

## הצטרפות ישראל לארגון האסטרונומי האירופאי ESO

<http://www.eso.org> ESO

ארגון האסטרונומיה האירופאי הקרוי "המצפה האירופאי הדרומי" - European Southern Observatory (ESO) הוא שותפות של 14 מדינות באירופה (וכן ברזיל, שחברותה עומדת בפני אישור סופי). מדובר במצפה האסטרונומי המתקדם בעולם. הוא כולל ארבעה טלסקופי ענק אופטיים הממוקמים בצ'ילה (VLT), מספר טלסקופים אופטיים קטנים יותר, גם הם בצ'ילה, טלסקופ אינטרפרומטרי ענק בתחום הגלים המילימטריים (ALMA), וטלסקופ אופטי של הדור הבא בקוטר 39 מטר (ELT), המתוכנן להתחיל לפעול לקראת תחילת העשור הבא. הארגון הוא המקבילה האסטרונומית לארגון האירופאי לחקר הגרעין CERN. התמיכה של כל מדינה היא ברמה הלאומית ומחיר הכניסה, כמו גם דמי התפעול השנתיים, נקבעים על פי התל"ג. אם תצטרף ישראל, מדובר בעלות חד פעמית של כ-15 מיליון יורו ועלות תפעול שנתי של כ-2 מיליון יורו.

### אסטרונומיה במאה ה-21

תחילתה של המאה ה-21 היא ללא ספק תור הזהב של האסטרונומיה – תקופה של תגליות דרמטיות המשנות את תמונת היקום ומובילות לשאלות מחקריות מרתקות, כגון: מה הוא מקור האנרגיה האפלה, המאיצה את התפשטות היקום? כיצד נוצרו הגלקסיות והחורים השחורים האדירים במרכזי הגלקסיות? האם קיימים כוכבי לכת נושאי חיים מחוץ למערכת השמש? הצעדים הראשונים להבנתן של שאלות אלו, ורבות אחרות, מבוססים על תגליות שרובן התרחשו בעשור האחרון והן, כמעט ללא יוצא מן הכלל, תוצאה של מדידות במכשירים מתקדמים הצמודים לטלסקופי ענק על הקרקע ובחלל. תגליות אלו, ואחרות שבודאי יבואו בעתיד, לא היו בידנו ללא השקעה של עשרות מיליארדי דולר במחקר בחלל, ומיליארדי דולר במחקר על פני כדור הארץ, ע"י מדינות המערב.

רשימת "התגליות החשובות של השנה" המתפרסמת בעיתונות המובילה כל שנה, מלמדת על המעמד המיוחד של האסטרונומיה: כ-20 אחוזים הם מתחום האסטרונומיה, למרות שהמדענים בשטח זה מהווים רק אחוזים בודדים ממדעני העולם. התמיכה במחקר האסטרונומי יכולה להיחשב, במובנים מסוימים, מעין אבן בוחן של חברה מתקדמת. האסטרונומיה היא מקור לידע חדיש, להשראה, לקידום טכנולוגי ולקידום תרבותי של החברה כולה ולקירוב המדע המודרני לצבור הרחב בכלל ולבני הנוער בפרט. אין היום מדינה מפותחת בעולם המתקדם, הכוללת את ארצות הברית, קנדה, אירופה, אוסטרליה ויפן, שאין למדענים בה גישה לדור האחרון של טלסקופים ענקיים. בכך, ישראל יוצאת דופן, לעת עתה.

## אסטרונומיה בישראל

בישראל קבוצה קטנה אך מצטיינת העוסקת בתחום זה (כ-35 אנשי סגל בכיר בחמש אוניברסיטאות, מספר דומה של פוסט-דוקטורנטים, וכ-70 תלמידי מחקר לתארים גבוהים). מחקר של האקדמיה הלאומית למדעים הראה כי האסטרונומים הישראליים מדורגים במקומות הגבוהים בעולם מבחינת מספר הציטוטים של עבודותיהם, למרות התמיכה הקטנה באסטרונומיה, יחסית למקובל בעולם המערבי. עיקר התצפיות האסטרונומיות התבצעו, עד לא מזמן, על ידי אנשי קבוצת האסטרונומיה באוניברסיטת תל אביב, המפעילים, החל משנת 1971, את מצפה הכוכבים ע"ש וייז במצפה רמון. הטלסקופ במצפה זה (בקוטר 1 מטר) נחשב קטן מאוד כיום, והוא מאפשר מחקר בנושאים מסוימים בלבד. בשנים האחרונות חלה התפתחות בטכניון ובמכון ויצמן, שהחליטו להיכנס לתחום התצפיתי (עד עתה היו במוסדות אלה רק אסטרופיזיקאים שעסקו במחקר תיאורטי) על ידי הבאת אנשי סגל חדשים ועל ידי גיוס כספים למטרות תצפיות אסטרונומיות. מרבית העבודה התצפיתית בישראל כיום מבוצעת באמצעות טלסקופי חלל של NASA וסוכנויות חלל אחרות (ESA, CNES), שאסטרונומים ישראלים מתחרים בהצלחה על זמן התצפית בהם, ועל ידי שיתופי פעולה עם מדענים מחו"ל, שדרכם אנו משיגים גישה לטלסקופים המתקדמים שעל הקרקע. אולם, בשיטת פעולה זו, מוגבלת יכולתנו ליזום ולהוביל פרויקטים תצפיתיים, וגם כאשר בפועל אנו מובילים, אנו נאלצים לתת או לחלוק את הקרדיט לאחרים. כיום ישראל היא המדינה היחידה בעולם המתקדם שאין למדעניה גישה ממוסדת למתקנים אסטרונומיים מודרניים. על מנת לשנות מצב זה ולקדם עוד יותר את המצוינות הקיימת בתחום האסטרונומיה בישראל, אנו מציעים לבצע קפיצת מדרגה שעיקרה הצטרפות לארגון האירופאי למחקר אסטרונומי ESO, המפעיל את הטלסקופים הגדולים ביותר בעולם (ובעשור הבא את הדור הבא של טלסקופים בקוטר 40 מטר, אשר יובילו את חזית התגליות). מעבר לשדרוג המחקר בתחום, ההצטרפות תאפשר לתעשייה הישראלית להתחרות על מכרזים בפרויקטים טכנולוגיים מתקדמים אלה.

### היבטים אקדמיים:

קיים קונסנזוס בקרב האסטרונומים בישראל לגבי הצורך להצטרף ל-ESO. חברות ב-ESO תאפשר לאסטרונומים בישראל להתחרות על השימוש במתקני הארגון. תחום האסטרונומיה ונושא ההצטרפות למצפה כוכבים גדול נבדקו פעמיים ב-10 השנים האחרונות. בשנת 2002 המליצה ועדה בינלאומית שמונתה על ידי האקדמיה הלאומית למדעים על הצטרפות לפרויקט אסטרונומי גדול. בשנת 2008 החליטה ות"ת על תמיכה עקרונית בפרויקט מעין זה. הדבר לא יצא לפועל בשל המשבר כלכלי העולמי של 2008 ובשל חוסר נכונות מצד ESO שנבע בעיקר מסיבות פוליטיות. בסוף 2011 פנינו שוב להנהלת ESO על מנת לברר אם הבשילו התנאים להצטרפות ישראל לארגון. ההיענות הפעם הייתה חיובית מאד. לאחר דיון במועצה של ESO, נתבקשנו לארגן משלחת בלתי-רשמית שתבוא להמשך בדיקת הנושא. התקדים של הצטרפות ישראל ל- CERN מוכר היטב לאנשי ESO, והם מרבים להזכירו.

### היבטים טכנולוגיים ותעשייתיים:

מיצפים גדולים משקיעים כמחצית מתקציבם השוטף בפיתוח ESO, לדוגמה, משקיע כ-100 מיליון יורו בשנה. עלות טלסקופ הדור הבא, פרויקט שאושר זה עתה, היא 1.1 מיליארד יורו. הפיתוח כולל בניית מכשור מתקדם המתבסס על גלאים רגישים במיוחד בתחום האופטי, תחום ה-IR ותחום הגלים המילימטרים, טכנולוגיה של אופטיקה מסתגלת (Adaptive Optics) המבטלת את ההפרעות האטמוספיריות, ואינטרפרומטריה עם קו-בסיס גדול. לטכנולוגיות אלו שימושים נוספים במדע ובתעשייה. מעורבות ישראלית בפרויקטים הקיימים ב-ESO, תחזק את הפעילות הקיימת בארץ בנושאים הנ"ל, תעודד כיווני פיתוח חדשניים, תמשוך חברי סגל חדשים, ותעודד יוזמות בתעשייה. חלק מפיתוח המכשור החדש נעשה ע"י חוזים עם התעשייה במדינות השייכות לארגון ואנו צופים שבדרך זו חלק מתקציב החברות השנתי יחזור לתעשייה המתקדמת בישראל. הפעילות תחזק את הקשר בין התעשייה לאוניברסיטאות, תעביר לארץ ידע טכנולוגי מתקדם ותאפשר לחברות ישראליות להפיק רווחים מטכנולוגיות שפותחו למטרות אחרות.

## חינוך וחברה:

אסטרונומיה הינה אחד הנושאים המדעיים המלהיבים במיוחד בני נוער ואת הקהל הרחב. תגליות אסטרונומיות ישראליות באמצעות הטלסקופים המובילים בעולם יחזקו את תדמית האוניברסיטאות בארץ, יגבירו את המוטיבציה ללימודים מדעיים וטכנולוגיים בבתי הספר התיכוניים, וימשכו תלמידים מצטיינים לתחומי המדע והטכנולוגיה באוניברסיטאות, כפי שמעיד הניסיון מפעילות דומה בחו"ל.

## יחסי חוץ והיבטים נוספים:

חברות בארגון בינלאומי גדול כמו ESO תחזק את שיתוף הפעולה המדעי עם המדינות החברות בו, דרך פרויקטים ספציפיים, פתיחת דלתות למשתלמים ישראלים במוסדות אקדמיים אירופאים ותמיכה בכנסים מדעיים משותפים. החברות ב-ESO תפתח פתח לגיוס משאבי מחקר לחוקרים ישראלים מקרנות אירופאיות שונות, ותשפר את תדמיתה של ישראל באירופה.

החתומים מטה מייצגים את הקבוצות העיקריות העוסקות במחקר אסטרונומי במוסדות להשכלה גבוהה בארץ. מדובר, כאמור, בקבוצה הרבה יותר גדולה, הכוללת עוד אנשי סגל בכיר, כמו גם חוקרים, תלמידי מחקר, פוסט-דוקטורנטים, ופוסט-דוקטורנטים הנמצאים כעת במוסדות בחו"ל, שחלקם יוכלו להנות גם הם בעתיד מפירות יוזמה זו, במסגרת "השבת מוחות".

## אוניברסיטת תל אביב

פרופ' דן מעוז

פרופ' שי צוקר

## מכון ויצמן למדע

ד"ר אבישי גל-ים

## הטכניון

פרופ' אהוד בכר

## האוניברסיטה העברית

פרופ' צבי פירן

## אוניברסיטת בן-גוריון

ד"ר אורי קשת

E-ELT-ה פרוייקט

ה-E-ELT, הוא ה-European Extremely Large Telescope, יהיה פרוייקט הדגל של ESO בעשור הקרוב. בהשקעה המוערכת כעת בכמיליארד יורו, יבנה ESO טלסקופ במימדים עתידניים, בעל מפתח של 39 מטר ואופטיקה מסתגלת (Adaptive Optics). מצד אחד, הדבר מאפשר יכולת הפרדה הרבה יותר גדולה מבעבר וכן איסוף אור הרבה יותר יעיל מבעבר. לכן הוא יהיה רגיש בצורה חסרת תקדים לתופעות אסטרונומיות במרחקים גדולים מאוד, או חיוורות מאוד. הוא יאפשר מחקר הרבה יותר מעמיק של תופעות אסטרונומיות שונות, כמו חורים שחורים, קוואזרים, פלנטות מחוץ למערכת השמש, עצמים קטנים במערכת השמש החיצונית וכו', וזרען סוגיות יסודיות בפיסיקה, כמו הרגעים הראשונים של היקום, החומר האפל, תורת היחסות הכללית וכו'. אין חולק על כך שה-E-ELT יהווה קפיצת דרך משמעותית בפיסיקה בכלל. מן הצד השני, גודלו חסר התקדים יהווה אתגר טכנולוגי משמעותי, אתגר עימו יאלצו להתמודד האסטרונומים והתצפיתנים, ואולי יותר מכך, המהנדסים והתעשיות המעורבות.

רשימה חלקית של הטכנולוגיות היותר מתקדמות המעורבות בפרוייקט כוללת ייצור מראות ומראות "כוורת", לצורך בניית העדשה המרכזית של הטלסקופ; מערכות השליטה והבקרה של מראות אלו, כל אחת בנפרד וכולן ביחד, כולל היבטים של מכניקה עדינה וחישוביות בזמן אמת; אופטיקה מסתגלת (Adaptive Optics), כולל אלקטרואופטיקה ולייזרים ייעודיים לצורך יצירת "כוכבים מלאכותיים"; טכנולוגיית חישה של חזית הגל (wavefront sensing); טכנולוגייה הנדסית חדשנית לייצור המבנה בו ישוכן הטלסקופ ("כיפה"). בנוסף, ייבנו המכשירים המדעיים השונים שיוקנו על הטלסקופ שידרשו גם הם מן הסתם טכנולוגיות שונות בתחומי האופטיקה, אלקטרו-אופטיקה, קריוגניקה וכו'.

להלן קישורים למאמרים המדגימים את האמור לעיל:

- סיכום מנהלים אודות ה-E-ELT:  
[http://www.eso.org/sci/facilities/eelt/docs/e-elt\\_executivesummary.pdf](http://www.eso.org/sci/facilities/eelt/docs/e-elt_executivesummary.pdf)
- ייצור מראות ה"כוורת"  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.858806>
- מנועי השליטה במראות  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.857158>
- אופטיקה מסתגלת (Adaptive Optics) מבוססת לייזר  
<http://dx.doi.org/10.1364/AO.50.000473>  
<http://dx.doi.org/10.1364/AO.49.000G27>  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.857634>
- טכנולוגיית ה"כיפה"  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.856739>
- מאמר אודות HARMONY, שיהיה אחד מהמכשירים המדעיים מהדור הראשון על ה-E-ELT:  
<http://dx.doi.org/10.1117/12.857548>
- מאמר אודות MICADO, גם הוא יהיה ממכשירי הדור הראשון של ה-E-ELT  
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2966.2009.15940.x/full>

תעשיות וטכנולוגיות ישראליות בעלות רלוונטיות אפשרית ל ESO

1. Cm-mm Phased Arrays

**Elta** - Specializes in the development of radars for a variety of civil and security purposes. A potentially relevant technology is the Oren Yarok (i.e Green Pine) radar which is part of the anti-ballistic “Arrow” system. This is an electronically scanned array (AESA), essentially a phased array radar. It consists of many 1000s of elements, including the super-computers that shape and steer the multiple beams. It is apparently of very high sensitivity and spatial and timing resolution, capable of detecting meter scale objects at large distances on ams timescale. There is ongoing investment in improving the radar sensitivity, which may have doubled the effective range in the most recent version (Oren Adir). Elta also built the detector on the recently launched TECHSAR satellite which provides Synthetic Aperture Radar (SAR) imaging of the Earth.

2. Electro-Optics

**Elop**, part of the **Elbit** corporation - The top electro-optical company in Israel. Elop has significant expertise in land, airborne, and spaceborne imaging sensors. They have infrastructure to make lightweight aspheric mirrors and elements up to a size of 80-cm, or a bit larger. Their strong points are in optical design and fabrication. They do quite a lot of IR work, but not cryogenically cooled. The company employs about 1000 people, more than half of them have academic degrees. Elop developed the optical systems for the Ofek space based telescope series. It developed cameras for the commercial Eros program, and a multispectral imager for a South Korean satellite. It developed a multispectral imager for the CNES Venus program to be launched in the future.

3. Detectors

**OPGAL** - Develops sensitive cooled and uncooled thermal imaging IR cameras.

**SemiConductor Devices (SCD)**- Owned by Elbit and Rafael, develops similar highly advanced products including InSb arrays, Vanadium Oxide microbolometer arrays, and higher-efficiency hetero-structure detectors.

4. Optical devices

**HoloOr** - Designs and manufactures diffractive optical elements. It was selected as the supplier of holographic gratings for the Large Binocular Telescope multi-object double spectrograph.

**Ricor** - Cryogenic and Vacuum Systems – World-leading producer of refrigerators, cameras and systems for imaging, mainly in the infrared. Their products are used routinely in various observatories.

**Tower Semiconductor** - An independent major foundry for manufacturing of detectors in the visible and infrared. It develops its own products, as well as accepting different processes for manufacture.

**CI Systems** - Design and manufacture testing equipment for electro-optics.

**Ophir Optronics** - Among other things produces optical spherical and aspherical elements in the IR. Also develops laser measurement equipment (beam power,

spectrum and profile). Various other companies develop potentially relevant electro-optical devices, including **TAMAM, Ortek, ITL, Isorad, Controp Precision Technologies, Duma Optronics, Ofil, and Optigo Systems.**

### 5. Powerful Lasers

**The Soreq Nuclear Research Center** - Develops powerful kilowatt-class lasers, laser-induced fluorescence (LIF), and highly tunable lasers from the UV to the mid-IR. These are developed and applied also as research tools for measuring atmospheric properties, and may be applicable for artificial guide star devices.

### 6. Software development

There is a large number of companies which have set major research centres in Israel: Intel, Microsoft, Google, IBM, etc. Most of these deal with computer science issues, such as compressing, sorting, image processing, process analysis and more.

### 7. University-based technologies

**Tel-Aviv University** - Development of mid-IR fiber waveguides based on Silver halide. These infra-red fiber optics products are being considered for use for stellar interferometry (A. Katzir).

**Technion** - Development of (hardware) wavefront sensors and correctors, software for analysis for wavefront sensors and multiconjugate adaptive optics. Beam combiners for multi-telescope optical interferometry (E. Ribak). Multiplex imaging (Y. Schechner), IR detectors (Y. Nemirovsky), optical physics (S. Lipson).

**Ben-Gurion University** - Development of "smart" CMOS image sensors, with low power sensor design, suitable for space applications. This includes special architectures ("attention-based" sensors), circuits and materials (silicon over sapphire) for ultra-low power sensors.