

# פקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל

## חברי הסגל האקדמי

### דיקן הפקולטה

שימא טל

### פרופסורים

אושמן יעקב

בן-אשר יוסי

גבעולי דן

גורפיל פנחס

כהן יעקב

נתן בני

פרנקל יצחק

רווה דניאלה

שימא טל

### פרופסורים חבריים

אידן משה

זלזו דניאל

יודילביץ גיל

יוסילבסקי גיל

מנלה אבשלום

ציקורל בני

### פרופסורים משנה

אינדלמן ואדים

קרונהאוז יגאל

### מרצים בכירים

גיקובי איאן

לפקוביץ יוסף

מייקלס דן

סטלנוב אוקסנה

### פרופסור אורח

נגל יעקב

### פרופסור מחקר אמריטוס

ויס דניאל

### פרופסורים אמריטי

גלמן משה

גני אלון

גרינברג ג'ורלד ברי

דורבן דוד

וולפשטיין מיכה

וולר תנחום

טמבור יורם

לוי ישעיהו

נסים אליהו

קרפל מרדכי

רוזן אביב

רנד עמרי

### חברי סגל בגמלאות

אברמוביץ חיים

בורקט אלכסנדר

ברקוביץ אברהם

גרנוולד ארתור

ליאור דוד

לנדקוף בנימין

שטיינברג אברהם

שטריקר יוסף

מהנדסי האוויר-חלל בישראל, בוגרי הפקולטה, מעורבים בפיתוח, בתיכון, בייצור בהפעלה, בבקרת טיסה ובתחזוקה של מערכות מוטסות, באטמוספירה ובחלל, כגון: מטוסים ומסוקים, כלי טייס בלתי מאוישים, טילים ומערכות לשיגור טילים, אמצעי הנעה סילוניים ורקטיים, מערכות נשק מוטסות ולוויינים, וכן בפיתוח התשתית של מדעי התעופה והחלל כחלק ממדעי ההנדסה. הודות לבוגרי הפקולטה, ישראל היא כיום מעצמה בקנה מידה עולמי בתחום כלי הטייס הבלתי-מאוישים (היא היצואן מס' 1 בעולם של מערכות אלו, לפני ארה"ב ומעצמות אחרות), והיא נמנית על מועדון מצומצם של מדינות המפתחות, בונות, ומשגרות לוויינים עבור מגוון רחב של יישומים, מלווייני ביון ועד לווייני תקשורת. המערכות הטייליות המפותחות במדינה, הכוללות את מערכות הטיילים נגד טילים "חץ", "כיפת ברזל", ו-"שרביט קסמים", כמו גם טילי אויר-אויר מהמתקדמים בסוגם, הפכו לשם דבר בעולם, והתעשייה האווירית מפתחת ובונה את מטוסי המנהלים הטובים בעולם בקטגוריה שלהם. הישגים מופלאים אלו ורבים נוספים לא היו אפשריים לולא אותה החלטה אמיצה של בן גוריון ובני דורו על הקמת הפקולטה (אז – מחלקה) להנדסה אוירונטית.

מסגרת הפעילויות הרחבה והמגוונת באוויר-חלל מאפשרת למהנדס לבחור תחום שבו יינתן ביטוי לנטיותיו האישיות. כיום חלק ממהנדסי האוירונטיקה והחלל עוסק בעבודות ניסוי במעבדות; אחרים מפתחים תוכנות מחשב לצרכים אוירונטיים; יש העוסקים בעבודה עיונית ומתמטית במדעי התעופה והחלל ויש המתכננים מערכות או מנהלים פרויקט באחד התחומים של הנדסת אוירונטיקה וחלל. חשוב לציין שהידע הרחב, שמקבל בוגר הפקולטה, כמו גם החינוך הייחודי והמערכתי מיסודו, מספקים לו את הכלים ואת היכולת להשתלב בתחומי מדע, טכנולוגיה והנדסה רבים – לא רק בהנדסת אוירונטיקה וחלל. השליטה בתחומי פעילות שונים ומגוונים מאפשרת לבוגר לעבוד גם בתחומים נוספים, ולפיכך מומלץ למי שרוצה להיות מהנדס טוב לבחור בפקולטה ללימודי התואר הראשון שלו – גם ללא קשר לעיסוק שלו בהמשך הקריירה.

לבוגרי המסלול אפשרויות תעסוקה שונות ומגוונות. חלקם מועסק ע"י גופים גדולים כגון התעשייה האווירית, על כל מפעליה, אלביט מערכות, רפאל ומערכת הביטחון (חיל האוויר, התעשייה הצבאית). רבים ממהנדסי האוירונטיקה והחלל בישראל מועסקים גם ע"י חברות עתירות ידע שונות, פרטיות וציבוריות, לפיתוח כלי טייס לאטמוספירה ולחלל ולפיתוח טכנולוגיות חדשות. ניתן למצוא חלק גדול מהבוגרים כמהנדסי מערכת בתעשיות שונות ובעמדות ניהול בכירות הדורשות הבנה והתמצאות רב-תחומית.

על מנת להכשיר מהנדסים שיעסקו במגוון המשימות וידעו להתמודד עם האתגרים שהמקצוע מציב בפניהם, תוכנית הלימודים של הפקולטה תוכננה כך שתקנה לסטודנטים רקע תיאורטי וניסויי רחב ככל האפשר, על מנת לאפשר להם להתפתח ולהתקדם וגם להיות מהנדסי מערכת המובילים פיתוחים של פרויקטים מורכבים ומנהלים בתעשיות האוויר-חלל. תכנית הלימודים מורכבת מרכישת ידע ומיומנויות במדעים הבסיסיים ובמדעי ההנדסה, וביסודות של כל תחומי האוירונטיקה והחלל: אווירודינמיקה; מבנים; הנעה; בקרה; ניווט והנחה; הנדסת חלל, ותכן וייצור של כלי טייס. בסמסטרים האחרונים ללימודים מועמק הידע בתחומים שונים לפי בחירת הסטודנט ומוקנה ידע במקצועות מערכתיים כלליים. בשנת הלימודים האחרונה הסטודנטים מבצעים, לפי בחירתם, פרויקט בו מפותחת מערכת מורכבת מתחומי האוירונטיקה או החלל (מטוס, טיל, לוויין וכדומה). מדי שנה משתתפת הפקולטה בתחרות בינלאומית עם אחד מן הפרויקטים האלו – בדרך כלל מטוס זעיר ללא טייס (מזל"ט) אוטונומי המבצע משימות מוכתבות – ומשיגה בתחרות זאת תוצאות מכובדות.

תכנית הלימודים של הפקולטה הינה ארבע-שנתית ומובילה לתואר "מוסמך למדעים בהנדסת אוירונטיקה וחלל". למעוניינים בהעמקת הידע, בעקר המדעי, הפקולטה מאפשרת ומעודדת לימודים לתואר שני (מגיסטר), עם וללא תזה, ולתואר דוקטור.

## תיאור היחידה

הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל בטכניון פתחה את שעריה בשנת 1954, לאחר שראש הממשלה הראשון של המדינה, מר דוד בן-גוריון, הבין שלא תיתכן עליונות אווירית ישראלית בסביבה העוינת בה הוקמה המדינה ללא עליונות מדעית וטכנולוגית, ושעליונות כזאת לא ניתנת לרכישה מן המדף, אלא יש לפתחה ולחזקה "בבית" פנימה. גם כיום, למעלה מ-60 שנה לאחר היווסדה, זאת הפקולטה היחידה להנדסת אוירונטיקה וחלל במדינה, והיא נושאת באחריות הכבדה של חינוך דורות של מהנדסי אוירונטיקה וחלל המשולבים בכל דרגי ההנדסה והפיתוח בתעשיות האוויר-חלל בישראל.

הפקולטה התרחבה והתפתחה במהירות, במקביל להתפתחותן של התעשיות האוירונטיות והתעשיות עתירות הידע בישראל. התרחבות הפקולטה, בהוראה ובמחקר, הוצאה משמעותית לאחר מלחמת ששת הימים בעקבות ההרחבה הניכרת בהיקף הפעילות בהנדסה אוירונטית בפתוח ובייצור מערכות מוטסות בתעשייה האווירית, ברפאל ובתעשיות הביטחוניות, ועם תחילת עידן הפיתוח והייצור של מטוסים כחול-לבן בתעשייה האווירית, שהביאו להגדלת הביקוש למהנדסים אוירונטיים ולצורך בביצוע מחקרים ופיתוחי תשתית רבים.

## תוכנית הלימודים

על מנת להשלים את התואר יש לצבור 160 נקודות לפחות לפי הפרוט הבא:

|              |     |                        |
|--------------|-----|------------------------|
| 99.5         | נק' | מקצועות חובה           |
| 17 או 18     | נק' | מקצועות ברירה פקולטיים |
| 32.5 או 33.5 | נק' | מקצועות בחירה פקולטיים |
| 10           | נק' | מקצועות בחירה חופשית:  |
|              |     | 6 נק' העשרה            |
|              |     | 4 נק' בחירה חופשית     |

ה' - הרצאה, ת' - תרגיל, מ' - מעבדה, נק' - נקודות

### מקצועות החובה – השינוי המומלץ לפי סמסטרים

| ה' | ת' | מ' | נק'  | סמסטר 1                       |
|----|----|----|------|-------------------------------|
| 4  | 2  | -  | 5.0  | 104018 חדו"א 1מ'              |
| 4  | 2  | -  | 4.5  | 104019 אלגברה לינארית מ       |
| 2  | 1  | -  | 2.5  | 114051 פיסיקה 1               |
| 2  | 2  | 2  | 4.0  | 234128 מבוא למחשב-שפת פייתון  |
| 2  | 2  | -  | 3.0  | 125001 כימיה כללית            |
| 4  | -  | -  | 3.0  | 324033 אנגלית טכנית-מתקדמים ב |
| 18 | 9  | 2  | 22.0 |                               |

| ה' | ת' | מ' | נק'  | סמסטר 2                          |
|----|----|----|------|----------------------------------|
| 4  | 2  | -  | 5.0  | 104022 חדו"א 2מ'                 |
| 2  | 1  | -  | 2.5  | 104131 משוואות דיפ. רגילות ח'    |
| 3  | 1  | -  | 3.5  | 114052 פיסיקה 2                  |
| 3  | 2  | -  | 4.0  | 084506 מכניקת המוצקים            |
| 2  | 1  | -  | 2.5  | 314200 מבוא להנדסת חומרים לתעופה |
| -  | 2  | -  | 1.0  | 394800 חינוך גופני               |
| 16 | 9  | -  | 18.5 |                                  |

| ה' | ת' | מ' | נק'  | סמסטר 3                               |
|----|----|----|------|---------------------------------------|
| 2  | 1  | -  | 2.5  | 104215 פונקציות מרוכבות א'            |
| 2  | 2  | -  | 3.0  | 104228 משוואות דיפרנציאליות חלקיות מ' |
| 3  | 2  | -  | 4.0  | 084213 תרמודינמיקה                    |
| 3  | 2  | -  | 4.0  | 084225 דינמיקה מ'                     |
| 3  | 2  | -  | 4.0  | 094411 הסתברות ת'                     |
| -  | 2  | -  | 1.0  | 394801 חינוך גופני                    |
| 13 | 11 | -  | 18.5 |                                       |

| ה' | ת' | מ' | נק'  | סמסטר 4                       |
|----|----|----|------|-------------------------------|
| 2  | 1  | -  | 2.5  | 084135 אנליזה נומרית מ'       |
| 3  | 1  | -  | 3.5  | 084311 אורודינמיקה בלתי דחיסה |
| 2  | 1  | -  | 2.5  | 084515 מבוא לתורת האלסטיות    |
| 2  | 4  | -  | 4.0  | 084630 שרטוט הנדסי ממוחשב     |
| 2  | 1  | 1  | 3.0  | 084737 מערכות דינמיות         |
| 3  | 1  | -  | 3.5  | 114054 פיסיקה 3               |
| 14 | 9  | 1  | 19.0 |                               |

סטודנטים מצטיינים יכולים להיכלל בתוכנית לימודים מיוחדת אשר במסגרתה יוכלו לסיים תואר שני ללא תזה בחמש שנות לימוד. כמו כן פתחה הפקולטה לאחרונה תכנית מיוחדת הקרויה "גבהים" עבור סטודנטים מעולים בלימודי הסמכה. התכנית מיועדת לטפח את מצטייני הפקולטה ולקדם אותם לקראת מחקר כבר במהלך לימודי התואר הראשון. פרטים על תכנית זאת מצויים באתר האינטרנט של הפקולטה.

### לימודים לקראת תואר ראשון נוסף הכולל תעודת הוראה

במקביל ללימודים לקראת תואר ראשון בפקולטה, קיימת אפשרות ללימודי תואר ראשון נוסף (הכולל תעודת הוראה) בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה. לימודי התואר הראשון הנוסף הם באחת משמונה מגמות ההתמחות הבאות: הוראת מתמטיקה, הוראת פיסיקה, הוראת כימיה, הוראת ביולוגיה, הוראת מדעי המחשב, הוראת מדעי הסביבה, הוראת טכנולוגיה-מכונות, הוראת אלקטרוניקה-חשמל.

משרד החינוך מעניק למקבלי תואר זה רישיון הוראה בבתי ספר על יסודיים בתחום ההתמחות. הלימודים בהיקף של לפחות 36 נקודות. על לימודים אלה חלות כל התקנות הטכניוניות לגבי תואר ראשון נוסף. פרטים בפרק "הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה".



**מקצועות בחירה**

יש לבחור 24 נק' לפחות בשלושה מתוך שבעת האשכולות המפורטים בהמשך, 8 נק' לפחות בכל אשכול. את שאר הנקודות הנדרשות ניתן לבחור הן מתוך כלל מקצועות הבחירה של הפקולטה והן מתוך רשימת מקצועות הבחירה של פקולטות אחרות המפורטת באתר הפקולטה. היקף מקצועות הבחירה מפקולטות אחרות לא יעלה על 6 נק'. מקצוע שנלקח כמקצוע ליבה אינו יכול להיחשב כמקצוע בחירה. רשימת מקצועות הבחירה עשויה להתעדכן. יש לשים לב לפרסומים באתר הפקולטה ובמזכירות.

**מקצועות אשכול אוירודינמיקה ואירואקוסטיקה**

| נק' | מ' | ת' | ה' | תיאור                             | קוד    |
|-----|----|----|----|-----------------------------------|--------|
| 1.0 | -  | 2  | -  | סדנא לאוירודינמיקה חישובית        | 085326 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | שיטות נומריות בהנדסת אויר         | 086172 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | מעבר חום בהנדסת אויר-חלל          | 086320 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | נושאים נבחרים בתורת הזרימה 1      | 086321 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | מבוא לזרימה טורבולנטית            | 086366 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | אוירודינמיקה חישובית              | 086376 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | מבוא לשכבות גבול                  | 086380 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | מבוא לזרימת גזים קלושים           | 086385 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | אוירודינמיקה של גופים וכנפיים     | 086389 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | אירואקוסטיקה של כלי טייס          | 086395 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | מבוא לאירואקוסטיקה                | 086390 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | שיטות מדידה מתקדמות בזרימה והנעה  | 086484 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | יסודות הזרימה השגיא קולית         | 086800 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | שיטות בדמיות והערכה               | 086802 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | אוויר-והידרו-דינמיקה של הנעה בטבע | 088320 |
| 3.0 | -  | -  | 3  | יציבות של שכבות גבול              | 088780 |

**מקצועות אשכול אוירונאוטיקה**

|     |   |   |   |                                   |        |
|-----|---|---|---|-----------------------------------|--------|
| 2.5 | - | 1 | 2 | מכניקת הטייס 1                    | 084220 |
| 2.5 | - | 1 | 2 | מכניקת הטייס 2                    | 084221 |
| 3.0 | - | - | 3 | אווירואלסטיות 1                   | 086241 |
| 3.0 | - | - | 3 | בליסטיקה חיצונית ודינמיקת קליעים  | 086201 |
| 3.0 | - | - | 3 | דינמיקה ואוירודינמיקה של מסוקים   | 086219 |
| 3.0 | - | 1 | 2 | דינמיקה ובקרה אוטומטית של כלי טיס | 086755 |

**מקצועות אשכול אסטרונוטיקה**

|     |   |   |   |                            |        |
|-----|---|---|---|----------------------------|--------|
| 2.5 | - | 1 | 2 | יסודות הנדסת חלל           | 084913 |
| 3.0 | - | - | 3 | מבוא לתכן מכני של לוויין   | 085691 |
| 3.5 | - | 1 | 3 | מכניקת גופים בחלל          | 085915 |
| 2.5 | - | 1 | 2 | הנעה חשמלית לחלל           | 085920 |
| 3.0 | - | - | 3 | לויני תקשורת               | 086288 |
| 3.0 | - | - | 3 | בקרת מסלולי לוויינים       | 086290 |
| 3.0 | - | - | 3 | הנעה חשמלית בחלל           | 086920 |
| 3.0 | - | - | 3 | מבוא לזרימת גזים קלושים    | 086385 |
| 3.0 | - | - | 3 | נושאים נבחרים בהנדסת חלל 1 | 086921 |
| 3.0 | - | - | 3 | אסטרודינמיקה               | 086923 |
| 3.0 | - | - | 3 | יסודות הנדסת פלסמה         | 086924 |
| 3.0 | - | - | 3 | חישה של כדה"א מהחלל        | 086925 |

**מקצועות אשכול הנחיה, ניווט, בקרה, ומערכות אוטונומיות**

|     |   |   |   |                                   |        |
|-----|---|---|---|-----------------------------------|--------|
| 3.0 | - | - | 3 | מערכות מדידים ביישומי אויר-חלל    | 085735 |
| 3.0 | - | - | 3 | מערכות בקרה ספרתית                | 086220 |
| 3.0 | - | - | 3 | בקרת מערכות רבות קלט פלט          | 086289 |
| 3.0 | - | - | 3 | בקרת מסלולי לוויינים              | 086290 |
| 3.0 | - | - | 3 | בקרה לא ליניארית                  | 086312 |
| 3.0 | - | - | 3 | נושאים נבחרים בבקרה תעופתית 1     | 086721 |
| 3.0 | - | - | 3 | מערכות דינמיות מרושתות            | 086730 |
| 3.0 | - | - | 3 | תהליכים אקראיים                   | 086733 |
| 3.0 | - | 1 | 2 | דינמיקה ובקרה אוטומטית של כלי טיס | 086755 |

| נק' | מ' | ת' | ה' | תיאור   | קוד    |
|-----|----|----|----|---|--------|
| -   | -  | -  | -  | קורס בטיחות במעבדות חשמל (*)  | 044102 |
| 2.5 | -  | 1  | 2  | זרימה דחיסה, כונסים ונחירים   | 084312 |
| 3.5 | -  | 1  | 3  | זרימה צמיגה ומעבר חום   | 084314 |
| 3.5 | -  | 1  | 3  | תכן וייצור תעופתי   | 084641 |
| 3.0 | 1  | 1  | 2  | תורת הבקרה  | 084738 |
| 2.5 | 3  | 1  | 1  | שיטות ניסוי בהנדסת אויר-חלל   | 084154 |
| 2.5 | -  | 1  | 2  | (מקצועות ברירה - ליבה אוירונאוטיקה או אסטרונוטיקה (2.5 נק', ראו פרוט בהמשך) | **     |

17.5 4 5 13

**\* 4 שעות הרצאה, חד-פעמי. חובה לפני ביצוע המעבדות בקורס מבוא להנדסת חשמל לתעופה וחלל. ללא זיכוי בנקודות.**

| נק'    | מ' | ת' | ה' | תיאור   | קוד    |
|--------|----|----|----|---|--------|
| 4.0    | 1  | 1  | 3  | מבוא להנדסת חשמל לתעופה וחלל  | 044098 |
| 2.5    | -  | 1  | 2  | הנדסת מערכות אויר-חלל   | 084143 |
| 2.5    | 6  | -  | -  | שיטות ניסוי מתקדמות   | ***    |
| 6 או 5 | -  | -  | -  | מקצועות ברירה מתוך ליבות אוירונאוטיקה או אסטרונוטיקה (ראו פרוט בהמשך) | **     |

| נק' | מ' | ת' | ה' | תיאור        | קוד  |
|-----|----|----|----|--------------|------|
| 3.0 | -  | 1  | 2  | פרויקט תכן 7 | **** |
| 1.0 | -  | 2  | -  | סמינריון     | **** |

**סמסטר 8**

|     |   |   |   |              |      |
|-----|---|---|---|--------------|------|
| 3.0 | - | 1 | 2 | פרויקט תכן 8 | **** |
|-----|---|---|---|--------------|------|

**מקצועות ברירה**

\*\* חובה לבחור אחת מבין שתי קבוצות מקצועות הליבה הבאות:

**מקצועות ליבה אוירונאוטיקה:**

|     |   |   |   |  |        |
|-----|---|---|---|--|--------|
| 2.5 | - | 1 | 2 | מכניקת הטייס 1 (סמסטר 5)                   | 084220 |
| 2.5 | - | 1 | 2 | מכניקת הטייס 2 (סמסטר 6)                   | 084221 |
| 2.5 | - | 1 | 2 | הנעה רקטית או 085407 מנועי סילון (סמסטר 6) | 085406 |

**מקצועות ליבה אסטרונוטיקה:**

|     |   |   |   |   |        |
|-----|---|---|---|---|--------|
| 2.5 | - | 1 | 2 | יסודות הנדסת חלל (סמסטר 5)                      | 084913 |
| 3.5 | - | 1 | 3 | מכניקת גופים בחלל (סמסטר 6)                     | 085915 |
| 2.5 | - | 1 | 2 | הנעה רקטית או 085920 הנעה חשמלית לחלל (סמסטר 6) | 085406 |

יש לבחור קורס אחד בשיטות ניסוי מתקדמות מבין: 084156 שיטות ניסוי מתקדמות, 085305 מעבדה בזרימה, 085405 מעבדה בהנעה, 085455 מעבדה במנועי סילון וטורבינות, 085505 מעבדה במבנים, 085705 מעבדה בבקרה, 085220 מעבדה במכניקת הטיס, 085905 מעבדה במערכות חלל ולווינות, 085156 פרויקט ניסוי. מומלץ כי הבחירה תעשה בהתאם לבחירת האשכולות.

\*\*\*\* **פרויקט תכן 7 ו-8** מרכיבים את פרויקט הסיום השנתי. הם יבחרו כצמד מבין: 084651 – 084670

\*\*\*\* יש לבחור **סמינריון** אחד בלבד מבין: 085801 סמינריון בנושא זרימה, 085802 סמינריון בנושא מבנים, 085803 סמינריון בנושא הנעה, 085804 סמינריון בנושא בקרה, 085805 סמינריון בנושא חלל, 085806 סמינריון בנושא תכן. מומלץ כי הבחירה תעשה בהתאם לבחירת האשכולות.

**מידע נוסף:**  
 מזכירות לימודי הסמכה בפקולטה טל': 04-8292758  
 ae.ugsec@technion.ac.il  
 אתר האינטרנט של הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל:  
<http://aerospace.technion.ac.il>

|     |   |   |   |                                   |        |
|-----|---|---|---|-----------------------------------|--------|
| 3.0 | - | - | 3 | מערכות ניווט                      | 086759 |
| 3.0 | - | - | 3 | עקרונות הנחיה וביות               | 086760 |
| 3.0 | - | - | 3 | ניווט נעזר ראייה ממוחשבת          | 086761 |
| 3.0 | - | - | 3 | ניווט וחישה עולם אוטונומיים       | 086762 |
| 3.0 | - | - | 3 | תורת השערוך                       | 086777 |
| 3.0 | - | - | 3 | הנעה חשמלית בחלל                  | 086920 |
| 3.0 | - | - | 3 | 1 בקרה אופטימלית במערכות תעופתיות | 088751 |
| 3.0 | - | - | 3 | 2 בקרה אופטימלית במערכות תעופתיות | 088752 |
| 3.0 | - | - | 3 | נושאים מתקדמים בהנחיית טילים      | 088759 |
| 3.0 | - | - | 3 | בקרה איתנה                        | 088792 |
| 3.0 | 1 | - | 3 | מערכות חלל מבוזרות                | 088900 |

**מקצועות אשכול הנעה והמרת אנרגיה**

| נק'   | מ' | ת' | ה' |                                    |        |
|---|----|----|----|------------------------------------|--------|
| 2.5   | -  | 1  | 2  | הנעה רקטית                         | 085406 |
| 2.5   | -  | 1  | 2  | מנועי סילון                        | 085407 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | מערכות הנעת כלי טיס                | 086401 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | הנעה רקטית בהודף מוצק              | 086403 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | מנועי מגח סילון                    | 086414 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | נושאים נבחרים באמצעי הנעה 1        | 086461 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | מבוא לשריפה על קולית               | 086470 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | תהליכי שריפה                       | 086478 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | טורבו מכונות                       | 086480 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | זרימה מעבר חום וביצועי מנועי סילון | 086483 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | שיטות מדידה מתקדמות בזרימה         | 086484 |
| 3.0   | -  | -  | 3  | דינמיקה ושריפה של תרסיסי דלק       | 088413 |
| לבוחרים אשכול זה מומלץ ללמוד את הקורסים הנעה רקטית 085406 ומנועי סילון 085407 |    |    |    |                                    |        |

**מקצועות אשכול מכניקת מבנים וחומרים**

|     |   |   |   |   |        |
|-----|---|---|---|---|--------|
| 2.0 | - | - | 2 | התנהגות לא אלסטית של מוצקים                     | 085550 |
| 3.0 | - | - | 3 | אוורואלסטיות 1                                  | 086241 |
| 3.0 | - | - | 3 | בעיות מצומדות בחומרים פונקציונליים לא ליניאריים | 086520 |
| 3.0 | - | - | 3 | נושאים נבחרים במבנים אויר-חלל 1                 | 086521 |
| 3.0 | - | - | 3 | מבוא לניטור בריאות מבנים                        | 086534 |
| 3.0 | - | - | 3 | מכניקת השבר במבנים תעופתיים                     | 086535 |
| 3.0 | - | - | 3 | אלמנטים סופיים בהנדסה אוירונטית                 | 086574 |
| 3.0 | - | - | 3 | דינמיקת מבנים                                   | 086577 |
| 3.0 | - | - | 3 | תכן מבנה מטוסים                                 | 086583 |
| 3.0 | - | - | 3 | מבוא למערכות מבנים נבונים                       | 086901 |
| 3.0 | - | - | 3 | תורת היציבות של מבנים                           | 087532 |
| 3.0 | - | - | 3 | בעיות שפה והתחלה בשיטת אלמנט סופי               | 088504 |

**מקצועות אשכול תכן והנדסת מערכות**

|     |   |   |   |                                |        |
|-----|---|---|---|--------------------------------|--------|
| 2.0 | - | - | 2 | חקר כשל בתעופה                 | 085530 |
| 2.0 | - | 4 | - | פרויקט תכן מכני                | 085634 |
| 2.0 | - | - | 2 | תמיכה כוללת במוצר אויר-חלל     | 085640 |
| 3.0 | - | - | - | פרויקט בייצור ואחזקת כלי טיס 1 | 085677 |
| 3.0 | - | - | - | פרויקט בייצור ואחזקת כלי טיס 2 | 085678 |
| 3.0 | - | - | 3 | מבוא לתכן מכני של לוויין       | 085691 |
| 3.0 | - | - | 3 | תכן ראשוני של מטוסים           | 085695 |
| 3.0 | - | - | 3 | נושאים נבחרים בהנדסת מערכות    | 086233 |
| 2.0 | - | - | 2 | תכן מערכות סרוו                | 086650 |
| 2.0 | - | - | 2 | תכן מערכות מכ"ם                | 086651 |

**מקצועות בחירה נוספים**

|     |   |   |   |               |        |
|-----|---|---|---|---------------|--------|
| 2.5 | 3 | - | 2 | פרויקט ניסוי  | 085156 |
| 3.0 | - | - | - | פרויקט מחקר 1 | 085851 |
| 3.0 | - | - | - | פרויקט מחקר 2 | 085852 |

**מקצועות בחירה חופשית בלבד**

|     |   |   |   |                 |          |
|-----|---|---|---|-----------------|----------|
| 1.5 | - | 2 | - | תעופה ספורטיבית | 085101-4 |
|-----|---|---|---|-----------------|----------|

## לימודים לתארים מתקדמים

הפקולטה להנדסת אירונותיקה וחלל מציעה מגוון רחב של אפשרויות להשתלמות לתואר שני ולתואר שלישי. מועמדים בוגרי הפקולטה וכן בוגרים של פקולטות ומחלקות הנדסיות או מדעיות שונות (כגון: הנדסת חשמל, הנדסת מכונות, פיסיקה, כימיה ועוד) מוזמנים להגיש מועמדותם.

### במסגרת ההשתלמות ניתן להתמחות בשטחים הבאים:

#### אירודינמיקה ומכניקת הזורמים

אירודינמיקה של גופים, מכניקת זורמים, בליסטיקה, מעבר חום ומסה, שיטות מספריות בזרימה, אירואקוסטיקה, דינמיקת גזים קלושים.

#### מבנה ומכניקת המוצקים

מכניקת המוצק, יציבות וקריסה, אלמנטים סופיים, מבנים וחומרים מרוכבים, עמידות וכשל, מבנים נבונים, חומרים ביולוגיים, אקטיביים, bio-inspired and meta-materials, הדפסה תלת ממדית.

#### הנחייה, ניווט ובקרה

הנחיית טילים, ניווט (כולל ניווט נסמך ראייה ממוחשבת ואוטונומית), בקרת תעופה, שיערוך מצב ופרמטרים, זיהוי מערכות, גילוי וזיהוי תקלות, בקרה במערכות מרושתות, מערכות אדם-מכונה.

#### הנעה ושריפה

הנעה סילונית, הנעה רקטית בהודף מוצק, גיל והיברידי שריפה, הנעה במנועי מגח סילון, תהליכי שריפה, אנרגיה ומעבר חום, הנעה חשמלית בחלל.

**נושאים בין תחומיים** כמו אירואלסטיות, מסוקים, בקרת מבנים, תיאוריות ומתודולוגיות תכן, מערכות כלי טיס וחלל. מפעילי פלסמה.

בכל השטחים קיימת אפשרות למחקר בשיטות אנליטיות, ניסוייות או חישוביות. לפקולטה מעבדות מתקדמות בכל השטחים הנ"ל וכן חוות מחשבים מצוידות היטב. למשתלמים לתארים גבוהים יש גם אפשרות לנצל את מערך המחשבים המתקדם של הטכניון.

**בעת מילוי טופסי הרישום על המועמד לציין את השטח בו הוא מעוניין לבצע את התמחותו.** מומלץ כי בעת הרישום יציע המועמד מנחה מסגל הפקולטה בשטח ההתמחות שבחר. אם המועמד לא יבחר מנחה, או אם המנחה המיועד לא יוכל להנחות את המועמד, תמנה לו הוועדה לתארים מתקדמים בפקולטה מנחה מתאים. בכל מקרה, המנחה ימונה כמנחה ארעי ועם אישור נושא המחקר, הפרויקט או עבודת הגמר, ימונה המנחה הקבוע.

## לימודים לתואר מגיסטר

מטרת הלימודים לתואר מגיסטר היא להרחיב את ידיעותיו של הסטודנט בשטח האירונותיקה והחלל לדרגה גבוהה מזו שרכש בלימודי הסמכה ולאמנו בשיטות מחקר. מטרה זו מושגת על ידי לימוד מקצועות ברמת תארים מתקדמים, השתתפות בסמינרים מקצועיים ועבודת מחקר, פרויקט באחד משטחי ההתמחות או עבודת גמר. בנתיב מגיסטר "ללא תזה", שיפורט להלן, לא נדרשת כתיבת תזה אולם יש ללמוד מספר גדול יותר של מקצועות. הקורסים המוצעים נבחרו כך שהמשתלם יוכל להרחיב את אופקו המקצועיים, והם כוללים גם התפתחויות מדעיות ומקצועיות עדכניות, כך שהמשתלם יוכל להגיע לחזית הידע בשטח התמחותו.

במסגרת הלימודים לתואר מגיסטר ניתן לבחור באחד הנתיבים הבאים:

### "מגיסטר למדעים בהנדסת אירונותיקה וחלל"

למשתלמים שקיבלו תואר ראשון בהנדסת אירונותיקה וחלל או עברו השלמות מתאימות.

### "מגיסטר למדעים"

למשתלמים אשר התואר הראשון שלהם אינו בהנדסת אירונותיקה וחלל, ואינם נדרשים להשלים את החסר לתואר הראשון.

### "מגיסטר להנדסה בהנדסת אירונותיקה וחלל"

(ללא כתיבת תזה)

למשתלמים בוגרי הנדסת אירונותיקה וחלל המעוניינים בהעמקת הידע בשטחי התמחותם על ידי לימוד מספר גדול יותר של מקצועות. בנתיב זה מומלצת השתלמות בשטח ראשי מבין השטחים הפקולטיים. הסטודנטים הרשומים לתכנית ה-5 שנתית יקבלו תואר זה. במקרים מיוחדים ניתן יהיה לפנות לוועדת תארים מתקדמים בבקשה מנומקת למעבר מנתיב זה לנתיב השתלמות עם תזה. (ראה תקנה 21 של ביה"ס לתארים מתקדמים).

### "מגיסטר להנדסה"

(ללא כתיבת תזה)

למשתלמים אשר התואר הראשון שלהם אינו בהנדסת אירונותיקה וחלל, ואינם נדרשים להשלים את החסר לתואר הראשון.

בנתיב זה מומלצת השתלמות בשטח ראשי מבין השטחים הפקולטיים. הסטודנטים הרשומים לתכנית ה-5 שנתית יקבלו תואר זה. במקרים מיוחדים ניתן יהיה לפנות לוועדת תארים מתקדמים בבקשה מנומקת למעבר מנתיב זה לנתיב השתלמות עם תזה. (ראה תקנה 21 של ביה"ס לתארים מתקדמים).

### תנאי הקבלה

על המועמדים ללימודים לקראת התואר מגיסטר, לעמוד בתנאי הקבלה של בית הספר לתארים מתקדמים. מועמדים בני"ל לתארי מגיסטר יידרשו לעמוד בבחינת GRE בציונים שיקבעו ע"י הפקולטה, ולמצוא מנחה להשתלמות, טרם קבלתם. מועמדים בנתיב "מגיסטר למדעים בהנדסת אירונותיקה וחלל", או בנתיב "מגיסטר למדעים", נדרש ממוצע של 83 ומעלה בלימודי הסמכה, או רמה דומה בתואר הראשון במוסד אחר. בוגר שלא הגיע להישגים אלה בלימודי ההסמכה יכול להגיש בקשה לקבלה לאחר שלוש שנות עבודה מקצועית, ובקשתו תישקל לאור המלצות על כישוריו והישגיו המקצועיים.

על מועמד המבקש להתקבל ללימודים לתואר מגיסטר להנדסה ללא תזה, לעמוד בתנאי הקבלה של בית הספר לתארים מתקדמים.

בכל מקרה, הוועדה לתארים מתקדמים בפקולטה שומרת לעצמה את הזכות להתייחס גם לדירוג של המועמד ולזמנו לראיון אישי.

ניתן להכיר במקצועות שנלמדו במסגרת היחידה ללימודי המשך ולימודי חוץ, או באוניברסיטאות אחרות, בהמלצת הוועדה הפקולטית לתארים מתקדמים ובאישור ביה"ס לתארים מתקדמים. (ראה תקנה 23 של ביה"ס לתארים מתקדמים).

### דרישות הלימוד

על המשתלם ללמוד מקצועות בהיקף הנדרש: 40 נקודות בנתיב ללא תזה (כולל פרויקט גמר בהיקף של 6 נקודות), 28 נקודות בנתיב עבודת גמר ו-20 נקודות בנתיב מחקר או פרויקט. כמו כן יש לבצע מחקר או פרויקט בהיקף מתאים: 12 נקודות בנתיב עבודת הגמר ו-20 נקודות בנתיבים האחרים (מספרים אלה אינם כוללים נקודות השלמה).

**דרישת הפקולטה ממשתלם פנימי (המקבל מלגה), היא להגיש הצעת מחקר יחד עם מנחה קבוע תוך 3 חודשים מתחילת השתלמותו.**

**עבודת גמר**

ראה תקנה 28 של ביה"ס לתארים מתקדמים.  
**החיבור ובחינת הגמר**  
 ראה תקנה 29 של ביה"ס לתארים מתקדמים.

**לימודים לתואר דוקטור**  
**תנאי הקבלה**

יתקבלו להשתלמות לתואר "דוקטור לפילוסופיה" מועמדים שסיימו את לימודי המגיסטר (בפקולטות הנדסיות/מדעיות) בציונים גבוהים ומעוניינים בפיתוח יכולתם המחקרית. מהמועמדים ידרשו שלושה מכתבי המלצה מתאימים. משתלמים לתואר דוקטור יכולים להתקבל גם במסלול הישיר (סעיפים 24.07, 32.06) וגם במסלול המיוחד (סעיף 32.05). תנאי הקבלה למסלול המיוחד לתואר דוקטור בפקולטה הם ממוצע מצטבר של 90 לפחות (בלימודי הסמכה) או היות הסטודנט מצטיין נשיא בארבעת הסמסטרים האחרונים, וכן עדות ליכולת מחקרית.

על המועמד לעמוד בדרישות בית הספר לתארים מתקדמים. מועמדים העומדים בדרישות אלה ירואיינו על ידי הוועדה הפקולטית לתארים מתקדמים, אשר תעביר את המלצתה לביה"ס לתארים מתקדמים.

**הליך ההרשמה:** ראה תקנה 32.09 של ביה"ס לתארים מתקדמים.

**דרישות הלימוד ודרישות כלליות**

מטרת עבודת הדוקטור היא אימון המשתלם בביצוע מחקר מדעי באופן עצמאי. עבודת הדוקטור צריכה לקדם במידה משמעותית את הידע וההבנה בתחום הנחקר ולהיות מתאימה לפרסום בכתב-עת מדעי בעל מוניטין בין-לאומי. רוב זמנו של המשתלם לתואר דוקטור מוקדש לעבודת המחקר. יחד עם זאת מצפים מהמשתלם להשתתף בסמינרים מקצועיים, ללמוד קורסים מתקדמים ולהרחיב את ידיעותיו המקצועיות הן בלימוד עצמי והן בלימוד מקצועות ברמת תארים מתקדמים. משתלם לתואר דוקטור יחויב בדרך כלל בלימוד פורמאלי של מקצועות בהיקף של 9 נקודות לפחות (ראה תקנות 33-37 לתקנות ביה"ס לתארים מתקדמים).

**מידע נוסף**

מזכירות תארים מתקדמים בפקולטה, טל. 04-8293365

[grad@ae.technion.ac.il](mailto:grad@ae.technion.ac.il)

אתר האינטרנט של הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל:

<http://aerospace.technion.ac.il>

**נתיב מחקר:** היקף התואר 40 נק' מתוכן היקף העבודה 20 נק' והיקף המקצועות 20 נק'.

**נתיב פרויקט:** היקף התואר 40 נק' מתוכן היקף הפרויקט 20 נק' והיקף המקצועות 20 נק'.

**נתיב עבודת גמר:** היקף התואר 40 נק' מתוכן היקף העבודה 12 נק' והיקף המקצועות 28 נק'.

**ללא תזה:** היקף התואר 40 נק' מתוכן היקף פרויקט הסיום 6 נק' והיקף המקצועות 34 נק'.

**מעבר ממסלול מגיסטר להנדסה למסלול מגיסטר למדעים:** על המשתלם לצבור 12 נק' בממוצע 85 לפחות, וכן למצוא מנחה לתזה.

**מעבר למסלול ישיר לדוקטורט:** על המשתלם לעמוד בדרישות הקבלה הפקולטיות ובתנאי ביה"ס לתארים מתקדמים המפורטים בתקנה 24.07 של ביה"ס לתארים מתקדמים.

**דרישות השלמה לבוגרי פקולטות אחרות:**

סטודנט בעל תואר ראשון מפקולטה להנדסה השונה מהנדסת אוירונטיקה וחלל, המעוניין לקבל תואר "מגיסטר למדעים בהנדסת אוירונטיקה וחלל" יחויב להשלים 20.5 נקודות לפי הפרוט הבא:

|        |                         |            |
|--------|-------------------------|------------|
| 084311 | אויורדינמיקה בלתי דחיסה | 3.5 נקודות |
| 084312 | זרימה דחיסה             | 2.5 נקודות |
| 084515 | מבוא לתורת האלסטיות     | 3.5 נקודות |
| 084738 | תורת הבקרה              | 3.0 נקודות |
| 084220 | מכניקת הטיס 1           | 2.5 נקודות |
| 084221 | מכניקת הטיס 2           | 2.5 נקודות |

**אחד משני המקצועות הבאים:**

|        |             |            |
|--------|-------------|------------|
| 085407 | מנועי סילון | 3.0 נקודות |
| 085406 | הנעה רקטית  | 3.0 נקודות |

הסטודנט יוכל לקבל פטור ממקצועות בהם יוכיח ידע. סטודנט כזה המעוניין לקבל תואר "מגיסטר למדעים" (ללא ציון שם הפקולטה) יחויב במקצועות השלמה על פי המלצת המנחה ובאישור הוועדה לתארים מתקדמים (ראה תקנה 22.02 של ביה"ס לתארים מתקדמים).

**דרישות השלמה לבוגרי תואר תלת שנתי:**

ועדת תארים מתקדמים תדון בכל מועמד ותחייב אותו בהשלמות (ראה תקנה 23.03 לתקנות ביה"ס לתארים מתקדמים).

**דרישות השלמה במסלול ללא תזה:**

משתלמים אשר אינם בוגרי הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל יידרשו בהשלמות ע"פ המלצת הוועדה לתארים מתקדמים.

**המחקר או הפרויקט**

(להוציא בנתיב המוביל לתואר "מגיסטר להנדסה בהנדסת אוירונטיקה וחלל")

מטרת המחקר לקראת התואר מגיסטר (בהיקף 20 נקודות) היא להקנות למשתלם שיטות מתקדמות של מחקר ופיתוח. מטרת הפרויקט (בהיקף 20 נקודות) היא לאמן את המשתלם בשיטות מתקדמות של תכן הנדסי. מטרת עבודת הגמר (בהיקף 12 נקודות) היא גיבוש הידע שנרכש בלימודי המגיסטר. המחקר או הפרויקט לקראת תואר המגיסטר יכול להתפתח בצורות שונות בהתאם לשטח התמחותו של המשתלם. הוא יכול להיות עיוני, חישובי, ניסויי או שילוב שלהם. הוא יכול לעסוק בנושא בסיסי או הנדסי מעשי. הוא יכול לעסוק בבעיה כללית או בבעיה הנדסית מסוימת (ראה תקנה 27 של ביה"ס לתארים מתקדמים).