

## תוכן העניינים:

iv	הקדמה
1	פרק 1: מקומנו ביקום
10	פרק 2: מערכת השמש
29	פרק 3: הכוכבים ותכונותיהם
40	פרק 4: פלנטות במערכות שמש אחרות
51	פרק 5: התפתחות כוכבים
66	פרק 6: קוסמולוגיה
76	פרק 7: חיפוש אחר תבונה חוץ ארצית – SETI
88	אחרית דבר
90	נספח א: נוסחאות וקבועים אסטרונומיים
91	נספח ב: רשימת קריאה
92	נספח ג: סיור תצפית כוכבים
94	נספח ד: סילבוס
95	נספח ה: שאלות לדוגמה
96	רשימת האיורים

## הקדמה

בדפים שלפניכם נצא למסע במרחב ובזמן אל כוכבי הלכת של מערכת השמש, ומשם למערכות השמש ולכוכבים רחוקים. נמשיך לשביל החלב, גלקסית הבית שלנו, שבה מאות מיליארדי שמשות ופלנטות, ומעבר לה לגלקסיות אחרות, קרובות ורחוקות, עד לקצה היקום. נלמד להכיר מקומות חדשים ותופעות מעולמות אחרים, שונים מאוד ממה שאנו מכירים בכדור הארץ, ויחד עם זאת נחפש חיים ביולוגיים, כמו אלה שהתפתחו בכדור הארץ לפני כארבעה מיליארד שנה ומתקיימים בו עד היום.

החוברת שלפניכם יוצאת בתקופה של הישגים מדעיים מרתקים בנושא של חיפוש אחר חיים מחוץ לכדור הארץ. בעשור האחרון יצאו לפועל מספר משימות חלל שהלהיבו לא רק את המדענים העוסקים בנושא, אלא גם את התקשורת והציבור הרחב. במערכת השמש קיבלו הד תקשורת רחב משימות המחקר של נאס"א למאדים "Curiosity" (סקרנות) ב-2012 ו-"Perseverance" (התמדה) ב-2021, שאחת ממטרותיהן היא חיפוש אחר סימני חיים.

הטלסקופ הלווייני "קפלר" של נאס"א הביא בשנים 2010-2015 לפריצת דרך בהכרתנו את המקומות המתאימים לקיום חיים מחוץ למערכת השמש, כאשר הביא לגילוי אלפי מערכות שמש בסביבתנו הקוסמית, ובהן כוכבי לכת הדומים לכדור הארץ מבחינה הגודל והאקלים. באוקטובר 2021 צפוי שיגורו של טלסקופ החלל "גיימס ווב" (James Webb) שיאפשר, כך מקווים המדענים, לזהות סימני חיים באותם כוכבי לכת מרוחקים.

את הקורס "אסטרופיזיקה והחיים ביקום" יצרתי במתכונת קורס אותו לימדתי באוניברסיטת לוס אנג'לס (UCLA) בה שהיתי בשבתון. הקורס הוצע לראשונה בשנת 1999, כקורס בחירה לתלמידי מדעי הטבע באוניברסיטה העברית, ונרשמו אליו מעל מאתיים סטודנטים מחוגים רבים, מספר המעיד על העניין של ציבור הסטודנטים, וגם הציבור הרחב, בנושאים הקשורים לאסטרופיזיקה ובפרט לחיפוש אחר חיים מחוץ לכדור הארץ. במשך שנים רבות היה זה הקורס האקדמי היחיד מסוגו בישראל, המשלב אסטרופיזיקה עם אסטרוביולוגיה.

הקורס המשיך להתפתח ולהתעדכן, ככל שענף האסטרוביולוגיה וגילוי כוכבי לכת מחוץ למערכת השמש התפתחו בצעדים מהירים. מאז ועד היום הקורס מתקיים מדי שנה עם למעלה ממאה סטודנטים. בשנת 2006 התחלתי ללמד במקביל קורס המשך<sup>1</sup>, ובשנת 2016 קורס דומה לראשון<sup>2</sup> במסגרת תכנית אבני פינה לתלמידי מדעי הרוח והחברה.

<sup>1</sup> "אסטרופיזיקה והחיים ביקום 2" 77211

<sup>2</sup> "אסטרוביולוגיה והחיים ביקום" 77212

בשל היותו קורס רחב היקף המתפרס על נושאים רבים באסטרופיזיקה, עם דגש על אסטרוביולוגיה וחיפוש חיים מחוץ לכדור הארץ, נושא בו כמעט שלא קיימת ספרות בעברית<sup>3</sup> שלא לדבר על ספר לימוד אקדמי, נוצר הצורך בספר המלווה את הקורסים הנ"ל. צורך זה התחזק בשנת 2020, כאשר בשל הקורונה התחלתי ללמד את הקורסים בהוראה מרחוק, ולא התאפשרה הגישה לספריות.

חוברת זו מבוססת על סיכומי ההרצאות בקורס "אסטרופיזיקה והחיים ביקום" שלימדתי בסמסטר א' בשנה"תשפ"א 2020/2021. היא אמורה לשמש עזר לשיעורים ותלווה גם את הקורס "אסטרוביולוגיה והחיים ביקום" המונגש על ידי האוניברסיטה העברית ותכנית אבני פינה לציבור הרחב.

עמרי ונדל

ירושלים, אפריל 2021

תודות

לתלמידי שבזכותם הקורס והספר התפתחו למה שלפניכם

מוקדש לתלמידים הפרטיים שלי – רן, מאיה, טלי ומור, שהגיעו רחוק – כל אחד בדרכו.

---

<sup>3</sup> למעט הספר "מסע אל התבונה" (1999), ובמהדורתו המעודכנת "מפגשים בשביל החלב" (2020), המיועד לקהל הרחב, מאת חגי נצר ועמי בן בסט.

## שלושת חלקי הקורס:

**אסטרופיזיקה:** 60% – מקומנו ביקום; שמשות וכוכבי לכת; התפתחות כוכבים; שביל החלב וגלקסיות אחרות; קוסמולוגיה – טבע היקום.

**חיים בחלל:** 30% – התפתחות החיים בכדור הארץ; מחד תאים לאדם, אסטרוביולוגיה – חיים מחוץ לכדור הארץ? איך והיכן נמצא ביולוגיה חוץ ארצית? חיים במערכת השמש? מאדים, אירופה, טיטאן...; חיים במערכות שמש אחרות.

**תבונה:** 10% – התנאים להתפתחות תרבות; משוואת דרייק: הסיכוי לביולוגיה ותבונה; תרבויות טכנולוגיות; SETI: החיפוש אחר תבונה חוץ ארצית; תקשורת רדיו בין-כוכבית; טיסה בחלל.

## נושאי הקורס:

### • אסטרופיזיקה:

- מקומנו ביקום (גדלים, תהליכים פיזיקליים בכוכבים, ביקום)
- איך נוצרו הכוכבים, מערכת השמש והיקום

### • חיים:

- מהם בעצם חיים?
- כיצד התפתחו החיים בכדור הארץ?
- האם קיימים חיים מחוץ לכדור הארץ?

### • תבונה – SETI:

- החיפוש אחר תבונה חוץ ארצית
- האם אנו לבד?
- מה הסיכוי לחיים ותרבויות בכוכבים?

## נושאי השיעורים:

1. **מקומנו ביקום:** ממערכת השמש לכוכבים ולגלקסיות
2. **מערכת השמש:** כוכבי הלכת הפנימיים: חמה, נוגה, ארץ ומאדים
3. **כוכבי הלכת החיצוניים:** צדק שבתאי וירחיהם, אסטרואידיים, מטאורים
4. **חיפוש כוכבי לכת** במערכות שמש אחרות
5. **השמש ומקור האנרגיה שלה:** מה גורם לשמש לזרוח?
6. **תכונות כוכבים:** הארה ומרחק, צבע וטמפרטורה, מסה
7. **חיי כוכבים:** לידה ובגרות, ענקים וננסים, סופרנובות וחורים שחורים
8. **שביל החלב:** גלקסיית הבית שלנו וגלקסיות אחרות
9. **קוסמולוגיה:** המפץ הגדול, התפשטות היקום, קרינת הרקע
10. **חיים מחוץ לכדור הארץ:** אסטרוביולוגיה, משוואת דרייק, SETI