

# מיצפה-כוכבים במיצפה-רמון

מאת  
אורי פלדמן

זה-עתה הושלמה הקמת מיצפה-הכוכבים של אוניברסיטת תל-אביב ע"ש

פלורנס וג'ורג' ויז באיזור הר-ציון שבנגב

דה מוצלחת יתקבלו תקציבים נוספים ומדי-שנה תגדל המעבדה ותתפתח עד שבסופר-של-דבר יתפתח המקצוע כולו. באסטרונומיה תצפיתית הדבר שונה לחלוטין. אי-אפשר להקים טלסקופ קטן, נאמר בן 20 ס"מ, ומדי-שנה להוסיף סכומי-כסף ולהגדיל את מפתחו. טלסקופ של 20 ס"מ יישאר לעולם כזה. חובה להתחיל בטלסקופ בעל מפתח מינימאלי שבו ניתן לערוך עבודה על עצמים מעניינים. מתברר כי המינימום הוא לפחות 60 ס"מ ורצוי מאוד שיהיה בסביבות 90 ס"מ. יתר-על-כן: מעבדות בפיסיקה ניתן להקים במסגרת הקאמפוס של האוניברסיטה, אך מיצפה יש להקים במקום מבודד. פירוש-של-דבר שפרט לציוד המדעי שיש לרכוש למעבדה לאסטרונומיה ניסויית, יש גם צורך להקים מיבנים ושירותים שונים הכוללים כביש-גישה, קרח-שמל, מים, טלפון, שמירה, ניקיון וכיוצא בזה. סיכומי-של-דבר: כמעט שאין כל סיכוי להצליח בפיתוח האסטרונומיה התצפיתית ללא השקעה של סכומי כסף "אסטרונומיים", סכומים בתחום המיליונים. לאחר שהוכח כי קיימים בישראל אזורים מתאימים להקמת מיצפה-כוכבים עשתה המחלקה לפיסיקה ולאסטרונומיה של אוניברסיטת תל-אביב מאמצים לגייס את סכומי הכסף הדרושים ממקורות-חוץ. ואמנם לאחר שחלק נכבד מהסכום הדרוש גוייס, הוחל ברכישת הציוד ובתיכונן המבנים של המיצפה.

## מדוע נבחר איזור מיצפה רמון?

יעילותם של טלסקופים גדולים מוגבלת על-ידי האטמוספירה ולא על-ידי הטיב האופטי או המכאני שלהם. בשביל טלסקופ כשלנו, כושר-ההפרדה, לאורך-גל של  $4000 \text{ \AA}$  הוא מסדר-גודל של  $0.1''$ . בעוד אשר כושר-ההפרדה של האטמוספירה במיצפים טובים מגיע, רק לעתים נדירות, ל- $0.3''$  ולרוב הוא בסביבות  $1''$ . פיתרון אחד לבעיית כושר-ההפרדה הוא מיצפים מחוץ לאטמוספירה; וזאת אמנם אחת המטרות של תכנית-החלל לשנים הבאות. אלא שתכנית

בימים אלה הושלמה הקמת מיצפה-כוכבים מקצועי ראשון בישראל, באיזור הר-ציון כ-4 ק"מ מערבית לעיירה מיצפה-רמון. המיצפה מצויד בטלסקופ אופטי רב-תכליתי מסוג Cassegrain בעל מפתח של 100 ס"מ (40") ובפריטי ציוד מדידה ובקרה מהח-דישים והמתקדמים ביותר שפותחו בנושא זה. המיצפה על ציודו נועד לשמש אנשי-מדע מקומיים וזרים. כן הוחלט לבצל את המיתקן כאתר ציבורי לביקורים וזאת משום הענין שמגלה חלק נרחב בציבור - ובמיוחד בני-נוער - במקצוע האסטרונומיה. במסגרת המאמר אנסה לענות על מיספר שאלות שהטרידו לא-מעט א.ז. הגורמים הקשורים במיצפה ואשר היו תייבות בתשובה בטרם נגשו להנשמת המשימה. אתאר את המיצפה, על האפשרויות המחקריות הגלומות בו וכן אסקור בקצרה את תוכניות המחקר לשנתיים הראשונות.

## מדוע לא יוצגה האסטרונומיה הניסויית בישראל?

הבחון מקרוב את המדעים השונים יראה, כי כולם, או לפחות העיקריים בהם, מיוצגים בצורה זו או אחרת במסגרת מוסדות-המדע בארץ. האחד שלא היה מיוצג לחלוטין הוא תחום האסטרונומיה התצפיתית, מדוע? שהרי בישראל ישנם אזורים מתאימים בהחלט להקמת מיצפי-כוכבים; במשך שנים רבות בהיסטוריה עסקו היהודים באסטרונומיה וגם כיום חלק נכבד מהאסטרונומים הפעילים, הם יהודים, לפחות לפי הגדרת ההלכה, כך שאין מקום לטענה שהאסטרונומיה אינה מדע יהודי. דומני כי התשובה היחידה לשאלה זו מקורה בממון. אסטרונומיה, או שתחילתה גדולה, או שלא תהא לה התחלה כלל. בענפים אחרים של הפיסיקה - כמו למשל פיסיקה אטומית, תורת-הגרעין, מצב-מוצק, אופטיקה, אלקטרוניקה ובמידה מסויימת חלקיקים אלמנטאריים - ניתן להתחיל בהקמת מעבדה בהשקעות קטנות יחסית. במידה שהמעב-

\* כושר-ההפרדה של מכשיר אופטי מוגדר כיכולתו ליצור דמויות נפרדות של שני עצמים הנמצאים קרוב זה לזה. בשביל טלסקופ, הנווית המינימאלית ( $\theta$  בראדיאנים) של אבחנה בין שני עצמים נתונה בנוסחה  $\theta = 1.2 \frac{\lambda}{D}$  כאשר  $\lambda$  הוא אורך-הגל, D קוטר-המראה. \*\* " - סימון לשניה של זווית.

המגיעה ממנו על פני שטח הפרופורציוני לריבוע כושר-ההפרדה; מוכן שככל שכושר-ההפרדה גרוע יותר, צפיפות-האנרגיה ליחידת שטח הולכת וקטנה. העצם החיור ביותר הניתן לזיהוי (העצם שיבלוט מעל פני רקע השמים), תלוי כמובן בגורם זה. בספקטרוסקופיה מגסים לקבל כושר-ההפרדה מירבי על-ידי צימצום רוחב סדק-הכניסה של המכשיר. אך בתנאי-ראות לא-משופרים, דמות הכוכב על פני הסדק היא גדולה ולכן כמות האור התודרת לתוך המכשיר מעטה. אילו היתה האטמוספירה מורכבת משכבות אופקיות מקבילות והומוגניות של אוויר, ניתן היה לצפות לתנאי ראות טובים, כי גורם-השבירה של אור בגאז תלוי בצפיפות הגאז. כאשר קרן-אור חולפת בשכבת גאז בעלת צפיפות אחידה, אחידים יהיו גם גורם-השבירה ומידת השבירה

זו יקרה ביותר ואין להניח כי בעתיד הנראה לעין יקימו די מיצפים בחלל והדרישה למיצפים על-פני-הקרקע תלך ותגבר. יש אפוא טעם לנסות ולברר מהם הגורמים האטמוספיריים הקובעים טיבו של מיצפה. גורמים אלה ניתן לחלק לשתי קבוצות:  
א. קבוצת הגורמים האופטיים המשפיעים על קרן-האור בדרכה באטמוספירה.

ב. קבוצת הגורמים המכאניים, המשפיעים בעיקר על פעולת המכשירים למיניהם.

הגורמים האופטיים הם:

• ראות (Seeing), או איכות-הדמות: הכוכב כפי שהוא נראה לנו הוא גוף נקודתי; כאשר הראות אינה טובה מתפזרת האנרגיה

אתר מיצפה-הכוכבים בנגב, צילום מן האוויר.



הגורמים המכניים הם:

• רוח: רוח חזקה מדי גורמת לתזוזת הטלסקופ, למערבולות באוויר לאבק וכו'.

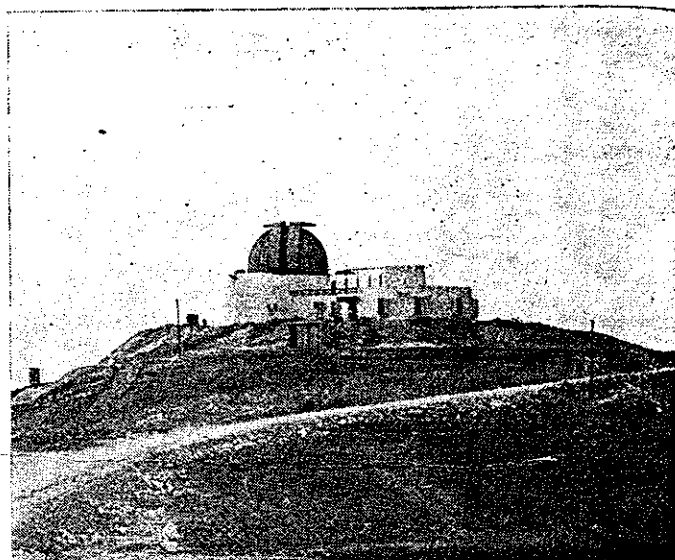
טמפרטורה: שינויים חזקים ופתאומיים בטמפרטורה גורמים לשינוי במיקוד הטלסקופ, בעקמומיות המראה ולזרימות בלתי-צפויות של אוויר בסביבת הטלסקופ.

• לחות: פרט להשפעתה על הכליפה באטמוספירה גורמת לחות מוגברת להתעבות מים על פני המישטחים האופטיים ולפגמת איכותם.

גורמים אחרים שיש להתחשב בהם, ושחשיבותם לעתים רבה, הם הגורמים הכלכליים, הבטחוניים וכו'. לא יהיה זה הגיוני להקים מיצפה בסמוך לגבול למשל; אין הגיון רב בהקמת מיצפה באתר המרוחק עשרות ק"מ מדרך קיימת, כך שמחיר פריצת-הדרך יעלה פי-כמה על מחיר המיצפה והציוד הכלול בו.

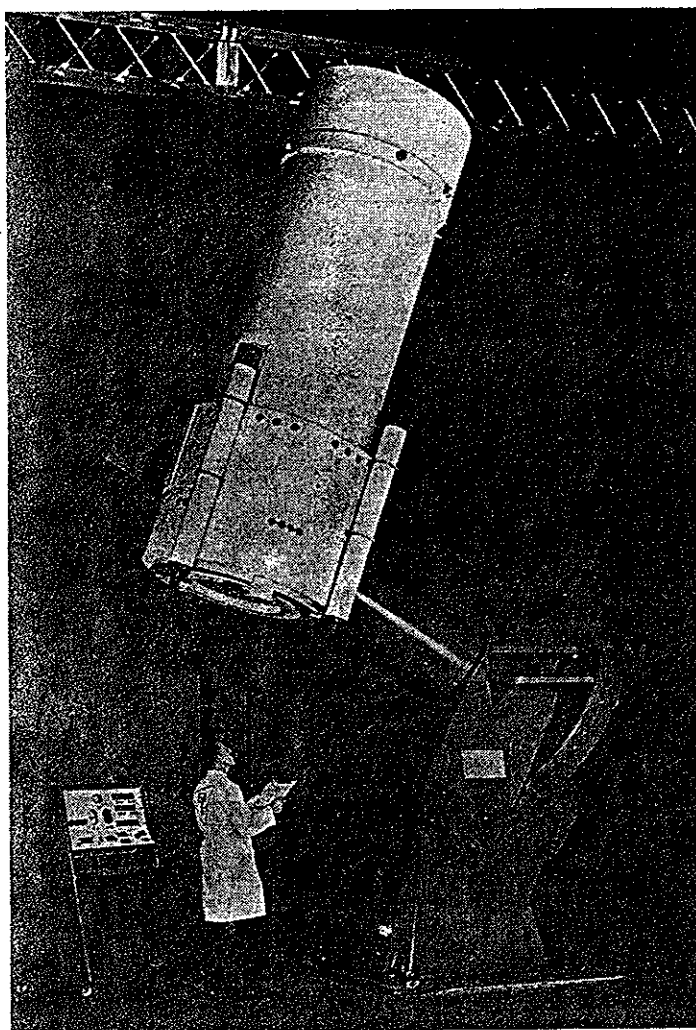
מתוך התבוננות במפת ישראל בגבולות שלפני ה-4 ביוני 1967 והתחשבות בדרישות שנימנו לעיל, ניתן לסמן ללא קושי שלושה אתרים, כמקום מתאים למיצפה:

בצפון - איזור הגליל-העליון, המשתרע על שטח בראדיוס של פחות



מראה כללי של מיצפה-הכוכבים בהרצין.

טלסקופ 40" קאסגרניני-קודה מתוצרת חברת פרקיין-אלמאר בקאליפורניה.



של הקרן. כאשר קיימת סטייה ממצב זה וישנו למשל עירבוב של שכבות בעלות צפיפות שונה, ישתנה גורם-השבירה באזורים השונים לרוחבה של אלומת הקרניים המגיעה לטלסקופ וכתוצאה מכך יוסטו חלקים שונים של הקרן בכיוונים שונים. התוצאה תהיה - ראות גרועה.

יש איפוא לבחור למיצפה אזורים בהם יש לצפות לזרימת-אוויר יציבה ככל-האפשר. אתר כזה יכול להיות הר שהאוויר הזורם מגיע אל-פניו לאחר שעבר מרחק ניכר על פני מרחבים מייצבים, כמו למשל ים.

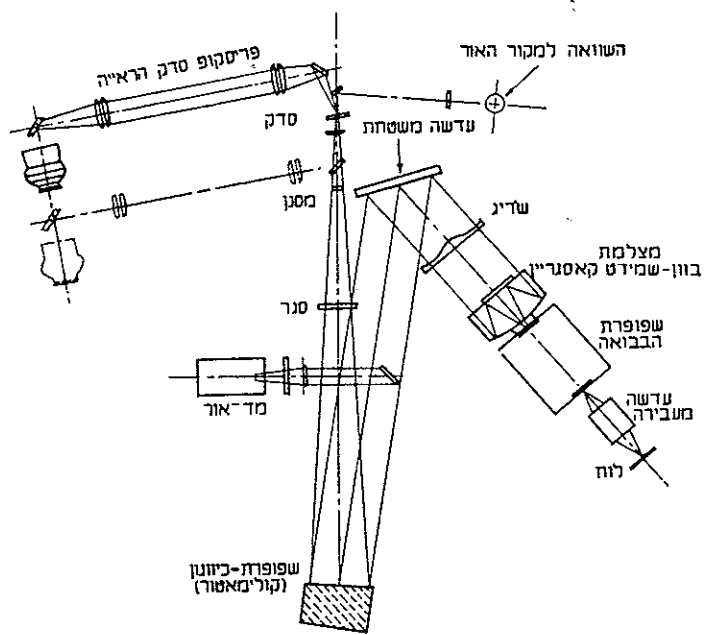
יש להניח שתנאים כאלה יתקיימו בארץ באותם אזורים בהם נושבת הרוח מכיוון הים ואין מיכשולים בדרכה.

• דעיכה (אקסטנציה): הכוונה כאן לאיבוד מעוצמת-האור העובר דרך האטמוספירה כתוצאה מבליעה ופיזור. תופעה זו תלויה עד מאוד באורך הגל. אורכי-גל מסוימים יעברו בליעה מיזערית, בעוד אשר אחרים ייבלעו לחלוטין. פיזור Rayleigh - שהוא פיזור הנגרם על ידי המולקולות שבאוויר והפרופורציוני ל- $\frac{1}{\lambda^4}$  (אורך-הגל), הדעיכה תלויה במידה רבה במאסת האוויר שמעל המיצפה. גודלה, קטן עם הגובה מעל פני-הים.

אדי-המים בולעים חלק ניכר של הקרינה בתת-אדום. מיצפה באיזור יבש יכיל בדרך כלל כמות אדי מים נמוכה. איי-נקיונות באוויר השפיע-תם רבה על הכליפה. באזורים המרוחקים ממקום-ישוב כמות העשן בדרך-כלל קטנה, אך לעומת-זאת באזורים מדבריים תכולת האבק באוויר מוגברת.

• בהירות רקע-השמים: האפשרות לראות עצמים שאינם בהירים תלויה מאוד בגורם זה. אין כל אפשרות לבצע מחקרים בעצ-מים חיוורים כאשר השמים אינם כהים. התרומה לרקע-השמים, שמקורה במקורות-אור מלאכותיים, ניתנת לביטול על ידי התרחקות ממקורות אלה, שהם לרוב מקומות-ישוב.

• מיספר הלילות הבהירים: יעילותו של מיצפה תלויה במידה רבה במיספר הלילות הבהירים. החשבון הוא פשוט: טלסקופ במקום בעל 200 לילות בהירים בשנה יעילותו זהה לשני טלסקופים במקום בעל 100 לילות בהירים.



סכימת המיבנה של הספקטרוגרף. ספק הכניסה (משמאל) נמצא במוקד הטלסקופ והאור הנקלט נרשם על-פני לוח הצילום, השריג משמש כעדשה מתקנת.

מהעדשה נקרא רוחק-המוקד. הכוכבים נמצאים במרחק ניכר מאתנו, ולכן מגיע אורם אלינו בקרניים מקבילות. אור המגיע מכוכב אחד אינו מקביל לאור המגיע מכוכב שני; שתי אלומות-האור תתמקדנה איפוא בנקודות שונות, שמרחקן זו מזו פרופורציוני לרוחק-המוקד. במקרים שיש ענין בהפרדה גדולה בין שני כוכבים קרובים, משתמשים ברוחק-מוקד גדול.

אוסף כל נקודות-המוקד נקרא מישור-המוקד. במישור זה ניתן להציב לוח-צילום ולקבל תמונה של קטע-שמים. תהליך דומה לזה מתרחש במצלמה, אלא שכאן העדשה היא בעלת קוטר גדול (כושר-איסוף-האור של העדשה פרופורציוני לשטחה. ז"א, פרופורציוני לריבוע קוטרה). הטלסקופ הגדול ביותר של עדשות נמצא במיצפה על שם ירקס (Yerkes) במדינת ויסקונסין שבצפונה של ארצות-הברית וקוטרו 100 ס"מ. הטלסקופ השני בגודלו מסוג זה נמצא במדינת קאליפורניה במיצפה ע"ש ליק (Lick) וקוטרו 90 ס"מ.

טלסקופ-המראות מרכז את אורו באמצעות מראה קעורה (הנקראת ראשית). ניוטון, שהיה הראשון שבנה טלסקופ על עיקרון זה, הציב מראה קעורה בקצהו האחורי של צינור. המראה מיקדה את האור בנקודה הנקראת המוקד הראשוני. כדי שמהלך-האור שלא יחסם על ידי ראש-הצופה היטה ניוטון את קרני-האור בעזרת מראה מישורית אלכסונית ומיקדן בצד הטלסקופ (ראה תמונה). גם כיום משתמשים עדיין בשיטה זאת בשיכלולים מסויימים.

במקום מראה מישורית אלכסונית ניתן להציב מראה קמורה (הנקראית מישנית), שתחזיר את קרני-האור דרך חור קדוח במראה הראשית ותתקדם מאחוריה. באופן זה ניתן גם לשנות את רוחק המוקד האפקטיבי. לטלסקופ ממין זה קוראים קאסגריין (Cassegrain), (ראה ציור). בדרך-כלל במקום מראה מישנית בודדת מתקינים מיספר מראות הנותנות רוחק-מוקד שונים. עובדה היא שגם המראה הניצבת

\* במסגרת המאמר אדון בכוכבים, אף כי יותר נכון היה לדון בעצם שמימי כלשהו כמו כוכב, גאלאקסיה, ענן-גז בחיר או כל עצם אחר הנמצא בשמים והפולט אור.

מעשרה ק"מ סביב מירון ואשר גובהו 1000-1200 מטר. באיזור הפרוזדור, במרכז הארץ, מגיע הגובה עד 800 מטר. ובדרום, מת-נשא איזור בסביבות מכתש רמון לגובה של 900-1000 מטר.

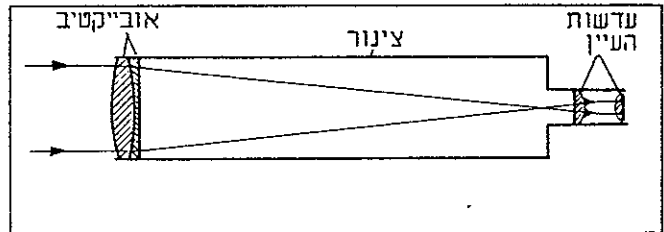
בשלושת אזורים אלה הרוח השלטת נושבת מכיוון הים ובכל אחד מהם ניתן למצוא אזורים אשר ביניהם ובין הים לא התייבנה גבעות אשר תשבשנה את זרימת האוויר. בגליל ובסביבות ירושלים הכוונה היא למידרונות המערביים, ובנגב - למידרונות הצפוניים. נעלה מכל ספק כי איזור ירושלים הוא הפחות טוב; בעוד שהאיזור הדרומי, שבו צפיפות-האוכלוסיה היא הקטנה ביותר, הוא הטוב בכלום. עוד זאת: איזור הנגב עולה על האזורים הצפוניים גם במיספר הלילות בהתירם בשנה - כ-230. רק בגורם אחד נופל איזור הנגב מן האזורים הצפוניים - בכמות האבק שבו.

בשל שיקולים אלה נבחר האיזור הדרומי. מקומו המדוייק של המיצפה נקבע על יסוד-שיקולים אקלימיים, מקומיים וכלכליים.

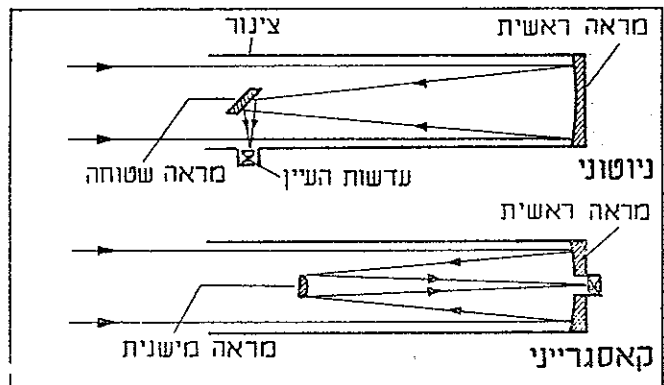
### מדוע מכשיר זה דווקא ?

טלסקופ-העדשות בנוי בדרך-כלל מעדשה מרכזת, המורכבת בקצה צינור-הטלסקופ (ראה תמונה). תפקיד העדשה לאסוף את קרני האור המקבילות המגיעות ולרכזן בנקודה. מרחקה של נקודה זו

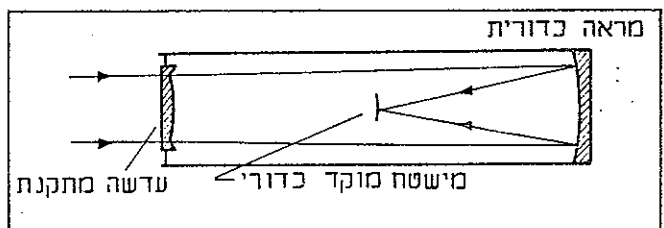
סכימה המדגימה את המיבנה של טלסקופים מסוגים שונים: עדשות, מראות ומצלמת שמידט שהיא שילוב של המינים.



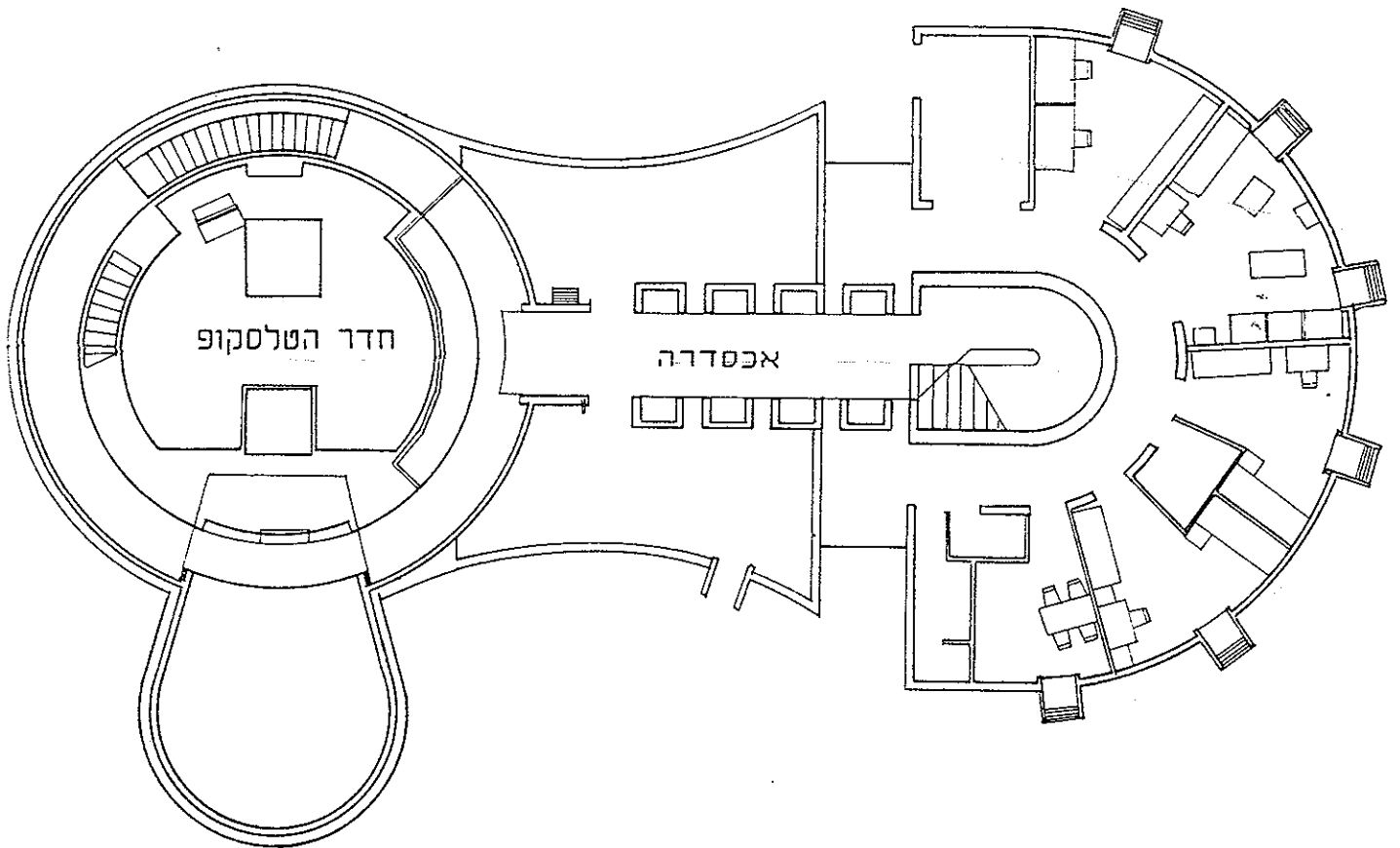
טלסקופ-שבירה



טלסקופי-החזרה



מצלמת שמידט



המיצפה במבט מלמעלה. חדרי העבודה מימין — בקומת הקרקע; האכסדרה שלאורכה ארונות תצוגה מזוגגים וחדר הטלסקופ — בקומה העליונה.

תכונה אחרת של מערכות אופטיות, שטרם נגענו בה, היא איכות הדמות במרחקים זוויתיים שונים מן הציר הראשי של המערכת. לתכונה זו חשיבות ראשונה-במעלה בשעת צילום של קטעי-שמים גדולים.

מתברר כי ברוב הטלסקופים שנבנו עד לפני זמן קצר, קשה היה לקבל תמונה חדה בשביל זוויות הגדולות מ- $0.5^\circ$ . כדי להתגבר על מגבלה זו בנו טלסקופ שהוא שילוב של טלסקופ-מראה ועדשות (מצלמת שמידט) ואשר ניתן בעזרתו לצלם זווית של  $6^\circ$  בשמים. פרט לצילום לא ניתן להשתמש בטלסקופ ממין זה למשימות אחרות ובוזה מיגבלתו (ראה ציור).

באחרונה פיתח האסטרונום האמריקאי: בוון (I. Bowen), לשעבר מנהלם של מיצפי-הכוכבים בהר-פאלומר והר-וילסון, מערכת אופ-טית לטלסקופ מסוג קאסגריין אשר פרט לכל התכונות הרצויות של טלסקופ רגיל יש לה גם תכונות של מצלמה.

המערכת שהיא בעלת מראה בקוטר של 100 ס"מ יוצרת תמונה חדה בזווית בת  $3^\circ$  ורוחק-מוקד של 700 ס"מ. התלטנו לרכוש מערכת כזאת, תאומה למערכת שנרכשה על ידי קבוצת המיצפים בהרי פאלומר ווילסון, בשביל מיצפה הגמצא בצ'ילי. המערכת מכילה מראה מישנית נוספת, בעלת רוחק-מוקד אפקטיבי של 1350 ס"מ. רוחק המוקד הקצר נועד לצרכי-צילום בעוד שהארון נועד בעיקר למדידת עוצמות-אור או מדידה ספקטרוסקופית של כוכב בודד.

הואיל וכדור-הארץ סובב סביב צירו מישתנה מקומו של העצם המסויים בשמים. יש איפוא לדאוג שהטלסקופ יוצב על כן

בדרך קרני-האור חוסמת חלק מהן, אלא שבדרך כלל ההפרעה קטנה יחסית (10%-20 מכלל קרני-האור המגיעות). קיים מיספר ניכר של טלסקופי-מראה. הגדול ביותר הנמצא כיום בפעולה בהר-פאלומר וקוטר המראה שלו 500 ס"מ. טלסקופים אחדים של 300 ס"מ ויותר נמצאים במיספר מיצפים בפעולה או בשלבי-בניה מתקדמים. הגדול שבין הטלסקופים, בן 600 ס"מ, מוקם כיום בברייה"מ.

מן המספרים שהבאתי על ממדי הטלסקופים מתברר כי הגדולים שביניהם עשויים מראות, וסיכות טובות לכך.

כדי לרכוש את האור הנקודה יש ללטש את המראה או העדשה בדרגת-דיוק גבוהה (עד כדי 0.1 של אורך-גל נראה,  $5.10 \cdot 10^{-6}$  ס"מ). כאשר עדשה נבנית מעל לגודל מסויים, שהוא בסביבות 100 ס"מ מישי-קלה הוא כה רב עד-כי היא מתעוותת בכבדה העצמי. המצב מחמיר עוד יותר כאשר מפנים אותה לכיוונים שונים בשמים. גם המראה כבדה ביותר, אלא שאינה מתעוותת, כי ניתן לתמוך בחלקה האחורי, נוסף למיסגרת המקיפה אותה. יתרון אחר של מראה על פני עדשה הוא בזה שאור המתרכז על-ידי מראה אינו עובר דרכה אלא מוחזר מפניה, המצופים בשיכבת-אלומיניום, בעוד שעל אלומת-האור לתדור דרך העדשה. ככל שקוטרה של העדשה רב כן גדל עוביה ובליעת קרני-האור גדלה והולכת. במראה יש ללטש רק מישטח אחד, בעוד שבעדשה יש ללטש שני מישטחים.

עדשה סובלת מסטיות כרומאטיות, כלומר-אור בצבעים שונים מתמקד במרחקים שונים מן העדשה ומתקבלת תמונה לא-חדה. על חופעה זו ניתן להתגבר על-ידי חוספת של עדשה, דבר המצרין ליוש של שני מישטחים נוספים.

המקביל לציר כדור-הארץ והמסתובב באותה מהירות שבה סובב כדור-הארץ, אך בכיוון הפוך.

קצב סיבוב זה חייב להיות בעל דרגת-דיוק מופלגת, אחרת תתעוות תמונתו של כוכב המצולם זמן ממושך. המערכת שרכשנו מסוגלת לעקוב אחרי כוכב כן שלאחר 5 דקות לא תעלה הסטייה על 1" של זווית. (במשולש שווה-שוקיים שבסיסו הוא 1 מטר ואורך צלעותיו 200 ק"מ זווית-הראש היא 1° בקירוב).

### מכשירי-מדודה

צילום קטע-השמים מלמד את האסטרונומים על מיקומו של כוכב ובמידה מסויימת על עוצמתו. מדידות מדוייקות של העוצמה, שינויי העוצמה כפונקציה של זמן, שינויי עוצמה כפונקציה של צבע-האור וכו' דורשת מכשיר בעל דרגת-דיוק רבה עוד יותר. המכשיר המשמש למטרה זו הוא מכפיל-האור.

כמויות אור זעירות (פוטונים בודדים) המתרכזות על-ידי הטלסקופ פוגעות בפני מכפיל-האור המוצב במוקד הטלסקופ וגורמות לפליטת אלקטרונים. אלקטרונים אלה מואצים בשדה החשמלי של מכפיל-האור וגורמים לפליטה מישנית של אלקטרונים נוספים. מכל אלקטרון שנפלט, כתוצאה מפגיעת פוטון, מתקבל פולס חשמלי. פולסים אלה, שמיספרם פרופורציוני לכמות האור המגיעה מהכוכב, גמנים על-ידי מערכת מיוחדת. האור המגיע למכפיל-האור מכיל בקרבו, פרט לאור-הכוכב, גם אור של קטע-השמים הקרוב לו. באותם מקרים שעוצמת האור קרובה לעוצמת רקע-השמים תהיה כמות האור שתימדד מורכבת משני המרכיבים. למעשה הדבר נכון לגבי כל כוכב; אלא שבמקרה זה השפעת רקע השמים אינה בטלה. נהוג אפוא למדוד, נוסף לכוכב ולקטע-השמים הסמוך לו, גם קטע שמים דומה לו בתכונותיו ללא-כוכב ולחסר את העוצמות.

המכשיר שברשותנו מורכב משני מכפילי-אור, המודדים את עוצמת אור-הכוכב ורקע-השמים באופן סימולטאני. הפרשם נותן את עוצמת-האור האמיתית של הכוכב. במכשיר שלנו ניתן יהיה למדוד עוצמות-אור של עצמים שעוצמתם קטנה פי 100,000,000 מעוצמת-האור של הכוכב הבהיר ביותר הנראה בשמי הלילה.

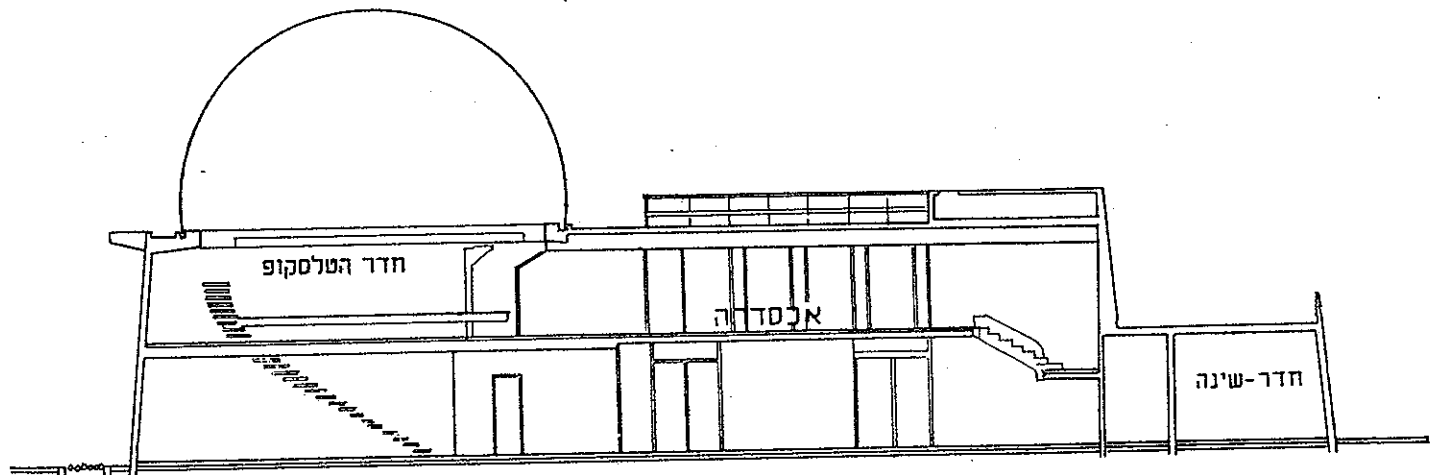
תוך בחינת ספקטרום-האור אפשר ללמוד פרטים מרובים על הכוכב, כגון: הרכב יסודותיו, טמפרטורת שכבת האטמוספירה העליונה שלו, הרכב האטמוספירה, צפיפותה, מהירות תנועתו של הכוכב יחסית לתנועת הארץ, ותכונות אחרות.

הספקטרוגרף, שסדק-הכניסה שלו נמצא במוקד-הטלסקופ, קולט את אור-הכוכב ומנפצו לאורכי הגל השונים, המרכיבים את כלל האור המגיע. אור זה נקלט ונרשם על פני לוח-צילום. מדידות מדוייקות של לוח-הצילום מאפשרות לקבל מושגים על הפרטים שצוינו לעיל. הבעיה המרכזית בבניית ספקטרוגרף אסטרונומי נעוצה בכמויות האור הזעירות העומדות לשימוש המכשיר. על המכשיר להיות בעל יעילות מירבית, כלומר, יש לדאוג שאור החודר מבעד לסדק הספקטרוגרף לא יתפזר או ייבלע, אלא ימצא את דרכו אל לוח-הצילום. רצוי גם לנסות ולהגביר את עוצמת-האור המגיע אל לוח-הצילום, כפי שהדבר נעשה במכפילור; אלא שכאן פרט להגברה רגילה יש לדאוג שפוטון השייך לאורך-גל מסויים יוגבר (ז"א יגרום לפליטה של מספר פוטונים) ויגיע למקום המתאים לו על לוח-הצילום. פרט להגברה הרגילה דרוש גם מיקוד. ואומנם באחרונה פותחו מכשירים מסוג זה הנקראים שופרות-בבואה (image tubes) המגבירים את עוצמת-האור פי 20 בערך. דחיפה לפיתוחם של מכשירים אלה נתנה מלחמת וייטנאם, אשר שם משתמשים בהם ללחמה לילית. בארץ ידועים מכשירים אלה בשם מגבירי אור-כוכבים.

בספקטרוגרף שנרכש על ידינו ניתן לקבל, תוך תקופת-צילום של 2-3 שעות, ספקטרום של עצם שמימי בעל עוצמת-אור הקטנה פי 10,000,000 מעוצמת הכוכב הבהיר ביותר הנראה בשמי הלילה. יעילותו של מיצפה-כוכבים, כשל כל מיתקן מדעי אחר, נקבעת במידה רבה על ידי קצב אפשרויות הטיפול בכעיות השונות שהוא אמור לטפל בהן. ציידנו את המיצפה במערכת אלקטרונית, הבנויה סביב מחשב (ראה תרשים בעמוד הבא). מערכת זו מסוגלת בקלות לשנות את אופיה ולענות על בעיות חדשות. בשלב זה מסוגלת המערכת האלקטרונית לענות על הכעיות הבאות:

- כיוון הטלסקופ: בראשית הלילה יזין האסטרונום את המחשב בקואורדינאטות העצמים השמימיים שבועתו לבדוק. בקשת המיספר הסידורי של העצם תגרום לכך שהמחשב יפנה את הטלסקופ לכיוון המתאים.
- הזזת הכיפה: לכיפת המיצפה צורת חצי-כדור, בעל סדק ברוחק של כ-2 מטרים. הטלסקופ מביט בשמים דרך סדק זה. כאשר הטלסקופ מוטה לכיוונים שונים בשמים חייב גם סדק-הכיפה לעקוב אחריו. לזאת ידאג המחשב.
- חישובי התוצאות הגמדדות: במדידות פוטואלקטריות כמות הנתונים המגיעים היא רבה ביותר. המחשב ומערכת-

תכנית המיבנה של המיצפה במבט מן הצד.



לטפל כמעט בכל בעיה שתעלה והוא מסוגל לשנות את פעילותו לפי רוח הזמן. אנו אימצנו את האסכולה השנייה, זאת הטוענת למיצפה-רב-תכליתי. סוג הטלסקופ ואוסף תכשירי-המדידה שרכשנו מצביעים על-כך.

הלך-מחשבה זה גם אינו מחייב כפיית סוג-המחקר שיהיה על החוקרים השונים לבצע. ואומנם הצעות-המחקר השונות שנתקבלו משקפות נאמנה הלך-רוח זה. הצעות-המחקר נוגעות לספקטרום רחב ביותר של בעיות.

● אסטרונומיה מעבר לגאלאקסיה שלנו: המכיש על תמונת-השמים רואה כי מעבר לגאלאקסיה שלנו ישנן כמויות עצומות של גאלאקסיות. חלקן מסודר בקבוצות צפופות (צבירי-גאלאקסיות) וחלקן נראה כאילו הן בודדות בשמים.

מהו קוטר צבירי הגאלאקסיות והתחלקות הגאלאקסיות בתוכם אינו ידוע-כפי שעדיין אין תשובה על השאלה האם כל הגאלאקסיות שייכות לצבירים או שהגאלאקסיות הן בודדות. על שתי בעיות אלה ייעשה ניסיון להשיב. על הבעיה הראשונה יש להשיב לאחר חישובים

הרישום שלו יקלטו את הנתונים, יערכו בהם בדיקות מהימנות ובמהלך המדידה הם יחשבו את הגדלים המעניינים את האסטרונום.

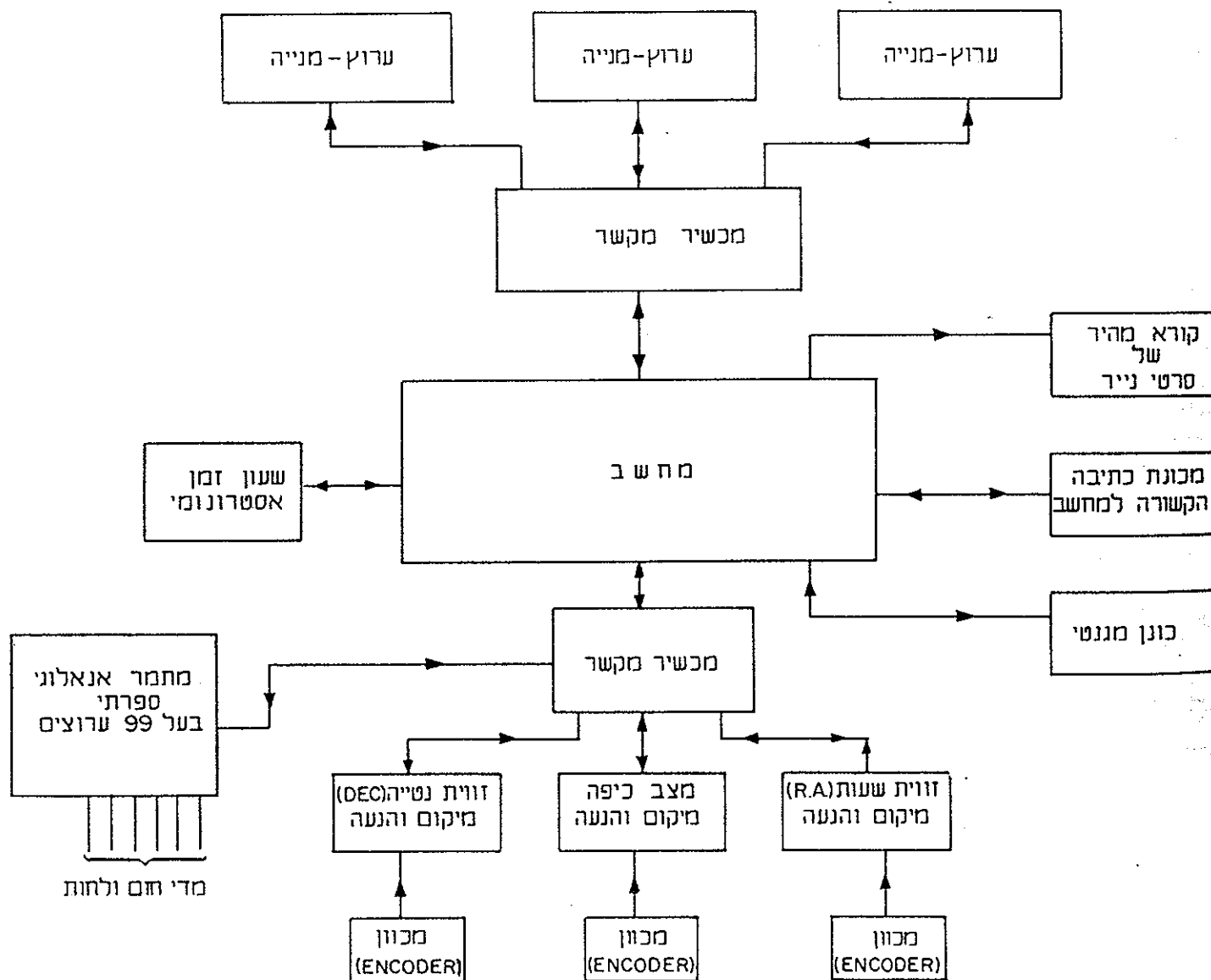
משק-בית: על המיצפה לפעול בתנאי טמפרטורה, לחות ורוח מסוימים. המחשב ירשום נתונים אלה בפרקי-זמן קצובים. ברגע שתהיה סטיה מהמתר, יופעל פעמון-אזהרה.

### תוכניות-המחקר לשנתיים הבאות

בין מקימי המיצפים בעולם קיימות שתי אסכולות ביחס לאופי הקמתם של מיצפי-הכוכבים. האסכולה האחת טוענת שיש תחילה להחליט על הבעיה המדעית ולאחר מכן לבנות את המיצפה, כך שיהיה מיועד לענות עליה. כלומר: מיצפה חד-תכליתי. מובן שמיצפה כזה יכול להיות יעיל ביותר לפיתרון הבעיה למענה הוא נועד; אך הוא עלול להיות מאוד לא-יעיל בפיתרון בעיות אחרות, הצצות עם הזמן.

האסכולה השנייה טוענת שיש לבנות מיצפה כך שיהיה מסוגל לטפל במיספר ניכר של בעיות: מיצפה רב-תכליתי. מיצפה כזה אינו יכול לטפל ביעילות מירבית בכל בעיה, אך מצד אחר יהיה מסוגל

תכנית המערכת האלקטרונית להפעלת המיצפה



• **מ ע ר כ ת - ה ש מ ש :** פרטים על רוח-השמש ניתן לגלות מתוך בדיקות התנהגות עוצמת-האור של כוכבי-שביט. קיים כוכב-שביט הנע במסלול מעגלי סביב השמש במרחק של כ-6 פעמים מרחקנו מהשמש. התנהגות עצם זה תהיה נושא למחקר. אטמוספירות הפלאנטות (כוכבי-הלכת) מענינות חוקרים רבים. אטמוספירת צדק ובמיוחד מרכיביה הגזיים ישמשו בנושא למחקר. אופיו של מחקר הוא, שבעת שמנסים לפתור בעיה מסוימת צצות בעיות אחרות. יש להניח שבמהלך העבודה תתרכיבה תוכניות המחקר ותשתנינה, הן כתוצאה מבעיות חדשות שתצננה, או כתוצאה מהצטרף פוחם של חוקרים חדשים לצוות המיצפה.

#### מבקרים במיצפה

הוחלט שהמיצפה ישמש לא-רק מיתקן מחקרי אלא אתר-ביקורים לבני-גוער ולתיירים. נעשה נסיון כושל לגייס מקורות כספיים למימון הקמת מיבנה, בסמוך למיצפה. מיבנה כזה ישמש לתצוגה חזותית ושמיעתית של נושאים הקשורים באסטרונומיה ובאופטיקה. כדי לשתף בכל-זאת את הציבור בנושא האסטרונומיה, הוחלט לבנות במיסגרת בניין המיצפה תוספת למבקרים, שתסתיים בקיר-זכוכית הצופה על הטלסקופ. לאורך שני צידי האכסדרה תוצג תערוכה מצומצמת של נושאים הקשורים באסטרונומיה בכלל ובמיצפה שלנו בפרט. הואיל ועבודת מיצפה נעשית לרוב בלילה יערכו הביקורים בשעות היום. מועד פתיחת-המיצפה למבקרים עדיין לא נקבע. אין להניח שהדבר יהיה לפני חודש אוקטובר 1971.

#### לקריאה נוספת

1. Abell, G., Exploration of the Universe. 1969. Holt Rinehart and Winston.
2. Inglis, S.J., Planets, Stars and Galaxies. 1967. J. Wiley and Sons Inc. N.Y.
3. Baker, R.H. and L.W. Fredrick, An Introduction to Astronomy. 1968. Princeton N.J.; Van Nostrand Co. Inc.

סטאטיסטיים של התחלקות הגאלאכסיות כפונקציה של מקומן בצביר. את ההתחלקות יש למדוד מתצלומי-הצבירים. על הבעיה השניה ניתן להשיב לאחר ידיעת מקום הגאלאכסיות בשמים, ז"א, קואורדינאטות-אורך, רוחב ומרחק. אורך ורוחב ניתן למדוד על פני לוח-צילום, ומרחק - מתוך מדידות ספקטרוסקופיות (מדידות של אפקט-דופלר). קואזארים (Q.S.O.) הם עצמים בעלי תכונות משונות ביותר. הדבר המאפיין אותם במיוחד הוא ההסט הגדול של הספקטרום שלהם לאדום.

הסט זה מגיע עד כדי  $\frac{\lambda_Q}{\lambda_L} \approx 4$  כאשר  $\lambda_Q$  הוא אורך-הגל המגיע אלינו מהקואזאר ו- $\lambda_L$  הוא האורך האמיתי שנפלט מהקואזאר. למשל, אורך-הגל של מימן ב- $1215 \text{ \AA}$  מגיע אלינו באורך של גל ב- $4800 \text{ \AA}$ . אם מניחים שהסט הספקטרום שלהם לאדום מקורו במרחקם מאתנו, הרי שהם העצמים המרוחקים ביותר שניתן לראות. זאת גם הסיבה של הענין הרב במחקרם. גם לנו ישנן מיספר תוכניות-מחקר הקשורות בקואזארים, כגון, עוצמת-האור כפונקציה של הזמן, הרכב האור, התחלקות הקואזארים בשמים ועוד.

• **אסטרונומיה בתוך הגאלאכסיה:** ממחקר בעזרת קליעים ולוויינים מחברר כי בשמים יש מיספר גיכר של מקורות הפולטים קרינה בתחום קרני-X. הידיעות על התכונות האופטיות של מקורות אלה מוגבלות ביותר. ישנה כוונה לבסות ולזהות את העצמים הפולטים מקורות אלה ולערוך בהם מדידות שונות, כדי ללמוד על תכונותיהם. המביט על השמים באור תת-אדום יראה כי תמונת השמים שונה מזאת המוכרת לנו מהתחום האופטי. תכונותיהם של הגופים הפולטים אור בעוצמה רבה בתת-אדום ומרחקם מאתנו כמעט שאינן ידועות. ייעשה ניסיון לענות על חלק משאלות אלה.

\* וראה מאמריו של אורי בנשלום על "קריסה גראוויטאציונית" (א) הקואזארים - עובדות ומסקנות, "מדע" י"א-1 (1966), עמ' 44-51; (ב) מהות הקואזארים - ספקולאציות על מינם ומנגנון פעולתם, "מדע" י"א-6 (1967), עמ' 362-370.