

## דף הנחיות לסטודנט – מעבדה שנה ג' לתלמידי גיאופיזיקה – תצפיות אסטרונומיות

נושא: תצפיות אסטרואידיים

מדריך: אורי מלמוד, שי חלצי

### על התצפית

- מיקום התצפית: התצפית נערכת במצפה הכוכבים בגבעתיים. במצפה טלסקופ 16 אינץ' מקצועי Meade LX200.
- חלוקה לקבוצות: המעבדה מתבצעת בזוגות. כל זוג ישתתף בביצוע התצפית ויגיש דו"ח מסכם בנפרד.

### מרכיבי הציון

הציון מתחלק לשלושה מרכיבים כדלהלן:

1. פעילות הכנה לתצפית ושאלות הכנה – 30% מהציון.
2. ביצוע תצפית על פי הנחיות – 20% מהציון.
3. דו"ח מסכם ואנליזה של הנתונים – 50% מהציון.

### פעילות רקע ושאלות הכנה לתצפית

1. להוצאת קואורדינאטות, היכנסו לאתר: <http://www.cfa.harvard.edu/iau/MPEph/MPEph.html>
2. רשמו בתיבה הגדולה את מספרם הסידורי של האסטרואידיים הבאים באופן הבא:  
1321, 433, 1046, 9000, 20000, 10145, 175706, 9, 584, 250, 367, 698, 2636, 3665, 6823
3. בשביל לקבל דו"ח יפה מלאו את האפשרויות הבאות:
  - Ephemeris Start Date: מלאו את יום התצפית בפורמט YYYY MM DD.
  - Number of dates to output: רשמו 50.
  - Ephemeris Interval: רשמו 30 דקות.
  - נתוני המצפה: 87 Altitude , 32.1 Latitude , 34.8 Longitude.
  - Display Motions as: סמנו ``/Sec כדי לקבל את קצת תנועת האסטרואיד בשניות קשת לשנייה.
  - סמנו Suppress output if object below local horizon ו-Suppress output if sun above local horizon.
  - בטבלת Format for elements output למטה סמנו MPC 8-line.
  - התעלמו מכל השאר.
  - חזרו למעלה ולחצו על Get ephemerides/HTML page.
4. קיבלתם טבלאות המרכזות את הקואורדינאטות המשווניות של האסטרואידיים שבחרתם, על פי חתך של זמני תצפית אפשריים (בהתאם למיקומכם בכדור הארץ) ולתאריך שהכנסתם. הזמנים מופיעים בהפרש של 30 דקות כל חצי שעה עגולה כפי שביקשתם. שימו לב שהזמנים מופיעים ב- universal time (UT) ויש להוסיף להם שעותיים בחורף ושלוש שעות שבקיץ! לכל אסטרואיד ישנם גם פרמטרים נוספים המופיעים בטבלה, להלן:

תאריך ; זמן (UT) ; RA עלייה ישרה ; Dec נטייה ; מרחק מהארץ ; מרחק מהשמש ; זווית אסטרואידי-ארץ-שמש (elongation) ; פאזה (Ph.) ; הערכת בהירות (V) ; מהירות זוויתית של האסטרואידי בשדה הראייה (P.A.) ; כיוון (P.A.) , קואורדינטות אלט-אזימוט (כזכור לכם מההרצאה- בהתאם למיקום בכדור"א ולזמן התצפית) ; גובה השמש (צריך להיות גודל שלילי אחרת השמש מעל האופק, נהוג להתחיל תצפית מדעית במיננס 12 מעלות) ; אחוז מופע הירח (למשל 0.5 זה חצי סהר) ; המרחק הזוויתי של האסטרואידי מהירח ; וגובה הירח.

**שימו לב: נא להגיע עם הטבלאות מודפסות לתצפית, ועם פנס כיס על מנת שניתן יהיה לקרוא בחושך.**

5. תרגילים - יש להגיע לתצפית עם חלק א' של הדו"ח אשר משקלו 30% מהציון, ובו לענות על השאלות הבאות:  
א. חשבו את הרזולוציה  $\phi$  של הטלסקופ (כמה שניות קשת לכל פיקסל) ע"פ הנתונים הבאים של הטלסקופ:

$$\phi = \frac{PixelSize}{f} \times 57.3 \times BinningSize$$

כאשר f הוא אורך המוקד של הטלסקופ. כאמור הרזולוציה תלויה בתכונות של שבב המצלמה ובתכונות האופטיות של הטלסקופ. ככל שאורך המוקד (ראו במצגת) של הטלסקופ גדול יותר, או גודל הפיקסל קטן יותר, כך הרזולוציה טובה יותר.

בטלסקופ עמו נעבוד, גודל כל פיקסל על שבב ה- CCD הנו 9 מיקרון. אורך המוקד הוא 2032 מילימטר. אל תשכחו לעבוד עם אותה מערכת יחידות! ההכפלה ב- 57.3 היא על מנת לעבור למעלות ולכן התוצאה הסופית תתקבל במעלות לפיקסל, לא בשניות קשת לפיקסל. כדי לקבל תוצאה בשניות קשת לפיקסל כפי שאתם מעוניינים, הכפילו ב- 3600 (יש 3600 שניות קשת במעלה אחת). ניתן גם להשתמש בנוסחה אלטרנטיבית למי שמעדיף, אשר בה אין צורך לעבור יחידות, והתוצאה הסופית היא כבר בשניות קשת לפיקסל. הנוסחה היא:

$$\phi = \frac{PixelSize}{f} \times 206 \times BinningSize$$

הנוסחה נלקחה מהאתר <http://starizona.com/acb/ccd/advtheorynyq.aspx> (וקל להראות לבד איך היא מתקבלת). אתר זה כולל גם הסבר מפורט למונח BinningSize. כאשר עושים Binning למעשה דוגמים קבוצה של פיקסלים כפיקסל אחד בעת קריאת ה- CCD. הסיבה שעושים זאת היא שלעיתים תכופות, כפי שהסברתי בכיתה, הרזולוציה התיאורטית של הטלסקופ טובה בהרבה מתנאי הראות המעשיים המתקבלים כתוצאה מהאטמוספירה. לכן אין שום טעם לקרוא כל פיקסל בנפרד, הקריאה היא יותר מהירה והתמונה תופסת פחות מקום בזיכרון. במקרה שלנו ה- Binning במצלמה מכוון להיות 2. לאחר שתחשבו בבקשה את הרזולוציה, אנא הצדיקו בתשובתכם לסעיף זה את החלטתו של ד"ר יגאל פתאל לכוון ל- BinningSize=2 את המצלמה (רמז: לא העניקו לו דוקטורט כך סתם)!

ב. חשבו את זמן החשיפה המקסימאלי למניעת 'מריחה' של האסטרואידי 175706 (הנוסחה מופיעה במצגת). אם גודל שדה הראייה שמתקבל על גבי ה- CCD הוא שלוש דקות קשת, האם נוכל לבצע על אסטרואידי זה תצפית אשר תאריך חמש שעות מבלי להחליף שדה?

ג. ירחיו הבהירים ביותר של צדק הינם בעלי מגניטודה 6.5 לערך (לא תוכלו לראות אותם כך סתם, הטובים שבכם יוכלו לראות בעין בלתי מזוינת עד מגניטודה 6 בערך). פי כמה בהירים ירחי צדק אלו, מהאסטרואידי הבהיר ביותר ברשימה שקיבלתם?

ד. רשמו מהי הדרך (או הדרכים) לדעת, רק מתוך הנתונים מהטבלאות, האם יש ברשימה שקיבלתם אסטרואידיים אשר בוודאות אינם בחגורת האסטרואידיים?

ה. על פי הטבלאות אשר ברשותכם: נמקו והסבירו בבקשה את השיקולים השונים באילו אסטרואידי כדאי לנו לבחור לתצפית. חשוב, השאלה היא מנקודת ראות **תצפיתית** בלבד (כלומר בלי לקחת בחשבון העדפה כזאת או אחרת על רקע חשיבות מדעית, אלא רק על בסיס הטבלאות שקיבלתם לגבי התצפית באותו היום. לדוגמה, אם מגיע חיזור ואומר לכם שהספינה שלו חונה על אסטרואידי מסוים תתעלמו ממנו ותחליטו על בסיס הטבלאות בלבד). רמז: יש הרבה שיקולים (דוגמאות: שעת התצפית, מרחק מהירח, גובה בשמיים וכו').

## ביצוע התצפית

את התצפית נבצע בטלסקופ מסוג Meade LX200 בגודל (מפתח) 16 אינץ'. הטלסקופ ממוקם בחדר הטלסקופ בקומת הגג של המצפה (בתוך מבנה הכיפה).  
הפעלה (יבוצע על ידי זוג מספר I)

- א. פיתחו את המחשב אשר נמצא בכיפה. לצורך פעולה זו, ושאר הפעולות המופיעות בסעיף זה תוכלו להיעזר גם במדריך וגם במנהל הטלסקופ אשר יהיה נוכח במקום.
- ב. בשולחן העבודה מופיע ICON בשם CCDops. פתחו אותו.
- ג. מהתפריט: Camera -> Establish Comlink
- ד. Setup -> Temperature (Should be Active and around -8 degrees)
- ה. Fliter -> V
- ו. בשורת הסטאטוס למעלה מופיע סמל בשם Grab. מצאו אותו.
- ז. Grab -> Exposure time -> 0.5 Sec -> OK

### ביצוע פוקוס (יבוצע על ידי זוג מספר I)

- א. בשולחן העבודה מופיע ICON בשם TCF-S Control. פתחו אותו.
- ב. מהתפריט: Setup -> Select COM -> COM3 -> Connect
- ג. להעביר ל- Manually
- ד. חוזרים לחלון CCDops
- ה. מצאו את הסמל Focus (נמצא ליד הסמל Grab). פתחו אותו.
- ו. רשמו את הפרמטרים: 2 שניות חשיפה, ו- Planet.
- ז. בחרו שדה עם כוכב בהיר ואז לעשות resume.
- ח. יש לשחק עם כוונון המראה (לשנות את הערך המספרי) עד שמקבלים את הכוכבים בצורה המפוקסת ביותר.

### קליברציה (יבוצע על ידי זוג מספר II)

- א. נרצה לוודא כי הטלסקופ מצביע לכיוון הנכון. בשולחן העבודה מופיע ICON בשם Guide8(2). פתחו אותו.
- ב. Settings -> Scope connect -> COM1
- ג. מהתפריט: Go to -> Coordinates -> Enter RA/Dec
- ד. הכניסו את הקואורדינאטות של האסטרואידי שנבחר על ידי המדריך. שימו לב כי בטבלאות, הקואורדינאטות תלויות בשעה המדויקת של התצפית, אם כי השינוי אינו גדול וכמעט לא משפיע.
- ה. בחרו כוכב בהיר שקל לזהות בשדה.
- ו. מצאו את Scope Pad (נמצא בצד ימין).
- ז. Scope Pad -> Slew Telescope
- ח. כעת חזרו ל- CCDops ובצעו חשיפה של 2 שניות.
- ט. ודאו כי הכוכב שבחרתם אכן מופיע במרכז התמונה, והטלסקופ מצביע נכון.
- י. חזרו שוב ל- Guide8(2).
- יא. Go to -> Coordinates -> Enter RA/Dec

יב. הכניסו את הקואורדינטות ואז שוב Scope Pad -> Slew Telescope

יג. כדי לאתר את האסטרוואיד נשתמש במפת כוכבים מתוך סקר שמיים שניתן להוריד מהאינטרנט.

יד. בתפריט: Extras -> DSS -> DSS from the internet

טו. כעת חזרו ל- CCDOps ובצעו חשיפה נוספת. ככל שהאסטרוואיד חיוור יותר יש לבצע חשיפה ארוכה יותר, אבל

לשים לב לא לעבור את זמן החשיפה המקסימאלי לפי החישוב עבור מהירות התנועה של האסטרוואיד.

טז. זהו את האסטרוואיד (הוא צריך להראות כמו כוכב, אבל להיות היחיד בשדה אשר אינו נמצא בתמונה מהסקר).

חשוב: על האסטרוואיד להיות קרוב למרכז התמונה, וקרוב לכוכבים בהירים אחרים (בשביל לבצע את האנליזה).

תכנות רצף צילום (יבוצע על ידי זוג מספר III, הזוג שמתחיל את התצפית)

א. בחלון CCDOps לחצו על Grab -> Autograb.

ב. בחרו בפרמטרים הבאים:

ג. זמן החשיפה- צריך להיות כאמור מספיק גדול כדי שהאסטרוואיד יופיע בבירור ועם מספיק Photon counts, אבל

מצד שני לא יותר מהזמן המקסימאלי כדי שלא תהיה מריחה. כמו כן רצוי שכוכבים בהירים בשדה לא יהיו ברוויה

רצינית מדי.

ד. מספר תמונות- צריך לרשום מספר גדול כלשהו שיספיק להרבה שעות של צילום. לפני שנסיים את התצפית נפסיק

את הצילום ידנית.

ה. השהייה בין תמונה לתמונה- צריך להיות מספיק גדול בשביל שיהיו הבדלים קטנים בין כל תמונה ותמונה, משהו

כמו 2-3 דקות.

ו. מיקום לאכסן את התמונות- פתחו ספרייה חדשה ותנו לה שם.

ז. מתחילים לקחת חשיפות!

תמונות Dark ו-Bias (יבוצע על ידי הזוג שמסיים את התצפית)

א. יש לסגור את הכיפה ולהחשיך החדר במידה המקסימאלית.

ב. בחלון CCDOps לחצו על OK -> only -> Dark frame -> Grab.

ג. לשמור את התמונה: save as... dark001.fit. יש ליצור סה"כ חמש תמונות כאלו ולשמור אותם.

ד. בטלסקופ זה תמונת Bias נלקחת כמו תמונת Dark רק עם זמן חשיפה 0.0. אולם במצלמה זו זמן חשיפה 0 אינו

קיים, ולכן יש לכוון את זמן החשיפה למינימום האפשרי (0.12 שניות).

תמונות Flat (יבוצע על ידי הזוג שמסיים או מתחיל את התצפית)

א. את תמונות ה- Flat יש לצלם כאשר השמש באזור 2-4 מעלות מתחת לאופק. ניתן לעשות זאת לפנות בוקר בתום

התצפית, או בשעת הדמדומים לפני השקיעה. כווננו את הטלסקופ לזניט.

ב. בחלון CCDOps לחצו על Grab בחשיפה קצרה של 0.2 שניות.

ג. בדקו בעזרת ה- Crosshair והזזתו על התמונה, מה ממוצע קריאות הפיקסלים. ערך טוב הוא בטווח של בין

20,000 ל- 40,000. שמרו את התמונה.

ד. כעת צלמו עוד ארבע תמונות. שימו לב שהשמש עולה לכיוון האופק לפנות בוקר או יורדת לחלופין בשקיעה. בשל

כך בין חשיפה לחשיפה יש להגדיל או להקטין בהתאמה את זמן החשיפה (בכמה אחוזים כל פעם).

סיום תצפית (יבוצע על ידי הזוג שמסיים את התצפית)

- א. בחלון CCDops לחצו Camera -> Setup -> Temperature off.
- ב. Camera -> Shutdown.
- ג. Guide8(2) לחצו על quick info -> Help.
- ד. המרידיאן נמצא ב- Local Sidereal Time. העתיקו אותו.
- ה. בפעם האחרונה באמצעות Go to נשלח את הטלסקופ 'לעגון' בנטייה (Dec) 0 וב- R.A במרידיאן.

## אנליזה ודו"ח מסכם

כל זוג מגיש דו"ח מסכם. האנליזה לנתונים אשר הופקו בתצפית מתבצעת על ידי תוכנת IRAF. תוכנת IRAF הנה תוכנה המאפשרת ביצוע אנליזה על תמונות אסטרונומיות. היתרון העיקרי של IRAF הוא שהיא תוכנה חינמית, ובאוניברסיטת תל אביב מתבצע המחקר באמצעותה. יתרון נוסף הוא ש-IRAف מאפשרת גמישות, והפעולות מתבצעות בצורה מפורשת על ידי המשתמש ולא בצורה אוטומאטית, אלא אם מתכננים רצף מסוים של הוראות הפעלה (סקריפטים). אנו אכן נשתמש בסקריפט אשר נכתב לפני מספר שנים על ידי ד"ר ערן אופק.

את IRAF ניתן להפעיל ממערכת הפעלה LINUX. בחדר התלמידים של גיאופיזיקה ישנם שישה מחשבים אשר עליהם מותקנת מערכת ההפעלה LINUX. מתוכם ישנם שני מחשבים (class1219-1 ו-class1219-2) אשר עליהם מותקנת תוכנת IRAF (שני המחשבים הצמודים לדלת הכניסה). התלמידים מתבקשים להשתמש במחשבים אלו בלבד. הפעולה הראשונה שעליכם לבצע היא להעתיק את קבצי התמונות שלקחתם בתצפית מהדיסק און קי לתוך ספריית IRAF (תשאירו עותק על הדיסק און קי ליתר ביטחון). העתקה של הקבצים מתבצעת על ידי הממשק של מערכת ההפעלה. זה שונה במקצת בין מחשב 1 לבין מחשב 2. במחשב 1 פתחו את הספרייה HOME על שולחן העבודה. את הדיסק און קי אתם אמורים לראות בתוך devices בצד שמאל. העתקה באמצעות COPY ו-PASTE כרגיל. במחשב 2 הדיסק און קי אמור להיות מזוהה אוטומטית כשתכניסו אותו ל-USB. על שולחן העבודה יש שתי ספריות HOME, הספרייה העליונה יותר היא זו שיש לכם גישה אליה. את הקבצים מעתיקים כמו שהם לתוך ספריית IRAF (לא לפתוח ספרייה חדשה בתוך IRAF).

במהלך העבודה עם IRAF אנחנו משתמשים כאמור בקבצי התמונות מהתצפית וגם מייצרים קבצים חדשים, לכן בסך הכול נזדקק לסדר גודל של 100-200 מגה פנויים בחשבון שלנו כדי לשמור אותם. אם ייגמר המקום בחשבון, IRAF לא יוכל לבצע שום דבר ונקבל שגיאות והודעות אזהרה. אוניברסיטת תל אביב מגבילה את חשבונות הסטודנטים ל-300 מגה שאמורים להספיק. אולם, במידה וחשבונכם כבר מלא בקבצים אחרים ואין לכם מספיק מקום, הפתרון הוא פשוט. עליכם לפנות מקום בחשבון על ידי העתקה זמנית של ספריות אחרות בחשבון שלכם לדיסק המקומי של גיאופיזיקה (בתיקה של IRAF אין לגעת, אחרת ה-IRAف לא יפעל). זה מתבצע כך: באמצעות הממשק הגרפי של מערכת ההפעלה, תפתחו את הספרייה /data1/data1 ושם תיצרו לעצמכם ספרייה זמנית עם שם המשתמש שלכם ב-TAU. לתוך הספרייה הזאת תעבירו את הספריות מהחשבון שלכם שתופסות מקום, ובגמר העבודה תוכלו להחזיר אותן לחשבון (לא לפני שתשמרו את העבודה שעשיתם ב-IRAف על דיסק און קי כמובן).

פקודות בלינוקס נכתבות מתוך חלון TERMINAL. כדי להפעיל TERMINAL פתחו את התפריט הראשי (APPLICATIONS) ולאחר מכן פתחו את תפריט משנה ACCESSORIES (במחשב 1) או SYSTEM TOOLS (במחשב 2). לאחר שפתחתם טרמינל אפשר להתחיל לכתוב פקודות.

א. הפעלה ראשונית – בפעם הראשונה שאתם נכנסים למחשב (אם נכנסתם למחשב 1, עדיין יהיה עליכם לבצע זאת למחשב 2. פעם אחת ויחידה בהפעלה הראשונה לכל מחשב ולכל שם משתמש) הפעילו את שתי הפקודות הבאות:

```
ln -s /iraf/iraf/local/scripts/login.cl.uri login.cl
mkdir -p iraf/uparm
```

הפקודה הראשונה יוצרת לינק סימבולי לקובץ login.cl אשר מכיל את ההגדרות הדרושות על מנת ש- IRAF (והסקריפט שתשתמשו בו) יעבדו כהלכה. הפקודה השנייה יוצרת ספרייה חדשה בשם uparm הדרושה ל- IRAF כדי לעבוד כראוי. שימו לב באופן כללי כשאתם עובדים בלינוקס להקפיד על אותיות קטנות וגדולות. כמו כן מערכת ההפעלה לינוקס רגישה לרווחים בתוך שמות קבצים. אל תתנו לקובץ שם עם רווח!

ב. תוכנה לפתיחת תמונות – כעת רשמו בטרמינל את הפקודה: ds9&

פקודה זו תפתח חלון חדש של התוכנה ds9. זוהי תוכנה חינוכית להצגה של תמונות אסטרונומיות. הסימן '&' (עוד נעשה בו שימוש שוב), מטרתו לשים את התוכנית שמריצים ברקע. אם לא משתמשים בו אין אפשרות לכתוב פקודה חדשה עד שהתוכנית מסיימת את פעולתה, וצריך פשוט לפתוח חלון טרמינל חדש כדי לכתוב פקודה נוספת (נסו לכתוב את הפקודה עם או בלי '&' למי שלא הבין את הכוונה). שימו לב: בכל פעם שתוצו לראות משהו ב- ds9 תצטרכו לפתוח חלון ds9 חדש, אחרת הפעולה תעבור על החלון שכבר פתוח. אם אף חלון ds9 לא פתוח תהיה הודעת שגיאה.

ג. חלון גרפי – רשמו את הפקודה &xgterm אשר תפתח חלון טרמינל גרפי חדש. ההבדל הוא שחלון זה מתאים להפעלה של IRAF מבחינה גרפית. מעתה את כל הפקודות של IRAF תרשמו ב- XGTERMINAL ולא ב- TERMINAL. כדי להריץ את IRAF רושמים ב- XGTERMINAL את הפקודה cl. חשוב מאוד! להיות בתוך ה- root directory כשמעלים את IRAF (כשכותבים את הפקודה cl) אחרת IRAF לא תעבוד כמו שצריך.

ד. מעבר לספריית העבודה – לאחר שהעלנו את IRAF שורת הפקודה משתנה ל- >ecl וניתן להתחיל להפעיל פקודות של IRAF. הפקודה ls תציג לכם את התיקייה הנוכחית שאתם נמצאים בה. מכיוון שאנו עובדים עם תמונות התצפית, שאותן העתקנו מקודם לתוך הספרייה iraf, עלינו להיכנס לספרייה iraf. כניסה לספרייה תבצע על ידי הפקודה: cd iraf (כמו במערכת הפעלה DOS).

ה. פתיחת תמונה – אם רוצים בכל שלב להסתכל על תמונה, אפשר דרך IRAF להשתמש בפקודה הבאה:

```
display image001.fit
```

הפקודה תציג את התמונה image001 (או כל שם אחר שנתתם לתמונה הראשונה שלכם) בחלון ה- ds9.

ו. יצירת קובץ Master Dark – חמשת קבצי ה- dark שיצרתם מכילים את ה- dark current שנובע כזכור לכם מהטמפרטורה של המצלמה (ראו מצגת) ותלוי בזמן החשיפה שאנחנו עושים לכל תמונה במהלך התצפית. זרם האלקטרונים הזה מוסיף photon count לתמונה שלא קשור לשמיים, ולכן אנחנו מעוניינים להחסיר אותו. נהוג לצלם כפי שראיתם מספר תמונות dark ואז לקחת ערך ממוצע כלשהו (זה גם נהוג בתמונות bias ובמיוחד ב- flat). במקרה זה אנחנו נשתמש כפי שמקובל בחציון, על פי הפקודה הבאה:

```
imcombine dark* masterdark.fit combine=median
```

הפקודה לוקחת את כל קבצי ה- dark שלכם (הנחתי ששמרתם אותם כך ששםם מתחיל ב- dark) ויוצרת מהם קובץ masterdark.fit אחד, שבכל פיקסל הוא מכיל את החציון בין חמשת התמונות. מעתה אין צורך לעבוד עם כל חמשת הקבצים אלא לטפל רק בקובץ מסטר.

ז. יצירת קובץ Master Bias – חמשת קבצי ה-bias שיצרתם מכילים את רעש המערכת שאינו תלוי בזמן החשיפה והוא משותף לכל התמונות. בדרך כלל בטלסקופים מודרניים, ה-bias וה-dark יהיו מאוד קרובים, מפני שהמצלמות מקוררות וה-dark current אינו משמעותי. נהוג לצלם כאמור מספר תמונות bias ואז לקחת ערך ממוצע כלשהו. במקרה זה אנחנו נשתמש שוב בחציון, על פי הפקודה הבאה:

```
imcombine bias* masterbias.fit combine=median
```

ח. יצירת קובץ Master Flat – בין שבת המצלמה לשמיים נמצאים לפחות חמישה רכיבים אופטיים: עדשה מתקנת של הטלסקופ, מראה ראשית ומראה משנית, עדשות מתקנות, פילטרים ולעתים חלון זכוכית למצלמה. כל אלו נתונים לרמות שונות של לכלוך, עיוותים קלים, החזרות פנימיות ועוד סטיות כאלו ואחרות משלמות. אלו באים לידי ביטוי ככתמים עגולים בבהירויות שונות המופיעים לנו על התמונות. כמו כן שבת ה-CCD סובל מרגישות שונה של הפיקסלים לפוטונים כתלות במיקומם (אפילו בשבבים מאוד איכותיים ויקרים) וכמו כן על פני השבת עוצמת האור כמעט תמיד פוחתת לכיוון צידי ה-CCD, ביחס למרכז ה-CCD. עשרת קבצי ה-flat שיצרתם, מצלמים בהגדרה משטח אחיד, ועל כן הם מכילים את השינויים בעוצמת האור אשר נובעים מהסיבות שהזכרנו זה עתה. תמונות ה-FLAT נלקחות בשעת הדמדומים, כאשר עדיין אין בשמיים כוכבים ולכן עוצמת האור של כל נקודה בשמיים אמורה להיות זהה (אם אין עננים או הפרעות אטמוספיריות אחרות) מצד אחד, ומצד שני השמיים לקראת החשכה ולכן הם לא מספיק בהירים כדי להכניס את הטלסקופ לרוויה. זה המשמעות של משטח אחיד. נהוג כמו מקודם לצלם 5 עד 10 תמונות flat (עדיף מספר אי-זוגי) ואז לקחת ערך 'ממוצע' כלשהו. בניגוד למקודם, תמונות ה-flat מצולמות בתנאים שונים בין כל תמונה, ולכן נרשום הפעם את הפקודה:

```
imcombine flat* masterflat.fit scale=median combine=median
```

מי שמעוניין לקרוא על הפרמטר scale, ניתן לכתוב help imcombine וזה נותן פירוט על כל הפרמטרים.

ט. יצירת קובץ רשימה ב-IRAF – לעיתים רוצים לבצע פעולה ב-IRAF לא על קובץ אחד אלא על מספר קבצים, למשל אם יש כמה עשרות תמונות בתצפית, רוצים באופן טבעי לבצע את הפעולה על כל התמונות ביחד ולא אחת אחת, על מנת לחסוך בזמן. במקרה שלנו, אם התמונות נקראות לדוגמה image001.fit, image002.fit וכו' אז נרשום:

```
files image* > list_name  
type list_name
```

הפקודה הראשונה לוקחת את כל שמות הקבצים של התמונות, שמתחילים ב-image, ויוצרת קובץ שנקרא list\_name (תקראו לו כמובן איך שאתם רוצים) אשר בו רשומים פשוט השמות של קבצי התמונות. הפקודה type מדפיסה את הקובץ שיצרתם אם אתם רוצים לראות שהוא מכיל את השמות הנכונים בסדר הנכון. צרו רשימה בשם image\_list את שמות הקבצים רק של התמונות (כלומר בלי המסטר דארק, ביאס ופלאט).

י. הפחתת תמונת Bias – כזכור רעש ה-Bias משותף לכל התמונות ולכן יש להפחית אותו מכל התמונות. פקודות:

```
image_list @image_list – masterbias.fit (לוקח קצת זמן בגלל הרשימה)
```

```
image_list masterdark.fit – masterbias.fit masterdark.fit
```

```
image_list masterflat.fit – masterbias.fit masterflat.fit
```

הפקודה imarith הראשונה מבצעת פעולה אריתמטית (החסרה במקרה הזה, סימן '-') על רשימת התמונות שיצרתם, כאשר את התוצאה היא שמה במקרה הזה על אותם הקבצים בדיוק (אותה רשימה). לא לשכוח את הסימן '@'. אם אינכם רוצים לעבור על הקבצים המקוריים אתם יכולים ליצור קובץ רשימה אחר לפלט, אבל זה לא מאוד חשוב כל עוד הקפדתם לשמור בדיסק און קי את הקבצים המקוריים שלכם למקרה שתמצאו להתחיל מהתחלה.

בפקודה השנייה והשלישית אנחנו עושים אותו דבר, אבל לא על רשימה אלא על קובץ יחיד.

יא. הפחתת תמונת Dark – כזכור זוהי התמונה המכילה את ה-dark current של ה-CCD. ובסעיף הקודם גם הפחתנו

ממנה את רעש ה-bias כך שעכשיו היא מכילה רק את ה-dark current. צריך להחסיר את ה-dark current מרשימת התמונות של התצפית, אבל לא מתמונות ה-FLAT מכיוון שאלו תמונות בחשיפה קצרה מאוד, ולכן אין בהן dark current משמעותי (ומיותר לציין שגם תמונת ה-bias שזמן החשיפה שלה הוא ~0). רשמו:

```
image_list @image_list – masterdark.fit (לוקח קצת זמן בגלל הרשימה)
```

יב. תיקון Flat – כזכור תמונת flat מצלמת שמיים שטוחים (בעוצמה שווה) כדי לקבל את השינויים בעוצמת האור על פני

ה-CCD. כדי לתקן את כל התמונות בתצפית צריך לחלק אותם בתמונת Flat מנורמלת. כרגע ה-master flat שלנו איננו מנורמל, ועל מנת לנרמל אותו עלינו לחלק את כל הפיקסלים בערך ממוצע כלשהו שלהם. במקרה הזה אנחנו נרצה לחלק לא בממוצע חשבוני של הפיקסלים אלא ב-mode (בסטטיסטיקה ה-mode של קבוצת מספרים הוא המספר השכיח ביותר בקבוצה). איך מוצאים את ה-mode של התמונה? הפקודה imstat מחזירה סטטיסטיקה על הפיקסלים בתמונה (למשל average או standard deviation וכולי). הפקודה imstat יודעת גם להחזיר את ה-mode של התמונה, אבל בברירת המחדל שלה הפרמטר הזה אינו מוחזר, ולכן עלינו לשנות משהו בפרמטרים של הפקודה כדי שהוא יוחזר. כדי לשנות פרמטרים של פקודה ב-IRAF משתמשים בפקודה epar. נרשום:

```
epar imstat
```

איפה שכתוב fields נדאג שאחד הערכים הנו-mode (אפשר גם ש-mode יהיה הערך היחיד). נלחץ Enter.

```
Ctrl-d: לשמור
```

```
Ctrl-c: לצאת בלי לשמור
```

```
עכשיו נכתוב את הפקודה:
```

```
imstat masterflat.fit
```

ונקבל את הערך המספרי של ה-mode בתמונת ה-flat. כדי לנרמל את התמונה (לחלק ב-mode) נרשום:

```
imarith masterflat.fit / themode masterflat.fit
```

כאשר themode הוא ערך מספרי כלשהו שקיבלנו (למשל המספר 32000). עכשיו נותר רק לחלק את כל התמונות של התצפית ב-masterflat המנורמל:

```
image_list @image_list / masterflat.fit (לוקח קצת זמן בגלל הרשימה)
```

התוצאה של הפעולה הזאת היא כדלהלן: אם פיקסל מסוים ב- masterflat היה למשל מתחת הממוצע (למשל אם יש שם פלומת אבק שחוסמת חלק מהאור) אז הערך המנורמל שלו יהיה קטן מאחת (לדוגמה 0.8). עכשיו אם נחלק כל תמונה במקום הספציפי הזה ב- 0.8 נקבל תיקון כלפי מעלה, וזה מה שרצינו מכיוון שחלק מהאור שהיה אמור להגיע לפיקסל לא הגיע. אותו דבר נכון גם לכיוון ההפוך. סיימנו וכעת התמונות נקיות מרעשים ומתוקנות - בדקו בעצמכם!

יג. קביעת הפרמטרים של התצפית – הסקריפט שעמו נעבוד מיד מבקש כקלט פרמטרים שונים, כאשר הדבר החשוב ביותר הוא איך לחשב את השטף המגיע מכוכב. כזכור מהמצגת, אנחנו סופרים את ה- photon count באזור מסוים (ככל שיכולת ההפרדה של הטלסקופ טובה יותר האזור הזה 'מרוח' על פחות פיקסלים, כלומר יותר בפקוס). בתוך האזור הזה אנחנו מפחיתים את הערך הממוצע של השמיים כדי לקבל רק את השטף שקשור לכוכב עצמו. הערך הממוצע של השמיים מתקבל מתוך טבעת ברדיוס ועובי מסוים. למי ששכה נא להסתכל שוב במצגת. הפרמטרים הללו תלויים באיכות הטלסקופ ובתנאים האטמוספריים ששררו בעת התצפית. בהנחה שתנאים אלו לא השתנו הרבה במהלך התצפית אנחנו נקבע כעת את הפרמטרים באמצעות הפקודה imexam ראשית, ודאו כי חלון ds9 פתוח (אחרת תקבלו הודעת שגיאה). עכשיו רשמו את הפקודה:

```
imexam first_image.fit
```

כאשר first\_image הוא השם של התמונה הראשונה שלכם. תוכלו להשתמש בכל תמונה אחרת זה לא משנה. גם תמונה מאמצע התצפית תעבוד באותה מידה.

התמונה תופיע בחלון ה- ds9. ודאו שהחלון מסומן. הציבו את הסמן במרכזו של כוכב בהיר (ניתן להיעזר בחלון ההגדלה בצד ימין למעלה) ואז תוכלו לקבל גרפים של התפלגות האור שלו בעזרת המקשים:

r – נותן גרף רדיאלי של התפלגות האור

e – נותן גרף קונטורים של התפלגות האור

s – נותן גרף תלת ממדי של התפלגות האור

j – נותן גרף התפלגות האור לאורך ציר X

k – נותן גרף התפלגות האור לאורך ציר Y

q – יציאה

**משימה I – התפלגות רדיאלית:** על סמך הגרף הרדיאלי של התפלגות האור, על כמה פיקסלים נמצא כוכב בתמונה (קוטר)? תרגמו זאת לשניות קשת ורשמו את גבול ההפרדה הזוויתית של מערכת התצפית. ללא ההפרעות האטמוספרייות, הייתה מערכת התצפית מוגבלת או על ידי הגבלת ה- CCD (שניות קשת לפיקסל, כל כוכב היה נמצא על פיקסל אחד, כבר חישבתם את זה) או על ידי הגבלת הטלסקופ (נקבע על ידי אורך הגל ומפתח הטלסקופ), הגדול מבניהם. חשבו והראו מי הגדול מבניהם? עכשיו אפשר לקבוע, ללא הפרעות האטמוספרייות- פי כמה הייתה ההפרדה הזוויתית טובה יותר? צרפו את גרף ההתפלגות הרדיאלית ללוח.

הערה: אפשר לקחת snapshot של הגרף ולעבוד ב- windows אח"כ למי שלא אוהב לינוקס.

יד. הכנת הסקריפט – כעת אנו כמעט מוכנים לבצע את הפוטומטריה. אנו נשתמש לצורך כך בסקריפט `labc_ast_phot`. הסקריפט כבר מותקן על המחשבים שלכם, אבל אנו נרצה לוודא כי הפרמטרים שלו מתאימים לתצפית שלכם. כדי לראות פרמטרים של כל פקודה ב- IRAF משתמשים בפקודה `lpar`. לדוגמה אם תרשמו: `lpar labc_ast_phot` תקבלו רשימה של הפרמטרים של הפקודה `labc_ast_phot`. הפרמטרים החשובים לנו הם:

- `apertur` – קובע את הרדיוס בפיקסלים של המעגל בו תבוצע מדידת אור הכוכב. פרמטר חשוב במיוחד!
- `sannulu` – קובע את הרדיוס הפנימי של "טבעת השמיים" סביב הכוכב.
- `wannulu` – קובע את רוחב "טבעת השמיים".

כדי לשנות פרמטרים של פקודה ב- IRAF משתמשים בפקודה `epar`. אם אתם מעוניינים לשנות פרמטרים, רשמו:

`epar labc_ast_phot`

הולכים לפרמטר שרוצים. משנים את הערך. לוחצים `ENTER`. לוחצים `Ctrl-d` לשמור או `Ctrl-c` לצאת בלי לשמור. פרמטר נוסף ב- `labc_ast_phot` שכדאי לשים אליו לב הוא `filter`. בטלסקופים מסוימים השדה יקרא `filters` ואילו בטלסקופ של המצפה בגבעתיים השדה יקרא `filter`. על כן צריך לוודא שהשדה נקרא `filter`, ואם לא אז לשנות בהתאם. אחרת אנחנו נקבל הודעת שגיאה כאשר נריץ את `labc_ast_phot`.

טו. ביצוע פוטומטריה – כעת ניתן להפעיל את הפקודה `labc_ast_phot`. ודאו כי יש חלון `ds9` חדש פתוח, ורשמו:

`labc_ast_phot list_name`

הסקריפט מקבל כקלט את רשימת כל התמונות שעליהן רוצים לעשות פוטומטריה. שימו לב שכאן לא רושמים @ לפני הרשימה כי כך ערן אופק תכנת את הסקריפט. מומלץ להריץ את הסקריפט תחילה על 2-3 תמונות בתור התנסות ראשונית, ואז להתחיל שוב ולעבוד על הרשימה כולה.

כיצד הסקריפט עובד?

הסקריפט מציג ב- `ds9` את התמונות על פי הסדר שלהם ברשימה, כאשר תחילה מופיעה התמונה הראשונה. בשלב זה מדידת `photon count` של כוכב, מתבצעת על ידי הבאת הסמן (שכעת הוא בצורה של טבעת) לכוכב אותו רוצים למדוד והקשת `space`. הפעולה תגרום להופעת שורת נתונים בחלון ה- `xgterm`. בכל תמונה יש לסמן את האסטרוואיד וכן 2-3 כוכבי השוואה בהירים. כשסיימתם לסמן באמצעות `space`, הקישו `q`, עוברים לחלון ה- `xgterm` ולוחצים `w` ואז `Enter`. התמונה ב- `ds9` תתחלף לתמונה הבאה ברשימה. וכך זה חוזר חלילה. לא לשכוח בתמונה הבאה לסמן את האסטרוואיד והכוכבים באותו סדר בדיוק!! בסופו של דבר נקבל רשימת קבצי פלט, אחד לכל תמונה. הנתון החשוב מבחינתנו נמצא תחת העמודה `MAG` בסוף הקובץ. זוהי המגניטודה שנמדדה לכוכב או לאסטרוואיד שלנו (על ידי השטף שמופיע ליד). מעל המגניטודה מופיעה שעה, אשר מציינת את התחלת זמן החשיפה של התמונה. גם לזמן הצילום אנו נזדקק באנליזה שלנו. חשוב: אם מסיבה כלשהי התוכנית מפסיקה טרם הזמן (למשל אם לחצנו `Ctrl-C` כדי להפסיק אותה) חייבים לסגור את חלון `xgterm`, ולהתחיל אותו מחדש (וכמובן את IRAF). אחרת יש באג שמונע מהסקריפט לפעול כמו שצריך.

טז. ביצוע האנליזה – עכשיו שבידינו כל הנתונים, נוכל סוף סוף לצייר את עקומת האור של האסטרואיד שלנו. העבירו את קבצי הפלט (לכל תמונה קובץ ובו הבהירות של כל כוכב שסימנתם) לתוכנת עיבוד הנתונים המועדפת עליכם, דוגמת EXCELL או MATLAB. ניתן לקחת את הקבצים בדיסק און קי ולעבוד ב-windows למי שיותר נוח לו (אפשר לפתוח את הקבצים ב-wordpad).

**משימה II – כיוול יחסי של בהירות האסטרואיד בעזרת כוכבי ההשוואה:** לאחר שהכנסתם את נתוני הבהירות של האסטרואיד ושל כוכבי ההשוואה לטבלה (אין צורך בנתוני השגיאה לבהירות), עליכם לחשב את ההפרש בין בהירות כוכבי ההשוואה בכל תמונה לבין כוכבי ההשוואה בתמונת הייחוס שבחרתם. לאחר מכן חשבו את ההפרש הממוצע, והוסיפו אותו לבהירות האסטרואיד בכל תמונה בהתאמה (הסתכלו שוב במצגת להיזכר).

**משימה III – כיוול מוחלט של בהירות האסטרואיד:** קיבלתם בהירות נצפית של האסטרואיד, וערכי הבהירות הינם יחסיים למערכת התצפית (כלומר לטלסקופ, CCD) ומצב השמיים בליל התצפית. בכדי להגיע ל-'סולם הבהירות הסטנדרטי' יש להוסיף קבוע לא ידוע zero point לכל המדידות, אותו נסמן כ-ZP. בשלב ראשון, מצאו את הבהירות המוחלטת של האסטרואיד H (ראו מצגת) מתוך ידיעת הבהירות הנצפית M שחישבתם קודם, ומתוך ידיעת המרחק הממוצע z של האסטרואיד מכדור הארץ בזמן התצפית, והמרחק הממוצע A של האסטרואיד מהשמש בזמן התצפית. כעת, שאלו את המדריך מה הערך האמיתי של H בספרות, ומצאו את ההפרש בין H האמיתי לערך הממוצע של H שקיבלתם אתם. ההפרש הינו הקבוע ZP. עכשיו תקנו באמצעות הקבוע ZP את ערכי H שלכם ושרטטו גרף סופי של הבהירות המוחלטת המכויילת H של האסטרואיד, כפונקציה של הזמן.

#### **משימה IV – הערכת תכונות האסטרואיד:**

- העריכו את רדיוס האסטרואיד (שאלו את המדריך מהו האלבדו של האסטרואיד).
  - העריכו לגבי צורת האסטרואיד את יחסי הצירים a/b.
  - על סמך הגרף, מהו פחות או יותר זמן המחזור של האסטרואיד? (יש שני פיקים במחזור). שאלו את המדריך מהו זמן המחזור האמיתי, האם יש התאמה טובה לגרף שהתקבל? נמקו?
- משימת בוגוס קלה – הסבירו עקרונית, כיצד לדעתכם ניתן לחשב את הרזולוציה של הטלסקופ רק מתוך רצף התמונות שלקחנו והידע שלנו על האסטרואיד (נקודה בוגוס)? עוד 2 נקודות בוגוס למי שמחשב בפועל, ומראה שהחישוב זהה או קרוב מאוד לחישוב שעשיתם בסעיף א' בתרגילי ההכנה.
- הערה לסיום: הדו"ח צריך לכלול את כל החישובים שעשיתם, ומן הסתם לא רק גרף סופי אלא גם את כל הטבלאות.