8.87

### Πίνακας 4: Νύχτα C

$\Delta t$ (hours)	Αέρια μάζα	$m_{\text{ast}}$	$m_{\text{star}}$
0.00	1.28	11.64	8.58
0.44	1.18	11.53	8.54
0.89	1.11	11.56	8.60
1.33	1.06	11.49	8.52
1.77	1.02	11.58	8.48
2.21	1.00	11.79	8.63
2.66	1.00	11.67	8.53
3.10	1.01	11.53	8.46
3.54	1.03	11.47	8.48
3.99	1.07	11.63	8.67
4.43	1.13	11.51	8.51
4.87	1.21	11.65	8.55
5.31	1.32	11.77	8.61
5.76	1.48	11.88	8.75
6.20	1.71	11.86	8.78
6.64	2.06	12.03	9.03
7.09	2.62	12.14	9.19
7.53	3.67	12.63	9.65



Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

## Ανάλυση Δεδομένων

### Ερώτηση 2

Οι Κηφείδες είναι εξαιρετικά λαμπροί μεταβλητοί αστέρες, των οποίων το μέσο απόλυτο μέγεθος είναι συνάρτηση της περιόδου ανάπαλσής τους. Αυτό επιτρέπει στους αστροφυσικούς να προσδιορίσουν εύκολα την πραγματική φωτεινότητα των Κηφείδων από την μεταβολή της παρατηρούμενης φαινόμενης λαμπρότητάς τους.

Παρακάτω παρατίθεται ένας πίνακας με δεδομένα από Κηφείδες.  $P_0$  είναι η περίοδος αναπάλσεων σε ημέρες και  $\langle M_V \rangle$  είναι το μέσο απόλυτο οπτικό μέγεθος.

Κηφείδης	$P_0$ (days)	$\langle M_V \rangle$
SU Cas	1.95	-1.99
V1726 Cyg	4.24	-3.04
SZ Tau	4.48	-3.09
CV Mon	5.38	-3.37
QZ Nor	5.46	-3.32
$\alpha$ UMi	5.75	-3.42
V367 Sct	6.30	-3.58
U Sgr	6.75	-3.64
DL Cas	8.00	-3.80
S Nor	9.75	-3.95
$\zeta$ Gem	10.14	-4.10
X Cyg	16.41	-4.69
WZ Sgr	21.83	-5.06
SW Vel	23.44	-5.09
SV Vul	44.98	-6.04

1) Τοποθετήστε όλους τους Κηφείδες σε ένα διάγραμμα διασποράς, όπου ο οριζόντιος άξονας θα είναι ο  $\log_{10}(P_0)$  και ο κατακόρυφος το  $\langle M_V \rangle$ .

2) Κατασκευάστε με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων την ευθεία που διέρχεται από όλα τα σημεία του προηγούμενου διαγράμματος. Η εξίσωση αυτής της ευθείας μας επιτρέπει να προσδιορίσουμε τη φωτεινότητα οιοδήποτε Κηφείδη από την περίοδο αναπάλσεών του.

3) Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζεται η περιοδική καμπύλη φωτός δύο Κηφειδών. Χρησιμοποιείστε τη μέση τιμή της καμπύλης φωτός και τα δεδομένα που έχετε στη διάθεσή σας, για να εκτιμήσετε την απόσταση του καθενός εκ των δύο Κηφειδών. Επιπλέον εκτιμήστε το σφάλμα στον προσδιορισμό της απόστασης (δεν απαιτούνται μαθηματικοί τύποι για την εκτίμηση του σφάλματος).

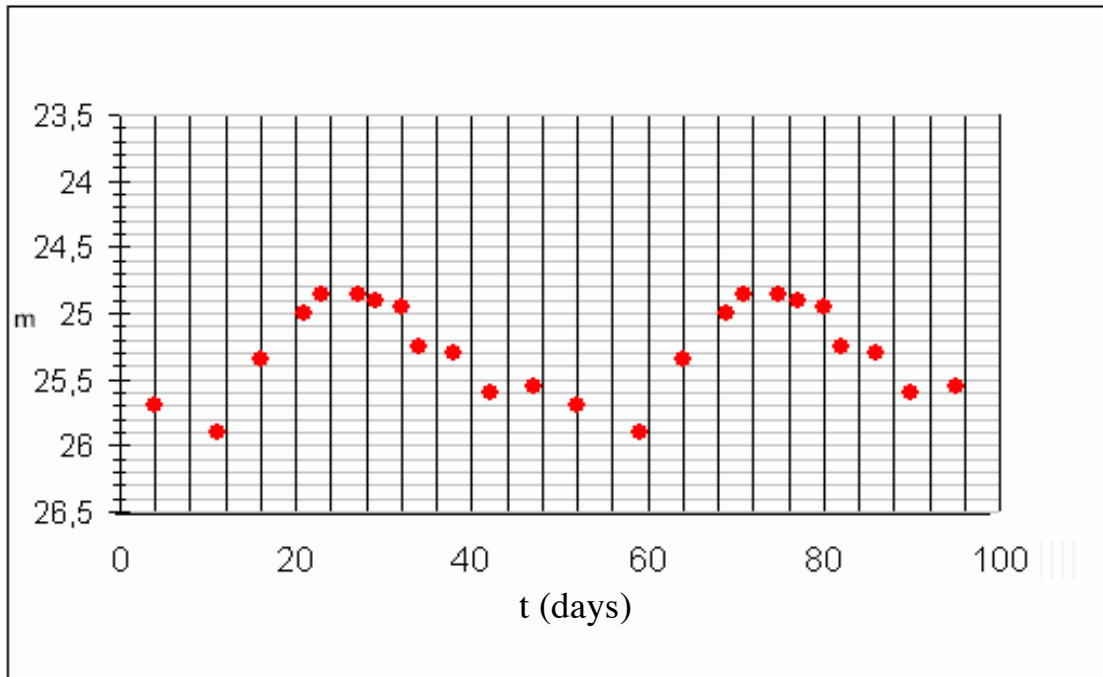
4) Συγκρίνοντας την απόσταση μεταξύ των δύο Κηφειδών με το τυπικό μέγεθος ενός γαλαξία, νομίζετε ότι θα ήταν δυνατόν αυτοί οι δύο Κηφείδες να βρίσκονται στον ίδιο γαλαξία; Απαντήστε με YES ή NO.

Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

## Ανάλυση Δεδομένων

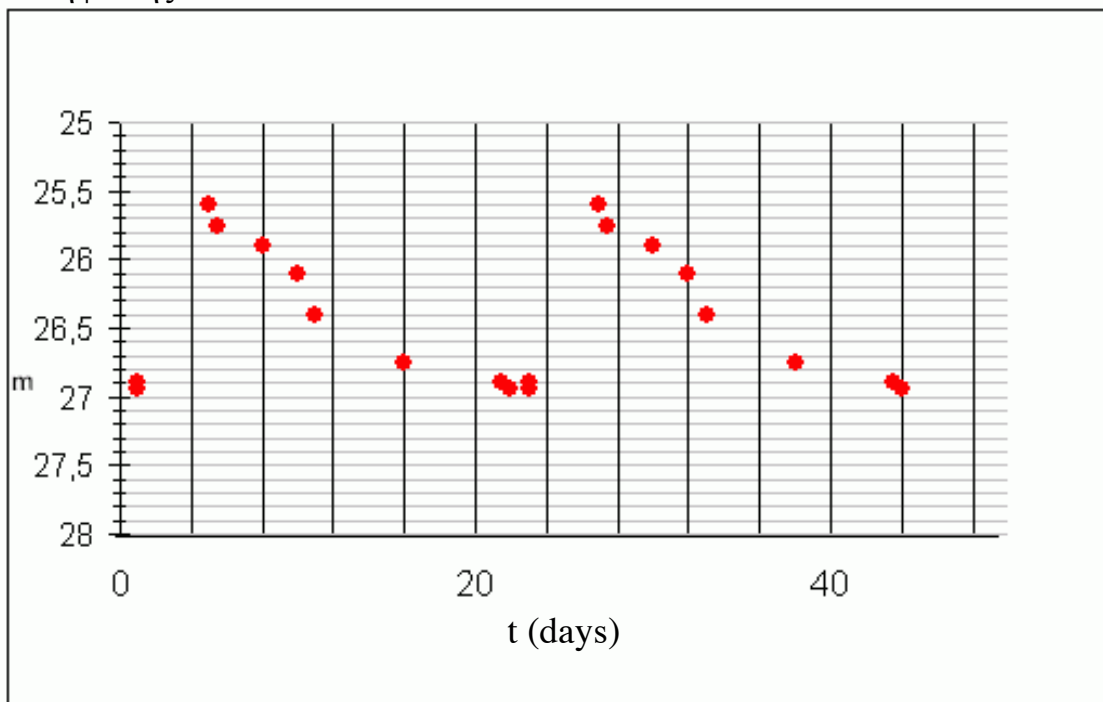
### Σχήμα 1

Κηφείδης 1



Κηφείδης 2

### Σχήμα 2



Student ID: \_\_\_\_\_ Ερώτηση #: \_\_\_\_\_

## Ανάλυση Δεδομένων

### Παράρτημα Α: συντελεστές απορρόφησης

Το εκτός ατμόσφαιρας μέγεθος ενός αστέρα δίνεται από τη σχέση:

$$M = m - A \cdot X + B$$

όπου  $A$  είναι ο συντελεστής απορρόφησης και  $B$  ο σταθερός όρος (για  $X = 0$ , δηλαδή για μηδενική αέρια μάζα),  $X$  είναι η αέρια μάζα στην ευθεία οράσεως και  $m$  είναι το μέγεθος που περιέχει τα σφάλματα του οργάνου (δηλαδή το μέγεθος που υπολογίζουμε κατ' ευθείαν από την αρχική φωτογραφία).

### Παράρτημα Β: βαθμονομημένο μέγεθος

Αν ο πρότυπος αστέρας (*star*) είναι στην ίδια φωτογραφία με το προς εξέταση αντικείμενο (*ast*), το βαθμονομημένο μέγεθος του αντικειμένου βρίσκεται από τη σχέση:

$$M_{ast} = m_{ast} - m_{star} + M_{star}$$

### Παράρτημα C: υπολογισμός της κλίσης της ευθείας με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων

Αν μια ευθεία περιγράφεται από την σχέση:

$$y_i = \alpha + \beta x_i, \quad i = 1..n$$

η κλίση  $\beta$  δίνεται από την σχέση:

$$\beta = \frac{\sum_i^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_i^n x_i \sum_i^n y_i}{\sum_i^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_i^n x_i)^2}$$