

שורשי המחקר האווירונאוטי בישראל

מאמר זה יעסוק בתשיפת שורשי המחקר האווירונאוטי בישראל ובשרטוט ההתפתחות. חשיבותו של הנושא, מעבר לחשיבות הכלכלית של תעופה ובניין כלי טיס, היא בכך שעוצמה אווירית מהווה מרכיב חשוב (אולי העיקרי) בין מרכיבי ההישרדות הצבאית של ישראל, מאז הקמתה.¹

כלי הטיס הוא מאפיין ייחודי של המאה ה-20. לתכנון כלי טיס חדש ובניינו נדרשת מיומנות רבה. בגלל המורכבות המערכתית הקשורה בהנעת גופים באוויר, רק ארגונים מעטים מסוגלים לתכנן ולבנות מטוס. להשגת יכולת זו דרושים מרכזי מחקר (כוח אדם, ציוד מתאים) ונגישות למקורות ידע תיאורטי, שבעזרתם מתוכננים ומיוצרים דגמים עתידיים. הצלחת המעשה האווירונאוטי כולו תלויה בתהליך משוב של עשייה ומחקר, שפעולתם המתמדת יוצרת אינטראקציה מפרה בין המחקר לבין הייצור והתפעול.

הטסה ראשונה ממונעת, ממושכת ומבוקרת של כלי טיס כבד מהאוויר נעשתה על ידי האחים רייט ב-17 בדצמבר 1903.² לאחר הטסה זו תוכננו ונבנו כלי טיס, גם מקוריים, במספר מדינות. במהלך הזמן, בייחוד לאחר מלחמת העולם השנייה, צומצם מספר המדינות שמתבצע בהן בשלמותו כל התהליך של תכנון ובניין כל המיגון של כלי טיס חדשים. בין הגורמים לצמצום זה היו מגבלות של יכולת תיאורטית. אפילו מדינות בעלות תעשייה ואקדמיה מתקדמות הגבילו עצמן לתכנון ובניית מיגון מצומצם של כלי טיס "פשוטים" יחסית, למשל, המטוס "פילטוס", שתוכנן ונבנה בשווייץ,³ וה"זמירה", שתוכנן ונבנה באוסטרליה.⁴

בישראל קצב ההתפתחות של המחקר התיאורטי באווירונאוטיקה ובניין כלי הטיס אינו אחיד, ועבר תקופות האצה והשהיה. למרות העיכובים ואפילו הכישלונות, מתפתחת בישראל מאז הקמתה מסורת מתמשכת של תכנון ובניין

1. ע' אמבר, א' אייל, א' כהן, *שורשי חיל האוויר*, תל-אביב 1988 (להלן: חיל האוויר), מקומות רבים; E.N. Luttwak, D. Horowitz, *The Israeli Army*. New York 1975, pp. 192-193.

2. C.H. Gibbe-Smith, *Aviation*, London 1979, p. 243. (להלן: גיבס וסמית).

3. W. Green (Compiler), *The New Observer's Book of Aircraft*, London 1985, pp. 166-167 (להלן: גרין).

4. שם, עמ' 6-7.

כלי טיס, מהם כלי טיס מקוריים. בתכנון זה הושקע מחקר אווירונאוטי מקורי, גלוי וחסוי. מיגוון כלי הטיס שיוצרו במדינת ישראל בתקופות שונות כלל, בין היתר: מטוסים קטנים למטרות אזרחיות, מטוסי קרב, כלי טיס מונחים איטיים וכלי טיס מונחים במהירויות על-קוליות. כן תוקנו ותוחזקו בישראל רבים מסוגי כלי הטיס המצויים בעולם.⁵ ניתן לטעון כי יכולת זו היא סימן לכך, שישראל היא מדינה מתקדמת מבחינה טכנולוגית.

התפתחות המחקר האווירודינמי התיאורטי בעולם, ברמת החוקר הבודד וברמה המוסדית, היתה משולבת תמיד בבניית כלי טיס ניסיוניים ובחינתם. שילוב כזה אפיין, למשל, את פעילותו של ליליינטל,⁶ חלוץ תעופה יהודי-גרמני, שעבודתו היתה בסיס לפעולתם של האחים רייט. היסטוריוני התעופה מסכימים, כי הצלחת האחים רייט נבעה מהיותם הן תיאורטיקאים והן בעלי מלאכה מעולים.⁷

במקרה של המפעל הציוני, היה פער של עשר שנים ויותר בין הופעת הפרסומים העבריים הראשונים בשטח האווירונאוטיקה לבין בניית כלי טיס לא ממונעים המסוגלים להטיס אדם.

תחילתו של המחקר האווירונאוטי בישראל בקובץ פרסומים תיאורטיים איכותיים, הקשור להקמת האוניברסיטה העברית בירושלים, שהופיע בשנת 1923.⁸ זה היה קובץ של מאמרים במתימטיקה, פיזיקה ומכניקה לכבוד הקמת האוניברסיטה. המדענים שתרמו לקובץ מרשימים הן במצוינותם באותה תקופה והן בהשפעתם על המדע. עורך הקובץ היה אלברט איינשטיין, שהגיע אז לפרסום רב וסימל לציבור המשכיל בעולם המערבי את מיתוס המדע המודרני.⁹ הנסיון של מייסדי האוניברסיטה לכרוך אותה עם המדע החומרי והטכנולוגיה בעזרת סמל נשגב כאיינשטיין, חושף את שאיפות מייסדי המוסד, לעומת ההישגים הסופיים, המוגבלים למדי. סביר להניח, שזהותו של העורך הקלה על השגת מאמרים ממחברים כה איכותיים.

האוסף כונס וסודר על ידי ע' וליקובסקי, שהתפרסם בשנות ה-50 וה-60 כשפיתח קוסמולוגיה ייחודית, שבאה להסביר את סיפור התנ"ך.¹⁰ ש' וליקובסקי, אביו, מימן את הוצאת הקובץ. המאמרים הופיעו בשפות חיבורם: גרמנית, איטלקית, אנגלית וצרפתית. יחד עם תרגום עברי. הקובץ כלל מאמרים חשובים הקשורים באווירונאוטיקה תיאורטית (ארבעה מתוך 12 פרסומים). בין הכותבים, בנושאים שאינם קשורים באווירונאוטיקה: יחזקאל (אדמונד)

5. א' שרמן, *ברק בקיע*, תל-אביב, ללא ציון שנה, מקומות רבים.

6. על ליליינטל ראה ע' בן-גוריון, *תולדות התעופה בעולם*, תל-אביב תשי"ח (להלן: ע' בן-גוריון), עמ' 374-380; גייבס וסמית, עמ' 72-87.

7. על האחים רייט ראה ע' בן-גוריון, עמ' 409-450; גייבס וסמית, עמ' 94-133.

8. א' אינשטיין (עורך), *כתבי האוניברסיטה וזית הספרים בירושלים (מתימטיקה ופיזיקה)*. ירושלים התרפ"ד (להלן: איינשטיין).

9. ל"ס פויר, *אינשטיין וכני דורו*, תל-אביב 1979 (להלן: פויר), מקומות רבים.

10. I. Velikovsky, *World in Collision*, New-York 1950; I. Velikovsky, *Earth in Upheaval*, New York N.D. 1955.

לנדאו מגרמניה,¹¹ ה' בוהר, מדמרק,¹² האדאמאר מפאריס,¹³ א' פרנקל מגטינגן¹⁴ ואורנשטיין מאוטרקט.¹⁵

הבולט בייחודו מבין ארבעת הכותבים בנושאי אווירונאוטיקה הוא י' פופר-לינקיאוס. מאמרו "סכימה יסודית של מעופף-בורג" הינו למעשה הצעה לתכנון מסוק. לפנינו המסמך הטכני הראשון בעברית על הנושא (נכתב בגרמנית ותורגם לעברית). המאמר נכתב בערך בשנת 1920, כשנה לפני פטירתו של המחבר, ונמסר לרפוס על ידי תיאודור פון קרמן, שפעל באותה תקופה במכון האווירונאוטי באאכן (עליו עוד נרחיב בהמשך). להלן הקדמתו של פון קרמן למאמרו של פופר-לינקיאוס, כפי שתורגמה לעברית ב-1923:¹⁶

מאמר קצר זה שלפנינו מסר לידי פופר-לינקויס (Popper-Lynkeus) סמוך למיתחו בתור בסיס לתכנית של בניין, שבקש לכוון אתי יחד אגב עבודתי הנסיונית במקצוע המעופף בצורת בורג. מלבד מחקריו במקצוע האתיקה, הפילוסופיה הסוציאלית והשירה לקחו את לב פופר פרובלמותיה של טכניקת-התעופה. בשעה שתהום היה מבדיל עדיין בין טכניקת-התעופה ובין המכניקה הרציונלית, היה פופר אחד מן הראשונים שנסה לגשר גשר ביניהן והצליח. רעיון ההגשמה של העליה המאנכה בדמות מעופף בורג היה אחד ממחשבותיו היותר חביבות עליו. אף רעיון זה של מעופף הבורג האסור (בורג קפטיבי) יצא מפיו ראשונה ולא נתגשם רעיון זה כמעשה אלא אחרי עשיריות שנים. ברשימה שלפנינו בא פופר, שעזב בינתיים את טכניקת-התעופה, לדון שוב בפרובלימת מעופף-הבורג ובידו דמות חדשה לעשייתו; ובאופן מצוי ומיוחד לו הוא בא ומקביל את פעולותיהם של מעופף הבורג ומעופף הדרקון זו כנגד זו. מאמר זה כתב פופר בשנת השמונים ושתיים לחייו. ואני מקוה, שדברי אומן זקן זה, שהיה מסור בכל נפשו לרעיון האוניברסיטה העברית בירושלים ושאת רכושו היקר – בית עקד ספריו – נתן לה במתנה, ימצאו כאן את המקום הראוי להם.

11. יחזקאל (אדמונד) לנדאו (נולד בברלין ב-1877 – מת בברלין ב-1938) בגטינגן היה יורשו של מינקובסקי ומבכירי המתימטיקאים של זמנו, חדשן, בעל פרסומים רבים, מורה לרבים מהפיזיקאים המודרניים, חבר באקדמיות לאומיות רבות. על מינקובסקי ראה פויר, עמ' 84-87.
12. הרלד בוהר (נולד בקופנהגן ב-1887 – מת בקופנהגן ב-1951), אחיו של נילס בוהר, מתימטיקאי ופיזיקאי מבכירי זמנו, ספורטאי וקפטן נבחרת דנמרק בכדורגל. ראה פויר, עמ' 103.
13. ז'אק האדאמאר מפאריז (נולד בוורסאי ב-1865 – מת בפאריז ב-1963), מתימטיקאי שעסק במתימטיקה שימושית וטהורה, בעל פרסומים רבים וחדשניים, שמר על קשרים עם האוניברסיטה העברית בירושלים וכיהן כחבר הקורטוריון שלה שנים רבות.
14. אברהם פרנקל (נולד ב-1891) במינכן – מת ב-1965 בירושלים), חוקר מתימטיקאי בעל שם, מראשוני מורי המתימטיקה האוניברסיטאית בארץ-ישראל.
15. אריה שלמה אורנשטיין (נולד במינכן ב-1880 – מת באוטרקט ב-1941), פיזיקאי ניסיוני פורה ביותר, שנתני מחקריו שימשו כפיתוח תורת הקוואנטים. גם הוא המשיך בקשרים עם האוניברסיטה העברית.
16. איינשטיין, חיבור מס' 12.

י' פופר-לינקיאוס (נולד בבוהמיה ב-1838), מת בווינה ב-1921) היה פילוסוף וממציא בעל חזון במדעי הטבע והחברה. הוא הוסיף לשמו את הכינוי "לינקיאוס" – מחזיק ההגה חדר-העין של הספינה המיתולוגית "ארגוס". מכאן אולי הקשר שראה בין ניווט במעשה הטיס לתעופת חזונו החברתי-רוחני. פופר חיבר ספר על טכניקת התעופה, שהופיע ב-1889 (השנה בה התפרסם ספרו הקלאסי של ליליינטל על התעופה: *Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst*). הוא הגה תוכנית לבניין חברה עתידית, תערוכת של אינדוידואליזם וגיוס היחיד למען הכלל. ניתן להגדירו כאחד מאבות חברת הרווחה, יחד עם שמירה על קדושת אישיות הפרט וזכויותיו. בעיני חסידיו דמה לנביא מודרני. הוא היה אוהד הציונות המוקדמת, אך לא היה ציוני במשמעות הארגונית.¹⁷

מאמרו של פופר-לינקיאוס יוצר קשר, דרך פון קרמן, בין הפעילות האווירונאוטיית לעתיד בישראל לבין חווי התעופה ונביאיה שלפני היות המטוס. התייחסותו של פון קרמן לפופר-לינקיאוס כחוקר חבר, אולי אפילו כזוטר לבכיר ממנו, מסומלת בכינוי "אומן ותיק" שקרמן מעניק לפופר, ומקורו במסורת הטכנולוגיה של ימי הביניים. התייחסות זו מראה את הערכתו של מומחה לדבר אל חזונו הנבואי של פופר, וחושפת את הפן הרומנטי בפון קרמן עצמו. עוד ב-1918 כתב קרמן מאמר הערכה על פופר, כך שהקדמתו בקובץ שלפנינו אינה לצורך עניין זה בלבד, אלא מבטאת, ככל הנראה, הערכה אמיתית.¹⁸ ככלל, יחסו של קרמן, שהיה כמעט שווה נפש להיבטים האכזריים של הצבאיות והחברה המודרנית, שונה בתכלית מתורתו החברתית של פופר, וקשה למצוא דמיון באישיות בין שני חלוצי תעופה אלו.

תיאודור פון קרמן (Karman) (נולד בכודפשט ב-1881, מת באאכן ב-1963) הוא מהבולטים במדעני התעופה של זמננו. והוא גם דמות ציר שעליה, במידה רבה, סובב המאמר הנוכחי. בן למשפחה יהודית-הונגרית, למד בכודפשט בגימנסיה פרטית מיסודו של אביו. בגימנסיה זו למדו בין השאר ג' פון ניומן (Neuman), ל' סזילרד (Szilard), וא' טלר (Teller). כולם כמו קרמן היו לדמויות מפתח במדע ובטכנולוגיה של המאה ה-20. אחרי לימודיו בהונגריה למד פון קרמן בגטינגן אצל לודיג פרדנטל (Prandtl) ממיסדי תורת המכניקה של הזרימה, וקיבל את תואר הדוקטור ב-1909. בגטינגן התרועע עם החוקרים ד' הילברט, (Hilbert) ופ' קליין (Klein), מאבות המתמטיקה המודרנית.

פון קרמן שירת בחיל התעופה ההונגרי במלחמת העולם הראשונה, ועסק בפיתוח כלי טיס ראשוניים, כולל מסוקים. הוא עבר לאאכן ב-1912 וחזר לשם לאחר מלחמת העולם הראשונה. באאכן הוקם מכון מחקר אווירונאוטי, ופון

17. י' עילם, אלף יהודים בעת החדשה, תל-אביב 1974, עמ' 268; האנציקלופדיה העברית, כרך 27, עמ' 494-495.

18. Lynkeus als Ingenieur und Naturwissenschaftler; T. Von Karman & I. Edson, *The Wind and Beyond*, Boston. 1967. p. 359; *Dictionary of Scientific Biography*, Vol. 7 New York 1973, pp. 246-248.

קרמן, שניהל שם מחקר טהור ושימושי, היה לאחת מדמויות המפתח באווירונאוטיקה הגרמנית בשנות ה-20. בין מכריו, חבריו ושותפיו לעבודה היו רבים ממשתייטי הבסיס התיאורטי וההנדסי שעליו הוקם חיל האוויר הגרמני בשתי מלחמות העולם. ביניהם: פוקר (Fokker), א' הינקל (Heinkel) וה' יונקרס (Junkers). ב-1928 השתקע סופית בקליפורניה ביוזמתו של ר"א מיליקן (Millikan), וזכה פרס נובל ומי שניהל ופיתח את האוניברסיטה הטכנולוגית של קליפורניה (California Institute of Technology). שם ניהל קרמן, שהיה ממבשרי גל ההגירה של מדענים ממרכז אירופה לארצות-הברית, את מעבדות האווירונאוטיקה על שם גוגנהיים.

במידה מרובה הוא היה מהחשובים שבין מייסדי מערכת המחקר בתעופה וחלל הקיימת כיום בקליפורניה. קשריו עם התעשייה האווירית הגרמנית פסקו רק בהתקרב מלחמת העולם השנייה. לאחר הצטרפות ארצות-הברית למלחמה סייע בבניית עוצמתה האווירית של ארצו המאמצת. ב-1936 עסק במחקרים על הנעה רקטית, וב-1940 עסק בפיתוח טילים מונעים בדלק מוצק. פעולתו ופרסומו גברו בתקופת המלחמה הקרה. הוא נחשב על ידי המימסד הצבאי-אווירי של ארצות-הברית לאחד החשובים שבין אבות התיאוריה והמעשה של התעופה המודרנית, מחד גיסא, וממייסדי הבסיס לעוצמת האוויר של ארצות-הברית, מאידך גיסא.¹⁹

תרומתו של פון קרמן עצמו לקובץ הנ"ל, המאמר "תורת הקורות ויסודותיה",²⁰ דן בפיתרונות מתימטיים לבעיות במכניקה של מבנים – בעיות אופייניות למבני כלי טיס לדורותיהם, שעד ימינו נחקרות בטכניון בחיפה ועל ידי גופים אקדמאיים רבים אחרים. מכאן ואילך תהיה אישיותו של פון קרמן החוט המקשר בין הפרסומים הראשונים בעברית במחקר אווירונאוטי לבין תחילת מחקר זה במדינת ישראל.

החיבור השלישי באווירונאוטיקה המופיע בקובץ הוא חיבורו של ז' ברודצקי (נולד באוקראינה ב-1888, מת בבריטניה ב-1954), "תנועת נזל הנפגע במעצורים עגולים".²¹ שלא כמדענים יהודים אחרים שנזכרו לעיל, היה ברודצקי פעיל ציוני כל ימיו. משפחתו היגרה לאנגליה ב-1893. הוא למד אסטרונומיה ומתימטיקה בגרמניה, שם קיבל את תואר הדוקטור למדעים ב-1912, וחזר לבריטניה ב-1914. ב-1921 חיבר ספר ראשוני באווירונאוטיקה תיאורטית. פעולתו בנושאי תעופה שונים לא פסקה מאז ועד סוף חייו. ב-1924 נתמנה לפרופסור למתימטיקה בלידס במקביל לפעילותו האקדמאית היה ברודצקי חבר ההנהלה הציונית, ממשלת הצללים של המדינה שבדרך. כשיצא לגימלאות כתב

19. ביוגרפיות של פון קרמן ראה לעיל, וכן, "Aeronautical Entrepreneur", C.R. Coppes, Science, 259 (1993), pp. 1632-1634 (להלן: קופס). על האווירה הכללית בגטינגן ראה: D. Nachmansohn, German-Jewish Pioneers in Science 1900-1933, Berlin, New-York 1979, pp. 41-49 (להלן: נחמנסון).

20. איינשטיין, חיבור מ' 10.

21. איינשטיין, חיבור מס' 11.

עליו ידיד אנגלי:²² פרופסור ברודצקי הקדיש חייו לשני נושאים: מתימטיקה שימושית, בייחוד אווירודינמיקה, ובעיית העם היהודי. "הוא התעניין בחינוך האוניברסיטאי בארץ-ישראל ותרם לו מתחילת שנות ה-20 ועד למותו.²³ בסוף 1949 עלה לארץ והתאזרח בה, ובאותה שנה נתמנה לנשיא האוניברסיטה העברית בירושלים. הוא חוליית חיבור שנייה, לצד פון קרמן, המקשרת את הקובץ הני"ל לפעילות מתמשכת בנושאי אווירונאוטיקה שונים בהקשר הציוני-ישראלי.

החיבור הרביעי והאחרון העוסק באווירונאוטיקה הוא מאמר של ט' לוי-ציוויטה (Levi-Civita) (נולד בפדווא ב-1873, מת ברומא ב-1941), "מהירות ההובלה בתנועה גלית תמידית".²⁴ המאמר קשור בהרצאה שניתנה באינסברוק, בכנס בנושאי הידרודינמיקה בראשותו של פון קרמן, בספטמבר 1922. לפי פון קרמן, הוא ולוי-ציוויטה יזמו כנס זה, שהיה הכנס הבינלאומי הראשון למכניקה.²⁵ המאמר תורגם מאיטלקית על ידי נ' שלם, שפעל אחר כך כגיאוגרף וגיאלוג בארץ-ישראל.

לוי-ציוויטה היה מתימטיקאי שהיפנה את מאמציו לפיתרון בעיות שונות במכניקה. מחקריו במתימטיקת הזרימה משמשים עד היום באווירונאוטיקה תיאורטית. הוא פרסם למעלה מ-200 פרסומים חשובים במתימטיקה טהורה ושימושית ב-1938 הורחק מאוניברסיטת רומא בשל יהדותו.²⁶

בירושלים לא היה המשך להתחלה המפוארת שהסתמנה ב-1923 בקובץ הני"ל. המצוינות של המאמרים לא נגזרה מצידוד מדעי מיוחד, ולכן הגירתו-עלייתו של מי מהמפרסמים לארץ-ישראל היתה מאפשרת מחקר תיאורטי מסוג זה גם בארץ-ישראל. אך חזון אוטופי זה, שכנראה עמד לעיני חלק ממיסדי האוניברסיטה, לפחות, לא התגשם. לאחר הופעת הקובץ הני"ל פגש ברודצקי את לוי-ציוויטה במספר כנסים מדעיים ופיתח עמו קשרים שנמשכו שנים רבות. גם קרמן וגם ברודצקי הירכו לפגוש בלוי-ציוויטה בכנסים מקצועיים,²⁷ אך אין הוכחה לפעילות משותפת של שלושתם בהקשר של ציונות-תעופה. כאמור, גם לא התפתחה פעילות בנושא זה בארץ-ישראל.

במשך תקופה מסוימת היה ברודצקי דמות אב לס' גולדסטיין (נולד בבריטניה ב-3 בדצמבר 1903, מת בארצות-הברית ב-22 בינואר 1989), אשר יסד, למעשה, את המחלקה לאווירונאוטיקה בטכניון. ב-1921 החל גולדסטיין –

22. S. Brodetsky, *Memoirs, from Ghetto to Israel*, London 1960 (להלן ברודצקי) p. 288. "Profssor Brodesky's twin interest through life have been applied mathematice, especially aerodynamice, and the cause of the Jewish people."

23. על האוניברסיטה בראשיתה וברודצקי בכלל זה: ב' ברשאי, 'האוניברסיטה העברית בירושלים, 1925-1935', *קתדרה*, 53 (תשרי תש"ן). עמ' 107-122.

24. איינשטיין, חיבור מס' 9.

25. קרמן, עמ' 104-105.

26. מקורות שונים.

27. למשל: בקונגרס השלישי למכניקה שימושית בציריך ב-1926, ברודצקי, עמ' 111; קרמן, עמ' 105.

עילוי, יתום משני הוריו – ללמוד מתימטיקה באוניברסיטה של לידס, ומצא לינה ראשונה בבית ברודצקי.²⁸ אחר כך חבר גולדסטיין, כאיש צעיר מאוד, לפעילות הציונית של ברודצקי. ב-1926 מילא את מקומו האקדמאי של ברודצקי, כאשר זה נסע לארצות-הברית למטרות ציוניות.

ב-1929 זכה גולדסטיין לפרסום ניכר בין חוקרי האווירונאוטיקה המתמטית, כאשר פיתח שיטה מדויקת יותר מכל מה שהושג עד אז לחישוב ותכנון מרחפים של כלי טיס²⁹ באותה שנה ביקר גולדסטיין בגטינגן במעבדת פרנדטל, שזוכרה לעיל. בשנת 1938-1939 פעל גולדסטיין במעבדתו של פון קרמן בקליפורניה – פעילות שיצרה בין השניים קשרי מקצוע. בפרוץ מלחמת העולם השנייה, הוא צורף למערכת המחקר הממלכתית הבריטית ותרם לה רבות בנושאי אווירונאוטיקה תיאורטית ושימושית.

גולדסטיין היה ציוני פעיל כל חייו. נמסר, שפעם פנה לאוניברסיטה העברית בבקשת מישרה אקדמאית, ונענה: "אין דבר הקרוי מתימטיקה שימושית".³⁰ בשנים שלאחר הופעת הקובץ הנ"ל (1923) התפתחה הפעילות האווירית הכללית בארץ-ישראל. חברות תעופה שונות החלו פוקדות את ארץ-ישראל בתדירות הולכת וגוברת.³¹ אך לא התפתחה בארץ מערכת גיבוי טכנית-הנדסית לחברות אלו. נראה שהעילית הבריטית נמנעה, ככלל, מהקניית כישורים תעופתיים ל"בנים חורגים" באימפריה הבריטית, והיישוב היהודי בארץ-ישראל בכלל זה.

הקשר התעופתי בין ארץ-ישראל למזרח התיכון ולעולם החיצוני שימש בעיקר את המערכת האימפריאלית האנגלית (וגם ההולנדית – נתבי האוויר ההולנדיים המלכותיים KLM היו מראשוני הטסים בשמי ארץ-ישראל). יהודים השתמשו בדרך האוויר להגיע מהארץ ואל הארץ. (מכאן הקשר המשונה כביכול בין חברת התעופה הפולנית הלאומית וארץ-ישראל כבר לפני מלחמת העולם השנייה). טיסות של נציגי היישוב לקונגרסים ציוניים, וטיסות מרובות של מנהיגים ציוניים הלך וחזור לארץ-ישראל וממנה, חיזקו בהכרח את המודעות לכך שהקשר הבלתי מופרע של היישוב לעורף היהודי-ציוני במערב קשור בנגישות לאוויר.

לכך נוספה המודעות בארץ-ישראל לחשיבותה הגוברת של העוצמה האווירית הצבאית כמכשיר להחצנה – אלימה, כשצריך – של העוצמה האימפריאלית. פעילות השיטות של חיל האוויר המלכותי הבריטי בארצות המנדט הבריטי, ושל חיל האוויר הצרפתי בסוריה ולבנון, לא נעלמו מעיני ציונים בעלי עניין בביטחון

28. ברודצקי, עמ' 104, וכן: J. Lighthill, Sydney Goldstein, Biographical Memoirs of the Fellows of the Royal Society, 36 (1990), p. 17 (להלן: גולדסטיין).

29. S. Goldstein, On the vortex theory of screw propellers, Proceedings of the Royal Society (London), A 123 (1929), pp. 440-465.

30. C. Alpert, Technion, The story of Israel's Institute of Technology, New York-Haifa 1982, p. 240 (להלן: טכניון).

31. R. Higham, Britain's Imperial Air Routes 1918 to 1939, Hamden (Connecticut) 1961, pp. 109-133.

וצבאיות. נוסף לאמור לעיל נקשר באירופה, בשנים אלו, קשר בין הלאומיות לבין תעופה ויכולת אווירית. קשר זה נראה טבעי מאוד באירופה בשנות ה-20, והוא הלך וגבר בשנות ה-30. דומה שהשפעותיו חלחלו לתוך הציונות, ופעילים ציונים החלו יוצרים קשר, הלכה למעשה, בין ציונות לבין יכולת תעופתית. לראיית התעופה כמרכיב בהצגת העוצמה הלאומית וביטייה אצל אלו היתה השלכה על הפעילות המעשית הציונית.

גם לפעילים ציוניים אלו משמש צבי נדב, מאנשי העלייה השנייה, אשר נסע ב-1927 לפאריז ללמוד הנדסת (טכנאות?) מטוסים וחזר ב-1932.³² עם חזרתו עסק נדב בהקמת חוגי תעופה שונים, והיה שותף בצורות שונות לגופים פרטיים וציבוריים שהחלו ליצור ולקדם פעילות תעופתית בארץ-ישראל.³³ גופים אלו פנו למעשה תכליתי ולא להיבטים תיאורטיים. היו גם צעירים ציוניים אחרים שפעלו באותו אופן. לא אותרה פעילות באווירונאוטיקה תיאורטית בקרב הגורמים האקדמיים או הקדם-אקדמיים ביישוב הציוני המצומצם של אותה תקופה.

בשנת 1928 שהה מ' רינר (Reiner) בארצות-הברית כמהנדס בשירות ממשלת המנדט (אחר כך היה פרופסור בטכניון). בשם הטכניון – שהיה אז יותר בית ספר טכני מאשר אוניברסיטה – גיסה רינר ליצור קשר, שלא התממש, עם פון קרמן, שבאותה עת נסע ליפן.³⁴ (פון קרמן לא ניחן מעולם בעודף צניעות, ובביזוגרפיה שלו נטל לעצמו זכות גדולה וטען, שביקורו ביפן קידם רבות את עוצמתה האווירית של יפן, שבאה לביטוי כה מוצלח במלחמת העולם השנייה.³⁵ בכל מקרה, גם אם היה מוקם קשר מעשי בין המפעל הציוני ובין פון קרמן, ודאי שבשלב זה לא היו התוצאות כמו אלו שנוצרו ביפן, לפי קרמן. בשנות ה-30 פרצו באירופה סערות פוליטיות שגרמו לזעזועים דמוגרפיים ולריסוק חלקי של העם היהודי. כתוצאה מכך נמלטו מאירופה אקדמאים יהודים רבים, פליטים אלו תרמו אחר כך, בעת מלחמת העולם השנייה, לקידום המדעי של ארצות מקלטם, גם בנושאים הקרובים לאווירונאוטיקה תיאורטית.³⁶ כך נקבצו לארץ-ישראל מומחים, ברמות שונות, שרכשו באירופה ידע תעופתי. כאן החלה אוכלוסייה זו, למרות המגבלות באמצעים, בפעילות תעופתית. זו התרכזה בחוגי חובבים ובהרכבת דאונים, בעיקר מחלקים מיובאים מאירופה. כן גבר בתקופה זו העיסוק בתעופה מסחרית מקומית במטוסים קלים. לא נמצאו הוכחות לכך, שלפני פרוץ המלחמה, או לאחר שפרצה, הועסק הפוטנציאל האנושי הזה בפעילות תיאורטית. אם היתה פעילות מעין זו, היא התרכזה

32. צ' נדב, *מימי שמירה והגנה*, תל-אביב 1954, עמ' 303; צ' נדב, "כך צמחו כנפינו", אצל: ד' אביב, ג' ריבלין (עורכים), *ברום שחקים*, תל-אביב תש"ך (להלן: *ברום שחקים*), עמ' 20-54.

33. חיל האוויר, עמ' 22-49.

34. קרמן, עמ' 129-133; טכניון, עמ' 147.

35. קרמן, עמ' 132.

36. למשל, ראה מ' גילברט, *אטלס השואה*, תל-אביב 1986, עמ' 23; נחמנסון, עמ'

בהרצאות לחובבים ברמה פחותה מהקובץ שהזכרנו לעיל.³⁷ דגם אופייני לאוכלוסיית חלוצים זו היה מהנדס הדאונים א' פוהרילה.³⁸ אין להקל ראש בחובבי תעופה אלו, שעסקו גם בפעילות מעשית, כגון בניית דגמים ודאייה. פעילות אינטנסיבית מסוג זה, שקשרה בין לאומיות ותעופה, כפי שהוצגה לעיל, היתה באותה תקופה בארצות כמו גרמניה,³⁹ בריטניה,⁴⁰ וצרפת,⁴¹ וגם אחרות, כמו ברית-המועצות, איטליה ופולין. ברודצקי היה שותף באנגליה לפעילות מסוג זה, שקשרה – בסגנון אנגלי – בין צופיות, ספורט, תעופה וכוונות צבאית. מחוגים אלו יצאו רבים מאנשי התעופה הכולטים במלחמת העולם השנייה ולאחריה.⁴²

בעת המלחמה גברה הפעילות התעופתית-צבאית בארץ-ישראל, וחשיבותה של העוצמה האווירית שבה והודגמה בהפצצת תל-אביב על ידי חיל האוויר האיטלקי, וגם בהקמת בסיסי מפציצים בריטיים ואמריקאיים בארץ-ישראל. הוסרו חלק מההגבלות שהטילה האימפריה הבריטית על גיוס מקומיים והכשרתם ליכולת צבאית, בייחוד צבאית-אווירית. כך התגיסו בני ארץ-ישראל לגופים הצבאיים, בין היתר לחילות האוויר של בנות הברית, ובעיקר לחיל האוויר המלכותי הבריטי.⁴³ היו מהם שהועסקו בתחזוקת כלי טיס. כן ייצר הישוב היהודי בארץ מוצרים תעשייתיים צבאיים כתחליף למוצרים מאירופה ואמריקה. בין אלו היו חלקים למנועי מטוסים של פרט וויטני (Pratt and Whitney), שיוצרו בחיפה לפי שרטוטים מקוריים.⁴⁴ אם היתה לפעילות מסוג זה השפעה על פעילות תיאורטית בנושאי אוירונאוטיקה, היא היתה עקיפה ומרוחקת.⁴⁵

ב-1943 כתב ד"ר פונדלייר (Fondiller), מידידי הטכניון בארצות-הברית, לש' קפלנסקי, מנהל הטכניון דאז, על חשיבות התעופה ועל הצורך בהקמת גוף לעיסוק אקדמי באוירונאוטיקה. כנראה שגם הוקצה כסף לצורך זה.⁴⁶ בגנון הטכניון מוזכר ד"ר אסף שיפרין או ציפרין (Assaf Ciffrin), שעסק בשנים 1945-1949 במחקר אוירונאוטי באוניברסיטה של מדינת ניו-יורק (NYU) ואחר כך בקליפורניה, וכתב לקפלנסקי בשנת 1945 על הקמת פקולטה לאוירונאוטיקה.⁴⁷

לקחי המלחמה והמתחים הבינלאומיים בעקבותיה חיזקו את הקשר בין

37. ברום שחקים, עמ' 13-14.

38. שם, עמ' 13.

39. קרמן, ביוגרפיה, עמ' 96-103.

40. ברודצקי, עמ' 206-207.

41. צ' נרב (לעיל, הערה 32) פעל בחוגים אלו בצרפת.

42. חיל האוויר, מקומות רבים; ברום שחקים.

43. חיל האוויר, עמ' 50-65, ועוד מקומות רבים.

44. טכניון, עמ' 204.

45. חיל האוויר, עמ' 59, 146-148, 222-223.

46. טכניון, עמ' 227.

47. שם, עמ' 239.

לאומיות לבין כוח אווירי, והבהירו לרבים, שהקמת מדינה יהודית בארץ-ישראל תהיה קשורה, ואולי מותנית, בפעילות תעופתית.⁴⁸ בתקופה הקצרה שבין סיום מלחמת העולם השנייה להקמת מדינת ישראל גברה הפעילות התעופתית של היישוב היהודי בארץ. היתה זו בעיקר פעילות מעשית.

הבולט שבין המומחים שהצטרפו לפעילות האווירונאוטית בתקופה זו היה המהנדס פ"י פיאטלי, שהגיע לארץ ישראל מאיטליה בסיום המלחמה.⁴⁹ פיאטלי היה איש מעשה בעל חושים טבעיים לתכנון ובניין כלי טיס פשוטים. לפני המלחמה פעל באיטליה בהצלחה בשטח זה. נוסף להשכלה באווירונאוטיקה תיאורטית ומעשית הוא נחן בכישרון להליכב ולחנך בנושאי תעופה. צעירים שהושפעו על ידיו הפכו לאחר הקמת מדינת ישראל לחוקרים ומחנכים אווירונאוטיים במוסדות שונים של המדינה. פיאטלי עסק במעט, אם בכלל, בחקר אווירונאוטי תיאורטי – מה גם שבעיות תקופתו היו מעשיות והתאימו לכישורו לבנות ולחדש כלי טיס קטנים. הוא התכתב רבות עם אנשי תעופה בחוץ לארץ שעסקו באווירונאוטיקה מעשית. היה בפעולתו מימד אוטופי, שכלל חזון של פעולה אווירונאוטית רחבה.

כנראה שבשנים 1946-1948 יצר פיאטלי קשר התכתבות עם פון קרמן.⁵⁰ באותו זמן התכתב גם עם קפלנסקי בקשר לפיתוח העיסוק בתעופה בטכניון בחיפה.⁵¹ בסוף 1946 נסע קפלנסקי לארצות-הברית לאסוף כספים ולבנות קשרי מקצוע, ובפברואר 1947 פגש בידידי הטכניון, ופון קרמן ביניהם. אלו הציעו להקים בטכניון גוף מחקר אווירונאוטי ובו מתקנים ניסיוניים.⁵²

המסגרת המדינית המשיכה להשתנות ובמהירות. ב־29 בנובמבר 1947 החליטה העצרת הכללית של האו"ם על הקמת מדינה יהודית בארץ-ישראל, וב־15 במאי 1948 הוכרז על הקמת מדינת ישראל. התעצמות המאבק בבריטים ומלחמת השחרור שבאה אחריו הפכו את העיסוק בתיאוריה אווירונאוטית לפעילות בלתי עניינית. סיום מלחמת השחרור והקמת מדינת ישראל החזירו אל המודעות של העילית החברתית והפוליטית את הצורך בפעילות תעופתית בכל הממדים, כולל המימד התיאורטי והניסויי.

ב־1948 נסע ברודצקי לארצות-הברית לגייס כסף ותמיכה למטרות ציוניות. הוא ביקר את איינשטיין וביקשו, לשווא, לעלות לישראל. באותו ביקור נפגש גם עם פון קרמן, שלדבריו גילה עניין באוניברסיטה העברית בירושלים.⁵³ כשעלה ברודצקי ארצה ב־1949 והיה לנשיא האוניברסיטה העברית, נמנע ממתן הרצאות באווירודינמיקה, לדבריו, רק בגלל קשיים צפויים בעברית טכנית.⁵⁴ בתחילת 1949 הוזמן גולדסטיין, עכשיו תיאורטיקן אווירונאוטי בעל-שם, על

48. חיל האוויר, טייס בלמ"ח, עמ' 78-95; תוכניות עתידיות: שם, עמ' 96-110.

49. רום שחקים, עמ' 217-234.

50. שם, עמ' 233.

51. שם, עמ' 233, 245.

52. טכניון, עמ' 229.

53. ברודצקי, עמ' 289.

54. שם, עמ' 295.

ידי נשיא המדינה חיים וייצמן, לבקר בישראל.⁵⁵ וייצמן התערב בעניין בגלל היחסים המתוחים ששררו באותה עת בין המדינה החדשה לבין בריטניה. היה דמיון מסוים בין ההיסטוריה הציונית-מדעית האנגלו-צנטרית של וייצמן וזו של גולדסטיין. בשלבים שונים בחייהם נקשרו השניים לאוניברסיטת מנצ'סטר ולמימסד המדעי-ביטחוני של בריטניה – וייצמן בעת מלחמת העולם הראשונה וגולדסטיין במלחמת העולם השנייה. סביר להניח, ששני האישים היו מודעים לדמיון זה.⁵⁶ כנראה שהיה גם קשר אישי בין ברודצקי, גולדסטיין וייצמן, בעקבות הפעילות הציונית באנגליה.⁵⁷ לאחר מינויו של וייצמן לנשיא היתה מערכת היחסים בינו לבין בן-גוריון מתוחה וקשה.⁵⁸ למרות זאת שיתפו שניהם פעולה בהבאתו של גולדסטיין לישראל.

באמצע 1949 (בערך בתקופה בה נתמנה ברודצקי, איש המתמטיקה האווירונאוטית, לנשיא האוניברסיטה העברית)⁵⁹ נפגשו אצל בן-גוריון: אלכסנדר (סשה) גולדברג, גולדסטיין (תלמידו של ברודצקי) וד' מושין, מזכירו של בן-גוריון.⁶⁰ גולדסטיין ביקש מבן-גוריון לתמוך בהקמת פקולטה לאווירונאוטיקה בטכניון בחיפה, כולל מנהרת רוח במורדות הכרמל ליד טירה. בערך באותה תקופה כתב בן-גוריון מכתב נלהב בשבחו של גולדסטיין לקפלנסקי.⁶¹ בנושאי מדיניות עולמית וציונית נטה קפלנסקי הרבה יותר שמאלה מבן-גוריון, אך נראה כי בכל זאת סמכו שניהם זה על זה בנושאי יסוד שנגעו לחיזוק הציונות ועתידה.

תוך זמן קצר כונסו לישיבה נציגים של גופים ממלכתיים בעלי עניין בתעופה: צה"ל, "אל על" ונציגי המימסד המדעי. בין הנוכחים היו איטנגון, סמבורסקי, חי יששכר, דני שושני, מושין, קפלנסקי ועוד.⁶² בפני קבוצה זו העלה בן-גוריון את רעיון הקמת הפקולטה לאווירונאוטיקה בטכניון. המתנגדים לרעיון, שהיו משוכנעים מאוד, היו רבים מהתומכים, למרות זאת, אחרי הכנס הינחה בן-גוריון את גולדברג, גולדסטיין וקפלנסקי לפתוח בהקמת פקולטה לאווירונאוטיקה.⁶³ רמז למחשבתו של בן-גוריון על חשיבותה של התעופה, וגם הסבר לזמן שנמצא למען העיסוק בנושא האווירונאוטיקה בזמנים העמוסים ההם, יימצא באום פומבי שנישא בכנס האוויר 3 כ' בנובמבר

55. גולדסטיין, עמ' 182.

56. שם, עמ' 180-182.

57. אחרי בחירתו של וייצמן לנשיא מדינת ישראל נבחר ברודצקי, במקום וייצמן, לעמוד בראש הציונות האנגלית. ראה מקומות רבים אצל B. Litvinoff, Weizmann Last of the Patriarche, London 197 (להלן: וייצמן).

58. וייצמן, עמ' 260-263.

59. ברודצקי, עמ' 288-294.

60. ד' מושין, "תמיכת בן-גוריון במחקר במדע ובטכנולוגיה", בתוך: כתיב האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים (החטיבה למדעי הרוח), דוד בן-גוריון והתפתחות המדע בישראל, ירושלים תשמ"ט (להלן: מושין), עמ' 21.

61. גולדסטיין, עמ' 183; טכניון, עמ' 240.

62. יומני בן-גוריון, 7.9.49 (באדיבותה של ג' ריבלין ז"ל).

63. מושין.

1949, וברו אמר, בין היתר, "שבלי כוח-אוויר עליון אין שום אפשרות ואין שום סיכוי לנצח [...] משק בריא, רמת חיים גבוהה, תרבות עשירה, עצמאות רוחנית, מדיניות וכלכלית לא יתכנו בלי שליטה באוויר".⁶⁴

בנאום בטכניון בפברואר 1950 בישר קפלנסקי "בקורת רוח רבה", שפרופסור גולדסטיין ופרופסור פון קרמן הסכימו להצטרף לוועדת משנה לעניין המחלקה האווירונאוטית.⁶⁵ ב-4 במרס 1949, לאחר נאום של פיאטלי, החליטה ישיבת מורי הטכניון להקים מחלקה להנדסה אווירונאוטית (ייתכן שהתאריך שגוי, כי שנת 1950 נראית סבירה יותר).⁶⁶ הוועד המנהל הסכים, וקפלנסקי כתב לגולדסטיין וביקשו להתחיל בתפקיד ראש המחלקה באוקטובר 1950.⁶⁷ באותה העת הציעה האוניברסיטה העברית בירושלים לגולדסטיין תפקיד אקדמי בכיר, אך מאוחר מדי, ולשווא.⁶⁸

ב-1950, בכנס התרמה בארצות-הברית לאוניברסיטה העברית, פגש ברודצקי על כמת הנואמים את פון קרמן.⁶⁹ ברודצקי ציין בנאום, שאם ניתן יהיה להביא את איינשטיין כמרצה לפיזיקה, את בוהר כמרצה לתורת הקוואנטים ואת פון קרמן כמרצה לאווירונאוטיקה, תהיה האוניברסיטה העברית שווה לכל מוסד אקדמי בעולם. כזכור, כבר עלו השמות איינשטיין, בוהר, פון קרמן וברודצקי בעת הקמת האוניברסיטה העברית, כ-27 שנים קודם לאותה אספת התרמה. האוטופיה בדבר ריכוז המדע היהודי לא התגשמה אז, וגם לא לאחר קום המדינה.

בנובמבר 1950 הגיע גולדסטיין לישראל לקבל את המישרה בטכניון, ופתח במערכת יחסים מורכבת עם המימסד האקדמי והפוליטי המקומי.⁷⁰ מימן ההקמה ואיוש הפקולטה היוו בעיה קשה. הקמת המחלקה החדשה העסיקה את קפלנסקי רבות בשנה האחרונה לחייו. ב-27 בנובמבר ערך דיון ארוך עם גולדסטיין על המחלקה. ב-6 בדצמבר נפטר בעת ניתוח.⁷¹ השינויים המינהליים שהתחוללו בטכניון לאחר מות קפלנסקי, כאשר "דורי היה למנהל (13 בפברואר 1951), הפכו את גולדסטיין למעשה לדמות האקדמית הבכירה בטכניון.

שנים לפני כן הציע חיים וייצמן סידור דומה באוניברסיטה העברית, עם הקמתה. לפי רעיון זה היה על מאגנס למלא את תפקיד איש הקשר עם בעלי השררה והממון, וברודצקי אמור היה להיות הממונה על הנושאים האקדמיים.⁷² בתנאים שנוצרו אז סירב ברודצקי לרעיון זה, וגם בפעם הזו,

64. ד' כ"גוריון, *עבא ובטחון*, תל-אביב 1955, עמ' 145, 146.

65. מ' זינגר, *שלמה קפלנסקי - חייו ופעלו*, ירושלים תשל"א (להלן: קפלנסקי) עמ' 220.

66. גולדסטיין, עמ' 183; טכניון, עמ' 241.

67. גולדסטיין, עמ' 183; טכניון, עמ' 241.

68. טכניון, עמ' 241.

69. ברודצקי, עמ' 298.

70. טכניון, עמ' 241.

71. קפלנסקי, עמ' 232.

72. וייצמן, עמ' 166.

כפי שנוכח גולדסטיין לדעת, לא היה זה רעיון מוצלח. כאמור לעיל, עם הקמת מדינת ישראל היה ברודצקי לנשיא האוניברסיטה במקום מאגנס, והפעם, לפחות על הנייר, ללא שותפים.

כך השתלשלו הדברים, שבתקופה בה למעשה עוצבו מחדש שני המוסדות האקדמיים הבכירים של הציונות הארצישראלית – האוניברסיטה העברית בירושלים והטכניון בחיפה – והיו למוסדות האקדמיים המובילים במדינה החדשה, עמדו שני מדעני אווירונאוטיקה תיאורטית – במידת-מה מורה ותלמידו, במידת-מה יורשי המדעיים של פופר-לינקיאוס – בראש הפירמידה האקדמית של מדינת ישראל. שניהם עתידים לעזוב את ישראל שנים ספורות לאחר מכן.

כחלק מתהליך זה נוסדה בטכניון המחלקה לאווירונאוטיקה. במקרה של ברודצקי היתה כאן אפיוודה ללא המשך, והאוניברסיטה העברית לא פנתה לעסוק באווירונאוטיקה.⁷³ ב-1952 הוא עזב את ישראל, ומת באנגליה ב-1954. כתוצאה ממתחים חברתיים ואקדמיים שהתפתחו בין גולדסטיין והמימסד הישראלי, עקר גולדסטיין להארווארד שלייד בוסטון בשנת 1955.⁷⁴ הוא שב מאוחר יותר לתרום לניהול הטכניון (1966-1967), אך הפעם ממרחק.⁷⁵ לאחר פעילות מדעית מתמשכת הוא מת בארצות-הברית בינואר 1989.

הקשר של חוקרי האווירונאוטיקה בישראל עם פון קרמן התפתח, ובשנת 1954 הסכים פון קרמן לכהן כנשיא הכבוד של האגודה למדעי התעופה בישראל, לאחר שנתבקש לכך על ידי פיאטלי.⁷⁶ לפי הביוגרפיה של פון קרמן, הוענק לו אז תואר של דוקטור מטעם הטכניון. הוא אף ארגן ועדה בינלאומית המורכבת ממומחי אווירונאוטיקה מארצות שונות, כדי לסייע לאגודה למדעי התעופה בישראל.⁷⁷ ב-19 באפריל 1960, והוא כבן 79, ומעיין דמות האב הגדול של מדעי האווירונאוטיקה, הירצה פון קרמן בכנס של האגודה למדעי התעופה בישראל על "הבעיות של הכניסה מהחלל החיצון לאטמוספירה של כדור הארץ". בהרצאה זו סגר מסלול ה"אומן הוותיק" – התואר שהוא עצמו כינה בו את פופר-לינקיאוס ב-1923. מסלול זה החל בפרסום מדעי בעברית 37 שנים קודם לכן, בעולם שכה השתנה, ואשר פון קרמן עצמו היה מהגורמים לשינויים אלה. כתב עליו ביוגרף אמריקאי: "עבודתנו [...] באווירודינמיקה [...] ובמחקר רקטי עזרה לשנות גם את ההיסטוריה המדעית וגם את ההיסטוריה הפוליטית."⁷⁸ לאחר מות פון קרמן הספידו גולדסטיין בזיכרונות הביוגרפיים של החברה המלכותית הבריטית, מבחירי הגופים במימסד האקדמי העולמי. כמנהג היהודי הישן, הביא גולדסטיין בהספדו את "יחוס" אבותיו של פון קרמן, וביניהם

73. מקורות שונים.

74. גולדסטיין, עמ' 185.

75. שם, עמ' 186.

76. רום שחקים, עמ' 87.

77. שם, עמ' 89.

78. Sictionary of Scientific Biography, New York 1978, V. 7, p. 248.

המהר"ל.⁷⁹

יחסו של גולדסטיין ליהדותו ולציונותו היה ישר ופשוט, אולי תמים מעט. אפשר שכאן מקור המתחים שגרמו לעזיבתו את ישראל. יחסו של פון קרמן ליהדות ולציונות היה מסובך, ולעתים, כהיבטים אחרים של אישיותו, קיבל אופי מנוגד ומעורפל.⁸⁰ בהלווייתו של קרמן כיהנו יחד כומר קתולי ורב הוליוודי.⁸¹ זיכרונותיו של פון קרמן ברננים,⁸² אולי בגלל מותו לפני שסיים את כתיבתם. ישראל מוזכרת כדרך אגב. לפי הביוגרפיה של גולדסטיין, אך לא לפי זו של קרמן, הרקע היהודי של שניהם תרם להעמקת הקשרים המקצועיים שלהם, ביחוד לאחר שהייתו של גולדסטיין במעבדתו של קרמן בפסדינה ב-1938. ברודצקי, גולדסטיין, האוניברסיטה העברית והטכניון אינם עולים בזיכרונות פון קרמן. ואילו שמות "גדולים" כבוהר, איינשטיין ולוי-ציוויטה נזכרים, ולחייב. המאמר שפורסם ב-1923 בקובץ המוזכר בתחילת מאמרנו מופיע ברשימת פרסומיו של פון קרמן; חומר ההרצאה שהגיש פון קרמן בארץ-ישראל ב-1960 מופיע, כנראה, בפרסום של מכון המחקר של אוניברסיטת סטנפורד מ-1956, וגם בספר השנה של הטכניון ב-1958. המאמר המסיים את רשימת פרסומיו הארוכה – "חוסר יציבות בקליפות דקות הנתונות בלחץ חיצוני" – שהופיע ב-1965, לאחר מותו, מצוי בקובץ שעורכיו הם ד' אביר, פ' אולדורף ומ' רינר (הנזכר לעיל), מסגל הטכניון.⁸³ נושא הקליפות הדקות המשיך להיות שטח מחקר חשוב במחלקה לאווירונאוטיקה בטכניון.

במקביל להקמת המחלקה לאווירונאוטיקה בטכניון הוקמו בישראל בשנות ה-50 מוסדות נוספים שעסקו ועוסקים באווירונאוטיקה תיאורטית ושימושית. כל אלו תרמו ותורמים לתעופה הצבאית והאזרחית של ישראל. בין אלה הפועלים בגופים אלו מצויים תלמידיהם ותלמידי תלמידיהם של גולדסטיין ופון קרמן.

סיכום

ההיסטוריה של הטכנולוגיה במאה הנוכחית מראה, כי כישורים אווירונאוטיים נאגרים בתהליך נפתל וארוך, והם קלים לאיבוד גם מרצון. (ראו בריטניה, שלאחר מלחמת העולם השנייה היתה מעצמה מובילה בחקר האווירונאוטי – ייצור כלי תעופה חלוציים וחדשים – ומשום-מה בחרה, ללא לחץ חיצוני, לאבד כישורים אלה. גם מי שאולצו לאבד כישורים אלה בכפייה, כמו גרמניה ויפן, לא החזירום לעצמם בקלות לאחר שדעכו האילוצים.) כאשר פורסם ב-1923, בעברית ובארץ-ישראל, הקובץ שפתח בתהליך המתואר לעיל, ספק אם היתה לחברת אנוש כלשהי מחוץ לאזורים מצומצמים במרכז ומערב אירופה,

79. גולדסטיין, עמ' 178.

80. על אישיותו המורכבת של פון קרמן ראה קופס.

81. קרמן, עמ' 12.

82. קופס.

83. קרמן, עמ' 361.

היכולת לקבץ אוסף חיבורים ממחברים כה מצוינים. היה זה מעשה שהציג את המדע האירופי בשיאו ובמיטבו. מעשה זה רמז על כוונת הציונות כבר בשנות ה-20. אבל קריאתו של וייצמן לעם היהודי באותן שנים לעלות לארץ-ישראל, לא נשמעה. הפוטנציאל שהוצג בחיבור הנ"ל לא זכה למימוש. המשך התפתחות המחקר האווירונאוטי בארץ-ישראל ובישראל לא נעשה בקצב אחיד. המעשים שסיפורם נטווה לעיל במשך כ-60 שנה נותנים סימוכין לטענה, ששורשי העוצמה האווירית של ישראל לא נוצרו יש מאין, בקום מדינת ישראל ומסדותיה. שורשים אלו טמונים במקומות רבים, גם בקובץ עלום של מאמרים תיאורטיים שהופיע לפני 70 שנה, ואולי אפילו רחוק מזה, בחזונו של "נביא" ואיש רוח כפופר-לינקיאוס. רבות מהדמויות שהובילו את התהליך ששורטט לעיל פעלו בפריפריה של התהליך הציוני ומחוץ לארץ-ישראל. אך כאשר מדענים אלו נקראו לתרום, ברגע מכריע – מאמר מדעי, מעשה חינוכי, יעוץ טכני, ואולי יותר – היתה זו תרומה שלמה, של מי שתורם לעצמו משל עצמו. בספר תולדות הטכניון מופיע סיפור מפיו של פון קרמן, לפיו בתקופה כלשהי פנה אחד מראשי הטכניון לנציב העליון הבריטי בבקשה לעזרה בהקמת המחלקה לאווירונאוטיקה בטכניון, והתשובה היתה: "כל אחד יודע שליהודים אין כישרון להנדסה אווירונאוטית". ופון קרמן סיים את הסיפור: "עכשיו נראה להם!"⁸⁴ קשה לדעת כמה אמת היסטורית יש בסיפור, אך אמת פסיכולוגית ניכרת בו. פון קרמן, מחנך בן מחנך, הדגיש שכושר מדעי טכנולוגי מהותי ובר קיימא אינו ניתן לרכישה מעל מדף זר, עדכני ומוכן ליישום:⁸⁵ "הרי זה רעיון מופרך שניתן, על ידי העברת קבוצות של אנשים ומכשירים לתוך מבנה, להקים בית ספר יש מאין (instant). משך הזמן הנדרש לבניית בית ספר אמיתי הוא לפחות שני דורות." אם נטען שקיומן המדיני של חברות אנוש הוא מירוץ תחרותי, גם בשטחי הטכנולוגיה ובייחוד הטכנולוגיה הגבוהה, אפשר שניתן להסיק מהתהליך שהוצג לעיל גם מסקנות מעשיות.

84. טכניון, עמ' 241.

85. קרמן, עמ' 94. "כדי לעשות עבודה טובה יש צורך בבני אדם ואמצעים. לקומוניסטים היה רעיון מופרך, שניתן לבנות בית ספר בן-רגע על ידי העברת יחידות של אנשים וציוד לתוך מבנה. יש צורך בניסיון לימודי של שני דורות לפחות בכדי להקים בית ספר אמיתי."