

# הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל

## חברי הסגל האקדמי

<b>דיקן הפקולטה</b> רנד עמרי	<b>פרופסור אורח</b> הררי עובדיה
<b>פרופסור מחקר</b> ויס דניאל	<b>פרופסור חבר אורח</b> אריאלי רימון
<b>פרופסורים</b> אושמן יעקב בן-אשר יוסי גבעולי דן גלמן משה גני אלון גרינברג ג'רוולד ברי דורבן דוד טמבור יורם כהן יעקב לוי ישעיהו קרפל מרדכי רוזן אביב רנד עמרי	<b>עמית מחקר בכיר</b> קרול אהוד
<b>פרופסורים חברים</b> אברמוביץ חיים אידן משה גרונולד ארתור יוסילבסקי גיל נתן בני פרנקל יצחק	<b>מרצים בכירים</b> גורפיל פנחס רווה דניאלה שימא טל
	<b>פרופסורים אמריטי</b> ברוך מנחם וולפשטיין מיכה וולר תנחום זינגר יוסף כוגן אברהם לבאי אבינועם נסים אליהו שנער יוסף

בתחומי מדע, טכנולוגיה והנדסה רבים. השליטה בתחומי פעילות שונים מאפשרת לבוגר לעבוד כמהנדס מערכת, גם בתחומים שאינם מתמחים באוירונטיקה וחלל.

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

על מנת להכשיר מהנדסים שיעסקו במגוון המשימות וידע להתמודד עם האתגרים שהמקצוע מציב בפניהם, תוכנית הלימודים של הפקולטה תוכננה כך שתקנה לסטודנטים רקע תיאורטי ונסויי רחב ככל האפשר הכולל ידע כלכלי וניהולי, על מנת לאפשר להם להתפתח ולהתקדם וגם להיות, בשלב מסויים בקריירה שלהם, מהנדסי מערכת המובילים פיתוחים של פרויקטים מורכבים ומנהלים בתעשיות האויר-חלל. תוכנית הלימודים מורכבת מרכישת ידע ומיומנויות במדעים הבסיסיים ובמדעי ההנדסה, וביסודות של כל תחומי האוירונטיקה והחלל: אוירודינמיקה, מבני אויר-חלל, הנעה, בקרה, יסודות הנדסת חלל ותכן וייצור של כלי טייס. לקראת תום הלימודים קיימת אפשרות להעמקת הידע בתחומים נבחרים לפי בחירת הסטודנט ומוקנה ידע במקצועות מערכתיים כלליים. בשנה האחרונה ללימודים הסטודנטים מבצעים, לפי בחירתם, פרויקט בו מפותחת מערכת מורכבת מתחומי האוירונטיקה או החלל.

תוכנית הלימודים של הפקולטה הינה ארבע-שנתית ומובילה לתואר "מוסמך למדעים בהנדסת אוירונטיקה וחלל". למעוניינים בהעמקת הידע, בעקר המדעי, הפקולטה מאפשרת ומעודדת לימודים מתקדמים בכל הדיסציפלינות בתחומי האוירונטיקה והחלל לתואר שני (מגיסטר), עם וללא תיזה, ולתואר דוקטור. סטודנטים מצטיינים יכולים להיכלל בתוכנית לימודים מיוחדת אשר במסגרתה יוכלו לסיים תואר שני ללא תזה בחמש שנות לימוד.

## לימודי הסמכה

במהלך שלושת הסמסטרים הראשונים ללימודיו, מקבל הסטודנט המתחיל, בסיס רחב במדעים. בהמשך נלמדים היסודות של כל מקצועות האוירונטיקה והחלל: אוירודינמיקה, מבנה, הנעה סילונית ורקטית, בקרה ותכן וייצור, כאשר בשנת הלימודים האחרונה ניתנת האפשרות להעמקה באחד מתחומים אלה. בשנת לימודים זו, מוצע לסטודנטים מגוון רחב של מקצועות בחירה להכרת נושאים מתקדמים והתפתחויות חדישות במדעי התעופה והחלל. מקצועות אלה כוללים יישומי מחשב בהנדסת אוירונטיקה וחלל.

בשני הסמסטרים האחרונים ללימודיו מוטל על כל סטודנט ביצוע פרויקט אוירונטי או פרויקט חלל מקיף, כדי להוכיח שהוא מסוגל לממש את הידע שצבר בלימודיו. בחלק ניכר מהפרוייקטים מבוצעות בדיקות התכנות עם מודלים מוקטנים, אם זה במנהרת הרוח או הסטה של המודלים. חלק מהפרוייקטים אף זוכה לביצוע ממשי כגון: תיכון רקטה, בניית ושיגורה בשיתוף רפאל, ופרוייקט לוויין הטכניון (TECHSAT) בשיתוף התעשייה האווירית ואלביט-אלאופ.

לרשות הסטודנטים מעבדות הוראה המצוידות במירב הציוד החדיש בשטחי האוירודינמיקה, מבני מטוסים, הנעה ושריפה, יצור ואחזקה ובקרת כלי טייס. כמו-כן עומדים לרשות הסטודנטים משאבי מחשב משוכללים, המשמשים הן לתרגול מקצועות הנדסיים קלאסיים והן להוראת נושאים חדשים כגון: גרפיקה אינטראקטיבית ותכנון בעזרת מחשב.

## תאור היחידה

הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל בטכניון פתחה את שעריה בשנת 1954. הפקולטה התרחבה והתפתחה במהירות, במקביל להתפתחותם של התעשיות האוירונטיות ותעשיות עתירות הידע בישראל. התרחבות הפקולטה, בהוראה ובמחקר, הואצה משמעותית לאחר מלחמת ששת הימים בעקבות ההרחבה הנכרת בהקף הפעילויות בהנדסה אוירונטית בפתוח ובייצור מערכות מוטסות בתעשייה האווירית, ברפאל ובתעשיות הבטחוניות, ועם תחילת עידן הפתוח והייצור של מטוסים כחול-לבן בתעשייה האווירית, שהביאו להגדלת הבקושים למהנדסים אוירונטיים ולצורך בביצוע מחקרים ופיתוחי תשתית רבים.

מהנדסי האויר-חלל בישראל מעורבים בפיתוח, בתיכון, בייצור בהפעלה, בבקרת טיסה ובתחזוקה של מערכות מוטסות, באטמוספירה ובחלל, כגון: מטוסים והליקופטרים, כלי טייס לא מאויישים, טילים ומערכות לשיגור טילים, אמצעי הנעה סילוניים ורקטיים, מערכות נשק מוטסות ולוויינים, וכן בפיתוח התשתית של מדעי התעופה והחלל כחלק ממדעי ההנדסה.

מסגרת הפעילויות הרחבה והמגוונת באויר-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, מספק לו את הכלים ואת היכולת להשתלב

## תוכנית הלימודים

על מנת להשלים את התואר יש לצבור 156 נקודות לפחות לפי הפרוט הבא:

מקצועות חובה	מקצועות ברירה פקולטיים (פרויקטי תכן)	מקצועות בחירה פקולטיים	מקצועות בחירה חופשית
115.5-116 נק'	6.0 נק'	24-24.5 נק'	10.0 נק'

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

### מקצועות החובה – השיבוץ המומלץ לפי סמסטר

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 1
4	2	-	5.0	104018 חדו"א 1מ"1
3	2	-	4.0	104009 אלגברה לינארית מ
2	2	2	4.0	234112 מבוא למחשב-שפת C
4	-	-	3.0	324012 אנגלית טכנית
2	2	-	3.0	125001 כימיה כללית
2	-	-	(2.0)	085201 מבוא להנדסת אוירונטיקה וחלל *
15	8	2	19.0	

\* מקצוע בחירה חופשית מומלץ (לא חובה).

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 2
4	2	-	5.0	104022 חדו"א 2מ"2
2	1	-	2.5	104131 משוואות דיפ. רגילות ח'
2	1	-	2.5	114051 פיסיקה 1
3	1	-	3.5	084505 מכניקת המוצקים
2	2	-	3.0	084155 שרטוט הנדסי ממוחשב
2	1	-	2.5	314200 מבוא להנדסת חומרים לתעופה
-	2	-	1.0	394800 חינוך גופני
15	10	-	20.0	

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 3
2	1	-	2.5	104215 פונקציות מרוכבות
2	1	-	2.5	104218 משוואות דיפרנציאליות חלקיות ח'
3	1	-	3.5	114052 פיסיקה 2
3	2	-	4.0	084225 דינמיקה מ'
2	2	-	3.0	085135 אנליזה נומרית מ' *
3	1	3	4.0	084640 תכן וייצור תעופתי
-	2	-	1.0	394801 חינוך גופני
15	10	3	20.5	

ה'	ת'	מ'	נק'	סמסטר 4
3	1	1	3.5	084311 אוירודינמיקה בלתי דחיסה
3	2	-	4.0	084213 תרמודינמיקה
3	1	-	3.5	084513 יסודות המבנה האוירונטי
3	1	-	3.5	044109 מבוא להנדסת חשמל
3	1	-	3.5	104034 מבוא להסתברות ח'
3	-	-	3.0	114053 פיסיקה 3
18	6	1	21.0	

לבסוף, חשוב להדגיש שהחינוך ההנדסי שבוגר הפקולטה מקבל מכשיר אותו לעיסוק במערכות הנדסיות גדולות, אוירונטיות ואחרות. ואכן, בוגרי הפקולטה עוסקים במיגוון הפעילויות ההנדסיות המתקדמות במדינה וחלקם מובילים ומנהלים אותן.

### לימודים לקראת תואר ראשון נוסף הכולל תעודת הוראה

במקביל ללימודים לקראת תואר ראשון בפקולטה, קיימת אפשרות ללימודי תואר ראשון נוסף (הכולל תעודת הוראה) במחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים. לימודי התואר הראשון הנוסף הם באחת משבע מגמות ההתמחות הבאות: הוראת מתמטיקה, הוראת פיסיקה, הוראת כימיה, הוראת ביולוגיה, הוראת מדעי המחשב, הוראת טכנולוגיה-מכונות, הוראת אלקטרוניקה-חשמל.

משרד החינוך מעניק למקבלי תואר זה רשיון הוראה בבתי ספר על יסודיים בתחום ההתמחות. על לימודים אלה חלות כל התקנות הטכניוניות לגבי תואר ראשון נוסף. פרטים בפרק "המחלקה להוראת הטכנולוגיה והמדעים".



סמסטרים 5 ו-6

Table with 5 columns: Course ID, Description, and 4 grade/credit columns. Includes course titles like 'רשתות נתונים במערכות מוטסות' and 'תורת הבקרה'. Includes a section for 'מקצועות ברירה' and 'מקצועות בחירה'.

הערה: במסגרת מקצועות הבחירה הפקולטיים ניתן לבחור מקצועות מפקולטות אחרות בהיקף של עד 6 נקודות, מתוך רשימת המקצועות המפורסמת בפקולטה.

## לימודי מוסמכים

### "מגיסטר להנדסה בהנדסת אירונטיקה וחלל"

(ללא כתיבת תזה)

למשתלמים בוגרי הנדסת אירונטיקה 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 לימודי מוסמכים בבקשה מנומקת למעבר מנתיב זה לנתיב השתלמות עם תזה. (ראה תקנה 21 של ביה"ס ללימודי מוסמכים).

#### תנאי הקבלה

על המועמדים ללימודי מוסמכים לקרוא התואר מגיסטר, לעמוד בתנאי הקבלה של בית הספר ללימודי מוסמכים. ממועמדים בנתיב "מגיסטר למדעים בהנדסת אירונטיקה וחלל", או בנתיב "מגיסטר למדעים", נדרש ממוצע של 80 ומעלה בלימודי הסמכה, ללא מקצועות בחירה חופשית, 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. אם הישגיו המועמד בלימודי הסמכה בשטח בו בחר אינם מספקים, תוכל הוועדה הפקולטית ללימודי מוסמכים להפנותו לשטח אחר בו הישגיו מספקים. מועמדים עם ממוצע משוקלל של 75 ומעלה יוכלו להתקבל לנתיב ללא כתיבת תזה.

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

#### 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).

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

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

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

**ללא תזה:** היקף התואר 40 נק' מתוכם היקף פרויקט הסיום 6 נק', היקף המקצועות 34 נק' (מתוכם 6 נקודות חובה).

**מעבר למסלול ישיר לדוקטורט:** על המשתלם לעמוד בדרישות הקבלה הפקולטיים ובתנאי ביה"ס ללימודי מוסמכים המפורטים בתקנה 24.07 של ביה"ס ללימודי מוסמכים.

הפקולטה להנדסת אירונטיקה וחלל מציעה מגוון רחב של אפשרויות להשתלמות לתואר שני ולתואר שלישי.

#### במסגרת ההשתלמות ניתן להתמחות בשטחים הבאים:

##### אירודינמיקה ומכניקת הזורמים

אירודינמיקה של גופים, מכניקת זורמים, בליסטיקה, מעבר חום ומסה, שיטות מספריות בזרימה.

##### מבנה ומכניקת המוצקים

מכניקת המוצק, יציבות וקריסה, אלמנטים סופיים, מבנים וחומרים מרוכבים, עמידות וכשל, מבנים נבונים.

##### הנחיה, ניווט ובקרה

בקרה תעופתית, ניווט והנחיה, שיערוך, זיהוי מערכות, גילוי וזיהוי תקלות, מערכות אדם-מכונה, מכניקת הטיס.

##### הנעה ושריפה

הנעה סילונית, הנעה רקטית, שריפה.

##### נושאים בין תחומיים כמו אירו-אלסטיות, מסוקים, בקרת

מבנים, מערכות כלי טיס וחלל.

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 וועדת לימודי מוסמכים 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 האירונטיקה והחלל לדרגה גבוהה מזו שרכש בלימודי הסמכה ולאמנו בשיטות מחקר. מטרה זו מושגת על ידי לימוד מקצועות מתקדמים ברמת לימודי מוסמכים, השתתפות בסמינרים מקצועיים ועבודת מחקר או פרויקט באחד משטחי ההתמחות. בנתיב מגיסטר להנדסה, שיפורט להלן, לא נדרשת כתיבת תזה אולם יש ללמוד מספר גדול יותר של מקצועות. הקורסים המוצעים נבחרו כך שהמשתלם יוכל להרחיב את אופקיו 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 אירונטיקה וחלל"

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

#### "מגיסטר למדעים"

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

## לימודים לתואר דוקטור

### תנאי הקבלה

יתקבלו להשתלמות לתואר "דוקטור לפילוסופיה" מועמדים שסיימו את לימודי המגיסטר בציונים גבוהים ומעוניינים בפיתוח יכולתם המחקרית. מהמועמדים ידרשו שני 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 בפקולטה הם ממוצע מצטבר של 85 לפחות, או היות הסטודנט/ית מצטיינת/ישא בארבע הסמסטרים האחרונים.

על המועמד/ת לעמוד בדרישות בית הספר ללימודי מוסמכים. מועמדים העומדים בדרישות אלה ירואיינו על ידי הוועדה הפקולטית ללימודי מוסמכים, אשר תעביר את המלצתה הסופית לביה"ס ללימודי מוסמכים.

**הליך ההרשמה:** ראה תקנה 32.09 של ביה"ס ללימודי מוסמכים.

### 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 מוסמכים. משתלם לתואר דוקטור יחויב בדרך כלל בלימוד פורמאלי של מקצועות בהיקף של 9 נקודות לפחות (ראה תקנות 33-37 לתקנות ביה"ס ללימודי מוסמכים).

### מידע נוסף

מזכירות לימודי מוסמכים בפקולטה, טל. 04-8293365  
אתר האינטרנט של הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל:  
www.aero-technion.ac.il

### 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 או 21 נקודות לפי הפרוט הבא:

084311	אורודינמיקה בלתי דחיסה	3.5 נקודות
084312	אורודינמיקה דחיסה	2.5 נקודות
084513	יסודות המבנה האוירונטי	3.5 נקודות
084735	תורת הבקרה	3.5 נקודות
084220	מכניקת הטיס 1	2.5 נקודות
084221	מכניקת הטיס 2	2.5 נקודות
		2.6

### אחד משני המקצועות הבאים:

084401	מנועי סילון	3.0 נקודות
084402	הנעה רקטית	3.5 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 ללימודי מוסמכים (ראה תקנה 22.02 של ביה"ס ללימודי מוסמכים).

### דרישות השלמה לבוגרי תואר תלת שנתי:

וועדת לימודי מוסמכים תדון בכל מועמד ותחייב אותו בהשלמות (ראה תקנה 23.03 לתקנות ביה"ס ללימודי מוסמכים).

### דרישות השלמה במסלול ללא תזה:

משתלמים אשר אינם בוגרי הפקולטה להנדסת אוירונטיקה וחלל יידרשו בהשלמות ע"פ המלצת וועדת לימודי מוסמכים.

### 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 ללימודי מוסמכים).

### עבודת גמר

ראה תקנה 28 של ביה"ס ללימודי מוסמכים.

### החיבור ובחינת הגמר

ראה תקנה 29 של ביה"ס ללימודי מוסמכים.